

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DE KASDI MERBAH OUARGLA

FACULTE DES SCIENCES ET DES SCIENCES DE L'INGENIEUR

DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE ET GENIE CIVIL

N° d'ordre:

N° de série :

MEMOIRE

EN VUE D'OBTENTION DU DIPLOME DE

MAGISTERE

Option : *Aménagement hydraulique en zones arides*

Présenté par :

M^r: ELALMI TALBI

THEME

EVALUATION DE LA RESSOURCE EN EAU
SUPERFICIELLE (BILAN HYDRIQUES DES BASSINS
VERSANTS DU NORD DE L'ALGERIE)

Soutenais le : 00/00/2008

Devant le jury d'examen :

Président : Pr. SETTOU N Professeur U. KASDI MERBAH W. Ouargla

Examineur : Dr. KRIKER A. Maître de conférences U. KASDI MERBAH W. Ouargla

Examineur : HAMDY Aissa belhadj Maître de conférences U. KASDI MERBAH W. Ouargla

Promoteur : Dr. BOUTOUTAOU D Maître de conférences U. KASDI MERBAH W. Ouargla

Co-Promoteur : Mr.SMATI A S/Directeur ministère de ressources en eau Alger

Promotion : 2008

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à:

*Mes honorable Mon père et ma mère puisqu'ils sont la lumière de
ma vie.*

Tous Mes frères et mes sœurs.

A L'ensemble de ma famille : TALBI, notamment mes grands-mères

A toutes la famille : BEN MAZOUZIA surtout à ma fiancée :

NORA.

Mon encadreur : Dr. Boutoutaou D

Mon Co-encadreur Mr. SMATI A

Toute ma promotion

Mes collègues en particulier :

*Maammer, Anouar, Djamel, Bourahla, Fathi, Noureddine,
Rachid.M, Rachid.T, Ben moussa.Y, Yacin.B, Marouane, Barika,
chaouki, Melouka et Kamel*

A tous ceux qui ont été à mes cotés dans les moments difficiles.

TALBI ELALMI

REMERCIEMENTS

Tout d'abord je tiens remercier infiniment le bon dieu puissant de la bonne santé, la volonté et la patience qu'il m'a donnée tout le long de mes études.

*Je présente mes sincères remerciements avec mes profonds respects à mon encadreur, **Dr. Boutoutaou Djamel** pour son suivi, sa patience, ses conseils et son aide, tout au long de la réalisation de ce modeste travail.*

*Je tiens à remercier également **Mr. SMATI ABD ALWAHEB** pour sa collaboration et Pour des discussions aussi intéressantes que fructueuses. Ses précieux conseils ont grandement contribué à la réalisation de ce travail.*

*Toutes les personnes de l'A.N.R.H (Ouargla), surtout Mr. Le directeur
Zarhona Taher, Mr. Benhamida S*

Je tiens à remercier aussi les membres de jury

Mes remerciements vont également à toutes les personnes qui m'on ont aidé, à tous mes collègues de travail et au personnel et enseignement du département d'hydraulique et génie civil.

Ma gratitude est aussi acquise à tous les travailleurs de la bibliothèque et particulièrement, Ali bouchaala, Hakoum, Belkhir et Hamed.

En fin, je voudrais remercier mes familles qui n'ont jamais cessé de crois en moi et de m'encourager à continuer.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Titre	Page
		9
Tableau I-1	Température moyennes mensuelles (1992-2002) en °C	10
Tableau I-2	Moyennes mensuelles des humidités relativement (1992-2002) en (%)	44
Tableau II-1	Les Ressources en eaux souterraines et superficielles [A.B.H]	45
Tableau II-2	Barrage en exploitation catégorie I Gérés par L'A.N.B.T [A.N.B.T]	48
Tableau II-3	Barrage en exploitation catégorie II Gérés par DHW [A.N.B.T]	60
Tableau III-1	Caractéristiques morphométriques des bassins jaugés	66
Tableau III-2	Stations hydrométriques influencées par les barrages	69
Tableau III-3	Répartition des stations hydrométriques par classes de superficies des bassins	69
Tableau III-4	Densité par bassin hydrographique du réseau hydrométrique étudié	71
Tableau III-5	Données Hydrométriques	77
Tableau IV-1	Exemple d'application de test sur la série des ruissellements	81
Tableau IV-2	Calcul de la moyenne arithmétique des apports de Oued Sebaou pour différents cycles	82
Tableau IV-3	Ruissellements annuels moyens des stations hydrométriques	82
Tableau IV-4	Relation entre les composantes du bilan hydriques dans différentes zones climatiques et géographiques de l'Algérie	89
Tableau IV-5	Résultat de calcul de la lame ruisselé	92
Tableau IV-6	Détermination du coefficient (β)	96
Tableau IV-7	Calcul du ruissellement des bassins versants non jaugés	98

LISTE DES FIGURES

Figure	Titre	Page
Figure I-1	Localisation de la zone d'étude	4
Figure I-2	Principaux relief d'Algérie [Encyclopédie Hachette, 2001]	6
Figure II-1	Station hydrométrique d'Ain Smara sur l'oued Rhumel (profil en travers)	36
Figure II-2	Station de Grarem : seuil de jaugeage et échelles limnimétriques	36
Figure II-3	Etapas de calcul d'un débit moyen journalier	37
Figure II-4	Courbes de tarage de la station de Douar Tassadane (d'après A.N.R.H)	38
Figure II-5	Courbes de tarage de la station de Grarem (d'après A.N.R.H.)	40
Figure III-1	Stations de jaugeage en service par année	56
Figure III-2	Pourcentage d'information hydrométrique disponible aux stations	57
Figure III-3	Rangement par ordre croissant de la superficie des bassins jaugés	70
Figure IV-1	Interruption de la stationnarité de la station 11-13-02 par la construction du barrage Ouizert	78
Figure IV-2	Corrélation entre les apports à la station 01-23-11 et au barrage O. Fodda	79
Figure IV-3	Courbe de cumul des écarts à la moyenne de Oued Sebaou (02-20-01)	80
Figure IV-4	Relation entre le coefficient d'évaporation et l'indice d'aridité	90
Figure IV-5	Relation entre les valeurs calculées et mesurées du ruissellement	95
Figure IV-6	Evaporation potentielle calculée et mesurée	97
Figure V-1	Schéma Interpolation Rectangulaire	108
Figure V-2	Schéma Inverse Distance Weighting	109
Figure V-3	Schéma statistique Interpolation	110
Figure V-4	Schéma de fonctionnement de la méthode kriging	111
Figure V-5	Exemple de traçage Courbes de niveau	113

LISTE DES CARTES

Carte	Titre	Page
Carte I-1	Températures moyennes annuelles [A.N.R.H]	9
Carte I-2	Répartition des postes pluviométriques	11
CarteI-3	Précipitations médianes annuelles 1997 [ANRH]	13
Carte I-4	Evaporations potentielles moyennes annuelles	25
Carte II-1	Carte géologique de l'Algérie d'après la carte géologique de l'Attique	28
Carte II-2	Carte géologique de l'Algérie du Nord (numérisée à partir d'un fond au 1/800 000)	31
CarteII-3	Répartition des classes de perméabilité [A.N.R.H]	32
CarteII-4	Répartition des grands bassins versant et réseau hydrographique du Nord de l'Algérie	33
CarteII-5	Organisation des grands bassins versants du nord de l'Algérie	35
CarteIII-1	Situation des sites retenus collinaires potentiels et des principales stations hydrométriques	53
CarteIII-2	Contours des bassins versants au droit des stations de jaugeage (ANRH)	59
CarteIII-3	Stations hydrométriques disponibles	65
CarteIII-4	Répétition spatiale des barrages (ANRH)	67
Carte III-5	Réseau hydrométrique de Nord de l'Algérie et bassins versant retenus dans l'étude sur MNT	68
Carte V-1	Ecoulements moyens annuels en mm sur le Nord de l'Algérie [A.N.RH]	106
Carte V-2	Ecoulements moyens annuels en mm sur le Nord de l'Algérie	114
Carte V-3	Ecoulements moyens annuels en mm sur le Nord de l'Algérie	115

LISTE DES ABREVIATIONS

A.B.H.S.	Agence de Bassin Hydrographique Sahara
A.N.B.T	Agence National des Barrages et Transfert
A.N.R.H.	Agence National des Ressources Hydraulique
O.N.M.	Office National de Météorologie

RESUME :

Les pénuries d'eau en Algérie sont en passe de devenir un problème crucial.

Face à cette situation contraignante pour le développement socio-économique l'intensification de la construction de nouveaux barrages-réservoirs constitue un impératif immédiat, étant donné les apports liquides, éléments essentiels dans le dimensionnement des barrages et compte tenu du manque d'une approche d'évaluation adaptée à l'Algérie, une étude des bilans hydrologiques semble indispensable.

L'étude de la relation des écoulements en fonction des paramètres météorologiques permet d'établir un modèle reflétant bien la nature de liaison entre ces caractéristiques hydrométéorologiques

Le modèle établi ainsi que la carte des écoulements moyens annuels permet de calculer en tout point, les apports des bassins versants du Nord de l'Algérie

Le modèle peut servir de norme de calcul de l'écoulement moyen annuel des cours d'eau du Nord de l'Algérie pour la planification et l'utilisation rationnelle des ressources en eau.

Mots Clés : L'eau, barrages-réservoirs, Ecoulement, Modèle, Cartographie, bilans hydrologiques, Nord de l'Algérie.

ملخص:

احتياجات الماء في الجزائر ستصبح مع مرور الزمن مشكل عويص. و أمام هذه الوضعية التي تجبرنا على التطور الإقتصادي و الإجتماعي فإن تعزيز بناء السدود و الخزانات جديدة تمثل مطلب فوري وهذا وفقا للمعطيات الخاصة بوارادات المياه و أحجام السدود المناسبة لتلبية الإحتياجات من المياه. ونظرا لغياب تقييم محكم يتناسب مع هذه الإحتياجات أجريت هذه الدراسة حول الحوصلة الهيدرولوجية و التي تبدا جد ضرورية, فدراسة علاقة الجريان(السيلان) تبعا للمعطيات المناخية تسمح لنا بإنشاء نموذج يعكس طبيعة الربط بين الخصائص الهيدرو جوية.

النموذج المنشئ و خريطة الجريان المتوسط السنوي يسمح لنا بحساب, في كل نقطة, و ردرات الأحواض التي تصب في الشمال الجزائري. النموذج يستطيع أن يضيف إلى طرق حساب الجريان المتوسط السنوي الخاص بمنابع المياه في الشمال الجزائري طريقة أخرى من أجل التخطيط و الإستعمال العقلاني لموارد المياه.

الكلمات المفتاحية: ماء، سدود -خزانات،جريان،نموذج،خريطة،حوصلة هيدرولوجية ، شمال الجزائر.

SUMMARY:

The water shortage in Algeria is on the way to become a crucial problem.

In order to cope with this situation which is constraining socio-economic development, the construction of new dams/reservoirs is unavoidable.

Having a representative rain fall data which is necessary for dams dimensioning, design and in the absence of an assessment approach which fits Algeria, a study of the hydrologic balance is indispensable.

The study of relationship between the flows and the weather parameters allows establishing a model reflecting well the nature of correlation between these hydrometeorological characteristics.

The established model and the annual average flows Map allow calculating, in any point, the imported water of the Algeria North basins.

The model can be used as standard of calculation of the annual average flow of the Algeria North rivers for the planning and the rational use of the water resource.

Key words: Water, Dam-reservoir, rain fall data, model, Map, hydrology balance, North of Algeria

TABLE DES MATIERES

RESUME	i
REMERCIEMENTS.....	iii
DEDICACES.....	iv
TABLE DES MATIERES	v
LISTE DES ABREVIATIONS.....	vii
LISTE DES FIGURES.....	ix
LISTE DES CARTES.....	x
LISTE DES TABLEAUX.....	xi
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : Caractéristiques physico-géographique et climatique des bassins versants du nord de l'Algérie	
1. Situation géographique et relief.....	3
1-1.Situation géographique.....	3
1-2. Le relief	4
2. Végétation et sol	7
3. Caractéristiques climatiques	8
3.1 Température de l'air	8
3.2 Humidité de l'air.....	10
4. Pluie et évaporation	11
4-1. Pluviométrie.....	11
4-2. Evaporation.....	14
4-2.1. Evapotranspiration.....	14
4-2.1.1. Notion d'évapotranspiration réelle et potentielle.....	14
4-2.1.2. Mesures directes.....	14
4-2.2. Mesure Evaluation de l'évapotranspiration réelle (Etr).....	15
A. Formule de Turc.....	16
B. Bilan simplifié selon THORNTHWAITE.....	16
4-2.2.1. Mesure à partir d'une surface libre.....	17
A. Bac classe A (du Weather Bureau, U.S.A.).....	17
B. Bac Colorado et Bac ORSTOM.....	18
C. Bac CGI 30.....	19
4-2.2.2. Mesure à partir de surfaces poreuses.....	19
A. Le "Black Bellani"	19
B. Le "Piche"	20
4-2..3 .Mesure Evaluation de l'évapotranspiration potentielle.....	20
A. Formule de Thornthwaite.....	21
B. Méthode de Blaney-Criddle.....	22
C. Méthode de Penman.....	22
D. Formule de BOUTOUTAOU.....	24
Conclusion.....	26

CHAPITRE II : Formation géographique. Réseau hydrographique et ressources en eaux des cours d'eau du nord de l'Algérie

1. Aperçu géologique des bassins versants.....	27
1-1. L'Algérie alpine.....	27
1-2. Plate-forme saharienne.....	27
2. Description lithologique des bassins l'Algérie du Nord.....	29
2-1. Le Paléozoïque (Primaire).....	29
2-2. Trias.....	29
2-3. Lias.....	29
2-4. Jurassique.....	29
2-5. Crétacé inférieur.....	29
2-6. Crétacé supérieur.....	30
2-7. Eocène.....	30
2-8. Oligocène.....	30
2-9. Miocène inférieur.....	30
2-10. Miocène moyen.....	30
2-11. Miocène supérieur.....	30
2-12. Pliocène.....	31
2-13. Quaternaire.....	31
3. Réseau hydrographique des cours d'eau de l'Algérie du nord.....	32
3-1. Les bassins hydrographiques et leurs données hydrométrique.....	34
3-1.1. Mesure des débits au site des stations hydrométriques.....	36
3-1.2. Mesure en eau des débits et exploitation des données hydrométriques...	37
3-2. Ecoulements des cours d'eau dans les bassins versants du nord de l'Algérie...	40
4- Ressource en eau en Algérie.....	42
4-1. Ressources superficielles.....	43
4-1. Ressources souterraines.....	43
Conclusion.....	51

Chapitre III : Réseau et données hydrométriques des bassins versants du Nord de l'Algérie

1. Le réseau hydrométrique, son évolution et son exploitation.....	52
1-1. Les stations anciennes.....	52
1-2. Les stations récentes (postérieures à 1962).....	52
1-2.1. Etat du réseau hydrométrique.....	52
A. Le réseau de base.....	54
B. Le réseau de projet.....	54
C. Le réseau de gestion.....	55
2. L'information hydrométrique disponible.....	55
2-1. Les périodes d'observation.....	55
3. Stations hydrométriques des bassins versant collectées.....	60
4. Les bassins jauges et leurs données hydrométriques.....	70
Conclusion.....	75

CHAPITRE IV : Traitement des données et Modélisation de l'écoulement des cours d'eau du Nord de l'Algérie

1. Homogénéisation des données de l'écoulement.....	76
1-1. Test de WILCOXON.....	76
2. Comblement des lacunes et extension des séries des apports (ruissellement)...	78
3. Représentativité des séries des apports et détermination de la norme de l'écoulement.....	79
4. Modélisation de l'écoulement.....	87
4-1. Bilan hydrique des bassins versants.....	87
4-2. Etablissement du modèle de calcul.....	89
4-3. Vérification de la validité du modèle de calcul de l'écoulement.....	91
5. Extrapolation du modèle de l'écoulement aux bassins versants dépourvus de données de mesure.....	95
5-1. Calcul de l'écoulement annuel des bassins non jaugés.....	97
Conclusion.....	100

CHAPITRE V : Cartographie de l'écoulement du Nord de l'Algérie

Introduction.....	101
1. Modélisation spatiale des Ressources en Eau et Systèmes d'Information Géographique.....	102
2. Modélisation spatio-temporelle des écoulements par les modèles hydrologiques.....	102
3. Cartographie des Ecoulements du Nord de l'Algérie.....	103
3-1. Rappel : la cartographie des caractéristiques hydrologiques (pluviométrie et écoulement) en Algérie.....	104
4. Calcul de l'écoulement en fonction des paramètres du relief.....	107
5. Analyse des écoulements de cours d'eau jaugés.....	107
6. Vertical Mapper.....	107
6-1. Interpolation et Modélisation.....	108
6-1.1. Les méthodes d'interpolation.....	108
A. Interpolation Rectangulaire.....	108
B. Inverse distance weighting.....	109
C. Triangulation with smoothing.....	110
D. Kriging.....	111
7. Création de courbes de niveau à partir d'un grid.....	112
8. Courbes de niveau à partir d'une grille numérique.....	112
Conclusion.....	116
CONCLUSION GENERALE.....	117
REFERENCES BIBLIOGRAPHIES	
ANNEXES	

INTRODUCTION

La ressource en eau en Algérie est irrégulièrement répartie dans l'espace et dans le temps, ce qui engendre d'énormes difficultés pour sa mobilisation.

Les pénuries en eau sont en train de devenir un problème majeur. Nombre de régions souffrent déjà du déficit hydrique, d'autres suivront sans doute. Face à cette situation, la construction de nouveaux barrages devient indispensable.

A travers les études hydrologiques et l'exploitation des futurs barrages, l'évaluation de l'écoulement aux sites de ces barrages est indispensable.

Actuellement, en Algérie, le calcul de l'écoulement est établi :

1. Sur la base de données d'observations aux sites des stations hydrométriques
2. Par analogie hydrologique avec d'autres bassins versants pour lesquels, ces données sont disponibles.

Cependant, l'erreur liée à l'évaluation par analogie, peut atteindre des valeurs considérables (mauvais choix du bassin versant analogue). Quant aux stations hydrométriques qui offrent de bons résultats, elles sont malheureusement limitées en nombre et elles ne couvrent que quelques régions du pays

L'étude d'évaluation de la ressources en eau superficielle « Bilan hydrique des bassins versant du Nord de l'Algérie » s'articule autour de thème portée sur l'hydrologie du nord de l'Algérie : Modélisation de l'écoulement des bassins versants et sa cartographie.

L'Algérie orientale représente la région la plus arrosée du pays et détient, de ce fait, la part la plus importante des ressources en eau de surface. Avec un écoulement annuel moyen pouvant dépasser les 200-300 mm sur les bassins telliens, elle s'oppose nettement à l'Algérie occidentale où la semi-aridité dominante ne permet que des écoulements médiocres, en majorité inférieurs à 50 mm par an.

Cependant, la zone d'étude à été décrit géographiquement sur les principales caractéristiques météorologiques du climat telles que la température de l'air et l'humidité de l'air. Ces deux dernières caractéristiques seront utilisées dans le calcul de l'écoulement dans les prochaines étapes.

Les disparités des formations géographiques sont classées selon leurs intérêts hydrogéologiques, le relief est très contrasté et diversifié d'une région à l'autre. On note la présence de nombreux massifs montagneux tels que les Alpes tel que Djurjura.

Les données utilisées, pour l'établissement du modèle et la cartographie de l'écoulement sont des données de mesure des stations hydrométriques, implantées dans différentes zones géographiques et climatiques. Aussi bien d'autres données sont saisies auprès des documents des cahiers des agences des bassins hydrographiques et des annuaires hydrologiques

L'analyse et le traitement des données bassins versants nous ont permis d'établir un modèle de calcul du ruissellement.

C'est de la bonne connaissance d'écoulement en tout point de l'espace que dépend le dimensionnement adéquat des aménagements hydrauliques (barrages et retenues collinaires, dérivation, aménagement au fil de l'eau...).

Or, la discontinuité chronologique et géographique de l'information hydrologique disponible constitue une contrainte évidente pour la connaissance rationnelle des ressources en eau, combien aléatoires et qu'il y a lieu d'exploiter et de gérer. Afin d'y suppléer, l'interpolation spatiale des données de mesure et la cartographie automatique des éléments de l'écoulement sont des techniques auxquelles nous faisons recours.

La carte de l'écoulement proposée est reproductible et « maniable » au sein d'un Système d'Information Géographique (S.I.G.). Elle contribue, en outre, à combler une lacune importante dans le champ de la connaissance hydrologique en Algérie.

1. Aperçu géologique des bassins versants :

L'histoire géologique de l'Algérie s'inscrit dans le processus de la géodynamique globale de la tectonique des plaques donnant naissance à deux domaines distincts :

- ✓ Au Nord l'Algérie alpine
- ✓ Au Sud la plate-forme saharienne.

Vu l'étendue de l'Algérie et la variation lithologique d'une région à l'autre au sein du même âge géologique, il est très difficile de donner une description assez fidèle de la lithologie constituant les grands bassins sédimentaires. A cet effet, nous nous contentons de donner une description assez sommaire des principaux complexes lithologiques (Carte II-1, Carte II-2) (Assaba M., 2004).

1-1. L'Algérie alpine :

Elle concerne le Nord du territoire étudié. Les chaînes alpines algériennes sont nées de la collision des plaques Afrique-Europe. L'Algérie du Nord est constituée de reliefs jeunes, formés au cours du Tertiaire par les mouvements alpins.

Du Nord au Sud, on rencontre :

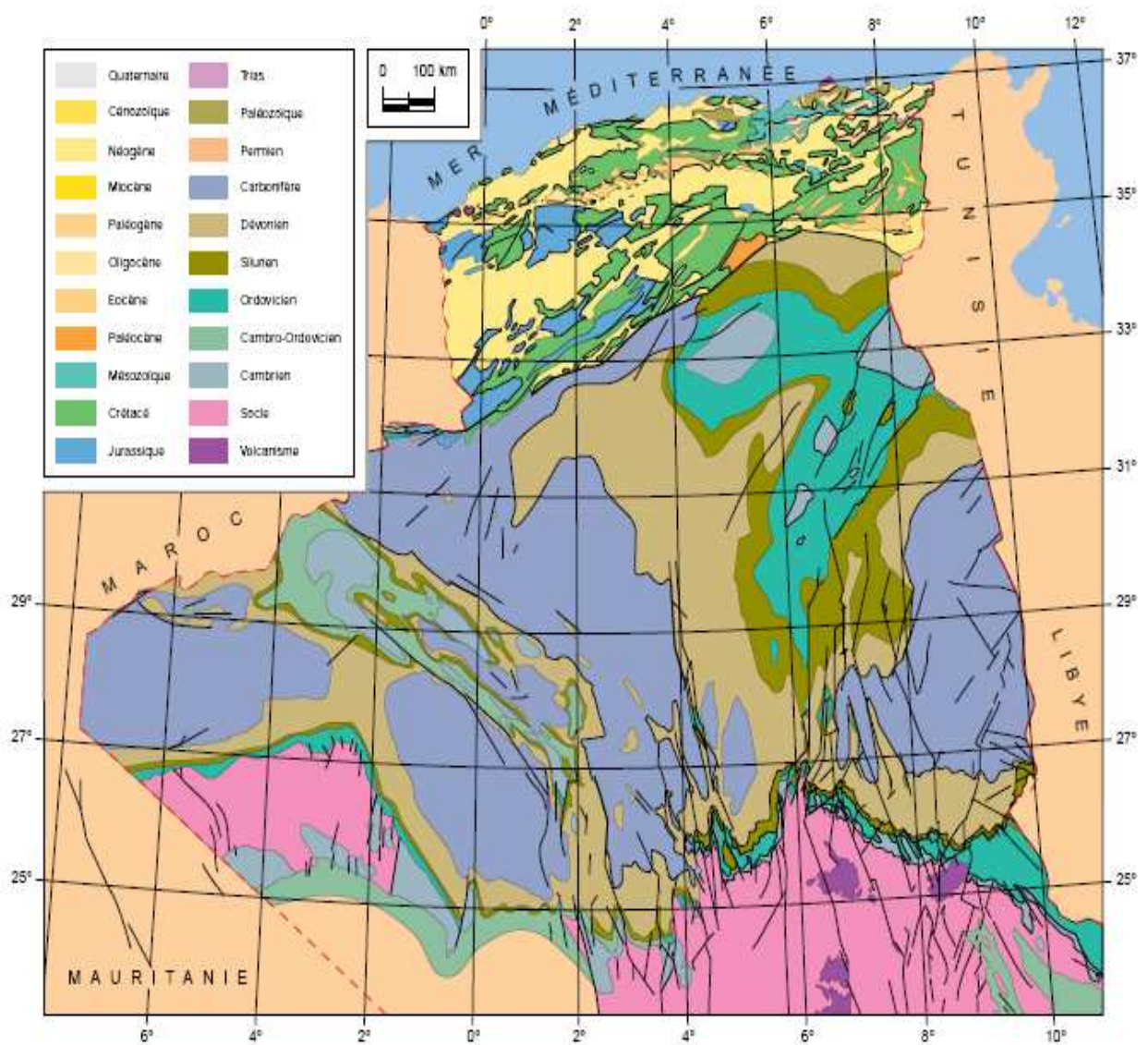
- Les dépôts tertiaires et quaternaires reposant sur un socle métamorphique;
- L'Atlas Tellien: c'est un domaine des nappes constitué des séries sédimentaires allant du Jurassique au Miocène;
- Le Hodna: c'est un bassin de remplissage, constitué par les dépôts continentaux d'âge Eocène et Oligocène;
- Les Hauts Plateaux: constitués d'une couverture sédimentaire réduite;
- L'Atlas saharien: c'est un bassin de comblement constitué par une puissante série sédimentaire du Tertiaire;
- Bassin du Chott Melrhir: il est situé au Sud-Est du bassin Constantinois a remplissage crétacé.

1-2. Plate-forme saharienne :

Elle est située au Sud de l'Algérie alpine, Elle comprend un socle précambrien sur lequel repose en discordance une puissante couverture sédimentaire, on distingue d'Ouest en Est:

- ✓ Bassin de Tindouf et de Reggane;
- ✓ Bassin de Bechar;
- ✓ Bassin d'Ahnet Timimoun;
- ✓ Bassin du Mouydir et de Aguemou-Oued Mya;
- ✓ Synéclyse d'Illizi- Ghadames,

Chapitre II : Formation géographique. Réseau hydrographique et ressources en eau des cours d'eau du Nord de l'Algérie



Carte II-1: Carte géologique de l'Algérie d'après la carte géologique de l'Attique (Feuille n°2) CGMW/UNESCO, 1990

2. Description lithologique des bassins l'Algérie du Nord :

Dans cette description lithologique des principaux complexes géologiques, nous nous sommes focalisés sur la partie nord de l'Algérie où l'information est abondante à travers de nombreuses recherches scientifiques réalisées au cours de ce dernier siècle.

2-1. Le Paléozoïque (Primaire) :

Son affleurement est limité à quelques régions comme la grande Kabylie, la petite Kabylie, l'Algérois, région d'Annaba et quelques affleurements dans l'Oranais. Il est constitué de gneiss et granites en grande Kabylie, des tufs volcaniques, gneiss et micaschistes dans l'Algérois et granites et rhyolites en petite Kabylie d'El Milia Collo.

2-2. Trias :

Son affleurement est très limité à quelques intrusions locales. Il est constitué essentiellement par des évaporites.

2-3. Lias :

Il est essentiellement constitué des formations détritiques à la base. Surmonté par des évaporites et termine par des carbonates.

Dans la région du Hodna (mont de Bellazma), il est constitué de dolomies et calcaires. A djebel Nador (région de haret), il est constitué de dolomies, calcaires et marnes.

A Beni-Ouartelane (région de Sétif), on rencontre des argiles, gypses, marno-calcaires et des calcaires.

Au Cheliff, on rencontre des calcaires, marno-calcaires et de galets de schistes.

2-4. Jurassique :

Le Jurassique moyen est constitué de roches carbonatées (en Kabylie) et des calcaires, dolomies et argiles dans la région de Tlemcen à djebel Moudzab Rigou.

Le Jurassique supérieur est essentiellement constitué de roches marno-carbonatées. Il affleure depuis la Meseta oranaise jusqu'à la région de Tlemcen. On le rencontre également dans le Tell constantinois et le Hodna.

2-5. Crétacé inférieur :

Il est caractérisé par une sédimentation détritique. Sa surface d'affleurement est très large en Algérie du Nord notamment les grès qui couvrent une très large superficie.

A l'Est de Constantine (El Khroub), il est essentiellement formé de calcaires, dolomies et de marno-calcaires.

Au mont du Hodna, on rencontre des grès intercalés par des bancs de calcaires et des marnes. Dans les Hautes Plaines sétifiennes, les grès surmontés par une alternance marno-calcaires sont les formations les plus répandues.

2-6. Crétacé supérieur :

Il est caractérisé surtout par l'absence de la sédimentation détritique. Les formations marno-calcaires et les marnes gypseuses sont les caractéristiques essentielles de cet étage géologique.

2-7. Eocène :

Cet étage du Tertiaire est caractérisé par des dépôts des marno-calcaires, marnes gypses et de grès dans les Aurès. Des calcaires surmontés par des marnes sableuses dans le Hodna et des calcaires, calcaires argileux et marno-calcaires dans la région du Sétif.

2-8. Oligocène :

Il est essentiellement constitué de calcaires, conglomérats, marnes et grès. Dans le Tell algérois, on rencontre des schistes rouges, des poudingues et des sables argileux.

Au Nord-Ouest de Sétif (djebel Meghriss), il est surtout marneux.

2-9. Miocène inférieur :

Il affleure localement sur des reliefs côtiers, essentiellement constitués des formations éruptives et des complexes volcano-sédimentaires.

On trouve des marnes à petits lits gréseux dans la vallée de la Tafna, des grès et poudingues dans le Tell algérois, des marnes dans les Babors et des marnes, des conglomérats et grès en petite Kabylie.

2-10. Miocène moyen :

Il est caractérisé par marnes gréseuses en Oranais et des conglomérats surmontés par des argiles et de marnes dans la région de Batna.

2-11. Miocène supérieur :

La nature lithologique de cet étage géologique diffère d'une région à l'autre.

Dans la région de M'sila, il est surtout caractérisé par des formations volcaniques.

Dans le Tell algérois et la région de Ain M'lila, il est marneux.

A Aïn Fakroun, on rencontre des grès et des conglomérats surmontés par des intercalations marneuses, (Assaba M., 2004).

