

République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
École nationale polytechnique.



Département Hydraulique
Laboratoire de recherche
des sciences de l'eau



Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme
d'ingénieur d'état en hydraulique.

**Essai d'application de la comptabilité de l'eau
selon deux approches (rapide et approfondie)
sur le sous bassin versant Oued Cheliff Ghrib**

Réalisé par :

Mme Rayane DAHMANE et Mme Sarah MASKER

Présenté et soutenu publiquement le : 25/06/2023

Composition du jury :

Présidente	Mme Sâadia BENMAMAR,	Professeur	ENP Alger
Promoteur	Mr Salim BENZIADA,	MAA	ENP Alger
Examinatrice	Mme Meriem CHETIBI,	MCB	ENP Alger
Examineur	Mr Yacine HASNAOUI ,	Doctorant	ENP Alger
Invitée	Mme Dounia DJAHNIT,	Ingénieur	AGIRE
Invité	Mr Hacene BENAMARA,	Ingénieur	MRE

République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
École nationale polytechnique.



Département Hydraulique
Laboratoire de recherche
des sciences de l'eau



Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme
d'ingénieur d'état en hydraulique.

**Essai d'application de la comptabilité de l'eau
selon deux approches (rapide et approfondie)
sur le sous bassin versant Oued Cheliff Ghrib**

Réalisé par :

Mme Rayane DAHMANE et Mme Sarah MASKER

Présenté et soutenu publiquement le : 25/06/2023

Composition du jury :

Présidente	Mme Sâadia BENMAMAR,	Professeur	ENP Alger
Promoteur	Mr Salim BENZIADA,	MAA	ENP Alger
Examinatrice	Mme Meriem CHETIBI,	MCB	ENP Alger
Examineur	Mr Yacine HASNAOUI ,	Doctorant	ENP Alger
Invitée	Mme Dounia DJAHNIT,	Ingénieur	AGIRE
Invité	Mr Hacene BENAMARA,	Ingénieur	MRE

ملخص

تواجه الجزائر تحديًا متزايدًا في ندرة المياه، حيث يُخصص متوسط ثلاث مئة وثمانون متر مكعب من المياه للفرد سنويًا في عام ألفين و واحد و عشرون. يُقدم البحث نهجًا مبتكرًا باستخدام منهجيتين متكاملتين لحاسبة المياه. يستخدم النهج الأول لتقدير الموارد المتاحة من المياه وطلبها ونقلها بين الأحواض المائية. يستخدم النهج الثاني بيانات الاستشعار عن بعد ونموذج لتوازن المياه العمودي لتمييز تبخر الماء من الهطول المطري وتبخر المياه المستخدمة بشكل بشري. تسهم النتائج المحصلة من هاتين المنهجيتين في توفير محاسبة مائية تُمثل وضع الموارد المائية في المنطقة المدروسة .

الكلمات الدالة

محاسبة المياه ، التغيرات في المخزونات ، الاستشعار عن بُعد ، نموذج خاص لتوازن المياه.

Abstract

Algeria is facing an increasing water scarcity challenge, with an average water allocation of 380 m³ per capita per year in 2021. Implementing water accounting poses challenges due to data accessibility and uncertainty. Our research proposes an innovative approach using two methodologies. The first quantifies water resources, demand, sectors of usage, and interbasin transfers, measuring inflows and outflows. The second approach employs remote sensing data and a vertical water balance (SWMB) model to distinguish evapotranspiration from precipitation (green water) and human usage (blue water). These approaches yield representative water balance assessments of the region's water resource situation.

Keys words

Water accounting, change of stock, remote sensing, vertical water balance model (SWMB), green water, blue water.

Résumé

L'Algérie est confrontée à une augmentation de la rareté de l'eau, avec une dotation moyenne de 380 m³/habitant/an en 2021. Notre mémoire propose une approche novatrice en utilisant deux méthodologies complémentaires pour la comptabilité de l'eau. La première quantifie les ressources en eau, la demande et les transferts entre les bassins. La deuxième utilise des données de télédétection et un modèle de bilan hydrique vertical pour distinguer l'évapotranspiration des précipitations et celle résultant des utilisations humaines. Les résultats obtenus fournissent des bilans hydriques représentatifs de la situation des ressources en eau dans la région étudiée. Cette approche contribue à une meilleure compréhension de la gestion de l'eau dans le contexte algérien, fournissant des informations précieuses pour les décideurs et les planificateurs.

Mots clés

Comptabilité de l'eau, variation des stocks, télédétection, model de la balance vertical .

Remerciement

Après avoir rendu grâce à Dieu le tout puissant ce projet de fin d'étude, nous tenons à remercier vivement tous ceux qui, de près ou de loin ont participé à la réalisation et au bon déroulement de ce travail.

En tout premier, nous tenons à remercier sincèrement notre encadrant Monsieur BENZIADA Salim pour la confiance qu'il nous a accordé, ses conseils et l'orientation procurée pendant cette période.

Ensuite, nous tenons à remercier chaleureusement Madame DJAHNIT Dounia de l'Agence Nationale de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau pour sa contribution dans ce travail, le temps consacré et les précieuses informations qu'elle nous a prodiguées tout au long de ce travail. Ainsi, nous remercions l'ensemble des employés de l'AGIRE pour leur accueil et leur aide.

Nous tenons également à remercier Monsieur BENAMARA Hacene du Ministère des Ressources Hydrique pour sa collaboration, sa rigueur scientifique et sa coopération lors de la réalisation de ce travail.

Ainsi, nous remercions Mme BENMAMAR Sâadia la directrice du laboratoire de recherche de science de l'eau pour son soutien.

Nous tenons à remercier les membres du jury d'avoir porté intérêt à ce projet et d'accepter de le juger.

Nous tenons pareillement à remercier l'ensemble des enseignants du département de l'hydraulique pour leur aide et conseil qu'on nous a fourni durant notre formation.

Aussi nous remercions tous nos enseignants de l'Ecole Nationale Polytechnique qui ont contribué à notre construction scientifique pendant toutes ces années d'étude.

Enfin, nous remercions tous nos collègues de la promotion de l'hydraulique 2023 et toute personne qui a contribué à l'aboutissement de ce mémoire de fin d'étude.

Dédicace

Je dédie ce travail,

À mes chers parents, qui ont été mes plus grands soutiens et qui ont toujours su me donner le courage de poursuivre mes rêves. Votre amour inconditionnel et vos sacrifices ont été une source d'inspiration pour moi tout au long de mon parcours scolaire.

À mes grandes sœurs Meriem et Amira, qui ont toujours été présentes avec moi à chaque étape de ce parcours avec leurs encouragements, conseils et soutien moral. Elles m'ont sans cesse guidé et poussé à donner le meilleur de moi-même, je vous en suis reconnaissante à tout ce que vous m'avez appris.

À mes petites sœurs Ikram et Nour El Houda, qui m'ont toujours procuré la joie et le bonheur dans mon quotidien.

À mes beaux-frères Islem et Hicham, pour leur soutien et encouragement.

À mon neveu Adam, qui m'apporte que de la joie.

À tous mes amis de l'École et tous ceux que j'ai connus à travers mon parcours universitaire, vous avez rendu cette expérience inoubliable et très enrichissante.

À toute ma famille.

Enfin, à toutes les personnes qui ont reçu de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire, je vous adresse ma profonde gratitude.

Sarah.

Dédicace

Je dédie ce simple travail à,

Mes compagnons de route et mes soutiens les plus fidèles, mes parents. Je suis très privilégié d'avoir des parents aussi incroyables que vous. Je n'oublierai jamais votre présence et votre soutien dans mes moments difficiles. Je vous remercie d'avoir toujours cru en moi et de me pousser vers l'avant.

Mon frère Wassim et ma sœur Racha, il n'y a pas de mot pour décrire mes sentiments envers vous. Vous êtes plus que frère et sœur vous êtes aussi mes meilleurs amis.

Mon grand-père, Mimi et Mima, ma source d'encouragement et d'inspiration. Votre sagesse et votre présence réconfortante ont illuminé mon parcours et ont laissé une empreinte indélébile dans mon cœur, c'est grâce à vos prières que je suis arrivée où j'en suis. Je vous aime et j'ai de la chance de vous avoir dans ma vie.

À toute la famille "DAHMANE" : ma tante Anissa, mon oncle Hicham et son épouse Tata Rafika sans oublier mes petites chères cousines.

À toute la famille "REGGANE", plus spécialement mon oncle Farid, ma tante Sihem et son époux Djamel ZINET, ma cousine Farida et son époux Rédha ZEMIRLI. Je vous remercie pour votre précieuse aide et vos encouragements que vous m'avez apportés.

Rayane.

Table des matières

Table des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale	15
1 État de l’art sur la comptabilité de l’eau	16
1.1 Introduction	17
1.2 Histoire et origine de la comptabilité de l’eau	17
1.2.1 Agenda 21	17
1.2.2 La gestion intégrée des ressources en eau	17
1.2.3 Agenda 2030 : Feuille de route des ODD	17
1.2.4 La naissance de la notion de la comptabilité de l’eau	19
1.3 Définition de la comptabilité de l’eau	19
1.4 Cadre de base de la comptabilité de l’eau	19
1.5 Les principaux objectifs de la gestion comptable de l’eau :	20
1.6 La télédétection	21
1.6.1 Définition officielle	21
1.6.2 Définition opérationnelle	21
1.6.3 L’implication de la télédétection dans la comptabilité de l’eau	21
1.7 Conclusion	22
2 Présentation de la zone d’étude	23
2.1 Introduction	24
2.2 Information sur la zone d’étude	24
2.2.1 Contexte géographique	24
2.2.2 Contexte géomorphologique	26
2.2.3 Contexte administrative	27
2.2.4 Les paramètres climatiques	28
2.2.5 Contexte hydrographique	29
2.2.6 Contexte physique	31
2.2.7 Occupation du sol	36
2.2.8 Contexte socio-économique	37
2.2.9 Les ressources en eau dans la zone d’étude	39
2.3 Conclusion	41
3 Méthodologie appliquée	42
3.1 Introduction	43
3.2 L’approche rapide	43
3.2.1 La comptabilité rapide de l’eau	43
3.2.2 Plan de la mise en œuvre de la CRE	43
3.2.3 Processus de la CRE	43

3.3	L'approche approfondie	47
3.3.1	La comptabilité de l'eau plus (CE+)	47
3.3.2	Notion de base de la comptabilité de l'eau plus	47
3.3.3	Outils utilisés pour l'élaboration du bilan hydrique de la comptabilité de l'eau plus	48
3.3.4	Bilan hydrique de la comptabilité de l'eau plus	49
3.4	Conclusion	50
4	Analyse de données	51
4.1	Introduction	52
4.2	Présentation des données	52
4.3	Méthodes utilisées pour le comblement des données manquantes	53
4.3.1	Méthode basées sur la corrélation	54
4.3.2	Méthode numérique	56
4.3.3	Le choix de la méthode d'estimation des données manquantes	59
4.4	L'homogénéité des données hydro-pluviométrique	59
4.5	Ajustement des données aux lois statistiques	61
4.5.1	La loi de Gauss	61
4.5.2	La loi de Gumbel	63
4.5.3	Loi de Pearson 3	65
4.5.4	Interprétation	67
4.6	Complétion des observations manquantes pour la période 2012-2022	67
4.6.1	Les données pluviométriques	68
4.6.2	Les données hydrométriques	69
4.6.3	Les données relatives à la température et l'humidité du sol	69
4.7	Conclusion	69
5	Application de la comptabilité de l'eau sur le sous bassin de Oued Cheliff Ghrib	70
5.1	Introduction	71
5.2	Application de l'approche rapide	71
5.2.1	Identification des problèmes liés à la zone d'étude	71
5.2.2	Outil utilisé pour l'organisation des informations	74
5.2.3	Elaboration du bilan hydrique	78
5.2.4	Schéma explicatifs des données à introduire dans le bilan hydrique	85
5.2.5	Résultats du bilan hydrique	86
5.2.6	Interprétation des résultats du bilan hydrique	87
5.3	Application de l'approche approfondie	87
5.3.1	Schéma récapitulatif des données de la comptabilité de l'eau plus	87
5.3.2	Traitement des données de la comptabilité de l'eau plus (CE+)	89
5.3.3	Cartes globales pour catégoriser les classes d'utilisation des sols	94
5.3.4	La différence entre le bilan hydrique horizontale et verticale	97
5.3.5	Le modèle du bilan hydrique du sol (SMWB)	97
5.4	Résultats de la comptabilité de l'eau plus	99
5.4.1	La feuille de base des ressources	99
5.4.2	Les indicateurs clés du bassin	101
5.5	Interprétation des résultats de (CE+)	101
5.5.1	Interprétation de la feuille de base des ressources	101
5.5.2	Interprétation des indicateurs clés	102
5.6	La comparaison entre les deux approches utilisées	102
5.7	Conclusion	103
	Conclusion générale	104

Bibliographie

106

Annexe

107

Table des figures

1.1	Les 17 objectifs du développement durable.	18
1.2	Cibles de l'ODD6 [3].	18
1.3	Les cadres de la comptabilité de l'eau selon les différentes approches.	20
2.1	Carte des grands bassins versants de l'Algérie y compris le grand bassin Cheliff. <i>source de données : A.G.I.R.E</i>	24
2.2	Carte des sous bassins versants du grand bassin Cheliff-Zahrez. <i>source de données : A.G.I.R.E</i>	26
2.3	Carte du découpage administratif du sous bassin versant O.Cheliff Ghrib. <i>source de données : A.G.I.R.E</i>	28
2.4	Superficie de chaque communes incluses dans le sous bassin en pourcentage.	28
2.5	Situation des stations pluviométriques dans le sous bassin du Oued Cheliff Ghrib.	29
2.6	Carte des affluents de l'oued Cheliff dans le sous-bassin Oued Cheliff Ghrib.	30
2.7	Situation des stations hydrométrique dans le sous bassin du Oued Cheliff Ghrib.	30
2.8	Carte géologique interprétative du sous bassin Oued Cheliff Ghrib (Légende Annexe page 107). Source : A.N.R.H 2008	31
2.9	Carte d'indice de végétation NDVI du sous bassin Oued Cheliff Ghrib. <i>Source : données satellitaires du site USGS</i>	33
2.10	Carte des altitudes du sous bassin Oued Cheliff Ghrib (résolution 30 m).	34
2.11	Carte d'occupation du sol du sous bassin Oued Cheliff Ghrib (résolution 10m). <i>Source : Esri Land Use Land Cover (LULC) Monitoring on Demand (année 2022).</i>	36
2.12	Pourcentage de chaque type d'occupation des terres du sous bassin Oued Cheliff Ghrib.	37
3.1	Diagramme de la mise en œuvre de la CRE	43
3.2	Exemple explicatif du tableau RIDA	44
3.3	Exemple d'un diagramme rassemblant tous les flux d'un bassin	44
3.4	Exemple d'un schéma classifiant tous les chemins de flux dans la région du delta	45
3.5	Schéma représentant les différents types de l'utilisation de l'eau	46
3.6	Aperçu de l'interface de la base de données WaPOR	48
3.7	Processus du modèle de bilan SMWB	49
4.1	Emplacement des différentes stations de l'A.N.R.H situées dans le sous bassin Oued Cheliff Ghrib	52
4.2	Test d'anomalie pour la station pluviométrique de GHRIB AMONT	60
4.3	Test d'anomalie pour la station pluviométrique de GHRIB BARRAGE	60
4.4	Test d'anomalie pour la station pluviométrique de ZOUBIRIA MONGORNO	60
4.5	Test d'anomalie pour la station hydrométrique de GHRIB AMONT	61
4.6	Graphique d'ajustement à la lois de Gauss pour la station pluviométrique de GHRIB AMONT	62
4.7	Graphique d'ajustement à la lois de Gauss pour la station pluviométrique de GHRIB BARRAGE	62

4.8	Graphique d'ajustement à la lois de Gauss pour la station pluviométrique de ZOUBIRIA MONGORNO	62
4.9	Graphique d'ajustement à la lois de Gauss pour la station hydrométrique de GHRIB AMONT	63
4.10	Graphique d'ajustement à la lois de Gumbel pour la station pluviométrique de GHRIB AMONT	64
4.11	Graphique d'ajustement à la lois de Gumbel pour la station pluviométrique de GHRIB BARRAGE	64
4.12	Graphique d'ajustement à la lois de Gumbel pour la station pluviométrique de ZOUBIRIA MONGORNO	65
4.13	Graphique d'ajustement à la lois de Gumbel pour la station hydrométrique de GHRIB AMONT	65
4.14	Graphique d'ajustement à la lois de Pearson 3 pour la station pluviométrique de GHRIB AMONT	66
4.15	Graphique d'ajustement à la lois de Pearson 3 pour la station pluviométrique de GHRIB BARRAGE	66
4.16	Graphique d'ajustement à la lois de Pearson 3 pour la station pluviométrique de ZOUBIRIA MONGORNO	67
4.17	Graphique d'ajustement à la lois de Pearson 3 pour la station hydrométrique de GHRIB AMONT	67
4.18	Interface de la plateforme Climate Engine.org.	68
4.19	Précipitation moyenne interannuelle période (1981-2012).	69
5.1	Variation annuelle des lames d'eau précipitées sur le bassin de Ghrib période (2012-2022)	71
5.2	Carte de situation de la réserve souterraine du bassin de Ghrib. Source :ANRH	72
5.3	Ouvrage hydraulique destinés à l'irrigation dans le sous bassin de Ghrib année (2021).	72
5.4	Variation de l'apport moyen annuel de Oued Cheliff période (2012-2022)	73
5.5	Carte de la qualité minérale des eaux superficielles Source :PNE 2015	73
5.6	Évolution de la population dans le sous bassin Ghrib durant la période (2012-2022)	74
5.7	Étiquettes représentant les différentes données d'entrées et de sorties du sous bassin Ghrib.	75
5.8	Classification de l'utilisation et des chemins de flux dans le bassin de Oued Cheliff Ghrib	76
5.9	Exemple d'utilisation de la plateforme Climate Engine pour extraire les données de précipitations relatives à la station Ghrib barrage	78
5.10	Zone d'influence de chaque pluviomètre fait par la méthode de Thiessen à l'aide de QGIS.	79
5.11	Carte des différents transferts et des sources d'adduction en eau potable dans la zone d'étude. Source de donnée : AGIRE	80
5.12	Carte des ouvrages (puits, forages et sources) destinés à l'irrigation dans la zone d'étude. Source de donnée :AGIRE	81
5.13	Comparaison des résultats de l'ETP obtenus par les trois méthodes de calcul. . .	83
5.14	Diagramme explicatif du bilan hydrique	85
5.15	Schéma récapitulatif de la CE+.	88
5.16	Précipitation annuelle Wapor (mm/an) du sous bassin Oued Cheliff Ghrib. . . .	89
5.17	Précipitations mensuelles Wapor (mm/mois) période de 2012-2022 du sous bassin Oued Cheliff Ghrib.	90
5.18	Précipitations annuelles Wapor (mm/an) période de 2012-2022 du sous bassin Oued Cheliff Ghrib.	90

5.19	Actuelle évapotranspiration Wapor (mm/an) du sous bassin Oued Cheliff Ghrib.	91
5.20	Evapotranspiration annuelles totales Wapor (mm/an) du sous bassin de Oued Cheliff Ghrib pour la période 2012-2022	92
5.21	Evapotranspiration moyenne mensuelle Wapor (mm/mois) du sous bassin de Oued Cheliff Ghrib pour la période (2012-2022).	92
5.22	P-ETP annuelle Wapor (mm/an) du sous bassin Oued Cheliff Ghrib	93
5.23	Carte d'occupation du sol Wapor du bassin de Ghrib, niveau de résolution 250 m.	94
5.24	Catégorie d'utilisation des terres du sous bassin Oued Cheliff Ghrib durant l'année 2017.	95
5.25	Catégorie d'utilisation des terres du sous bassin Oued Cheliff Ghrib durant l'année 2022.	95
5.26	Pourcentage de chaque type de catégorie d'utilisation des terres du sous bassin durant l'année 2017	96
5.27	Pourcentage de chaque type de catégorie d'utilisation des terres du sous bassin durant l'année 2022	96
5.28	Analyse à l'échelle du pixel (model WaterPix).	97
5.29	Schéma explicative du calcul de l'humidité du sol par le modèle SWMB.	98
5.30	Paramètres du calibrage du modèle du bilan hydrique vertical	99
5.31	Comparaison entre le débit simulé et le débit observé	99
5.32	Feuille de base des ressources année 2012.	100
5.33	Feuille de base des ressources année 2022.	100
5.34	Comparaison des valeurs du déstockage des deux approches (rapide et approfondie) des 10 dernières années	102

Liste des tableaux

1.1	Exemple de programmes mondiaux pour le partage de données par télédétection	21
2.1	Nom des sous bassins versant avec leurs code et superficie.	25
2.2	Nom des communes incluses dans la zone d'étude	27
2.3	Précipitations moyennes mensuelles interannuelles de l'année (1981-2012) des 3 stations pluviométriques de l'ANRH.	29
2.4	Caractéristiques morphométriques du bassin de Oued Cheliff Ghrib.	36
2.5	Nombre d'habitants dans le sous bassin Ghrib par commune	37
2.6	Surface agricole utile par commune. Source de donnée :MRE	38
2.7	Situation du barrage de Ghrib. Source de donnée :AGIRE	39
2.8	Situation des retenues collinaires dans le sous bassin Ghrib. Source de donnée : AGIRE	40
2.9	Situation des stations d'épurations dans le sous bassin Ghrib. Source de donnée : AGIRE	40
2.10	État de l'assainissement des communes du sous bassin Ghrib année 2022. Source de donnée : ONA	41
3.1	Classification des terres selon leurs utilisation [6].	47
4.1	Caractéristiques des stations de mesure	53
4.2	Données pluviométriques manquantes des différentes stations pluviométriques.	53
4.3	Données hydrométriques manquantes de la station GHRIB AMONT	53
4.4	Valeurs des coefficients de corrélation quadratique r^2 entre chaque deux stations de mesures	55
4.5	Comblement de lacunes mensuelles de la station Zoubiria Mongorno en utilisant les données de la station de Médea	55
4.6	Comblement de lacunes mensuelles de la station Ghrib barrage en utilisant les données de la station Ghrib amont	55
4.7	Comblement de lacunes mensuelles de la station Ghrib amont en utilisant les données de la station Ghrib BGE	56
4.8	Comblement de lacunes mensuelles de la station de Zoubiria Mongorno	56
4.9	Comblement de lacunes mensuelles de la station Ghrib barrage	57
4.10	Comblement de lacunes mensuelles de la station Ghrib amont	57
4.11	Inertie expliquée cumulée des composantes principales de l'ACP pour les stations pluviométriques	57
4.12	Précipitation moyenne mensuelle interannuelle(1976-2012) des trois stations pluviométriques	58
4.13	Apport moyen (Hm3) mensuelle interannuelle (1976-1996) de la station hydrométrique.	58
4.14	Inertie expliquée cumulée des composantes principale de l'ACP pour la station hydrométrique	59
5.1	Tableau R.I.D.A du sous bassin de Oued Chélif Ghrib	74

5.2	Analyse fractionnaire du sous bassin de Oued Cheliff Ghrib.	77
5.3	Superficie associé à chaque station de mesure dans le bassin de Ghrib	79
5.4	Transfert interrégionaux pour usage AEP et industriel. Source de donnée : AGIRE	80
5.5	Bilan hydrique total des années 2012 et 2022.	86
5.6	(P-ETP) moyenne annuelle du sous bassin de Ghrib	93
5.7	Les indicateurs clés du sous bassin de Ghrib	101
5.8	Les limites des deux approches utilisées pour faire le bilan hydrique de la zone d'étude.	103

Liste des abréviations

- ACP** Analyse en Composantes Principales
- AGIRE** Agence nationale de la Gestion Intégrée des Ressources en eau
- ANRH** Agence Nationale des Ressources Hydriques
- AWAS** Modèle de la comptabilité de l'eau standard de l'Australie
- CE+** Comptabilité de l'Eau Plus
- CFSR** Réanalyse du système de prévision climatique
- CRE** Comptabilité Rapide de l'Eau
- DRI** Institut de recherche sur le désert
- FAO** Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
- FAO aquastat** Système d'information mondial de la FAO sur l'eau et l'agriculture
- IHE Delft** Institut international des sciences de l'eau et de l'environnement situé à Delft
- LCC** Catégories d'utilisation des terres
- LU** Occupation du sol
- MLU** Catégorie des Terres modifiées
- MRE** Ministère des ressources en eau
- MWU** Catégorie des terres gérées
- NCEP** Centre nationale de prévision environnementale
- NDVI** Indice de végétation par différence normalisée
- NIDIS** Système national intégré d'information sur la sécheresse
- NOAA** Administration nationale des océans et de l'atmosphère
- ODD** Objectif du Développement Durable
- ONM** Office Nationale de Météorologie
- PLU** Catégorie des Terres protégées
- PNE** Plan Nationale de l'Eau
- Q_{bf}** Débit de base
- Q_{perc}** Débit percolé
- Q_{SR0}** Débit ruisselé
- Q_{supply}** Débit d'approvisionnement
- Q_{tr}** Débit total ruisselé
- RIDA** Ressources Infrastructures Demandes Accès
- SEEA-Water** Système Environnemental et Economique pour la comptabilité de l'eau
- SMWB** Modèle du bilan hydrique du sol
- ULU** Catégorie des Terres utiles
- USGS** Institut d'études géologiques des États-Unis
- WaPOR** Le portail de la FAO pour surveiller la productivité de l'eau

Introduction générale

L'eau (ou bleu) est une ressource indispensable à la survie de tout être vivant sur terre. Dans le but de gérer efficacement cette ressource, les pratiques de mesures quantitatives et qualitatives des flux d'eau deviennent nécessaires. La comptabilité de l'eau comme son nom l'indique fait référence à ces pratiques d'évaluation de la ressource, cette notion a été développée par plusieurs organismes mondiaux, notamment la FAO dans le cadre de la gestion intégrée des ressources en eau.

Dans les pays semi-arides dont l'Algérie fait partie, le phénomène de sécheresse s'accroît de plus en plus, afin d'assurer la sécurité hydrique pour la population actuelle sans compromettre la disponibilité de la ressource pour les générations futures, une gestion efficace des ressources en eau est primordiale pour faire face à ce danger. La comptabilité de l'eau permet d'identifier les secteurs consommateurs où il est possible de réaliser des économies d'eau et en surveillant d'une manière régulière les flux d'eau, il sera possible d'anticiper les problèmes potentiels liés à la sécurité hydrique, comme : les pénuries d'eau et le changement climatique.

Le concept de comptabilité de l'eau repose sur l'argument selon lequel la connaissance de l'état actuel des ressources en eau, de la capacité et de l'état des infrastructures d'approvisionnement en eau et des tendances de la demande et de l'utilisation de l'eau est une condition préalable à une gestion efficace de l'eau.

L'élaboration d'un bilan hydrique se porte opportun à la compréhension des perspectives de la disponibilité de l'eau pour mieux gérer cette dernière. Cependant diverses approches de la comptabilité de l'eau ont été développées pour fournir des informations clés sur l'entrée et la sortie des flux d'eau dans un domaine défini. Les méthodologies adoptées pour notre étude se divisent en deux approches. L'approche rapide produit le premier cycle de la comptabilité de l'eau axé sur les problèmes et les opportunités, le deuxième cycle appelé comptabilité de l'eau plus fondé principalement sur des données de télédétection et fournit un aperçu général sur les débits d'eau.

Le premier chapitre porte sur la compréhension générale du concept de la comptabilité de l'eau, son origine et ses principaux objectifs.

Le deuxième chapitre fournit une présentation de la zone d'étude en s'appuyant sur des informations géographiques, administratives, climatiques, hydrographiques et physiques liées au bassin d'étude. Ainsi que les ressources en eau disponibles dans ce dernier.

Le troisième chapitre présente les différentes méthodologies de la comptabilité de l'eau appliquées à notre étude.

Le quatrième chapitre fournit une analyse de données détaillée ainsi que les divers problèmes rencontrés à leur disponibilité et comment y remédier.

Le dernier chapitre porte sur la mise en application de la comptabilité de l'eau selon ses deux approches et la présentation des résultats obtenus.

Chapitre 1

État de l'art sur la comptabilité de l'eau

1.1 Introduction

L'eau a été comptée et évaluée statistiquement pendant de nombreuses décennies dans une variété de situations allant de la station de jaugeage d'un hydrologue au compteur d'eau d'un ménage économe.

D'après les multiples problèmes liés à l'eau que nous vivons ces dernières années, il apparaît opportun de mesurer ce que nous offre la nature en termes de ressource en eau, ce que nous prenons nous-mêmes et quels effets nous produisons sur cette ressource.

Dans le présent chapitre, nous allons décrire la genèse de la comptabilité de l'eau, les méthodologies qui l'évaluent et les objectifs qui peuvent être atteints moyennant sa mise en œuvre opérationnelle. A la fin nous aborderons la notion de la télédétection et son implication lors de l'application de la comptabilité de l'eau.

1.2 Histoire et origine de la comptabilité de l'eau

En juin 1992, 189 pays ainsi que 120 chefs d'États et de gouvernements se sont réunis à Rio de Janeiro au Brésil pour assister à **la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement**, plus connue sous le nom de sommet de Rio. Cette conférence était marquée par l'adoption d'un texte fondateur de 27 principes, intitulé "Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement" qui met en lumière la notion de développement durable.

1.2.1 Agenda 21

Afin d'appliquer les principes de la déclaration citée précédemment un programme d'action nommé Agenda 21 a été mis en œuvre. Le préambule du texte indique que cet agenda est venu pour aborder les problèmes urgents durant cette période et cherche aussi à préparer le monde aux tâches qui l'attendent au cours du siècle prochain. De plus, cet agenda a également donné naissance à la notion de la gestion intégrée des ressources en eau, cette dernière apparaît comme une problématique centrale devant être prise en compte par ce programme.

1.2.2 La gestion intégrée des ressources en eau

Par définition, la gestion intégrée des ressources en eau est un processus qui favorise le développement et la gestion coordonnés de l'eau, des terres et des ressources connexes, en vue de maximiser, de manière équitable, le bien-être économique et social en résultant, sans pour autant compromettre la pérennité d'écosystèmes vitaux [1].

1.2.3 Agenda 2030 : Feuille de route des ODD

Pour répondre aux défis communs autour des trois dimensions du développement durable, l'Agenda 2030 a été élaboré par les États membres de l'ONU en 2015. Ce programme d'actions universel est composé de 17 objectifs de développement durable (ODD), déclinés en 169 cibles. L'Agenda 2030 apporte un cadre de référence pour les territoires désirant initier la transition vers des pratiques plus durables. Il offre un langage commun pour favoriser les partenariats [2].

OBJECTIFS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE



FIGURE 1.1 – Les 17 objectifs du développement durable.

Eau propre et assainissement (ODD 6)

vise un accès universel et équitable à l'eau potable, à l'hygiène et à l'assainissement d'ici 2030, en particulier pour les populations vulnérables. Il appelle également à une gestion durable de cette ressource, et mentionne la réduction du nombre de personnes souffrant de la rareté de l'eau. Cet objectif intègre la notion de gestion transfrontalière de cette ressource, essentielle à la gestion durable mais aussi favorable à la paix et à la coopération.

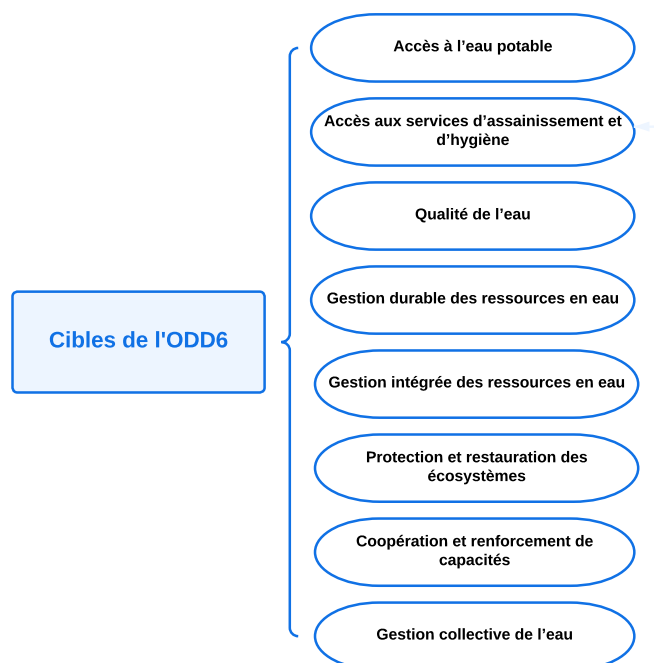


FIGURE 1.2 – Cibles de l'ODD6 [3].

1.2.4 La naissance de la notion de la comptabilité de l'eau

Cette notion a été déployée durant cette dernière décennie suite aux défis mondiaux liés à l'eau, et elle a été adoptée par plusieurs organisations mondiales nous citons à titre d'exemple : la F.A.O (Food and Agriculture Organization) pour développer une méthodologie générique qui permet une meilleure utilisation des informations sur l'eau. Afin de pouvoir élaborer un ajustement adéquat des stratégies d'adaptation avec les contextes biophysique et social lié à chaque région faisant un objet d'étude.

La comptabilité de l'eau est un outil qui permet de promouvoir l'efficacité, la transparence et l'implication des différents acteurs à la gestion rationnelle de cette ressource, ceci est considéré comme un enjeu principal de la gestion intégrée des ressources en eau.

D'une manière générale, la comptabilité de l'eau est venue pour soutenir les objectifs de l'ODD 6 afin d'améliorer la sécurité hydrique dans des conditions où la rareté de l'eau s'intensifie de plus en plus.

1.3 Définition de la comptabilité de l'eau

La comptabilité de l'eau peut être définie comme étant l'acquisition, l'analyse et la communication systémiques de données et des informations relatives aux stocks et aux flux d'eau dans des environnements naturels, perturbés ou fortement aménagés dans un domaine géographique [4].

La comptabilité de l'eau s'est développée à partir de trois perspectives principales soit l'hydrologie, la technique, le suivi et l'évaluation [5].

Perspective hydrologique

Elle s'appuie fermement sur la compréhension des processus physiques régissant les volumes et taux des flux, écoulements et stocks d'eau dans divers paysages et/ou différents régimes de gestion ou conditions agroclimatiques.

Perspective technique

Elle est essentiellement axée sur la conception, la construction et l'exploitation des structures de stockage, systèmes de transfert massif, champs de captage, aménagements d'irrigation et de drainage, systèmes municipaux de distribution d'eau et stations d'épuration.

perspective du suivi et de l'évaluation

est axée sur l'utilisation de la comptabilité de l'eau pour appuyer ou renforcer les décisions de gestion ou comme moyen d'apprentissage ou d'amélioration progressive des politiques et pratiques concernant les deux aspects de l'approvisionnement et de la demande.

1.4 Cadre de base de la comptabilité de l'eau

Les cadres de base de la comptabilité de l'eau varient d'un pays à l'autre en fonction des politiques, réglementations et peuvent être spécifiques à chaque système de gestion de l'eau. Cependant, il existe divers cadres de comptabilité de l'eau selon différents aspects de comptabilité.

La comptabilité de flux : est principalement basée sur le suivi des flux réels de l'eau des cours d'eau et des aquifères.

Elle comprends les cadres de comptabilité suivantes :

- SEEA-Water (système environnemental et économique pour la comptabilité de l'eau) : Ce cadre a été conçu pour relier les informations économiques aux informations hydrologiques afin de fournir aux utilisateurs un outil d'analyse intégrée. Il adopte la perspective de l'économie et examine l'interaction de l'économie avec le système hydrologique.

- AWAS (le modèle de la comptabilité de l'eau standard de l'Australie) :
Il représente le modèle adoptée par l'Australie pour appliquer la comptabilité de l'eau.
- FAO Aquastat (Système d'information mondial de la FAO sur l'eau et l'agriculture) :
C'est le système mondial d'information de la FAO sur les ressources en eau et la gestion de l'eau agricole. Il collecte, analyse et fournit un accès gratuit à plus de 180 variables et indicateurs par pays à partir de 1960. Aquastat s'appuie sur les capacités et les compétences nationales en mettant l'accent sur l'Afrique, le Proche-Orient, les pays de l'Union soviétique, l'Asie, l'Amérique latine et les Caraïbes.

La comptabilité de l'exploitation des ressources : elle englobe l'utilisation consommatrice qui débute à partir des précipitations et ne suit que la consommation nette de l'eau.

- IWMI (institut international de la gestion de l'eau)
Il conseille les partenaires du développement et les secteurs public et privé sur tous les aspects de la disponibilité et de l'utilisation des ressources en eau grâce à une variété de produits et d'outils de modélisation avancée et de télédétection, notamment Water Accounting, la cartographie de l'irrigation solaire et l'internet des objets.

La comptabilité mixte : elle regroupe la comptabilité des flux et celle de l'exploitation des ressources.

- C.E+ (comptabilité de l'eau plus)
C'est un système normalisé de rapport sur l'état de ressources en eau dans un bassins versants, y compris l'hydrologie, la gestion de l'eau, l'utilisation des terres et les services liés à l'utilisation consommatrice [6].

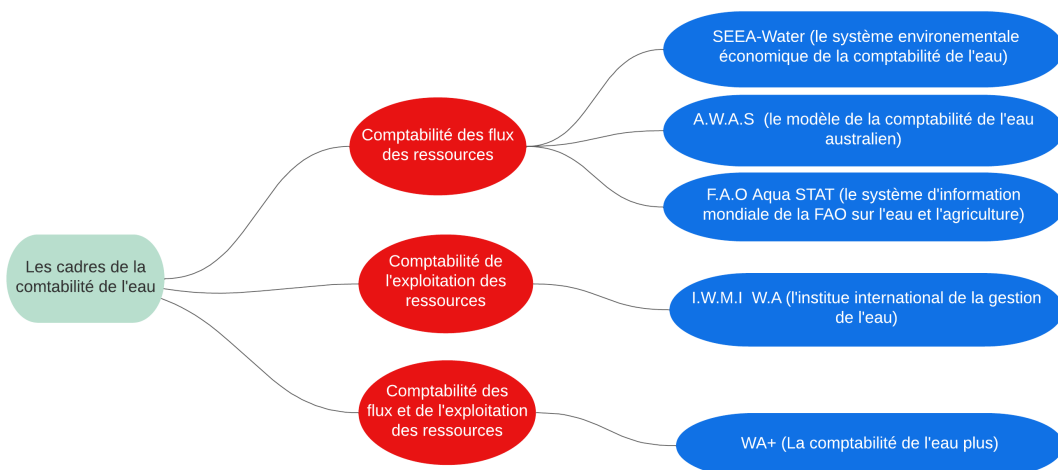


FIGURE 1.3 – Les cadres de la comptabilité de l'eau selon les différentes approches.

1.5 Les principaux objectifs de la gestion comptable de l'eau :

La comptabilité de l'eau offre une base scientifique solide pour le développement de stratégies éclairées et fondées sur des données probantes, la prise de décisions opérationnelles et la mise en place de programmes ciblés de communication ou sensibilisation [7].

Les principaux objectifs de la comptabilité de l'eau selon [5] peuvent être résumés comme suit :

- L'élaboration d'une description quantitative et qualitative de l'état actuel et des tendances de l'approvisionnement, de la demande, de l'accessibilité et de l'utilisation de l'eau.
- La détermination des principales causes des problèmes liés aux déséquilibres entre approvisionnement en eau et demande.
- L'évaluation de la résilience du domaine d'étude aux événements extrêmes, tels que : la rareté de l'eau, le changement climatique et la progression démographique.

- L'évaluation de la probabilité de risques d'événements extrêmes et leur échelle (ex : inondations, sécheresses, pollution par des contaminants naturels ou anthropogéniques) dans le domaine étudié.
- La réalisation des 17 ODD relatifs à la croissance économique, la réduction de la pauvreté et la protection de l'environnement.

1.6 La télédétection

1.6.1 Définition officielle

La télédétection est l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci [8].

1.6.2 Définition opérationnelle

D'après le site web du centre canadien de télédétection, la notion de télédétection est définie comme étant l'ensemble des techniques qui permettent, par l'acquisition d'images, d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre (y compris l'atmosphère et les océans), sans contact direct avec celle-ci. La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et analyser l'information qu'il représente, pour ensuite mettre en application cette information [8].

1.6.3 L'implication de la télédétection dans la comptabilité de l'eau

La comptabilité de l'eau est un outil fondé sur l'acquisition systématique des données et des informations probantes liées à l'eau. Le plus souvent ces informations et données seront interdisciplinaires et proviendront d'un vaste éventail de sources indépendantes. Ces sources peuvent être des plateformes qui fournissent des données de télédétection et aussi des organismes nationaux qui fournissent des données in-situ propres à la zone d'étude.

Il existe plusieurs sources indépendantes d'information, voici le tableau ci-dessous qui représente des exemples de programmes mondiaux pour l'harmonisation, la production et le partage des données de télédétection [5].

TABLEAU 1.1 – Exemple de programmes mondiaux pour le partage de données par télédétection

Programme	Objectif lié aux terres et eaux	URL
AQUASTAT (FAO)	Système mondial d'information sur les ressources en eau, les utilisations de l'eau et la gestion des eaux agricoles, axé plus particulièrement sur les pays d'Afrique, d'Asie, d'Amérique latine et des Caraïbes	www.fao.org/nr/aquastat
FAOSTAT	La plus grande source mondiale de données sur l'agriculture, avec plus d'un million de séries chronologiques	faostat.fao.org

Water Accounting Plus	Plate-forme permettant d'héberger et partager l'approche Water Accounting Plus (WA+) développée par l'UNESCO-IHE, l'IWM et la FAO. La page des sources de données fournit des liens à des ensembles de données du domaine public	www.wateraccounting.org
WaPOR	Portail développé par la FAO contrôler la productivité de l'eau en travers un site en libre accès de données dérivées de la télédétection	https://wapor.apps.fao.org/home/WAPOR

1.7 Conclusion

La comptabilité de l'eau contribue de façon pertinente à améliorer la gouvernance et la transparence des allocations de l'eau dans une unité hydrologique en fournissant les informations nécessaires à l'appui de la gestion de l'eau, qui permet aux parties prenantes d'inciter les décideurs politiques à adopter des solutions durables.

La manière dont l'eau est gérée dans la majorité des bassins hydrographiques en Algérie détermine l'utilité et la nécessité de l'application des approches de la comptabilité de l'eau sur ces dernières.

Chapitre 2

Présentation de la zone d'étude

2.1 Introduction

Dans le cadre d'application de la comptabilité de l'eau, une région d'étude nous a été affectée par l'agence nationale de la gestion intégrée des ressources en eau. Pour pouvoir faire une analyse comptable représentative, il est nécessaire de recueillir une multitude de données d'entrées cohérentes et harmonieuses relative à la zone faisant l'objet d'étude, ces données peuvent inclure les données démographiques de la région, les données climatiques telles que les précipitations, les températures et l'évapotranspiration, des informations sur les ressources en eau superficielles et souterraines... A travers ce chapitre, nous allons faire une description générale et une analyse détaillée du site choisi.

2.2 Information sur la zone d'étude

2.2.1 Contexte géographique

Le sous bassin versant de l'Oued Cheliff Ghrif fait partie du grand bassin hydrographique Cheliff-Zahrez qui s'étend sur une superficie de 43760 Km² et qui se trouve au Nord de l'Algérie dans la région Centre Ouest.