2-12. Pliocène :

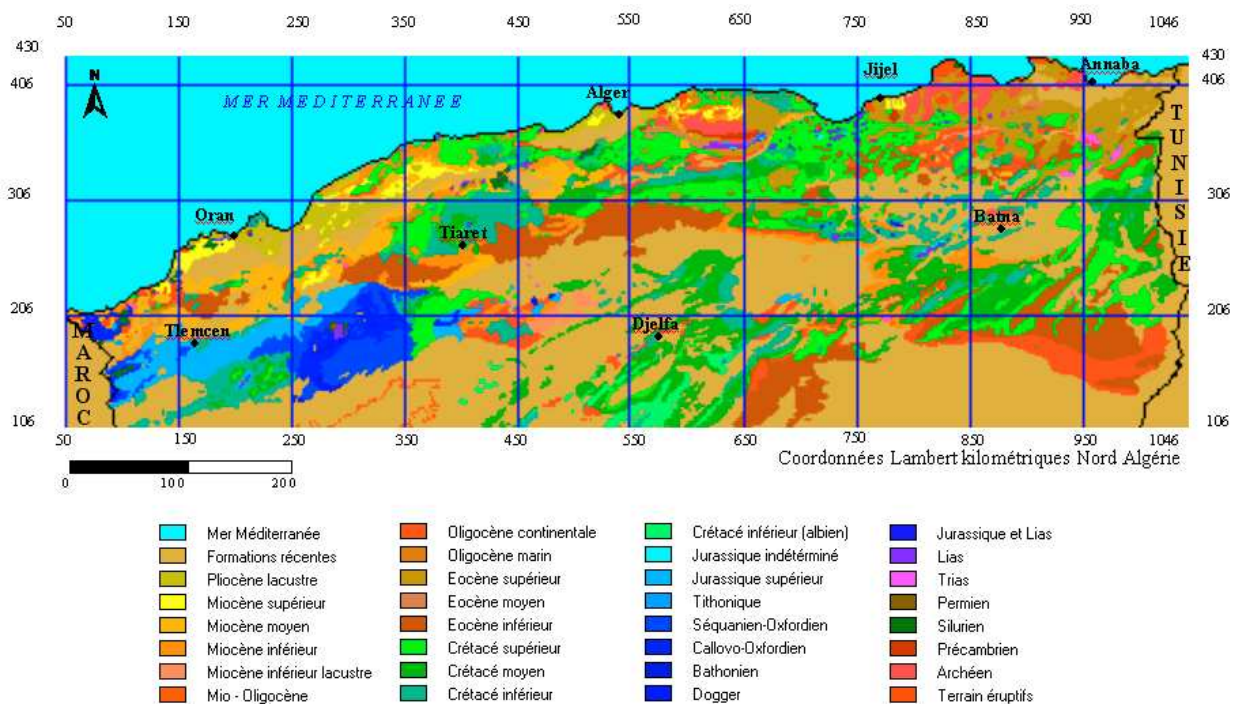
Il est constitué de formations marneuses au Nord-Ouest d'Oran et sur la rive droite de la vallée de Tafna et le Cheliff. Dans l'Algérois, il est essentiellement constitué de calcaires gréseux et de marnes.

2-13. Quaternaire :

Il affleure pratiquement dans toute l'Algérie du Nord. Ses formations sont d'une mince épaisseur de quelques centimètres à quelques dizaines de mètres. Généralement, il affleure au niveau des rivières sous formes des alluvions.

La partie occidentale est constituée généralement par des grès et des alluvions (grès le long de l'Oued Tafna et les alluvions le long de la moyenne Tafna).

Dans le Tell algérois, on rencontre des éboulis, encroûtements calcaires et des grès.

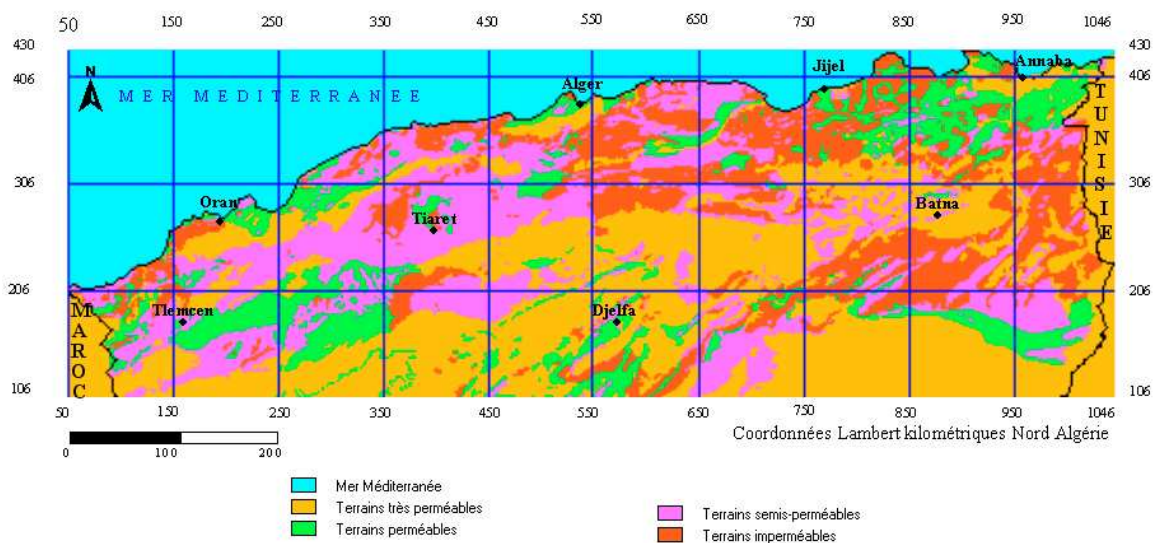


Carte II-2: Carte géologique de l'Algérie du Nord (numérisée à partir d'un fond au 1/800 000) (TOUAZI, 2001)

Chapitre II : Formation géographique. Réseau hydrographique et ressources en eau des cours d'eau du Nord de l'Algérie

En fait cette complexité peut être relativement réduite dans l'optique d'une classification hydrologique des terrains. L'analyse des faciès rencontrés permet de se ramener à quatre grands types de terrains :

- Imperméables
- Semi-perméables
- Perméables
- Très perméables



Carte II-3 : Répartition des classes de perméabilité [A.N.R.H]

3. Réseau hydrographique des cours d'eau de l'Algérie du nord :

Hormis le Cheliff qui coule sur une longueur de 700 Km, les cours d'eau en Algérie sont d'une longueur faible. Ils drainent des bassins versants de taille réduite, et ils ressemblent beaucoup plus à des torrents qu'à des rivières. Leurs débits moyens sont faibles et irréguliers. Après des pluies d'orages, ces torrents deviennent des agents d'érosion de puissance redoutable. Les gorges du Rhumel (Constantine), de la Chiffa (Médéa) et de Palestro (Boumerdès), sont des exemples de la puissance d'érosion de ces torrents.

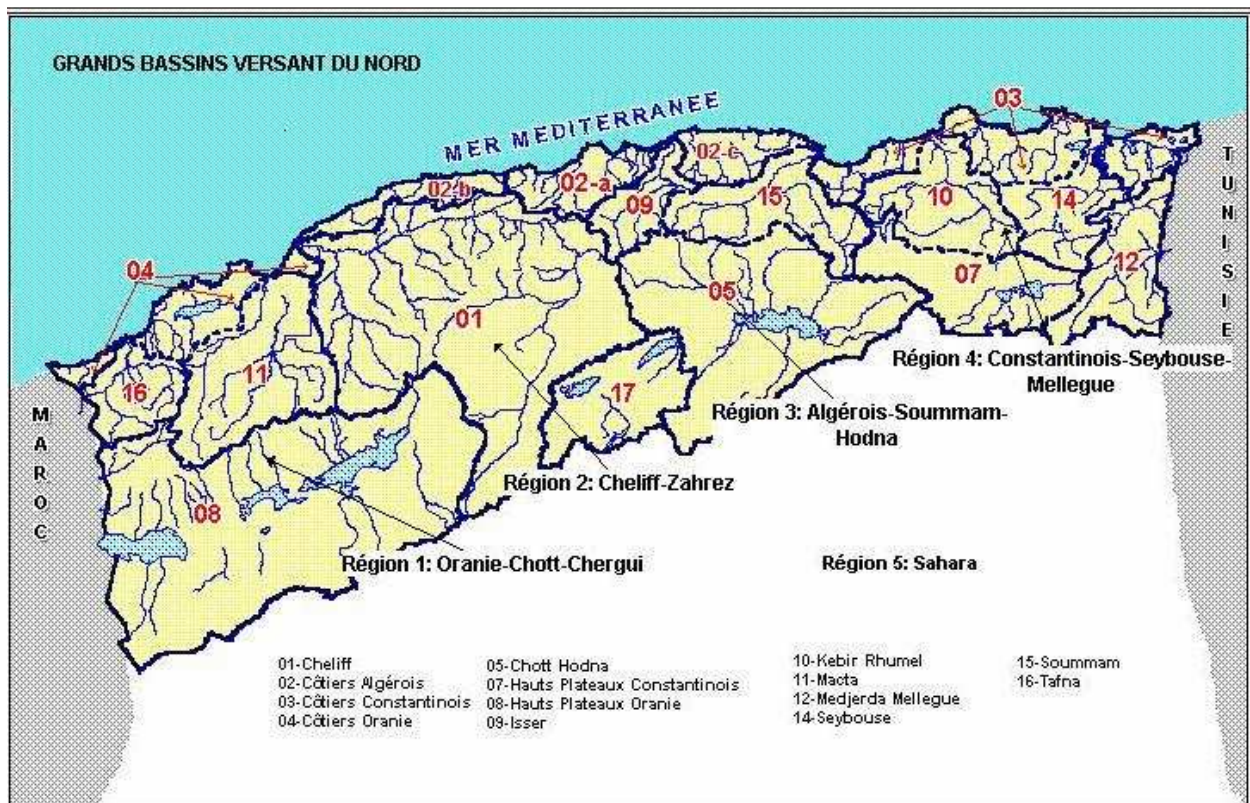
Tous les cours d'eau du Tell se jettent dans la Méditerranée. Les plus connus sont: le Cheliff, le Rhumel, la Tafna, le Sébaou et l'Isser

Les hautes plaines disposent d'un réseau hydrographique atrophié et incomplet. Les eaux de pluie se concentrent dans des fonds de cuvelles pour former des lacs temporaires qui disparaissent

Chapitre II : Formation géographique. Réseau hydrographique et ressources en eau des cours d'eau du Nord de l'Algérie

pendant l'été avec l'accélération du processus d'évaporation, certains de ces lacs sont permanents et sont également alimentés par les eaux souterraines, constituant ainsi de véritables zones endoréiques à réseaux hydrographiques convergents : Chott Ech, Zahrez Rharbi, Zahrez Chergui, Chott El Hodna, Chott Garaet El Taref, etc.

Les Oueds issus des massifs de l'Atlas saharien, tel l'Oued Saoura dans la région de Béchar, coulent vers le Sahara, qui vont vite se perdre dans les sables en constituant ainsi de véritables rivières souterraines. Le plus connu de ces cours d'eau souterrains est l'Igharghar, qui alimente les puits artésiens de l'Oued R'hir et fait vivre des millions de palmiers. Les bassins versants et le réseau hydrographique sont présentés dans la Carte II-4



Carte II-4: Répartition des grands bassins versant et réseau hydrographique du Nord de l'Algérie

3-1. Les bassins hydrographiques et leurs données hydrométriques :

Les grands traits d'une région géographique fortement contrastée ont été esquissés afin de saisir ici la variété des contextes physiques caractérisant les bassins fluviaux. Cette variété des milieux influe notablement sur les processus hydrologiques que nous aborderons, par la suite, au niveau des bassins jaugés.

En Algérie, pays à dominance semi-aride et où l'eau est au coeur des préoccupations de la société et des pouvoirs publics, la notion de bassin versant rentre de plus en plus dans le langage courant des ingénieurs et des décideurs.

Le bassin est défini comme une entité topographique et hydrographique dans laquelle se produisent des entrées d'eau (sous forme de précipitations essentiellement, sans oublier les apports souterrains issus d'autres bassins) et où l'écoulement (et le transport de matériaux mobilisés par l'érosion) s'effectue suivant un système de pentes et de drains naturels en direction de l'exutoire ou embouchure du cours d'eau collecteur. «Les processus de transfert d'eau s'expriment dans les réseaux hydrographiques, considérés comme des éléments linéaires, par opposition aux bassins versants, éléments de la surface terrestre » (Bravard J-P. et Petit F., 2000). (Carte II-5)

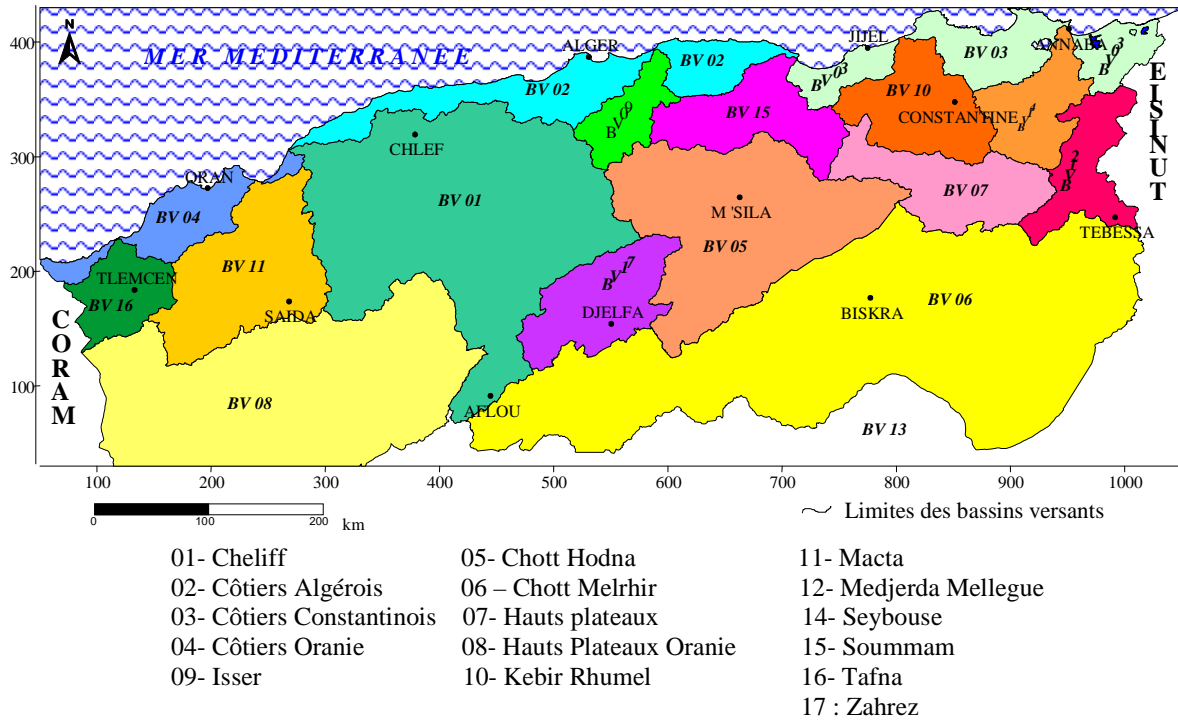
Cette unité de drainage est essentielle en hydrologie « pas seulement parce qu'elle permet le calcul de bilans mais aussi parce qu'elle représente une unité fonctionnelle, qui rend compte d'une dépendance rigoureuse de l'amont à l'aval. Ce n'est qu'à l'échelle du bassin versant, en prenant en compte toutes ses composantes, qu'il est possible d'aborder l'étude des fonctionnements hydrologiques, les relations pluies-débits, la formation des crues, la sévérité des étiages... ».

Il convient d'ajouter à cette idée de Cosandey C. et Robinson M. (2000) que c'est également, à l'échelle du bassin versant, qu'il devient de plus en plus aisé d'étudier les aménagements hydrauliques et de leurs impacts sur le cycle hydrologique, de même que les phénomènes de pollution et de leurs transferts amont-aval. En somme, les questions de la gestion de l'eau au sens large du terme.

Mais, condition fondamentale, ce sont les données de mesures hydrométriques accumulées au niveau des bassins jaugés qui permettent de quantifier valablement les débits des cours d'eau et d'analyser les mécanismes hydrologiques dans le temps et dans l'espace.

Chapitre II : Formation géographique. Réseau hydrographique et ressources en eau des cours d'eau du Nord de l'Algérie

Les bases de données hydrologiques disponibles sur le nord de l'Algérie souffrent néanmoins d'une discontinuité plus ou moins importante, tant chronologique que géographique. La sélection des bassins jaugés et de leurs séries communes d'observation hydrométrique tient compte de ces contraintes qu'il y a lieu de suppléer, par la suite, à l'aide des techniques de généralisation spatiale de l'information.



Carte II-5 : Organisation des grands bassins versants du nord de l'Algérie

3-1.1. Mesure des débits au site des stations hydrométriques :

En chaque station, en plus de l'enregistrement en continu des hauteurs d'eau à l'aide du limnigraphe (comparé aux relevés de hauteur à l'échelle limnimétrique), sont entrepris des jaugeages périodiques au moulinet (vélocimétrie à élément rotatif pour mesurer la vitesse de l'eau ou méthode d'exploration du champ des vitesses) (Audinet M., 1995). Le moulinet est fixé à un support maintenu (perches et micro-perches) ou suspendu (saumon). Les jaugeages de crue sont entrepris, lorsque les conditions d'équipement s'y prêtent (station équipée de trille téléphérique ou à partir d'un pont par le biais d'une cyclopotence), à l'aide du moulinet monté sur saumon ou lest profilé (figure II-1, II-2).

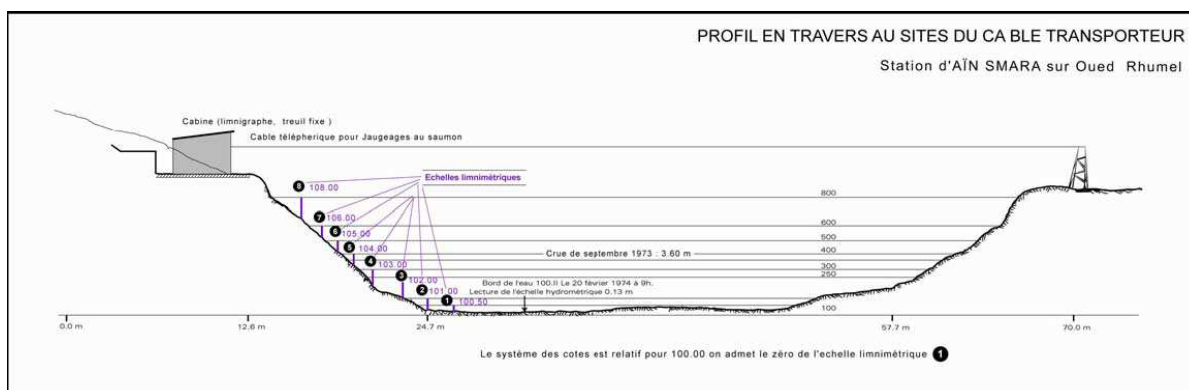


Figure II-1: Station hydrométrique d'Ain Smara sur l'oued Rhumel (profil en travers)

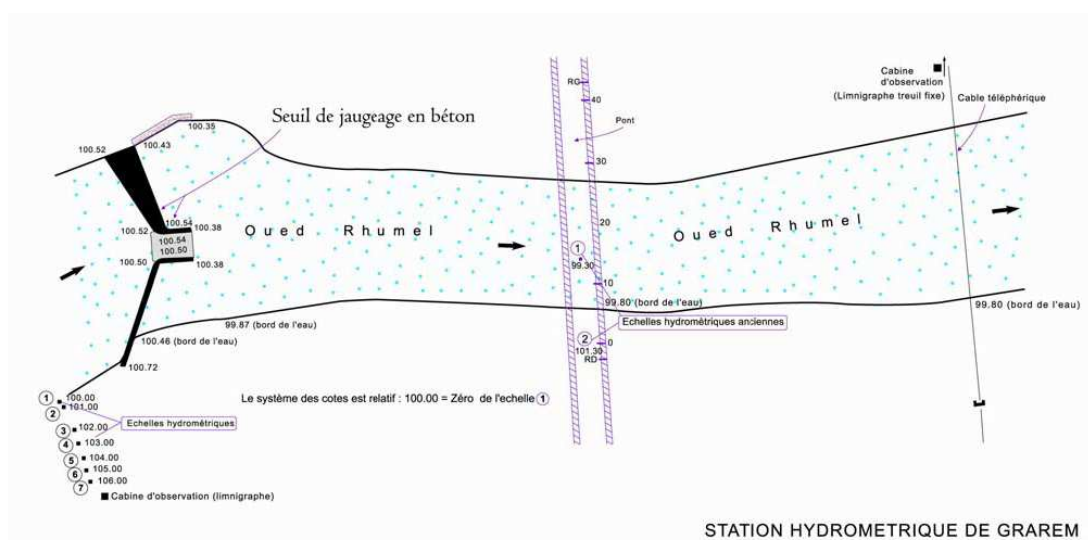


Figure II-2 : Station de Grarem : seuil de jaugeage et échelles limnimétriques

En étiage, les jaugeages sont établis au déversoir lorsque l'emploi du moulinet devient impossible (cf. sur la figure 32, seuil en béton de Grarem, station aujourd'hui abandonnée car située dans le lac de retenue du barrage de Beni Haroun).

Le réseau hydrométrique algérien connaît, depuis peu de temps, un début de modernisation avec l'installation progressive de stations dites « automatiques » (enregistreurs électroniques), remplaçant le mode d'enregistrement graphique sur papier (le limnigraphe classique). Le transfert des données sur ordinateur est facilité grâce à la capacité de mémoire dont est muni l'appareil d'enregistrement électronique.

3-1.2. Mesure en eau des débits et exploitation des données hydrométriques :

Les étapes de calcul des débits moyens journaliers en une station hydrométrique sont illustrées par la figure II-3. Grâce à la traduction de la courbe de tarage $Q(H)$ en barème d'étalonnage d'une part, et le dépouillement des limnigrammes $H(t)$ (cotes d'eau de l'oued enregistrées en continu sur des bandes limnigraphiques) d'autre part, il devient possible de déduire, dans une dernière étape, les débits moyens journaliers $Q_j(t)$.

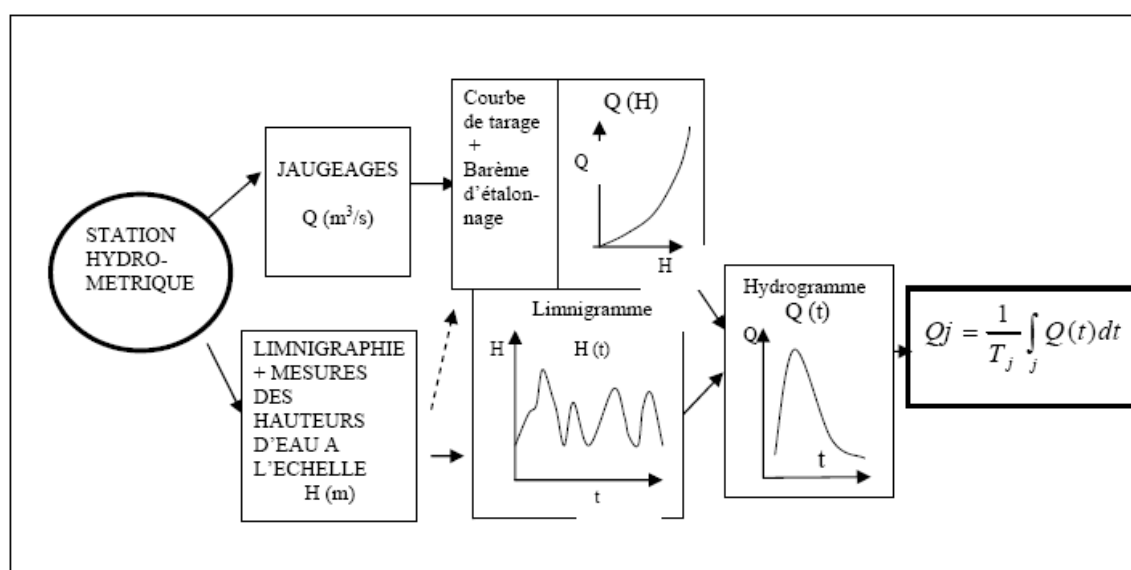


Figure II-3 : Etapes de calcul d'un débit moyen journalier

Tracée à l'aide d'une série de jaugeages périodiques, la courbe de tarage Q (H) représente les débits instantanés en fonction des hauteurs d'eau correspondantes. Comme le montre l'exemple de la station de Douar Tassadane (figure. II-4), il est bien souvent nécessaire d'établir différentes courbes suivant les périodes de l'année « On obtient donc un faisceau de courbes de tarage auxquelles sont attachées différentes périodes de validité » (Laborde J-P., 2000a).

Les courbes de tarage ne sont pas stables. En basses eaux, la relation hauteur-débit est perturbée en raison des modifications subies par le lit de l'oued et de l'influence de la végétation. En hautes eaux, malgré les précautions prises, les courbes de tarage sont considérées comme approximatives pour le calcul des débits de crue.

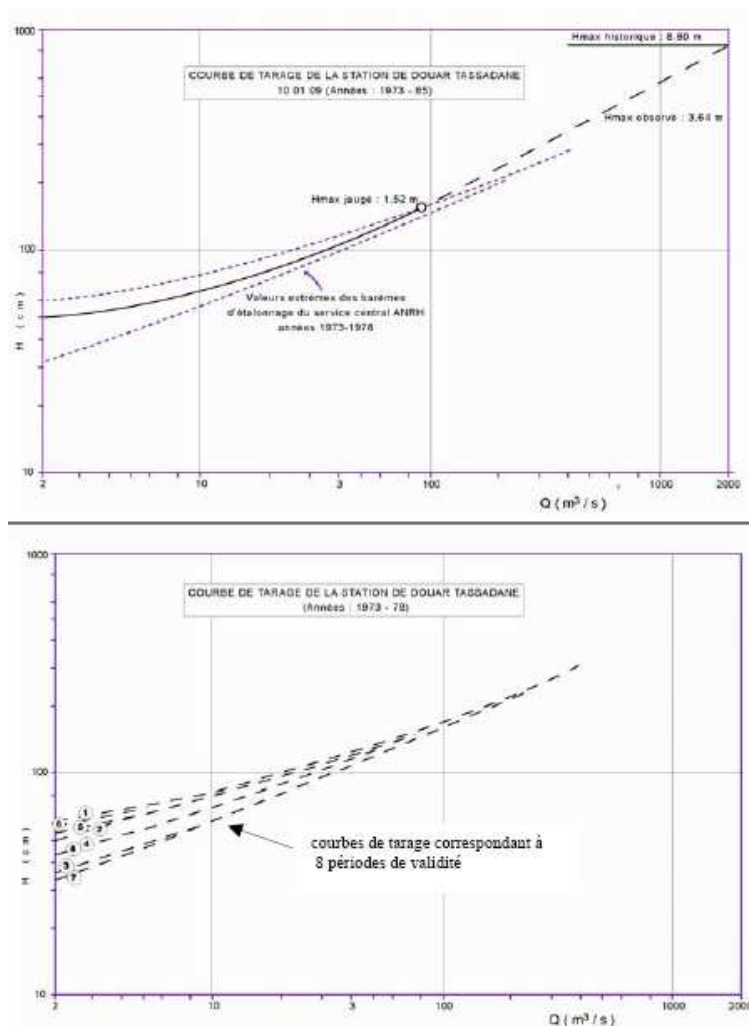


Figure II-4 : Courbes de tarage de la station de Douar Tassadane (d'après A.N.R.H.)

Chapitre II : Formation géographique. Réseau hydrographique et ressources en eau des cours d'eau du Nord de l'Algérie

Pour estimer les débits des crues non jaugées, les services d'hydrométrie de l'A.N.R.H. utilisent fréquemment la formule de Manning-Strickler pour le calcul de la vitesse moyenne et ensuite la reconstitution du débit (Q) comme le produit de la vitesse (V) et de l'aire de la section mouillée (S). La formule de Manning-Strickler s'écrit :

$$V = K \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

Dans laquelle :

V : vitesse moyenne en m/s ;

R : rayon hydraulique en mètres = rapport de l'aire de la surface mouillée à la longueur du périmètre mouillé (pour une rivière, il est pratiquement assimilable à la profondeur moyenne) ;

K : coefficient d'ajustement ;

I : pente de la ligne d'énergie (souvent assimilée à la pente de la surface libre).

Il est suggéré, en outre, d'améliorer le tracé de la partie supérieure de la courbe de tarage par l'application étendue de la méthode du jaugeage au flotteur, à l'exemple de la crue exceptionnelle de 1984 observée à la station de Grarem (Sarvary I., 1986) (figure II-5).



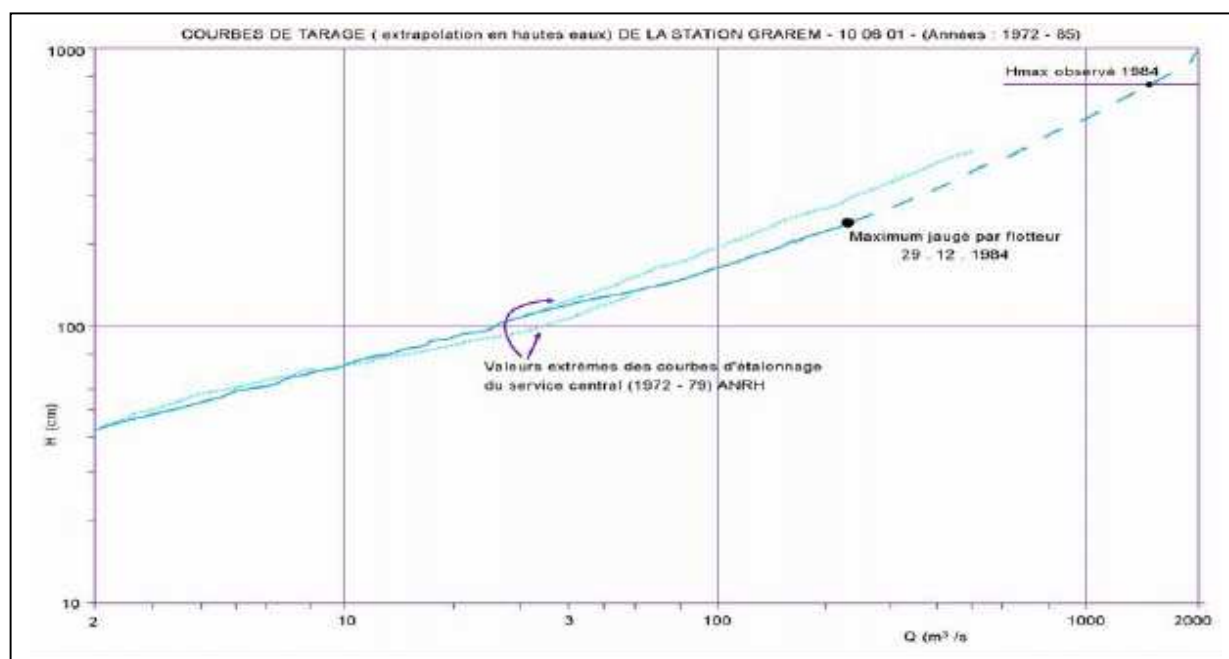


Figure II-5 : Courbes de tarage de la station de Grarem (d'après A.N.R.H., Constantine)

3-2. Ecoulements des cours d'eau dans les bassins versants du nord de l'Algérie :

Les données climatiques sont non seulement en elles-mêmes des éléments décisifs du milieu physique, mais ont aussi des répercussions profondes sur les autres composantes de ce milieu. Il existe un lien évident entre le volume, la variation annuelle des précipitations et d'autre part le débit et le régime des oueds.

Le régime des rivières du Maghreb présente des caractères généraux si typiques que le terme d'oued est passé dans le vocabulaire géographique. Il s'applique à des cours d'eau qui ont des écoulements irréguliers : le lit de la plupart, à sec été, est parcouru par des crues violentes et abondantes.