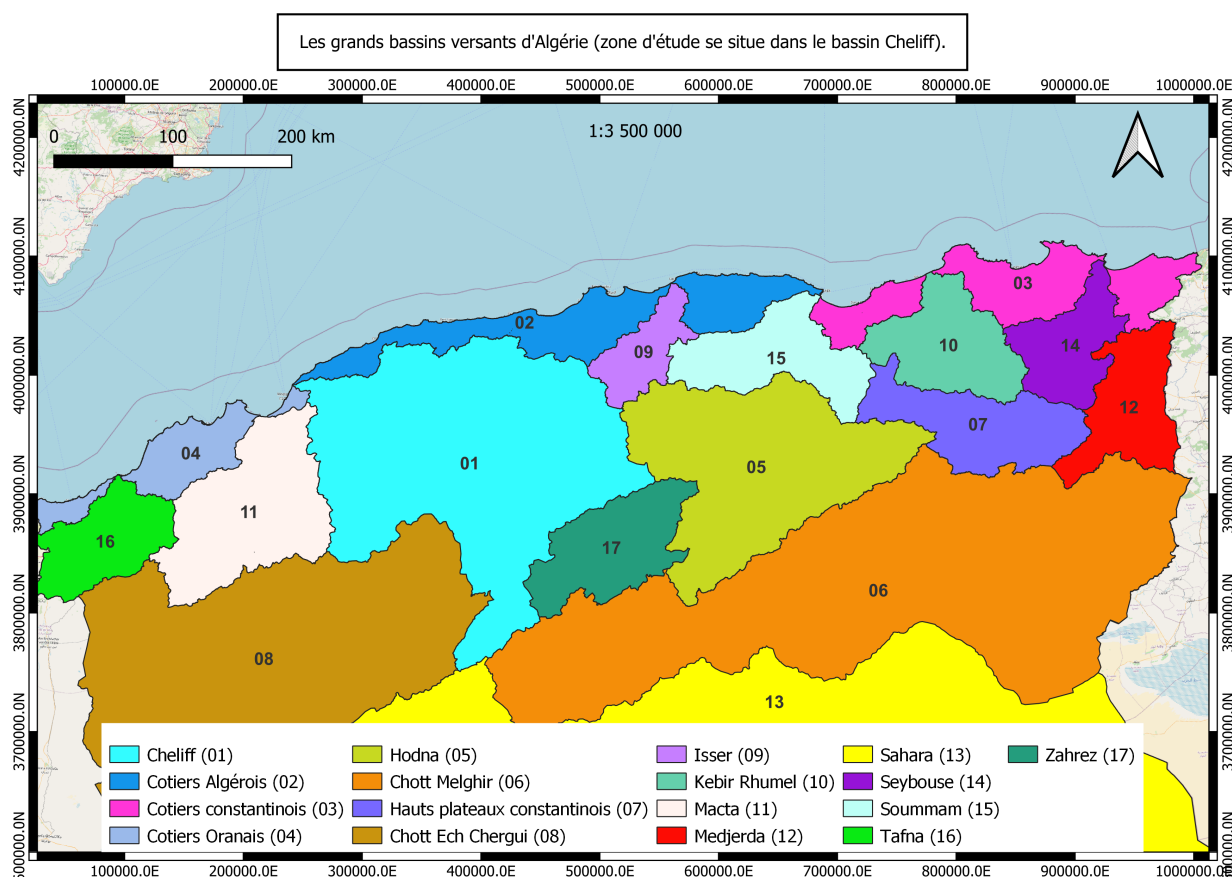


FIGURE 2.1 – Carte des grands bassins versants de l'Algérie y compris le grand bassin Cheliff.
source de données : A.G.I.R.E

Le bassin versant du haut, moyen et bas Cheliff est compartimentée naturellement en 36 sous bassin versant.

TABLEAU 2.1 – Nom des sous bassins versant avec leurs code et superficie.

N°	Nom du sous bassin	Code A.N.R.H	Superficie en Km ²
1	Oued Sebgag Berkana	0101	777
2	Oued Namouss Chelal	0102	1733
3	Oued Touil Amont	0103	689
4	Oued Sakni	0104	1674
5	Oued Touil Moyen	0105	1609
6	Oued Touil Aval	0106	1749
7	Oued Sousselem	0107	3003
8	Oued Mechti Zerga	0108	1055
9	Oued Ouassel Amont	0109	626
10	Oued Ouassel Moyen	0110	1621
11	Daïa el Firania	0111	2352
12	Daia Boughzoul	0112	2816
13	Oued Cheliff Djelil	0113	1012
14	Oued Cheliff Ghrib	0114	1372
15	Oued Cheliff Harbil	0115	774
16	Oued Deurdeur	0116	850
17	Oued Cheliff Harrezzal	0117	756
18	Oued Ebda	0118	660
19	Oued Rouina Zeddine	0119	891
20	Oued Cheliff Tikazale	0120	588
21	Oued Fodda	0121	1153
22	Oued Ras Ouahrane	0122	1438
23	Oued Sly	0123	1404
24	Oued Cheliff Ouarzane	0124	575
25	Oued Riou Tiguiguest	0125	1617
26	Oued Riou Tleta	0126	784
27	Oued Djidiouia	0127	840
28	Oued Cheliff Tarhia	0128	773
29	Oued Mina Amont	0129	1327
30	Oued Taht	0130	772
31	Oued Mina Moyenne	0131	737

N°	Nom du sous bassin	Code A.N.R.H	Superficie en Km ²
32	Oued Abd Amont	0132	1499
33	Oued Abd Aval	0133	1069
34	Oued Mina Haddas	0134	1241
35	Oued Mina Aval	0135	1426
36	Oued Cheliff Maritime	0136	496

Notre zone d'étude porte sur le sous bassin versant de l'Oued Cheliff-Ghrib qui draine une superficie de 1372 Km². Il se situe à environ 90 Km au sud-ouest d'Alger, entre 35° 54' et 36° 5' de latitude nord et entre 2° 23' et 3° 5' de longitude est. L'Oued Cheliff parcourt une distance de 77.720 km dans le bassin d'étude suivant une orientation Nord-Ouest.

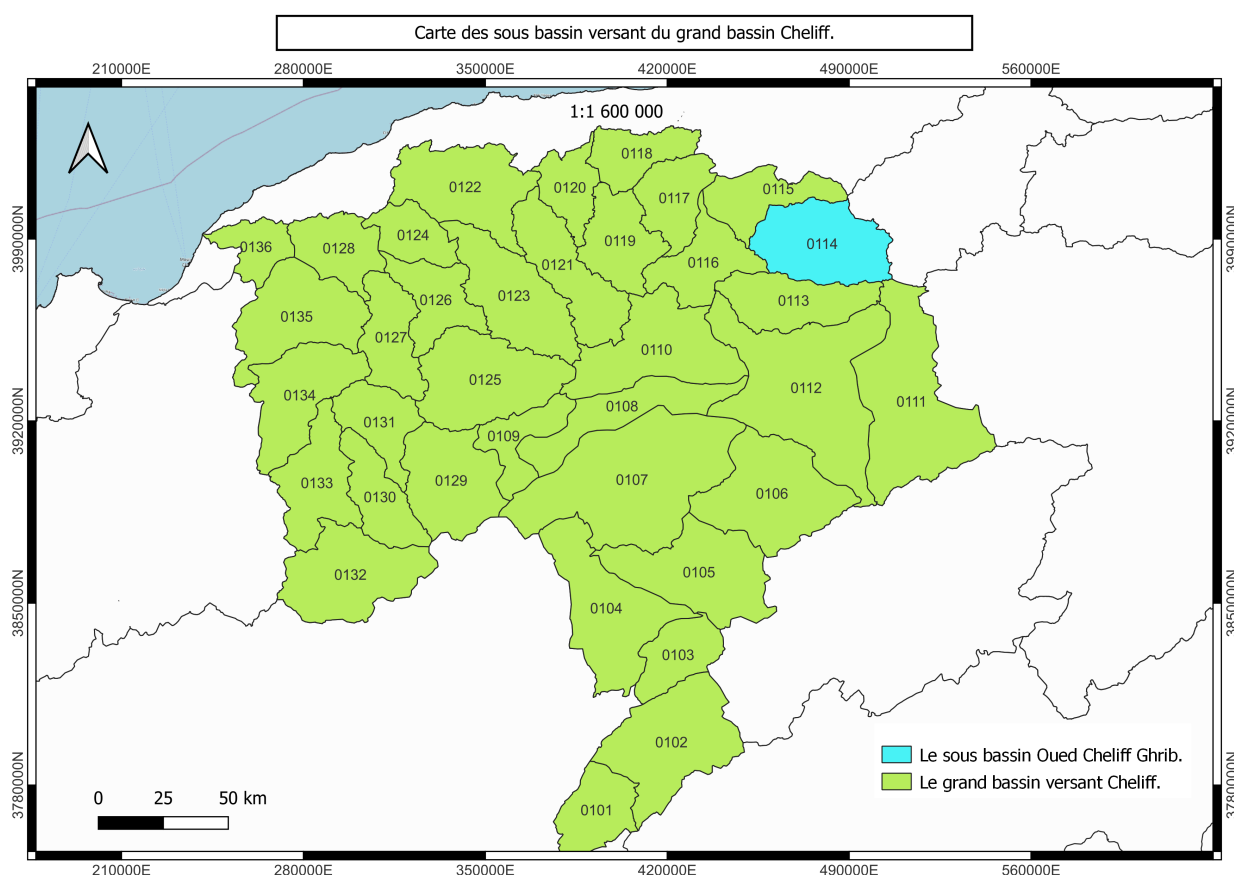


FIGURE 2.2 – Carte des sous bassins versants du grand bassin Cheliff-Zahrez.

source de données : A.G.I.R.E

2.2.2 Contexte géomorphologique

La région d'étude est limitée par les petits chaînons montagneux du massif côtier Dahra qui s'étend sur une centaine de kilomètres d'Est en Ouest, le massif Ouarsenis au centre qui fait partie des chaînes l'Atlas Tellien, traversé par l'Oued Cheliff, ce dernier prend sa source dans l'Atlas Saharien et se jette en méditerranée en contournant l'Ouarsenis.

2.2.3 Contexte administrative

Sur le plan administratif, le sous bassin O.Cheliff Ghrib couvre 23 communes dont :

- 2 communes de la Wilaya de Ain Defla.
- 21 communes de la Wilaya de Médéa.

TABLEAU 2.2 – Nom des communes incluses dans la zone d'étude .

N°	Wilaya	Communes
1	AIN DEFLA	OUED CHORFA
2	AIN DEFLA	BARBOUCHE
3	MEDEA	TIZI MAHDI
4	MEDEA	BEN CHICAO
5	MEDEA	HANNACHA
6	MEDEA	BERROUAGHIA
7	MEDEA	BOUAICHOUNE
8	MEDEA	SI MAHDJOUBI
9	MEDEA	OULED DEIDE
10	MEDEA	OULED BOUACHRA
11	MEDEA	ZOUBIRIA
12	MEDEA	OULED HELLAL
13	MEDEA	REBAIA
14	MEDEA	TLATET ED DOUAIR
15	MEDEA	OULED ANTAR
16	MEDEA	SEGHOUANE
17	MEDEA	BOUGHAR
18	MEDEA	MOUDJEBEUR
19	MEDEA	AIN BOUCIF
20	MEDEA	MFATHA
21	MEDEA	OULED MAAREF
22	MEDEA	KSAR EL BOUKHARI
23	MEDEA	EL AOUINET

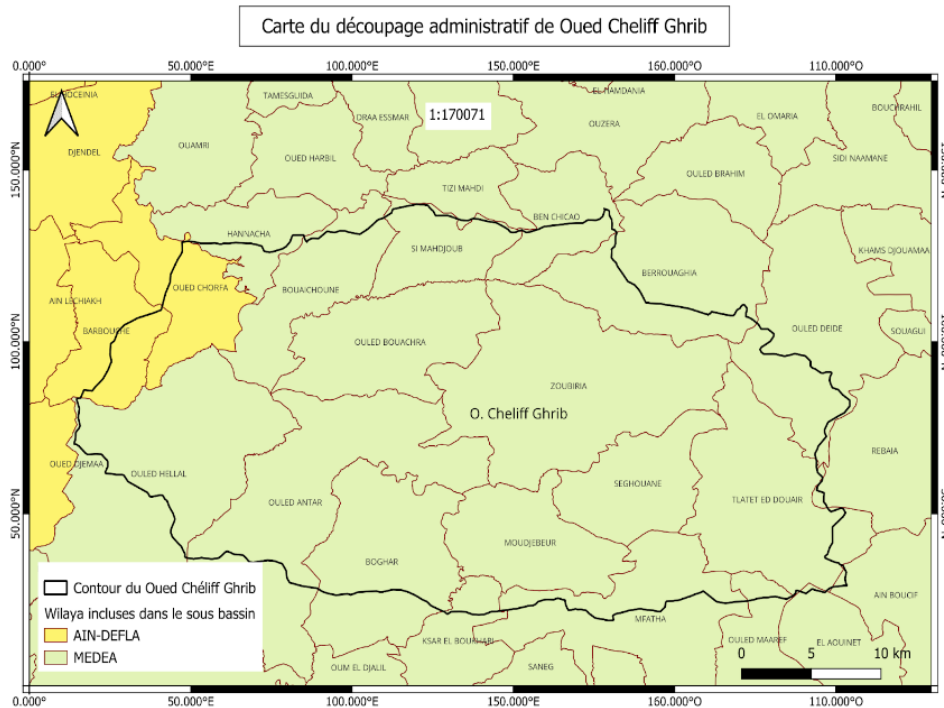


FIGURE 2.3 – Carte du découpage administratif du sous bassin versant O.Cheliff Ghib.
source de données : A.G.I.R.E

Nous présentons dans le diagramme suivant le pourcentage des superficies des différentes communes incluses dans la zone d'étude.

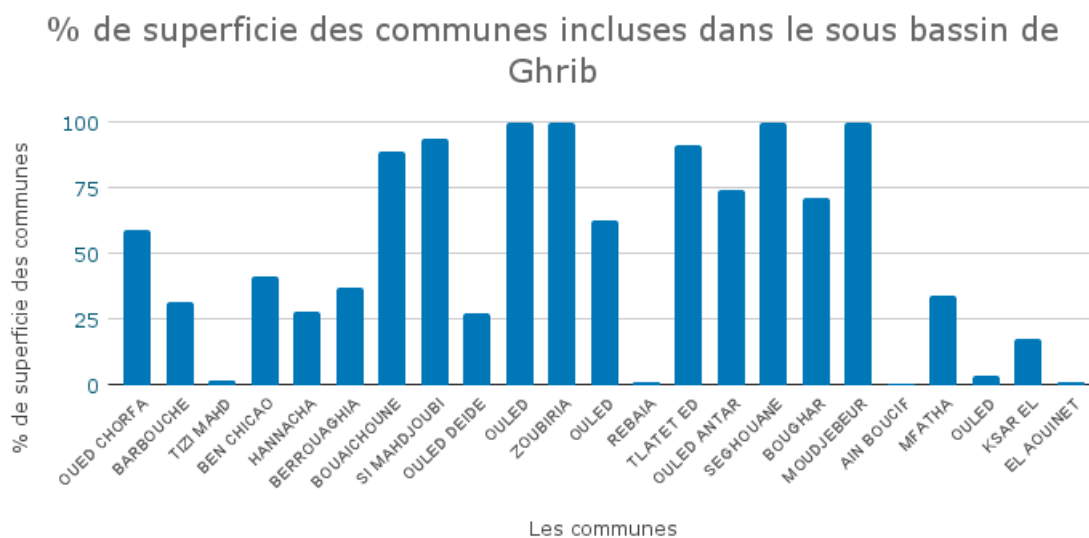


FIGURE 2.4 – Superficie de chaque communes incluses dans le sous bassin en pourcentage.

2.2.4 Les paramètres climatiques

La température

Le sous bassin de Oued Cheliff Ghib est caractérisé par une température moyenne inter-annuelle oscillant de 13 à 15 °C, avec un maximum mensuel de plus de 26 °C enregistré au mois de juillet, et un minimum mensuel de 4,6 °C au mois de janvier.

Les précipitations

Il y a 5 stations pluviométriques dont deux sont gérées par l'Office Nationale de Météorologie (O.N.M) et trois sont gérées par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H). Nous avons pu récupérer les données pluviométriques des 3 stations de l'A.N.R.H dont leurs moyenne mensuelle inter-annuelle est présentées dans le tableau suivant :

TABLEAU 2.3 – Précipitations moyennes mensuelles interannuelles de l'année (1981-2012) des 3 stations pluviométriques de l'ANRH.

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Station Zoubiria Mon-gorno	67,87	64,87	50,05	50,69	40,20	9,41	3,94	11,42	24,54	42,86	68,72	66,59
Station Ghrib Barrage	64,95	62,53	45,51	42,42	33,66	7,81	5,56	6,06	22,13	38,83	59,82	65,70
Station Ghrib Amont	66,13	54,67	48,12	54,68	40,18	5,98	4,78	4,65	23,23	39,68	62,64	69,30

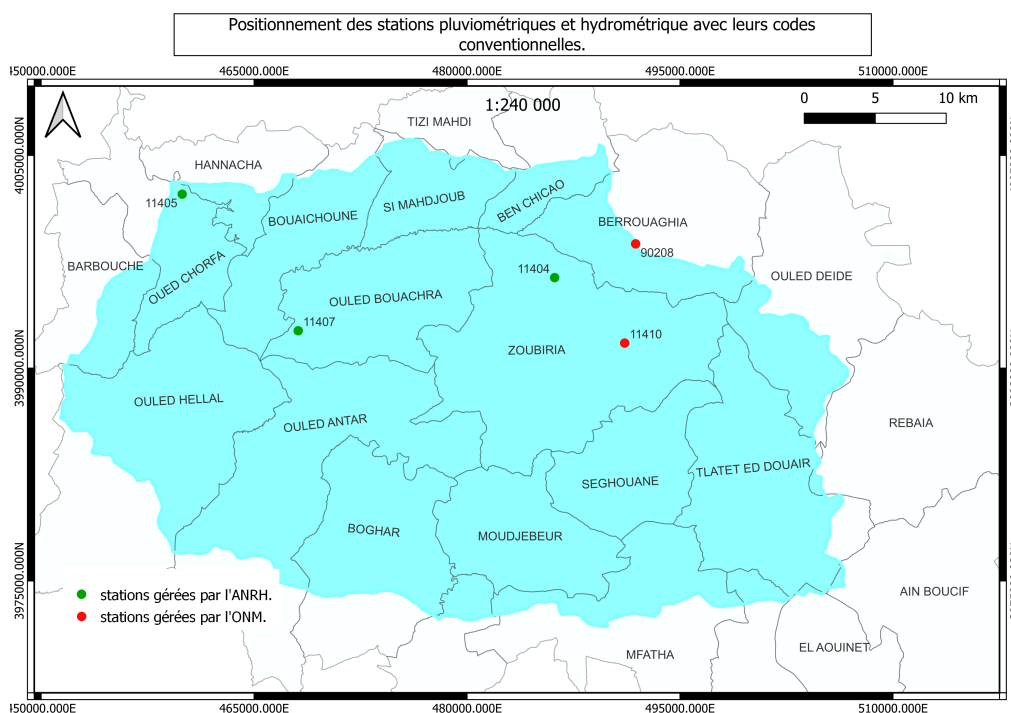


FIGURE 2.5 – Situation des stations pluviométriques dans le sous bassin du Oued Cheliff Ghrib.

2.2.5 Contexte hydrographique

Le sous bassin Oued Cheliff Ghrib draine principalement l'oued Cheliff sur une longueur de 77,720 Km orienté au nord-ouest du bassin, et des oueds secondaires tel que :

- Oued S. Amar.

- Oued Aroua.
- Oued El Hakoum.
- Oued Oughat.
- Oued Bou Kermou.

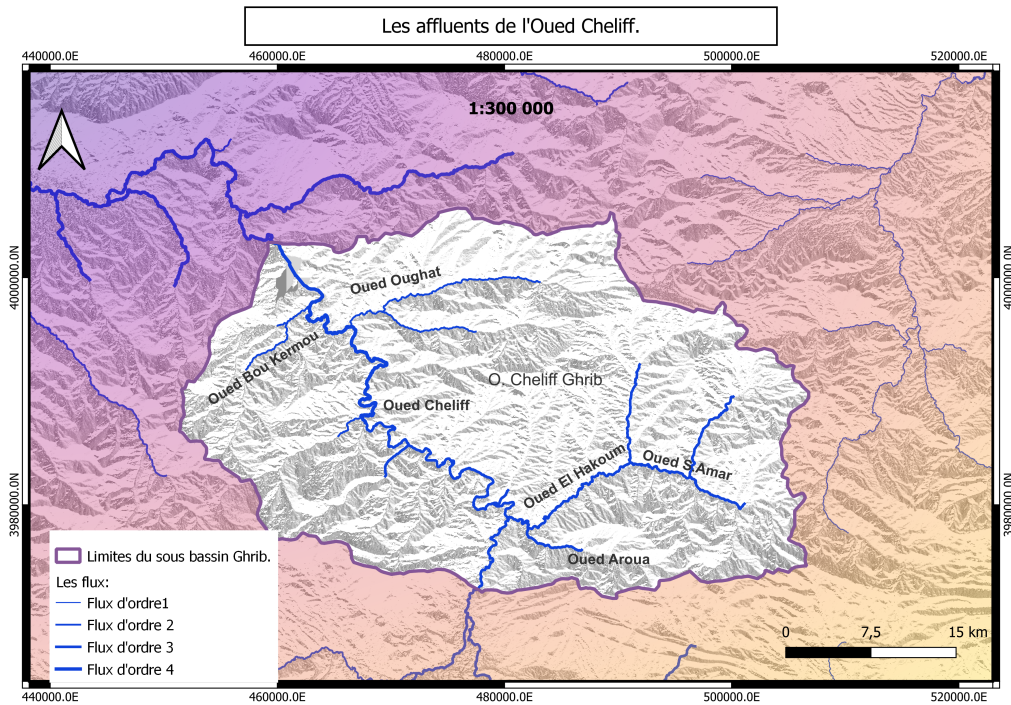


FIGURE 2.6 – Carte des affluents de l’oued Cheliff dans le sous-bassin Oued Cheliff Ghib.

Le réseau d’observation de l’Agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH) compte une seule station hydrométrique (Ghib amont, code : 011407) dans notre zone d’étude.

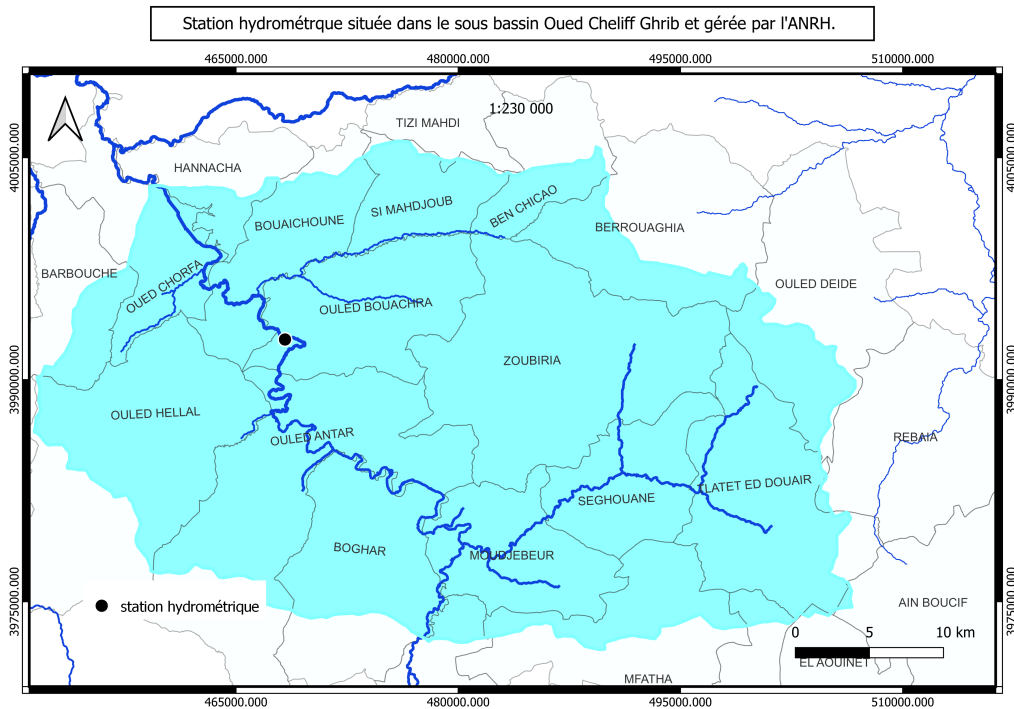


FIGURE 2.7 – Situation des stations hydrométrique dans le sous bassin du Oued Cheliff Ghib.

2.2.6 Contexte physique

La géologie du bassin

La géologie de la zone d'étude est dominée principalement par l'affleurement des roches sédimentaires, dont la couche la plus ancienne est le Crétacé inférieur (Calcaires en gros bancs et marnes) et le Crétacé supérieur (marnes et calcaires). Il y a également une autre couche de Crétacé supérieur (marnes grises et calcaires lités au sommet). Il existe des zones où les 3 types de couches de miocènes inférieurs apparaissent composées principalement des grès, marnes avec bancs de calcaires, marnes grises avec bancs de grès, marnes et argiles. Des miocènes moyens surgissent composés principalement de grès. Le lit de l'Oued Cheliff est composé principalement d'alluvion quaternaire.

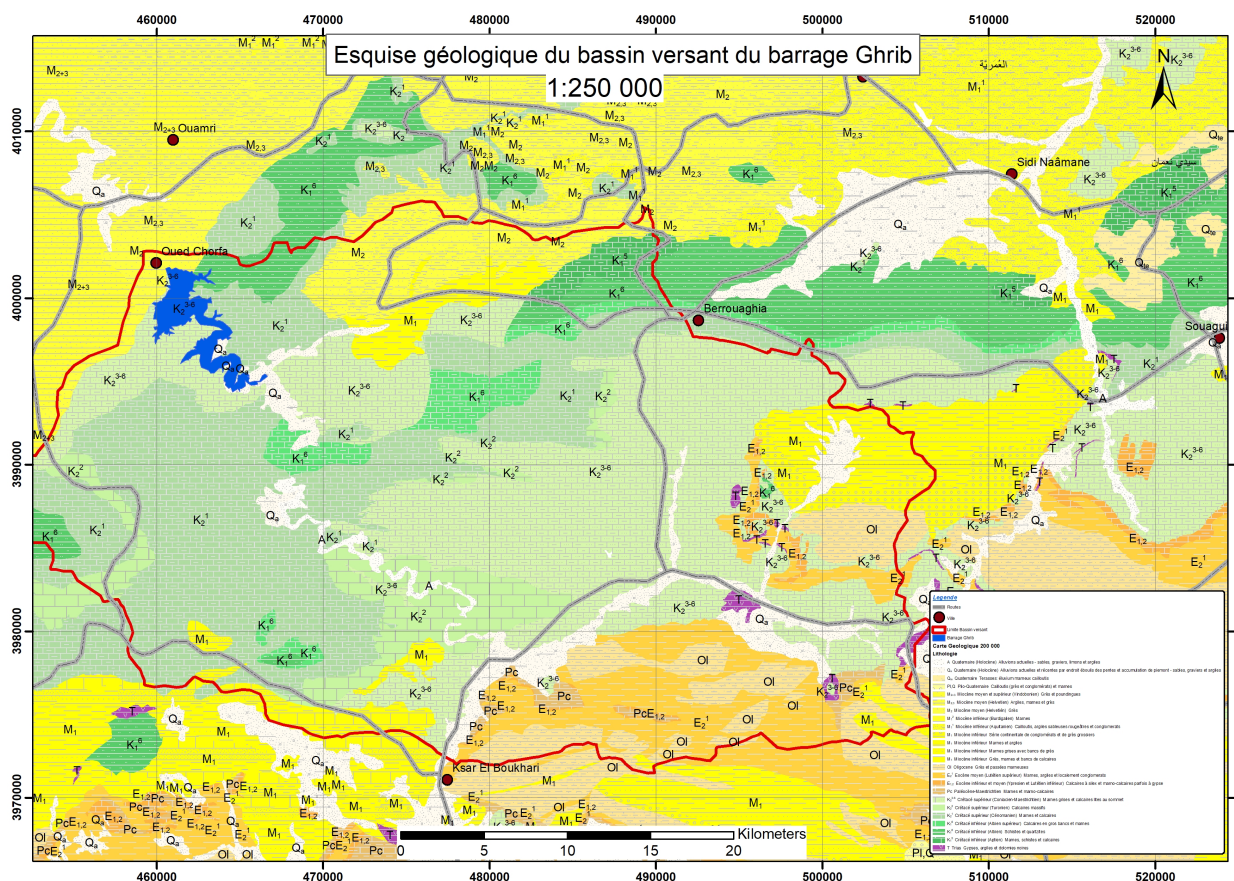


FIGURE 2.8 – Carte géologique interprétative du sous bassin Oued Cheliff Ghib (Légende Annexe page 107).

Source : A.N.R.H 2008

La pédologie du bassin

L'étude pédologique de la plaine de Ouzera qui occupe le nord du sous bassin O.Cheliff Ghib a montré : Une très grande hétérogénéité dans la répartition des sols en relation étroite avec un substratum géologique lui-même hétérogène alternance plus ou moins régulière de grès et de marnes du miocènes, présence de nombreux faciès lithologique allant des grès grossiers ou fins aux marnes en passant par tous les intermédiaires, grès marneux, marnes gréseuses etc. . .

Une prédominance des sols érodés en relation avec une érosion intense favorisée par la topographie (pente plus ou moins forte) et la mise en culture sans précaution particulière (exemple des vergers nouvellement implantés).

Une différence nette entre les principaux types de sols qui se répartissent dans plusieurs classe de la classification :

- Vertisols sur marnes et marnes gréseuses.
- Sols calcimagnésiques sur les grès marneux et grès.

- Sols rouges méditerranéens lessivée plus au moins hydromorphes sur les grès friables grossiers ou plus fin etc.
- Sols peu évolués sur colluvions et surtout les sols peu évolués d'érosion (l'érosion rajeunit constamment le sol).

Les principales caractéristiques des ces sols peuvent être très différentes texture : calcaires total actif, matière organique etc.

La présence de nombreuses mouillères s'accompagne de phénomènes d'hydromorphie apparemment surprenants dans une zone aussi accidenté et avec des sols aussi sableux en surface ces mouillères accentuent l'hétérogénéité dans la répartition de sols et sont très défavorables pour les cultures arbustives.

La végétation du bassin

L'activité végétative influence singulièrement l'écoulement en surface. Le couvert végétal retient, selon sa densité, sa nature et l'importance de la précipitation, une proportion variable de l'eau atmosphérique. En effet, le couvert végétal permet de protéger le sol de l'impact des gouttes de pluie et de l'éclaboussement, et tend à ralentir la vitesse des eaux de ruissellement en favorisant ainsi l'infiltration. [9]

Le bassin du O.Cheliff Ghrib est caractérisé par une couverture végétale importante et cela se justifie par le calcul de l'indice NDVI ou Normalized Difference Vegetative Index ,qui permet de déterminer la santé de la végétation en mesurant la teneur en chlorophylle des plantes via des capteurs embarqués sur des satellites, et il permet aussi de calculer le taux de couverture végétale présent sur une superficie donnée.

La carte de l'indice de végétation (NDVI) de notre zone d'étude a été obtenue après avoir :

- Accéder au site Web USGS (<https://www.usgs.gov/>) et rechercher la section appropriée pour accéder aux images satellites en choisissant la zone d'étude.
- Télécharger les 8 images satellitaires de type Landsat 8 correspondantes aux bandes spectrales rouge et infrarouge.
- Les images téléchargées ont été traitées dans le logiciel de traitement d'images géospatiales QGIS
- L'indice de végétation a été calculé dans QGIS en utilisant la formule suivantes :

$$NDVI = \frac{(Bande\ infrarouge - Bande\ rouge)}{(Bande\ infrarouge + Bande\ rouge)} \quad (2.1)$$

Bande rouge : généralement dans la plage de longueurs d'onde de 630 à 690 nanomètres.

Bande infrarouge proche (NIR) : généralement dans la plage de longueurs d'onde de 760 à 900 nanomètres.

Les valeurs de l'indice NDVI varient de -1 à 1, où les valeurs élevées indiquent une végétation dense et saine, les valeurs proches de zéro indiquent une zone sans végétation et les valeurs négatives peuvent indiquer de l'eau.

- La carte de l'indice NDVI sera Générer dans QGIS en appliquant une échelle de couleurs appropriée.

Les valeurs NDVI élevées sont représentées en vert foncé, tandis que les valeurs faibles ou nulles sont représentées en beige et bleu pour les plans d'eau

La carte de l'indice NDVI du sous bassin de Oued Cheliff Ghrib est donnée par la figure suivante.

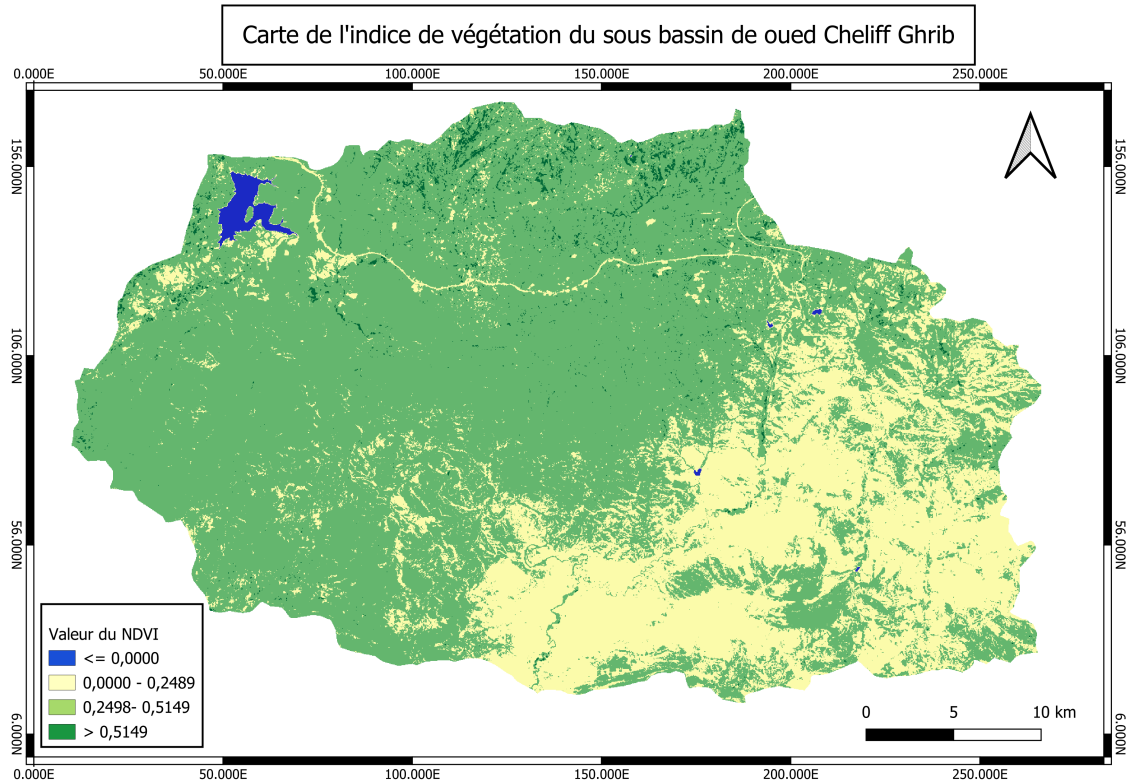


FIGURE 2.9 – Carte d'indice de végétation NDVI du sous bassin Oued Cheliff Ghrib.
Source : données satellitaires du site USGS

La morphométrie du bassin

La morphométrie du bassin est donnée par différents caractéristiques tel que les reliefs, la géométrie et la forme du bassin.

Pour réaliser la carte des reliefs de la zone d'étude nous avons eu recours à un modèle numérique de terrain (MNT), qui est une méthode utilisée pour stocker et représenter de grandes quantités de données sur toute la surface d'un territoire tel que (Altitude, reliefs, élévations et profils topographique. . .).

La carte de l'altitude de notre zone d'étude a été obtenue après avoir :

- Télécharger les images satellitaires SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) appropriées a notre zone d'étude, ces données sont accécibles sur le site web (<https://srtm.csi.cgiar.org/>).
- Traiter et lire les images satellitaires dans QGIS.
- Générer la carte d'altitude une fois les données SRTM sont préparées en ajustant les couleurs spécifique a chaque altitude.

La carte d'altitude du sous bassin de Oued Cheliff Ghrib est donnée par la figure suivante :

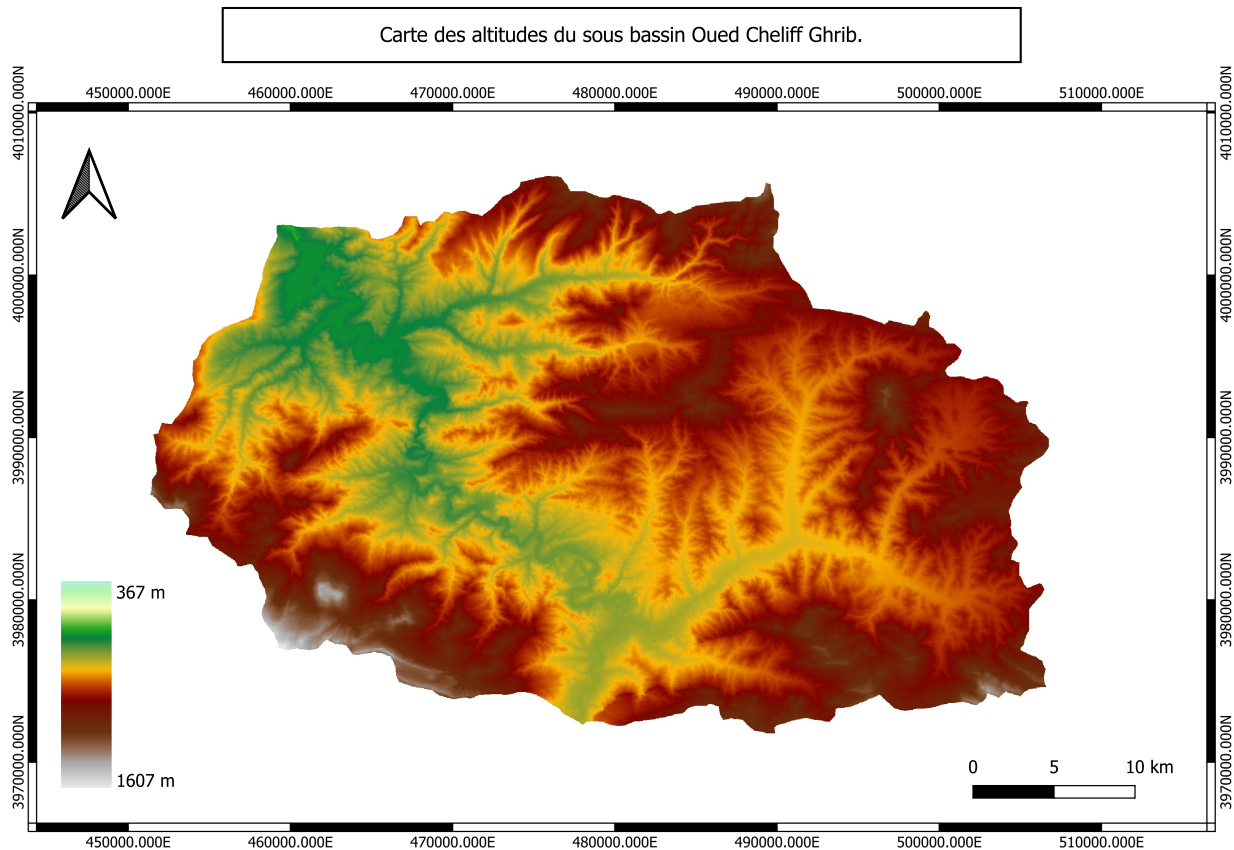


FIGURE 2.10 – Carte des altitudes du sous bassin Oued Cheliff Ghib (résolution 30 m).

Les caractéristiques du relief du sous bassin

Il est facile de comprendre comment le relief influence l'écoulement, car de nombreux facteurs hydrométéorologiques tels que les précipitations, les températures, etc., varient en fonction de l'altitude.

1. Les altitudes maximales et minimales .
2. L'altitude moyenne, elle est définie comme suit :

$$H_{moy} = \frac{\sum A_i * H_i}{A} \quad (2.2)$$

Avec,

A_i : aire comprise entre deux courbes de niveau (km²).

H_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveau (m).

A : superficie totale du bassin versant (km²).

3. L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique.
4. La dénivelée est la différence d'altitudes entre deux points de la surface terrestre, dans la plupart des cas relativement proches.

$$D = Z_{a\%} - Z_{b\%} \quad (2.3)$$

Avec,

$Z_{a\%}$: Altitude élevée supérieur à une hauteur donnée qui représente a% ($Z_{5\%}$) de la surface du bassin.

$Z_{b\%}$: Altitude basse supérieur à une hauteur donnée qui représente b% ($Z_{95\%}$) de la surface du bassin.

5. Indice de pente globale, cet indice se calcule à partir du rectangle équivalent il est donnée par la relation suivante :

$$I_g = \frac{D}{L} \quad (2.4)$$

Avec,

D : Dénivelée.

L : Longueur du rectangle équivalent.

Les caractéristiques géométriques

Le bassin versant en une section droite d'un cours d'eau, est donc défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de cette section [10].

Les principales caractéristiques géométriques du sous bassin O.Cheliff Ghrib se résument à la superficie, l'air, périmètre et la longueur du cours d'eau principal.

Les caractéristiques de forme

La forme du bassin versant à une grande influence sur l'écoulement global et surtout sur l'allure de l'hydrogramme résultant d'une pluie donnée [11].

Les différents paramètres qui caractérisent la forme d'un bassin versant sont :

Indice de gravelius : Gravelius a proposé en 1914 le coefficient de compacité ("compactness coefficient") défini comme le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface :

$$K_C = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2.5)$$

Avec,

P : le périmètre du bassin en Km.

A : l'air en Km²

Si :

$K_c > 1$: Bassin de forme allongée.

$K_c < 1$: Bassin de forme ramassée.

Rectangle équivalent : Le bassin versant rectangulaire résulte d'une transformation géométrique du bassin réel dans laquelle on conserve la même superficie, le même périmètre (ou le même coefficient de compacité) et donc par conséquent la même répartition hypsométrique [11].

— La longueur équivalente :

$$L = \frac{K_g * \sqrt{A}}{1,12} * \left[1 + \sqrt{1 - \frac{1,12^2}{K_g}} \right] \quad (2.6)$$

— La largeur équivalente :

$$l = \frac{K_g * \sqrt{A}}{1,12} * \left[1 - \sqrt{1 - \frac{1,12^2}{K_g}} \right] \quad (2.7)$$

Les différentes caractéristiques morphologiques du bassin Oued Cheliff Ghrib sont résumées dans le tableau qui suit :

TABLEAU 2.4 – Caractéristiques morphométriques du bassin de Oued Cheliff Ghib.

	Caractéristiques du bassin	Valeur
Géométrie	Superficie en Km ²	1372,00
	Périmètre (Km)	175,51
	Longueur du cours d'eau principale (Km)	77,72
Reliefs	Altitude maximale (m)	1607
	Altitude minimale (m)	367
	Altitude moyenne (m)	620
	Dénivelé (m)	200
	Indice de pente (%)	0,003
Forme	Indice de gravelius	1,32
	Longueur équivalente (Km)	67,37
	Largeur équivalente (Km)	20,38

A partir des résultats du tableau nous pouvons conclure que le bassin de Oued Cheliff Ghib est un bassin montagneux caractérisé par des altitudes élevées de forme allongée.

2.2.7 Occupation du sol

La figure suivante montre l'occupation du sol du sous bassin de Oued Cheliff Ghib.

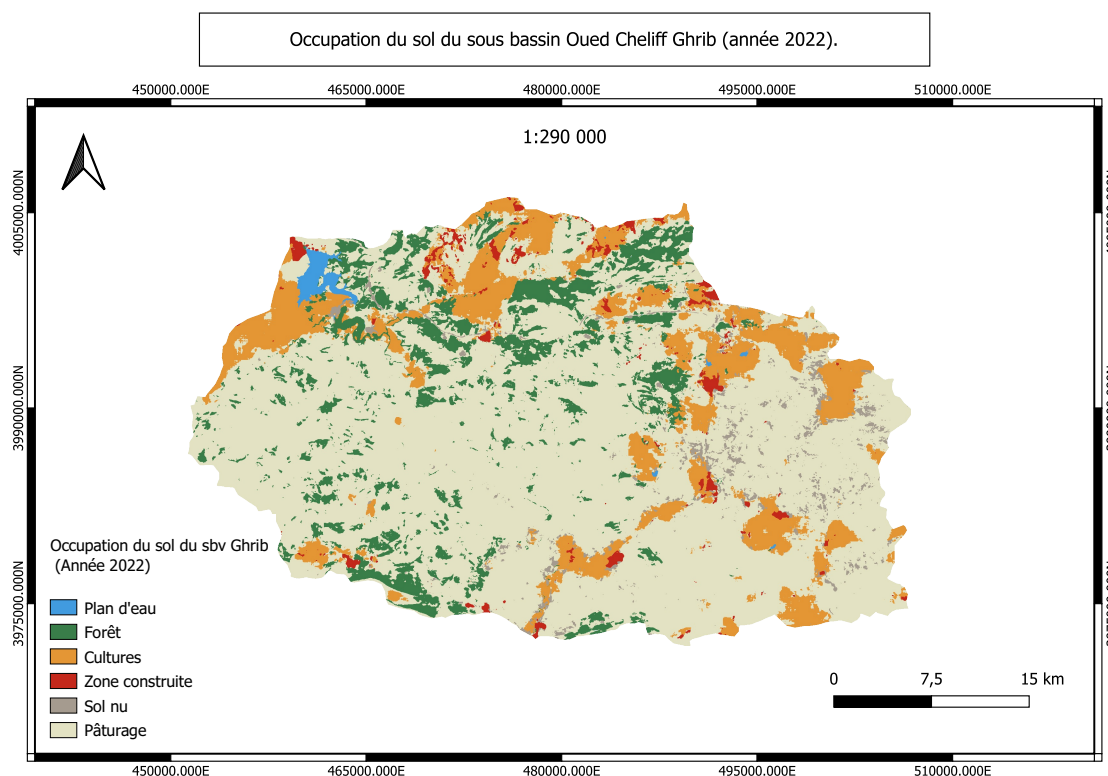


FIGURE 2.11 – Carte d'occupation du sol du sous bassin Oued Cheliff Ghib (résolution 10m).
Source : Esri Land Use Land Cover (LULC) Monitoring on Demand (année 2022).

Après avoir effectué un traitement sur la carte d'occupation du sol du sous bassin à l'aide de QGIS, nous avons pu extraire les pourcentages de chaque type d'occupation de terres. Les résultats du traitement sont présentés ci-dessous :

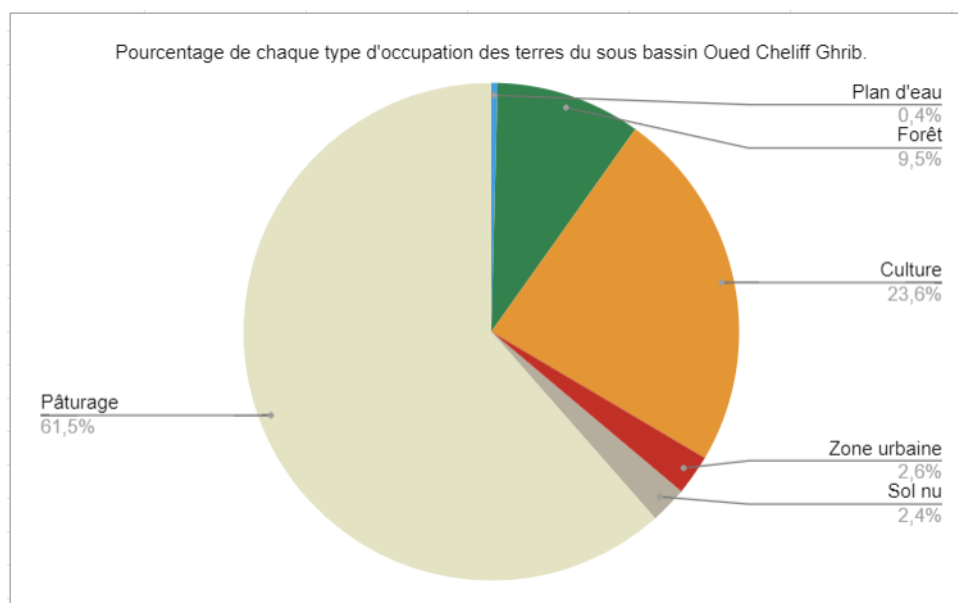


FIGURE 2.12 – Pourcentage de chaque type d'occupation des terres du sous bassin Oued Cheliff Ghib.

L'occupation du sol a montré que le sous bassin de Ghib est occupé majoritairement par le pâturage, il représente plus que 60% de la superficie totale du bassin ainsi, les cultures présente plus de 20% de la superficie totale. La présence des forêts dans le bassin est de 9,6% de la superficie totale. Cependant, l'urbanisation dans le bassin est relativement faible, elle représente seulement 2,6% de la superficie totale du bassin.

2.2.8 Contexte socio-économique

- La population : La population totale de l'année 2022 est de 130304 habitants d'après les estimations faites pendant le programme d'appui au secteur de l'eau et de l'assainissement Eau II (S.N.D.A).

TABLEAU 2.5 – Nombre d'habitants dans le sous bassin Ghib par commune

Communes	Nombre d'habitants dans le SBV (2022)
AIN BOUCIF	84
BARBOUCHE	1992
BEN CHICAO	5224
BERROUAGHIA	28070
BOUAICHOUNE	4352
BOGHAR	5774
EL AOUNET	58
HANNACHA	1910

Communes	Nombre d'habitants dans le SBV (2022)
KSAR EL BOUKHARI	15299
MFATHA	2437
MOUDJEBEUR	7573
OUED CHORFA	10296
OULED ANTAR	2007
OULED BOUACHRA	1155
OULED DEIDE	1913
OULED HELLAL	2695
OULED MAAREF	378
REBAIA	53
SEGHOUANE	7817
SI MAHDJOUBI	9813
TIZI MAHDI	40
TLETAT ED DOUAIR	9019
ZOUBIRIA	12345
Totale	130304

- **L'agriculture** : La zone d'étude est connue par une bonne activité agricole concentrée sur l'arboriculture, les maraîchères et les céréales et aussi une activité d'élevage très répandu dans les communes suivantes : SEGHOUANE, TLETAT EDDOUAR, MFATHA, MOUDJEBEUR, ZOUBIRIA, BOGHAR, OULED ANTAR.

TABLEAU 2.6 – Surface agricole utile par commune.
Source de donnée :MRE

Communes	Surface Agricole utile (2021)
AIN BOUCIF	97
BARBOUCHE	8
BEN CHICAO	988
BERROUAGHIA	2372
BOUAICHOUNE	2574
BOGHAR	910
EL AOUINET	27
HANNACHA	620
KSAR EL BOUKHARI	280
MFATHA	3760

Communes	Surface Agricole utile (2021)
MOUDJEBEUR	2660
OUED CHORFA	29
OULED ANTAR	7334
OULED BOUACHRA	3352
OULED DEIDE	2787
OULED HELLAL	7235
OULED MAAREF	470
REBAIA	117
SEGHOUANE	4081
SI MAHDJOUBI	1881
TIZI MAHDI	11
TLETAT ED DOUAIR	9772
ZOUBIRIA	15928
Totale	67293

- **L'industrie** : Le sous bassin Oued Cheliff Ghrib connaît une importante activité dans le secteur de l'artisanat, les implantations industrielles les plus importantes sont principalement localisées dans la commune d'El Berrouaghia et Ksar El Boukhari avec une superficie totale de 128 ha et 69 ha respectivement. Presque la totalité des unités industrielles d'envergure nationales et régionales, sont implantées sur l'axe routier RN 1 (industrie mécanique a Berrouaghia, industrie céréalière a Ksar El Boukhari).

2.2.9 Les ressources en eau dans la zone d'étude

Comme cité précédemment, le sous bassin de l'Oued Cheliff Ghrib englobe 21 communes de la Wilaya de Médéa et 2 communes de la Wilaya d'Ain Defla. Les principales ressources en eau dans ces deux régions sont :

- **Les ressources conventionnelles** : les cours d'eau, les barrages, les retenues collinaires, les nappes souterraines. . .
- **Les ressources non conventionnelles** : les stations d'épurations.

Les ressources en eau superficielles

- **Les barrages** :

Barrage Ghrib : construit entre 1936 et 1939 par les français. Il est considéré comme le sixième grand barrage en Algérie avec une capacité de 280 millions de m³ de retenue, situé au niveau de la commune d'Oued Chorfa a 20 Km au sud-ouest de la wilaya d'Aïn Defla.

TABLEAU 2.7 – Situation du barrage de Ghrib.
Source de donnée : AGIRE

Code du barrage	Nom du barrage	Capacité initiale (Hm ³)	Oued	Surface du barrage en (Km ²)	Volume régularisé (Hm ³ /an)	Type d'usage	État
BG 0104	Ghrib	280	Cheliff	2800	AEP/ IRR	AEP : 75 /IRR :123	En exploitation

- **Les retenues collinaires :** Les retenues collinaires recensées dans le sous bassin O.Cheliff Ghrib sont au nombre de (05) retenues, et qui sont représenté dans le tableau suivant :

TABLEAU 2.8 – Situation des retenues collinaires dans le sous bassin Ghrib.
Source de donnée : AGIRE

Nom de la commune	La retenue collinaire	Usage	Année de la mise en service	Capacité en (Hm ³)
Zoubiria	Oued Ben Ziane	A.E.P et irrigation	1997	1,5
Zoubiria	Oued Touila	A.E.P et irrigation	1988	2,3
Zoubiria	Oued Hellouane	irrigation	1990	1,7
Tlatet Eddouar	Oued Kheneg Melloussa	A.E.P et irrigation	2004	1,0
Moudjebour	Oued Aroua	A.E.P et irrigation	2004	1,4

- **Les stations d'épurations :** Le sous bassin O.Cheliff Ghrib compte trois stations d'épuration en étude dans les communes de Berrouaghia, Ksar El Boukhari et Ain Boucif.

TABLEAU 2.9 – Situation des stations d'épurations dans le sous bassin Ghrib.
Source de donnée : AGIRE

Nom de la station d'épuration	Capacité (EQU/hab)	Débit nominal (m ³ /j)	État
Berrouaghia	100 000	15000	en étude
Ksar El Boukhari	125 000	18750	en étude
Ain Boucif	24 000	3600	en étude

Les ressources en eau souterraines

La seule nappe souterraine qui se trouve au niveau du sous-bassin O. Cheliff Ghrib c'est la nappe alluviale du Oued Cheliff amont. Le volume de la ressource totale est estimé à 1,78 Hm³/an sur une superficie de 34 km².

État de l'assainissement

La population de la zone d'étude bénéficie d'un réseau d'assainissement avec un total linéaire de 645 Km avec un taux de raccordement moyen de 91%.

TABLEAU 2.10 – État de l’assainissement des communes du sous bassin Ghrib année 2022.
Source de donnée : ONA

Communes	Population raccordée en 2022	Linéaire totale en Km	Taux de raccordement (%)
TIZI MAHD	3374	13,05	94,00
EL AOUINET	5496	4,37	98,00
AIN BOUCIF	33328	56,06	98,00
REBAIA	6794	24,80	82,00
OULED MAA-REF	11803	20,91	98,00
KSAR EL BOUKHARI	89267	92,90	98,00
HANNACHA	6204	15,77	80,00
BARBOUCHE	60 050	41,6	98,85
BEN CHICAO	12492	21,66	88,00
OULED DEIDE	6913	19,82	70,00
OUED CHORFA	14 425	67,67	85,87
SI MAHD-JOUBI	10812	20,87	83,00
BERROUAGHIA	76464	92,41	95,00
MFATHA	7841	7,21	93,00
BOUAICHOUNE	11287	15,20	95,00

2.3 Conclusion

A la fin de ce chapitre, nous avons pu donner un aperçu détaillé de la zone d’étude à travers les différentes informations obtenues des organismes appropriés. Et qui feront par la suite un moyen essentiel à l’application de la comptabilité de l’eau sur le sous bassin Oued Cheliff Ghrib.

Chapitre 3

Méthodologie appliquée

3.1 Introduction

Il existe plusieurs approches d'application de la comptabilité de l'eau, il y a l'approche standardisée qui certes favorise la comparaison entre les différents pays, mais il y a également l'approche souple qui est considérée comme étant l'approche la plus adaptable qui permet d'harmoniser le type de comptabilité de l'eau avec les besoins et priorités des principales parties prenantes.

Notre étude a été projetée sur le volet souple, ce dernier est divisé en deux approches de comptabilité, l'approche rapide et l'approche approfondie qui vont être détaillées dans le présent chapitre.

3.2 L'approche rapide

3.2.1 La comptabilité rapide de l'eau

L'expérience a montré qu'il faut commencer par une étude initiale rapide avant de passer à une procédure plus complexe. L'objectif est que chaque cycle oriente et renseigne les cycles suivants, de plus en plus détaillés et ciblés, de collecte et d'analyse de l'information, permettant ainsi de progresser vers une comptabilité de l'eau plus approfondie. Une étude d'un cas d'un bassin versant montagneux WOCHU, BHOUTAN a révélé que la comptabilité rapide de l'eau est une méthodologie solide qui pourrait être utilisée efficacement par les acteurs de la gouvernance de l'eau et permet d'atteindre les objectifs fixés par les différents programmes de gestion de l'eau.

3.2.2 Plan de la mise en œuvre de la CRE

Le schéma présenté dans la figure suivante illustre les étapes essentielles initiales pour mettre en œuvre l'approche rapide de la comptabilité de l'eau.

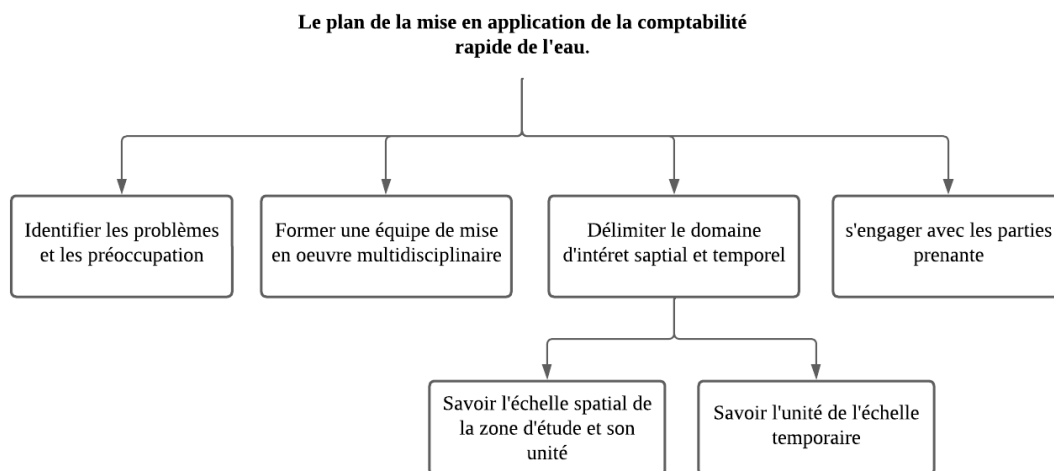


FIGURE 3.1 – Diagramme de la mise en œuvre de la CRE
[6]

3.2.3 Processus de la CRE

Utilisation du cadre R.I.D.A

Le cadre Ressources Infrastructures Demande Accessibilité (R.I.D.A) est utilisé pour :

- Planifier et structurer le processus de la C.R.E
- Identifier le problème clé à traiter
- Organiser les données qui peuvent être utilisées

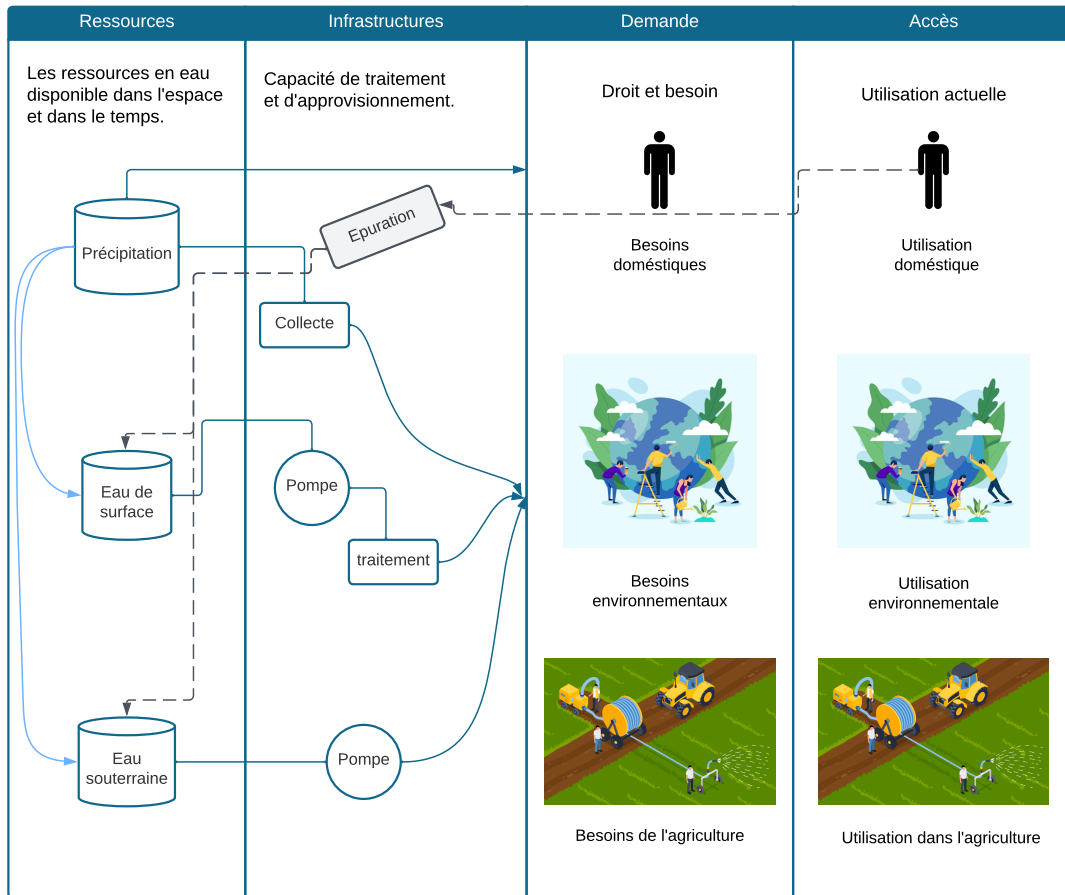


FIGURE 3.2 – Exemple explicatif du tableau RIDA [6]

Utilisation du diagramme, schéma perceptuel

Le diagramme ou schéma perceptuel est un moyen efficace pour :

- Répertorier et organiser toutes les informations nécessaires pour l'application de la CRE.
- Identifier et classer les utilisations, les flux et les chemins des flux d'eau dans des domaines spécifiés.

Voici une illustration de cet outil dans le cas d'organisation des informations selon le cours d'IHE Delft :



FIGURE 3.3 – Exemple d'un diagramme rassemblant tous les flux d'un bassin [6]

La figure suivante montre une schématisation utilisée pour classer les utilisations, les flux et les chemins des flux d'eau dans le cas de la région du delta où se trouve le fleuve SACRAMENTO :

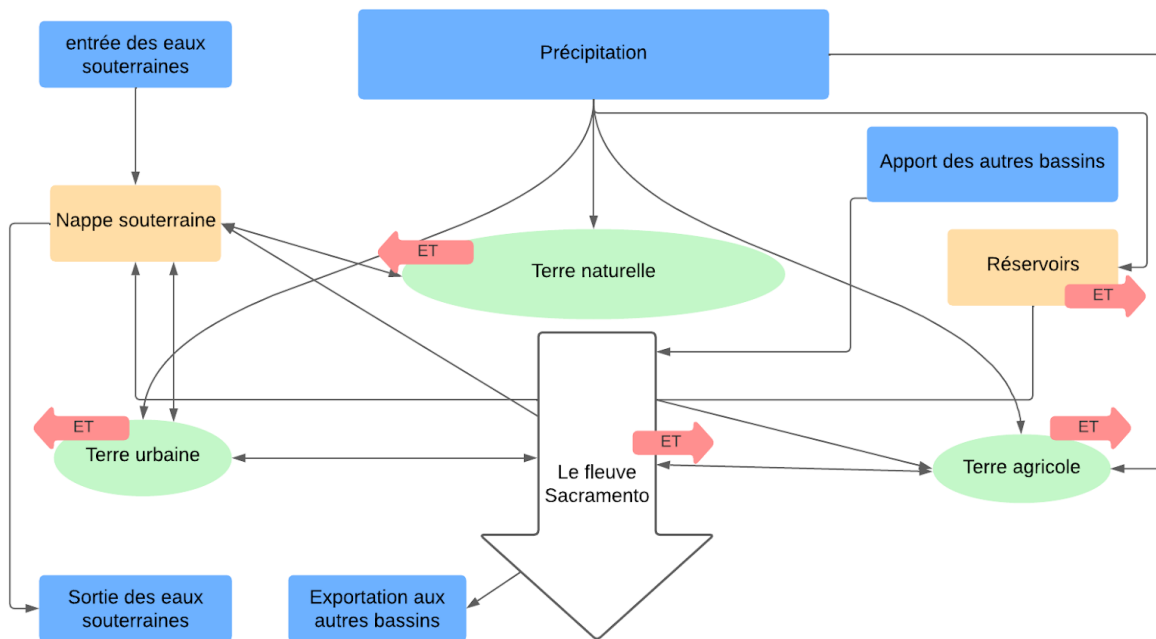


FIGURE 3.4 – Exemple d'un schéma classifiant tous les chemins de flux dans la région du delta [6]

Les différents types d'utilisation de l'eau et chemin de flux (Analyse fractionnaire)

Les objectifs de cette analyse

- Attirer l'attention sur l'importance des écoulements de retour et sur les différences fondamentales entre les voies d'utilisation de l'eau consommatrices et non consommatrices.
- Mettre aussi l'accent sur l'interconnexion des systèmes hydrologiques et, en particulier, sur le fait que l'augmentation de l'utilisation consommatrice d'eau dans une partie d'un bassin peut avoir des effets sur des usagers et utilisations de l'eau dans d'autres secteurs du même bassin.

Schéma représentatif de l'utilisation de l'eau

Le schéma suivant représente les différents types d'utilisation et de consommation de la ressource en eau dans une région d'étude donnée.

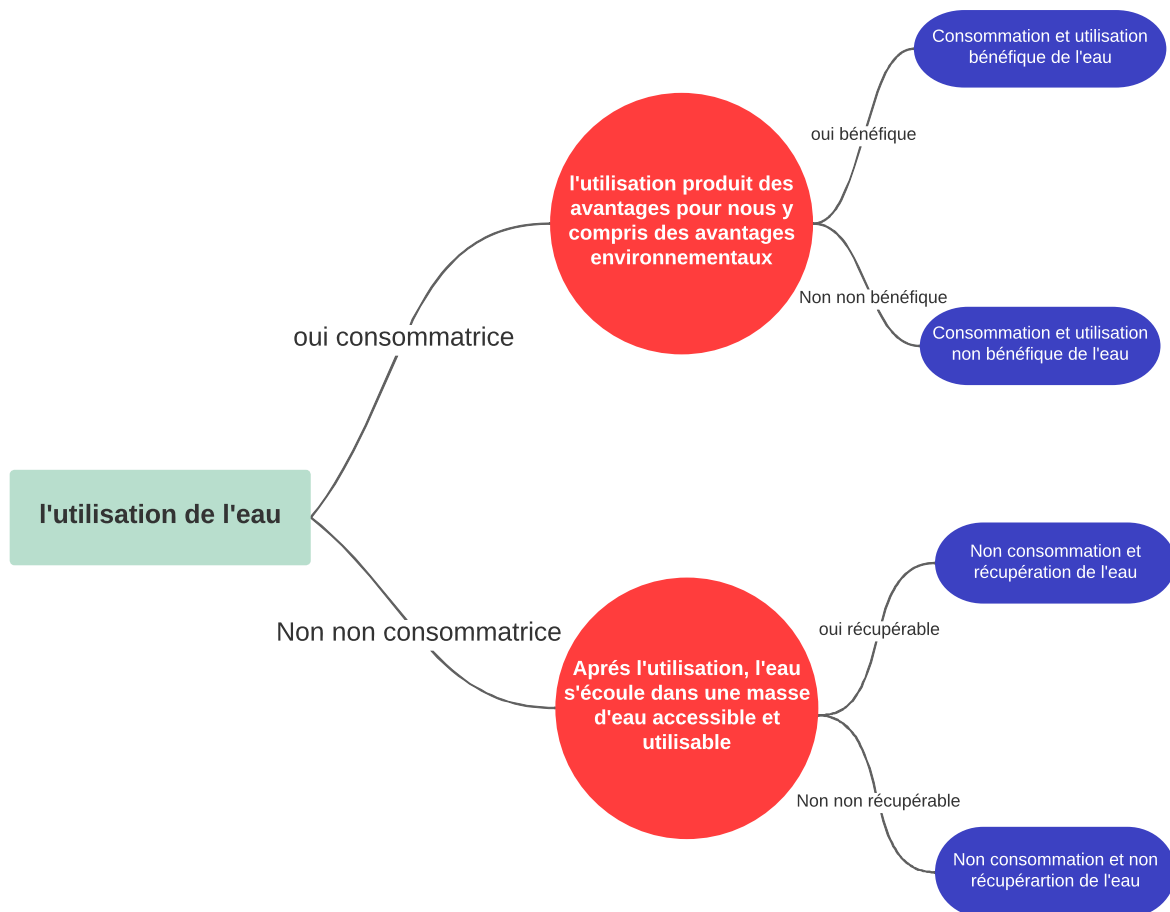


FIGURE 3.5 – Schéma représentant les différents types de l'utilisation de l'eau [6]

Revue des différents types d'utilisation de l'eau

- **Utilisation consommatrice** : l'évaporation ou la transpiration des cultures.
- **Utilisation non consommatrice** : l'eau utilisée reste sous forme d'eau liquide.
- **Bénéfique** : prévu pour créer quelque chose de bon pour nous.
- **Non bénéfique** : l'évaporation superficielle du sol et de l'eau libre ainsi que la transpiration des mauvaises herbes.
- **Récupérable** : l'eau peut être récupérée afin d'être utilisée dans la zone d'étude.
- **Non récupérable** : Après l'utilisation l'eau devienne inaccessible :
 - Elle va dans la mer ou vers un autre plan d'eau de mauvaise qualité.
 - Elle sort de la zone d'étude et devient donc politiquement inaccessible [6].

Le bilan hydrique

L'équation standard du bilan hydrique est donnée par :

$$\text{Input} - \text{Output} = \Delta S \quad (3.1)$$

Le développement du bilan hydrique est recommandé de le résumer dans un tableau de trois colonnes dont les deux premières sont dédiées aux flux entrants et sortants et la troisième pour la variation de stockage.

Les flux entrant (Input)

- Précipitation
- Les eaux de surface provenant de l'extérieur de la zone d'étude
- Entrée latérale d'eau souterraine

- Eau non conventionnelle (dessalement des eaux de mers, eaux usées épurées)

Les flux sortant (Output)

- Utilisations consommatrices
- Utilisation non consommatrices et non récupérables

La variation de stockage (ΔS)

- Stockage des eaux de surface
- Humidité du sol
- Eaux souterraines

Il y a quelques erreurs courantes qu'il faut éviter pendant l'élaboration du bilan hydrique :

- Double comptage des débits d'eau, par exemple : ajouter les flux de retour dans un domaine spécifié au flux sortant de ce même domaine.
- Inclure l'utilisation non consommatrice et récupérable avec les flux de sorties.
- Ne pas mettre le terme de variation de stockage dans l'équation du bilan hydrique. [6]

3.3 L'approche approfondie

3.3.1 La comptabilité de l'eau plus (CE+)

Le cadre de la comptabilité de l'eau plus est basé sur les premiers travaux de Molden (1997) sur l'agriculture et les systèmes d'irrigation qui a été par la suite développé par Karimi et Bastiaanssen (2015) et Karimi et al. Dans le but d'effectuer des analyses de bassins fluviaux et d'intégrer tous les secteurs d'utilisation de l'eau. Depuis lors, des améliorations ont été faites, notamment en termes de processus hydrologiques et de gestion de l'eau, avec une attention particulière portée sur des utilisations spécifiques des terres.

3.3.2 Notion de base de la comptabilité de l'eau plus

Catégorisation des classes d'utilisation des sols

La comptabilité de l'eau plus est une approche qui fait le lien entre l'utilisation de l'eau et celle des terres.

la classification des types de terre dans la comptabilité de l'eau plus est donnée dans le tableau suivant :

TABLEAU 3.1 – Classification des terres selon leurs utilisation [6].

Classification	Types des terres	Utilisation des terres
Non exploitable	Terres protégées (PLU)	Parcs nationaux, forêts tropicales humides, sites Ramsar... etc
Exploitable	Terres utiles (ULU)	Forêts, savanes, déserts, montagnes... etc
Exploitées	Terres modifiées (MLU)	Cultures pluviales, arbres de plantation, pâturages pluviaux...
Exploitées	Terres avec gestion de l'eau (MWU)	Cultures irriguées, usages industriels et domestiques

L'eau bleue et verte

Les précipitations empruntent les voies de l'eau verte ou bleue qui représente une notion importante dans l'application de la comptabilité de l'eau plus.

- La partie des précipitations stocker dans la couche de sol non saturé forme la ressource en eau verte
- La partie restante forme la ressource en eau bleue et elle est stockée dans les fleuves, ruisseaux, masses d'eau de surface et les eaux souterraines.

3.3.3 Outils utilisés pour l'élaboration du bilan hydrique de la comptabilité de l'eau plus

La base de données WaPOR

WaPOR est un portail mis en place par la FAO qui offre un accès ouvert aux données dérivées de télédétection afin de surveiller la productivité de l'eau. Il se concentre sur l'agriculture en Afrique et au Proche-Orient, en fournissant une plateforme qui permet de suivre et de reporter la productivité de l'eau dans ces régions en accès libre.[6]

La base de données WaPOR v2.1 contient des informations à trois résolutions spatiales différentes.

- Au niveau continental, les données sont disponibles à une résolution de 250 m (Niveau 1).
- Pour certains pays et bassins, les données sont disponibles à une résolution de 100 m (Niveau 2).
- Pour des analyses détaillées de la productivité de l'eau des cultures pour des systèmes d'irrigation sélectionnés, des données de résolution 30 m sont disponibles (Niveau 3).

WAPOR représente la principale source de données de télédétection adoptée pour appliquer le bilan de la comptabilité de l'eau plus de notre zone d'étude avec un niveau de résolution de 250 m.

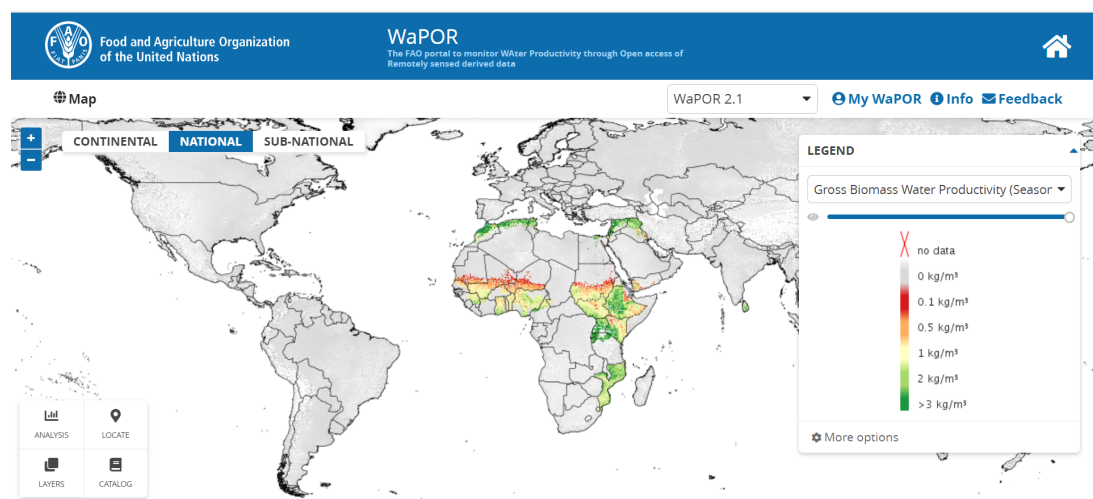


FIGURE 3.6 – Aperçu de l'interface de la base de données WaPOR

Le modèle du bilan hydrique vertical SMWB

Afin de satisfaire aux exigences d'un modèle de bilan hydrique, un modèle spécifique a été développé dans le cadre de la comptabilité de l'eau plus pour évaluer l'humidité du sol.

La bilan de la comptabilité de l'eau plus nécessite un large éventail de données provenant de la télédétection et de l'observation telles que les précipitations, l'évapotranspiration réelle, l'interception et la classification de l'occupation des terres en plus de la quantification de l'eau bleue et verte, qui n'est pas directement disponible à partir de la télédétection par conséquent, un bilan hydrique verticale du sol (SMWB) est modélisé pour chaque pixel afin d'estimer la quantité d'eau consommée par évapotranspiration provenant de la précipitation (ET précipitation) et celle de l'écoulement de surface, eaux souterraines et de l'irrigation (ET incrémentielle).

Les données d'entrées du modèle

Par télédétection :

- Les précipitations
- L'évapotranspiration
- L'utilisation des terres

- L'humidité du sol
- De terrain :
- Les limites du bassin d'étude
 - Débit sortant

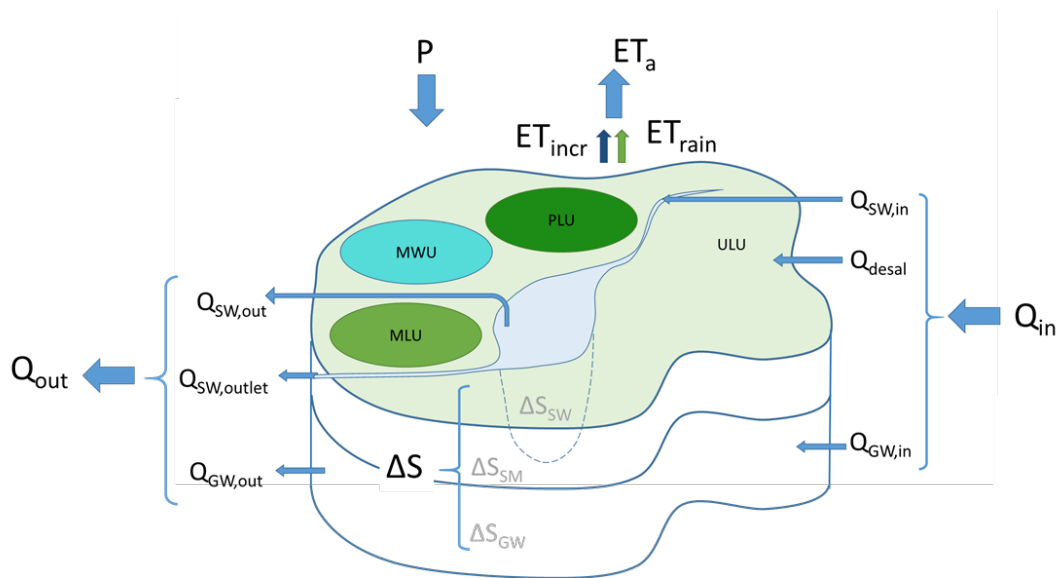


FIGURE 3.7 – Processus du modèle de bilan SMWB
[6]

La figure (3.7) schématise d'une façon simplifiée le principe du fonctionnement du bilan hydrique vertical (SMWB).

3.3.4 Bilan hydrique de la comptabilité de l'eau plus

Après avoir analysé les données d'entrée de la comptabilité de l'eau plus avec les méthodes d'analyse standardisé via un outil de programmation (python), et en se basant sur le bilan hydrique pour classe les flux entrants et sortants les résultats seront communiqués à travers un rapport de comptabilité de l'eau plus qui contient les éléments suivants :

La feuille de base des ressources

La feuille de base de ressources donne un aperçu générale des résultats de la comptabilité de l'eau plus sur la zone d'étude , et une vue d'ensemble sur :

- La surexploitation
- Les débits gérables vs non gérables
- Les débits exploitables
- Les débits réservés
- Les débits utilisées et utilisables

Cartes, figures et tableaux

Les cartes, figures et tableaux sont utilisées pour montrer :

- La variabilité spatiale de la précipitation, l'évapotranspiration, et la précipitation moins l'évapotranspiration ($P - ET$)
- La variation temporelle sous forme de valeurs moyennes mensuelles et annuelles

Les indicateurs clés

L'analyse des résultats de la comptabilité de l'eau plus peut se faire à l'aide des indicateurs clés qui nous fournissent une évaluation approfondie de la situation des ressources en eau de la zone d'étude.

- **La fraction de l'évapotranspiration** : cet indice indique quelle partie du débit totale entrant d'eau est consommé et quelle partie est inverti vers une ressource renouvelable. Si la valeur de cet indice est supérieure à 100 ceci indique une surexploitation ou une dépendance à l'égard des ressources extérieures.

Elle est donnée par le rapport de l'évapotranspiration totale et le flux totale ($ET_{tot} / (P + Q_{in})$) en (%).

- **Indice de stationnarité** : c'est un indice qui donne des informations sur l'épuisement des ressources en eau. Si sa valeur est positive ceci indique que de l'eau est ajoutée aux ressources souterraines ou stockage des eaux de surface en revanche si elle était négative ceci montre qu'il y a un épuisement de stockage.
Il représente le rapport de la variation de stockage et l'évapotranspiration totale ($\Delta \text{ Stockage} / \text{ET}_{\text{tot}}$) en (%).
- **Solde du bassin** : il représente le pourcentage des ressources en eau totale disponible qui est constitué par la précipitation plus le débit du bassin qui est consommé ou stocké dans ce dernier, si la valeur de cet indice est de 100 cela indique que toute l'eau disponible est consommée ou stockée dans le bassin.
Cet indice se calcule par la formule suivante : $1 - \text{flux sortant} / (P + Q_{\text{in}})$ en (%).
- **L'eau disponible (AW)** : cet indice nous informe sur la quantité potable d'eau disponible pour être gérée.
Elle est donnée comme : le débit entrant brut - l'évapotranspiration du paysage - flux réservé.
- **L'eau gérée (MW)** : il indique sur la quantité de l'eau qui est effectivement gérée.
Elle est donnée par : l'évapotranspiration incrémentielle de l'utilisation de l'eau gérée.
- **La fraction gérée** : elle indique la part de l'eau gérée par rapport à l'eau disponible.
Elle représente le ratio de l'eau gérée et l'eau disponible en (%). [6]

3.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé les deux approches (rapide et approfondie) que nous allons adopter pour appliquer la comptabilité de l'eau sur les sous bassins de Oued Cheliff Ghrib afin d'expliquer de manière plus claire notre démarche de calcul.

Chapitre 4

Analyse de données

4.1 Introduction

Lors des enregistrements des données pluviométriques et hydrométriques beaucoup d'erreurs peuvent être commises, telles que les erreurs d'observation, systématiques et de transcription. De ce fait, il est nécessaire avant toute utilisation de contrôler la qualité de ces données à travers une analyse statistique détaillée.

Le présent chapitre porte sur l'analyse hydrologique des données hydro-pluviométriques observées au niveau des stations hydrologiques par différentes méthodes statistiques. Cette analyse peut se synthétiser en trois étapes : le comblement des lacunes, le test de l'homogénéité et les ajustements statistiques.

4.2 Présentation des données

Les données pluviométriques et hydrométriques ont été récupérées auprès de l'Agence nationale des ressources hydrauliques (A.N.R.H).

La localisation des différentes stations de mesure situées dans le sous bassin de Oued Cheliff Ghrif est présentée dans la figure suivante.

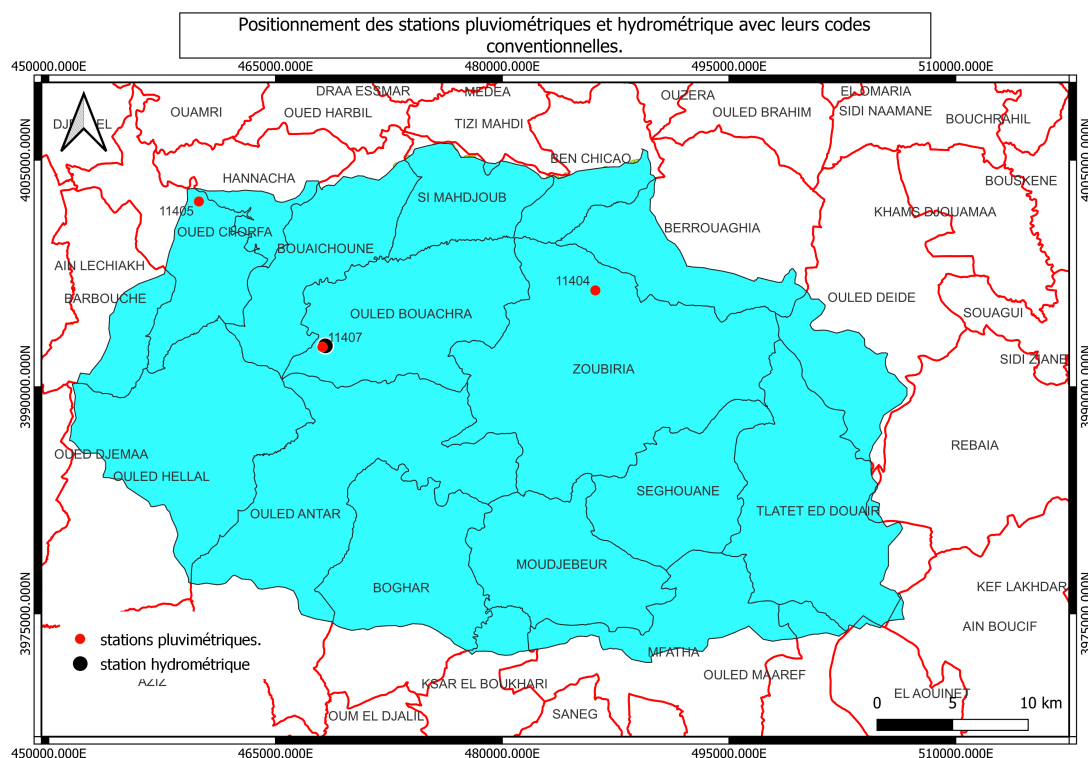


FIGURE 4.1 – Emplacement des différentes stations de l'A.N.R.H situées dans le sous bassin Oued Cheliff Ghrif

Le tableau suivant présente les caractéristiques de chaque station de mesure :

TABLEAU 4.1 – Caractéristiques des stations de mesure

Nom de la station	Type de mesure	Code de la station	Coordonnées-(x,y,z) en (m)	Période d'observation
ZOUBIRIA MON- GORNO	Pluviométrique	011404	513.5, 312.6, 932	1910-2013
GHRIB BGE	Pluviométrique	011405	487.25, 318.4, 460	1940-2012
GHRIB AMONT	Pluvio-, hydromé- trique	011407	495.45, 308.8, 435	1976-2013 1976-1996

Après une analyse visuelle des données obtenues nous remarquons que ces dernières présentent des observations manquantes.

Le tableau ci-dessous représente les lacunes des séries de données annuelles relatives à chaque station pluviométrique :

TABLEAU 4.2 – Données pluviométriques manquantes des différentes stations pluviométriques.

Code de la station	Intervalle annuelle des données manquantes
011404	1910-1914, 1918-1920, 1928-1931, 1939, 1945-1946, 1955-1967, 1983, 1987, 1992-1993, 1997
011405	1940, 1943-1945, 1964, 1966, 1977, 1983, 2007, 2012
011407	1977, 1979, 2007-2008, 2011

Pour la station hydrométrique, nous avons une série de données journalières sur 20 ans d'observation (1976-1996) avec certaines valeurs manquantes.

Le tableau ci-dessous présente les lacunes annuelles contenues dans la série de données hydrométriques.