Un certain nombre d'oueds telliens sont pérennes et maintiennent des écoulements en été. Ce sont les oueds qui drainent de vastes bassins versants : la masse d'eau, infiltrée dans les sols et restituée progressivement, atteint un volume suffisant pour compenser l'absence de précipitations estivales et la forte évaporation. Ces basses eaux représentent un débit très faible - à peine supérieur à $1 \text{ m}^3/\text{s}$ pour deux d'entre eux, le Chélif et la Soummam. Au milieu des galets et des sables encombrant de larges lits, un mince filet d'eau glisse de flaque en flaque et, incapable de franchir la

Chapitre II : Formation géographique. Réseau hydrographique et ressources en eau des cours d'eau du Nord de l'Algérie

flèche de sable qui barre les embouchures, alimente une mare plus importante, la guelta. Les cours d'eau de petite taille n'ont d'écoulements pérennes que grâce à des circonstances particulières. L'oued Maffrouch (bassin-versant : 90 km²) et l'oued Chouly (178 km²) ont leur étiage soutenu par les sources résurgentes du causse de Tlemcen. L'oued Djendjen bénéficie des fortes précipitations et des chutes de neige du massif de Collo.

Pendant la saison pluvieuse, le débit augmente mais les eaux ne couvrent que partiellement la surface du lit. Le débit moyen du Chélif à Pontéba a oscillé entre 7,5 et 33,5 m³/s (1952-1957) alors que la superficie du bassin drainé par ce fleuve, le plus long d'Algérie, atteint 30 000 km². Ce n'est qu'en période de crue résultant de pluies orageuse et concentrées, que les eaux occupent la totalité du lit et débordent même par-dessus les berges. Les débits de pointe se sont situés pour le Chélif entre 134 et 1560 m³/s ; chiffres largement dépassés lors de crues exceptionnelles : 4 200 m³/s en 1934 et 4 000 m³/s en 1958. Sur les cours d'eau de moindre taille, les crues sont aussi impressionnantes : oued Sébaou (1 512 km²) 1 580 m³/s en 1953 et oued Hamiz (139 km²) 660 m³/s en 1954. Cette absence de pondération qui résulte directement de l'irrégularité des précipitations fait que les trois quarts des débits annuels s'écoulent en quelques mois et que valeur des débits annuels varie d'une année à l'autre de façon considérable. Entre 1952 et 1957, le débit annuel de l'oued Fodda (800 km²) a atteint deux extrêmes : 30 millions et 159 millions de m³ ; celui de l'oued Sarno (massif du Tessala) 2,1 et 26,8 millions de m³ ; celui du Chélif 237,5 et 1 056,5 millions de m³. Une opposition analogue au contraste climatique distingue les oueds du Tell occidental de ceux du Tell oriental. Ces derniers écoulent des volumes plus considérables en raison de la valeur plus grande des précipitations et de l'aspect plus montagneux des bassins versants. On remarquera que la Mekerra et l'oued El Hammam quoique situés dans le Tell occidental plus sec, ont des basses eaux moins prononcées : l'eau, infiltrée dans le rebord calcaire des Hautes Plaines, est lentement restituée au cours de l'été.

L'irrégularité, caractérisant les oueds, s'accroît au fur et à mesure que l'aridité croît. Les oueds des Hautes Plaines sont normalement à sec et les crues qui ont lieu chaque année, ne parcourent pas toute la longueur du réseau hydrographique ; les eaux s'étalent et s'infiltrent à la hauteur d'élargissements des vallées qui d'une façon générale et en dehors des secteurs montagneux, sont moins bien dessinées que dans le Tell. L'exemple de le plus expressif est celui du Chélif : il se constitue à Boughzoul par la réunion du Nahr Ouassel qui longe la bordure sud-tellienne, et l'oued Touil qui prend sa source dans le djebel Ammour ; alors que les crues du Hahr Ouassel débouchent annuellement dans le barrage réservoir de Boughzoul, celles de l'oued Touil n'y parviennent pas

toujours ; la conjonction des crues donne des débits supérieurs à 1000 m³/s. Les massifs montagneux bordiers, mieux arrosés, alimentent des écoulements fréquents qui restent cependant inférieurs à ceux du Tell oranais.

4- Ressource en eau en Algérie :

Le territoire Algérien couvre une superficie de 2381000 Km² ce qui représente 8% du continent Africain. Comme il a été signalé en haut 85 % de cette étendue correspondent à une zone désertique où des précipitations sont quasi nulles. C'est donc seulement dans le nord du pays qui jouit d'un climat méditerranéen que l'on peut parler de mobilisation des eaux de surface. Dans cette région la moyenne des précipitations annuelle varie du Nord au Sud et d'Ouest en Est et 90% des écoulements superficiels se trouvent concentrés dans les bassins du Nord, dits tributaires de la méditerranée, dont la superficie est de 123.000 Km².

Les bassins fermés des hautes plaines (76.000 Km²) et les bassins du flanc méridional de l'Atlas Saharien (67.000 Km²) ne drainent donc que 10 % de l'écoulement superficiel du pays.

Par ailleurs, dans les bassins tributaires de la méditerranée la région Ouest qui représente 60 % de cette zone ne draine que 25 % des écoulements.

A cette régularité spatiale, s'ajoute l'irrégularité dans le temps qui caractérise l'ensemble du bassin méditerranéen et notamment sa rive Sud. En effet si l'on prend l'exemple de la Tafna au niveau de Beni-Bahdel, les débits extrêmes enregistrés sur une période de 64 ans sont 177 million de m³ (1973/1974) et 8 million de m³ (1989/1990). Soit un rapport de 22. Ce rapport est encore plus important sur l'Oued Mazafran à la station Fer à cheval où l'on a eu 642 million de m³ (1972-1973) et 18 million de m³ (1981/1982)

Globalement sur des précipitations totales sur le Nord du Pays évaluées en moyenne à quelques 100 Milliards de m³ par année, 85% s'évaporent dans l'atmosphère et 15 % constituent l'écoulement superficiel et souterrain. Les 12.4 Milliards de m³ d'écoulements superficiels sont répartis sur les oueds Algérien dont les 11 principaux sont :

Cheliff, Kebir Rhumel, Sebaou, Seybouse, Soummam, Kebir Est, Isser, Djendjen, Tafna, Kebir Ouest, El Harrach.

La mobilisation des ressources en eau se fait actuellement par le recours à deux types de ressources :

- 4-1. Ressources superficielles**, par le biais de grands ouvrages de mobilisation et de transfert, de petits barrages et retenues collinaires, qui sont pris en charge par l'Agence Nationale des Barrages et Transfert (ANBT), de dérivation et épandage et de barrages en infero-flux. A ce niveau, il reste encore une marge d'efficacité à atteindre pour capter un maximum de l'écoulement naturel des eaux.
- 4-2. Ressources souterraines**, renouvelables dans le nord du pays et fossiles dans le Sahara. Les eaux souterraines du nord du pays sont pratiquement mobilisées. Certaines sont même en surexploitation. Au Sahara, l'exploitation actuelle de 1.7 milliards de m³/an (irrigation, AEP, et activités liées aux hydrocarbures) peut être portée à 5 milliards de m³/an avec possibilité de transfert vers le nord (étude de faisabilité en cours). Pour ce qui concerne les eaux fossiles du sud, une inconnue demeure quant à la pertinence écologique de leur exploitation intensive. Depuis 1996, le territoire national est découpé en cinq unités hydrographiques naturelles, les bassins hydrographiques au niveau desquels est conçue et assurée la conservation qualitative et quantitative des eaux. La gestion concertée de la ressource est assurée au niveau des Comités de Bassin Hydrographique (CBH) ou sont représentés, à parts égales, les collectivités locales, les usagers et l'administration. Le secteur de l'eau assure cette gestion intégrée de l'eau par le biais des Agences de Bassin Hydrographique (ABH).

Chapitre II : Formation géographique. Réseau hydrographique et ressources en eau des cours d'eau du Nord de l'Algérie

Les potentialités et les possibilités de mobilisation (ressources superficielles et souterraines) sont présentées dans le tableau II-1

Tableau II-1: Les Ressources en eaux souterraines et superficielles

Bassin Hydrographique	Oranie Chott Chergui	Cheliff Zahrez Hodna	Algérois Soummam Seybouse	Constantinois Mellègue	Sud	Total
Ressources souterraines	379	337	720	600	5.00	7.036
Ressources superficielles	997	1.955	4.302	4.668	800	12.722
Total	1.376	2.292	5.022	5.268	5.800	19.758
Ress. Souterr. Exploitées	284	333	720	276	1.700	3.313
Taux de mobilisation	75%	99%	100%	46%	34%	47%
Apports moyens (Hm ³)	988	1.605	4.587	4.527	600	12.307
Apports contrôlés (Hm ³)	461	1.145	2.383	2.542	170	6.700
Taux de mobilisation (%)	47	71	52	56	28.26	54.44
Apports résiduaire (Hm ³)	527	460	2.204	1.985	430	5.606

Source [ABH]

Les infrastructures hydrauliques en Algérie sont les barrages et retenues collinaires (57 grands barrages et différents transferts sont en exploitation, 16 barrages en cours de réalisation d'une capacité de 1.7 milliards de m³, 63 barrages sont en cours d'étude d'une capacité de 3 milliards de m³. à réaliser à l'horizon 2020 avec un montant estimé à 5.5 milliards de \$, 400 retenues collinaires sont en exploitation, totalisant une capacité de stockage de 72 millions de m³, pour irriguer une superficie totale de 18.000 ha et enfin un programme ambitieux de 1000 retenues collinaires à été arrêté (échéance : 2020). Nous donnons dans le tableau II-2 et tableau II-3. Les barrages en exploitation gérés par l'Agence Nationale des Barrages et Transfert (ANBT) et les barrages en exploitation gérés par les Direction de l'Hydrauliques des Wilayets.

Chapitre II : Formation géographique. Réseau hydrographique et ressources en eau des cours d'eau du Nord de l'Algérie

Tableau II-2 : Barrage en exploitation catégorie I Gérés par L'A.N.B.T

N=°	Barrage	Wilaya	Oued	Type	Année de mise en eau	Capac. Initial Hm ³	Capac. Dernier Hm ³	Vol/Rég Hm ³ /An	Destination
1	Meurad	Tébessa	Boujabroun	Terre	1860	0.30	0.25	1	Irrig
2	Oued-Fodda	Cheliff	Fodda	Poids	1932	228	125.5	69	Irrig
3	Boughzoul	Médéa	Nahr Oussal	Terre	1934	55	35.6	Transf.	Transf
4	Hamiz	Boumerdès	Arbatache	Poids	1897/S1935	21	15.6	17	Transf
5	Ghrib	Ain Defla	Cheliff	Enr.	1939	280	145.2	105	Mixte
6	F-El-Gueiss	Khenchla	Gueiss	Enr.	1939/S1969	3	0.048	3.2	Mixte
7	Bou-Hanfia	Mascara	El Hammam	Enr.	1948	73	38.11	Tarnsf.	Mixte
8	F-El-Gherza	Biskra	Al Biod	Poids	1950	47	14.89	13	Irrig
9	Beni-Bahdel	Tlemcen	Tafna	Voûtes	1946	63	54.63	48	Mixte
10	Sarno	S.B.Abbès	Sarno	Terre	1954	22	21.25	10	A.E.P
11	Meffrouch	Tlemcen	Meffrouch	Voûtes	1963	15	14.99	17	A.E.P
12	Bakhadda	Tiaret	Mina	Enr.	1936/S1959	56	43.8	44	Mixte
13	Cheffia	El Tarf	Bounamoussa	Terre	1965	171	158.83	95	Mixte
14	Djorf-Torba	Béchar	Guir	Poids	1969	350	260.25	100	Mixte
15	Fergoug	Mascara	El Hammam	Terre	1970	18	3.93	93	Mixte
16	K'sob	M'sila	K'sob	Voûtes	1940/S1977	29	13.34	20	Irrig
17	Zardezaz	Skikda	Saf Saf	Poids	1945/S1974	31	18.68	32	Mixte
18	S.M.B.A	Relizane	Mina	Terre	1978	235	153.71	100	Mixte
19	Deurdeur	Ain Defla	M. Tighzir	Terre	1984	115	110.2	40	Mixte
20	Harreza	Ain Defla	Harreza	Terre	1984	70	69.2	23	Irrig

Source [A.N.B.T]

Chapitre II : Formation géographique. Réseau hydrographique et ressources en eau des cours d'eau du Nord de l'Algérie

Tableau II-2 : Barrage en exploitation catégorie I Gérés par L'A.N.B.T (suit)

N=°	Barrage	Wilaya	Oued	Type	Année de mise en eau	Capac. Initial Hm ³	Capac. Dernier Hm ³	Vol/Rég Hm ³ /An	Destination
21	Merdja S.A	Relizane	Cheliff	Terre	1984	59.9	47.97	40	Irrig
22	Guenitra	Skikda	Fessa	Terre	1984	125	117.82	48	Mixte
23	Keddara	Boumerdès	Boudouaou	Terre	1985	145.6	143.8	165	A.E.P
24	Sidi-Yacoub	Cheliff	Ardjen	Terre	1985	280	278.9	98	Mixte
25	Lekhel	Bouira	Lekhal	Terre	1985	30	29	17	Mixte
26	Bouroumi	Blida	Bouroumi	Terre	1985	188	182	98	Mixte
27	Ouzert	Mascara	Taria	Terre	1986	100	93.91	Transf.	Transf.
28	Ain-Zada	Bordj.B.A	Bousellam	Terre	1986	125	121.4	50	A.E.P
29	H.Gourz	Mila	Oued-Rhumel	Poids	1987	45	40.15	16	A.E.P
30	H.Debagh	Guelma	Bouhamdane	Terre	1987	200	184.35	55	Mixte
31	Ain-Dalia	S.Ahras	Medjerra	Terre	1987	82	76.08	45	A.E.P
32	Dahmouni	Tiaret	Nahr-Oussal	Terre	1987	41	38.6	9	Irrig
33	Beni-Amrane	Boumerdès	Isser	Enr.	1988	16	6	Transf.	Transf.
34	Gargar	Relizane	Oued-Rhiou	Terre	1988	450	358.28	120	Mixte
35	Sidi-Abdelli	Tlemcen	Isser	Terre	1988	110	106.61	50	A.E.P
36	Harbil	Médéa	Harbil	Poids	1988	1	0.2	Transf.	Transf.
37	Souani	Tlemcen	/	Terre	1991	13.6	/	13	Irrig
38	Ladrat	Tissemsilt	Ladrat	Terre	1989	10	9	4.7	Irrig
39	C. Bougara	Mascara	Nahr-Oussal	Terre	1989	13	11	5.5	Irrig
40	Cheurfas	Tébessa	Mebtouh	Béton	1992	82	70.21	45	Irrig

Source [A.N.B.T]

Chapitre II : Formation géographique. Réseau hydrographique et ressources en eau des cours d'eau du Nord de l'Algérie

Tableau II-2 : Barrage en exploitation catégorie I Gérés par L'A.N.B.T (suit)

N=°	Barrage	Wilaya	Oued	Type	Année de mise en eau	Capac. Initial Hm ³	Capac. Dernier Hm ³	Vol/Rég Hm ³ /An	Destination
41	Boukourdane	Tébessa	El-Hachem	Terre	1992	97	96	49	Mixte
42	Beni-Zid	Skikda	Beni-Zid	Terre	1993	40	39.39	20	Mixte
43	Babar	Khenchela	Babar	Terre	1995	41	38.01	12	Irrig
44	Oued-Cherf	S.Ahras	Cherf	Enr.	1995	157	152.65	30	Irrig
45	Mexa	El-Taref	El Kebir	Terre	1998	47	30.27	37	A.E.P
46	H, Boughrara	Tlemcen	Tafna	Terre	1999	177	175.45	59	Mixte
47	Brézina	El Bayadh	Mouileh	Poids	2000	122	108.47	11.5	Irrig
48	F.D. Gazelles	Biskra	El-Hai	Terre	2000	55.5	54.74	14	Irrig
49	Zit Emba	Skikda	Hammam	Terre	2001	117.39	116.59	43.4	Irrig
50	Taksebt	Tizi Ouzou	Aissi	Terre	2001	175	175	152	A.E.P
51	El-Agrem	Jijel	El-Agrem	Enr.	2002	33.9	33.04	21.5	A.E.P
52	Beni-Haroun	Mila	Kebir	BCR	2003	960	960	435	Mixte
53	Koudiat-Medouar	Batna	Reboa	Terre	2003	62	62	20	Mixte
54	Oued Mellouk	Ain-Defla	Rouina	Terre	2003	127	127	38	Mixte
55	Sekkak	Tlemcen	Sekkak	Terre	2004	27	27	25	Mixte
56	Tilesdit	Bouira	Eddous	Terre	2004	167	167	73	Mixte
57	Koudiat Rosfa	Tissemsilt	Oued Fodda	Terre	2004	75	75	21	A.E.P
58	Kramis	Mostaganem	Oued kramis	Terre	/	45.38	45.38	25.37	Mixte
59	Transfert Nador	Tébessa	/	Béton	/	/	/	/	Transf.
Total						6522	5695	2796	

Source [A.N.B.T]

Chapitre II : Formation géographique. Réseau hydrographique et ressources en eau des cours d'eau du Nord de l'Algérie

Tableau II-3 : Barrage en exploitation catégorie II Gérés par DHW

N=°	C.W	Barrage	Wilaya	Oued	Capac. Tot Hm ³	Vol/Rég Hm ³ /An	Mise en service	Utilisation
1	13	O.Guettara	Tlemcen	Guettara	0.500	0.500	1988	Irrigation
2	13	Magoura	Tlemcen	Magoura	1.400	1.400	1989	Irrigation
3	13	Atchane	Tlemcen	O.Atchane	0.916	0.916	1992	Irrigation
4	13	Aich	Tlemcen	O.Aich	1.030	1.030	1992	Irrigation
5	13	Tiloua	Tlemcen	Tiloua	0.780	0.780	1993	Irrigation
6	29	Sig	Mascara	Mekerra	3.500	3.500	1858	Irrigation
7	29	Tlelat	Mascara	Tleat	0.700	0.700	1945	Irrigation
8	29	Brame	Mascara	Brame	2.400	2.400	1986	Irrigation
9	29	Sedjara	Mascara	O.Sedjara	0.600	0.600	1987	Irrigation
10	29	Sidi Amr	Mascara	O.S.Amar	1.000	1.000	1987	Irrigation
11	29	Khaloua	Mascara	O.Khaloua	1.000	1.000	1988	Irrigation
12	29	Gharrous	Mascara	O.Gharrous	1.000	1.000	1988	Irrigation
13	29	Magrout	Mascara	O.Magrout	1.000	1.000	1991	Irrigation
14	29	Ardja	Mascara	O.Ardja	1.000	1.000	1991	Irrigation
15	46	S.Haddado	A. Témouchent	O.Haddado	0.252	0.252	1993	Irrigation
16	02	Oum Drou	Cheliff	Cheliff	0.310	0.310	1875	Irrigation
17	02	Portes de fer	Cheliff	Cheliff	0.300	0.300	1940	Irrigation
18	02	Boukadir	Cheliff	Cheliff	0.350	0.350	1960	Irrigation
19	48	Djidioua	Relizane	Djidioua	0.700	0.700	1900	Irrigation
20	48	Mina	Relizane	Mina	0.300	0.300	1940	Irrigation

Source [A.N.B.T]

Chapitre II : Formation géographique. Réseau hydrographique et ressources en eau des cours d'eau du Nord de l'Algérie

Tableau II-3 : Barrage en exploitation catégorie II Gérés par DHW (suit)

N=°	C.W	Barrage	Wilaya	Oued	Capac. Tot Hm ³	Vol/Rég Hm ³ /An	Mise en service	Utilisation
21	44	Boukali	Ain Defla	O.Boukali	1.000	1.000	1990	Irrigation
22	09	Saf Saf	Blida	Saf Saf	0.250	0.250	1990	Irrigation
23	09	Sidi Hamed	Blida	S.Hamed	1.350	1.350	1992	Irrigation
24	10	O.Tnine	Bouira	O.Tnine	0.830	0.830	1991	Irrigation
25	10	O.Khris	Bouira	O.Khris	0.330	0.330	1987	Irrigation
26	15	Djebila	Tizi Ouzou	Bouguem	3.000	3.000	1969	Irrigation
27	15	Ouaguenoun	Tizi Ouzou	Ouaguenou	3.000	3.000	1969	Irrigation
28	15	D.El Mizan	Tizi Ouzou	Kasri	1.520	1.520	1974	Irrigation
29	15	Ain Zaouia	Tizi Ouzou	Noussa	1.400	1.400	1985	Irrigation
30	15	Tizi Ghenif	Tizi Ouzou	Bou Ameer	0.625	0.625	1986	Irrigation
31	26	Ben Loulou	Médéa	O.B.Loulou	0.307	0.307	1984	Irrigation
32	26	Ch.Defla	Médéa	Ch.Defla	0.210	0.210	1984	Irrigation
33	26	Ch.Dradine	Médéa	Ch.Dradine	0.170	0.170	1986	Irrigation
34	26	Touila	Médéa	Touila	2.300	2.300	1988	Irrigation
35	26	O.Halleune	Médéa	O.Halleune	1.700	1.700	1990	Irrigation
36	26	O.Messai	Médéa	O.Messai	0.630	0.630	1990	Irrigation
37	26	Boulardjem	Médéa	O.Boulardj	0.554	0.554	1992	Irrigation
38	34	Tixter	B.B.A	Tixter	2.000	2.000	1988	Irrigation
39	34	Lechbour	B.B.A	Lechbour	0.720	0.720	1990	Irrigation
40	35	Arbaa	Boumerdès	Arbaa	2.985	2.985	1969	Irrigation

Source [A.N.B.T]

Chapitre II : Formation géographique. Réseau hydrographique et ressources en eau des cours d'eau du Nord de l'Algérie

Tableau II-3 : Barrage en exploitation catégorie II Gérés par DHW (suit)

N=°	C.W	Barrage	Wilaya	Oued	Capac. Tot Hm ³	Vol/Rég Hm ³ /An	Mise en service	Utilisation
41	35	Chender	Boumerdès	Chender	1.780	1.780	1978	Irrigation
42	35	Ammara	Boumerdès	Ammara	2.027	2.027	1982	Irrigation
43	35	Cap Djenet	Boumerdès	Djenet	2.021	2.021	1982	Irrigation
44	35	O.Chettah	Boumerdès	Chettah	0.780	0.780	1987	Irrigation
45	42	Zéralda Av	Khenchla	O.Zéralda	0.500	0.500	1988	Irrigation
46	42	Zéralda Am	Khenchla	O.Zéralda	1.000	1.000	1988	Irrigation
47	04	Bir Hadi	O.E.Bouaghi	Kh.Hamidou	0.980	0.980	1992	Irrigation
48	12	O.El Zerga	Tébessa	O.El Zerga	2.020	2.020	1992	Irrigation
49	18	Erragu Av	Jijel	Djendjen	0.340	0.340	1962	Irrigation
50	18	Kella	Jijel	O.Kella	0.380	0.380	1992	Irrigation
51	19	Ch.El Akra	Sétif	Agrioun	0.300	0.300	1945	Irrigation
52	19	Ain Abessa	Sétif	Boukahoul	0.875	0.875	1987	Irrigation
53	19	Sommar	Sétif	Sommar	1.200	1.200	1978	Irrigation
54	24	B.Hjar Gafta	Guelma	O.Gafta	0.440	0.440	1992	Irrigation
55	25	DO 2	Constantine	El Aria	1.982	1.982	1974	Irrigation
56	25	Ch.Ouldja	Constantine	Chab.Ouldj	0.400	0.400	1989	Irrigation
57	25	Berla	Constantine	O.Berla	1.200	1.200	1990	Irrigation
58	25	Touizda	Constantine	O.Touizda	1.100	1.100	1990	Irrigation
59	41	Tiffeche	S. Ahras	Tiffeche	3.900	3.900	1994	Irrigation
60	28	Seddaoua	M'sila	/	0.203	0.203	1998	Irrigation
61	38	M'Ghila	Tissemsilt	/	3.800	2.800	1998	Irrigation
62	41	Sidi Fredj	S. Ahras	/	2.000	1.500	1998	Irrigation
Total					73.00	72.00		

Source [A.N.B.T]

Conclusion :

Ce chapitre décrit la géologie des bassins versants pour la région d'études dans leur contexte général. L'ensemble de la région est situé autour de la Méditerranée, qui est classée selon les formations géologiques leurs intérêts hydrogéologiques.

Concernant le relief, ce dernier est très contrasté et diversifié d'une région à l'autre. On note la présence de nombreux massifs montagneux tels que les Alpes tel que Djurjura.

Le réseau hydrographique des cours d'eau de la région d'étude (l'Algérie du Nord) est très dense dans la partie nord et beaucoup moins important (lâché) dans la partie sud.

La disparité de l'écoulement des cours d'eau s'inscrit dans les contrastes Nord-Sud caractérisant le contexte physico climatique varié au Nord de l'Algérie. L'opposition entre deux grands types d'organismes hydrographiques est fondamentale dans la compréhension de l'hydrologie régionale : au Nord, des cours d'eau exoréiques, débouchant sur la mer Méditerranée, à travers le bourrelet du Tell et les plaines côtières, et au Sud, un réseau d'oueds endoréiques, relié aux dépressions lacustres des Hautes Plaines et du Piémont saharien.

Les abondants écoulements des cours d'eau exoréiques, les affluents des zones montagneuses telliennes, aux formations géologiques peu perméables, sont à l'origine d'un accroissement rapide des écoulements.

1. Le réseau hydrométrique, son évolution et son exploitation :

1-1. Les stations anciennes :

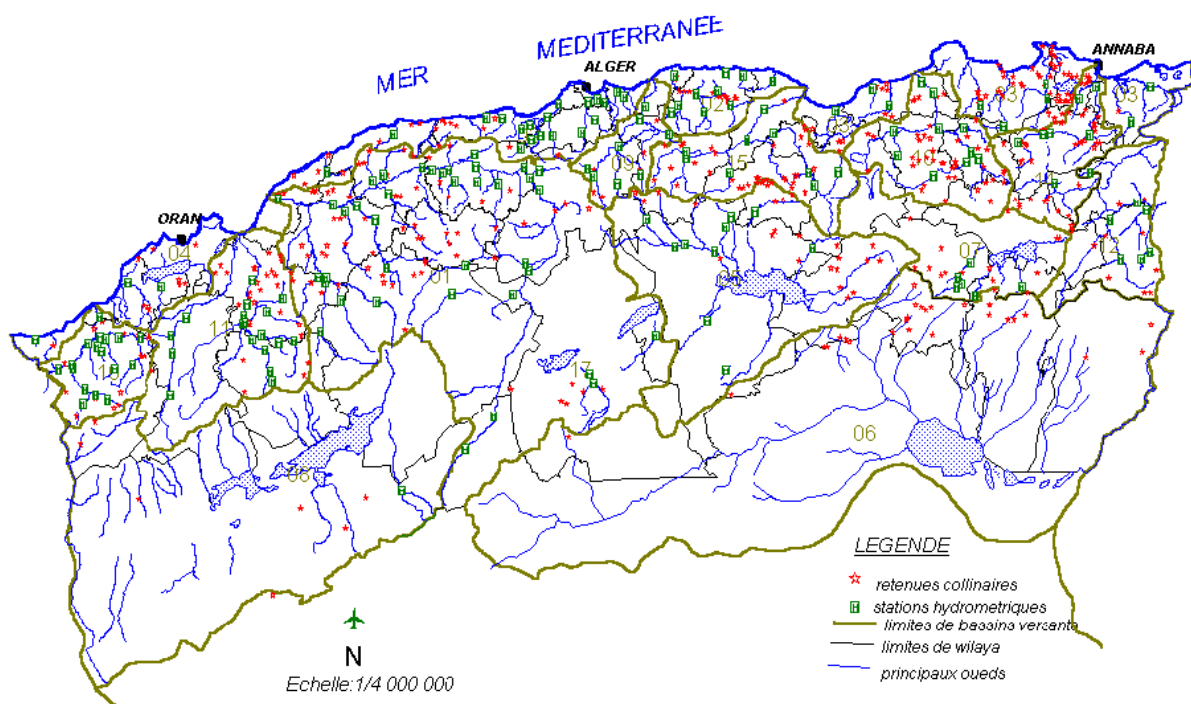
Pendant la période de colonisation, les premières stations de jaugeage, en nombre très limité, furent mises en service, aux environs de 1924. Le réseau avait été peu à peu renforcé pendant la période allant de 1946 à 1961, sous l'égide du Service des Etudes Scientifiques (S.E.S.). Les sites choisis pour l'implantation des stations ont en général un lien avec la localisation de barrages hydrauliques, alors existants ou en projet. Les séries de mesure sont assez courtes et souvent non concordantes (Mebarki A., 2005).

1-2. Les stations récentes (postérieures à 1962) :

1-2.1. Etat du réseau hydrométrique :

Après le vide qui a caractérisé la période post-indépendance, un début d'activation du réseau hydrométrique (installation de nouvelles stations et réhabilitation d'anciennes stations qui étaient à l'arrêt) a été entamé en 1968, sous l'égide de la D.E.M.R.H., dénommée aujourd'hui A.N.R.H. (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques).

C'est à partir de 1972 que le réseau se voit réellement étoffé ; en 1990 on signale l'existence d'environ 200 stations hydrométriques à l'échelle du territoire national (Aissani B., 1990). Dans le nord de l'Algérie, sur les 142 stations installées (reportées sur la carte), il en reste aujourd'hui 2/3 seulement en fonction (Carte III-1).



Carte III-1 : Situation des sites retenus collinaires potentiels et des principales stations hydrométriques [TALBI 2008]

Outre la construction de barrages à l'emplacement même ou à proximité des stations hydrométriques (Guenitra, Cheddia, Zit Emba, Grarem...), les problèmes liés aux sites de mesure (problèmes d'accès, forte instabilité du lit de l'oued, dommages répétés subis par la station), à la gestion des stations (désintérêt des observateurs, moyens de contrôle insuffisants) et à l'insécurité sont les causes essentielles de mise à l'arrêt d'un tiers du réseau.

C'est à dire l'importance des lacunes géographiques de ce réseau, en particulier dans les zones éloignées des voies d'accès, situation qui s'est empirée avec les problèmes sécuritaires qu'à connus le pays tout au long des années 1990.

Les observations provenant des stations de jaugeage constituent la principale source d'information de l'Annuaire hydrologique, relancé sous l'Algérie indépendante, avec la reproduction des débits journaliers de l'année 1968-69. L'édition de l'Annuaire accuse, toutefois, irrégularités et retards. Ce ne sont pas toutes les stations en fonction qui figurent sur l'Annuaire, une

Chapitre III : Réseau et données hydrométriques des bassins versants du Nord de l'Algérie

sélection étant faite sur la base des données fiables, de représentativité géographique et de critères propres à l'A.N.R.H. liés à la classification du réseau.

La classification du réseau hydrométrique, adoptée au départ par l'organisme gestionnaire, consistait à faire la distinction entre les stations primaires, secondaires et tertiaires. Elle fût remplacée, à partir de 1992, par une nouvelle classification, en trois catégories, basée cette fois-ci sur des critères d'objectif : réseau de base, réseau de projet et réseau de gestion (Ouaar M., 1992) :

A. **Le réseau de base** a pour objectif l'étude des caractéristiques hydrologiques des grandes zones géographiques et climatiques, l'établissement de l'inventaire des ressources en eau à l'échelle nationale, la réponse à des objectifs précis de planification et d'aménagement du territoire, enfin la prise en compte de ces stations comme stations de référence pour l'extension de séries courtes de données hydrologiques relevées au niveau d'autres sites de mesures.