TABLEAU 4.3 – Données hydrométriques manquantes de la station GHRIB AMONT

Code de la station	Intervalle annuelle des données manquantes
011407	1984-1985, 1993, 1994, 1995

Pour notre étude nous avons choisi d'étudier les séries de données pour la période 1976-2012, car elle présente une intersection entre les 3 stations.

4.3 Méthodes utilisées pour le comblement des données manquantes

Afin de préserver la cohérence des enregistrements de données, il est recommandé d'estimer les données manquantes relatives aux précipitations et aux apports dans les cours d'eau en se basant sur les informations requises dans les stations environnantes.

4.3.1 Méthode basées sur la corrélation

La régression linéaire simple

De nombreuse série statistique (x_i, y_i) sont reliées par des conditions du type

$$y = a * X + b \quad (4.1)$$

En général, à cause des erreurs de mesures, les points (x_i, y_i) ne sont pas alignés mais sont presque sur la même droite. C'est pour cela qu'il faut choisir les constantes a et b de telle façon que la droite théorique s'ajuste le mieux possible avec le nuage de points mesurées.

Pour minimiser la différence entre la droite théorique (4.1) et les valeurs expérimentale (x_i, y_i) . Nous choisissons en général le carré de la différence entre le point théorique et le point expérimentale, c'est à dire :

$$(y_i - (a * x_i + b))^2 \quad (4.2)$$

Effectuer une régression par la méthode des moindres carrés, c'est trouvé une droite qui minimise l'écart précédent, c'est -à -dire la somme des différences : nous parlons de la droite des moindres carrés.

Principe de la méthode

L'équation de la droite théorique s'écrit sous la forme suivante :

$$y = a * X + b \quad (4.3)$$

Avec :

x et y représentent les variables expérimentales.

a et b représentent les paramètres de la régression, calculée par les formules suivantes :

$$a = \frac{Cov(X, Y)}{Var(X)} \quad (4.4)$$

$$b = \bar{Y} - a * \bar{X} \quad (4.5)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (4.6)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} \quad (4.7)$$

$$Var(X) = \sigma(X)^2 \quad (4.8)$$

$$\sigma(X) = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (4.9)$$

$$\sigma(Y) = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (4.10)$$

$$cov_{X, Y} = \frac{(\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})) * (\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}))}{N - 1} \quad (4.11)$$

Coefficient de corrélation :

$$r = \frac{Cov(X, Y)}{\sigma(X) * \sigma(Y)} \quad (4.12)$$

Avec : $-1 < r < 1$

Résultats de la méthode

Pour combler les vides de chaque série de mesure, il convient de trouver une équation de régression simple en utilisant les données de la station concernée avec celles de la station voisine deux à deux. Les valeurs du coefficient de corrélation du comblement des lacunes mensuelles par régression sont présenté dans le tableau suivant :

TABLEAU 4.4 – Valeurs des coefficients de corrélation quadratique r^2 entre chaque deux stations de mesures

Mois/Station	ZOUBIRIA	GHRIB BGE	GHRIB AMONT
Jan	0,55		
Fév	0,82	0,81	
Mar	0,87		
Avr	0,83	0,80	
Mai		0,66	0,66
Jui			0,57
Aout	0,46	0,16	0,16
Oct		0,65	
Nov		0,55	0,55

Le comblement de lacunes a été fait que pour les mois ayant un coefficient de corrélation quadratique supérieur à 0.8. Les tableau ci-dessous montrent les résultats de comblement de chaque station :

TABLEAU 4.5 – Comblement de lacunes mensuelles de la station Zoubiria Mongorno en utilisant les données de la station de Médea

Année/Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Août
1983	lac	82,62	7,47	54	lac
1988	11,2	47,5	51,83	86,5	53
1992	14	29	42,66	49,5	3
1993	41	28,5	2	17,29	0
1997	21,3	49	13,23	45,5	8

TABLEAU 4.6 – Comblement de lacunes mensuelles de la station Ghrib barrage en utilisant les données de la station Ghrib amont

An/Mois	Fév	Avr	Mai	Aout	Oct	Nov
1977	15,9	82,8	72,8	0	lac	38,7
1983	84,2	32,03	lac	0	13,8	76,1
2007	14,1	6,5	73,3	lac	61,9	117,3
2012	69,86	55,31	lac	lac	37,2	lac

TABLEAU 4.7 – Comblement de lacunes mensuelles de la station Ghrib amont en utilisant les données de la station Ghrib BGE

Année/Mois	Mai	Juin	Août	Nov
1979	44,5	lac	0	36,3
2007	46,7	0	8,6	lac
2008	lac	0	lac	94,5
2011	lac	0	0	252,9

4.3.2 Méthode numérique

L'analyse en composante principale (A.C.P)

L'ACP est une méthode d'analyse factorielle faisant partie du groupe des méthodes descriptives multidimensionnelles, elle représente un outil performant en hydrologie car elle a plusieurs champs d'utilisation comme la reconstitution des données manquantes, la critique des données et la cartographie [12].

Dans notre cas d'application, nous allons utiliser l'ACP comme méthode de comblement de lacunes de chacune des séries pluviométriques et aussi pour la série hydrométrique à l'aide du programme développé par le professeur Laborde en 1998 appelé bouche-trous présenté sous forme de macros sur Excel (Logiciel HYDROLAB).

Nous donnerons ci-après un aperçu sur la méthode des ACP. Nous trouverons des explications plus détaillées dans les ouvrages de statistiques (Dumolard,2007; Dagnelie, 1986; De Lagarde, 1983) et également Laborde (édition 2009).

Principe de la méthode

L'analyse en composantes principales est une technique de réduction de dimensionnalité qui permet de synthétiser l'information contenue dans un grand nombre de variables en un petit nombre de variables non corrélées appelées composantes principales, qui ont les caractéristiques suivantes :

- Elles apportent un pourcentage d'explication décroissant
- Elles sont indépendantes entre elles (les composantes sont orthogonales).

Résultats de la méthode

Après avoir lancé la commande 'bouche-trous' dans le logiciel hydrolab nous avons pu avoir les résultats de la méthode ACP des séries de précipitations et hydrométrie pour les différents mois lacunaires.

Stations pluviométriques :

On applique le programme bouche-trous sur les séries de précipitations mensuelles, après le comblement mensuel on calcule les précipitations mensuelles interannuelles pour chaque station.

Les résultats obtenues du comblement mensuelle pour les années lacunaires de chaque station sont représenté dans les tableaux suivants :

TABLEAU 4.8 – Comblement de lacunes mensuelles de la station de Zoubiria Mongorno

Année/Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Août
1983	61,98	76,34	33,40	54	0,45
1988	11,2	47,5	59,91	86,5	53
1992	14	29	25,34	49,5	3
1993	41	28,5	2	32	0
1997	21,3	49	9,85	45,5	8

TABLEAU 4.9 – Comblement de lacunes mensuelles de la station Ghrif barrage

An/Mois	Fév	Avr	Mai	Aout	Oct	Nov
1977	15,9	82,8	72,8	0	5,01	38,7
1983	84,2	36,41	53,13	0	13,8	76,1
2007	14,1	6,5	73,3	0	61,9	117,3
2012	16,35	60,08	62,24	32,15	37,2	86,19

TABLEAU 4.10 – Comblement de lacunes mensuelles de la station Ghrif amont

Année/Mois	Mai	Jui	Août	Nov
1979	44,5	0,51	0	36,3
2007	46,7	0	8,6	176,04
2008	39,22	0	0	94,5
2011	0	0	0	252,9

Les valeurs de l'inertie expliquée cumulée des composantes principales de l'ACP pour chaque station sont données dans le tableau suivant :

TABLEAU 4.11 – Inertie expliquée cumulée des composantes principales de l'ACP pour les stations pluviométriques

Mois/Station	ZOUBIRIA	GHRIB BGE	GHRIB AMONT
Jan	0,87		
Fév	0,95	0,94	
Mar	0,97		
Avr	0,92	0,93	
Mai		0,91	0,91
Jui			0,87
Aout	0,82	0,71	0,71
Oct		0,91	
Nov		0,89	0,89

Interprétation :

A partir des valeurs de l'inertie cumulée de la première composante principale (C1) nous remarquons que ces dernières dépassent 0,8 (80%) ce qui explique que cette composante représente plus de 80% de la variation de données. En effet, la composante principale C1 de l'ACP capture le maximum d'informations contenues dans nos séries de données.

Les résultats du comblement mensuelle par la méthode de l'ACP pour les différentes stations pluviométriques durant la période (1976-2012) sont résumés dans le tableau suivant :

TABLEAU 4.12 – Précipitation moyenne mensuelle interannuelle(1976-2012) des trois stations pluviométriques

Mois/Station	ZOUBIRIA	GHRIB BGE	GHRIB AMONT
Jan	69,24	63,36	64,85
Fév	62,52	59,66	53,50
Mar	51,02	47,77	48,36
Avr	54,53	45,33	55,08
Mai	40,03	33,81	39,47
Jui	9,65	7,52	6,06
Juil	3,41	4,83	4,15
Aout	11,02	5,95	4,14
Sep	24,8	22,77	23,16
Oct	45,93	41,57	41,17
Nov	67,11	58,23	60,10
Déc	67,95	64,55	67,03

Station hydrométrique

On applique l'ACP sur la série mensuelle des apports de l'Oued Cheliff, après le comblement mensuel on calcule l'apport mensuelle interannuelle pour la période (1976-1996).

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

TABLEAU 4.13 – Apport moyen (Hm3) mensuelle interannuelle (1976-1996) de la station hydrométrique.

Mois/Station	GHRIB AMONT
Jan	9,87
Fév	21,91
Mar	8,31
Avr	8,23
Mai	9,59
Jui	18,76
Juil	15,51
Aout	10,25
Sep	9,74
Oct	8,45
Nov	6,12
Déc	2,46

Les valeurs de l'inertie expliquée cumulée des composantes principales de l'ACP pour la station hydrométrique sont données dans le tableau suivant

TABLEAU 4.14 – Inertie expliquée cumulée des composantes principale de l'ACP pour la station hydrométrique

Composante principale	GHRIB AMONT
C1	0,48
C2	0,65
C3	0,76
C4	0,84

Interprétation

l'inertie expliquée cumulée de la dernière composante principale C4 est de 0,83 , ce qui fait que cette composante représente plus de 80% de la variation de données et donc à partir de cela nous pouvons dire que notre série de donnée est bien représenté par les composantes principales de l'ACP.

4.3.3 Le choix de la méthode d'estimation des données manquantes

À Partir des résultats des deux méthodes de comblement utilisée nous pouvons déduire que :

- Les valeurs des coefficients de corrélation obtenus de l'application de la méthode de la régression simple sur les séries pluviométrie sont très faibles (jusqu'à 0,16).
- Les résultats de l'inertie expliquée cumulée des composantes principales de méthode de l'ACP sont élevés (plus de 80% de la variance de données).

Notre choix sera porté sur les données obtenus de l'ACP, car cette dernière donne une meilleure représentativité des données de base.

4.4 L'homogénéité des données hydro-pluviométrique

L'homogénéisation des données est une technique d'analyse statistique qui permet de rendre l'information sur la donnée plus cohérente. Elle consiste à :

- Détecter les anomalies dans les séries de données.
- Corriger les anomalies par des méthodes appropriées.

Résultats graphiques du test d'anomalie par analyse des résidus de régression effectué pour les différentes station de mesure pluviométrique et hydrométrique :

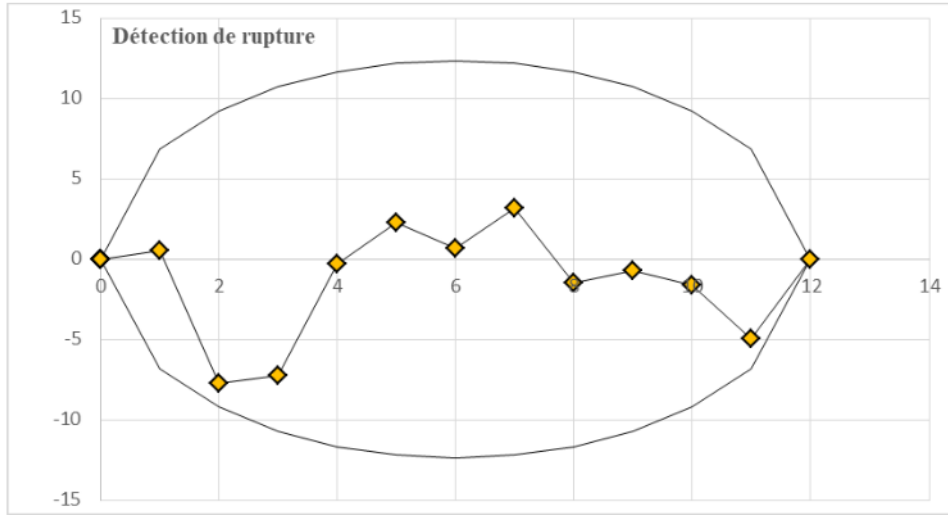


FIGURE 4.2 – Test d’anomalie pour la station pluviométrique de GHRIB AMONT

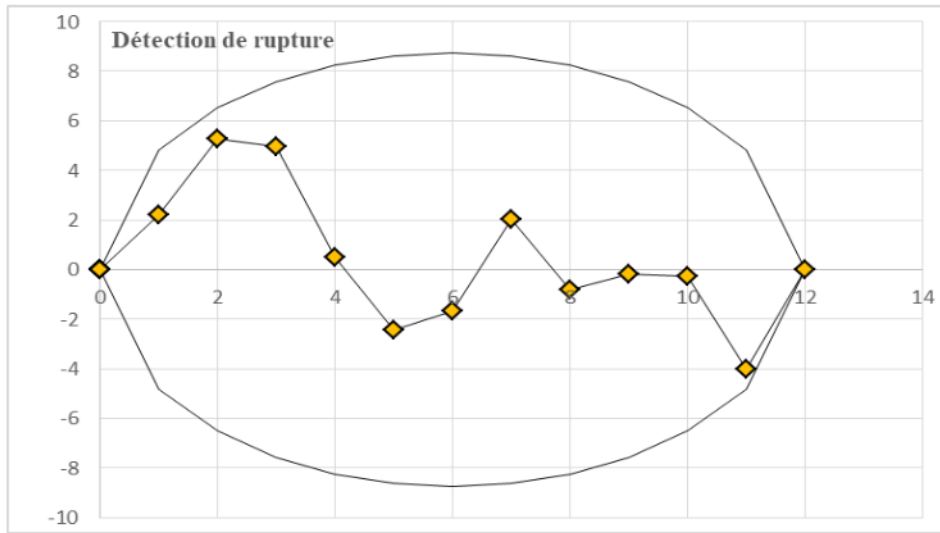


FIGURE 4.3 – Test d’anomalie pour la station pluviométrique de GHRIB BARRAGE

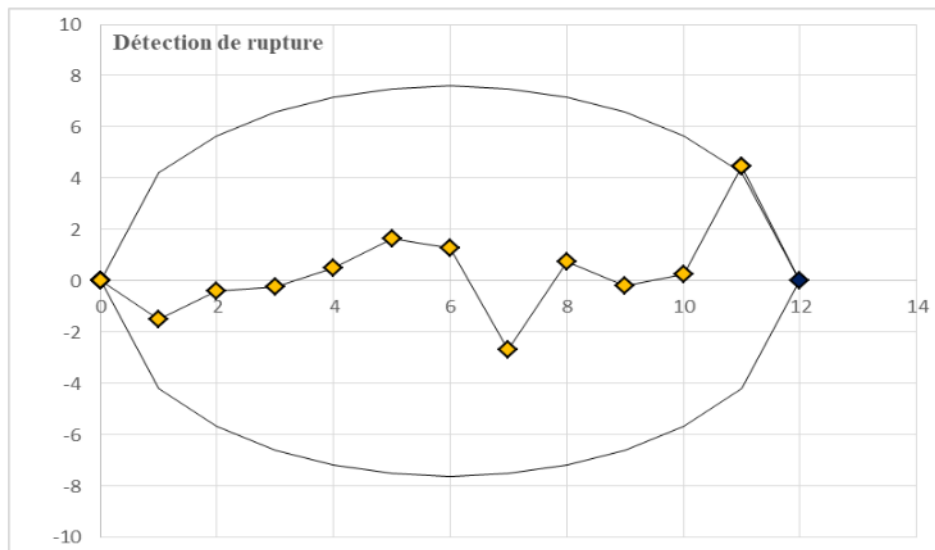


FIGURE 4.4 – Test d’anomalie pour la station pluviométrique de ZOUBIRIA MONGORNO

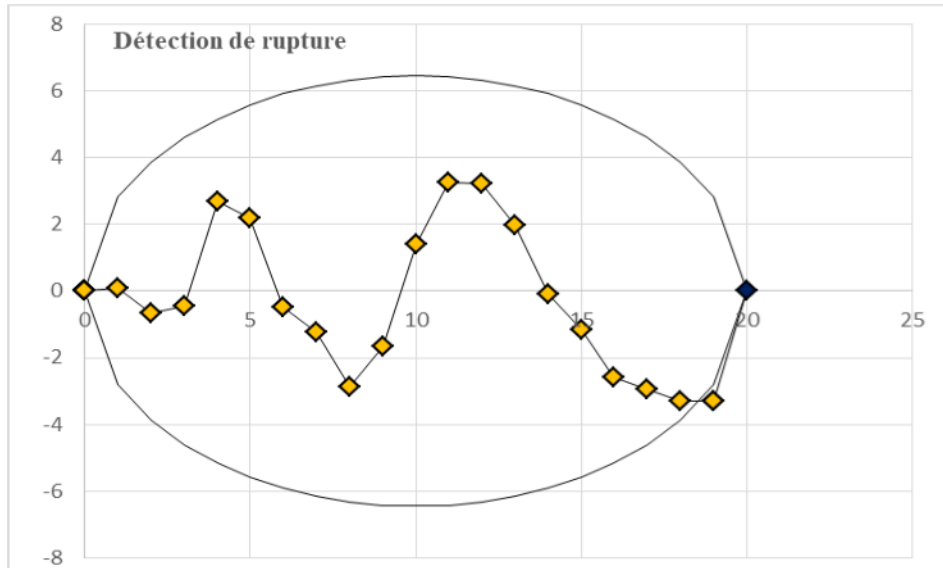


FIGURE 4.5 – Test d’anomalie pour la station hydrométrique de GHRIB AMONT

Interprétation

D’après les résultats obtenus du test d’anomalies sur les différentes stations de mesure, nous remarquons que les points d’observation pluviométrique et hydrométrique moyenne interannuelle pour la période (1976-2012) sont incluses à l’intérieur du cercle, ce qui justifie que les séries de données ne possèdent pas d’anomalie, elles sont donc homogènes.

4.5 Ajustement des données aux lois statistiques

L’ajustement des données aux différentes lois statistiques permet de formaliser les données expérimentales par une expression mathématique, en cherchant le modèle probabiliste qui ajuste le mieux possible nos séries de données pour déterminer la distribution de probabilité la plus appropriée. Nous avons choisi de tester trois lois statistiques, que nous expliquerons ci-dessous.

4.5.1 La loi de Gauss

La loi de Gauss ou loi normale est largement utilisée dans le domaine de l’hydrologie. Elle est principalement justifiée par le théorème central limite, qui stipule que la somme x de p réalisations indépendantes d’une variable aléatoire y converge vers une loi de Gauss lorsque p tend vers l’infini. Par conséquent, cette loi convient assez bien à des variables hydrologiques telles que la pluviométrie annuelle et les débits moyens annuels [13].

Cette loi est définie sur $]-\infty, +\infty[$ et peut convenir à n’importe quel échantillon.

La fonction de répartition :

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f\left(e - \frac{u^2}{2}\right) du \quad (4.13)$$

avec :

$$u = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$$

u dépend des deux paramètres la moyenne \bar{x} et l’écart type σ .

Voici les résultats de l'ajustement par la loi de Gauss

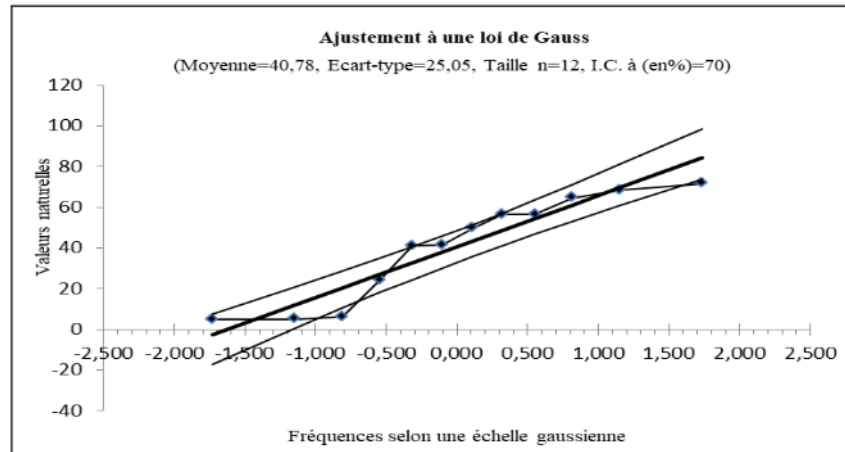


FIGURE 4.6 – Graphique d'ajustement à la lois de Gauss pour la station pluviométrique de GHRIB AMONT

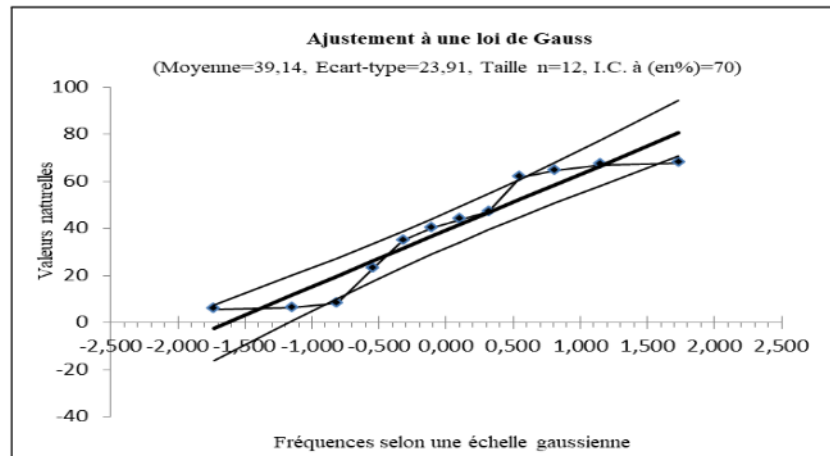


FIGURE 4.7 – Graphique d'ajustement à la lois de Gauss pour la station pluviométrique de GHRIB BARRAGE

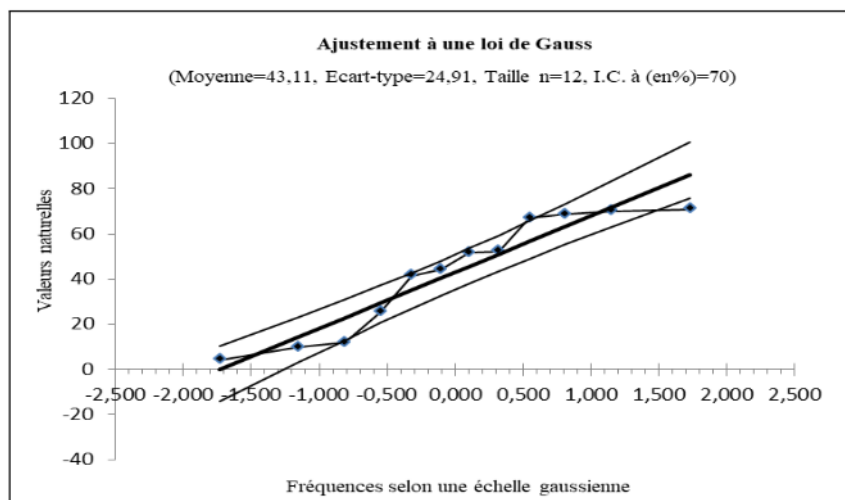


FIGURE 4.8 – Graphique d'ajustement à la lois de Gauss pour la station pluviométrique de ZOUBIRIA MONGORNO

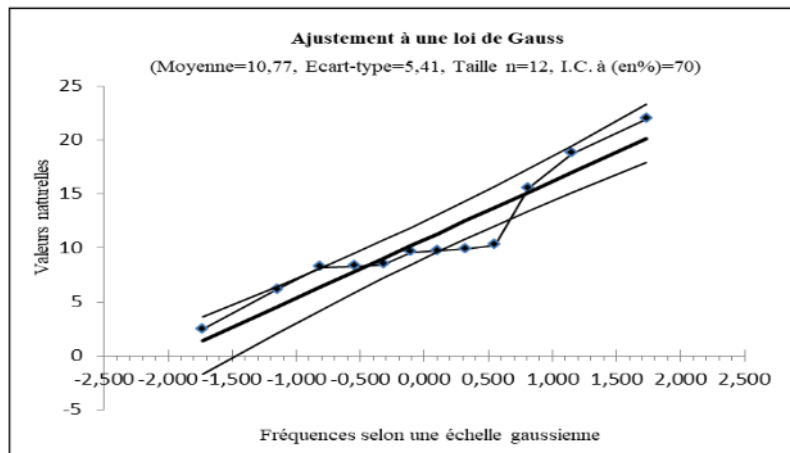


FIGURE 4.9 – Graphique d’ajustement à la lois de Gauss pour la station hydrométrique de GHRIB AMONT

Interprétation

d’après les résultats graphiques du test de la loi de Gauss que nous avons obtenus sur les séries de données des différentes stations de mesures, nous remarquons que les nuages de points expérimentaux (les observations) sont dispersé autour de la droite du milieu qui représente les valeurs théoriques de la loi de Gauss. En revanche il y a certains points qui dépassent les extrémités des droite inférieur et supérieur théoriques, ce qui nous permet de dire que nos séries d’observation ne s’ajustent pas à la loi de Gauss.

4.5.2 La loi de Gumbel

Cette loi est considérée comme la loi de distribution des extrêmes. Cependant, elle ne représente en réalité qu’une des trois formes possibles de la distribution des extrêmes. Néanmoins, cette loi présente l’avantage significatif de ne dépendre que de deux paramètres et de disposer d’estimateurs simples de ces paramètres. C’est pourquoi elle est largement utilisée dans l’étude des crues maximales annuelles, des précipitations journalières maximales annuelles, et d’autres phénomènes similaires [13].

La fonction de répartition de cette loi est donnée par :

$$F(x) = \exp^{\exp^{-u}} \quad (4.14)$$

Avec :

$$u = \frac{x - x_0}{g}$$

u :variable réduite de Gumbel

x_0 :est le paramètre de position(mode)

g : est le paramètre d’échelle différent de zéro et positif (appelé gradex).

Cette loi est définie sur $]-\infty, +\infty[$ et peut convenir à n’importe quel échantillon.

Voici les résultats de l'ajustement a loi de gumbel

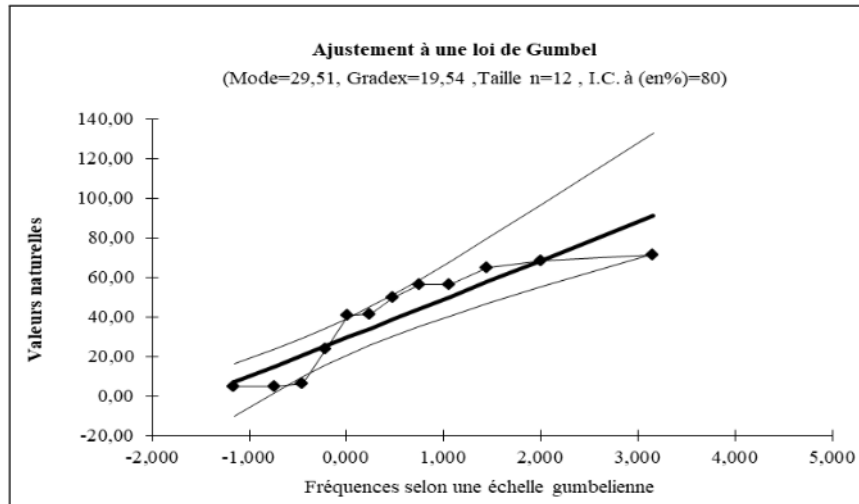


FIGURE 4.10 – Graphique d'ajustement à la lois de Gumbel pour la station pluviométrique de GHRIB AMONT

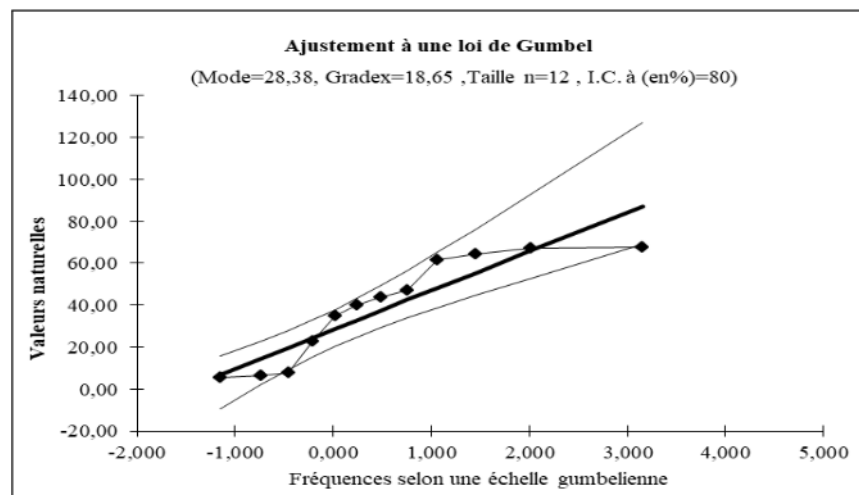


FIGURE 4.11 – Graphique d'ajustement à la lois de Gumbel pour la station pluviométrique de GHRIB BARRAGE

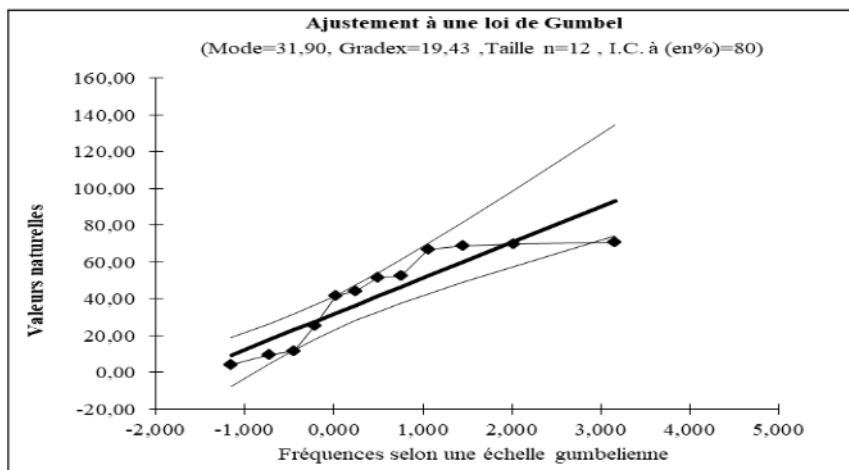


FIGURE 4.12 – Graphique d’ajustement à la lois de Gumbel pour la station pluviométrique de ZOUBIRIA MONGORNO

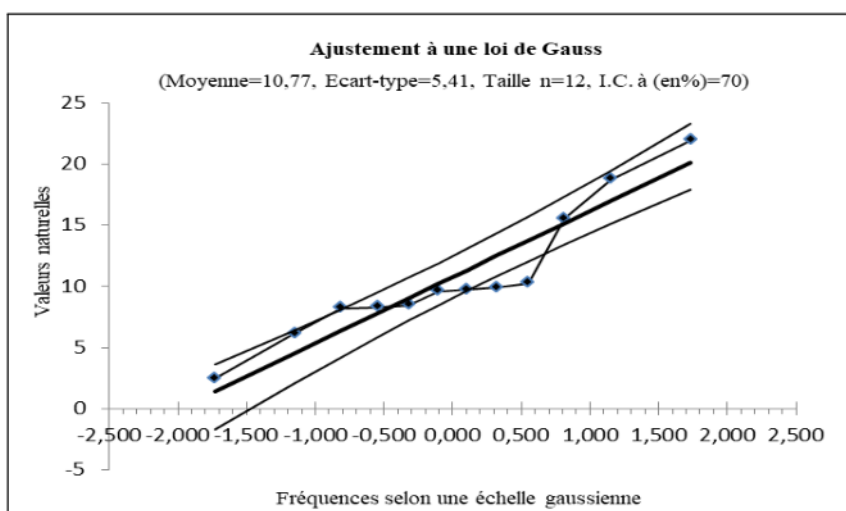


FIGURE 4.13 – Graphique d’ajustement à la lois de Gauss pour la station hydrométrique de GHRIB AMONT

Interprétation

D’après les résultats graphiques du test de la loi de Gumbel que nous avons obtenus sur les séries de données des différentes stations de mesures, nous remarquons que les nuages de points expérimentaux (les observations) sont dispersé autour de la droite du milieu qui représente les valeurs théoriques de la loi de Gauss. En revanche il y a certaines points expérimentaux dépassent les extrémités des droites théoriques inférieur et supérieur, ce qui nous permet de dire que nos séries d’observation ne s’ajuste pas à la loi de Gumbel.

4.5.3 Loi de Pearson 3

Bien qu’il n’y ait pas de justification théorique pour l’utilisation de cette loi en hydrologie, elle est parfois utilisée par pragmatisme dans certains domaines. Par exemple, on observe que les débits moyens annuels en Algérie semblent assez bien s’adapter à cette loi.[13]

La loi Pearson 3 est une loi à 3 paramètres dont la fonction de répartition est donnée par :

$$F(x) = \frac{1}{\mathcal{T}(\phi)} \int_0^u f(u\phi - \exp -u) du \quad (4.15)$$

Avec :

$$u = \frac{x - x_0}{s}$$

L'intervalle de variation de x est $[x_0, +\infty[$ et les trois paramètres d'ajustement sont :

x_0 : paramètre de position (borne inférieur).

s : paramètre d'échelle (de même dimension que x).

ϕ : paramètre de forme (positif différent de zéro).

Résultats de l'ajustement à la loi de Pearson

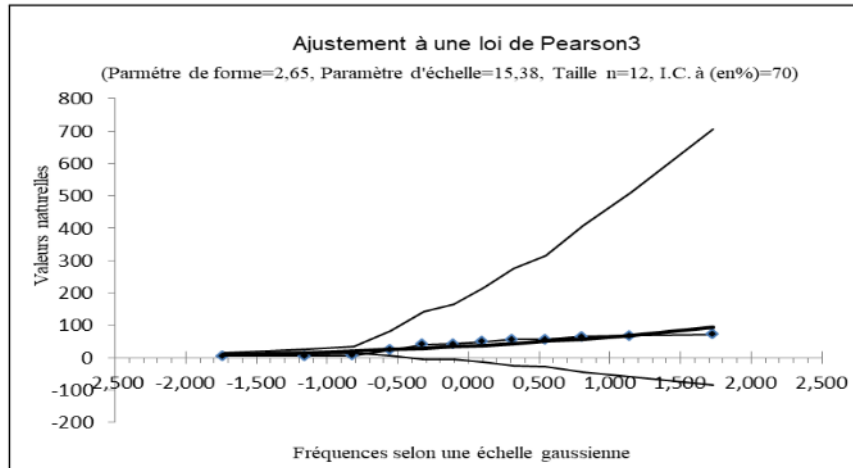


FIGURE 4.14 – Graphique d'ajustement à la lois de Pearson 3 pour la station pluviométrique de GHRIB AMONT

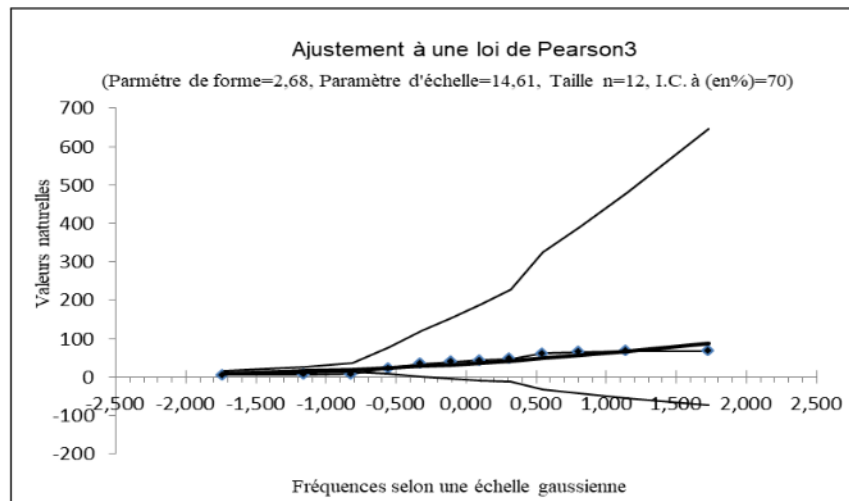


FIGURE 4.15 – Graphique d'ajustement à la lois de Pearson 3 pour la station pluviométrique de GHRIB BARRAGE

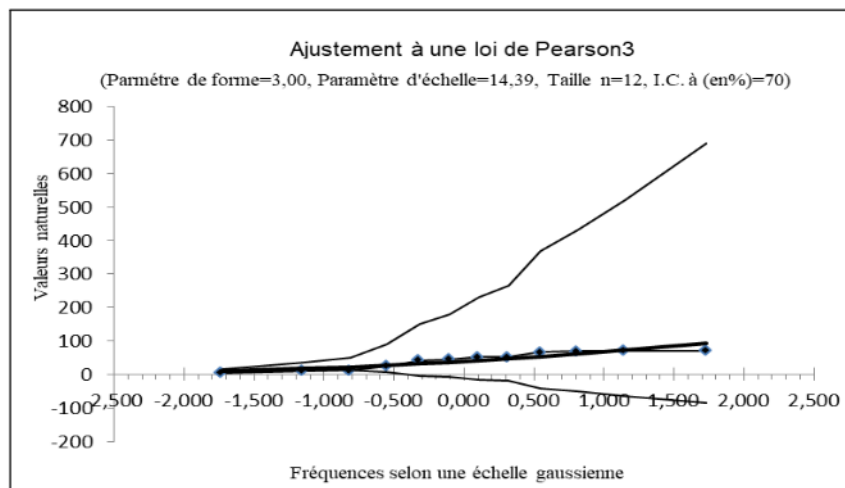


FIGURE 4.16 – Graphique d’ajustement à la lois de Pearson 3 pour la station pluviométrique de ZOUBIRIA MONGORNO

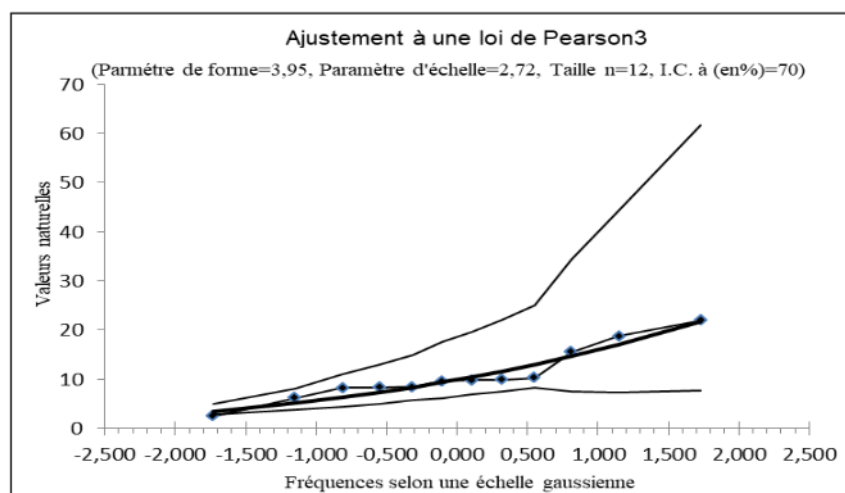


FIGURE 4.17 – Graphique d’ajustement à la lois de Pearson 3 pour la station hydrométrique de GHRIB AMONT

4.5.4 Interprétation

D’après les résultats graphiques du test de la loi de Pearson que nous avons obtenus sur les séries de données des différentes stations de mesures, nous remarquons que les nuages de points expérimentaux (les observations) s’adapte bien autour de la droite du milieu qui représente les valeurs théoriques de la loi de Gauss et ne dépassent pas les limites des droites théoriques inférieur et supérieur. Nous pouvons donc conclure que nos séries de données pluviométrique et hydrométrique s’ajustent parfaitement bien à la loi de Pearson.

4.6 Complétion des observations manquantes pour la période 2012-2022

Les séries de données pluviométriques et hydrométriques ont fait l’objet d’une analyse de données détaillée et cela pour s’assurer de la qualité et la validité des données in situ. Cependant, dans le cadre de notre application nous aurons besoin de données récentes sur un intervalle de temps de 10 ans (2012-2022). Pour remédier à ce problème nous allons compléter cette période par des données de télédétection. Les données de télédétection sont extraites à partir de la plateforme Climate Engine.org. Cette plateforme

est le fruit d'un travail de collaboration entre plusieurs organismes qui sont les suivantes : Google, Desert Research Institute (DRI), Bureau of Land management, National Integrated Drought Information System (NIDIS), university of California et National Oceanic and atmospheric Administration (NOAA). Voici l'interface de la plateforme très facile à utiliser de plus nous pouvons personnaliser nos analyses en fonction de la région d'étude et de la périodes d'observation voulu :

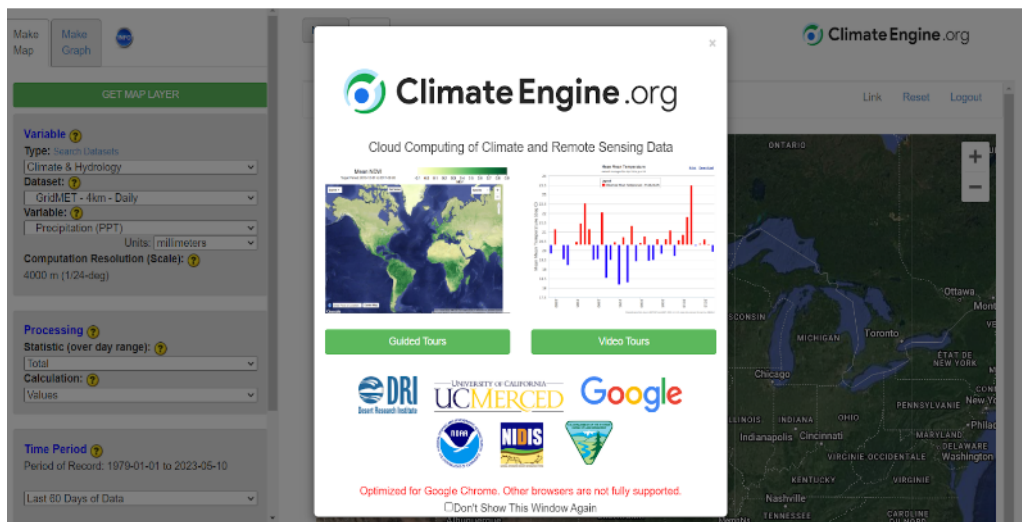


FIGURE 4.18 – Interface de la plateforme Climate Engine.org.
<https://www.climateengine.org/>

Certaines fonctionnalités clés de la plateforme Climate Engine incluent :

- Accès à une large gamme de produits de données climatiques satellitaires.
- Outils personnalisables de traitement et d'analyse de données.
- Cartes et visualisation interactive.
- Intégration avec d'autres sources de données et modèles.

4.6.1 Les données pluviométriques

Les données pluviométriques de la télédétection ont été obtenus depuis la base de données satellitaire de CHIRPS qui a été créé en collaboration avec des scientifiques du Centre d'observation et de science des ressources terrestres (EROS) de l'USGS afin de fournir des ensembles de données complètes fiables et à jour pour un certain nombre d'objectifs d'alerte précoce comme l'analyse des tendances et la surveillance saisonnière de la sécheresse. source : site CHIRPS. CHIRPS signifie Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data. Il s'agit d'un ensemble de données qui combine des mesures de précipitations par satellite avec des données de stations au sol pour créer des estimations de précipitations à haute résolution sur les zones terrestres mondiales. L'ensemble de données est produit par le Climate Hazards Group de l'Université de Californie à Santa Barbara et est librement accessible au public. La base de données de CHIRPS nous a fourni des données de précipitations journalières à 4,8 Km d'altitude, sur une période de 41 ans (de 1981 jusqu'en 2023) selon les coordonnées des 3 stations pluviométriques. Après avoir traité ces données nous avons effectué une comparaison avec les données in situ pour la période de 1981 jusqu'en 2012.

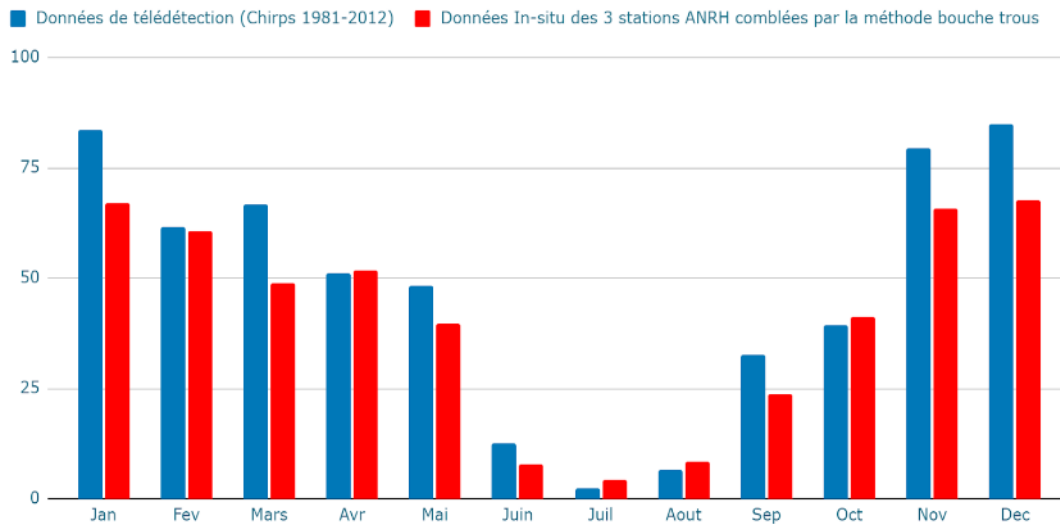


FIGURE 4.19 – Précipitation moyenne interannuelle période (1981-2012).

La valeur de l'écart absolu moyen entre les données de télédétection et les données In-situ est estimé à : 8%. Cet écart est considéré comme étant acceptable. Donc, nous compléterons la série de données pluviométriques in situ par ceux de la télédétection pour la période 2013 jusqu'à 2022.

4.6.2 Les données hydrométriques

La station hydrométrique de notre zone d'étude est en état d'arrêt depuis l'année 1996. Pour compléter les données de cette station pour la période 2012-2022, nous avons décidé de prendre la série de données de l'apport mensuel entrant au barrage Ghrib. La raison pour laquelle ce choix a été pris est le fait que la station hydrométrique soit à l'exutoire du sous bassin versant et qu'elle est à l'amont du barrage Ghrib. De plus, cette série de données est complète et ne représente aucun manque de données.

4.6.3 Les données relatives à la température et l'humidité du sol

Pour les données de températures (moyennes, minimales et maximales) In-situ relatives à notre zone d'étude, nous n'avons pas pu les obtenir en raison du manque d'observation présente sur ces dernières. Nous avons eu recours à des données de télédétection qui ont été obtenues à partir du satellite CFS 19,2 km d'altitude. L'ensemble de données NCEP Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) est une réanalyse atmosphérique mondiale produite par les National Centers for Environmental Prediction (NCEP) et la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Le choix de ce satellite pour avoir les différents données de températures et aussi d'humidité du sol revient au fait qu'il est largement utilisé dans la recherche et les applications climatiques, y compris les études sur la variabilité et les changements climatiques, les prévisions météorologiques et les impacts du climat sur la société et l'environnement. Voir annex pages(108-111).

4.7 Conclusion

A la fin de ce chapitre, nous avons pu traiter l'ensemble des données hydro- pluviométriques pour la période de (1976-2012) avec les différents tests de l'hydrologie statistique afin de vérifier leurs qualités. Vu la non disponibilité des données In-situ de précipitations et climatiques des dix dernières années (2013-2022), nous avons adopté les données de télédétection car ces dernières sont considérées comme étant fiables et précises. De plus, la télédétection a pour objectif principale d'aider à améliorer la planification et la gestion des ressources en eau dans les régions où l'accès à l'information est limité.

Chapitre 5

Application de la comptabilité de l'eau sur le sous bassin de Oued Cheliff Ghrib

5.1 Introduction

La comptabilité de l'eau fournit un outil indispensable pour promouvoir l'efficacité et la transparence dans la gouvernance de l'eau.

Le présent chapitre se concentre sur l'application de la comptabilité de l'eau sur le sous bassin de Oued Cheliff Ghrib. En adoptant une approche rapide basée sur un bilan hydrique classique qui englobe tous les chemins des flux de la zone d'étude et une approche approfondie qui s'appuie sur les informations provenant de la télédétection et autres sources libres d'accès pour présenter le bilan hydrique de la zone étudié selon un format standardisé.

5.2 Application de l'approche rapide

5.2.1 Identification des problèmes liés à la zone d'étude

Comme première étape à l'application de la comptabilité rapide de l'eau, il est nécessaire de cerner et identifier tous les problèmes liés à la demande et la disponibilité de l'eau, le sous bassin de Oued Cheliff Ghrib rencontre beaucoup de défis en matière de disponibilité et demande de la ressource en eau.

Les problèmes principaux du sous bassin de Ghrib se résument par les points suivant :

- La zone d'étude connaît une pluviométrie irrégulière et variable dans l'espace et le temps avec une précipitation moyenne qui ne dépasse pas 125 mm/an durant la période 2012-2022, et l'agriculture dépend essentiellement de l'irrigation avec un totale de superficie agricole utile de 67300 ha, et qui représente 50% de la superficie totale du bassin.

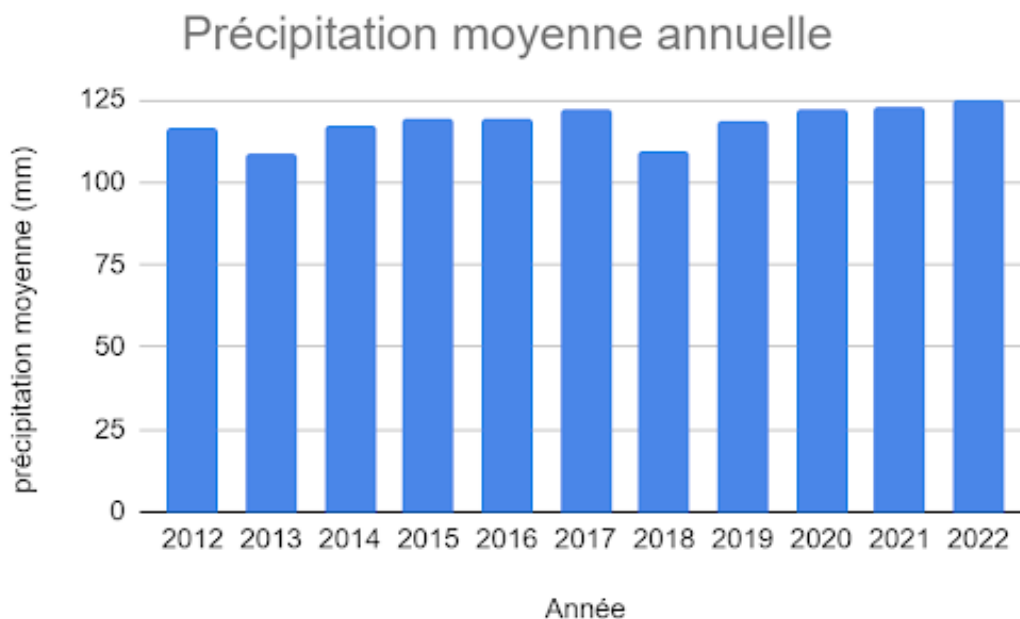


FIGURE 5.1 – Variation annuelle des lames d'eau précipitées sur le bassin de Ghrib période (2012-2022)

- Faible réserve souterraine face à une exploitation excessive des puits d'eau des agriculteurs de la zone d'étude.

Le sous bassin de Ghrib comprend une nappe alluviale qui accompagne Oued Cheliff avec une potentialité très réduite estimés à 1,78 Mm³ en 2008 et qui s'étale sur une superficie de 72Km².

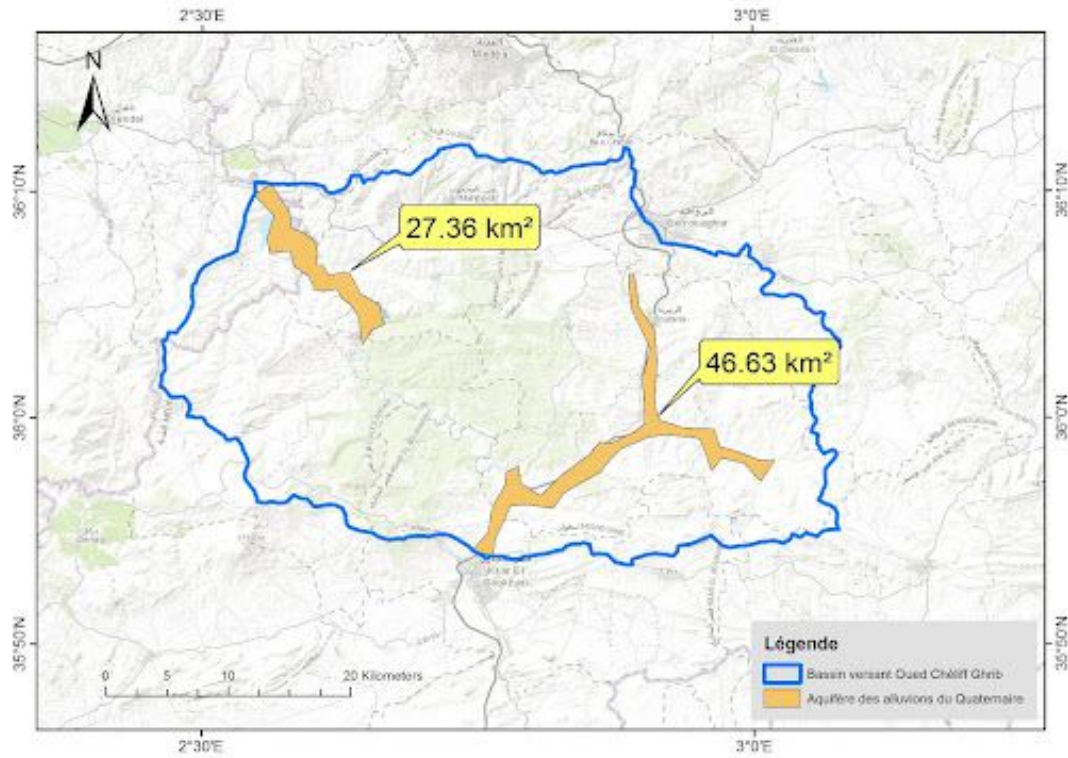


FIGURE 5.2 – Carte de situation de la réserve souterraine du bassin de Ghib.
Source :ANRH

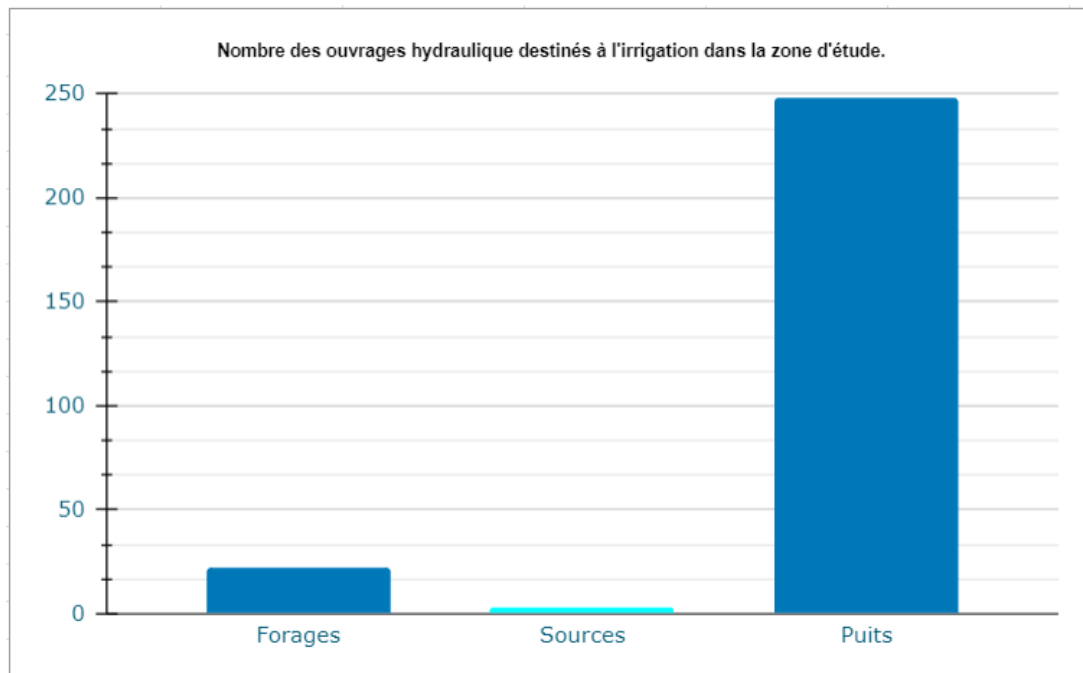


FIGURE 5.3 – Ouvrage hydraulique destinés à l'irrigation dans le sous bassin de Ghib année (2021).

— Les variations saisonnières et interannuelles importantes des apports de oued cheliff du fait de l'augmentation des températures.

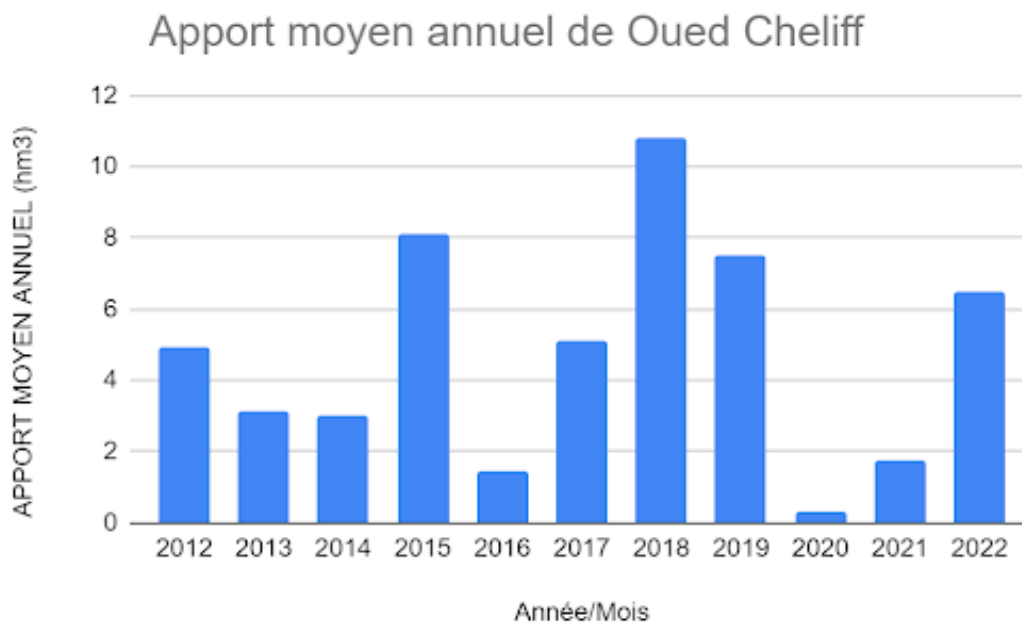


FIGURE 5.4 – Variation de l’apport moyen annuel de Oued Cheliff période (2012-2022)

- Dégradation de la qualité et la quantité des eaux des réserves superficielles, telles que les retenues collinaires qui ont été amoindri de 29% (de 17 retenues collinaires en 2004 à 5 retenues en 2020). La pollution des eaux du barrage de Ghib a cause de l’absence des systèmes d’épuration des rejets, cependant les paramètres des matières azotées ont augmenté avec des valeurs allant de 0.103 à 0.446 mg/l, correspondant à une catégorie de qualité médiocre. Par ailleurs, les niveaux de matière phosphorée ont atteint un maximum de 0,419 mg/l et cela à partir de la dernière analyse effectuée sur le barrage.

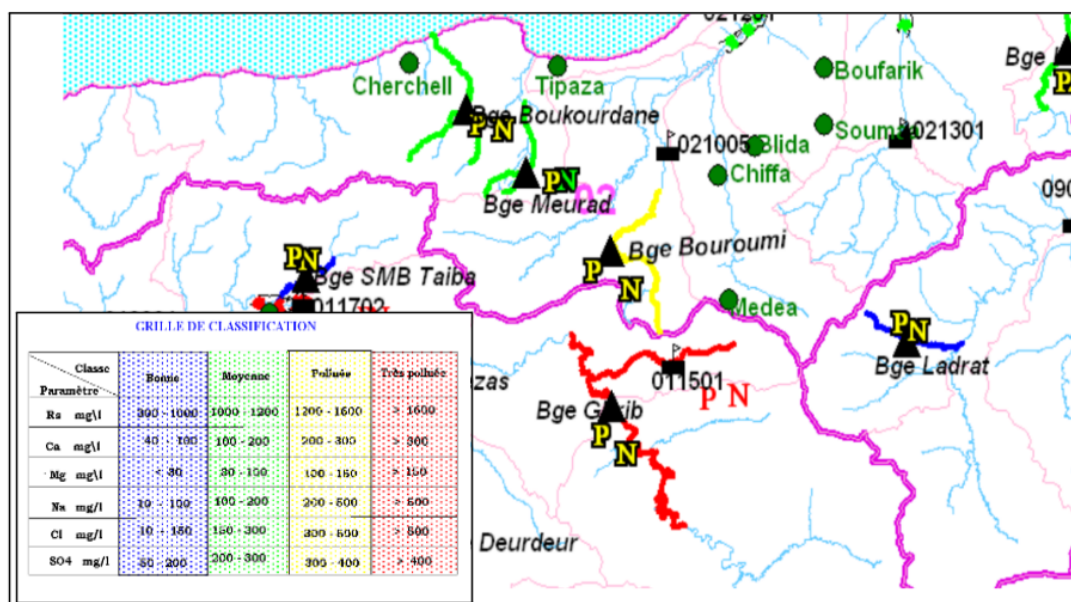


FIGURE 5.5 – Carte de la qualité minérale des eaux superficielles
Source :PNE 2015

- La croissance de la demande en eau potable lié au développement démographique important que connaît la zone d’étude.

Evolution de la Population durant la période (2012-2022)

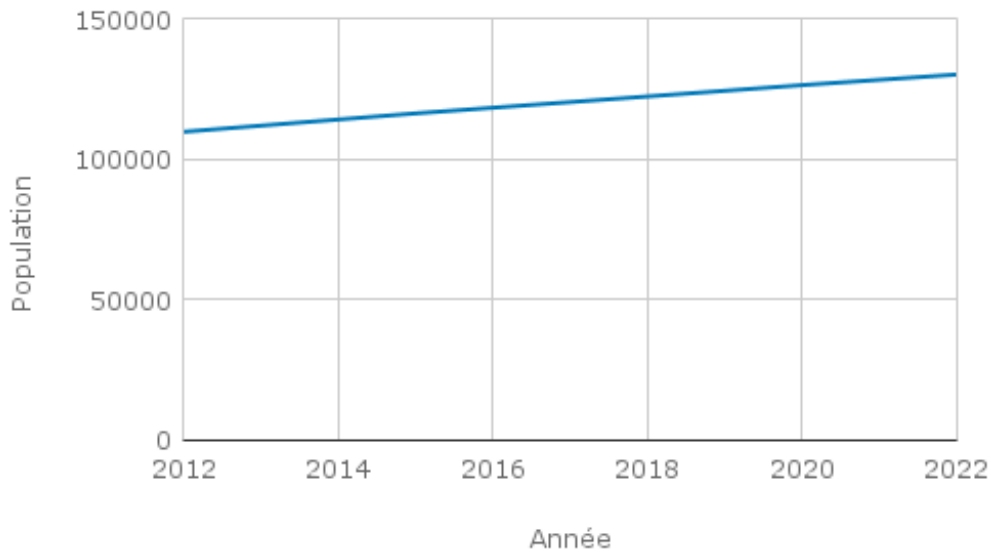


FIGURE 5.6 – Évolution de la population dans le sous bassin Ghrib durant la période (2012-2022)

5.2.2 Outil utilisé pour l'organisation des informations

Le tableau R.I.D.A

Le cadre d'analyse RIDA nous permet de voir d'une manière simplifiée et générale toutes les informations nécessaires à l'application de la comptabilité rapide de l'eau ainsi que sa planification et structuration.

Il se décompose en quatre colonnes :

- **Ressources** : Elle comporte toutes les ressources en eau disponibles dans le sous bassin de oued Cheliff Ghrib dans l'espace et le temps.
- **Infrastructure** : comportant les infrastructures hydrauliques d'approvisionnement et traitement de l'eau.
- **Demande** : cette partie s'intéresse aux types de demandes et aux besoins.
- **Accès** : Utilisation actuelle avec l'identification des barrières d'accès à l'eau.

Nous présentons le tableau R.I.D.A suivant comportant toutes les données disponibles dans la zone d'étude.

TABLEAU 5.1 – Tableau R.I.D.A du sous bassin de Oued Chélif Ghrib

Ressources	Infrastructure	Demande	Accès
Précipitation	Barrage de Ghrib et retenues collinaires	Besoin en eau potable et agricole	Utilisation en irrigation et en AEP
Nappe souterraine	Champ captant	Besoin en eau potable	Utilisation en AEP
Prélèvement de la petite et moyenne hydraulique	Forage et puits	Besoin en eau agricole	Utilisation en irrigation et en AEP

Diagramme et schéma perceptuel

Afin de répertorier et organiser toutes les informations qui concernent principalement les flux entrants et sortants du sous bassin, les réserves d'eau (Barrage et retenues collinaires) et les types de terre qui y existent nous utilisons un diagramme qui récapitule toutes ces informations comme première étape.



FIGURE 5.7 – Étiquettes représentant les différentes données d'entrées et de sorties du sous bassin Ghib.

Après l'achèvement de la première étape, nous allons identifier et classer les utilisations, les flux et les chemins des flux d'eau dans la zone d'étude.

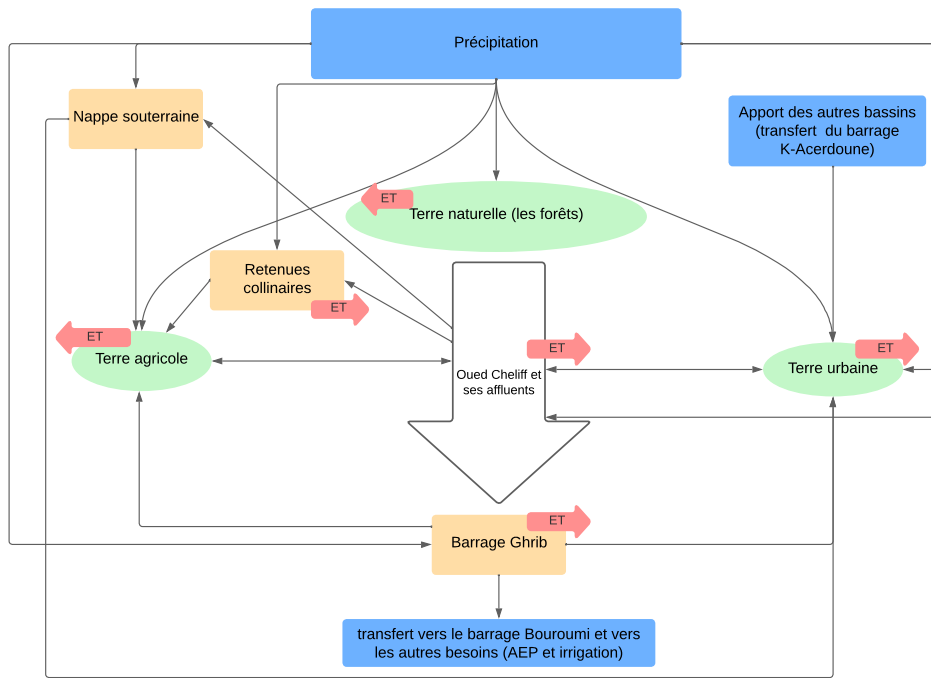


FIGURE 5.8 – Classification de l'utilisation et des chemins de flux dans le bassin de Oued Cheliff Ghib

Analyse fractionnaire

L'analyse fractionnaire nous permet de classer les différents usages de l'eau et les chemins de flux dans le sous bassin de Ghrib.

Le tableau suivant schématise cette analyse en détail avec :

UC : Utilisation consommatrice

UNC : Utilisation non consommatrice

TABLEAU 5.2 – Analyse fractionnaire du sous bassin de Oued Cheliff Ghrib.

Utilisation de l'eau pour :	UC bénéfique	UC non bénéfique	UNC récupérable	UNC non récupérable
L'irrigation	oui bénéfique			
Les besoins domestiques (A.E.P)	oui bénéfique			
Le rechargement de la nappe			oui récupérable	
Le remplissage du barrage Ghrib et les retenues collinaires			oui récupérable	
L'écoulement d'Oued Cheliff et ses affluents			oui récupérable	une partie non récupérable
Les terres naturelles	oui bénéfique			
L'évaporation des plans d'eau		non, non bénéfique		
L'évapotranspiration des cultures et des mauvaises herbes		non, non bénéfique		

5.2.3 Elaboration du bilan hydrique

Le bilan hydrique de la comptabilité de l'eau rapide, a été fait à l'échelle mensuelle durant les 10 dernières années (2012-2022).

Données d'entrées du bilan hydrique :

Les précipitations : Le sous bassin de oued Cheliff ghrib comporte 3 stations pluviométriques, à partir des coordonnées géographiques de ces dernières, nous avons récupéré les séries des pluies mensuelles de l'année (2012-2022) à partir des données satellitaires (CHIRPS à 4,8 km d'altitude), en introduisant les coordonnées géographiques de chaque station en format latitude et longitude à la plateforme Climate Engine.org.

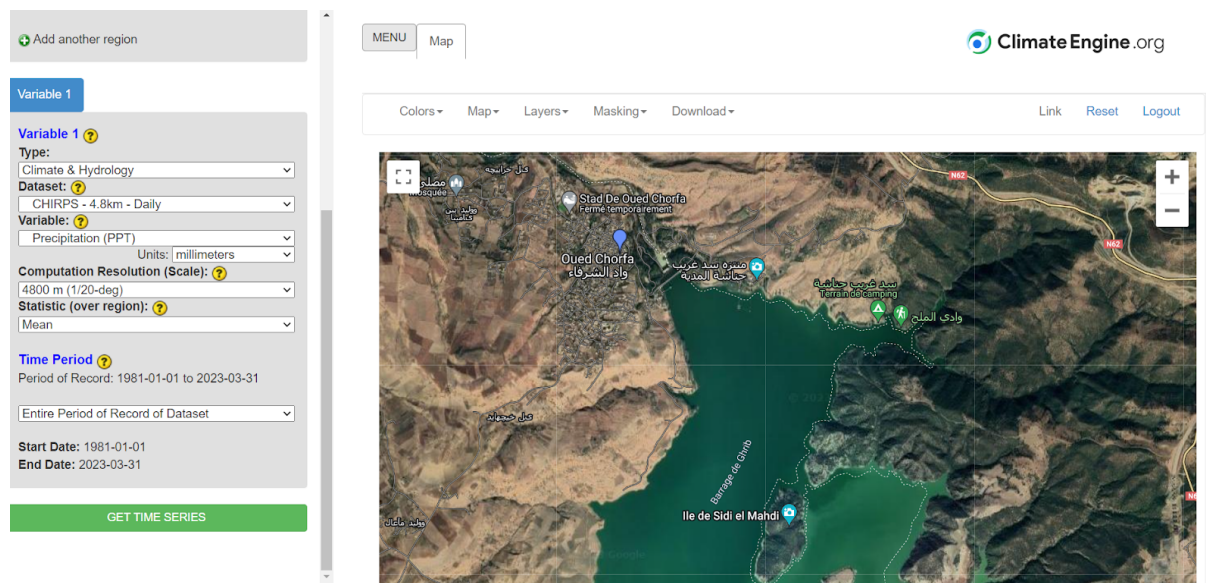


FIGURE 5.9 – Exemple d'utilisation de la plateforme Climate Engine pour extraire les données de précipitations relatives à la station Ghrif barrage

Pour l'évaluation régionale des précipitations, nous allons utiliser la méthode des polygones de Thiessen. Le choix de cette méthode revient à sa simplicité et au fait qu'elle donne de bons résultats. Cette méthode convient quand le réseau pluviométrique n'est pas homogène spatialement (pluviomètres distribués d'une manière aléatoire).

Elle permet d'estimer des valeurs pondérées en prenant en considération chaque station pluviométrique. Elle affecte à chaque pluviomètre une zone d'influence dont l'aire, exprimée en %, représente le facteur de pondération de la valeur locale.

La précipitation moyenne est exprimée par :

$$P_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i * A_i)}{A_t} \quad (5.1)$$

Avec,

$$A_t = \sum_{i=1}^n A_i \quad (5.2)$$

Le tableau ci-dessous représente la superficie en Km2 de chaque zone d'influence des pluviomètres de la zone d'étude.

TABLEAU 5.3 – Superficie associé à chaque station de mesure dans le bassin de Ghrib

Code de la station	11404	11405	11407	Totale
Air de la zone d'influence (Km2)	729,67	97,57	546,01	1373,26

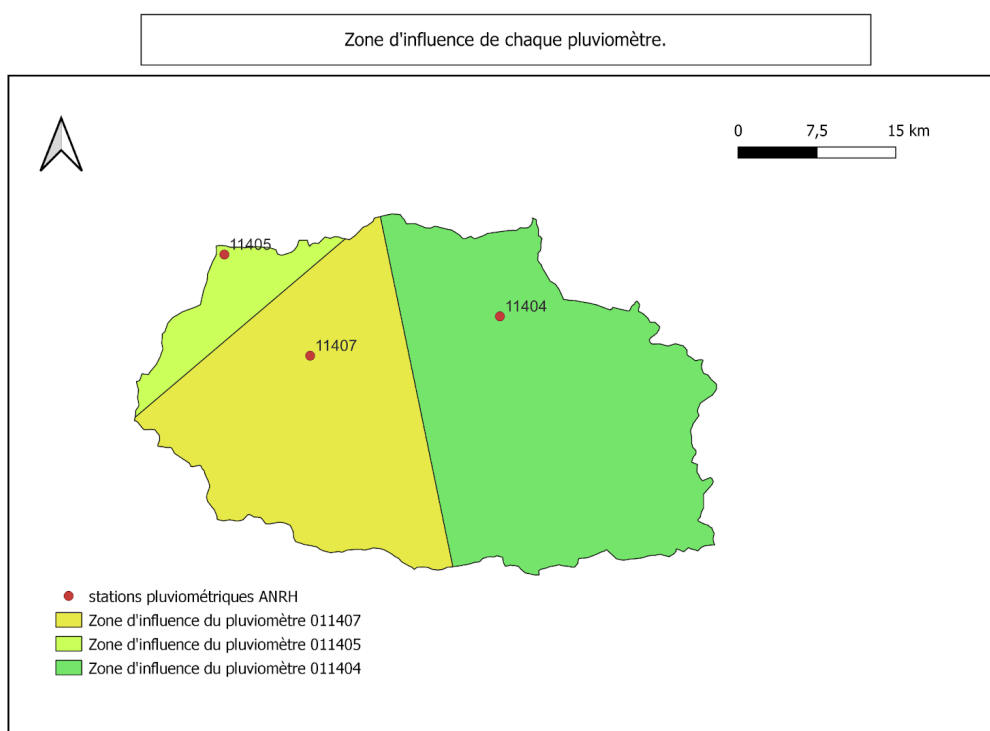


FIGURE 5.10 – Zone d'influence de chaque pluviomètre fait par la méthode de Thiessen à l'aide de QGIS.

Les volumes d'approvisionnement en eau dans le sous bassin de Ghrib

À partir des rapports d'inventaire faites sur la zone d'étude, nous avons obtenu les informations sur les volumes destinés à alimenter en eau les différents secteurs du sous bassin Ghrib (publics, agricole et industriel).

L'approvisionnement en AEP et AEI : Le sous bassin Ghrib est approvisionné en eau potable via un système de transfert a partir des forages et barrages.

TABLEAU 5.4 – Transfert interrégionaux pour usage AEP et industriel.
Source de donnée : AGIRE

Nom du système	Source	Date de mise en service	Sites alimenté
Système Ghrib	Barrage de Ghrib	2004	Berrouaghia, Ouled Deid, Zoubiria, Bouaichoune, Sidi Mahdjoub et Tizi mahdi
Système K-Acerdoune	Barrage K-Acerdoune	2020	Ksar El Boukhari et Boghar
Système de Birine	Champ captant de Birine	1986	Ksar El Boukhari, Boughzoul et Ain Boucif

La figure suivante montre les différents systèmes de transfert de l'AEP vers le bassin de Ghrib.

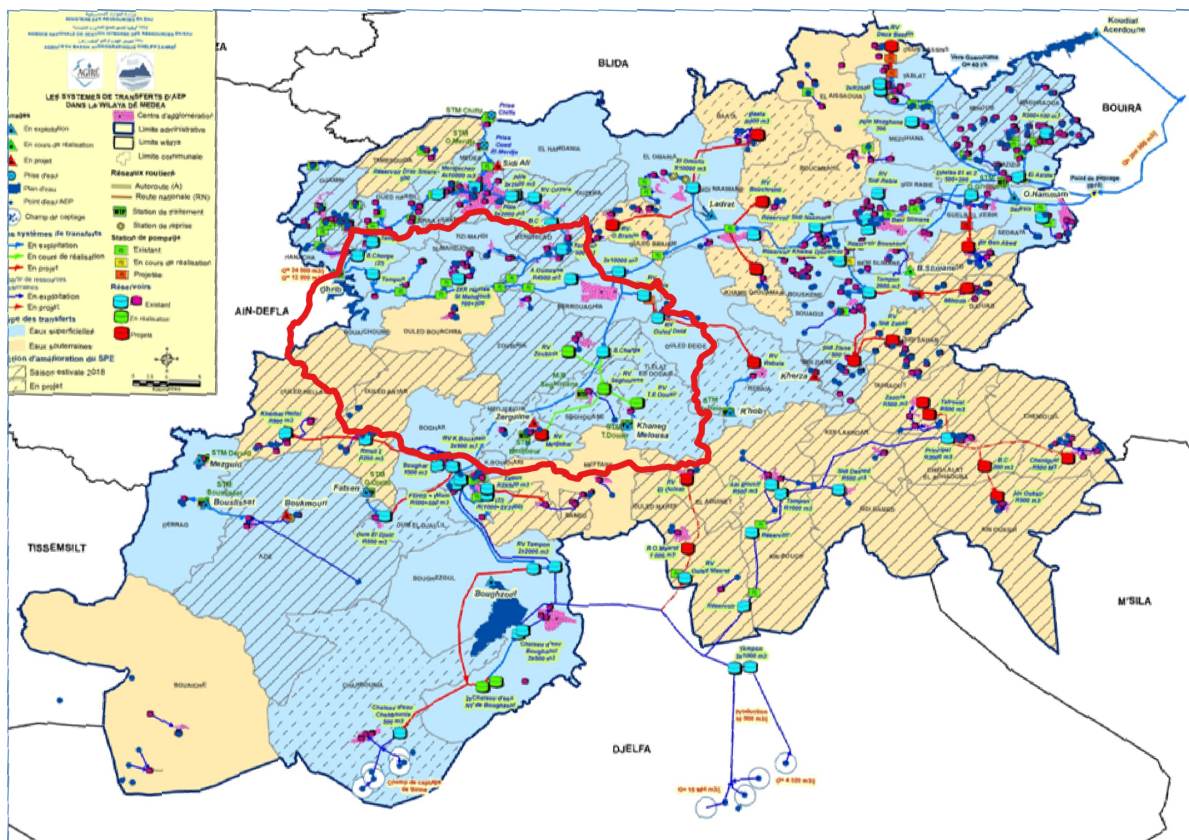


FIGURE 5.11 – Carte des différents transferts et des sources d’adduction en eau potable dans la zone d’étude.

Source de donnée : AGIRE

L’approvisionnement en eau pour l’irrigation : A partir du rapport d’inventaire sur les ressources souterraines dans la zone d’étude année 2021, nous avons pu obtenir les informations sur la consommation annuelle des ressources souterraines à partir des puits, forages et sources (privé et étatique) destiné à l’irrigation, et qui principalement localisé dans les communes de : SI MAHDHOUB, TIZI MAHD,

ZOUBIRIA, AIN BOUCIF, BEN CHICAO, BOUAICHOUNE, et OULED BOUACHRA.

Source de donnée : AGIRE

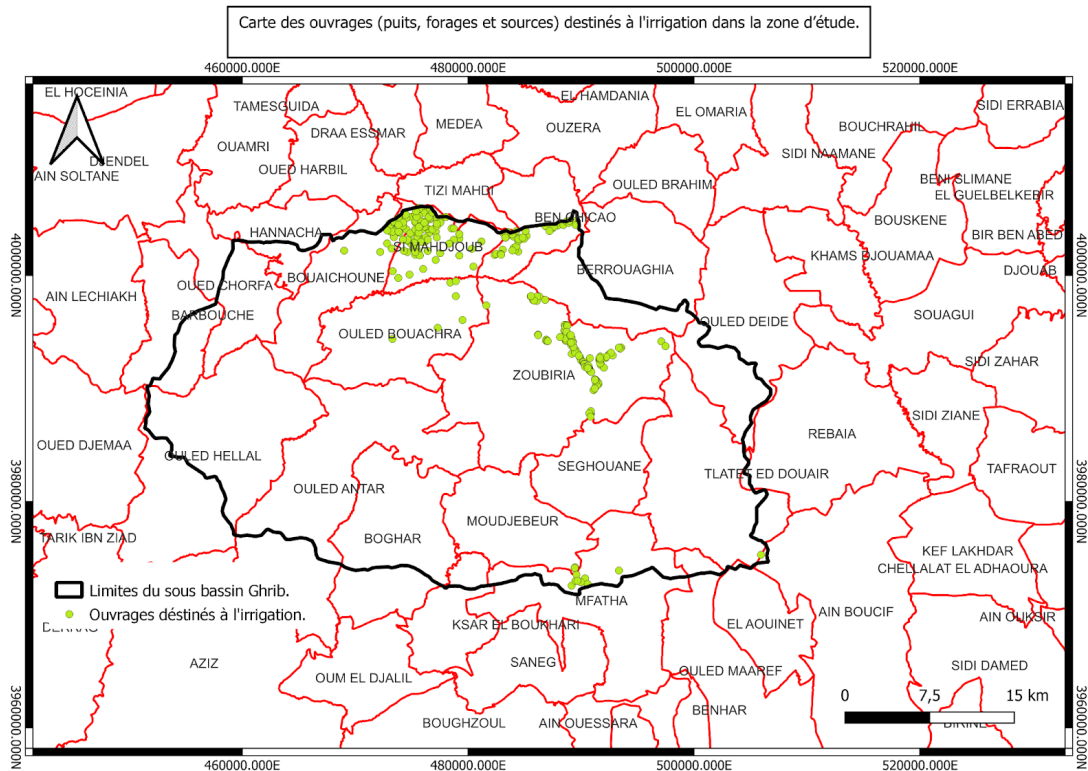


FIGURE 5.12 – Carte des ouvrages (puits, forages et sources) destinés à l’irrigation dans la zone d’étude.

Source de donnée :AGIRE

L’infiltration

L’infiltration du sous bassin versant n’a pas été mesuré, et donc nous l’avons évalué à partir de l’équation du bilan :

$$I = P - ETP - R \quad (5.3)$$

Avec,

I : l’infiltration en (mm)

P : la précipitation en (mm)

R : ruissellement en (mm)

ETP : l’évapotranspiration en (mm)

Nous avons calculer le pourcentage de l’infiltration moyen a partir de la précipitation pour chaque année afin de pouvoir estimé le volume annuel de l’infiltration dans le bassin.

Volume des fuites de l’AEP

Les fuites dans le système d’alimentation en eau potable dans le bassin d’étude ont été estimé de 50% du volume d’approvisionnement en AEP.

Données de sortie du bilan :

Le ruissellement

Le ruissellement de la zone d’étude a été évalué à partir du bilan mensuel d’apport entrant dans le barrage de Ghrib pour la période de 2012-2022.

L’évapotranspiration

L’évapotranspiration dans le bassin a été estimé par différentes méthodes empirique tel que la méthode de Blaney-Criddle, Penman-Montheit modifié (HARGREAVES et SAMANI) et Thornthwaite.

1. **Formule de Blaney-Criddle** : Elle fait intervenir la température moyenne mensuelle et le pourcentage d'éclairement du mois considéré [14].

L'ETP exprimée en mm/mois est la suivante :

$$ETP = K * P * (0,46 * T + 8,13) \quad (5.4)$$

T : Température moyenne mensuelle en °C

P : Pourcentage d'éclairement mensuel fonction de la latitude de la zone d'étude

K : Coefficient fonction de la culture et de la zone climatique.

Le pourcentage d'éclairement (%P) est calculé par la formule empirique suivante :

$$\%P = \frac{362,7 + 0,201 * Lat + (4,085 * Lat - 80,99) * COS(30,01 * (Nbr - mois)) - 188,9}{100} \quad (5.5)$$

Les détails sur les paramètres de la formule se trouve dans l'annexe pages (110).

2. **La formule de Penman-Montheit modifié** : HARGREAVES et SAMANI ont développé une formule basée sur l'approche analytique de Penman-Monteith.

L'équation de Hargreaves et Samani de ETP est basée sur la différence entre la température quotidienne maximale et minimale [15].

$$ETP = 0,0023 * Ra * (Tm + 17,8) * (Tmax - Tmin)^{0,5} \quad (5.6)$$

Avec,

ETP : l'évapotranspiration mm/j

Tm : température moyenne °C

Tmin : température minimale °C

Tmax : température maximale °C

Ra : rayonnement extraterrestre MJ m⁻² jour⁻¹

Le rayonnement extraterrestre Ra représente le rayonnement solaire reçu au sommet de l'atmosphère terrestre sur une surface horizontale, ses valeurs ont été obtenues à partir d'une table théorique en fonction de la latitude du bassin et le mois considérées. Voir l'annexe page (111).

3. **Formule de Thornthwaite** : La formule de Thornthwaite de l'évapotranspiration utilise un seul paramètre qui est la température. Cette formule est souvent appliquée dans les régions arides [16].

$$ETP = 16 * K * \frac{10 * T^a}{I} \quad (5.7)$$

ETP : l'évapotranspiration en mm/mois

T : température moyenne mensuelle °C

a : coefficient calculé par la formule suivante :

$$a = 67,7 * (10^{-8} * I^3) - 77,1 * (10^{-6} * I^2) + 0,0179 * I - 0,492 \quad (5.8)$$

i : l'indice thermique mensuel déterminé par la formule :

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514} \quad (5.9)$$

I : l'indice thermique annuel égal a la somme des douze indices mensuels :

$$I = \sum_{i=1}^{12} i_i \quad (5.10)$$

K : coefficient de correction tabulé qui dépend du temps, du mois et de l'altitude du lieu.

Les paramètres de la formule se trouve dans l'annexe pages (111-112).