Le réseau de base comporte 2 types de stations : les stations de référence et les stations complémentaires. Les stations de référence sont celles destinées à longue échéance à l'étude du régime hydrologique et de l'influence des actions anthropiques sur celui-ci.

Ce sont les stations se trouvant à l'exutoire d'un grand bassin versant ou d'une région drainée par un oued important ainsi que les stations mesurant les paramètres hydrologiques des zones homogènes (physiographiques et climatiques). Elles ne peuvent être supprimées que dans des cas exceptionnels (déviation d'oued, construction d'ouvrage, etc.). Les stations complémentaires se situent quant à elles dans un sous-bassin à l'amont d'une station de référence et servent de support à cette dernière. Elles doivent permettre de calculer les caractéristiques spécifiques du régime en liaison avec celles déterminées par les stations de référence.

B. **Le réseau de projet** sert à établir les études hydrologiques des bassins comportant des sites susceptibles d'être aménagés. Dans cette même catégorie sont incluses les stations des bassins représentatifs et expérimentaux poursuivant des objectifs purement scientifiques (étude approfondie d'un ou plusieurs phénomènes influant sur la formation des écoulements, liquides ou solides). La suppression de ces stations est effectuée, une fois le cycle d'observations nécessaires terminé et le but assigné atteint.

C. ***Le réseau de gestion*** comprend les stations situées en amont ou en aval de différents aménagements (barrages, canaux de dérivation, etc.) et a pour objectif le contrôle et la gestion des ressources en eau au niveau des ouvrages hydrauliques. La période de fonctionnement d'une station est liée à la période d'exploitation de l'ouvrage hydraulique auquel elle est assignée.

Par ailleurs, à travers l'information extraite des fiches d'exploitation des barrages-réservoirs, il y a possibilité d'acquérir des données sur les apports mensuels et annuels aux barrages. Les apports moyens journaliers ne sont pas toujours significatifs, eu égard au manque de précision de la méthode d'estimation des apports, établie sur la base du bilan du

2. L'information hydrométrique disponible :

L'analyse des archives de l'ANRH montre que les stations de jaugeage exploitées sur la zone d'étude sont très nombreuses. Nous avons retrouvé les données d'observations sur 142 stations.

2-1. Les périodes d'observation :

Malheureusement les périodes et durées d'observation sont très disparates. Comme le montre la figure III-1, avant les années 70, les observations étaient peu nombreuses (moins de 20 sites). Les années 70 sont les plus largement observées par la mise en place d'un véritable réseau. Au cours des années 80, le réseau a été réduit pour se stabiliser à environ 138 stations. La dernière partie de la courbe n'est pas significative car toutes les données n'avaient pas encore été archivées.

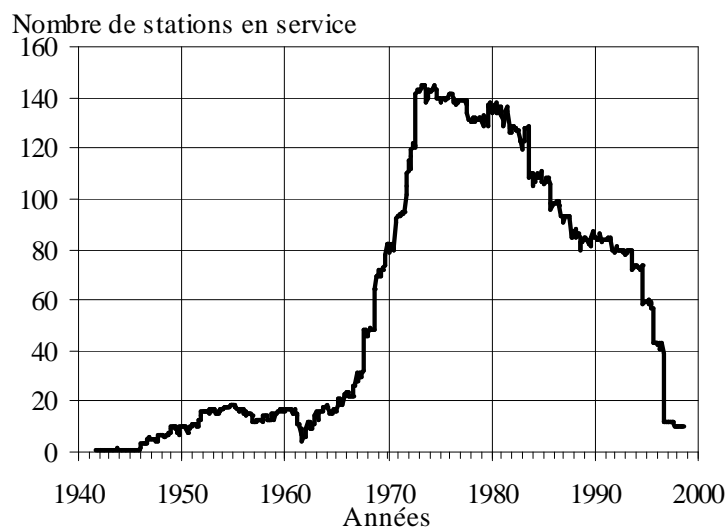
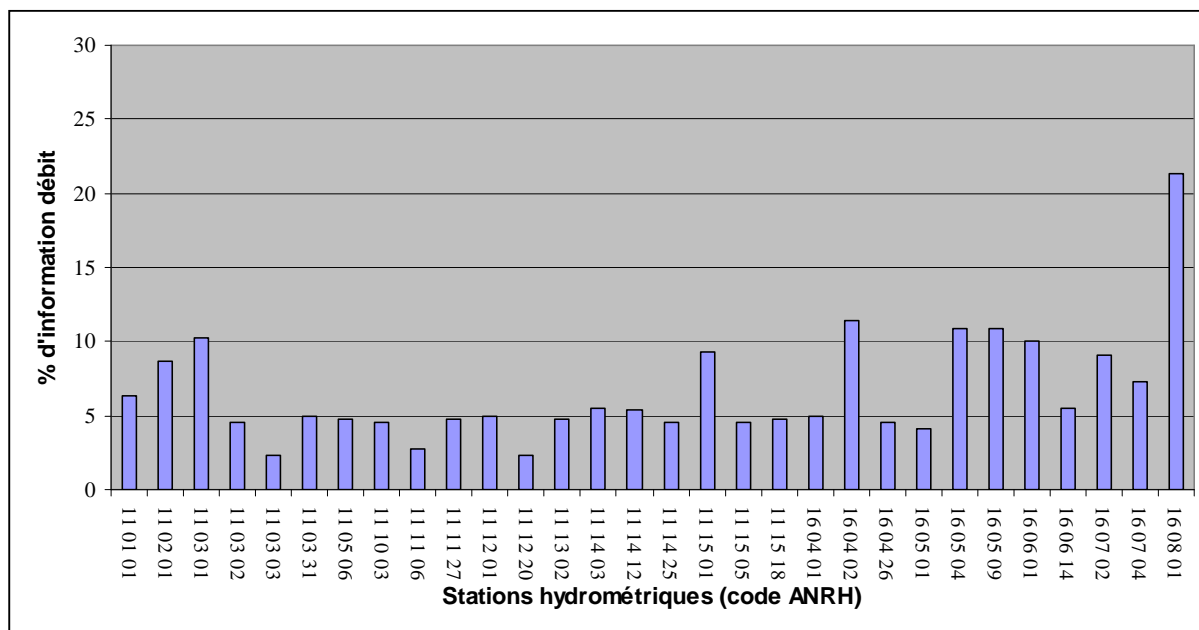
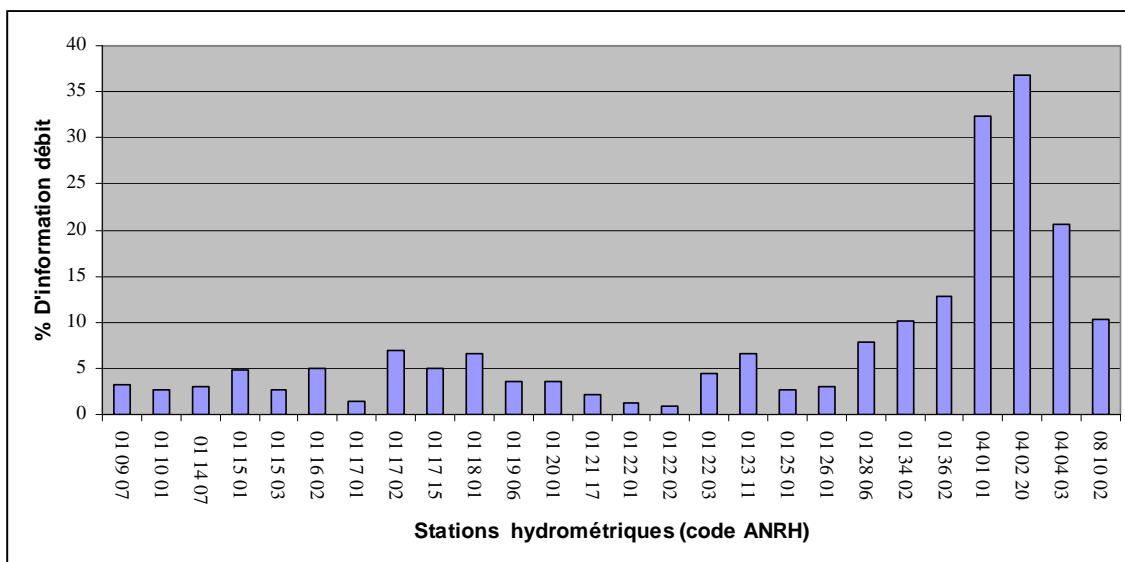


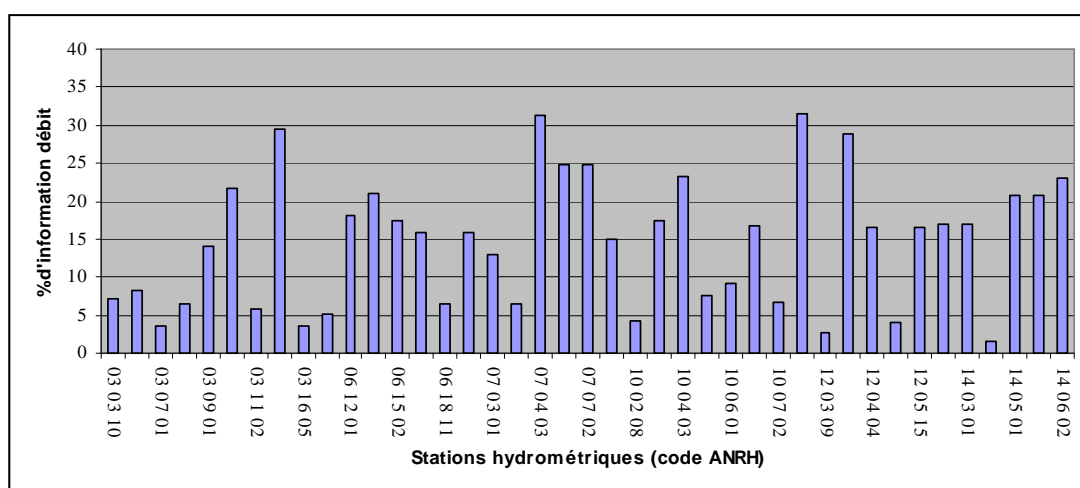
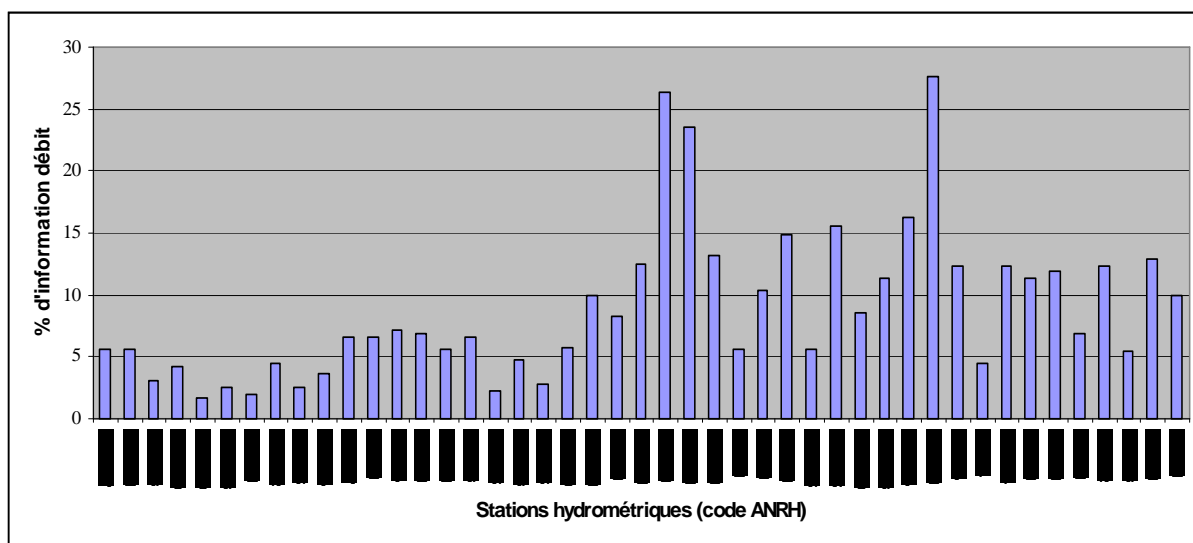
Figure III-1: Stations de jaugeage en service par année

L'analyse de cette figure montre donc que l'on devrait disposer d'environ 138 stations avec de l'ordre de 25 ans d'observation. Cependant ce ne sont pas forcément les mêmes stations qui ont fonctionné, et il est probable que certaines séries ne sont pas fiables. Ceci n'est en rien une critique car la gestion d'une station de jaugeage est quelque chose de complexe, coûteux en temps et en argent. C'est encore plus vrai pour des régimes méditerranéens ou subdésertiques où l'impact des crues sur les volumes écoulés est beaucoup plus important qu'ailleurs. On ne peut donc se contenter de cette première analyse et il est nécessaire de s'assurer que l'on dispose bien d'une base suffisamment fiable d'observations de débits.

Chapitre III : Réseau et données hydrométriques des bassins versants du Nord de l'Algérie

En somme, le taux d'information disponible varie d'une station à l'autre et d'une période à l'autre, figure III-2

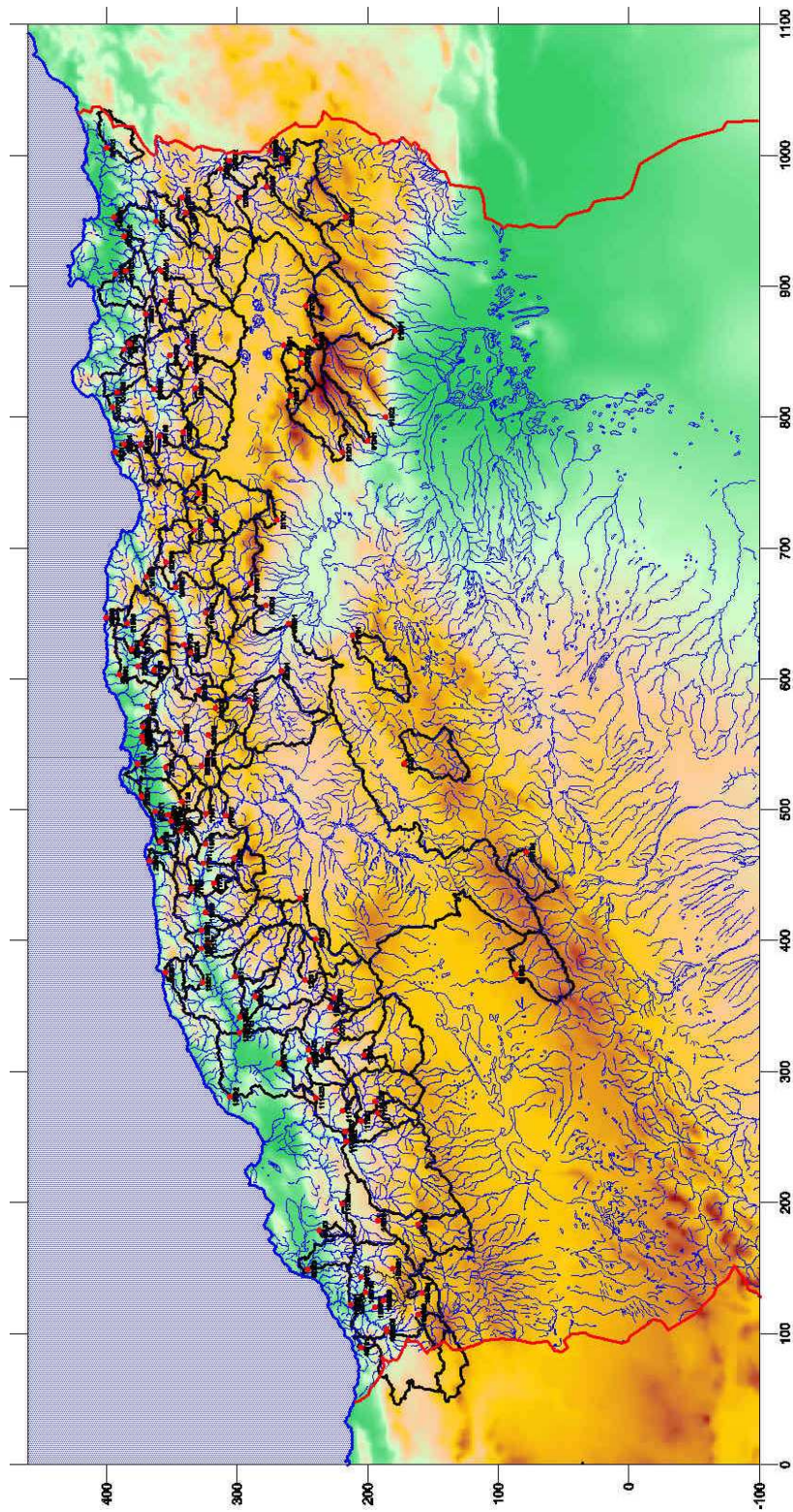




FigureIII-2 : Pourcentage d'information hydrométrique disponible aux stations

Comme le montre la Carte III-2, nous avons digitalisé les contours des bassins versants au droit des stations de jaugeages.

C'est un travail énorme qui a été ainsi effectué : pour 142 stations, nous avons digitalisé les contours des bassins versant d'après les cartes topographiques au 1/200 000. Carte III-3



Carte III-2 : Contours des bassins versants au droit des stations de jaugeage (ANRH)

3. Stations hydrométriques des bassins versant collectées :

Au vu de l'état des données disponibles, il s'agissait de faire un choix difficile entre des séries relativement longues mais émanant d'un nombre réduit des stations, et des séries plus courtes mais permettant d'intégrer à l'étude le plus grand nombre de stations.

Ces séries sont largement utilisées dans l'étude spatiale et comparative des phénomènes hydrologiques (apports et débits spécifiques, cartographie des flux d'apports, débits mensuels d'étiage...). Elles semblent être suffisamment représentative de l'hydraulicité moyenne, caractérisant les bassins du nord de l'Algérie.

Le tableau III-1 reproduit les caractéristiques morphométriques des bassins aux stations hydrométriques.

Tableau III-1 : Caractéristiques morphométriques des bassins jaugés

(Paramètres calculés à partir des cartes topographiques au 1/50 000, d'après A.N.R.H., Alger)

	CODE	NOM STATION	OUED	S km ²	P (km)	IC	L (km)	H moy (m)	Ip	Dd (km /km ²)	Ct
BV 01 (CHELIFF)	010907	SEBAIN	NAHR OUASSEL	515	105	1.29	47	1239	0.09	2.11	7.54
	011001	COLONEL BOUGARA	NAHR OUASSEL	1000	200	1.77	79	-	-	-	-
	011407	GHRIB AMONT	CHELIFF	1 898	-	-	-	-	-	-	-
	011501	TAMESGUIDA	HARBIL	157	50.5	1.13	26	842	3.2	3.2	32
	011503	DJENDEL	CHELIF	22580	785	1.46	418			-	-
	011602	SIDI MAKREFI	DEURDEUR	500	89.5	1.12	45	1024	2.7	2.7	17.8
	011701	EL KHEMIS	CHELIFF	2380	963	1.74	440	-	-	-	-
	011702	ARIBS CHELIFF	CHELIFF	24520	1025	1.83	476	-	-	-	-
	011715	EL ABABSA	KHERAZZA	102	40.5	1.12	17	479	3.2	3.2	18.6
	011801	ARIBS EBDA	EBDA	270	70	1.19	37	736	5.4	5.4	128
	011906	ROUINA MINES	ROUINA	865	123	0.17	53	478	3.6	3.6	25.2
	012001	EL ABADIA	CHELIFF	26410	1069	-	525	-	-	-	-
	012117	FODDA RN4	FODDA	1140	160	-	92	-	3.8	3.8	43.3
	012201	LARBAT OULED FARES	OUAHRANE	262	66	0.15	41	363	4.1	4.1	42
	012202	PONTEBA Bge	CHELIFF	27820	1137	-	549	-	-	-	-
	012203	PONTEBA D.fl.	CHELIFF	27820	1137	-	549	-	-	-	-
	012311	OUED BEN AEK CD73	SLY	1225	145	0.15	79	717	4.36	4.36	63.2
	012501	OUED LILI	TIGUIGUEST	420	94	0.12	47	807	3.7	3.7	24.65
012601	AMMI MOUSSA	RIOU TLETA	1890	190	-	135	665	4.3	4.3	45.6	
012806	DJIDIOUIA	CHELIFF	34550	1317	-	634	-	-	-	-	

Chapitre III : Réseau et données hydrométriques des bassins versants du Nord de l'Algérie

	013402	OUED EL ABTAL	MINA	5400	295	-	141	872	-	-	-
--	--------	---------------	------	------	-----	---	-----	-----	---	---	---

Tableau III-1 : Caractéristiques morphométriques des bassins jaugés (suit)

	CODE	NOM STATION	OUED	S km ²	P (km)	IC	L (km)	H moy (m)	Ip	Dd (km /km ²)	Ct
BV 02 (COTIER ALGEROIS)	013602	SIDI BEL ATTAR	CHELIFF	43700	1383	-	759	-	-	-	-
	020207	SIDI AKACHA	ALLALAH	295	78	1.27	35	317	0.16	4.7	45
	020301	BORDJ GHOBRINI	EL HACHEM	215	65	1.2	34	387	0.22	3.1	27.3
	020318	P.T CN 7	BOURKIKA	72	35	1.24	36	243	0.22	2.03	11.2
	020609	KEDDARA II	BOUDOUAOU	93	37	1.07	22	466	0.3	3.9	46.11
	020629	PONT D 9	HAMIZ	160	58	1.24	35	480	0.21	3.7	35.15
	020808	AZZEFOUN RN 24	N'LETA	35,8	27	1.27	13	-	-	5.5	67
	021001	SIDI BRAHIM BERKISSA	BOUROUMI	150	50	1.14	28	240	0.21	2.7	17.1
	021002	TARZOULT	BOUROUMI	215	60	1.15	42	508	0.21	3.4	23
	021005	PONT BOUROUMI	BOUROUMI	238	68	1.23	48	-	-	3.2	20.16
	021006	BOUMEDFAA	DJER	336	76	1.16	30	543	0.19	2.5	17
	021007	EL AFFROUN	DJER	395	90	1.27	50	513	0.18	2.5	16
	021011	ATTATBA	DJER	680	125	1.35	72	469	0.14	2.6	15.6
	021126	AMONT GORGES	CHIFFA	314	73	1.17	35	833	0.2	3.3	30
	021201	FER A CHEVAL	MAZAFRAN	1900	185	1.19	96	446	-	-	-
	021301	ROCHER PIGEONE	EL HARRACH	387	75	1.06	35	830	0.24	5.2	69.2
	021418	BARAKI	EL HARRACH	970	143	1.28	59	-	-	3	22
	021605	FREHA	DIS	100	42	1.18	38	476	0.26	3.4	25
	021803	BELLOUA	SEBAOU	1490	155	1.12	66	635	-	-	-
	021905	AIN ZAOUIA	EL HAMMAM	71	35	1.16	15	464	0.27	3.9	11
021909	RN 25	TALA IMADRAN	300	73	1.18	36	625	0.24	1.93	7	
022001	BAGHIA	SEBAOU MARIT	2390	200	1.14	92	590	-	-	-	
BV 03 (COTIER CONSTANTINOIS)	030310	EL M'KACEB	EL KANTARA	21,6	18	1.19	8	167	0.27	5.8	113
	030334	CHDIA	EL AGREM	41	46	1.12	20	437	0.31	5.1	71
	030701	GUENITRA	FESSA	202	59	1.16	22	466	0.22	5.5	86
	030702	SIDI MESRICH	GUEBLI	100	41	1.15	20	379	0.29	3.4	34
	030901	KHEMAKHEM	SAF SAF	322	81	1.26	24	628	0.18	3.4	22.1
	031101	AIN CHARCHAR	EL KEBIR	1130	137	1.14	58	278	0.14	2.6	12.2
	031102	ZIT EMBA	HAMMAM	485	94	1.2	35	156	0.17	2.8	15.7
	031601	AIN EL ASSEL	KEBIR EST	680	115	1.23	50	298	0.15	3	16.3
	031605	GUE ZITOUN	ZITOUN	160	55	1.22	20	351	0.2	3.72	29.2
BV 04 (COTIER ORANAIS)	040101	GHAZAOUET EL BOR	TLATA	100	40.5	1.13	19	364	0.25	3.23	12.11
	040220	TURGOT NORD	MELLAH	712.1	-	-			-	-	-
	040403	CW18	BESBES	108	53	1.43	30	471	0.18	2.8	19.6

Tableau III-1 : Caractéristiques morphométriques des bassins jaugés (suit)

	CODE	NOM STATION	OUED	S km ²	P (km)	IC	L (km)	H moy (m)	Ip	Dd (km /km ²)	Ct
BV 05 (CHOTT HODNA)	050101	AIN NESSISSA	EL HAM	460	80	1.04	35	929	0.18	3.1	31.1
	050301	AIN EL HADJEL	EL HAM	2670	205	1.11	82	967	0.12	-	-
	050501	ROCADE SUD	EL HAM	5600	300	1.12	131	760	-	-	-
	050801	CED FAGUES	LOUGMANE	334	75	1.15	35	961	0.2	5.88	37
	050901	MEDJEZ	KSOB	1330	165	1.27	73	637	-	4	27
	051101	SIDI OUADAH	SOUBELLA	176	63	1.33	33	1153	0.18	2.3	6
	051701	MOULIN FERRERO	BOUSAADA	1020	160	1.4	69	-	-	-	-
B V06 (CHOTT MELRH)	060104	SEKLAF	MZI	766	117	1.18	43	-	-	1.8	2.88
	061201	EL KANTARA	EL HAI	1170	150	-	66	1209	-	-	-
	061301	DJEMORAH	DJEMORAH	595	135	1.55	80	-	-	3	24
	061502	M'CHOUNCHE	EL ABIOD	1050	160	1.38	85	1410	-	4.7	40
	061801	KHNGA S. NADJI	EL ARAB	2085	200	1.23	112	1105	0.15	4.8	36.4
	061811	KTEFESSOUDA	MELLEGU	2 098	-	-	-	-	-	-	-
	062308	AIN BABOUCHE	CHERIA	785	-	-	-	1200	-	-	-
BV 07(HAUTES PLATEAUX CONSTANTI NOIS)	070301	FESDIS	EL MAHDER	305	80	1.28	23	1230	0.17	2.6	9
	070401	TIMGAD GUE	SOULTES	194	60	1.21	28	1280	0.19	2.4	12
	070403	REBOA	REBOA	296	80	1.3	40	1410	0.19	2.2	7.26
	070501	CHEMORAH	CHEMORAH	765	115	1.16	65	1287	-	-	-
	070702	FOUM EL GUEISS	GUEISS	144	48	1.12	19	1305	0.28	2.7	12.15
BV 09 (ISSER)	090101	MEZAHIM	MALAH OUEST	665	110	1.19	45	342	-	3.03	19.39
	090104	SOUAGUI		-	-	-	-	-	-	-	-
	090203	TABLAT DRS		-	-	-	-	450	-	-	-
	090205	EL OMARIA	LADRAT	39	23	1.25	11	900	0.21	2.3	6.21
	090302	BENI SLIMANE		-	-	-	-	-	-	-	-
	090305	BENI SLIMANE	MALAH CENTRE	273	71	1.2	26	940	0.13	2.4	18
	090309	DECHMIA	ZEROUA	73	41	1.1	11.5	1144	0.32	3.8	33.3
	090323	SOUAGUI		-	-	-	-	-	-	-	-
	090408	LA TRAILLE	ISSER	2570	210	1.16	109	843	0.12	3.2	2.4
	090416	AOMAR PONT CW 125	DJEMAA	145	58	1.34	30	590	0.18	4.1	37.3
090501	LAKHDARIA	ISSER	3615	270	1.26	200	750	0.11	3.6	29.5	
BV 10 (KEBIR RHUMEL)	100109	DOUAR TASSADANE	EL KEBIR	930	125	1.15	58	955	-	4.6	64
	100208	KOUDIAT TENNDART	BOU SELLAH	170	52.5	1.13	18	945	0.22	5.5	74
	100301	OUED ATHMANIA	RHUMEL	1130	140	1.17	59	900	-	2.2	8.4
	100403	AIN SMARA	RHUMEL	2340	198	1.18	87	861	-	3.1	14
	100501	EL KHROUBS	BOU MERZOUG	1630	150	1.04	45	-	-	-	-
	100601	GRAREM	RHUMEL	5320	305	1.17	150	806	-	2.84	12.38

Chapitre III : Réseau et données hydrométriques des bassins versants du Nord de l'Algérie

	100701	EL AN CER	RHUMEL	8735	375	1.12	208	767	-	-	-
	100702	EL MILIA	BOU SIEBA	465	95	1.23	42	386	0.17	-	-

Tableau III-1 : Caractéristiques morphométriques des bassins jaugés (suit)

	CODE	NOM STATION	OUED	S km ²	P (km)	IC	L (km)	H moy (m)	Ip	Dd (km /km ²)	Ct
BV 11 (MACTA)	110101	EL HACAIBA	MEKERRA	955	127	1.15	54	1160	-	3.6	19.4
	110201	SIDI ALI BEN YOUB	MEKERRA	1890	200	1.29	92	1093	0.1	-	-
	110301	SIDI BEL ABBES	MEKERRA	3000	280	1.43	134		-	-	-
	110302	MEKERRA SARNO AMONT	SARNO	933	-	-	-	-	-	-	-
	110303	MEKERRA SARNO AVAL	SARNO	1 744	-	-	-	-	-	-	-
	110331	LAMTAR	TISSAF	300		-			-	-	-
	110506	TENIRA	MELRIR	746	111	1.13	45	-	-	4.8	61.2
	111003	LAABANA	HOUNET	257	-	-	-	-	-	-	-
	111106	KM 50 SAIDA	SAIDA	400	88	1.23	38	887	0.14	2.7	13.2
	111127	SAIDA PONT 2	SAIDA	98	40	1.13	17	1035	0.17	3.2	12.2
	111201	OUED TARIA	TARIA	1360	165	1.25	94	962	-	2.4	15
	111220	DOMAINE BOUCHEKHI	HASNA	77	36	1.15	-	878	0.2	2.53	12
	111302	OUZERT AVAL	SAHAOUAT	2210	200	1.19	118	845	-	-	-
	111403	AIN FEKANE	FEKANE	1160	138	1.13	61	671	-	-	-
	111412	GHRISS	FROHA	132	56	1.36	-	835	0.17		
	111425	KHELOUIA	MAOUSSA	79.2		-	-		-	-	-
111501	TROIS RIVIERES	EL HAMMAM	7440	385	1.25	150	820	-	-	-	
111505	BOU HANIFIA DEFL	CANAL USINE	7685	-	-	-	-	-	-	-	
111518	HACINE	EL HAMMAM	7950	405	1.25	-	-	-	-	-	
BV 12 MEDJERDAJ	120101	SOUK AHRAS	MEDJERDA	217	68	1.29	42	890	0.15	3.3	22.1
	120309	MORSOTT	CHABRO	1300	155	1.2	68	-	-	-	-
	120401	OUEZNA	MELLEQUE	4575	305	1.26	163	-	-	-	-
	120404	EL AOUNET	MELLEQUE	3540	270	1.27	106	990	-	-	-
	120509	AIN ZERGA	ZERGA	49	30	1.2	-	1015	0.19	-	-
	120515	AIN ERKEL	ERKEL	16	17.5	1.22	-	1285	0.24	5	55
BV 14 (SEYBOUSE)	140202	MOULIN ROCHEFORT	CHERF	1710	190	1.28	43	885	0.08	-	-
	140301	MEDJZ .AMAR II	BOUHAMDANE	1105	140	1.18	90	785	0.13	-	-
	140302	BORDJ SABATH	SABATH	304	71	1.14		826	0.16	-	-
	140501	BOUCHEGOUF	MELAH	550	120	1.43	53	641	0.15	4	25.2
	140601	MIREBEC	SEYBOUSE	3055	330	1.2	239	-	-	-	-
	140602	AIN BERDA	RESSOUL	103	45	1.24	24	350	0.16	2.8	17.4
BV 15 (SOUHMAM)	150106	TILES DIT I	ED-DOUS	842	150	1.45	85	729	-	-	-
	150114	AIN TASTA	LAKEHAL	190	60	1.22	30	930	0.2	1.95	18
	150204	EL ESNAM	ZAIANE	800	120	1.12	54	848	-	3.9	34.3
	150401	PORTES DE FER	AZEROU	605	110	-	40	880	-	-	-
	150601	FERMATOU	BOU CELLAM	105	60	1.09	18	1205	-	2.94	18
	150701	AIN ZADA	BOU CELLAM	1800	175	1.15	65		-	3.03	12.4