En faisant une comparaison entre les résultats de l'ETP obtenus des trois méthodes de calcul, on trouve :

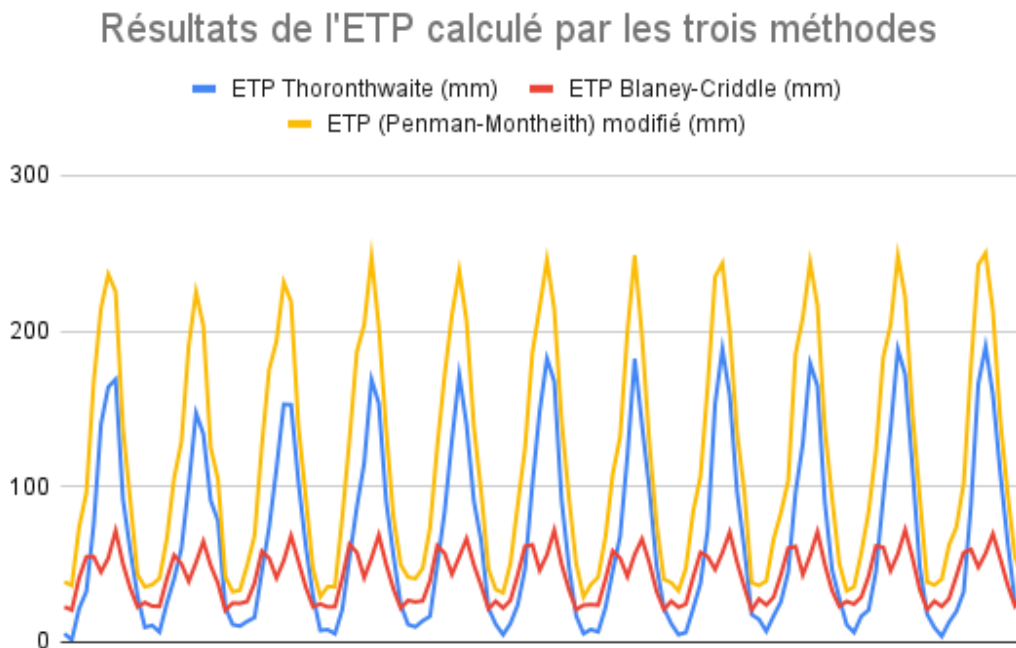


FIGURE 5.13 – Comparaison des résultats de l'ETP obtenus par les trois méthodes de calcul.

D'après la figure (5.13) nous remarquons que les trois méthodes de calcul de l'ETP donnent des estimations approchées. En revanche, l'ETP calculé par la méthode de Blaney-Cridde est la mieux représentatif dans notre cas car elle a été testée in situ par le GOUILE pendant une longue période sur la zone du Chélif ce qui justifie pleinement son compte de l'ETP sur notre zone d'étude. De plus elle fait intervenir le coefficient cultural qui est une caractéristique importante du couvert végétal.

Le volume sortant du bassin

Le volume sortant du bassin a été évalué à partir du volume sortant du barrage qui représente le défluent du barrage. Ce dernier comprend les volumes transférés vers d'autres bassins et vers les autres besoins AEP et irrigation, les pertes de fuite et par évaporation.

Les besoins en eau

En matière de besoin en eau, dans le sous bassin de Ghrib nous distinguons principalement la demande en eau potable, la demande pour les besoins industriels et pour l'activité agricole.

- **Besoin en AEP et AEI :** La demande en eau de la population totale et des industries présente dans la zone d'étude des dix dernières années (2012-2022) a été estimée en moyenne à 9,8 Hm³/an pour une dotation de 150 l/hab/j.

Les besoins en eau potable ont été calculés pour chaque année selon la population de l'année appropriée.

Les besoins en eau industriels ont été estimés à partir des volumes rejetés de ces dernières.

- **Besoin agricole :** Le sous bassin de Ghrib est connu par sa vocation agricole, les principales cultures dominantes sont : l'arboriculture, les maraichères et les céréales.

Le calcul des besoins agricoles a nécessité la connaissance de divers paramètres concernant aussi bien les cultures, les données climatiques et pédologiques de la zone d'étude.

1. **Le coefficient cultural :** Le coefficient cultural K_c , par définition, est le rapport entre l'évapotranspiration de la culture (ET_c) et l'évapotranspiration potentielle (ETP).
Le coefficient cultural K_c varie tout au long du cycle de croissance de la plante, car les besoins en eau de la culture changent à mesure qu'elle se développe.
Les coefficients culturaux fournis par la FAO ont été établis expérimentalement et validés par

de nombreuses applications [17].

Les valeur de Kc sont donnée selon de développement culturel par :

La phase initiale (0,3-0,7)

La mi-saison (0,9-1,15)

L'arrière saison, de la maturation à la récolte (0,25-1,15)

2. **L'évapotranspiration cultural** : L'évapotranspiration culturelle (ETc) est une mesure de la quantité totale d'eau perdue par évaporation à partir du sol et de la transpiration des plantes au sein d'un champ cultivé. Elle représente les besoins en eau de la culture pour atteindre son plein développement et est souvent utilisée comme référence pour l'irrigation. Elle se calcule par la formule suivante :

$$ETc = ETP * Kc \quad (5.11)$$

Avec,

ETP : l'évapotranspiration potentiel

Kc : le coefficient cultural

3. **La pluie utile** : La pluie utile, également appelée précipitation utile, est la quantité de précipitations qui contribue réellement à l'approvisionnement en eau disponible pour les plantes et les systèmes hydrologiques.

Elle est donnée par :

$$Pu = Pt - R \quad (5.12)$$

Avec,

Pu : la pluie utile

Pt : la pluie totale

R : le ruissellement

Résultat du calcul se trouve dans l'annexe page 115.

4. **La réserve facilement utilisable** : La réserve facilement utilisable en agriculture fait référence à la quantité d'eau présente dans le sol qui est accessible aux racines des plantes et peut être utilisée par celles-ci pour leur croissance et leur développement. Elle représente la partie de l'eau du sol qui est retenue dans la zone racinaire et qui peut être prélevée par les plantes sans trop d'efforts.

La RFU se calcule par la formule suivante :

$$RFU = \frac{2}{3} * RU \quad (5.13)$$

Avec RU, la réserve utilisable qui représente l'eau disponible pour les plantes, elle est donnée par la formule suivante :

$$RU = \frac{Hr}{10} * da * Z \quad (5.14)$$

Avec,

Ru :réserve utile en (mm)

da :la densité apparente de la terre sèche

Hr :l'humidité relative a la profondeur d'enracinement

Z : la profondeur d'enracinement (cm)

Résultats du calcul se trouve dans l'annexe page 115.

Le besoin d'irrigation, désigné par le terme (B) représente la quantité d'eau supplémentaire qui doit être apportée par l'irrigation pour compléter les précipitations naturelles, ainsi que d'autres ressources éventuelles.

Il exprime la différence entre les besoins en eau de la culture et les apports d'eau d'origine naturelle, donné par la formule suivante :

$$B = ETc - Pu - X * RFU \quad (5.15)$$

Avec,

ETc : l'évapotranspiration des cultures (mm/j)

Pu : la pluie utile (mm)

RFU : la réserve facilement utilisable (mm)

X : coefficient compris entre 0 et 1, il correspond au pourcentage utilisable de la réserve initiale. (B) représente le besoin net, pour calculer le besoin en eau réelle à apporter aux cultures il faudrait prendre en compte les efficacités des modes d'irrigation utilisés [18].

Le besoin brut est donnée par :

$$B(brut) = \frac{B}{eff} \quad (5.16)$$

où,

B : besoin net

eff : l'efficacité de l'irrigation

L'efficacité moyenne pour les différents systèmes d'irrigation dans le bassin est de 85%.

5.2.4 Schéma explicatifs des données à introduire dans le bilan hydrique

Le schéma suivant comporte toutes les informations nécessaires à inclure dans le bilan hydrique de la comptabilité rapide de l'eau pour le sous bassin de Oued Cheliff Ghrif.

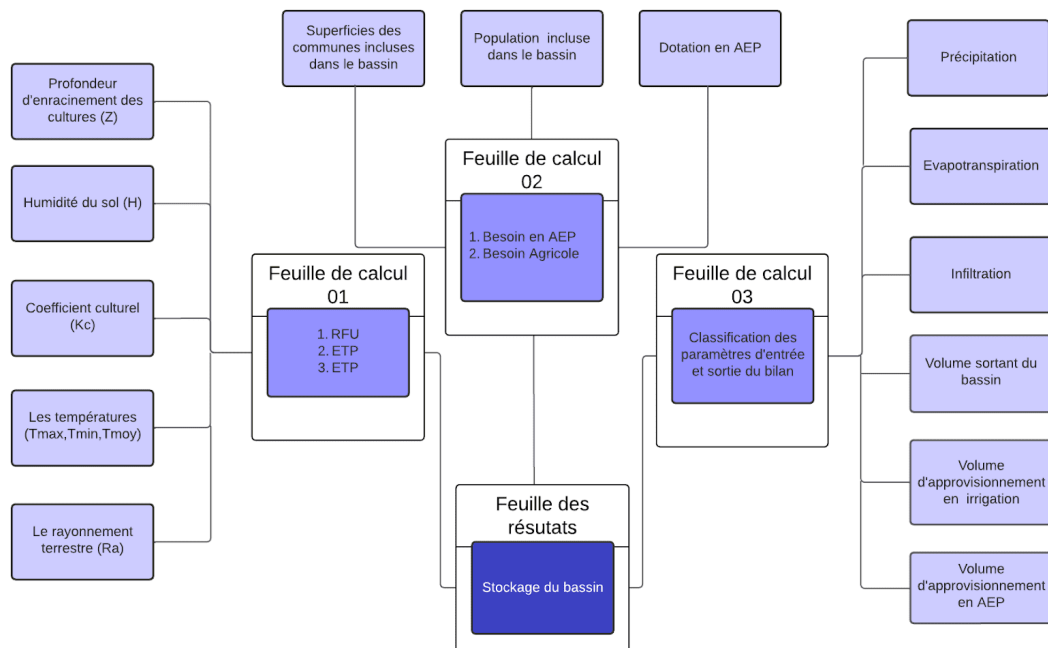


FIGURE 5.14 – Diagramme explicatif du bilan hydrique

5.2.5 Résultats du bilan hydrique

		Données d'entrées (Hm ³)						Données de sorties (Hm ³)			Variation de stockage (Hm ³)		
		Precipitation	Infiltration	Besoins AEP	Volume destiné (AEP)	Fuites (AEP)	Besoins Agricoles	Volume destiné à l'irrig	ETP	Ruisselement		V sortant du barrage Ghrib	
2022													
	Janvier	51,274			0,383	0,192	0,000		26,698	0,45		3,74	
	Février	50,386			0,346	0,173	0,000		32,578	0,32		1,98	
	Mars	173,302			0,383	0,192	0,000		49,573	9,443		1,27	
	Avril	170,544			0,371	0,185	0,000		67,055	64,43		1,7	
	Mai	42,058			0,383	0,192	0,033		69,464	10,599		3,54	
	Jun	11,637			0,371	0,185	0,056		56,163	0,31		5,76	
	Juillet	5,186			0,383	0,192	0,227		66,547	0,219		7,61	
	Août	2,390			0,383	0,192	0,346		81,123	0,402		3,453	
	Septembre	32,407			0,371	0,185	0,000		62,834	0,587		1,989	
	Octobre	54,648			0,383	0,192	0,000		43,158	17,167		2,967	
	Novembre	71,832			0,371	0,185	0,000		27,219	1,726		2,868	
	Décembre	81,023			0,383	0,192	0,000		34,538	0,822		1,749	
	Totale	746,688	0,000	10,352	4,510	2,255	0,662	7,480	616,951	106,475	38,626	-6,290	
2012													
	Janvier	65,568			0,370	0,185	0,000		26,399	1,91		1,14	
	Février	62,885			0,334	0,167	0,000		24,121	8,93		1,03	
	Mars	134,191			0,370	0,185	0,000		47,930	8,86		1,34	
	Avril	183,273			0,358	0,179	0,000		63,974	46,29		29,32	
	Mai	43,369			0,370	0,185	0,010		64,142	3,03		2,99	
	Jun	10,908			0,358	0,179	0,082		52,525	1,59		8,2	
	Juillet	1,849			0,370	0,185	0,299		62,991	0,96		7,65	
	Août	6,041			0,370	0,185	0,509		83,513	1,1		10,95	
	Septembre	22,452			0,358	0,179	0,041		58,808	0,22		8,06	
	Octobre	87,707			0,370	0,185	0,000		40,442	1,31		5,72	
	Novembre	148,225			0,358	0,179	0,000		26,332	4,69		1,45	
	Décembre	76,142			0,370	0,185	0,000		29,709	2,04		2,13	
	Totale	842,611	3,930	9,234	4,355	2,178	0,941	5,937	580,886	80,930	79,980	111,918	

TABLEAU 5.5 – Bilan hydrique total des années 2012 et 2022.

Le reste des tables du bilan hydrique totale à partir de l'année 2013 jusqu'à l'année 2021 se trouvent en annexe (Page 115 - Page 119).

5.2.6 Interprétation des résultats du bilan hydrique

La mesure du stockage du sous bassin de Oued Cheliff Ghrib à travers le bilan hydrique de l'approche rapide nous a permis d'avoir des informations sur les variations du stock des ressources en eau selon l'état hydrologique ainsi que la consommation en eau du bassin par les différents secteurs (agricole, AEP, AEI. . .).

L'année 2012 a connu un stockage positif ce qui indique qu'il y a un excédent d'eau dans le bassin. Cela se justifie par le fait que la saison de précipitations de ces années était plus élevée que la moyenne, ce qui a permis de :

- recharger la nappe d'eau souterraine, et assurer la satisfaction en eau de l'agriculture.
- Soutenir l'écosystème du bassin, un débit d'eau suffisant a été garanti dans Oued Cheliff pendant cette période. Et qui représente une source d'approvisionnement essentielle au barrage de Ghrib.

Cependant, nous remarquons que la demande en eau potable n'est pas satisfaite durant toutes les années humides (déstockage positif) malgré la disponibilité de la ressource.

L'année 2022 a atteint un stockage négatif, ce qui indique un déficit hydrique a été enregistré dans le bassin causé par :

- un stress hydrique dû à l'augmentation de la température ce qui a impliqué une augmentation significative de l'évapotranspiration en effet celle-ci a atteint une valeur d'environ $616,951 \text{ Hm}^3/\text{an}$ face à une pluviométrie $746,688 \text{ Hm}^3/\text{an}$.

Nous déduisons que toutes les années ayant un déstockage négatif sont des années sèches.

5.3 Application de l'approche approfondie

5.3.1 Schéma récapitulatif des données de la comptabilité de l'eau plus

La comptabilité de l'eau plus utilise principalement des données provenant de la télédétection telles que les précipitations mensuelles, les séries chronologiques annuelles et la classification de la couverture terrestre, de l'interception et de l'évapotranspiration et de l'interception réelles.

L'illustration qui suit présente un organigramme détaillé du processus de la comptabilité de l'eau plus.

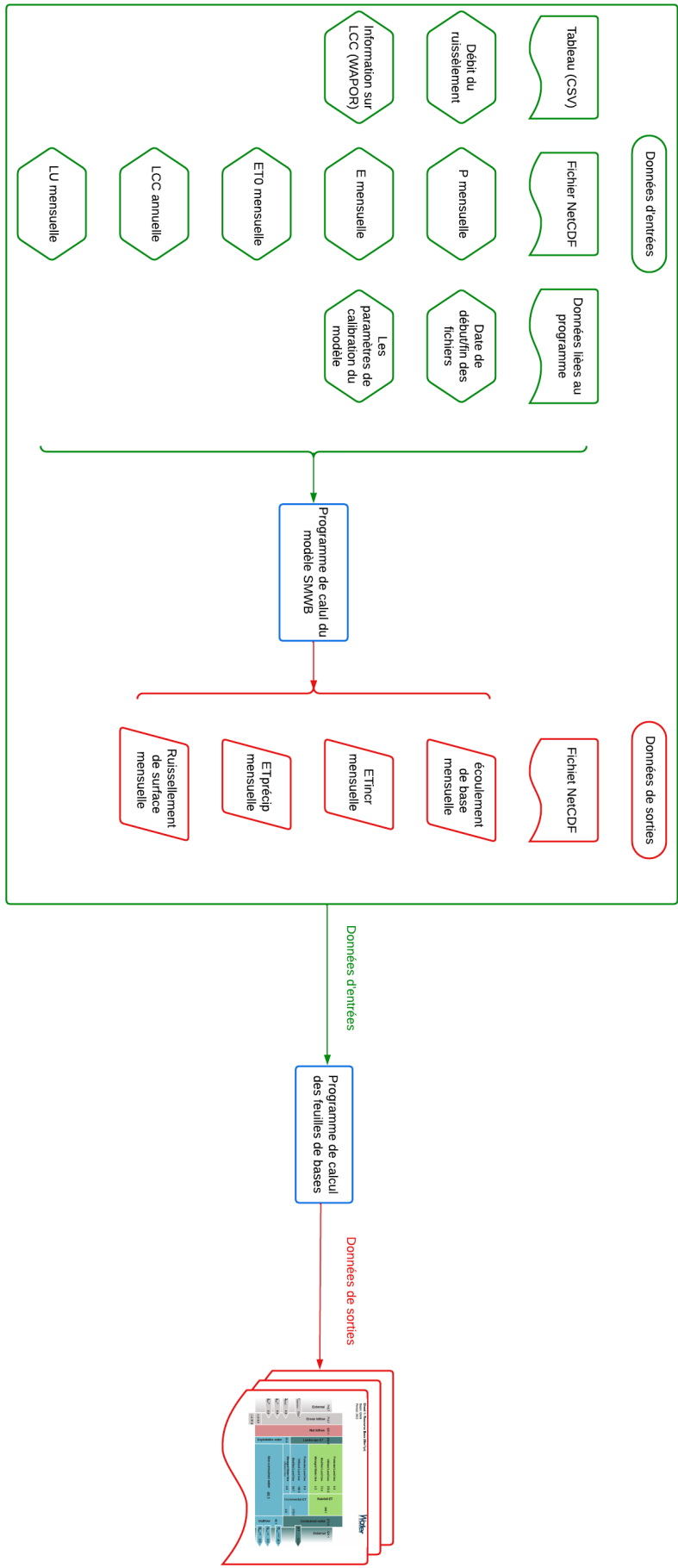


FIGURE 5.15 – Schéma récapitulatif de la CE+.

5.3.2 Traitement des données de la comptabilité de l'eau plus (CE+)

L'analyse et la collecte des données de la comptabilité de l'eau plus ainsi que le rapportage des résultats a été fait à travers l'exécution des programmes python établis dans le cadre du cours de la comptabilité de l'eau plus par IHE DELFT avec ses partenaires, FAO et IWMI.

Précipitation

Les données des précipitations ont été obtenues à travers la base de données Wapor qui est basée sur la base de données CHIRPS. La figure suivante montre la variabilité spatiale des précipitations annuelles en (mm) du sous bassin versant de Ghrib pour la période (2012-2022).

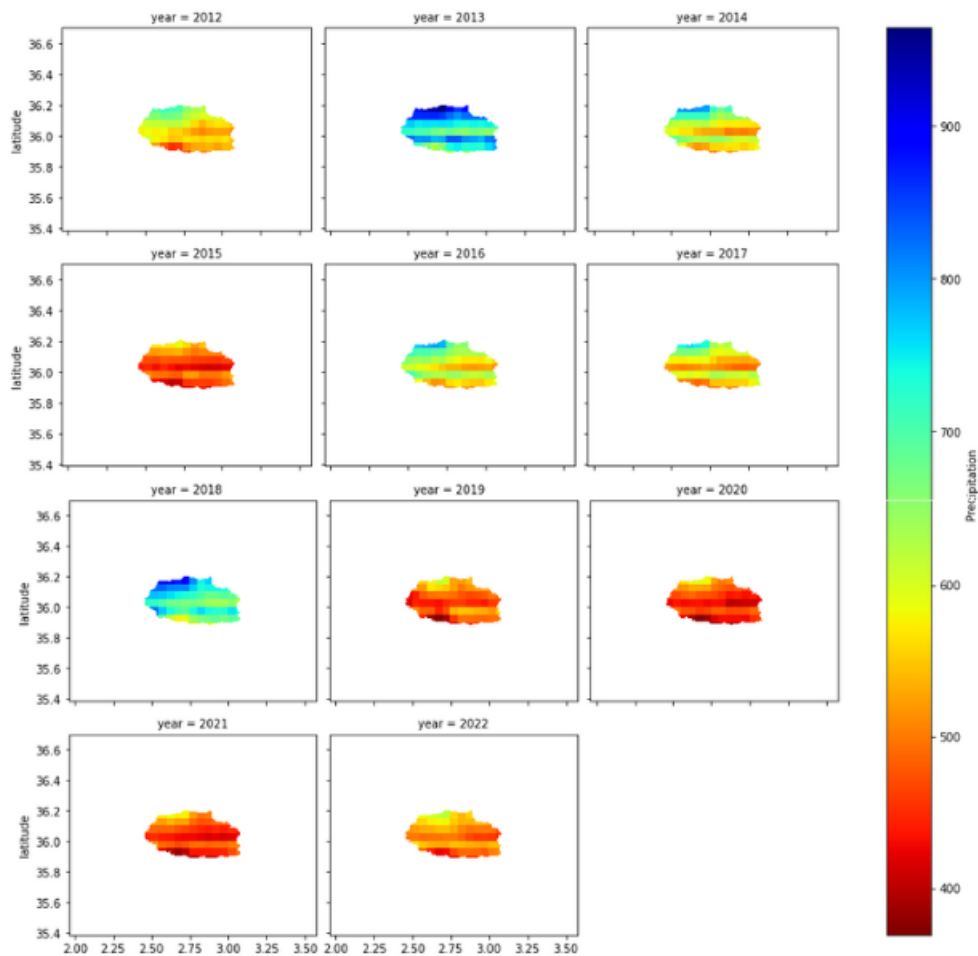


FIGURE 5.16 – Précipitation annuelle Wapor (mm/an) du sous bassin Oued Cheliff Ghrib.

A partir des cartes obtenues, nous remarquons que les années (2013 - 2018) marquent les années les plus bénéficiaires des précipitations (précipitations annuelles > à 800 mm/an) sur la période de (2012 jusqu'en 2022).

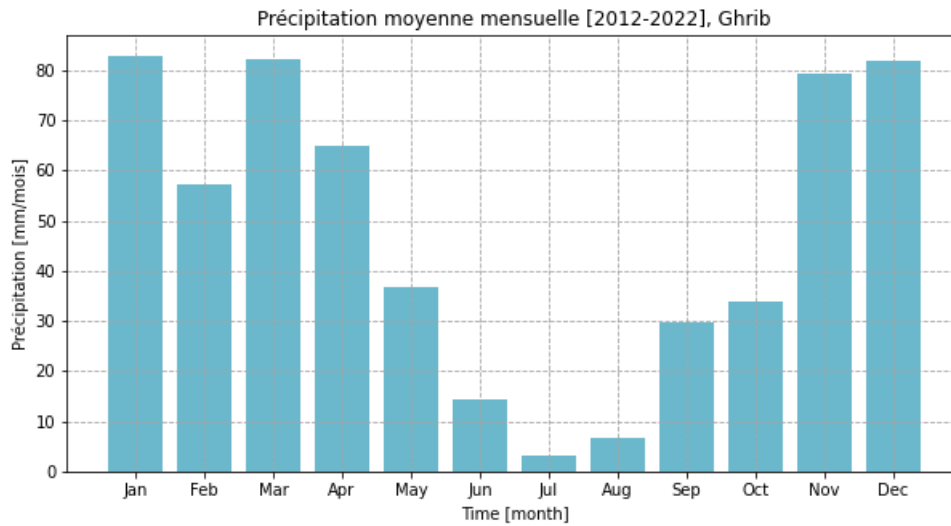


FIGURE 5.17 – Précipitations mensuelles Wapor (mm/mois) période de 2012-2022 du sous bassin Oued Cheliff Ghib.

D’après la figure (5.17) les précipitations moyennes mensuelles du bassin de Ghib les précipitations fluctuent de janvier à mai et de septembre à décembre.

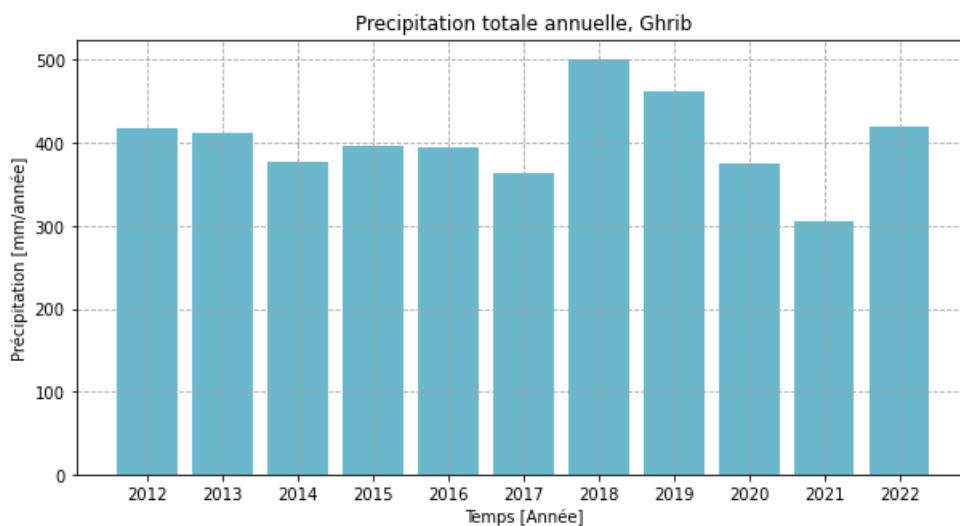


FIGURE 5.18 – Précipitations annuelles Wapor (mm/an) période de 2012-2022 du sous bassin Oued Cheliff Ghib.

D’après la figure (5.18) les précipitations annuelles totales durant la période 2012-2022 ont varié de 500 mm/an en 2018 à 300 mm/an en 2021.

Evapotranspiration réelle et interception

La base de donnée Wapor donne une couche de l'évapotranspiration totale y compris l'interception.

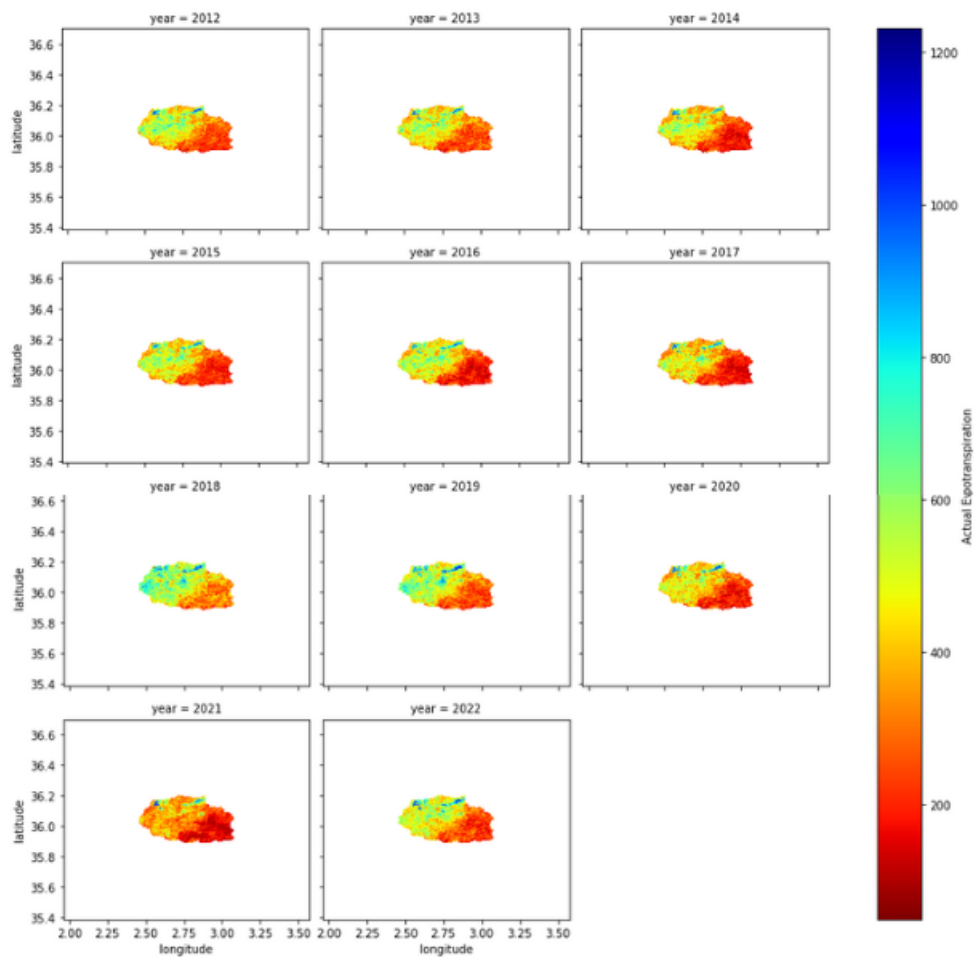


FIGURE 5.19 – Actuelle évapotranspiration Wapor (mm/an) du sous bassin Oued Cheliff Ghib.

La figure suivante montre la variation spatiale de l'évapotranspiration du sous bassin de Oued Cheliff Ghib pour la période de 2012-2022 les zones qui présentent une forte évapotranspiration sont le barrage et les parcelles irriguées.

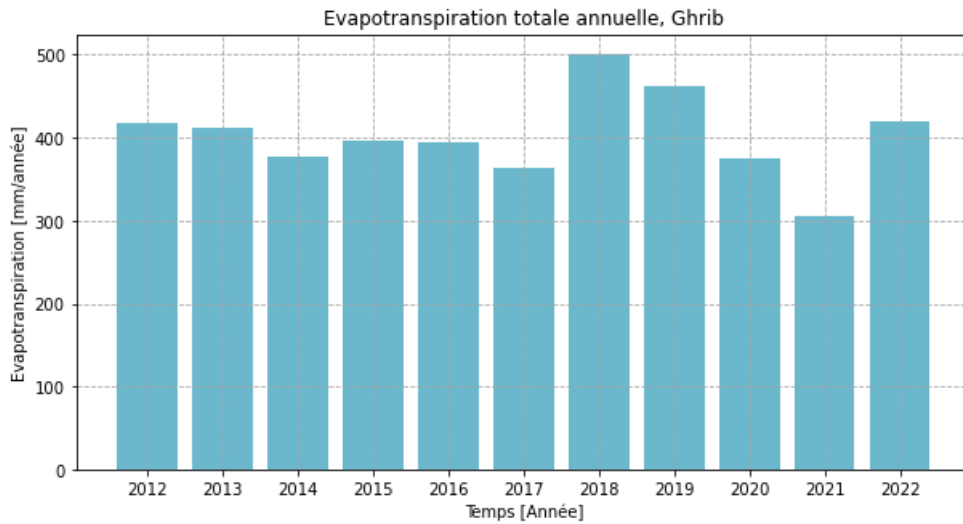


FIGURE 5.20 – Evapotranspiration annuelles totales Wapor (mm/an) du sous bassin de Oued Cheliff Ghib pour la période 2012-2022

D’après la figure (5.20) l’évapotranspiration dans le sous bassin de Oued Cheliff Ghib a atteint un maximum de 500 mm/an en 2018 durant la décennie (2012-2022).

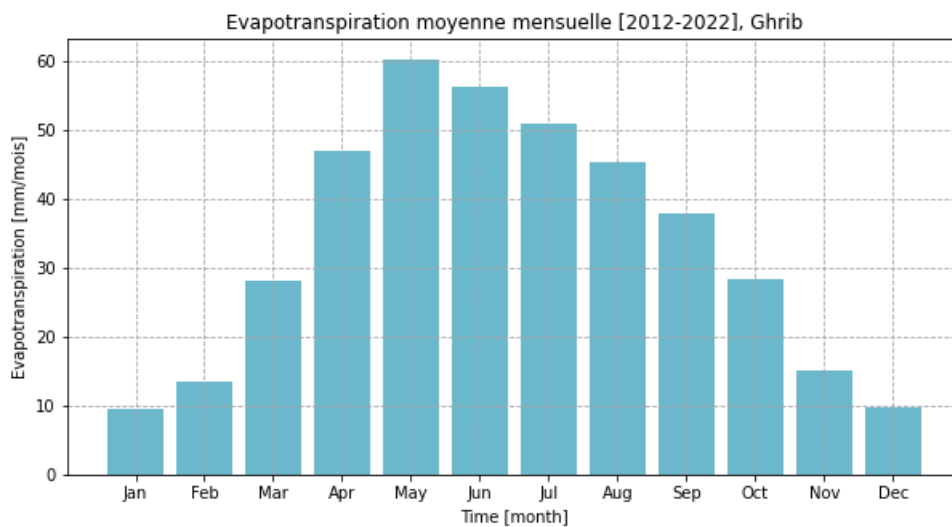


FIGURE 5.21 – Evapotranspiration moyenne mensuelle Wapor (mm/mois) du sous bassin de Oued Cheliff Ghib pour la période (2012-2022).

D’après la figure (5.21) l’évapotranspiration moyennes mensuelles du sous bassin de Ghib a atteint un maximum de 60 mm/an au mois de Mai durant la période (2012-2022) et qui suit différemment les précipitations.

Précipitation moins l'évapotranspiration

Pour avoir une idée globale du bilan hydrique à l'échelle de notre zone d'étude nous calculerons dans le tableau suivant la différence entre les précipitations moyennes annuelles et l'évapotranspiration moyenne annuelles pour la période (2012-2022).

TABLEAU 5.6 – (P-ETP) moyenne annuelle du sous bassin de Ghrib

Année	P (mm/an)	ETP(mm/an)	P-ETP (mm/an)
2012	578,86	418,02	160,84
2013	769,11	412,56	356,55
2014	611,69	376,33	235,36
2015	478,88	396,18	82,70
2016	613,84	394,03	219,81
2017	575,89	362,87	213,02
2018	723,12	499,65	223,47
2019	490,09	461,90	28,19
2020	463,61	375,94	87,67
2021	470,04	305,63	164,41
2022	519,49	418,5	100,99
Moyenne	572,24	401,96	170,27

Les résultats de la différence (P-ETP) du bassin de Ghrib obtenus durant la période (2012-2022) sont tous positifs ce qui montre que notre bassin ne possède pas de zone à forte consommation d'eau.

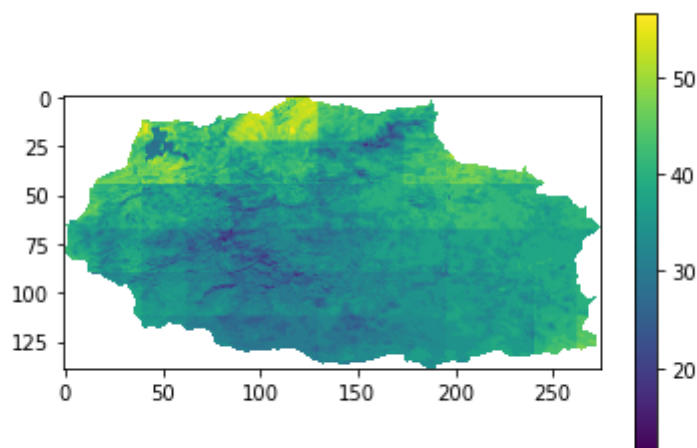


FIGURE 5.22 – P-ETP annuelle Wapor (mm/an) du sous bassin Oued Cheliff Ghrib

Classification de la couverture terrestre

La base de données Wapor fournit une carte annuelle de classification de la couverture terrestre du sous bassin de Oued Cheliff Grib.

La figure suivante montre la carte de classification de l'occupation du sol dans le bassin de Ghib pour l'année 2022, issue de la base de données Wapor après un prétraitement dans Qgis.

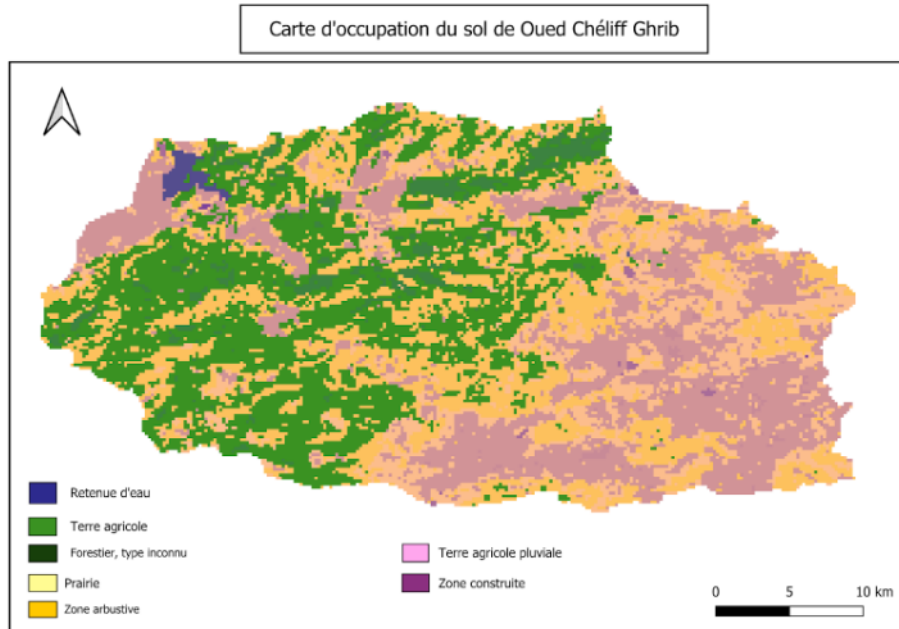


FIGURE 5.23 – Carte d'occupation du sol Wapor du bassin de Ghib, niveau de résolution 250 m.

5.3.3 Cartes globales pour catégoriser les classes d'utilisation des sols

Pour le sous bassin Oued Cheliff Ghib, il y a trois grandes catégories d'utilisation des sols : ULU (Catégorie des Terres utiles), MLU (Catégorie des Terres Modifiée) , MWU (Catégorie des Terres Gérées).

ULU :représente les forêts, les pâturages naturels et les montagnes arbustives. Ce type de terre est utilisé d'une manière légère avec une faible influence anthropique et l'approvisionnement en eau se fait d'une manière naturelle.

MLU :représente les zones où l'occupation des terres a été modifiée d'une manière significative par l'activité humaine, nous pouvons citer à titre d'exemple : la déforestation, les systèmes des cultures pluviales et les plantations forestières. Les modifications intensives affectent le processus hydrologique de la zone, comme : l'évapotranspiration, l'infiltration, le stockage, la percolation, donc en général le bilan hydrique vertical du sol.

MWU :représente les zones où l'écoulement de l'eau est régulé et géré par l'homme, comme : les systèmes d'approvisionnement en eau potable, les canaux d'irrigation, les structures hydraulique et aménagement. . .

Catégories d'utilisation des terres du sous bassin Oued Cheliff Ghibr année 2017.

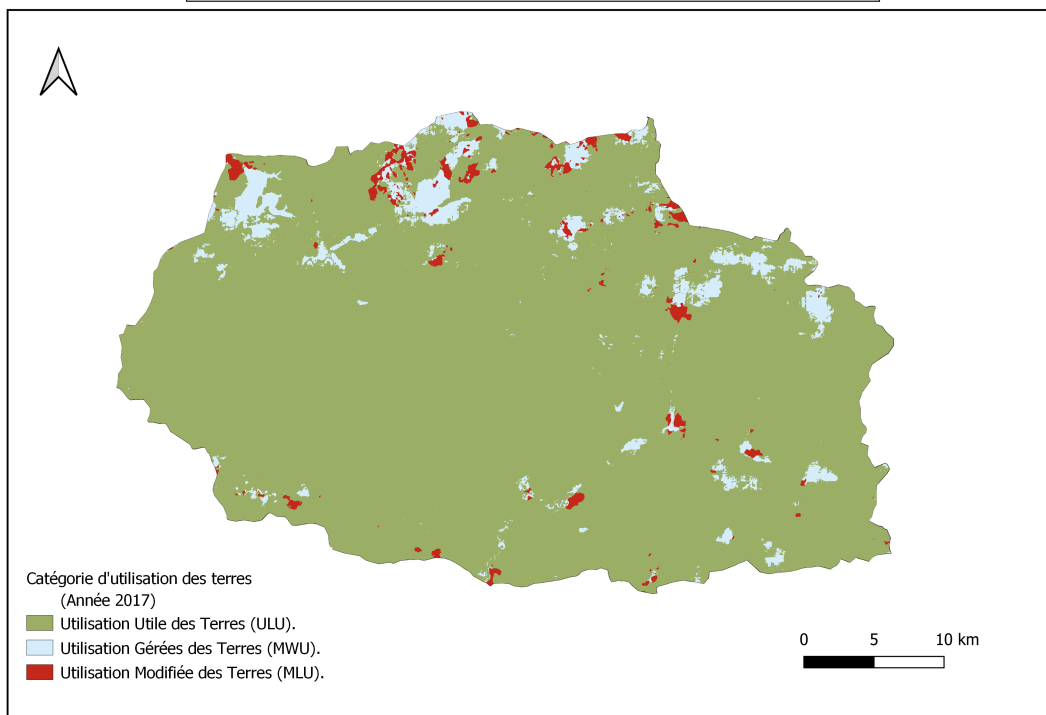


FIGURE 5.24 – Catégorie d'utilisation des terres du sous bassin Oued Cheliff Ghibr durant l'année 2017.

Catégories d'utilisation des terres du sous bassin Oued Cheliff Ghibr année 2022.

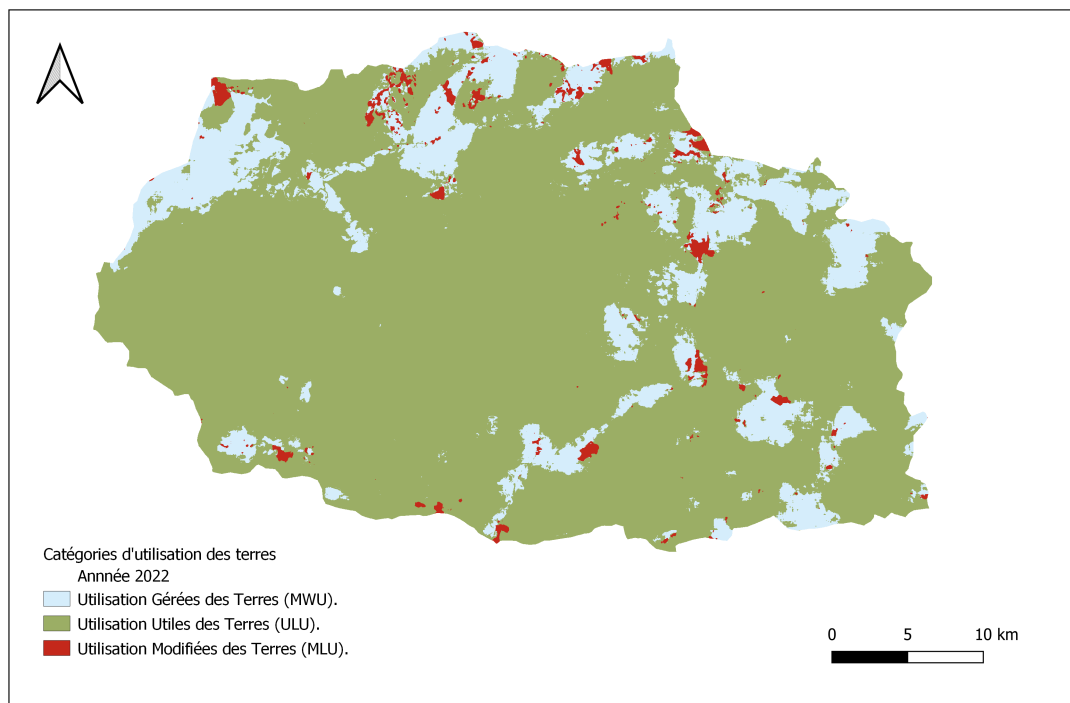


FIGURE 5.25 – Catégorie d'utilisation des terres du sous bassin Oued Cheliff Ghibr durant l'année 2022.