Chapitre III : Réseau et données hydrométriques des bassins versants du Nord de l'Algérie

	150702	MAGRAOUA	BOU CELLAM	2350	200	1.16	90	1000	-	3.2	18
	150703	BOU BIREK	BOU SELLAM	2960	250	1.28	144		-	-	-

Tableau III-1 : Caractéristiques morphométriques des bassins jaugés (suit)

	CODE	NOM STATION	OUED	S km ²	P (km)	IC	L (km)	H moy (m)	Ip	Dd (km /km ²)	Ct
	150901	SIDI YAHIA	BOUCCELLAM	4050	300	-	172	960	-	-	-
	151001	SIDI AICH	SOUMMAM	8420	480	1.46	226	860	-	-	-
BV 16 (TAFNA)	160401	SEBDOU	SEBDOU	195	58	1.16	19	1132	0.17	3.3	19
	160402	BENI-BAHDEL AMONT	TAFNA	600	100	1.14	-	1097	0.15	2.2	12
	160426	VILLAGE TAFNA	TAFNA	1268		-	-	-	-	-	-
	160501	HAMMAM BOUGHRARA	TAFNA	4000	285	1.24	87	-	-	-	-
	160504	SIDI BELKEIR	MOUILLAH	2650	230	1.25	-	-	-	-	-
	160509	HENNAYA CD 45	BOUMESSAOUD	46	30	1.24	19	860	0.25	3	7
	160601	CHOULY RN7	CHOULY	170	60	1.29	30	1235	0.19	3	22
	160614	SIDI AISSA	ISSER	866		-	-		-	-	-
	160702	BEN SEKRANE	ISSER	1230	150	1.2	97	810	0.15	2.9	12.4
	160703	REMCHI	ISSER	1935	180	1.14	126	720	0.16	2.6	11.1
	160704	AIN YUCEF	SEKKAK	320	85	1.39	74	760	0.19	2.1	9.4
160801	PIERRE DU CHAT	TAFNA	6900	350	1.18	160	780	-	-	-	

Avec :

BV : Bassin versant ;

S : Surface du bassin versant en (Km²) ;

P : Périmètre du bassin versant en (Km) ;

IC : Pente cours d'eau ;

L : Longueur du bassin versant en (Km) ;

H : Altitudes moyens du bassin versant en (m);

Ip : Pente du bassin versant ;

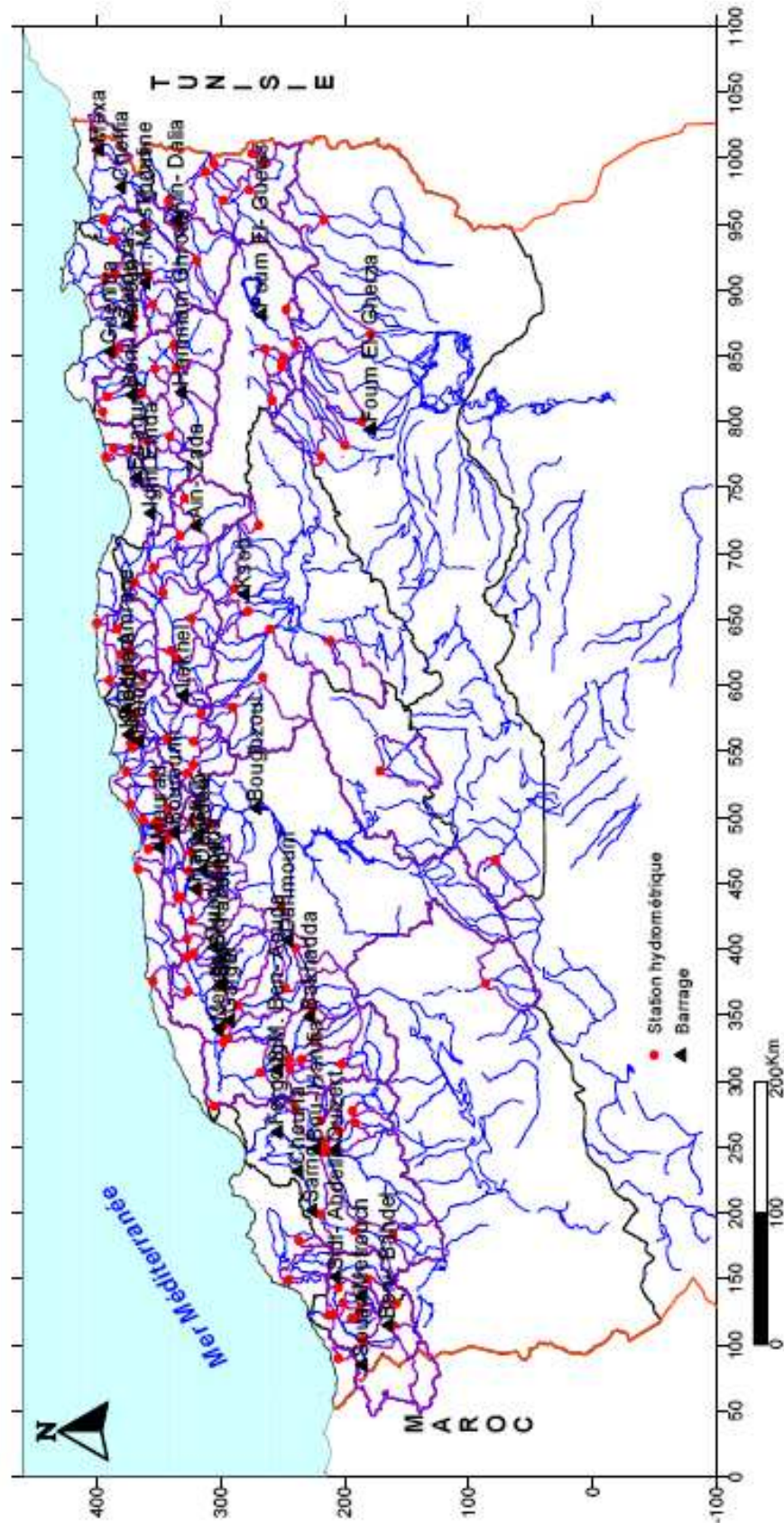
Dd : densité de drainage;

Ct : Coefficient de torrentialité.

Certains résultats peuvent être sensibles aux différents prélèvements d'eau dans les rivières. Les stations influencées en amont par les différents ouvrages hydrauliques (barrages et retenues) sont présentées dans le tableau III-2, Carte III-4.

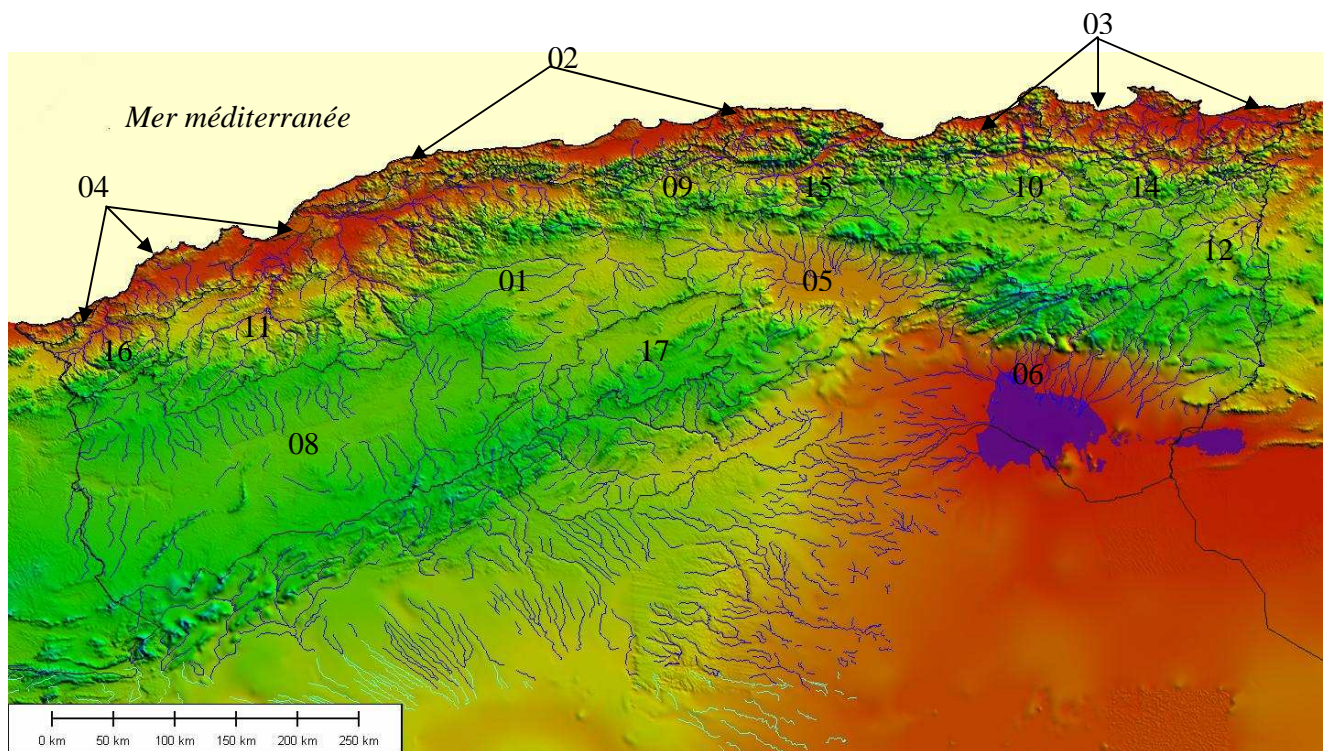
Tableau III-2 : Stations hydrométriques influencées par les barrages

BV	Code_Station	Station	Nom_station	Barrages influençant la station
01	011503	Djendel SP	Cheliff	Ghrib
01	011701	Arib Cheliff	Cheliff	Ghrib
01	011702	Arib Cheliff	Cheliff	Ghrib
01	012311	Ouled Ben A.E.K	Sly	Sidi Yacoub
01	012603	Rhiou RN4	Rhiou	Gargar
01	012806	Djidiouia Chelif	Cheliff	Merja Sidi Abed
01	013510	Oued Mina	Mina	Sidi M. Ben Aouda
02	020318	Hadjout	Bourkika	Meurad
02	020620	Pont D9	Hamiz	Hamiz
02	021005	Bouroumi	Bouroumi	Bouroumi
03	031601	Ain el Assel	Kebir Est	Mexa
11	111101	Saïda Parshall	Saïda	Ouizert
11	111302	Ouizert aval	Sahaouet	Ouizert
11	111403	Ain Fehane	Fekanc	Ouizert
16	160702	Ben Sekrane	Isser	Sidi Abdelli
16	160703	Remchi	Isser	Beni Bahdel, Souani, Meffrouch et Sidi Abdelli
16	160704	Ain Youcef	Sikkak	Meffrouch
16	160801	Pierre du Chat	Tafna	Beni Bahdel, Souani, Meffrouch et Sidi Abdelli



Carte III-4: Répétition spatiale des barrages (ANRH)

En plus des paramètres caractéristiques des 142 bassins jaugés sélectionnés dans le cadre de cette étude sont également, reportés ceux des tous bassins aux séries hydrométriques lacunaires (cf. localisation sur la Carte III-5).



Carte III-5 : Réseau hydrométrique de Nord de l'Algérie et bassins versant retenus dans l'étude sur MNT

Chapitre III : Réseau et données hydrométriques des bassins versants du Nord de l'Algérie

La répartition, par classes de superficies, des 142 stations hydrométriques étudiées est donnée par le tableau III-3. Leur densité moyenne par grand bassin hydrographique varie d'une station pour 4 149 km² dans le bassin de l'Isser à une station pour 68 750 km² dans le bassin du Chott Melrhir (tableau III-4), (figure III-3).

Tableau III-3 : Répartition des stations hydrométriques par classes de superficies des bassins

Classe de superficies des bassins (km ²)	16-100	101-500	501-1 000	1 001-2 000	2 001-5 000	>5 000
Nombre de stations de jaugeage	17	45	22	24	18	16
%	11.97	31.7	15.5	16.90	12.67	11.26

Tableau III-4 : Densité par bassin hydrographique du réseau hydrométrique étudié

Code A.N.R.H.	Bassin hydrographique	Surface couverte par une station hydrométrique (km ²)
01	Cheliff	43 750
02	Cotier Algerois	11 972
03	Côtiers constantinois	11 566
04	Cotier Oranais	5 831
05	Chott Hodna (E)	25 843
06	Chott Melrhir (NE)	68 750
07	Hauts Plateaux Constantinois	9 578
09	Isser	4 149
10	Kébir-Rhumel	8 815
11	Macta	14 389
12	Medjerda	7 785
14	Seybouse	6 475
15	Boussellam (Soummam)	9 125
16	Tafna	7 245

La superficie des bassins jaugés varie dans de grandes proportions : (de 16 km² Oued Erkel à Ain Erkel, Bassin Medjerda à 43750 km² Sidi Bel attar Oued Cheliff, Bassin Cheliff)

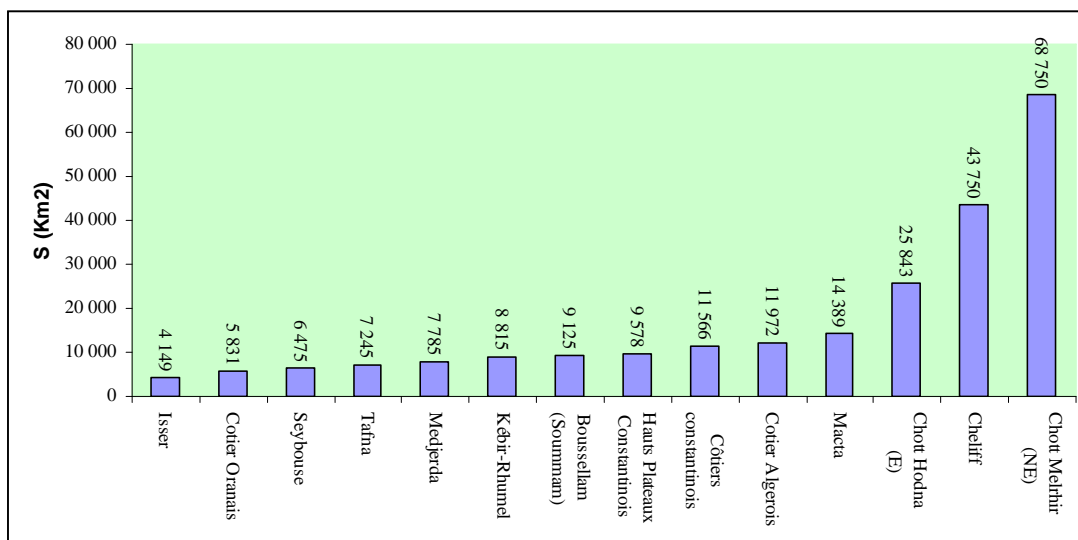


Figure III-3 : *Rangement par ordre croissant de la superficie des bassins jaugés*

4. Les bassins jauges et leurs données hydrométriques :

La sélection définitive des stations hydrométriques est effectuée en tenant compte de l'état d'homogénéité et de la qualité des séries d'observations disponibles sur des périodes récentes et communes. La mise en forme et l'homogénéisation des séries passe par un travail long et fastidieux eu égard à la nature et à la variété des bases de données informatisées de l'A.N.R.H.

Les bassins jaugés retenus couvrent des superficies très variables de 16 à 43700 km² et représentent, plus ou moins inégalement, les différentes régions hydroclimatiques et physiques du nord de l'Algérie.

Tableau III-5 : Données Hydrométriques

BASSIN	Code	Dénomination	S (km ²)	Période d'observation	Qmoy(m3/s)	Apport (Hm ³)
B V01	01 09 07	SEBAIN	515	73-85	0.23	7.34
	01 10 01	COLONEL BOUGARA	1 000	73-83	0.52	16.32
	01 14 07	GHRIB AMONT	1 898	76-92	9.80	85.61
	01 15 01	TAMESGUIDA	157	69-92	1.33	42.67
	01 15 03	DJENDEL	22 580	68-81	6.69	211.21
	01 16 02	SIDI MAKREFI	500	67-85	1.33	41.85
	01 17 01	EL KHEMIS	2 380	69-82	11.208	359.264
	01 17 02	ARIBS CHELIFF	24 520	68-92	5.79	182.09
	01 17 15	EL ABABSA	102	73-92	0.15	4.70
	01 18 01	ARIBS EBDA	270	68-92	2.65	99.52
	01 19 06	ROUINA MINES	865	72-84	1.45	45.89
	01 20 01	EL ABADIA	26 410	68-86	11.72	369.80
	01 21 17	FODDA RN4	1 140	72-82	2.33	73.63
	01 22 01	LARBAT OULED FARES	262	72-75	1.29	40.59
	01 22 02	PONTEBA Bge	27 820	64-68	7.50	248.93
	01 22 03	PONTEBA D,fl.	27 820	69-83	16.19	510.83
	01 23 11	OUED BEN AEK CD73	1 225	65-92	3.84	122.29
	01 25 01	OUED LILI	420	73-83	0.31	9.91
	01 26 01	AMMI MOUSSA	1 890	80-92	1.76	55.53
	01 28 06	DJIDIQUIA	34 550	73-99	22.43	454.88
01 34 02	OUED EL ABTAL	5 400	59-97	3.24	100.62	
01 36 02	SIDI BEL ATTAR	43 700	51-01	24.84	427.96	
B V02	02 02 07	SIDI AKACHA	295	72-97	0.79	24.89
	02 03 01	BORDJ GHOBRINI	215	66-88	1.39	43.79
	02 03 18	P.T CN 7	72	72-83	0.17	5.26
	02 06 09	KEDDARA II	93	68-84	1.00	31.48
	02 06 29	PONT D 9	160	72-82	1.53	48.09
	02 08 08	AZZEFOUN RN 24	35,8	72-85	0.54	17.07
	02 10 01	SIDI BRAHIM BERKISSA	150	69-77	0.85	26.97
	02 10 02	TARZOULT	215	69-84	0.91	27.98
	02 10 05	PONT BOUROUMI	238	73-83	0.70	22.00
	02 10 06	BOUMEDFAA	336	80-92	0.96	30.87
	02 10 07	EL AFFROUN	395	69-93	1.12	34.45
	02 10 11	ATTATBA	680	69-95	2.49	78.68
	02 11 26	AMONT GORGES	314	69-95	2.49	78.39
	02 12 01	FER A CHEVAL	1 900	69-95	5.858	184.662
	02 13 01	ROCHER PIGEONE	387	69-95	3.78	116.10
	02 14 18	BARAKI	970	71-97	5.42	170.35
	02 16 05	FREHA	100	74-85	1.09	34.40
	02 18 03	BELLOUA	1 490	49-58/72-83	18.15	572.72
	02 19 05	AIN ZAOUIA	71	72-82	0.36	10.963
	02 19 09	RN 25	300	73-93	1.85	59.13
02 20 01	BAGHIA	2 390	49-56/62-97	23.25	714.98	

Tableau III-5: Données Hydrométriques (suit)

BASSIN	Code	Dénomination	S (km ²)	Période d'observation	Qmoy(m3/s)	Apport (Hm ³)
B V 03	03 03 10	EL M'KACEB	21,6	71-83	0.20	6.65
	03 03 34	CHDIA	41	72-85	0.72	22.24
	03 07 01	GUENITRA	202	70-77	1.20	37.76
	03 07 02	SIDI MESRICH	100	70-82	0.22	6.86
	03 09 01	KHEMAKHEM	322	68-93	1.25	38.33
	03 11 01	AIN CHARCHAR	1130	53-62/68-80/85-03	4.28	135.47
	03 11 02	ZIT EMBA	485	68-78	1.469	46.3
	03 16 01	AIN EL ASSEL	680		6.68	207.00
03 16 05	GUE ZITOUN	160	73-79	0.54	16.89	
BV 04	04 01 01	GHAZAOUET EL BOR	100	71-92	0.14	7.34
	04 02 20	TURGOT NORD	712.1	74-00	0.49	13.64
	04 04 03	CW18	108	72-86	0.08	2.52
BV 05	05 01 01	AIN NESSISSA	460	65-77	0.77	24.29
	05 03 01	AIN EL HADJEL	2670	64-82	0.46	14.32
	05 05 01	ROCADE SUD	5600	52-60/64-81/83-92	8.97	46.10
	05 08 01	CED FAGUES	334	55-60/64-81/83-92	0.22	8.70
	05 09 01	MEDJEZ	1330	73-92	0.79	24.95
	05 11 01	SIDI OUADAH	176	73-78/83-84	0.11	3.42
	05 17 01	MOULIN FERRERO	1020	70-77/83-92	0.36	14.60
B V 06	06 01 04	SEKLAF	766	75-80/84-85	0.45	14.38
	06 12 01	EL KANTARA	1 170	68-74/77-92	0.39	11.97
	06 13 01	DJEMORAH	595	63-77/79-94	0.25	7.56
	06 15 02	M'CHOUNCHE	1 050	71-95	0.34	11.16
	06 18 01	KHNGA S. NADJI	2 085	69/72-77/79-95	0.87	27.34
	06 18 11	KTEFESSODA	2 098	89-99	0.26	8.14
	06 23 08	AIN BABOUCHE	785	73-95	0.16	4.35
B V 07	07 03 01	FESDIS	305	69-79/83-85	0.34	10.58
	07 04 01	TIMGAD GUE	194	69-76	0.31	9.82
	07 04 03	REBOA	296	69-99	0.53	16.73
	07 05 01	CHEMORAH	765	69-92	0.75	23.36
	07 07 02	FOUM EL GUEISS	144	69-92	0.26	8.00
BV 08	08 10 02	SIDI NACEUR	1 730	/	0.36	10.76
B V 09	09 01 01	MEZAHIM	665	73-94	0.55	16.62
	09 02 05	EL OMARIA	39	72-82	0.21	6.48
	09 03 05	BENI SLIMANE	273	73-97	0.39	12.57
	09 03 09	DECHMIA	73	72-84	0.24	7.57
	09 04 08	LA TRAILLE	2 570	68-84	5.42	171.13
	09 04 16	AOMAR PONT CW 125	145	73-96	0.44	13.61
	09 05 01	LAKHDARIA	3 615	54-57/65-01	10.17	319.93

Tableau III-5: Données Hydrométriques (suit)

BASSIN	Code	Dénomination	S (km ²)	Période d'observation	Qmoy(m3/s)	Apport (Hm ³)
B V 10	10 01 09	DOUAR TASSADANE	930	72-92	3.09	95.85
	10 02 08	KOUDIAT TENNDART	170	73-78	0.16	5.22
	10 03 01	OUED ATHMANIA	1 130	64-84	0.56	16.90
	10 04 03	AIN SMARA	2 340	71-01	1.59	38.84
	10 05 01	EL KHROUBS	1 630	70-78	0.34	10.36
	10 06 01	GRAREM	5 320	72-81/85-86	5.89	176.26
	10 07 01	EL ANCER	8 735	72-92	24.14	835.48
	10 07 02	EL MILIA	465	72-76/79-82	3.99	119.40
B V 11	11 01 01	EL HACAIBA	955	61-74/78-96	0.12	3.71
	11 02 01	SIDI ALI BEN YOUNB	1 890	49-61/66-96	0.69	21.84
	11 03 01	SIDI BEL ABBES	3 000	42-61/68-00	1.06	29.72
	11 03 02	MEKERRA SARNO AMONT	933	69-73/78-96	0.17	5.28
	11 03 03	MEKERRA SARNO AVAL	1 744	62-73	0.39	12.18
	11 03 31	LAMTAR	300	72-96	0.16	3.63
	11 05 06	TENIRA	746	73-96	0.22	6.90
	11 10 03	LAABANA	257	74-96	0.61	19.31
	11 11 06	KM 50 SAIDA	400	73-86	0.41	12.80
	11 11 27	SAIDA PONT 2	98	73-96	0.19	5.96
	11 12 01	OUED TARIA	1 360	72-96	0.81	25.57
	11 12 20	DOMAINE BOUCHEKHI	77	74-85	0.10	3.07
	11 13 02	OUZERT AVAL	2 210	71-96	0.97	33.91
	11 14 03	AIN FEKANE	1 160	69-96	0.28	8.29
	11 14 12	GHRISS	132	70-96	0.12	4.11
	11 14 25	KHELOUIA	79.2	74-96	0.07	2.13
11 15 01	TROIS RIVIERES	7 440	47-94	3.88	122.43	
	11 15 05	BOU HANIFIA DEFL	7 685	74-96	1.88	59.55
	11 15 18	HACINE	7 950	73-96	2.46	77.80
B V 12	12 01 01	SOUK AHRAS	217	52-57/59-61/68-85	1.52	46.34
	12 03 09	MORSOTT	1 300	52-53	0.20	6.20
	12 04 01	OUEENZA	4 575	70-92	2.80	88.25
	12 04 04	EL AOUINET	3 540	73-84	1.23	38.69
	12 05 09	AIN ZERGA	49	73-76	0.12	3.68
	12 05 15	AIN ERKEL	16	73-84	0.02	0.71
B V 13	14 02 02	MOULIN ROCHEFORT	1 710	71-92	1.03	32.02
	14 03 01	MEDJZ .AMAR II	1 105	68-80/84-92	1.92	59.02
	14 03 02	BORDJ SABATH	304	73-74	0.13	3.52
	14 05 01	BOUCHEGOUF	550	48-54/68-79/84-94	3.78	118.00
	14 06 01	MIREBEC	3 055	68-95	10.78	339.36
	14 06 02	AIN BERDA	103	63-92	0.43	13.08

Tableau III-5: Données Hydrométriques (suit)

BASSIN	Code	Dénomination	S (km ²)	Période d'observation	Qmoy(m3/s)	Apport (Hm ³)
B V 15	15 01 06	TILESDIT I	842	63-87	3.27	102.58
	15 01 14	AIN TASTA	190	80-92	0.33	10.00
	15 02 04	EL ESNAM	800	67-92	0.54	17.00
	15 04 01	PORTES DE FER	605	68-92	0.44	12.55
	15 06 01	FERMATOU	105	69-92	0.41	13.44
	15 07 01	AIN ZADA	1 800	70-83	0.58	16.69
	15 07 02	MAGRAOUA	2 350	68-92	1.29	39.58
	15 07 03	BOU BIREK	2 960	70-71/79-87	4.55	136.03
	15 09 01	SIDI YAHIA	4 050	71-97	5.45	171.39
	15 10 01	SIDI AICH	8 420	53-73	18.32	578.16
B V 16	16 04 01	SEBDOU	195	79-84/87-91	0.74	9.27
	16 04 02	BENI-BAHDEL AMONT	600	72-96	1.02	31.94
	16 04 26	VILLAGE TAFNA	1 268	87-96	0.41	13.01
	16 05 01	HAMMAM BOUGHRARA	4 000	75-83	2.10	66.29
	16 05 04	SIDI BELKEIR	2 650	73-96	1.77	55.77
	16 05 09	HENNAYA CD 45	46	73-96	0.09	2.12
	16 06 01	CHOULY RN7	170	66-87	0.40	12.55
	16 06 14	SIDI AISSA	866	85-96	0.46	14.43
	16 07 02	BEN SEKRANE	1 230	68-87	1.69	53.46
	16 07 04	AIN YOUCEF	320	72-87	0.68	21.50
	16 08 01	PIERRE DU CHAT	6 900	52-60/63-01	5.36	103.39

Conclusion :

La plupart des données utilisées, sont des données de mesure des stations hydrométriques, implantées dans différentes zones géographiques et climatiques de l'Algérie du nord, collectées aux près de l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques), de la banque de données de l'ENYHD (Entreprise Nationale des Etudes Hydrauliques). D'autres données sont saisies auprès des documents des cahiers des agences des bassins hydrographiques et des annuaires hydrologiques publiés par l'ANRH. Ces dernières ont été utilisées avec une grande prudence après leur vérification, juste pour combler les lacunes géographiques.

La pluviométrie moyenne reçue par le bassin versant déterminée à partir de plusieurs postes pluviométriques situés à l'intérieur de ce bassin. A défaut de mesure, cette dernière a été évaluée à partir de la carte pluviométrique de l'Algérie du nord.

Il a été utilisé quelques données de mesures des apports effectués aux niveaux des barrages en exploitation disponible à l'ANB (Agence Nationale des Barrages).

TRAITEMENT STATISTIQUE ET DETERMINATION DE LA NORME DE L'ÉCOULEMENT

1. Homogénéisation des données de l'écoulement :

L'homogénéisation des séries de bases choisies qui vont servir au comblement des lacunes des autres séries de faibles périodes d'observation a été basée sur le test statistique de WILCOXON.

1-1. Test de WILCOXON :

C'est un test non paramétrique qui utilise la série des rangs des observations au lieu de la série de leurs valeurs. Le test de Wilcoxon se base sur le principe suivant :

- Si l'échantillon x est aussi d'une même population y , l'échantillon $x \cup y$ en est généralement aussi. On procède aussi :
- Soit un série d'observation de longueur N à partir de laquelle on tire deux échantillon x et y

$$N_1 + N_2 = N \quad \text{et} \quad N_1 < N_2$$

On classé en suite les valeurs de notre série par ordre croissant. Par la suite nous ne nous intéressons pas qu'au rang de chacun des éléments des deux échantillon dans cette série, si une valeur de répète plusieurs fois, on lui aussi le rang moyen correspondant. On calcul la somme (W_x) de rang des éléments du premier échantillon dans le série comme :

$$W_x = \sum \text{Rang} \quad X$$

Wilcoxon à démontré que dans le cas ou les deux échantillon x et y constituant une série homogène la quantité (W_x) est comprise entre deux bornes (W_{\max}) et (W_{\min}) donnés par la formule suivantes :

$$W_{\min} = \frac{(N_1 + N_2 + 1) \cdot (N_1 - 1)}{2} - Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \sqrt{\frac{N_1 \cdot N_2 \cdot (N_1 + N_2 + 1)}{12}}$$

$$W_{\max} = (N_1 + N_2 + 1) \cdot N_1 - W_{\min}$$

$Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ Représente la valeur de la variable centrée résulte de la loi normale correspondant à $1 - \frac{\alpha}{2}$ (au seuil de confiance de 95 %, nous avons $Z_{1-\frac{\alpha}{2}} = 1,96$).

Nous présentons ci-dessous un exemple d'application de ce test sur la série des écoulements de la station hydrométrique 11-03-01 sur oued MEKERA.

Tableau IV-1 : Exemple d'application de test sur la série des écoulements

X	Y	XUY par ordre croissant	Série d'origine	Rang	XUY par ordre Croissant	Série d'origine	Rang
7,62	11,68	4,02	y	1	9,03	y	25
14,1	10,87	4,423	x	2	9,077	y	26
9,807	5,253	5,107	y	3	9,25	x	27
8,057	5,73	5,253	x	4	9,807	x	28
5,503	4,423	5,503	x	5	9,817	x	29
9,25	7,403	5,73	x	6	9,937	x	30
11,4	9,817	6,023	y	7	10,87	x	31
9,937	9,077	6,213	y	8	11	y	32
30,8	9,03	6,327	y	9	11,4	x	33
26,4	8,827	6,33	y	10	11,68	x	34
16,9	6,663	6,337	y	11	12,53	y	35
20,2	7,36	6,663	y	12	13,26	x	36
20,2	6,327	6,753	y	13	14,06	x	37
13,3	7,113	7,113	y	14	14,32	y	38
	7,28	7,28	y	15	16,91	x	39
	7,503	7,36	y	16	20,15	x	40
	6,753	7,403	x	17	20,2	x	41
	6,33	7,503	y	18	23,33	y	42
	7,56	7,56	y	19	26,43	x	43
	7,71	7,62	x	20	30,83	x	44
	8,907	7,71	y	21			
	6,337	8,057	x	22			
	6,213	8,827	y	23			
	12,53	8,907	y	24			
	11						
	6,023						
	5,107						
	4,02						
	14,32						
	23,33						

Avec :

X, Y : Echantillon

$X \cup Y$: Union

$W_{in} = 383$ $W_x = 536$ $W_{max} = 541$

La condition $W_{min} < W_x < W_{max}$ est vérifiée, la série donc est homogène

Le résultat de calcul par ce test pour d'autres stations est présenté en annexe (Tableau A2)

Les stations hydrométriques situées en aval des barrages en exploitation sont influencées et par conséquent elles sont hétérogènes.

Dans la figure IV-1 il est montré que les écoulements mesurés dans les trois stations hydrométriques ont la même tendance depuis 1972/1973 jusqu'à 1987. La mise en eau du barrage Ouizert en amont de la station 11-13-02 en 1987 a perturbé la stationnarité. L'écoulement depuis 1987 à la station 11-13-02 reste presque constant tandis que l'écoulement dans les deux autres stations a sensiblement augmenté. Cela explique qu'une bonne quantité d'eau a été stockée dans le barrage Ouizert.

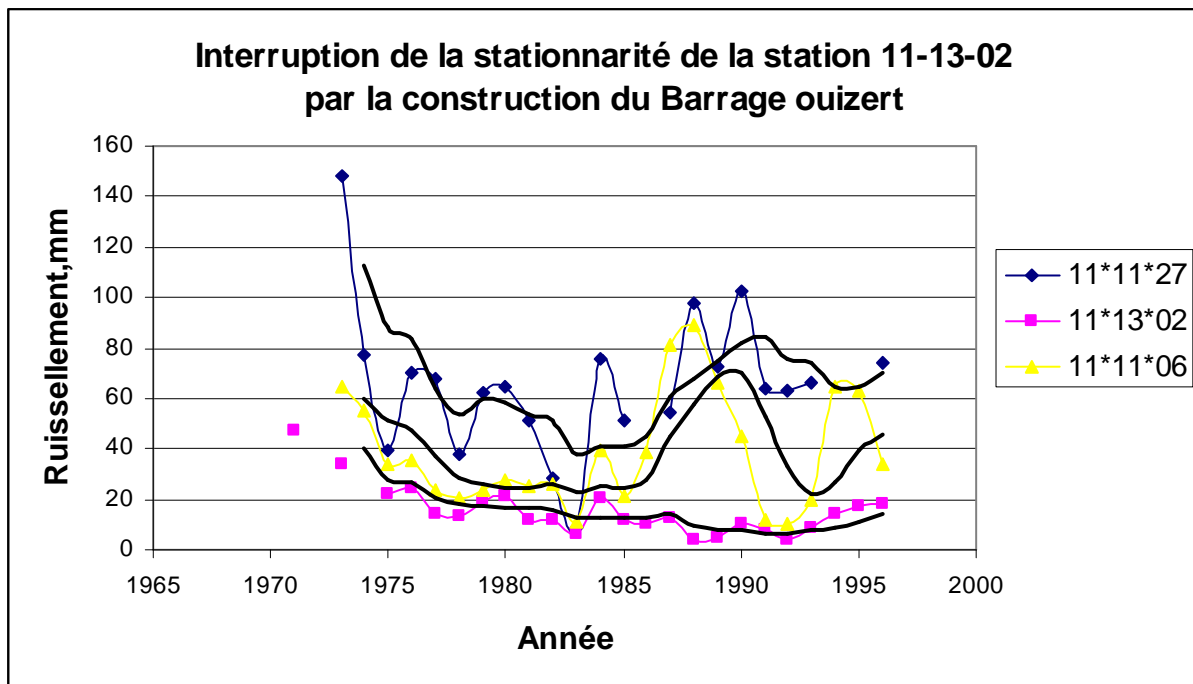


Figure IV-1 : Interruption de la stationnarité de la station 11-13-02 par la construction du barrage Ouizert

Pour rendre les séries homogènes il a été appliqué la méthode des doubles cumuls.

2. Comblement des lacunes et extension des séries des apports (écoulement) :

La plupart des données des apports disponibles possèdent des lacunes dans leurs rangs. La méthode de la régression linéaire entre les apports des stations hydrométriques a été utilisée pour combler ces lacunes. Dans la majorité des cas, la liaison entre les apports est de type linéaire. Pour avoir des séries d'apports très longues, des postes pluviométriques situés à l'intérieur des bassins versants ont été sollicités pour l'extension. La liaison entre les apports et la pluviométrie est non linéaire.

Dans l'opération d'extension des apports, il a été retenu que les coefficients de corrélation dépassant 0.6 et exprimant une forte corrélation entre les apports. Nous présentons

dans la figure IV-2 ci-dessous un exemple de corrélation entre les apports de la station hydrométrique 01-23-11 et du barrage Oued Fodda.

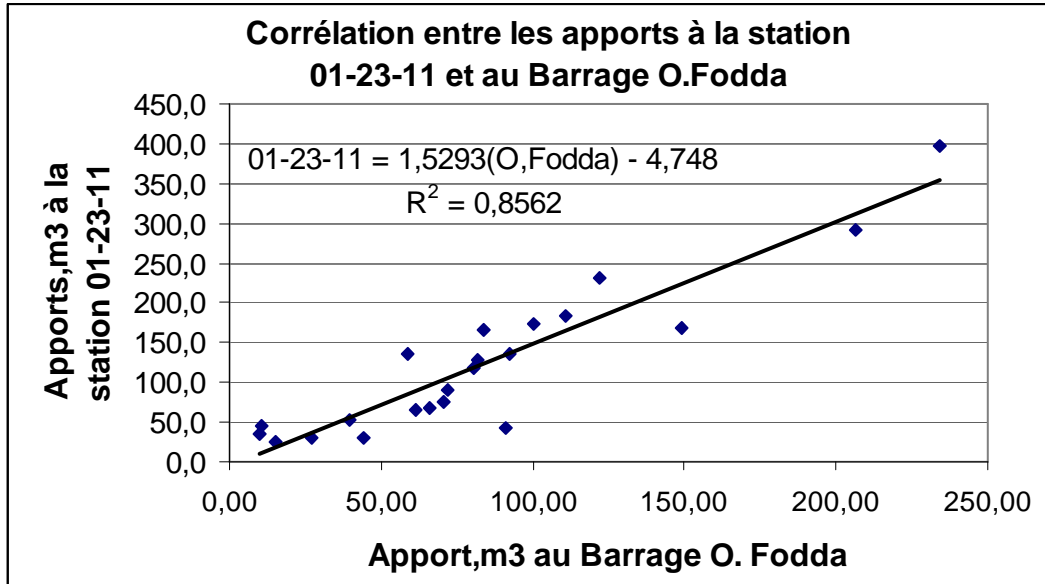


Figure IV-2 : Corrélation entre les apports à la station 01-23-11 et au barrage O. Fodda

3. Représentativité des séries des apports et détermination de la norme de l'écoulement :

Une série hydrologique , même si elle est longue , ne peut être considérée comme représentative pour le calcul de la norme que si elle possède dans son rang au minimum un cycle hydrologique composé de deux périodes :

- Période humide
- Période sèche.

La détermination de la norme à partir d'une série constituée d'un groupe d'années humides conduit à la surestimation de la valeur de cette norme, par contre le calcul à partir d'un groupe d'années sèches, conduit à la sous-estimation de cette dernière.

Les variations cycliques d'une caractéristique hydrologique (pluies, apports) sont établies par les courbes intégrales des écarts à la moyenne :

$$\frac{\sum(k_i - 1)}{C_v} = f(t)$$

Ou :

k_i - Coefficient modulaire (rapport entre $\frac{Q_i}{Q_m}$ ou $\frac{P_i}{P_m}$)

Q_i et P_i - Apport ou pluie de l'année i respectivement

Q_m et P_m - Moyenne des apports ou des pluies respectivement

C_v - coefficient de variation

T - nombre d'années

La partie de la courbe intégrale penchée vers le haut par rapport à l'axe horizontale correspondant à une période humide, l'autre partie de la courbe penchée vers le bas correspondant à la période sèche.

L'ensemble des deux parties constitue un cycle entier.

La courbe intégrale des écarts à la moyenne donne l'avantage de repérer le début et la fin de chaque cycle dans la série et établir la durée nécessaire de calcul de la norme.

Pour illustration nous donnons sur la figure IV-3, la courbe intégrale des écarts à la moyenne des apports de la station Baghliia mesurés sur Oued Sebaou W. de Tizi Ouzou

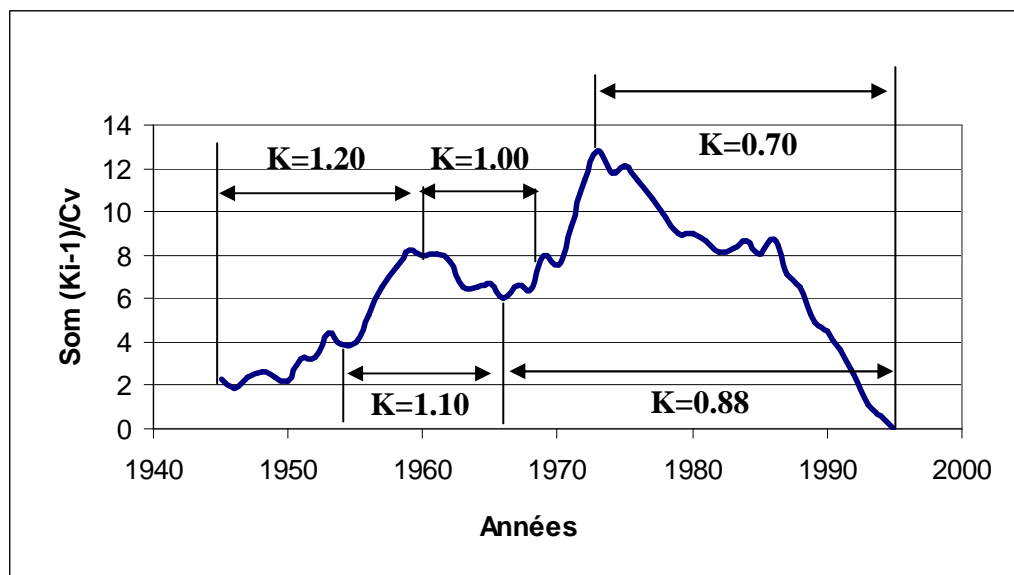


Figure IV-3 : Courbe de cumul des écarts à la moyenne de Oued Sebaou (02-20-01)

Il faut signaler que si la somme du coefficient modulaire $K = 1$, sur une période T , la valeur calculée est considérée comme une norme. Si $K < 1$, la valeur calculée est sous-estimée. Par contre si $K > 1$, la valeur calculée est surestimée.

Tableau IV-2 : Calcul de la moyenne arithmétique des apports de Oued Sebaou pour différents cycles

N° du cycle	1	2	3
Période	1955-1966	1961-1969	1966-1995
Nombre d'années	11	8	29
Coefficient modulaire, K	1,10	1,00	0,88
Apport moyen de chaque cycle, Hm³	864	788	695
Apport moyen, Hm³		782	

La courbe intégrale des écarts à la moyenne des apports du barrage à la station Baghlia permet de repérer trois cycles de différentes périodes :

Le premier cycle (1955-1966) donne un apport moyen de $A = 864$ million m³, cette valeur nous semble surestimée ($K = 1.10$), le deuxième entre 1961-1969, donne une valeur $A = 788$ million m³ avec $K = 1.00$, (peut être considérée comme une norme), le troisième entre 1966-1995 donne un apport moyen $A = 695$ million m³ correspondant à un coefficient modulaire $K = 0.88$. Cette dernière valeur est sous-estimée. La moyenne des trois coefficients modulaires $K = (1.10 + 1.00 + 0.88) / 3 = 0.99$, correspondant à un apport moyen $A = 782$ est légèrement sous-estimée qui est inférieure à $A = 788$ million m³ correspondant au deuxième cycle.

La moyenne des apports de oued Sebaou de 1945 à 1995 donne une valeur de $A = 788$ million m³, qui peut être considérée comme une norme pour cet Oued.

La période qui s'étale de 1945 à 1995 peut être considérée comme une période de référence elle retenue pour l'étude des apports ou de l'écoulement des cours d'eau des bassins versants du nord de l'Algérie.

Le tableau IV-3 suivant donne les valeurs de l'écoulement observée (avec lacune) et reconstitué pour la période de référence 1945-1995

Tableau IV-3: Ecoulements annuels moyens des stations hydrométriques

BASSINS JAUGES				Période d'observation	Ruiss	Ruiss calculé 1945- 1995
Code Station	Station	Oued	S (km2)			
01 09 07	SEBAIN	NAHR OUASSEL	515	73-85	14.26	26.8
01 10 01	COLONEL BOUGARA	NAHR OUASSEL	1 000	73-83	16.32	28.9
01 14 07	GHRIB AMONT	CHELIF	1 898	76-92	45.11	/
01 15 01	TAMESGUIDA	HARBIL	157	69-92	205.79	120.4
01 15 03	DJENDEL	CHELIF	22 580	68-81	9.35	/
01 16 02	SIDI MAKREFI	DEURDEUR	500	67-85	79.56	/
01 17 01	EL KHEMIS	CHELIF	2 380	69-82	150.95	/
01 17 02	ARIBS CHELIFF	CHELIFF	24 520	68-92	7.43	/
01 17 15	EL ABABSA	KHERAZZA	102	73-92	46.08	/
01 18 01	ARIBS EBDA	EBDA	270	68-92	301.60	258.5
01 19 06	ROUINA MINES	ROUINA	865	72-84	53.05	54.8
01 20 01	EL ABADIA	CHELIFF	26 410	68-86	14	/
01 21 17	FODDA RN4	FODDA	1 140	72-82	64.59	/
01 22 01	LARBAT OULED FARES	OUAHRANE	262	72-75	154.9	59.3
01 22 02	PONTEBA Bge	CHELIFF	27 820	64-68	8.95	/
01 22 03	PONTEBA D,fl.	CHELIFF	27 820	69-83	18.36	/
01 23 11	Oued BEN AEK CD73	SLY	1 225	65-92	99.82	93.1
01 25 01	Oued LILI	TIGUIGUEST	420	73-83	23.6	37.9
01 26 01	AMMI MOUSSA	RIOU TLETA	1 890	80-92	29.38	73.3
01 28 06	DJIDIOUIA	CHELIFF	34 550	73-99	13.17	/
01 34 02	Oued EL ABTAL	MINA	5 400	59-97	18.63	32.3
01 36 02	SIDI BEL ATTAR	CHELIFF	43 700	51-01	9.79	/
02 02 07	SIDI AKACHA	ALLALAH	295	72-97	84.37	/
02 03 01	BORDJ GHOBRINI	EL HACHEM	215	66-88	203.66	/
02 03 18	P.T CN 7	BOURKIKI	72	72-83	73.03	101.4
02 06 09	KEDDARA II	BOUDOUAOU	93	68-84	271.32	263.4
02 06 29	PONT D 9	HAMIZ	160	72-82	163.95	150.6

Tableau IV-3: Ecoulements annuels moyens des stations hydrométriques (*suit*)

BASSINS JAUGES				Période d'observation	Ruiss	Ruiss calculé 1945-1995
Code Station	Station	Oued	S (km2)			
02 08 08	AZZEFOUN RN 24	N'LETA	35,8	72-85	476.75	433
02 10 01	SIDI BRAHIM BERKISSA	BOUROUMI	150	69-77	179.83	170.7
02 10 02	TARZOULT	BOUROUMI	215	69-84	230.15	241.9
02 10 05	PONT BOUROUMI	BOUROUMI	238	73-83	92.45	147
02 10 06	BOUMEDFAA	DJER	336	80-92	91.87	163.1
02 10 07	EL AFFROUN	DJER	395	69-93	87.21	101.8
02 10 11	ATTATBA	DJER	680	69-95	115.71	129
02 11 26	AMONT GORGES	CHIFFA	314	69-95	257.96	271
02 12 01	FER A CHEVAL	MAZAFRAN	1 900	69-95	97.19	139.9
02 13 01	ROCHER PIGEONE	EL HARRACH	387	69-95	299.99	259.1
02 14 18	BARAKI	EL HARRACH	970	71-97	175.62	183.7
02 16 05	FREHA	DIS	100	74-85	343.95	341
02 18 03	BELLOUA	SEBAOU	1 490	49-58/72-83	384.37	384.9
02 19 05	AIN ZAOUIA	EL HAMMAM	71	72-82	184.4	204.2
02 19 09	RN 25	TALA IMADRAN	300	73-93	197.1	205.7
02 20 01	BAGHIA	SEBAOU MARIT	2 390	49-56/62-97	299.15	339.7
03 03 10	EL M'KACEB	EL KANTARA	21,6	71-83	357.72	373.7
03 03 34	CHDIA	EL AGREM	41	72-85	542.51	595.1
03 07 01	GUENITRA	FESSA	202	70-77	186.91	215.4
03 07 02	SIDI MESRICH	GUEBLI	100	70-82	68.56	102
03 09 01	KHEMAKHEM	SAF SAF	322	68-93	119.04	146.3
03 11 01	AIN CHARCHAR	EL KEBIR	1130	53-62/68- 80/85-03	119.89	132.3
03 11 02	ZIT EMBA	HAMMAM	485	68-78	95.50	115.5
03 16 01	AIN EL ASSEL	KEBIR EST	680		304.41	/
03 16 05	GUE ZITOUN	ZITOUN	160	73-79	105.55	/
04 01 01	GHAZAOUET EL BOR	TLATA	100	71-92	73.4	118
04 02 20	TURGOT NORD	MELLAH		74-00	28.27	/
04 04 03	CW18	BESBES	108	72-86	23.35	49.1

Tableau IV-3: Ecoulements annuels moyens des stations hydrométriques (*suit*)

BASSINS JAUGES				Période d'observation	Ruiss	Ruiss calculé 1945-1995
Code Station	Station	Oued	S (km2)			
05 01 01	AIN NESSISSA	EL HAM	460	65-77	52.80	48.3
05 03 01	AIN EL HADJEL	EL HAM	2 670	64-82	5.36	/
05 05 01	ROCADE SUD	EL HAM	5 600	52-60/64-81/83-92	8.23	6.7
05 08 01	CED FAGUES	LOUGMANE	334	55-60/64-81/83-92	26.04	22.2
05 09 01	MEDJEZ	KSOB	1 330	73-92	18.76	25.4
05 11 01	SIDI OUADAH	SOUBELLA	176	73-78/83-84	19.40	23.9
05 17 01	MOULIN FERRERO	BOUSAADA	1 020	70-77/83-92	14.31	6.8
06 01 04	SEKLAFF	MZI	766	75-80/84-85	18.77	17.2
06 12 01	EL KANTARA	EL HAI	1 170	68-74/77-92	10.23	10.3
06 13 01	DJEMORAH	DJEMORAH	595	63-77/79-94	12.71	15
06 15 02	M'CHOUNCHE	EL ABIOD	1 050	71-95	10.63	9.5
06 18 01	KHNGA S. NADJI	EL ARAB	2 085	69/72-77/79-95	13.11	10.1
06 18 11	KTEFESSOUDA	MELLEGU	2 098	89-99	3.88	/
06 23 08	AIN BABOUCHE	CHERIA	785	73-95	5.54	/
07 03 01	FESDIS	EL MAHDER	305	69-79/83-85	34.68	20
07 04 01	TIMGAD GUE	SOULTES	194	69-76	33.20	22.2
07 04 03	REBOA	REBOA	296	69-99	86.25	53
07 05 01	CHEMORAH	CHEMORAH	765	69-92	30.53	27.2
07 07 02	FOUM EL GUEISS	GUEISS	144	69-92	95.54	133
09 01 01	MEZAHIM	MALAH OUEST	665	73-94	25	32.3
09 02 05	EL OMARIA	LADRAT	39	72-82	166.03	179.5
09 03 05	BENI SLIMANE	MALAH CENTRE	273	73-97	46.03	71.1
09 03 09	DECHMIA	ZEROUA	73	72-84	103.66	115.1
09 04 08	LA TRAILLE	ISSER	2 570	68-84	67	54.2
09 04 16	AOMAR PONT CW 125	DJEMAA	145	73-96	93.87	/
09 05 01	LAKHDARIA	ISSER	3 615	54-57/65-01	80.5	87.3
10 01 09	DOUAR TASSADANE	EL KEBIR	930	72-92	103.06	121.3
10 02 08	KOUDIAT TENNDART	BOU SELLAH	170	73-78	30.68	32.9

Tableau IV-3: Ecoulements annuels moyens des stations hydrométriques (*suit*)

BASSINS JAUGES				Période d'observation	Ruiss	Ruiss calculé 1945-1995
Code Station	Station	Oued	S (km2)			
10 03 01	OUED ATHMANIA	RHUMEL	1 130	64-84	15	12.5
10 04 03	AIN SMARA	RHUMEL	2 340	71-01	16.6	18.4
10 05 01	EL KHROUBS	BOU MERZOUG	1 630	70-78	6.36	/
10 06 01	GRAREM	RHUMEL	5 320	72-81/85-86	33.13	35.2
10 07 01	EL ANCER	RHUMEL	8 735	72-92	95.65	99.3
10 07 02	EL MILIA	BOU SIEBA	465	72-76/79-82	256.77	296.3
11 01 01	EL HACAIBA	MEKERRA	955	61-74/78-96	3.89	/
11 02 01	SIDI ALI BEN YOUNB	MEKERRA	1 890	49-61/66-96	11.56	/
11 03 01	SIDI BEL ABBES	MEKERRA	3 000	42-61/68-00	9.91	/
11 03 02	MEKERRA SARNO AMONT	SARNO	933	69-73/78-96	5.66	/
11 03 03	MEKERRA SARNO AVAL	SARNO	1 744	62-73	7	/
11 03 31	LAMTAR	TISSAF	300	72-96	12.09	22.8
11 05 06	TENIRA	MELRIR	746	73-96	9.24	/
11 10 03	LAABANA	HOUNET	257	74-96	75.12	/
11 11 06	KM 50 SAIDA	SAIDA	400	73-86	32.01	46.25
11 11 27	SAIDA PONT 2	SAIDA	98	73-96	60.79	86.5
11 12 01	OUED TARIA	TARIA	1 360	72-96	18.80	22.4
11 12 20	DOMAINE BOUCHEKHI	HASNA	77	74-85	39.89	31.3
11 13 02	OUZERT AVAL	SAHAOUAT	2 210	71-96	15.35	27.1
11 14 03	AIN FEKANE	FEKANE	1 160	69-96	7.15	/
11 14 12	GHRISS	FROHA	132	70-96	31.15	/
11 14 25	KHELOUIA	MAOUSSA	79.2	74-96	26.88	/
11 15 01	TROIS RIVIERES	EL HAMMAM	7 440	47-94	16.46	19.1
11 15 05	BOU HANIFIA DEFL	CANAL USINE	7 685	74-96	7.75	/
11 15 18	HACINE	EL HAMMAM	7 950	73-96	9.79	/
12 01 01	SOUK AHRAS	MEDJERDA	217	52-57/59-61/68-85	213.55	228.1
12 03 09	MORSOTT	CHABRO	1 300	52-53	4.77	13.2
12 04 01	OUENZA	MELLEGUE	4 575	70-92	19.29	21.8

Tableau IV-3: Ecoulements annuels moyens des stations hydrométriques (*suit*)

BASSINS JAUGES				Période d'observation	Ruiss	Ruiss calculé 1945- 1995
Code Station	Station	Oued	S (km²)			
12 04 04	EL AOUINET	MELLEGUE	3 540	73-84	10.93	15
12 05 09	AIN ZERGA	ZERGA	49	73-76	75.17	40.8
12 05 15	AIN ERKEL	ERKEL	16	73-84	44.22	37.5
14 02 02	MOULIN ROCHEFORT	CHERF	1 710	71-92	18.72	/
14 03 01	MEDJZ .AMAR II	BOUHAMDANE	1 105	68-80/84-92	53.41	70.8
14 03 02	BORDJ SABATH	SABATH	304	73-74	11.56	62.5
14 05 01	BOUCHEGOUF	MELAH	550	48-54/68- 79/84-94	214.55	200
14 06 01	MIREBEC	SEYBOUSE	3 055	68-95	111.08	123
14 06 02	AIN BERDA	RESSOUL	103	63-92	126.98	135
15 01 06	TILESDIT I	ED-DOUS	842	63-87	121.83	122.8
15 01 14	AIN TASTA	LAKEHAL	190	80-92	52.64	100
15 02 04	EL ESNAM	ZAIANE	800	67-92	21.24	/
15 04 01	PORTES DE FER	AZEROU	605	68-92	20.75	23
15 06 01	FERMATOU	BOU CELLAM	105	69-92	127.99	114.3
15 07 01	AIN ZADA	BOU CELLAM	1 800	70-83	9.27	/
15 07 02	MAGRAOUA	BOU CELLAM	2 350	68-92	16.84	18.4
15 07 03	BOU BIREK	BOU SELLAM	2 960	70-71/79-87	45.96	40.2
15 09 01	SIDI YAHIA	BOUCCELLAM	4 050	71-97	42.32	51.3
15 10 01	SIDI AICH	SOUMMAM	8 420	53-73	68.66	73.5
16 04 01	SEBDOU	SEBDOU	195	79-84/87-91	47.52	65.8
16 04 02	BENI-BAHDEL AMONT	TAFNA	600	72-96	53.23	64.4
16 04 26	VILLAGE TAFNA	TAFNA	1 268	87-96	10.26	/
16 05 01	HAMMAM BOUGHRARA	TAFNA	4 000	75-83	16.57	/
16 05 04	SIDI BELKEIR	MOUILLAH	2 650	73-96	21.05	23.5
16 05 09	HENNAYA CD 45	BOUMESSAOUD	46	73-96	46.05	68.5
16 06 01	CHOULY RN7	CHOULY	170	66-87	73.85	71.3
16 06 14	SIDI AISSA	ISSER	866	85-96	16.66	37.1
16 07 02	BEN SEKRANE	ISSER	1 230	68-87	43.46	42.5
16 07 04	AIN YOUCEF	SEKKAK	320	72-87	67.18	/
16 08 01	PIERRE DU CHAT	TAFNA	6 900	52-60/63-01	14.98	/

4. Modélisation de l'écoulement :

4-1. Bilan hydrique des bassins versants :

Les composantes principales du bilan hydrologique de longue période sont les précipitations (P), L'évaporation réelle (E_R) et l'écoulement (L_R). L'équation du bilan hydrologique de courte période inclut aussi :

- La variation des réserves d'eau (ΔS) dans le bassin versant – variation du stock d'eau dans les lacs, les cours d'eau, ainsi que la variation des réserves d'eau souterraine. La composante (ΔS) peut avoir des valeurs positives (pendant les périodes d'années humides) comme elle peut avoir des valeurs négatives (pendant les périodes d'années sèches) ;
- L'échange hydrique souterrain (ΔW) en absence de concordance des bassins versants topographiques et hydrogéologique. La composante (ΔW) est positive si le bassin topographique est alimenté par le bassin hydrogéologique, elle négative dans le cas contraire.

L'expression mathématique de l'équation du bilan hydrologique de courte période est la suivante :

$$P = L_R + E_R \pm \Delta S \pm \Delta W \quad (13)$$

Avec l'augmentation de la surface du bassin versant, la valeur ΔW décroît. Pour des bassins versant assez grands, on considère que $\Delta W = 0$

La relation de l'équation du bilan hydrologique de courte période précédente (13) devient :

$$P = L_R + E_R \pm \Delta S \quad (14)$$

L'équation (14) est applicable pour des intervalles de temps annuels. Elle tient compte les périodes de stockage et de décharge de l'eau dans le bassin versant étudié. Cet intervalle temps est appelé « Année Hydrologique ». Pour les conditions climatiques de l'Algérie, l'année hydrologique débute le 1^{er} septembre et termine le 31 août de l'année suivante.

On admet qu'au cours de cette période, toute les eaux précipitées sont soit ruisselées, soit évaporées, soit on contribué à la variation du volume stocké.

Pour une durée de « n » années relativement longue, l'équation du bilan hydrologique des bassins versants sera exprimée par la relation suivante :

$$\frac{1}{n} \cdot \sum P = \frac{1}{n} \cdot \sum L_R + \frac{1}{n} \cdot \sum E_R \pm \frac{1}{n} \cdot \sum \Delta S \quad (15)$$

La troisième composante de la droite de l'équation pour une longue durée tend vers zéro.

L'équation du bilan hydrologique pour une longue période est la suivante :

$$P = L_R + E_R \quad (16)$$

Où :

- P : norme des précipitations ;
- L_R : norme de l'écoulement ;
- E_R : norme d'évaporation réelle.

La norme d'une caractéristique hydrologique (météorologique) est la moyenne arithmétique d'une période d'observation interannuelle, ou avec l'augmentation de la durée la valeur moyenne ne change pas sensiblement.

En divisant la partie gauche et la partie droite de l'équation (16) sur les précipitations P, on obtient :

$$\frac{L_R}{P} + \frac{E_R}{P} = 1 \quad (17)$$

Le rapport entre l'écoulement et les précipitations sur le bassin versant est appelé « Coefficient de l'écoulement ».

$$\alpha = \frac{L_R}{P} \quad (18)$$

Le rapport entre l'évaporation réelle et les précipitations est appelé « coefficient d'évaporation ».

$$\eta = \frac{E_R}{P} \quad (19)$$

Chacun de ces coefficients varie de 0 à 1 et leur somme est égale à 1

$$\alpha + \eta = 1 \quad (20)$$

Dans les régions humides de l'Algérie le coefficient de l'écoulement « α » avoisine 0.5 - 0.6 ce coefficient diminue jusqu'à zéro dans les régions arides.

4-2. Etablissement du modèle de calcul :

La méthode de calcul de l'écoulement (L_R) proposée pour différentes régions climatiques et géographiques du nord de l'Algérie est basée sur l'utilisation des éléments météorologiques à savoir : la température (T) et l'humidité de l'air (H), l'évaporation potentielle de l'air (E_0) et la pluviométrie (P) sur le bassin versant.