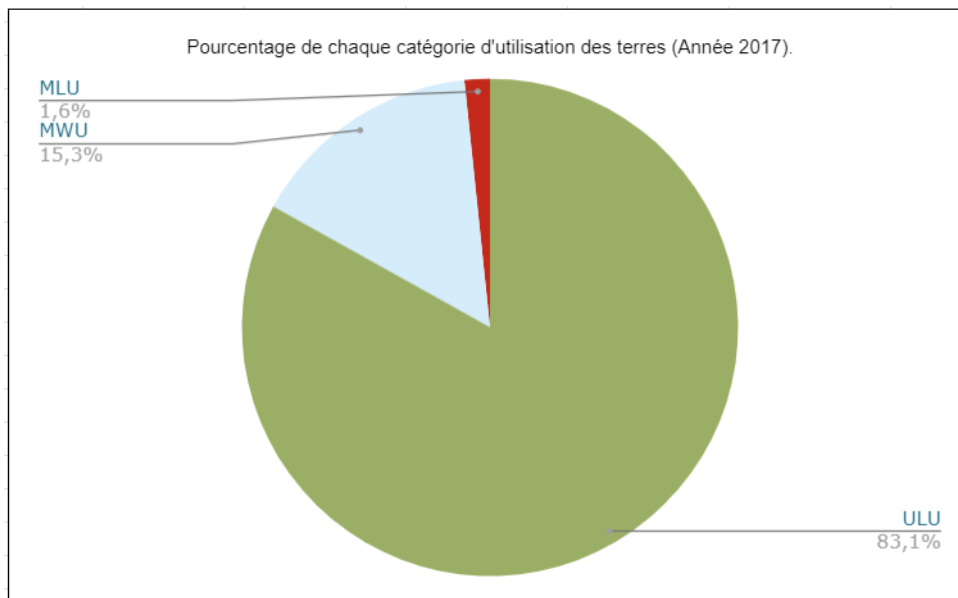


FIGURE 5.26 – Pourcentage de chaque type de catégorie d'utilisation des terres du sous bassin durant l'année 2017

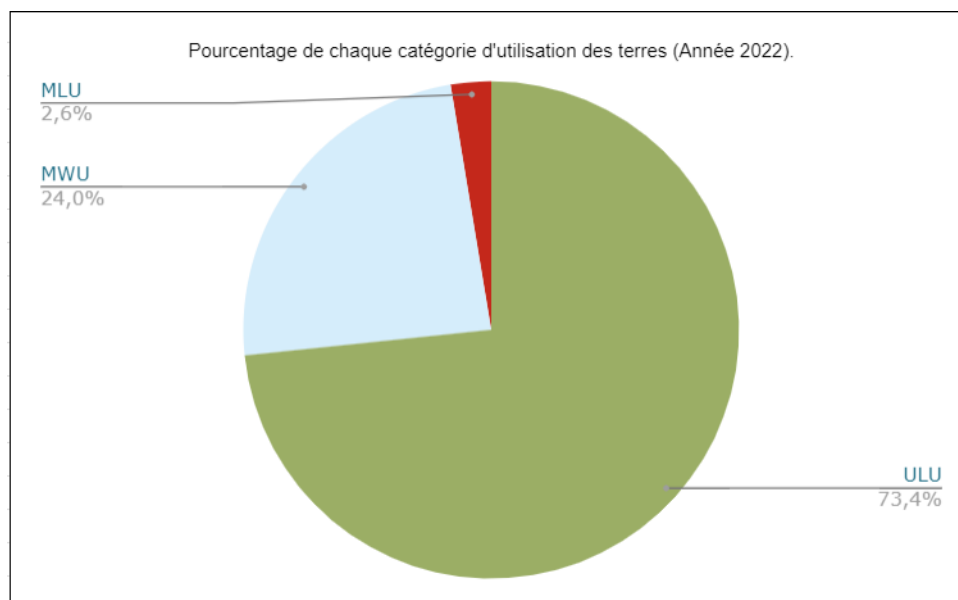


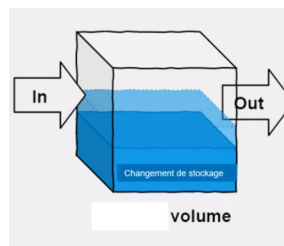
FIGURE 5.27 – Pourcentage de chaque type de catégorie d'utilisation des terres du sous bassin durant l'année 2022

Nous pouvons constater à partir des figures illustrées ci-dessus une augmentation significative du pourcentage de terres modifiées et gérées. Cette augmentation est principalement attribuable à deux facteurs : l'urbanisation croissante et l'intensification de l'agriculture. En effet, avec l'expansion des zones urbaines et la nécessité de répondre aux besoins alimentaires d'une population en augmentation, de plus en plus de terres sont modifiées et aménagées pour l'habitat humain et l'agriculture intensive. Cependant, une tendance inquiétante se dessine également : le pourcentage de terres utiles diminue. Cela signifie que la proportion de terres qui sont disponibles pour des utilisations bénéfiques et durables, telles que la conservation de la biodiversité ou la préservation des écosystèmes naturels, diminue progressivement. Cette diminution peut être attribuée en partie à la conversion des terres utiles en terres modifiées ou gérées, mais également à d'autres facteurs tels que la déforestation et la dégradation des sols.

5.3.4 La différence entre le bilan hydrique horizontale et verticale

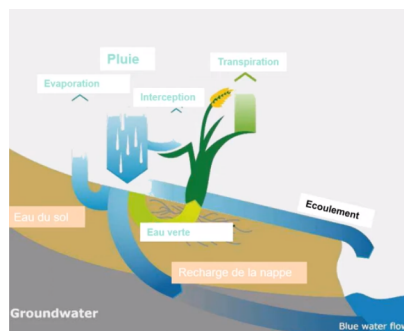
Le bilan horizontal

C'est la mesure d'équilibre classique entre les entrées et les sorties d'eau au niveau d'une zone géographique [6].



Le bilan vertical

Le bilan hydrique vertical se réfère à l'équilibre entre les entrées et les sorties d'eau à travers les différentes couches du sol. Il prend en compte les différentes composantes de l'eau dans le sol, y compris les précipitations, l'évapotranspiration, l'irrigation, l'infiltration, la percolation et la remontée capillaires [6].



5.3.5 Le modèle du bilan hydrique du sol (SMWB)

Analyse à l'échelle du pixel

Le modèle WaterPix calcule pour chaque pixel le bilan hydrique vertical du sol. L'évapotranspiration de la précipitation et l'évapotranspiration incrémentielle. Ces dernières sont séparées en suivant le bilan d'humidité du sol.

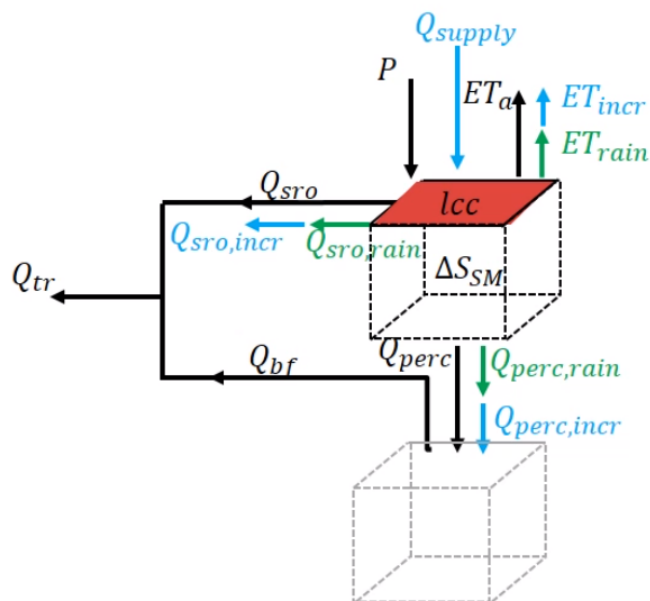


FIGURE 5.28 – Analyse à l'échelle du pixel (model WaterPix).

[6]

L'évapotranspiration de la précipitation (partie verte de l'évapotranspiration)

Elle fait référence à la partie d'humidité du sol dans la couche non saturée du sol qui provient directement de la précipitation.

L'évapotranspiration incrémentielle (partie bleue de l'évapotranspiration)

Elle fait référence à la partie de l'évapotranspiration qui provient de l'irrigation ou de prélèvement d'eau de surface ou souterraine uniquement.

Calcul de l'humidité du sol (étape 01)

La CE+ nécessite la quantification de l'eau bleue et verte, qui n'est pas directement disponible à partir des produits de télédétection. Par conséquent, un bilan hydrique vertical du sol (SMWB) doit être modélisé pour chaque pixel afin d'estimer la quantité d'eau consommée par l'évapotranspiration provenant de la précipitation $ET_{précipitation}$ (eau verte) et la quantité d'eau supplémentaire provenant de l'écoulement de surface, des eaux souterraines et de l'irrigation $ET_{incrémentielle}$ (eau bleue).

Les données d'entrée pour ce modèle SMWB doivent être préparées au format NetCDF (extension.nc). Les fichiers NetCDF (Network Common Data Form) sont une norme pour l'échange de données scientifiques en format binaire qui sont indépendantes de la plate-forme et auto descriptives (les fichiers contiennent un en-tête et des métadonnées de fichier sous forme d'attributs nom/valeur). Le bilan hydrique est lié étroitement avec le cycle hydrologique, nous pouvons calculer le bilan hydrique pour chaque cellule c'est-à-dire pour chaque catégorie d'occupation du sol.

La pluie qui tombe sur une certaine catégorie de couverture végétale (LCC) est stockée sous forme d'humidité, une partie de pluie va se transformer en évapotranspiration (eau verte) et une autre partie se ruisselle ($Q_{sro\ rain}$). Nous pouvons avoir un débit supplémentaire (Q_{supply}) eau bleue qui se transforme en ET_{incr} (eau bleue), débit sortant Q_{SRO} et aussi en débit percolant ($Q_{percincr}$).

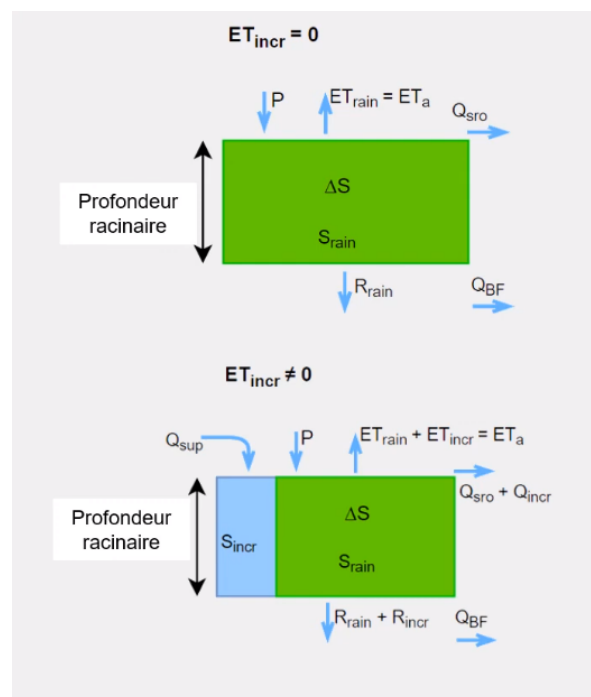


FIGURE 5.29 – Schéma explicatif du calcul de l'humidité du sol par le modèle SWMB.

[6]

Calibrage du modèle selon le sous bassin de Ghrib (étape 02)

Ici, les paramètres spécifiques de calibration du modèle

```
entrée [2]: # Constante de temps de stockage des eaux souterraines [0, 1]
d = 0.5
# constante de percolation profonde [0, 1]
dp = 0.80
# facteur d'ajustement de La rétention du bassin [0.7, 1.3]
rf = 1.2
```

FIGURE 5.30 – Paramètres du calibrage du modèle du bilan hydrique vertical

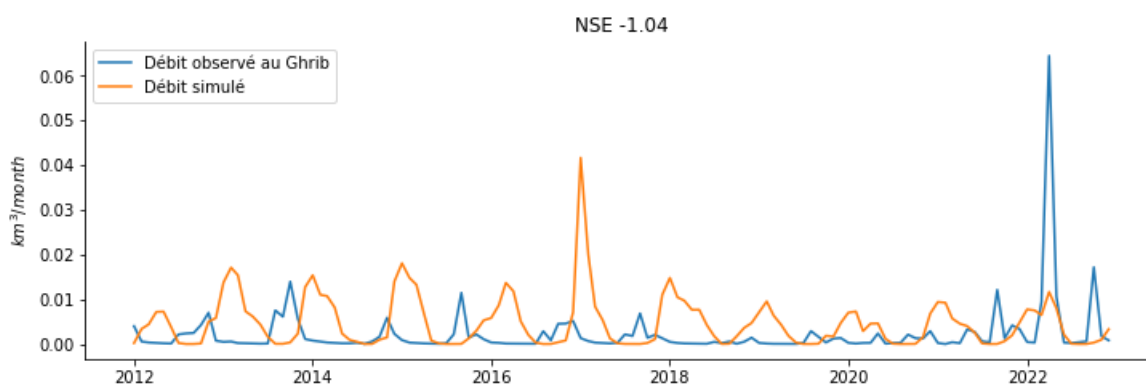


FIGURE 5.31 – Comparaison entre le débit simulé et le débit observé

Le coefficient de Nash-Sutcliffe (NSE) varie de moins l'infini à 1, où une valeur de 1 indique une correspondance parfaite entre les observations et les prédictions du modèle, et une valeur inférieure à 0 indique que les prédictions du modèle sont en moyenne moins précises. En utilisant l'efficacité de Nash-Sutcliffe, il est possible d'évaluer la performance d'un modèle spécifique par rapport aux données observées. Cependant, il est important de noter que l'efficacité de Nash-Sutcliffe peut être sensible aux valeurs extrêmes et peut ne pas refléter pleinement la performance du modèle dans certaines situations. Comme nous pouvons le constater le coefficient NSE pour notre cas est égale à -1,04 ce qui montre que la prédiction est moins précise mais cela est due aux deux extrêmes entre le modèle simulé et le modèle observé.

5.4 Résultats de la comptabilité de l'eau plus

5.4.1 La feuille de base des ressources

La fiche 1 de base des ressources de la comptabilité de l'eau plus présente un aperçu détaillé des ressources hydriques et de leur utilisation actuelle dans les différentes catégories d'aménagement des terres dans le sous bassin de Ghrib durant la période 2012-2022.

Sheet 1: Resource Base (Mm³/yr)

Basin: Ghrib
Period: 2012

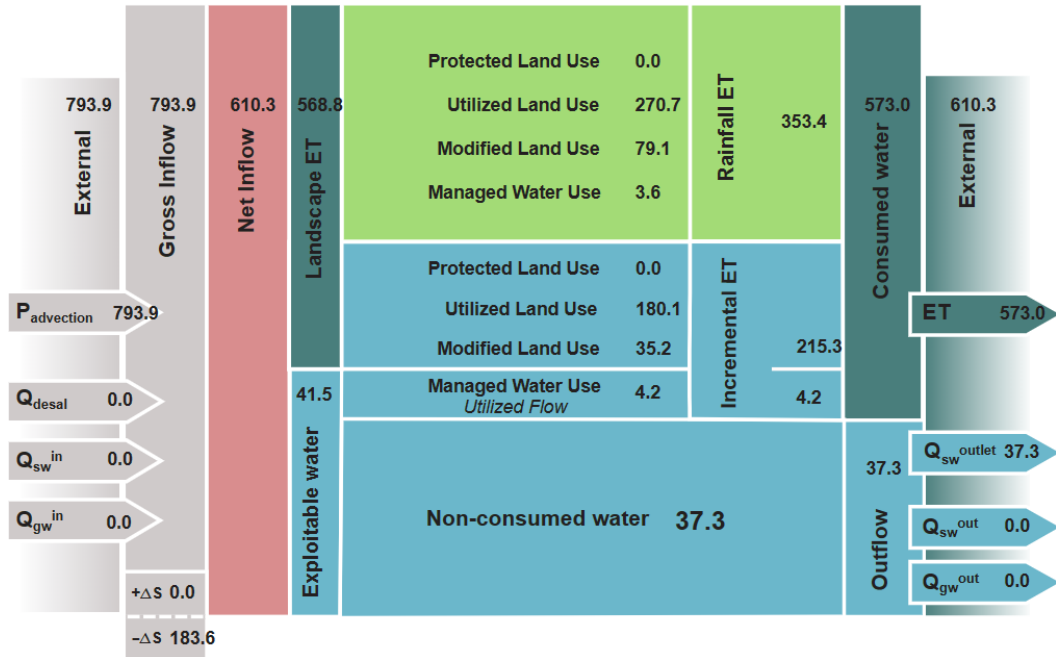


FIGURE 5.32 – Feuille de base des ressources année 2012.

Sheet 1: Resource Base (Mm³/yr)

Basin: Ghrib
Period: 2022

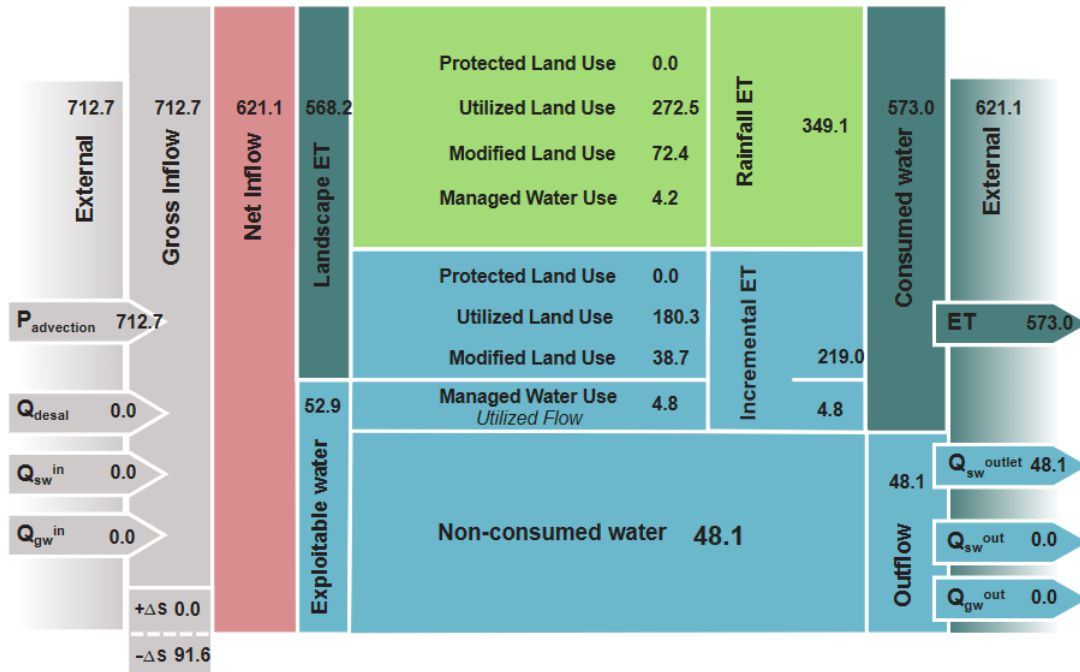


FIGURE 5.33 – Feuille de base des ressources année 2022.

Les autres feuilles de base des ressources annuelles pour les années (2013 jusqu'à 2021) sont incluses dans l'annexe (Page 120- Page 124).

5.4.2 Les indicateurs clés du bassin

Le tableau suivant montre les différents indicateurs clés de la comptabilité de l'eau plus du sous bassin de Ghrib.

TABLEAU 5.7 – Les indicateurs clés du sous bassin de Ghrib

Année	Fraction de l'ET (%)	Indice de stationarité (%)	Solde du bassin (%)	L'eau disponible (Mm ³ /an)	L'eau gérée (Mm ³ /an)	La fraction gérée (%)
2012	40,81	32,04	97,34	183,60	4,20	10,12
2013	33,23	72,18	95,23	408,20	3,60	4,25
2014	36,33	49,90	95,39	257,30	4,40	6,29
2015	42,98	9,30	94,99	50,50	4,40	6,49
2016	37,57	45,57	96,12	246,20	4,20	7,02
2017	36,14	40,86	93,53	203,30	5,50	5,81
2018	39,29	35,13	96,19	240,70	3,20	4,60
2019	47,12	0,28	97,18	1,80	4,70	11,06
2020	43,38	16,57	96,97	85,20	5,10	12,44
2021	37,81	43,89	96,11	183,6	5,00	10,42
2022	42,96	15,99	96,39	91,60	4,80	9,07
Moyenne	39,78	32,88	95,95	177,45	4,46	7,96

5.5 Interprétation des résultats de (CE+)

5.5.1 Interprétation de la feuille de base des ressources

La situation des ressources en eau décrite dans les feuilles de base des ressources montre l'état moyen au cours de la décennie 2012-2022, mais la situation varie fortement d'une année à l'autre en fonction de la quantité de pluie reçue par le bassin, et aussi la quantité de débit supplémentaire hors de bassin comme décrit dans les figures (5.32 et 5.33).

Année 2012

L'eau totale consommée par le sous bassin de ghrib année 2012 est de 573 Mm³/an, soit environ 73% des précipitations totales. L'évapotranspiration incrémentielle (ETincrémentielle) représente 38% de la consommation totale du bassin.

La majorité de l'ETincrémentielle (volume total 215,3 Mm³/an) provient des prélèvements naturels (180,1 Mm³/an). Les prélèvements anthropiques (35,2 Mm³/an) est qui représentent seulement 16% de l'ETincrémentielle. Nous remarquons que dans le bassin de Ghrib la majorité des ressources en eau disponibles sont destinées à l'utilisation des terres utilisées (ULU) et à l'utilisation des terres modifiées (MLU).

La variation du stockage (ΔS) observée pour l'année 2012 est positive car la quantité d'eau qui a quitté le bassin (sortie) sous forme d'évapotranspiration (573 Mm³) et l'écoulement (109,8 Mm³) est inférieur à la quantité qui a rentrée dans le bassin sous forme de précipitation (793,9 Mm³).

Année 2022

En revanche, pour l'année 2022 on remarque une diminution du stockage du bassin (91,5 Mm³/an) comparé à l'année 2012. Cette différence provient de l'épuisement du stockage des eaux souterraines, les plus sollicitées par l'activité agricole dans le bassin. ETincrémentielle (223,8 Mm³/an) représente désormais 40% de l'eau totale consommée dans le bassin (Figure 5.33).

5.5.2 Interprétation des indicateurs clés

Durant la période (2012-2022) la moyenne annuelle des indicateurs clés du bassin de Ghrib montre que :

- **La fraction de l'ET** indique que uniquement 40% du débit entrant est consommé dans le bassin de Ghrib.
- **L'indice de stationnarité** est de 33 % ce qui indique qu'il n'y a pas eu un épuisement du stockage dans le bassin de Ghrib.
- **Solde du bassin** est de 96% dans le bassin de Ghrib ce qui signifie que toute l'eau disponible dans le bassin est consommée ou/et stockée.
- **L'eau disponible** est de 177,45 Mm³/an dans le bassin de Ghrib prête à être gérée.
- **L'eau gérée** est de 4,46 Mm³/an disponible pour être effectivement gérée.
- **La fraction gérée** indique que 8% de l'eau est gérée par rapport à l'eau disponible.

5.6 La comparaison entre les deux approches utilisées

L'application de la comptabilité de l'eau selon les deux approches rapide et approfondie ont fourni des résultats représentatifs sur l'état de la ressource en eau dans le bassin de Oued Cheliff Ghrib. En effet, chaque approche de comptage a ses propres hypothèses et limites. En faisant une comparaison entre les résultats obtenus du stockage du bassin durant la période (2012-2022) selon les deux approches appliquées nous pouvons remarquer qu'il ya eu :

- Les années (2012, 2013, 2014, 2016, 2017, 2018) où le stockage du bassin calculé par les deux approches était relativement proche.
- Les années (2015, 2019, 2020, 2021, 2022) le stockage du bassin calculé suivant les deux démarches de calcul présente une différence significative.

Le figure suivante montre le résultat du bilan hydrique durant les 10 dernières années selon les deux approches.

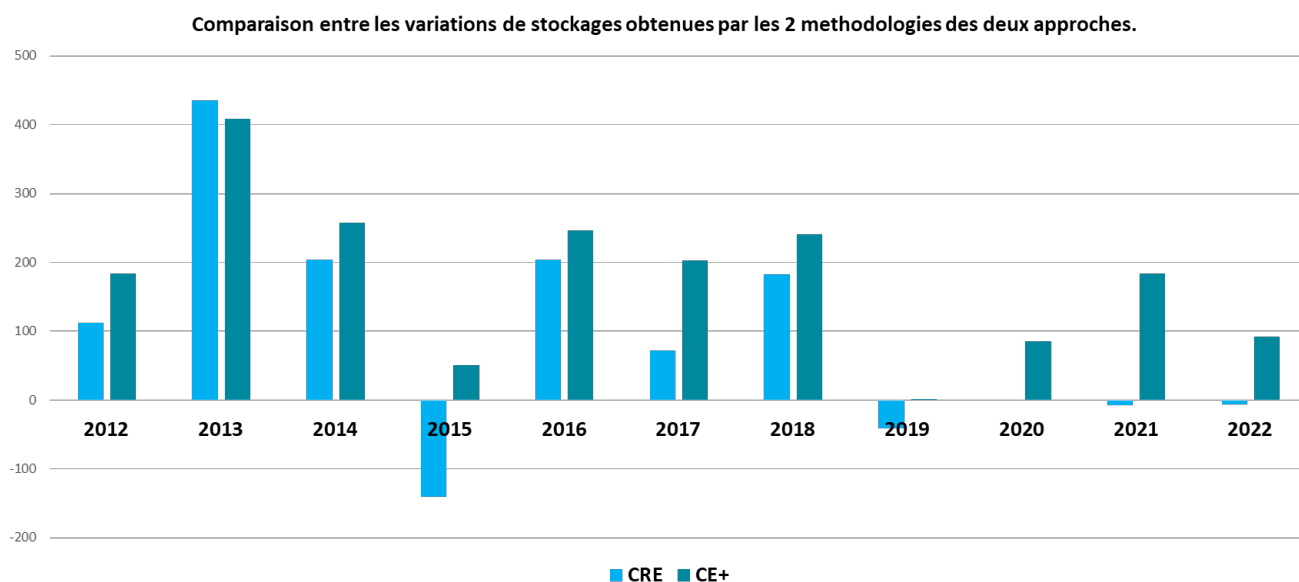


FIGURE 5.34 – Comparaison des valeurs du déstockage des deux approches (rapide et approfondie) des 10 dernières années

Nous remarquons que la comptabilité de l'eau plus surestime les valeurs du bilan hydrique total durant les années sèches.

Cette différence remarquée entre les résultats du bilan obtenu à travers les deux approches peut être due à la fiabilité des calculs et aux incertitudes des données utilisées à travers la comptabilité rapide de l'eau et la comptabilité de l'eau plus.

Le tableau suivant présente la différence et les limites des différentes approches utilisées pour le calcul du bilan hydrique.

TABLEAU 5.8 – Les limites des deux approches utilisées pour faire le bilan hydrique de la zone d'étude.

Approche rapide	Approche approfondie
Le manque d'observation des paramètres climatiques in situ ainsi que les mesures hydrométriques.	Les données du bilan sont issues de la base de données Wapor niveau (2.1) avec une résolution continental de 250 m.
L'estimation de certains paramètres hydrologiques a été faite en se basant sur des formules empiriques en raison du manque des mesures de terrain, telles que l'évapotranspiration et l'infiltration.	L'utilisation des eau est catégorisé selon les différentes classes de l'utilisation des terres.
La complétion des observations manquantes durant la période (2012-2022) par des données issue de la télédétection a une certaine précision (4,8 Km).	Le bilan est basé sur le plan vertical et horizontal.
L'introduction des utilisations humaines dans l'équation du bilan et les pertes.	Fait la distinction entre l'ET pour différentes classes d'utilisation des terres avec différents stratégies de gestion.
Le bilan est basé uniquement sur le plan horizontal des entrées et sorties.	Suit les flux d'eau de surface et d'eau souterraine.
Prendre en compte les transferts inter bassin.	Fait une distinction entre l'évapotranspiration du paysage (issue de la précipitation) et l'évapotranspiration incrémentielle (des prélèvements naturels et anthropiques).

5.7 Conclusion

L'application de la comptabilité de l'eau sur le sous bassin de Oued Cheliff Ghrib selon deux approches nous a permis d'avoir une évaluation détaillée sur les stocks des flux d'eau dans le bassin. Cependant, elle nous a fourni une vision holistique de l'état des ressources en eau dans le bassin d'étude. Grâce à ces deux approches de comptabilité les décideurs peuvent mieux comprendre les schémas de consommation d'eau, identifier les goulots d'étranglement et prendre des mesures pour une meilleur planification.

Conclusion générale

Au cours des dernières années, le problème de la sécheresse a été un défi majeur dans de nombreuses régions du monde. Ses effets sont multiples et touchent différents secteurs, principalement l'agriculture, l'environnement, l'économie et la vie quotidienne des populations.

Le principal objectif de cette étude est de fournir un bilan hydrique détaillé du sous bassin de Oued Cheliff Ghrib pour une meilleure planification. A cette effet l'utilisation de deux approches de comptabilité de l'eau, notamment une approche rapide qui a nécessité un large éventail de sources de données nous a permis d'analyser toutes les informations liées aux ressources et infrastructures de l'eau ainsi qu'à la demande et les utilisations de l'eau dans les différents secteurs. La seconde approche, Comptabilité de l'eau plus est basée sur des données provenant de la télédétection principalement de la base de données Wapor et un modèle de bilan hydrique vertical du sol SMWB modélisé pour chaque pixel afin de pouvoir séparer l'évapotranspiration provenant de la pluie (eau verte) et incrémentielle provenant des prélèvements naturel et anthropique (eau bleue). La modélisation a été faite à l'échelle mensuelle, en revanche, la capacité du calibrage du modèle hydrique était très limitée.

La comparaison des résultats obtenus par le bilan classique et le bilan de la comptabilité de l'eau plus se concentre principalement sur le terme de variation de stockage. En effet, celui-ci représente l'équilibre entre les flux entrants et sortants du sous bassin et également il montre la quantité exacte de l'eau présente dans la zone d'étude.

Le manque de données in-situ avait affecté l'exactitude de nos résultats car ces dernières sont connues par leurs haute résolution spatiale et temporelle.

Enfin, notre étude est la deuxième dans le secteur académique, le manque de ressources bibliographiques à rendu difficile la compréhension de l'approche et appréhendé son niveau de difficulté. Mais, en suivant les cours d'IHE Delft jusqu'à la fin nous avons pu décrypter le problème et articuler ces différents aspects. Notre mémoire permet de faciliter la compréhension de la notion de la comptabilité de l'eau à toute personne qui veut s'initier à cette approche et d'explorer de nouvelles pistes que nous n'avons pas pu aborder comme le développement d'un outil générique et sa mise en application.

Bibliographie

- [1] A. AGARWAL, R. BHATIA, I. CHÉRET et al., « Comité technique consultatif (2000),“ » *La gestion intégrée des ressources en eau*”, *TAC background papers*, n° 4, [en ligne]. Consulté le [22/05/2023]. adresse : %5Curl%7Bhttps://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/background-papers/04-integrated-water-resources-management-2000-french.pdf%7D.
- [2] A. FABRICE, *Environnement/Agenda 21*, [en ligne]. Consulté le [02/04/2023]. adresse : %5Curl%7Bhttps://shorturl.at/hxzX5%7D.
- [3] *ODD6 - Garantir l'accès de tous à l'eau et à l'assainissement et assurer une gestion durable des ressources en eau*, [en ligne]. Consulté le [20/04/2023]. adresse : %5Curl%7Bhttps://www.agenda-2030.fr/17-objectifs-de-developpement-durable/article/odd6-garantir-l-acces-de-tous-a-l-eau-et-a-l-assainissement-et-assurer-une-%7D.
- [4] C. BATCHELOR, J. HOOGVEEN, J.-M. FAURÈS et L. PEISER, « Water accounting and auditing. A sourcebook », *FAO Water Reports (FAO) eng no. 43*, 2016, [en ligne]. Consulté le [06/05/2023]. adresse : %5Curl%7Bhttps://shorturl.at/erQUX%7D.
- [5] C. BATCHELOR, J. HOOGVEEN, J.-M. FAURÈS et L. PEISER, *Recueil de comptabilité et d'audit de l'eau*. Food & Agriculture Org., 2020, t. 43, [en ligne]. Consulté le [20/05/2023]. adresse : %5Curl%7Bhttps://shorturl.at/knHPX%7D.
- [6] *MOOC: Comptabilité et audit de l'eau*, [en ligne]. Consulté le [25/02/2023]. adresse : %5Curl%7Bhttps://ocw.un-ihe.org/%7D.
- [7] P. STEDUTO, J.-M. FAURÈS, J. HOOGVEEN, J. WINPENNY et J. BURKE, « Coping with water scarcity: an action framework for agriculture and food security », *Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 2012, [en ligne]. Consulté le [29/05/2023]. adresse : %5Curl%7Bhttps://www.fao.org/3/i3015e/i3015e.pdf%7D.
- [8] C. KERGOMARD, « La télédétection aérospatiale: une introduction », *Cours de télédétection, Ecole Normale Supérieure Paris*, p. 74, 1990, [en ligne]. Consulté le [09/03/2023]. adresse : %5Curl%7Bhttp://danigra.e-monsite.com/medias/files/principes-de-base-teledetection.pdf%7D.
- [9] S. BENKACI, D. ABIR, A. OUMELLAL et B. REMINI, « Modélisation de l'érosion du bassin haut et moyen Cheliff par l'application Model builder sur ArcGis », *J Mater Eng Struct*, t. 5, p. 81-93, 2018, [en ligne]. Consulté le [22/05/2023]. adresse : %5Curl%7Bhttps://shorturl.at/qGJOU%7D.
- [10] F. MOATAR, *Le bassin versant et son complexe*, [en ligne]. Consulté le [12/05/2023], 2007. adresse : %5Curl%7Bhttps://f2school.com/wp-content/uploads/2020/04/Bassin-versant-Cours-01.pdf%7D.
- [11] P. CUSTOMER, *Le bassin versant et son complexe*, [en ligne]. Consulté le [01/05/2023], 2013. adresse : %5Curl%7Bhttp://physchileborgne.free.fr/cours/3.2.bassin_versant.pdf%7D.

- [12] C. DUBY et S. ROBIN, « Analyse en composantes principales », *Institut National Agronomique, Paris-Grignon*, t. 80, p. 53, 2006, [en ligne]. Consulté le [30/05/2023]. adresse : %5Curl%7Bhttps://shorturl.at/erUVW%7D.
- [13] J. LABORDE et N. MOUHOUS, « Notice d'installation du logiciel HYDROLAB », *Equipe de Gestion et Valorisation de l'Environnement. Université de NICE, France*, p. 43, 1998, [en ligne]. Consulté le [28/04/2023]. adresse : %5Curl%7Bhttp://www.legalis.net/cgi-iddn/certificat.cgi?IDDN.FR.010.0075748.000.R.C.1999.027.20700%7D.
- [14] B. FATAH, B. MOHAMED et G. ABDELHAMID, « Etude comparative des différentes méthodes d'estimation de l'évapotranspiration en zone semi-aride (cas de la région de Djelfa) », *Nature & Technology*, n° 7, p. 109, 2012, [en ligne]. Consulté le [01/06/2023]. adresse : %5Curl%7Bhttps://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/47/4/2/41680%7D.
- [15] L. S. PEREIRA, R. G. ALLEN, M. SMITH et D. RAES, « Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future », *Agricultural Water Management*, t. 147, p. 4-20, 2015, [en ligne]. Consulté le [20/05/2023]. adresse : %5Curl%7Bhttps://www2.feis.unesp.br/irrigacao/pdf/boletim_56_passado_futuro.pdf%7D.
- [16] S. BOUDJEMA et M. HAFSI, « Détermination de l'Evapotranspiration du sol (expérimentalement et à l'aide de formules) dans le cas de nano-irrigation dans les régions arides », 2020, [en ligne]. Thèse de mémoire: Département de : Génie Civil et Hydraulique. Université de Ouargla. Consulté le [04/05/2023]. adresse : %5Curl%7Bhttps://shorturl.at/akst5%7D.
- [17] S. PEPIN et G. BOURGEOIS, « Outils agro-météorologiques pour la planification de l'irrigation des cultures », in *Colloque en Agroclimatologie CRAAQ-2012*, [en ligne]. Consulté le [02/05/2023], 2012. adresse : %5Curl%7Bhttps://shorturl.at/yGJ09%7D.
- [18] I. S. MERDACI, « La modélisation de la gestion d'irrigation dans la région de Biskra en utilisant le traitement des images satellitaires (la télédétection) », [en ligne]. Thèse de doctorat: Département des sciences agronomiques. Université Mohamed Khider Biskra. Consulté le [31/05/2023], thèse de doct., 2020. adresse : %5Curl%7Bhttps://shorturl.at/grBW6%7D.

Annexe

La légende de la géologie du bassin

Légende	
	Routes
	Ville
	Limite Bassin versant
	Barrage Ghib
Carte Géologique 200 000	
Lithologie	
A	Quaternaire (Holocène) Alluvions actuelles - sables, graviers, limons et argiles
Q	Quaternaire (Holocène) Alluvions actuelles et récentes par endroit éboulis des pentes et accumulation de piémont - sables, graviers et argiles
M ₂₋₃	Miocène moyen et supérieur (Vindobonien) Grès et poudingues
M _{2,2}	Miocène moyen (Helvétien) Argiles, marnes et grès
M ₂	Miocène moyen (Helvétien) Grès
M ₁ ¹	Miocène inférieur (Aquitainien) Cailloutis, argiles sableuses rougeâtres et conglomérats
M ₁	Miocène inférieur Série continentale de conglomérats et de grès grossiers
M ₁	Miocène inférieur Marnes et argiles
M ₁	Miocène inférieur Marnes grises avec bancs de grès
M ₁	Miocène inférieur Grès, marnes et bancs de calcaires
O ₁	Oligocène Grès et passées marneuses
E ₂ ¹	Eocène moyen (Lutétien supérieur) Marnes, argiles et localement conglomérats
E _{1,2}	Eocène inférieur et moyen (Ypresien et Lutétien inférieur) Calcaires à silex et marno-calcaires parfois à gypse
Pc	Paléocène-Maestrichtien Marnes et marno-calcaires
K ₃₋₆	Crétacé supérieur (Coniacien-Maestrichtien) Marnes grises et calcaires lites au sommet
K ₂ ²	Crétacé supérieur (Turonien) Calcaires massifs
K ₂ ¹	Crétacé supérieur (Cénomannien) Marnes et calcaires
K ₁ ²	Crétacé inférieur (Albien supérieur) Calcaires en gros bancs et marnes
K ₁ ¹	Crétacé inférieur (Albien) Schistes et quartzites
K ₁ ²	Crétacé inférieur (Aptien) Marnes, schistes et calcaires
T	Trias Gypses, argiles et dolomies noires

Données climatologiques du sous bassin de Ghib obtenus par télédétection

Les températures maximales en °C moyennant les trois stations de mesure :

Année/Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sept	Nov	Oct	Déc
2012	10,92	7,13	14,70	16,54	24,90	33,53	36,54	38,79	30,17	24,21	15,81	11,71
2013	10,19	9,28	13,31	17,96	19,47	28,26	34,21	34,22	28,12	28,33	13,60	10,50
2014	10,81	12,83	12,52	21,18	25,39	29,68	35,30	36,91	30,91	25,13	16,67	9,34
2015	9,45	7,71	15,77	23,24	27,81	30,63	37,28	35,71	29,83	22,34	16,65	14,68
2016	13,71	12,95	14,02	22,41	26,04	32,32	37,00	35,21	29,69	26,15	15,59	11,62
2017	8,03	13,61	17,85	22,13	29,55	34,28	38,22	38,08	30,47	24,31	16,27	8,76
2018	11,38	9,89	13,35	19,08	21,36	30,61	38,61	34,17	29,38	20,57	13,76	13,05
2019	8,90	11,75	16,69	18,70	24,74	36,21	38,94	36,44	30,24	25,63	12,85	13,24
2020	11,70	19,10	16,92	19,17	29,09	31,99	37,90	37,72	29,88	23,73	17,65	11,22
2021	11,20	16,37	16,87	21,98	28,68	33,49	38,72	38,73	33,05	24,11	13,37	12,59
2022	11,74	17,07	15,33	18,15	27,48	37,60	39,10	36,81	32,38	26,49	19,17	15,86

Les températures minimales en °C moyennant les trois station de mesure :

Année/Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sept	Nov	Oct	Déc
2012	-1,76	-3,02	3,14	4,63	6,91	14,36	16,06	18,23	13,54	9,84	7,57	0,96
2013	-0,08	-0,67	3,90	4,26	6,63	8,46	13,80	13,93	13,83	11,93	4,09	1,39
2014	2,80	1,76	1,29	3,61	5,15	11,19	14,58	15,96	15,23	10,45	6,92	1,49
2015	-0,33	0,41	1,97	6,28	7,20	10,59	15,33	17,77	13,32	10,77	4,67	0,51
2016	1,74	2,37	1,58	6,10	8,45	12,84	16,88	15,25	12,82	11,16	4,65	2,47
2017	-0,37	2,31	2,79	6,00	11,49	15,83	17,73	19,38	12,93	8,09	2,70	0,72
2018	0,70	0,15	3,48	5,98	9,22	11,86	17,80	15,99	15,47	9,34	5,30	1,13
2019	-0,31	-0,39	2,11	5,36	7,03	14,73	19,40	19,37	15,12	9,95	5,07	3,71
2020	-0,10	0,72	3,87	7,76	10,65	12,71	17,49	18,39	13,34	7,24	6,64	2,77
2021	1,49	3,67	2,61	6,40	10,40	16,08	18,24	19,06	16,66	8,02	5,67	1,72
2022	-2,07	0,96	4,34	5,76	9,93	16,07	18,48	17,56	16,76	12,24	6,19	4,65

Les températures moyennes en °C moyennant les trois station de mesure :

Année/Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sept	Nov	Oct	Déc
2012	3,57	1,47	7,94	9,91	16,07	23,95	26,23	27,86	20,35	15,77	10,90	5,32
2013	4,81	3,36	7,80	10,55	13,04	18,70	24,19	23,69	19,55	18,33	8,16	5,09
2014	5,32	6,41	6,35	12,14	15,67	20,50	25,00	26,14	21,85	16,17	10,72	4,44
2015	4,60	3,61	7,75	13,78	17,56	21,01	26,71	26,21	20,06	15,21	9,46	5,88
2016	5,39	6,77	6,84	13,22	17,31	22,80	27,04	24,69	20,19	17,04	9,10	6,09
2017	3,69	6,62	9,04	13,06	19,76	24,91	27,96	27,68	20,54	14,49	8,15	4,06
2018	4,41	3,95	7,66	11,96	14,73	21,40	28,13	24,57	21,08	13,72	8,62	5,82
2019	3,61	4,33	8,28	11,27	16,03	25,36	28,62	26,80	21,22	16,33	8,22	7,37
2020	4,70	8,22	9,47	12,77	19,24	22,65	27,71	27,42	20,43	14,07	11,06	6,42
2021	4,57	8,45	8,48	13,14	19,00	23,80	28,45	28,15	23,29	14,56	8,67	5,97
2022	3,58	7,51	8,60	11,01	18,58	26,72	28,61	26,82	23,13	17,68	11,38	8,85

Données hygrométriques du sous bassin de Ghrib obtenues par télédétection

L'humidité du sol en (mm) pour une profondeur de 5 cm

Année/Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sept	Nov	Oct	Déc
2012	8,65	10,28	9,79	9,86	7,34	5,11	4,39	4,01	4,86	6,13	8,47	8,46
2013	9,10	9,50	10,56	8,71	9,04	4,90	4,31	4,26	6,50	4,71	7,42	9,28
2014	9,72	8,55	10,59	6,96	5,35	5,51	4,17	4,03	6,18	6,48	7,40	10,11
2015	10,03	9,53	8,66	6,29	4,96	4,88	4,04	4,65	5,12	8,09	7,58	7,18
2016	8,15	7,62	8,67	6,63	6,09	4,77	4,41	4,11	4,53	6,17	7,42	9,28
2017	10,37	9,03	7,87	5,68	6,02	5,49	4,20	4,62	4,41	5,62	6,61	9,66
2018	9,57	8,76	9,33	8,80	8,86	4,86	4,02	4,68	6,91	8,25	9,64	9,94
2019	10,10	8,70	7,31	7,49	5,25	4,19	4,56	5,58	6,62	4,83	8,31	9,17
2020	8,40	5,88	7,29	9,14	5,77	4,35	3,99	4,40	4,64	5,04	6,55	9,46
2021	9,46	7,07	7,34	6,32	6,11	6,10	4,14	4,18	5,26	4,81	8,12	8,71
2022	7,30	5,18	8,67	8,52	6,45	4,19	4,22	4,22	4,81	6,95	5,91	7,53