La lame d'eau évaporée d'un sol est étroitement liée à la lame d'eau précipitée sur ce dernier. En générale l'évaporation réelle (E_R) croit avec l'augmentation des précipitations. Dans les zones humides, en présence de fortes pluies, d'un taux d'humidité élevé et d'une faible température, l'indice d'aridité (I) qui est représenté par le rapport de la pluviométrie et l'évaporation potentielle ($I = P / E_0$) sera élevé. L'écoulement (L_R) dans ces zones est assez important. Par contre dans les zones semi-arides (et surtout arides), les pluies et l'humidité de l'air sont faibles, la température est élevée, l'indice d'aridité est faible (tend vers zéro), l'écoulement dans ces zones suit la tendance de l'indice d'aridité et tend lui aussi vers zéro.

Le tableau IV-4 illustre la relation entre les composantes du bilan hydrique et l'indice d'aridité dans les différentes zones géographiques et climatiques de l'Algérie.

Tableau IV-4 : Relation entre les composantes du bilan hydriques dans différentes zones climatiques et géographiques de l'Algérie

Zone	Cours d'eau	Pluie P, mm	Evaporation potentielle E_0 , mm	Evaporation réelle E_R , mm	Ecoulement L_R , mm	Indice d'aridité $I = P / E_0$
Humide	- El Kentra	1060	982	686	374	1.08
	- Sebaou	950	1167	610	340	0.81
	- Chiffa	790	1432	519	271	0.55
Sub-humide	- Harbil	600	1543	480	120	0.39
	- Rhumel	570	1730	471	99	0.33
	- Sly	550	1972	457	93	0.28
Semi-aride	- Ouassel	358	2256	331	27	0.16
	-Chabro	332	2400	319	13	0.14
	-El Abiod	300	3086	290	10	0.10
Aride	-Namous	150	3000	149.5	0.5	0.05

Pour étudier l'influence de l'indice d'aridité sur le coefficient de l'écoulement, la relation (20) donnée ci-dessus peut être écrite dans la forme suivante :

$$\alpha = 1 - \eta = 1 - f\left(\frac{P}{E_0}\right) \quad (21)$$

La relation $\eta = f(P/E_0)$ (Relation entre le coefficient d'évaporation et l'indice d'aridité) permet de tracer une courbe au milieu de nuage de points présentée dans la figure IV-4

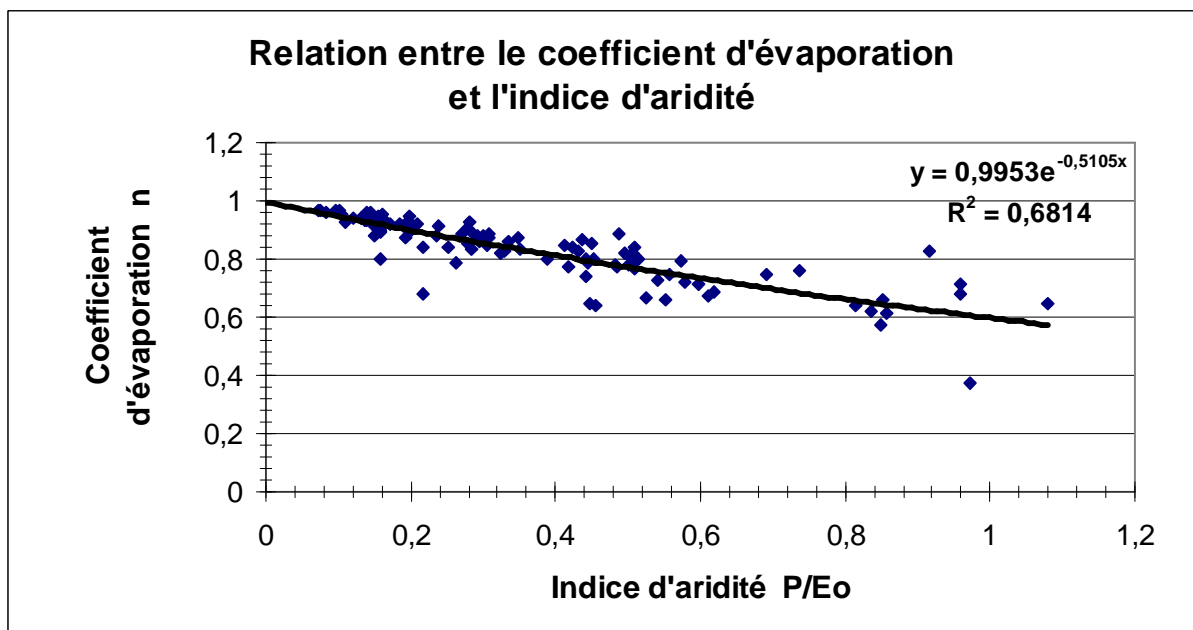


Figure IV-4 : Relation entre le coefficient d'évaporation et l'indice d'aridité

La relation entre le coefficient d'évaporation et l'indice d'aridité est de type exponentiel, traduit par l'expression mathématique suivante :

$$\eta = 0.9953 \cdot \text{Exp}\left(-0.5105 \cdot \left(\frac{P}{E_0}\right)\right) \quad (22)$$

Si on fait introduire la relation (22) dans (21), le coefficient de l'écoulement sera égal à :

$$\alpha = 1 - \left[0.9953 \cdot \text{Exp}\left(-0.5105 \cdot \left(\frac{P}{E_0}\right)\right) \right] \quad (23)$$

En conformité avec des conditions théoriques qui prétendent que le coefficient de l'écoulement tend vers zéro si la pluie P est nulle et tend vers 1 si la pluie est abondante, le modèle proposé (23) peut être modifié légèrement par l'expression suivante :

$$\alpha = 1 - \left[1 / \left(\text{Exp} \left(\frac{P}{E_0} \right) \right)^{0.5} \right] \quad (24)$$

Pour tenir compte de ces conditions limites, dans l'expression (24) le coefficient de l'équation 0.9953 est remplacé par 1 tandis que l'exposant 0.5105 par 0.5.

4-3. Vérification de la validité du modèle de calcul de l'écoulement :

Pour vérifier la validité du modèle reliant l'écoulement à l'indice d'aridité, il a été procédé à calculer les valeurs de l'écoulement de plus de 100 bassins versants, situés dans différentes zones climatique et géographiques de l'Algérie, ensuite les comparer à celles mesurées aux niveaux de ces mêmes bassins. L'écoulement de ces bassins est calculé par la relation (25) [formule proposé] suivante :

$$L_R = \alpha \cdot P \quad (25)$$

Où

$$L_R = \left[1 - \left(1 / \left(\text{Exp} \left(P / E_0 \right) \right)^{0.5} \right) \right] \cdot P$$

Le résultat de calcul est présenté dans le Tableau IV-5

Tableau IV-5 : Résultat de calcul de la lame ruisselé

Station Hydrométrique	Surface Km2	Pluie P (mm)	Evap.Potent Eo (mm)	Indice d'aridité P/Eo	coefficient d'évaporation α	Lame ruissel. 1945-1995	Lame ruissel. calculée
01*34*02	5400	400	2158	0,185	0,09	32,3	35,4
01*25*01	420	472	2256	0,209	0,10	37,9	46,9
01*26*01	1890	456	2114	0,216	0,10	73,3	46,6
01*23*11	1225	558	1972	0,283	0,13	93,1	73,6
01*22*01	262	534	1972	0,271	0,13	59,3	67,6
01*10*01	1000	340	2256	0,151	0,07	28,9	24,7
01*17*15	102	450	1572	0,286	0,13	51	60,0
01*18*01	270	717	1572	0,456	0,20	258,5	146,2
01*16*02	500	528	1572	0,336	0,15	74	81,6
01*19*06	865	460	1572	0,293	0,14	54,8	62,6
01*15*01	157	600	1543	0,389	0,18	120,4	106,0
01*09*07	515	358	2256	0,159	0,08	26,8	27,3
B. Fodda	800	550	1572	0,350	0,16	91	88,3
02*16*05	100	995	1167	0,853	0,35	341	345,3
02*18*03	1490	1000	1167	0,857	0,35	384,9	348,5
02*19*05	71	807	1167	0,692	0,29	204,2	235,9
02*19*09	300	860	1167	0,737	0,31	205,7	265,1
02*20*01	2390	950	1167	0,814	0,33	330,0	317,7
02*08*08	35,8	1019	1200	0,849	0,35	433	352,5
02*10*02	215	690	1543	0,447	0,20	241,9	138,2
02*03*18	72	650	1572	0,413	0,19	101,4	121,4
02*06*09	93	910	950	0,958	0,38	263,4	346,3
02*06*29	160	869	950	0,915	0,37	150,6	319,0
02*10*01	150	750	1543	0,486	0,22	170,7	161,8
02*10*05	238	645	1543	0,418	0,19	147	121,7
02*10*06	336	750	1556	0,482	0,21	163,1	160,6
02*10*07	395	700	1556	0,450	0,20	101,8	141,0
02*10*11	680	710	1432	0,496	0,22	129	155,9
02*11*26	314	790	1432	0,552	0,24	271	190,4
02*12*01	1900	700	1543	0,454	0,20	139,9	142,1
02*13*01	387	790	1292	0,611	0,26	259,7	208,1
02*14*08	970	720	1292	0,557	0,24	183,7	175,1
B,Keddara	93	910	950	0,958	0,38	292,2	346,3
B Hamiz	139	795	950	0,837	0,34	302	271,8
03*03*10	19	1060	982	1,079	0,42	373,7	442,1
03*03*34	41	954	982	0,971	0,38	595,1	367,1
03*09*01	322	707	1233	0,573	0,25	146,3	176,2
03*11*01	1130	662	1288	0,514	0,23	132,3	150,0
03*11*02	485	652	1288	0,506	0,22	115,5	145,8
03*07*01	202	648	1233	0,526	0,23	215,4	149,7
03*07*02	100	628	1233	0,509	0,22	102	141,2
04*01*01	100	450	1019	0,442	0,20	118	89,2
04*04*03	108	411	1371	0,300	0,14	49,1	57,2

Tableau IV-5 : résultat de calcul de la lame ruisselé (Suit)

Station Hydrométrique	Surface Km2	Pluie P (mm)	Evap.Potent Eo (mm)	Indice d'aridité P/Eo	coefficient d'évaporation α	Lame ruissel. Mesurée	Lame ruissel. calculée
05*01*01	460	412	2754	0,150	0,07	48,3	29,7
05*05*01	5600	206	2754	0,075	0,04	6,7	7,6
05*08*01	334	306	2754	0,111	0,05	22,2	16,5
05*09*01	1330	385	2754	0,140	0,07	25,4	26,0
05*11*01	176	400	2754	0,145	0,07	23,9	28,0
05*17*01	1020	210	2877	0,073	0,04	6,8	7,5
B K'sob	1500	360	2754	0,131	0,06	20,8	22,8
06*12*01	1170	260	3086	0,084	0,04	10,3	10,7
06*01*04	766	300	2500	0,120	0,06	17,2	17,5
06*13*01	595	325	3086	0,105	0,05	15	16,7
06*15*02	1050	300	3086	0,097	0,05	9,5	14,2
06*18*01	2085	313	3086	0,101	0,05	10,1	15,5
07*04*03	296	423	2195	0,193	0,09	53	38,9
07*05*01	765	350	2056	0,170	0,08	27,2	28,6
07*03*01	305	300	2195	0,137	0,07	20	19,8
07*04*01	194	330	2195	0,150	0,07	22,2	23,9
07*07*02	144	417	1916	0,218	0,10	133	43,0
B F,el Geiss	156	450	1916	0,235	0,11	53,5	49,9
09*05*01	3615	503	1166	0,431	0,19	87,3	97,6
09*04*08	2570	357	1166	0,306	0,14	54,2	50,7
0901*01	665	436	1543	0,283	0,13	32,3	57,4
09*03*05	273	440	1040	0,423	0,19	71,1	83,9
09*03*09	73	520	1040	0,500	0,22	115,1	115,0
09*02*05	39	621	1040	0,597	0,26	179,5	160,3
10*01*09	930	670	2063	0,325	0,15	121,3	100,4
10*02*08	170	390	2063	0,189	0,09	32,9	35,2
10*03*01	1130	300	2063	0,145	0,07	12,5	21,0
10*04*03	2340	323	2063	0,157	0,08	18,4	24,3
10*06*01	5320	420	2063	0,204	0,10	35,2	40,6
10*07*01	8735	570	1730	0,329	0,15	99,3	86,6
10*07*02	465	945	1526	0,619	0,27	296,3	251,6
11*15*01	7440	350	2414	0,145	0,07	19,1	24,5
11*12*01	1360	425	2718	0,156	0,08	22,4	32,0
11*11*06	400	431	2718	0,159	0,08	46,25	32,9
11*11*027	98	430	2718	0,158	0,08	86,5	32,7
11*13*02	2210	400	2718	0,147	0,07	27,1	28,4
11*03*31	300	410	2073	0,198	0,09	22,8	38,6
11*12*20	77	400	2073	0,193	0,09	31,3	36,8
12*01*01	217	812	1406	0,578	0,25	228,1	203,7
12*04*01	4575	323	2176	0,148	0,07	21,8	23,1
12*04*04	3540	300	2176	0,138	0,07	15	20,0
12*05*09	49	377	2400	0,157	0,08	40,8	28,5
12*05*15	16	375	2400	0,156	0,08	37,5	28,2
12*03*09	1300	332	2400	0,138	0,07	13,2	22,2

Tableau IV-5 : résultat de calcul de la lame ruisselé (Suit)

Station Hydrométrique	Surface Km2	Pluie P (mm)	Evap.Potent Eo (mm)	Indice d'aridité P/Eo	coefficient d'évaporation α	Lame ruissel. Mesurée	Lame ruissel. calculée
14*06*02	103	670	1326	0,505	0,22	135	149,6
14*06*01	3055	608	1375	0,442	0,20	123	120,6
14*03*01	1105	530	1215	0,436	0,20	70,8	103,9
14*03*02	304	547	1122	0,488	0,22	62,5	118,3
14*05*01	550	735	1357	0,542	0,24	200	174,4
15*01*06	842	528	1040	0,508	0,22	122,8	118,4
15*01*14	190	463	1040	0,445	0,20	100	92,4
15*04*01	605	395	2479	0,159	0,08	23	30,2
15*06*01	105	540	2063	0,262	0,12	114,3	66,2
15*07*02	2350	400	2479	0,161	0,08	18,4	31,0
15*07*03	2960	395	2479	0,159	0,08	40,2	30,2
15*09*01	4050	500	2479	0,202	0,10	51,3	48,0
15*10*01	8420	491	1760	0,279	0,13	73,5	63,9
16*04*01	195	416	1658	0,251	0,12	65,8	49,0
16*04*02	600	510	1658	0,308	0,14	64,4	72,7
16*06*01	170	576	1658	0,347	0,16	71,3	91,8
16*05*04	2650	350	2130	0,164	0,08	23,5	27,6
16*06*14	866	443	1866	0,237	0,11	37,1	49,6
16*05*09	46	489	1658	0,295	0,14	68,5	67,0
16*07*02	1235	463	1658	0,279	0,13	42,5	60,3
B. Benibahdel	1016	510	1658	0,308	0,14	59,4	72,7

La comparaison entre les écoulements calculé et observé montre l'absence total de l'erreur systématique et que dans la majorité des cas l'écart n'est pas significatif.

La relation entre les écoulements calculé et mesuré est très forte, traduit par un coefficient de corrélation de l'ordre de 0.933, ce qui confirme la validité du modèle proposé.

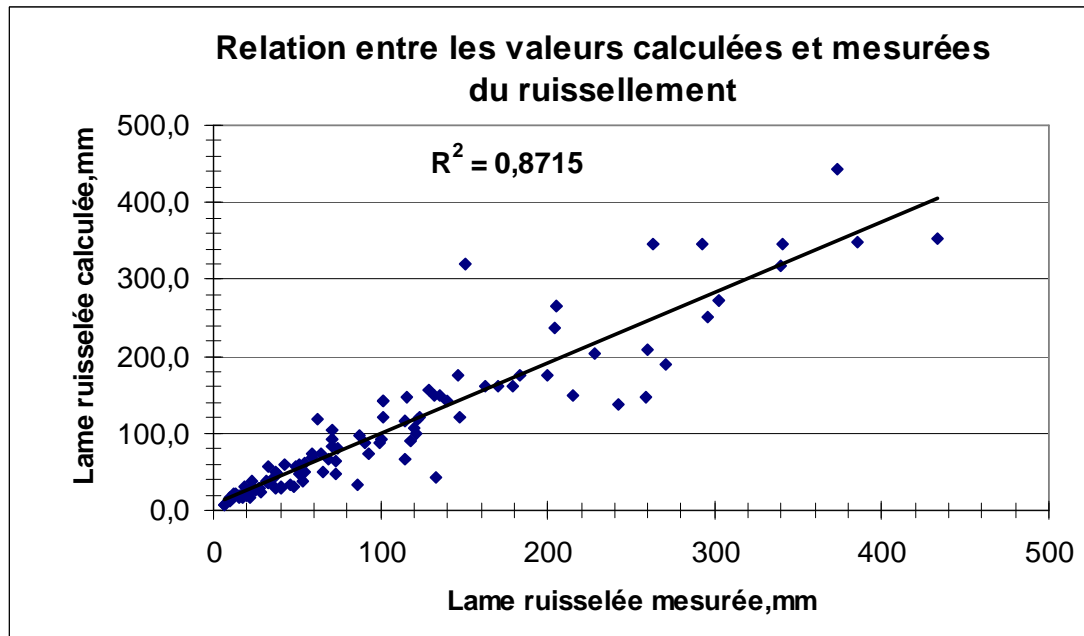


Figure IV-5 : Relation entre les valeurs calculées et mesurées de l'écoulement

L'écart entre les valeurs calculées par (25) et mesurées ne dépasse pas $\pm 25\%$ dans plus de 75 % de l'ensemble de l'échantillon. Figure IV-5

5. Extrapolation du modèle de l'écoulement aux bassins versants dépourvus de données de mesure :

Le calcul de l'écoulement nécessite, la connaissance uniquement de la valeur de la pluviométrie reçue par les bassins versants (P) ainsi que la valeur de l'évaporation potentielle (E_0) mesurée à l'intérieur ou près de ces bassins. La donnée de la pluviométrie (P) est toujours disponible, par contre la donnée de l'évaporation potentielle (E_0), n'est pas toujours mesurée aux niveaux des stations météorologiques.

L'évaporation potentielle est une évaporation maximale possible d'une surface entièrement humide (tapis végétal, sol, étendue d'eau etc.) en présence de conditions climatiques données. En absence de mesure, cette dernière peut être calculée par la formule de BOUTOUTAOU (BOUTOUTAOU et al, 2003).

Pour les différentes zones climatiques de l'Algérie, la valeur de l'évaporation potentielle annuelle est donnée par la relation suivante :

$$E_0 = 157 \cdot \beta \cdot (T + 15) \cdot \left(1 - \frac{H}{100}\right) \quad (26)$$

Ou :

E_0 - Evapotranspiration potentielle annuelle, (mm) ;

T - température moyenne annuelle de l'air, (° C);

H - Humidité relative annuelle de l'air, (%);

β - coefficient correctif propre à chaque station météorologique, variant de **0,73** à **1,49**.

Voir tableau IV-6

Tableau IV-6 : Détermination du coefficient (β)

Station météo.	β	Station météo.	β	Station météo.	β	Station météo.	β
beni-saf	0,86	M'sila	1,16	Tlemcen Z.	1,08	Bechar	0,99
Annaba	1,24	Biskra	1,15	Tlemcen S.	0,91	El Goléa	0,95
Skikda	0,97	Ain Safra	1,07	Blida	0,74	Guelma	0,73
Oran	1,11	El Oued	0,83	Constantine	0,82	Ain amenas	1,2
Dar El Beida	0,74	Touggourt	1,02	Setif	1,38	Timimoun	0,95
Bejaia	0,99	El Kheider	1,27	Batna	1,2	Djanet	0,8
Mostaganem	0,92	Djelfa	0,84	Tebessa	1,15	Adrar	1,17
Meliana	0,74	Ghardaia	0,96	saida	1,49	Tindouf	1,07
Echellif	1	Beni abbas	0,86	Mascara	1	Tamenrasset	0,89
Tlemcen Z.	1,08	Bechar	0,99	Medea	0,74	Tizi-ouzou	0,74
Tlemcen S.	0,91	El Goléa	0,95	Bel Abbes	1,49	Tiaret	1,1
Blida	0,74	Guelma	0,73	BordjBorriridj	1		

* Pour les stations météorologiques ne figurant pas dans le tableau, (β) \approx 1

Avant de commencer le calcul de l'évaporation potentielle par la formule (26) pour les bassins versants dépourvus de cette donnée, il est nécessaire de procéder à sa vérification. Le calcul par cette méthode exige la connaissance de la température et l'humidité moyenne annuelle de l'air. Ces données sont toujours disponibles dans les bulletins et les atlas climatologiques.

La figure IV-6 présente l'évaporation potentielle calculée et observée

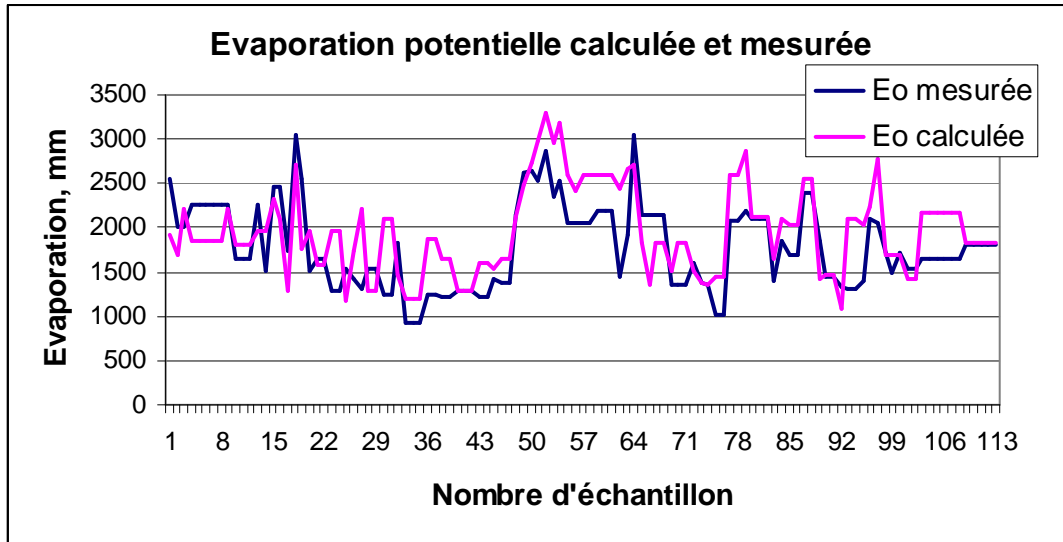


Figure IV-6 : Evaporation potentielle calculée et mesurée

L'écart entre les évaporations potentielles calculée et observée n'est pas significatif. Le coefficient de corrélation entre ces deux évaporations est de l'ordre de 0.7 ce qui prouve la fiabilité de la formule de calcul de cette caractéristique hydrologique. Le détail de calcul de l'évaporation potentielle pour les bassins versants est donné en annexe (Tableau A3)

5-1. Calcul de l'écoulement annuel des bassins non jaugés :

En utilisant le modèle de calcul de l'écoulement proposé (L_R), ainsi que la formule de calcul de l'évaporation potentielle (E_0), représentés successivement par les relations suivantes :

$$L_R = \left[1 - \left(\frac{1}{\text{Exp}(P/E_0)} \right)^{0.5} \right] \cdot P \quad (27)$$

Et

$$E_0 = 157 \cdot \beta \cdot (T + 15) \cdot \left(1 - \frac{H}{100} \right) \quad (26)$$

Il est donc possible de calculer l'écoulement à n'importe quel exutoire d'un bassin versant dépourvu de mesures de ce dernier. Pour cela, il faut avoir les données météorologiques qui sont la température (T) et l'humidité (H) de l'air ainsi que la pluie (P) reçue par ce bassin versant.

Chapitre IV : Traitement des données et Modélisation de l'écoulement des cours d'eau du Nord de l'Algérie

Le résultat de calcul de l'écoulement pour ces bassins versants non jaugés et présenté dans le tableau IV-7

Tableau IV-7 : Calcul de l'écoulement des bassins versants non jaugés

Station	Cours d'eau	Surface S, Km2	Pluie P, mm	Eléments métrologiques				Ecoulement L _R calc.
				T (°C)	H (%)	β	E ₀ calc.	
01 14 07	CHELIF	1 898	450	14,7	57	1,1	2206	43,64
01 15 03	CHELIF	22 580	650	14,7	57	0,74	1484	127,86
01 17 01	CHELIF	23 800	560	17,1	58	0,87	1842	78,99
01 17 02	CHELIF	24 520	540	17,1	58	0,87	1842	73,64
01 20 01	CHELIF	26 410	490	17,1	58	1,05	2223	51,14
01 21 17	FODDA	1 140	600	18,5	65,5	1	1815	91,43
01 22 02	CHELIF	27 820	450	18,5	65,5	1	1815	52,48
01 22 03	CHELIF	27 820	475	19,3	63,5	1	1966	54,06
01 28 06	CHELIF	34 550	450	17,6	74	0,96	1278	72,67
01 36 02	CHELIF	43 700	425	14,8	59	0,92	1765	48,21
02 02 07	ALLALAH	295	600	19,2	63,5	1	1960	85,16
02 03 01	EL HACHEM	215	700	18,5	65,5	0,87	1579	139,20
0 207	/		800	19,2	63,5	0,74	1450	192,83
0 306	/		1100	17,9	77	1	1188	407,64
0 308	/		1000	16,75	66	0,97	1644	262,24
0 310	/		750	18,4	74,5	0,97	1297	188,31
03 16 01	KEBIR EST	680	750	18,8	73	1,12	1605	156,29
03 16 05	ZITOUN	160	750	18,8	73	1,12	1605	156,29
04 02 20	MELLAH	712,1	425	18,7	72	1,11	1644	51,52
05 03 01	EL HAM	2 670	250	16,85	33,25	1,16	3872	7,94
06 18 11	MELLEGU	2 098	275	15,75	50	1	2414	15,23
06 23 08	CHERIA	785	300	15,75	50	1,075	2595	16,85
0 628	/		250	15,75	50	1,075	2595	11,76
0 81002	EN NACEUR	1730	300	15,2	43	1	2703	16,20
09 04 16	DJEMAA	145	357	15,75	40	1	2897	21,34
10 05 01	BOU MERZOUG	1 630	410	15,8	65	0,82	1388	56,30
11 01 01	MEKERRA	955	300	17,2	53	1,49	3540	12,45
11 02 01	MEKERRA	1 890	360	17,2	53	1,49	3540	17,85
11 03 01	MEKERRA	3 000	400	16,7	65	1,49	2595	29,67
11 03 02	SARNO	933	425	16,7	65	1,49	2595	33,41
11 03 03	SARNO	1 744	425	16,95	54	1,49	3438	25,47
11 05 06	MELRIR	746	425	16,95	54	1,49	3438	25,47
11 10 03	HOUNET	257	350	16,95	54	1,245	2873	20,68
11 14 03	FEKANE	1 160	420	16,7	55	1,49	3337	25,62

*Chapitre IV : Traitement des données et Modélisation de l'écoulement des cours d'eau
du Nord de l'Algérie*

11 14 12	FROHA	132	400	16,7	55	1,49	3337	23,27
11 14 25	MAOUSSA	79,2	400	16,7	55	1,49	3337	23,27
11 15 05	CANAL USINE	7 685	425	17,2	58	1	2123	40,48
11 15 18	EL HAMMAM	7 950	425	17,2	58	1	2123	40,48
14 02 02	CHERF	1 710	450	17	61	0,73	1430	65,50
15 02 04	ZAIANE	800	425	16,7	59	1	2041	42,03
15 07 01	BOU CELLAM	1 800	520	16,9	66	0,995	1694	73,98
16 04 26	TAFNA	1 268	475	17,2	53	0,91	2162	49,41
16 05 01	TAFNA	4 000	487	17,2	53	0,91	2162	51,87
16 07 04	SEKKAK	320	516	17,6	67	1,08	1824	68,06
16 08 01	TAFNA	6 900	375	17,6	67	1,08	1824	36,63

Conclusion :

Le présent chapitre a pour objectif de traiter l'information en utilisant l'outil statistique. Le test d'homogénéité de WILCOXON a été utilisé pour détecter les anomalies qui peuvent être incluses dans les données de mesures de ces séries. Le choix des longueurs des séries est basé sur l'utilisation de la méthode des écarts à la moyenne en fonction du temps. Selon cette méthode la durée la plus représentative détectée est celle qui se situe entre 1945 – 1995. Cette période inclut plusieurs groupes d'années humides et sèches. Les séries courtes de mesures de l'écoulement à notre possession ont été extrapolées par les méthodes de régressions.

Les données de mesure des éléments météorologiques telles que la température et l'humidité de l'air ainsi que la pluviométrie reçue par les bassins versants associées aux l'écoulements mesurés aux exutoires de ces bassins nous ont permis d'établir un modèle de calcul de l'écoulement.

Vérifié sur un très grand nombre de bassins versants, le modèle du calcul de l'écoulement donne des valeurs proches à celles mesurés.

Le modèle établi a été utilisé pour reconstituer les valeurs de l'écoulement des bassins versants non jaugés.

Cartographie des Ecoulements des cours d'eau

Introduction :

La gestion de l'eau s'organise à plusieurs niveaux d'espace et implique des partenaires avec des problématiques et des priorités différentes. La modélisation de l'impact des fluctuations des paramètres de gestion de chaque aménagement sur le comportement hydrologique d'un bassin versant par une approche traditionnelle d'estimation des paramètres hydrologiques est très difficile, voire impossible. L'utilisation des outils modernes d'aide à la gestion, tels que les Systèmes d'Information Géographique (SIG), permet de contourner ces difficultés.

Les SIG permettent de construire des modèles descriptifs de comportement hydrologique de bassins versants susceptibles de se prêter à l'utilisation de plusieurs modèles hydrologiques, dans la mesure où ces derniers sont compatibles avec la partition de l'espace retenue. Dans une optique d'aménagement ou de gestion des eaux et de ses usages, une représentation de l'espace en bassins versants élémentaires constitue une méthode élégante de résolution des équations de bilan d'eau à divers niveaux d'agrégation, conduisant à la modélisation du comportement global du bassin versant tout entier. Une telle approche offre une souplesse évidente, permettant d'intégrer la variabilité spatiale et temporelle des termes du bilan d'eau.

Sur la base de cette partition de l'espace, il est alors possible de dégager les données pertinentes de gestion, de les décrire et de les organiser dans un SIG de manière à leur donner une certaine ouverture vis-à-vis de l'utilisation des modèles hydrologiques d'une part et de l'intégration des différentes perceptions des acteurs d'autre part. Cette description du territoire laisse une porte ouverte à d'éventuel enrichissement de la base de données géographiques par des couches d'information non initialement intégrées.

1. Modélisation spatiale des Ressources en Eau et Systèmes d'Information Géographique :

Les Systèmes d'Information Géographique ou SIG permettent de représenter les relations spatiales existantes entre les données à caractère géographique. Ce paragraphe traite de l'apport de ces outils à la gestion des ressources en eau et à l'hydrologie.

Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) connaissent un développement très important depuis la fin des années 1980. Ils gèrent l'information à caractère géographique, c'est-à-dire l'information localisée sur la surface terrestre. En offrant une représentation des caractéristiques spatiales des objets et de leurs relations, ils sont d'un intérêt évident pour la modélisation des bassins versants.