L'humidité du sol en (mm) pour une profondeur de 25 cm

Année/Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sept	Nov	Oct	Déc
2012	8,89	9,90	9,95	10,06	8,58	6,75	5,73	5,12	4,68	5,15	8,10	8,63
2013	9,07	9,50	10,62	9,28	9,60	7,86	6,73	5,85	6,92	6,98	7,55	9,30
2014	9,77	8,80	10,65	8,42	6,61	7,10	8,41	9,42	9,15	9,17	8,82	10,12
2015	10,12	9,53	9,93	8,11	6,11	4,92	4,51	4,55	4,44	8,71	8,52	8,55
2016	8,90	8,33	9,31	9,27	9,20	8,68	8,84	8,78	8,45	8,61	8,57	9,27
2017	10,43	9,27	9,56	9,08	9,21	8,76	8,92	8,83	8,49	8,72	8,23	9,63
2018	9,71	8,84	9,67	9,60	9,85	9,26	9,47	9,37	9,03	9,62	9,76	10,07
2019	10,21	9,19	9,56	8,88	9,02	8,62	8,81	8,69	8,46	8,62	8,96	9,37
2020	8,89	8,10	8,75	9,40	9,35	8,78	8,94	8,86	8,52	8,75	8,37	9,50
2021	9,56	8,06	8,64	8,25	8,54	8,72	8,67	8,54	8,35	8,36	8,72	9,09
2022	8,42	7,60	9,17	9,32	9,49	8,84	8,99	8,90	8,55	9,13	8,59	8,55

L'humidité du sol en (mm) pour une profondeur de 70 cm

Année/Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sept	Nov	Oct	Déc
2012	8,78	9,36	9,92	10,07	8,95	6,94	5,97	5,31	4,81	4,77	5,88	8,13
2013	8,71	9,25	10,60	9,40	9,58	8,16	7,10	6,19	5,87	6,29	6,47	8,77
2014	9,58	8,87	10,58	8,88	7,00	6,15	8,33	9,44	9,11	9,31	8,93	10,00
2015	10,13	9,40	10,30	8,50	6,43	5,08	4,61	4,61	4,20	8,61	8,76	8,85
2016	8,91	8,44	9,40	9,28	9,26	8,72	8,88	8,80	8,47	8,69	8,48	9,20
2017	10,32	9,54	9,87	9,20	9,24	8,79	8,94	8,86	8,52	8,76	8,39	9,19
2018	9,68	8,73	9,68	9,65	9,97	9,34	9,50	9,40	9,07	9,53	9,78	10,17
2019	10,29	9,48	9,83	9,14	9,14	8,67	8,85	8,75	8,44	8,67	8,72	9,37
2020	9,10	8,32	8,75	9,04	9,42	8,81	8,97	8,88	8,54	8,78	8,43	9,27
2021	9,47	8,29	8,90	8,38	8,52	8,55	8,66	8,54	8,26	8,41	8,53	9,10
2022	8,77	7,75	8,88	9,14	9,53	8,86	9,01	8,92	8,58	9,03	8,66	8,78

Les coefficient utilisées dans la formule de Blaney-Criddle

Mois	% d'éclairement (P)	Coefficient cultural (K)
Janv	3,54	0,63
Fév	3,04	0,75
Mar	3,64	0,93
Avr	4,34	0,98
Mai	3,97	0,90
Jui	3,15	0,75
Juil	3,25	0,83
Aout	4,10	0,83
Sep	4,28	0,65
Oct	3,49	0,63
Nov	3,05	0,55
Déc	3,70	0,63

Le rayonnement extraterrestre utilisé dans la formule de Penman-Montheit modifié

Mois	Ra(mm/j)
Janv	7,14
Fév	9,22
Mar	11,83
Avr	14,57
Mai	16,32
Jui	17,01
Juil	16,65
Aout	15,26
Sep	12,85
Oct	10,04
Nov	7,63
Déc	6,57

Le coefficient de correction K utilisé dans la formule de Thoronthwaite

Mois	K
Janv	0,87
Fév	0,85
Mar	1,03
Avr	1,10
Mai	1,21
Jui	1,22
Juil	1,24
Aout	1,16
Sep	1,03
Oct	0,97
Nov	0,86
Déc	0,84

L'indice thermique i en °C mensuel de la formule de Thoronthwaite

Année/Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sept	Nov	Oct	Déc
2012	0,61	0,16	2,00	2,81	5,87	10,68	12,28	13,50	8,34	5,71	3,25	1,09
2013	0,94	0,56	1,96	3,07	4,25	7,37	10,89	10,55	7,91	7,13	2,11	1,03
2014	1,09	1,45	1,42	3,81	5,65	8,47	11,44	12,21	9,29	5,93	3,16	0,82
2015	0,88	0,61	1,92	4,65	6,72	8,78	12,63	12,28	8,22	5,38	2,64	1,28
2016	1,12	1,59	1,59	4,35	6,55	9,95	12,85	11,23	8,28	6,38	2,48	1,35
2017	0,63	1,52	2,43	4,30	8,03	11,37	13,58	13,36	8,47	5,01	2,08	0,74
2018	0,82	0,69	1,92	3,76	5,12	9,04	13,65	11,16	8,85	4,60	2,27	1,25
2019	0,61	0,80	2,15	3,44	5,82	11,71	14,02	12,70	8,91	5,98	2,11	1,81
2020	0,91	2,11	2,64	4,15	7,67	9,88	13,36	13,14	8,41	4,80	3,34	1,45
2021	0,88	2,19	2,23	4,30	7,55	10,61	13,94	13,65	10,28	5,07	2,31	1,32
2022	0,61	1,85	2,27	3,30	7,31	12,63	14,02	12,70	10,15	6,78	3,48	2,39

L'indice thermique I en (°C) annuel et le coefficient (a) utilisé dans la formule de Thoronthwaite

Année	I	a
2012	66,31	1,53
2013	57,76	1,39
2014	64,74	1,51
2015	66,00	1,53
2016	67,71	1,56
2017	71,51	1,62
2018	63,13	1,48
2019	70,06	1,60
2020	71,86	1,63
2021	74,33	1,67
2022	77,49	1,73

Les coefficients culturaux pour chaque type de culture dans le bassin d'étude

Mois	Kc (arboriculture)	Kc (maraichairès)	Kc (céréales)
Jan	0,5	0,5	1,0
Fév	1,0	0,5	1,0
Mar	1,0	1,0	1,0
Avr	1,0	1,0	1,0
Mai	1,0	0,7	1,0
Jui	0,7	0,7	0,7
Juil	0,7	1,0	0,7
Aout	0,7	1,0	0,7
Sep	0,7	0,7	0,5
Oct	0,5	1,0	0,5
Nov	0,5	0,7	0,5
Déc	0,5	1,0	0,5

Profondeur d'enracinement pour chaque type de culture

Type de culture	Profondeur d'enracinement (cm)
Arboriculture	60
Maraichère	20
Céréale	25

La pluie utile Pu en (mm) mensuelle durant la période (2012-2022)

Année/Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sept	Nov	Oct	Déc
2012	46,35	39,29	91,26	99,75	29,37	6,79	0,65	3,60	16,19	62,91	104,52	53,96
2013	127,64	109,99	86,31	61,34	86,82	4,39	0,48	11,39	28,16	23,33	123,18	102,03
2014	113,66	70,87	80,41	11,51	19,36	28,51	1,69	3,57	32,07	26,29	82,16	143,88
2015	89,16	80,80	16,67	1,12	23,97	12,25	0	11,20	23,30	56,85	52,82	34,28
2016	80,77	99,37	118,32	41,20	49,87	8,02	4,09	0	18,66	12,06	84,53	104,62
2017	155,51	24,87	46,70	17,54	20,86	15,99	1,44	11,46	17,83	18,91	76,71	130,34
2018	65,38	64,79	122,17	84,40	49,01	1,98	0	3,59	48,59	55,74	79,01	49,42
2019	108,65	27,42	46,98	48,40	17,71	7,71	6,51	8,63	30,36	16,79	105,83	66,40
2020	51,89	14,70	87,30	94,25	18,16	7,59	0	4,75	14,78	26,02	63,12	96,34
2021	76,68	32,88	61,57	42,91	38,50	15,47	1,92	5,87	15,62	22,60	86,05	63,67
2022	37,01	36,46	119,32	77,27	22,91	8,25	3,62	1,45	23,17	27,29	51,05	58,40

La réserve facilement utilisable RFU en (mm) mensuelle durant la période (2012-2022)

Année/Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sept	Nov	Oct	Déc
2012	22,23	24,76	24,87	25,15	21,46	16,88	14,31	12,79	11,70	12,87	20,26	20,60
2013	21,57	22,68	23,76	26,54	23,19	23,99	19,64	16,82	14,62	17,30	17,46	18,87
2014	23,26	24,42	21,99	26,61	21,06	16,51	17,75	20,40	22,65	22,02	22,14	21,29
2015	24,52	24,39	22,95	23,87	20,20	15,26	12,29	11,27	11,31	11,08	21,13	20,58
2016	20,66	21,49	20,16	22,51	22,42	22,10	20,87	21,31	21,20	20,43	20,82	20,81
2017	22,53	25,22	22,23	22,97	21,80	22,14	21,14	21,50	21,33	20,54	21,07	19,88
2018	23,20	23,35	21,18	23,19	23,09	23,58	22,14	22,63	22,40	21,62	23,17	23,52
2019	24,23	24,52	22,03	22,93	21,29	21,68	20,72	21,23	20,99	20,52	20,96	21,76
2020	22,77	21,63	19,63	21,25	22,75	22,58	21,16	21,58	21,40	20,59	21,16	20,31
2021	23,10	23,07	19,50	20,94	19,92	20,57	21,08	20,94	20,66	20,21	20,26	20,96
2022	21,84	20,22	18,14	22,11	22,51	22,90	21,24	21,62	21,44	20,62	21,98	20,69

Le bilan hydrique de la comptabilité rapide de l'eau pour les années 2013,2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021

	Données d'entrées (Hm ³)						Données de sorties (Hm ³)			Variation de stockage (Hm ³)	
	Précipitation	Infiltration	Besoins AEP	Volume destiné (AEP)	Fuites (AEP)	Besoins Agricoles	Volume destiné à l'irrig	ETP	Ruissellement		V sortant du barrage Ghrib
2014											
Janvier	158,254			0,370	0,185	0,000		29,025	2,17	1,46	
Février	99,109			0,334	0,167	0,000		30,492	1,78	1,3	
Mars	136,904			0,370	0,185	0,000		44,315	26,48	1,47	
Avril	22,615			0,358	0,179	0,233		68,051	6,81	6,14	
Mai	27,001			0,370	0,185	0,112		62,938	0,41	9,7	
Juin	40,156			0,358	0,179	0,000		48,108	1,01	9,28	
Juillet	2,341			0,370	0,185	0,220		61,041	0,02	12,67	
Août	5,064			0,370	0,185	0,308		79,769	0,16	9,62	
Septembre	44,587			0,358	0,179	0,000		60,611	0,55	8,01	
Octobre	37,247			0,370	0,185	0,000		41,331	1,15	6,22	
Novembre	114,040			0,358	0,179	0,000		26,428	1,21	3,26	
Décembre	205,200			0,370	0,185	0,000		28,573	7,62	1,55	
Totale	892,520	5,004	9,473	4,355	2,178	0,872	6,155	580,681	49,370	70,680	204,254
2013											
Janvier	178,340			0,370	0,185	0,000		26,957	3,06	1,16	
Février	159,723			0,334	0,167	0,000		26,851	8,68	1,06	
Mars	127,881			0,370	0,185	0,000		47,362	9,35	1,26	
Avril	91,903			0,358	0,179	0,000		65,150	7,67	3,21	
Mai	126,901			0,370	0,185	0,000		58,703	7,68	3,29	
Juin	10,980			0,358	0,179	0,031		45,496	4,95	8,39	
Juillet	3,727			0,370	0,185	0,241		59,706	3,07	10,68	
Août	16,478			0,370	0,185	0,272		75,514	0,84	11,98	
Septembre	41,175			0,358	0,179	0,000		57,497	2,5	7,61	
Octobre	32,415			0,370	0,185	0,002		44,049	0,38	8,19	
Novembre	170,983			0,358	0,179	0,000		23,792	1,82	4,36	
Décembre	141,317			0,370	0,185	0,000		29,228	1,2	1,46	
Totale	1101,824	0,000	9,354	4,355	2,178	0,546	5,994	560,305	51,200	62,650	435,295

										Données d'entrées (Hm ³)					Données de sorties (Hm ³)			Variation de stockage (Hm ³)
	Precipitation	Infiltration	Besoins AEP	Volume destiné (AEP)	Fuites (AEP)	Besoins Agricoles	Volume destiné à l'irrig	ETP	Ruisselement	V sortant du barrage Ghrib								
	112,865			0,371	0,185	0,000		30,113	1,95	1,13								
	137,551			0,335	0,167	0,000		30,928	1,09	1,08								
	171,760			0,371	0,185	0,000		45,922	9,27	1,18								
	59,013			0,359	0,179	0,012		72,244	2,43	2,3								
	71,879			0,371	0,185	0,000		66,691	3,4	6,24								
	12,315			0,359	0,179	0,028		50,808	1,3	10,75								
	5,618			0,371	0,185	0,209		63,907	0	12,72								
	0,000			0,371	0,185	0,339		77,593	0,02	11,39								
	26,031			0,359	0,179	0,000		57,917	0,4	10,14								
	17,085			0,371	0,185	0,032		42,332	0,52	5,91								
	116,918			0,359	0,179	0,000		24,930	0,83	3,09								
	146,436			0,371	0,185	0,000		30,586	2,76	1,72								
Totale	877,470	3,960	9,703	4,364	2,182	0,620	6,351	593,971	23,970	67,650				203,751				

										Données d'entrées (Hm ³)					Données de sorties (Hm ³)			Variation de stockage (Hm ³)
	Precipitation	Infiltration	Besoins AEP	Volume destiné (AEP)	Fuites (AEP)	Besoins Agricoles	Volume destiné à l'irrig	ETP	Ruisselement	V sortant du barrage Ghrib								
	126,016			0,370	0,185	0,000		26,373	3,57	1,24								
	151,922			0,334	0,167	0,000		26,556	40,96	0,92								
	67,166			0,370	0,185	0,022		47,833	44,28	25,01								
	19,285			0,358	0,179	0,411		73,382	17,75	17,75								
	33,065			0,370	0,185	0,110		67,186	0,15	11,93								
	17,631			0,358	0,179	0,049		48,324	0,81	10,84								
	0,000			0,370	0,185	0,394		62,994	0,08	12,86								
	15,434			0,370	0,185	0,399		80,323	0,06	9,85								
	43,547			0,358	0,179	0,012		58,395	11,551	8,948								
	87,678			0,370	0,185	0,000		39,900	9,61	5,73								
	76,494			0,358	0,179	0,000		25,414	3,96	4,21								
	47,799			0,370	0,185	0,000		31,260	0,72	1,18								
Totale	686,036	0,000	9,593	4,355	2,178	1,397	6,262	587,940	133,501	110,468				-141,008				

Données d'entrées (Hm ³)										Données de sorties (Hm ³)			Variation de stockage (Hm ³)
	Précipitation	Infiltration	Besoins AEP	Volume destiné (AEP)	Fuites (AEP)	Besoins Agricoles	Volume destiné à l'irrig	ETP	Ruisselement	V sortant du barrage Ghrib			
	Janvier	90,955		0,383	0,192	0,000		28,115	1,167	1,035			
	Février	89,836		0,346	0,173	0,000		27,721	0,86	0,938			
	Mars	177,736		0,383	0,192	0,000		47,021	9,967	1,04			
	Avril	155,247		0,371	0,185	0,000		68,353	39,347	1,138			
	Mai	92,179		0,383	0,192	0,000		62,976	24,872	2,363			
	Juin	34,274		0,371	0,185	0,042		49,114	31,562	27,01			
	Juillet	0,469		0,383	0,192	0,248		65,710	0,991	12,04			
	Août	4,954		0,383	0,192	0,294		77,325	0,023	9,672			
	Septembre	76,870		0,371	0,185	0,000		59,648	10,141	7,1			
	Octobre	93,300		0,383	0,192	0,000		38,037	16,761	4,746			
	Novembre	123,404		0,371	0,185	0,000		24,404	14,906	11,494			
	Décembre	95,748		0,383	0,192	0,000		30,646	27,88	28			
Totale		1034,974		4,510	2,255	0,583	6,844	579,069	178,477	106,576	182,667		

Données d'entrées (Hm ³)										Données de sorties (Hm ³)			Variation de stockage (Hm ³)
	Précipitation	Infiltration	Besoins AEP	Volume destiné (AEP)	Fuites (AEP)	Besoins Agricoles	Volume destiné à l'irrig	ETP	Ruisselement	V sortant du barrage Ghrib			
	Janvier	265,540		0,371	0,185	0,000		25,513	51,98	1,28			
	Février	55,001		0,335	0,167	0,000		31,293	20,85	1,19			
	Mars	68,956		0,371	0,185	0,000		50,445	4,83	1,39			
	Avril	25,371		0,359	0,179	0,221		71,814	1,29	7,36			
	Mai	30,702		0,371	0,185	0,113		72,930	2,05	11,87			
	Juin	22,461		0,359	0,179	0,000		53,917	0,5	11,79			
	Juillet	2,150		0,371	0,185	0,241		65,382	0,17	13,25			
	Août	16,081		0,371	0,185	0,272		83,908	0,343	8,975			
	Septembre	25,302		0,359	0,179	0,004		58,577	0,818	6,301			
	Octobre	26,262		0,371	0,185	0,000		39,484	0,29	4,49			
	Novembre	106,079		0,359	0,179	0,000		24,362	0,74	2,238			
	Décembre	179,793		0,371	0,185	0,000		27,746	0,8	1,04			
Totale		823,697		4,364	2,182	0,851	6,465	605,371	84,661	71,174	71,891		

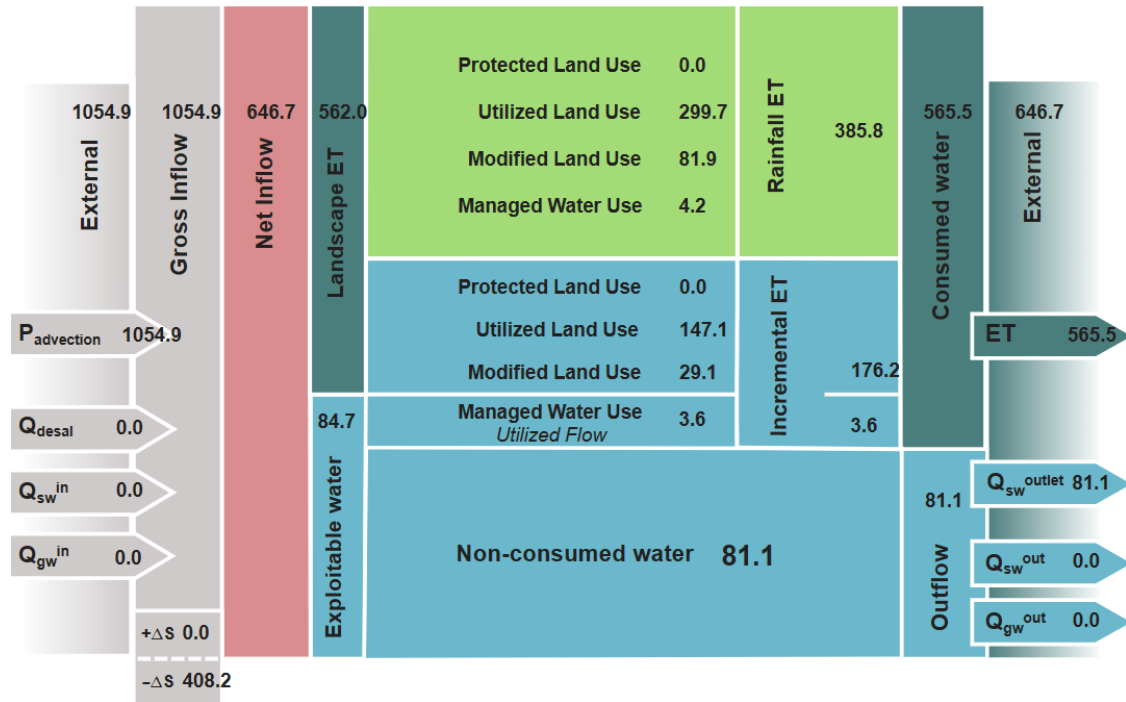
Données d'entrées (Hm ³)										Données de sorties (Hm ³)			Variation de stockage (Hm ³)
	Précipitation	Infiltration	Besoins AEP	Volume destiné (AEP)	Fuites (AEP)	Besoins Agricoles	Volume destiné à l'irrig	ETP	Ruissellement	V sortant du barrage Ghrib			
	Janvier	71,950		0,383	0,192	0,000		27,837	0,689	1,119			
	Février	20,659		0,346	0,173	0,000		33,662	0,476	2,356			
	Mars	119,884		0,383	0,192	0,000		50,580	0	6,321			
	Avril	130,273		0,371	0,185	0,000		70,455	0,84	3,08			
	Mai	25,229		0,383	0,192	0,133		71,687	0,297	7,572			
	Juin	10,417		0,371	0,185	0,033		50,513	0	13,374			
	Juillet	0,820		0,383	0,192	0,250		64,980	1,11	14,046			
	Août	6,524		0,383	0,192	0,327		82,692	0	3,218			
	Septembre	20,296		0,371	0,185	0,016		58,442	0	3,402			
	Octobre	35,734		0,383	0,192	0,000		38,652	0	2,305			
	Novembre	86,675		0,371	0,185	0,000		26,739	0	1,802			
	Décembre	133,887		0,383	0,192	0,000		30,523	1,584	1,746			
	Totale	662,349	0,000	10,145	4,510	2,255	0,759	7,355	4,996	60,341	-0,898		

Données d'entrées (Hm ³)										Données de sorties (Hm ³)			Variation de stockage (Hm ³)
	Précipitation	Infiltration	Besoins AEP	Volume destiné (AEP)	Fuites (AEP)	Besoins Agricoles	Volume destiné à l'irrig	ETP	Ruissellement	V sortant du barrage Ghrib			
	Janvier	173,884		0,383	0,192	0,000		26,062	24,68	22,593			
	Février	63,742		0,346	0,173	0,000		28,524	26,09	27,08			
	Mars	81,277		0,383	0,192	0,000		48,787	16,754	17,736			
	Avril	73,367		0,371	0,185	0,000		67,231	6,897	7,069			
	Mai	29,471		0,383	0,192	0,074		64,105	5,153	5,53			
	Juin	10,587		0,371	0,185	0,057		54,436	0	10,256			
	Juillet	8,938		0,383	0,192	0,208		67,084	0	14,4			
	Août	11,856		0,383	0,192	0,293		82,430	0	12,35			
	Septembre	78,209		0,371	0,185	0,000		60,029	36,523	4,55			
	Octobre	27,509		0,383	0,192	0,008		41,336	4,449	4,717			
	Novembre	147,281		0,371	0,185	0,000		23,891	1,951	2,372			
	Décembre	91,953		0,383	0,192	0,000		32,345	0,769	1,139			
	Totale	798,074	1,278	10,034	4,510	2,255	0,641	7,326	123,266	129,792	-41,025		

	Données d'entrées (Hm ³)					Données de sorties (Hm ³)			Variation de stockage (Hm ³)			
	Precipitation	Infiltration	Besoins AEP	Volume destiné (AEP)	Fuites (AEP)	Besoins Agricoles	Volume destiné à l'irrig	ETP	Ruissellement	V sortant du barrage Ghrib		
	Janvier	105,520		0,383	0,192	0,000		28,482	0,22	1,28		
	Février	45,151		0,346	0,173	0,000		33,796	0	1,174		
	Mars	84,963		0,383	0,192	0,000		49,402	0,407	1,315		
	Avril	59,118		0,371	0,185	0,013		72,095	0,185	2,522		
	Mai	56,142		0,383	0,192	0,000		71,063	3,276	2,75		
	Juin	23,939		0,371	0,185	0,000		53,578	2,695	4,109		
	Juillet	3,240		0,383	0,192	0,244		66,104	0,601	4,093		
	Août	8,446		0,383	0,192	0,332		84,209	0,389	4,162		
	Septembre	33,565		0,371	0,185	0,026		63,256	12,118	3,875		
	Octobre	32,312		0,383	0,192	0,000		39,330	1,282	4,246		
	Novembre	122,347		0,371	0,185	0,000		24,392	4,172	4,03		
	Décembre	90,795		0,383	0,192	0,000		30,721	3,357	3,699		
	Totale	665,539	0,000	10,248	4,510	2,255	0,615	7,480	616,430	28,702	37,255	-7,728

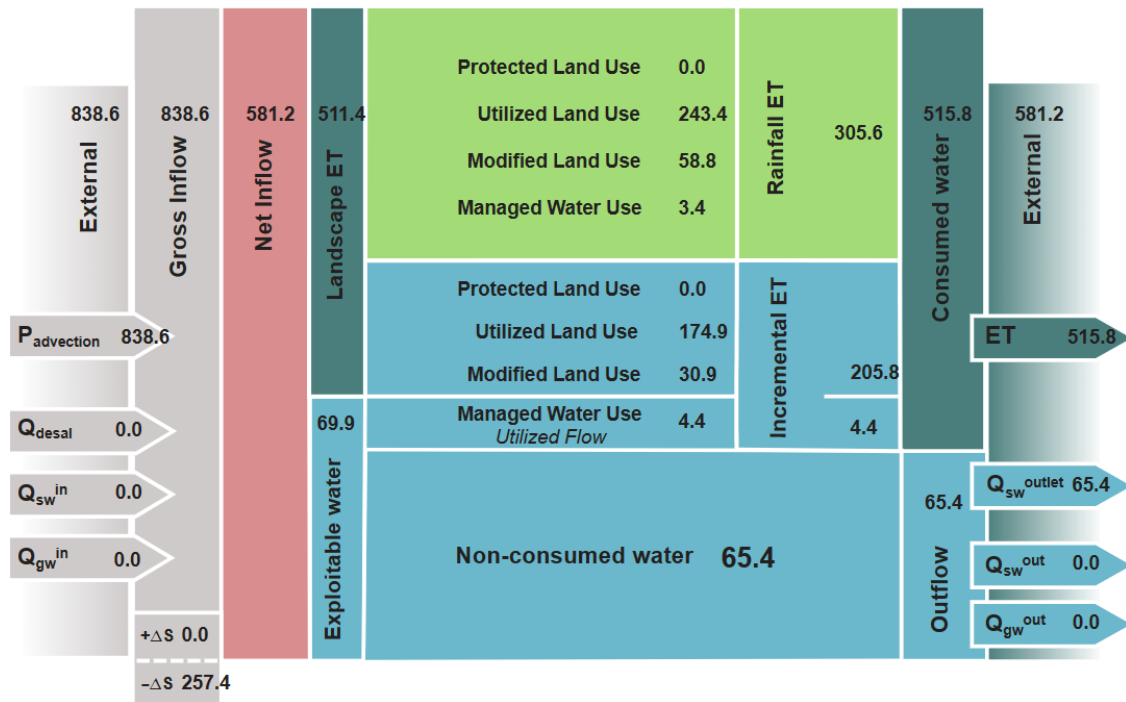
Sheet 1: Resource Base (Mm³/yr)

Basin: Ghrib
Period: 2013



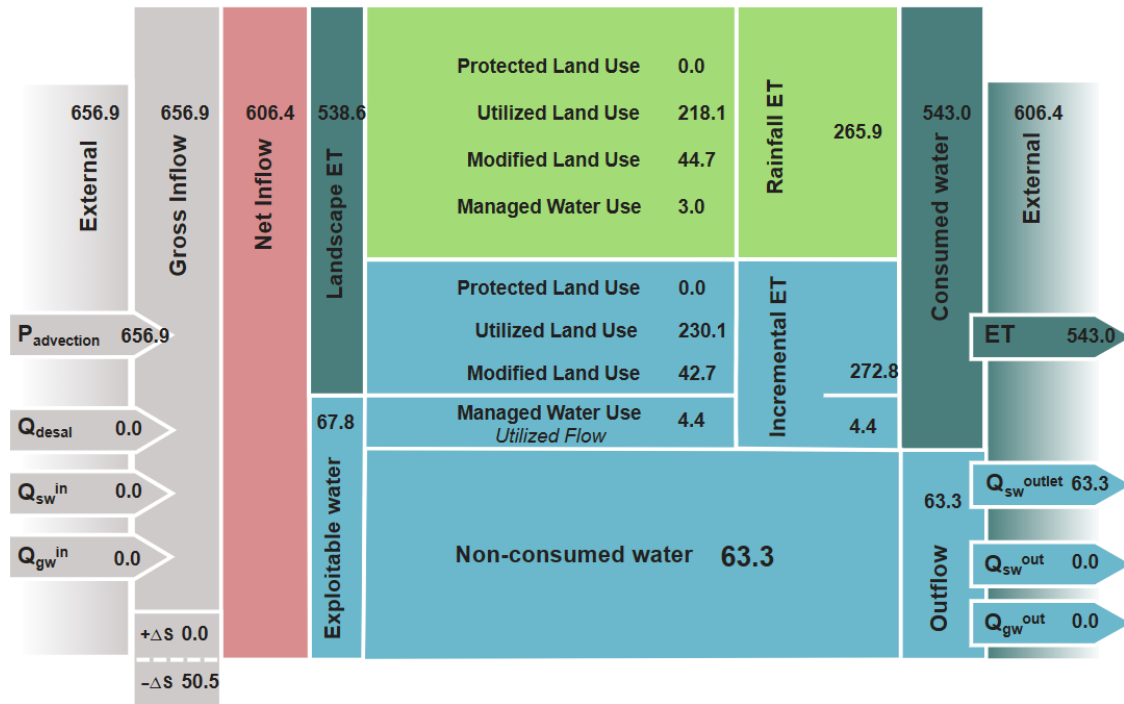
Sheet 1: Resource Base (Mm³/yr)

Basin: Ghrib
Period: 2014



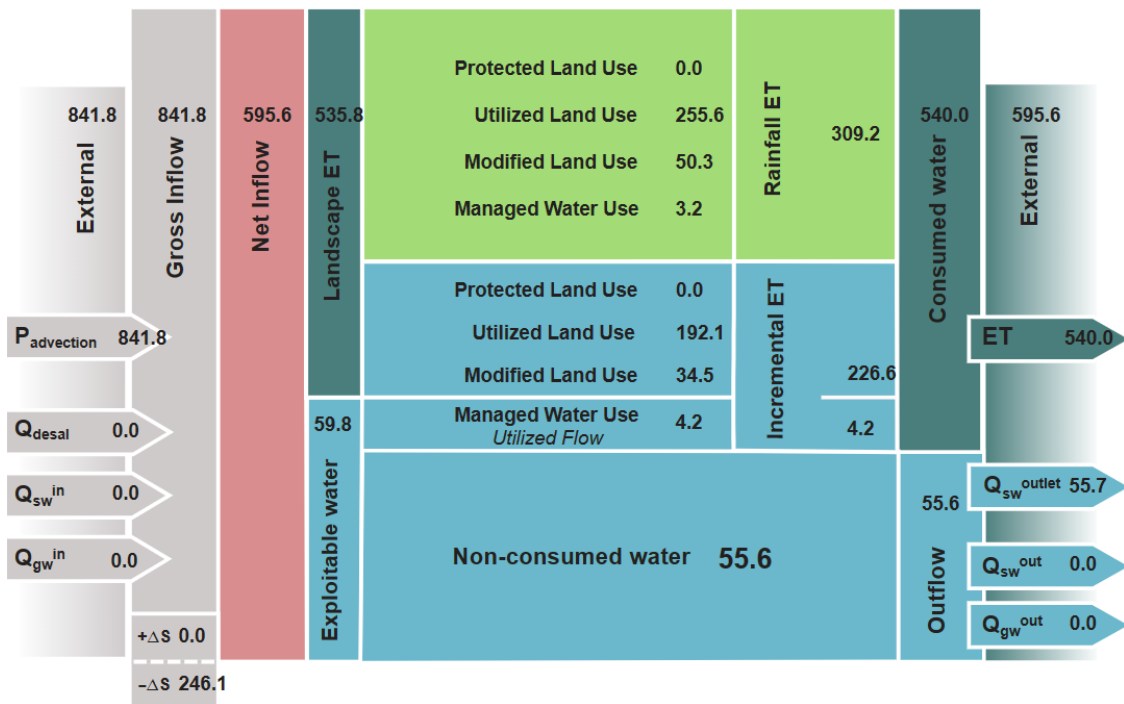
Sheet 1: Resource Base (Mm³/yr)

Basin: Ghrib
Period: 2015



Sheet 1: Resource Base (Mm³/yr)

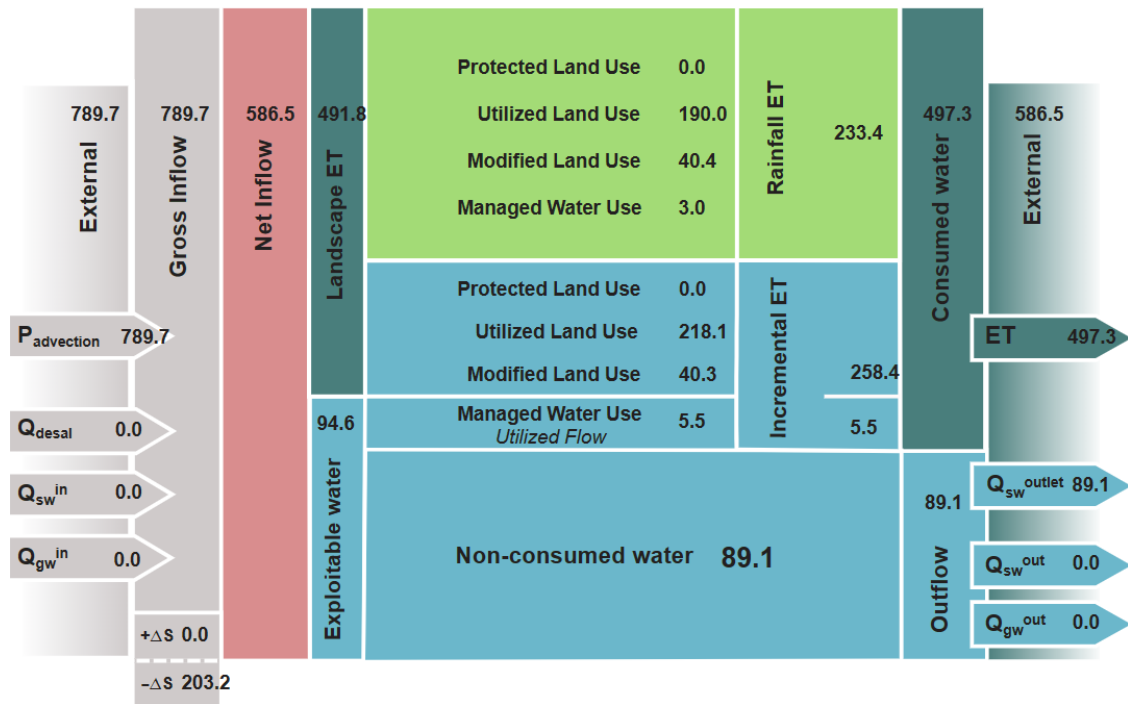
Basin: Ghrib
Period: 2016



Sheet 1: Resource Base (Mm³/yr)

Basin: Ghrib

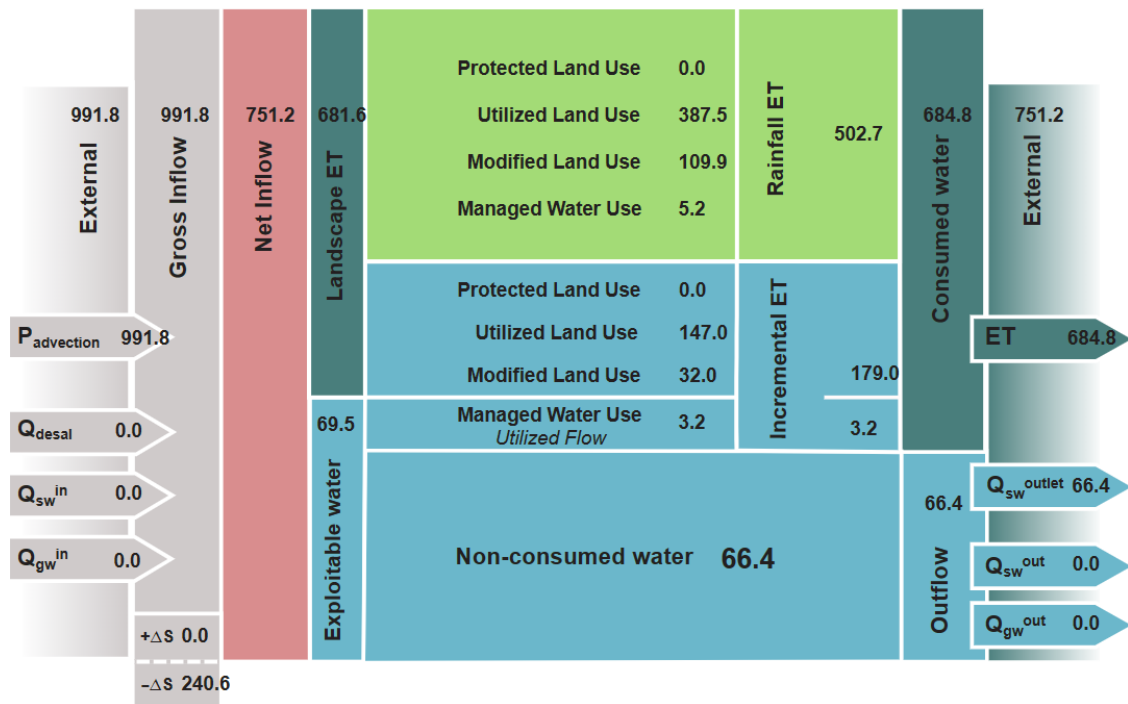
Period: 2017



Sheet 1: Resource Base (Mm³/yr)

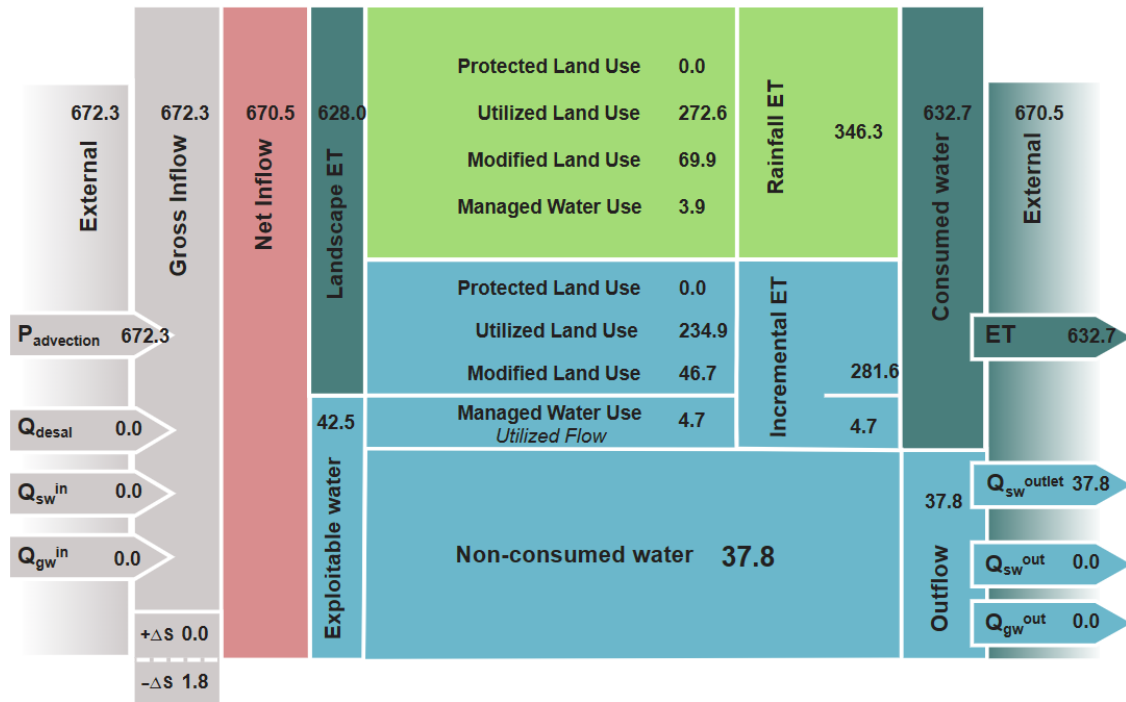
Basin: Ghrib

Period: 2018



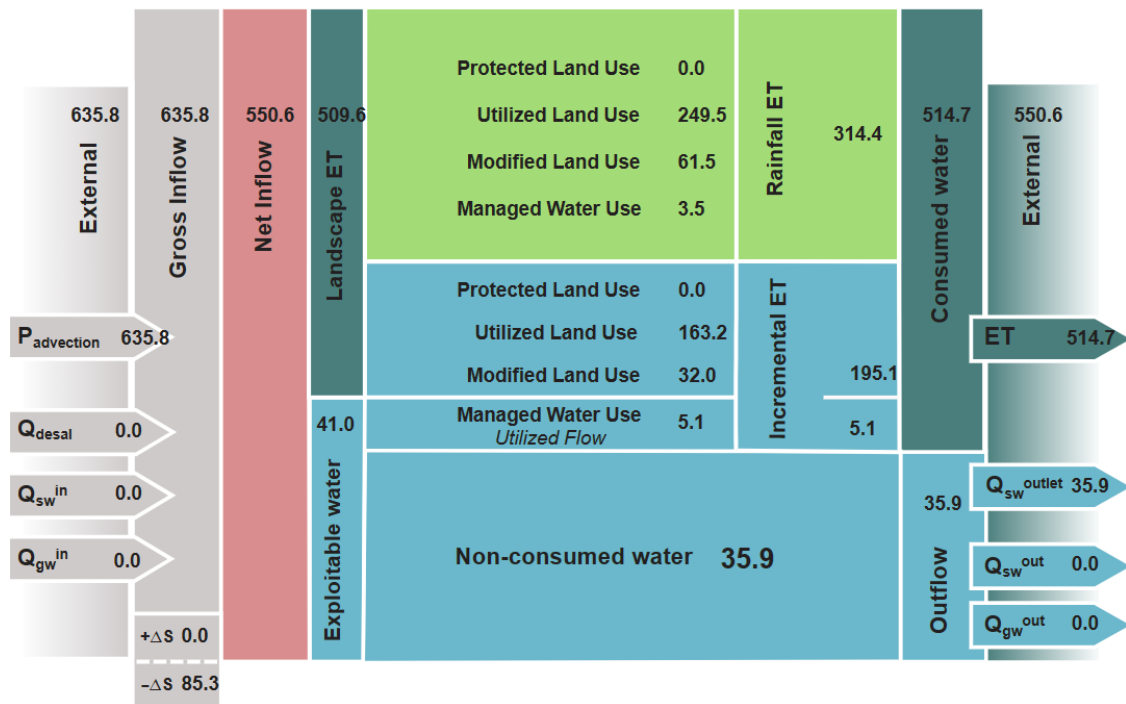
Sheet 1: Resource Base (Mm³/yr)

Basin: Ghrib
Period: 2019



Sheet 1: Resource Base (Mm³/yr)

Basin: Ghrib
Period: 2020



Sheet 1: Resource Base (Mm³/yr)

Basin: Ghrib

Period: 2021