Ces SIG doivent être couplés à des modèles de simulation pour prendre en compte les évolutions dans le temps. Les modèles hydrologiques globaux ou distribués liés à un SIG permettent non seulement de prédire les débits mais aussi d'améliorer la connaissance des phénomènes hydrologiques sur un bassin versant. Cette amélioration étant bien sûr fonction de la précision et de l'incertitude des données utilisées par ces modèles.

2. Modélisation spatio-temporelle des écoulements par les modèles hydrologiques :

Les modèles hydrologiques sont des représentations mathématiques de l'écoulement de l'eau et de ses éléments dissouts sur ou sous une partie de la surface terrestre [Maidment, 1993].

Les modèles hydrologiques tentent de représenter l'évolution dans le temps et, pour certains, dans l'espace d'un certain nombre de composantes qui contrôlent l'écoulement, telles que : le climat, le sol ou la végétation [El Khadi A, 1989].

Les modèles hydrologiques peuvent avoir plusieurs objectifs :

- ❖ connaître le fonctionnement d'un bassin versant,
- ❖ prévoir des débits en fonction de scénarios météorologiques,
- ❖ prévoir des débits en fonction de scénarios d'aménagement,
- ❖ simuler des débits sur des cours d'eau non jaugés,

3. Cartographie des Ecoulements du Nord de l'Algérie:

A l'échelle de toute l'Algérie du Nord, les écoulements se caractérisent par leur forte variabilité spatio-temporelle et constituent le facteur le plus fortement explicatif du régime hydrologique des cours d'eau.

Connaissant à la fois les débits observés aux points de mesure (information connue de façon discrète) et le relief (connu de façon continu à travers le Modèle Numérique de Terrain), il devient possible de valoriser l'information hydrométrique à l'aide des méthodes statistiques.

La carte d'écoulements moyens annuelles médianes du Nord de l'Algérie que nous réalisons à l'aide de ces techniques constitue, à la base, des grilles d'information, caractérisées par le pas du maillage. Il devient aisé, dans une dernière étape, d'estimer les lames d'eau moyennes, ramenées aux surfaces des bassins jaugés.

La cartographie automatique d'écoulement algériennes, éprouvée à l'échelle annuelle moyenne, est susceptible d'être étendue au pas de temps d'une année particulière, de même qu'à l'échelle d'un mois d'une année donnée ou encore à l'échelle journalière (débit journalières extrêmes décennales).

Les hauteurs d'eau moyennes de précipitations estimées aux bassins, constituent un terme essentiel dans le calcul des bilans d'écoulement. Elles représentent, également, une donnée d'entrée importante dans la modélisation hydrologique des bassins.

3-1. Rappel : la cartographie des caractéristiques hydrologiques (pluviométrie et écoulement) en Algérie :

Les travaux de cartographie d'écoulement et des précipitations algériennes se basaient sur l'interpolation manuelle du contour des isohyètes, à partir des données mesurées aux stations, en s'appuyant sur un fond hypsométrique :

- La carte pluviométrique de (Seltzer P. 1946) a été établie à l'échelle du 1/1000 000, d'après les moyennes brutes de 25 années climatiques, de septembre 1913 à août 1938 ;
- La carte au 1/500 000 de (Gaussen H. 1948) couvre la période 1913-1947 ;
- Enfin, la carte au 1/500 000 de (Chaumont M. et Paquin C. 1971) représente les précipitations annuelles moyennes ramenées à une période de 50 ans (1913-1963).

Il est indéniable que ces cartes, faisant largement appel à l'expérience et à la connaissance du terrain, restent des documents de référence pour l'écoulement au Nord de l'Algérie.

Les méthodes classiques de cartographie d'écoulement cèdent aujourd'hui leur place à la cartographie assistée par ordinateur. Les moyens de calcul et les outils, actuellement disponibles, permettent le traitement de considérables masses de données d'observation ainsi que leur représentation de façon objective et assez rapide.

Pour substituer à l'élaboration manuelle de la carte de l'écoulement une méthode automatique et opérationnelle, il était nécessaire de rationaliser les différentes étapes de la cartographie (Benichou P. et Lebreton O., 1987). La prise en compte quantitative du « paysage » topographique environnant chaque point de mesure permet de reconstituer l'ensemble du champ d'écoulement.

C'est dans le cadre de cette nouvelle « ère cartographique » que la représentation du champ d'écoulement algérien a fait l'objet d'application de méthodes d'analyse des données, de géostatistique et de cartographie automatique (Laborde J-P., 1997). La carte de l'écoulement de l'Algérie du Nord, représente les moyennes de 50 ans (du 1^{er} septembre 1945 au 31 août 1995).

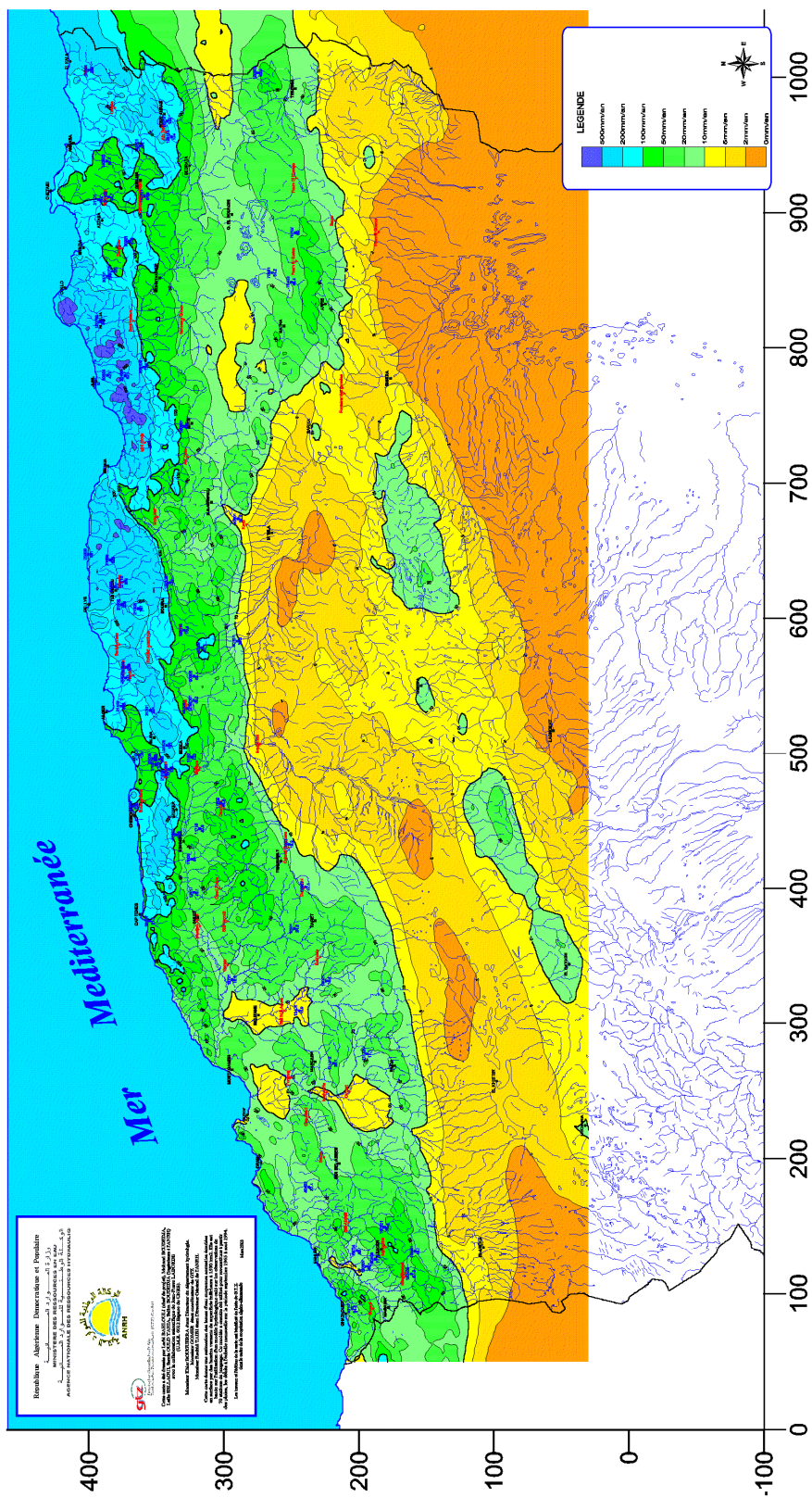
Par ailleurs, la tentative de cartographier les pluies d'une année particulière sur l'Algérie du Nord a été entreprise, en partant du calcul et de l'interpolation, sur les années observées, du champ des variables réduites u de Gauss (Touazi M. et Laborde J-P., 2000, et thèse Touazi M., 2001).

Chapitre V : Cartographie de l'écoulement du Nord de l'Algérie

Une autre approche a été développée très récemment pour cartographier les pluies à l'échelle mensuelle, plus précisément à l'échelle d'un mois donné d'une année donnée (Assaba M. et Laborde J-P., 2000 ; Laborde J-P. et al., 2003).

Par ailleurs, l'étude d'écoulements moyens annuels extrêmes de fréquence décennale, ayant déjà fait l'objet de travaux sur la région algéroise (Aissani B. et Laborde J-P., 1983), a été poursuivie à l'échelle de l'ensemble de l'Algérie du Nord. Inspirée du travail de (Mouhous N. mémoire de D.E.A., 1997), une cartographie de l'écoulement Carte V-1.

ÉCOULEMENTS MOYENS ANNUELS SUR LE NORD DE L'ALGERIE



Carte V-1 : Carte d'écoulements moyens annuels sur le Nord de L'Algérie (ANRH)

4. Calcul de l'écoulement en fonction des paramètres du relief :

La moyenne des écoulements annuelles est estimée en fonction de la latitude (Y: coordonnée géographique) et de la longitude (X: coordonnée géographique).

Pour effectuer le krigeage (avec le logiciel Vertical Mapper extension en SIG), qui s'appuie sur les caractéristiques structurales de l'échantillon,

Le krigeage consiste à estimer une variable en un point (krigeage ponctuel) ou la moyenne d'une variable sur un domaine (krigeage zonal) à partir d'échantillons d'implantation connue (Meylan P., 1986).

5. Analyse des écoulements de cours d'eau jaugés :

La ressource exploitable est liée aux volumes qui peuvent être effectivement maîtrisés et utilisés au regard de la demande en qualité.

La ressource en eau superficielle est une variable temporelle. Les débits variant largement, son utilisation doit s'attacher à estimer les fréquences de débit afin de quantifier la fraction pérenne, d'estimer les conséquences de ces variations de débit sur les milieux aquatiques et afin de gérer ou même de dimensionner les ouvrages d'aménagement (barrages, digues).

La détermination des causes de variation spatio-temporelle de la ressource en eau peut améliorer la gestion de la ressource, notamment à l'étiage.

6. Vertical Mapper :

Vertical Mapper est un logiciel complémentaire important de MapInfo. Les principaux apports de Vertical Mapper concernent :

- Mise à disposition de nouvelles techniques d'analyse des informations localisées qui varient de manière continue dans l'espace,
- Capacité de comparaison et d'analyse sur de multiples couches de données,
- Des visualisations originales.

Outre les types de données connues sous MapInfo que sont les Points, les Polygones et les Polygones, Vertical Mapper introduit un nouveau type le grid file mieux adapté pour représenter des données qui varient de manière continue dans l'espace comme l'ensoleillement, la pollution, la température ou l'altitude.

6-1. Interpolation et Modélisation :

6-1.1. Les méthodes d'interpolation :

Elles permettent d'obtenir une grille résultante qui représente la même variable que la table sous-jacente, caractérisée par la même unité.

Vertical Mapper met 4 méthodes d'interpolation à disposition:

- La méthode Rectangulaire interpolation
- La méthode Inverse distance weighting
- La méthode Triangulation with smoothing
- La méthode de Kriging

A. Interpolation Rectangulaire :

Cette technique consiste à associer un cercle à chaque nœud de la grille. Ce cercle est ensuite divisé en 4 quadrants, à l'intérieur desquels, les points le plus proche est sélectionné. Les points sélectionnés vont donc servir à affecter une valeur au nœud de la grille (voir figureV-1).

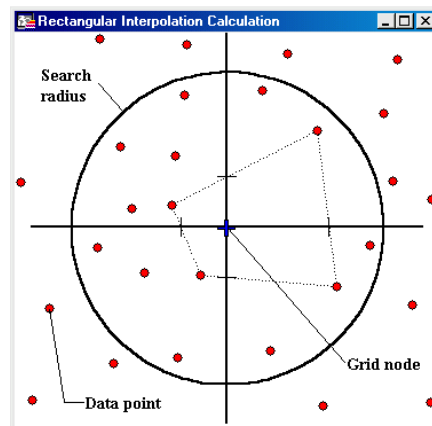


Figure V-1 : Schéma Interpolation Rectangulaire

B. Inverse distance weighting :

Cette méthode va nous permettre de balayer tout les points de données et de les admettre comme des nœuds qui seront pondérés en fonction d'une donnée : chaque points de données (data point) vont devenir des nœuds pondérés (grid node) ou va s'effectuer une recherche des points de données environnants (figure V-2).

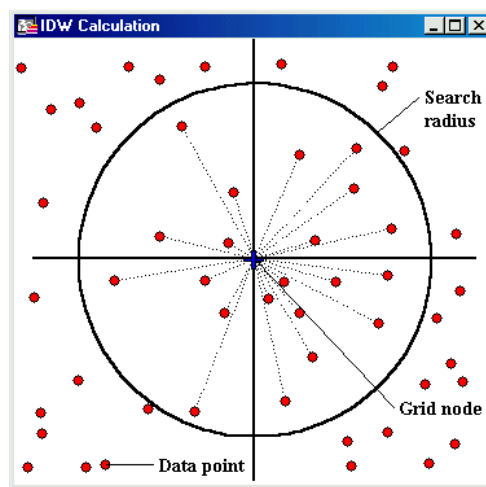


Figure V-2: Schéma Inverse Distance Weighting

L'estimation du grid node va se faire par rapport aux points compris dans le rayon de recherche, les points les plus proches du grid node vont avoir plus d'influence que les points les plus éloignés.

C. Triangulation with smoothing :

Cette méthode se rapproche de la méthode Natural Neighbors qui interpole à partir des points et non des grid node. Dans le cas d'une dispersion aléatoire des points, qui est non homogène spatialement, il semble que les méthodes partant des points de données soient plus en phase avec les réalités terrain.

Sur cette figure V-3, nous pouvons, comparer la méthode d'interpolation aux valeurs des points de relevés.

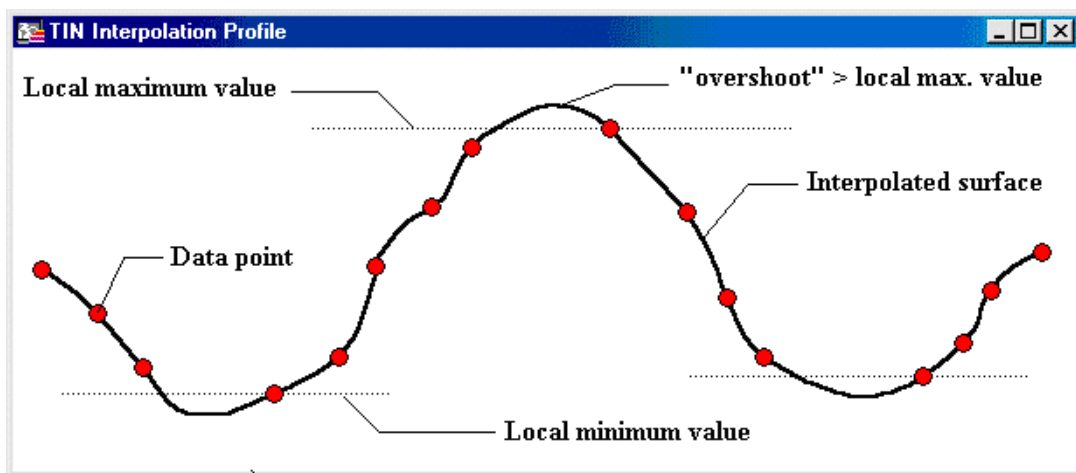


Figure V-3: Schéma statistique Interpolation

Comme nous pouvons le voir sur cette figureV-3, il y a des overshoot, c'est à dire des valeurs inférieures aux bornes les plus basses ou supérieures aux bornes les plus hautes.

Cet algorithme est dans une optique modélisation de terrain, il est donc logique qu'il interpole les données de cette manière.

D. Kriging:

L'interpolation kriging fonctionne de manière similaire à la fonction Inverse distance weighting (Interpolation inversement proportionnelle à la distance).

Le degré d'influence de chaque point varie en fonction de leurs distances aux grid node, la distance maximale étant définie par un rayon de recherche (search radius).

Sur la figure ci-dessous nous pouvons voir qu'il est possible d'ajuster le degré d'influence en par rapport fonction types. Par exemple ici, le point A aura, pour une distance au grid node équivalente au point B, plus d'influence que ce dernier à cause de l'exposant choisi.

Il est également possible de définir le nombre minimal et maximal de points de données à prendre en compte. Cette méthode d'interpolation prend également en compte l'orientation des points des données par rapport au grid node et c'est en cela que le kriging marque une grande différence avec l'interpolation Inverse Distance Weighting (Interpolation inversement proportionnelle à la distance).

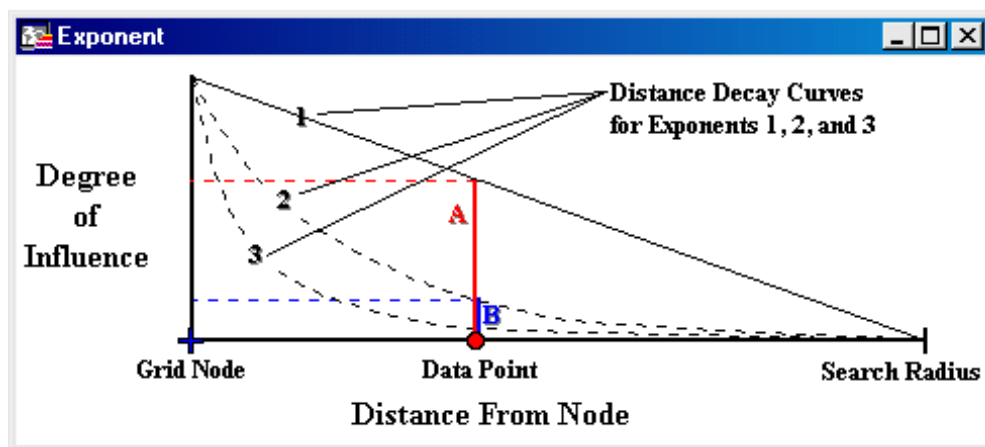


Figure V-4: Schéma de fonctionnement de la méthode kriging

Nous avons utilisés la méthode de krigeage dans cette étude par l'utilisation de fichier (.xls) où il sorte un modèle de l'écoulement pour le nord de l'Algérie ; l'outil utilisé c'est le logiciel vertical mapper extension sur MapInfo le fiche qu'est à enregistrer en format BDF4 sera ouvert sur la format Tableau (.tab) dans le logiciel MapInfo on modifions la structure de cette table. L'interpolation de ces sous fenêtre sur le vertical mapper nous permet le kriging de ce dernier.

7. Création de courbes de niveau à partir d'un grid :

Une fonction de Vertical Mapper génère des courbes de niveau ou des zones de niveau, à des altitudes caractéristiques, à partir d'un grid.

C'est un processus qui transforme l'information maillée en vecteur ; tout en la généralisant.

8. Courbes de niveau à partir d'une grille numérique :

Il est par exemple possible de construire des isolignes à partir d'un grid numérique.

Pour cela il faut utiliser l'outil du Grid Manager.

Ce choix ouvre une fenêtre de configuration de la création des isolignes.

Les boutons en haut à droite. Polygones et Polygones définissent ce que va produire Vertical Mapper. Soit des lignes soit des plages. Vertical Mapper distingue la valeur minimale et maximale du grid et propose 10 intervalles par défaut.

Il est bien sûr possible soit de définir un intervalle fixe donné et laisser Vertical Mapper déterminer le nombre de classes, soit de modifier le nombre de classes de valeurs de manière à laisser Vertical Mapper déterminer la valeur de l'intervalle.

Par défaut Vertical Mapper propose une sémiologie de trames. Il est possible de modifier, chaque sémiologie (couleur, trame, valeur) en cliquant sur le rectangle coloré la représentant et d'enregistrer un choix préétabli avec le bouton « Save ».

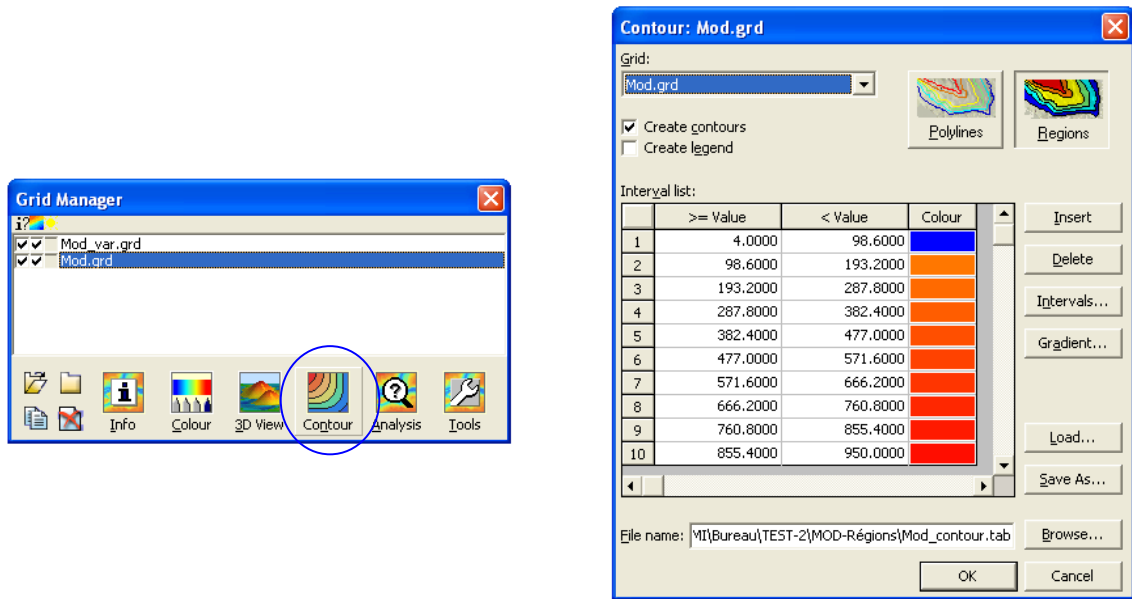
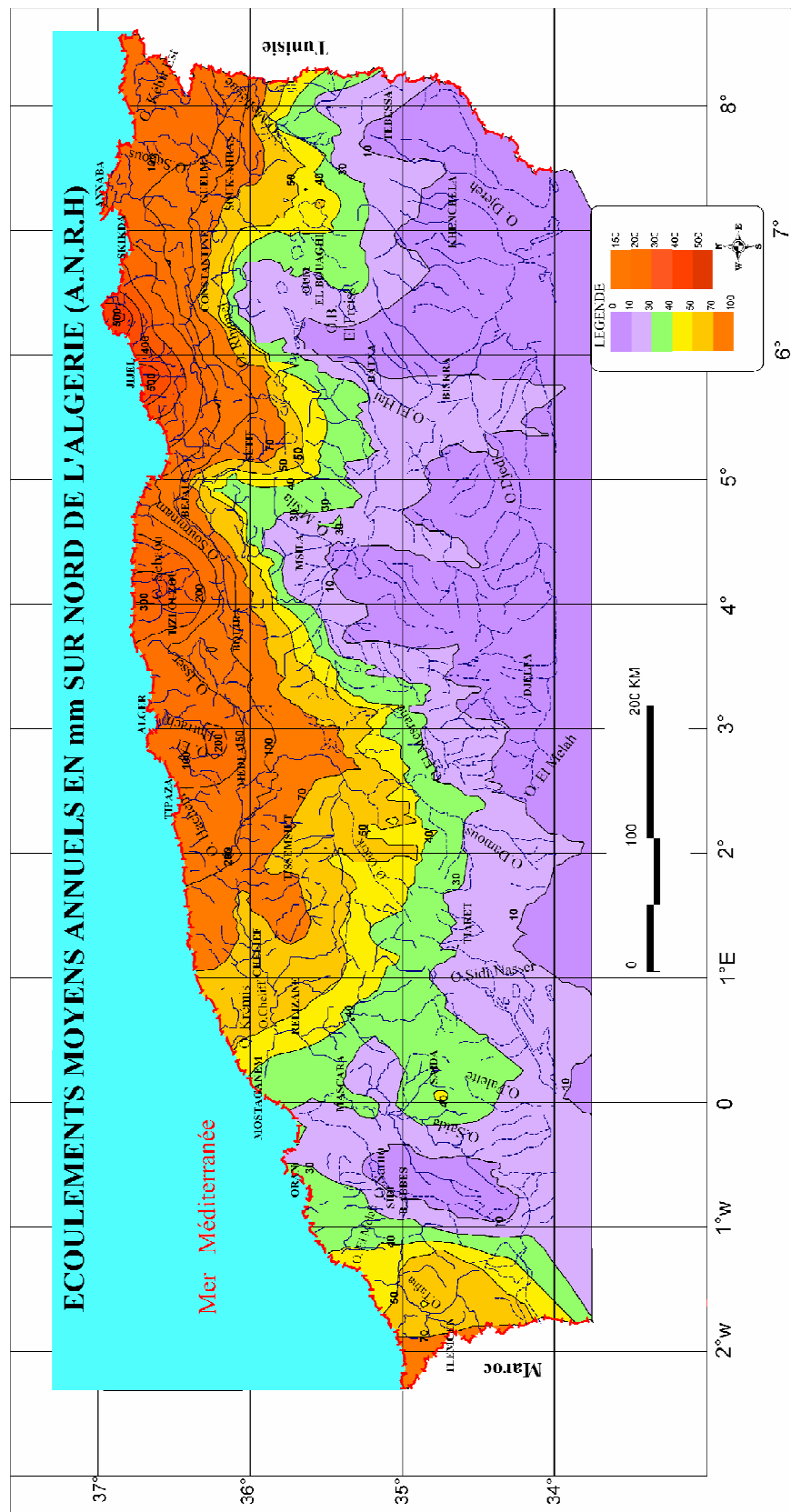


Figure V-5 : Exemple de traçage Courbes de niveau

Enfin La carte V-2 et carte V-3 représente un extrait de la carte finale d'écoulements moyens annuelles «normales » de la période trentenaire 1945-1995 concernant la région du Nord de l'Algérie.



CARTE V-2 : ECOULEMENTS MOYENS ANNUELS EN mm SUR LE NORD DE L'ALGERIE

Conclusion :

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

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

Une gestion et un aménagement intégré d'un bassin versant ne peuvent plus être envisagés sans un SIG qui permet à la fois une représentation des phénomènes spatiaux mais aussi une structure de mise à jour pour garantir une pérennité aux données.

CONCLUSION GENERALE

Le présent travail avait principalement deux objectifs:

- La modélisation de l'écoulement moyen annuel au Nord de l'Algérie.
- La cartographie automatique d'écoulements moyens annuels de l'Algérie du Nord).

Le Nord de l'Algérie est la région la plus arrosée du pays, les contrastes géographiques y sont des plus forts et la marque de la semi-aridité malgré tout dominante. C'est un cadre d'étude original et représentatif de la variété de l'hydrologie algérienne et maghrébine de manière plus générale.

La partie nord de l'Algérie se caractérise par de fortes disparités physiques et climatiques, héritées de l'histoire géologique et de l'évolution paléoclimatologique de la région. La zonalité latitudinale du climat et l'ordonnement des éléments du relief (Littoral - Tell - Hautes Plaines - Atlas Saharien - Bas Sahara) sont déterminants dans l'inégale répartition spatiale de l'écoulement des bassins. L'irrégularité du climat méditerranéen agit, du reste, sur la grande variabilité de ces flux dans le temps.

L'analyse régionale des apports des cours d'eau a été menée sur la base d'une exploitation rationnelle des séries hydrométriques disponibles au niveau de plus d'une centaine de bassins jaugés, plus ou moins emboîtées et présentant une large gamme de superficies drainées (16 – 43 750 km²).

Trop peu exploré, ce thème de la cartographie de l'écoulement ouvre des voies nouvelles en matière de valorisation des bases d'information disponibles (couvrant initialement de façon très discontinue l'espace) et mérite d'être poursuivi et affiné. Il apporte des solutions pratiques pour l'estimation des ressources en eau de surface d'un bassin : à l'aide de vertical mapper, connaissant les limites digitalisées de l'unité hydrologique considérée.

Un des objectifs de ce travail était d'établir une modélisation hydrologique « Ecoulement des cours d'eau », pour l'estimation des apports en eau de surface au Nord de Algérie. Le choix du modèle avait pour critères: simplicité, fiabilité et faible nombre de paramètres qui sont standards et facilement accessibles. Le modèle apportait des réponses satisfaisantes dans les diverses conditions géographiques et climatiques du Nord

de l'Algérie. Quelques tests préalables avaient également montré que ce modèle était tout à fait adapté au contexte algérien.

Les résultats de la modélisation de l'écoulement sont tout à fait satisfaisants pour les bassins versant de la partie Nord de l'Algérie. Par contre, dans les zones semi-arides (et surtout arides), les pluies et l'humidité de l'air sont faibles, la température est élevée, l'indice d'aridité est faible (tend vers zéro), le ruissellement dans ces zones suit la tendance de l'indice d'aridité, et tend lui aussi vers zéro. Cette dégradation apparente est peut-être due en partie à la qualité des données (réseau hydrométrique moins dense). Cependant nous pensons qu'il s'agit essentiellement d'un problème d'échelle de temps et que dans le sud les écoulements sont essentiellement liés aux crues que l'on ne peut étudier qu'à une échelle journalière ou plus fine.

Nos résultats sont encourageants mais leur manipulation n'est pas toujours très facile (Vertical mapper n'est pas un logiciel de très grande diffusion), Il reste donc à valoriser notre travail en l'intégrant dans un logiciel de grande diffusion du type SIG ou dans des logiciels hydrologiques commercialisés.

Le modèle de calcul de l'écoulement annuel (L_R) proposé pour les différentes régions climatiques et géographiques du nord de l'Algérie proposée est basée sur l'utilisation des éléments météorologiques standards : température (T, °C), humidité (H, %) et pluviométrie (P, mm), ainsi que l'équation du bilan hydrologique du bassin versant.

Le modèle proposée qui est basée sur la loi physique et reflétant la nature de liaison de l'écoulement, de la pluviométrie, et de l'évaporation à l'usage des aménagistes et des planificateurs, permet de faciliter leur tâche, d'éviter les formules empiriques souvent sollicitées à défaut de mesures de l'écoulement et conduisant à des erreurs aberrantes.

Le modèle peut servir de norme de calcul de l'écoulement annuel des cours d'eau du Nord de l'Algérie pour la planification et l'utilisation rationnelle des ressources en eau.

Nous avons certainement réalisé un bout de chemin dans la connaissance des ressources en eaux, mais ce chemin sera encore long à parcourir et bien des recherches seront encore nécessaires pour gérer au mieux nos ressources en eaux.

Recommandation :

- La mise en place d'un réseau hydrométrique adéquat, dimensionné sur la base de calcul;
- Ouvrir des voies nouvelles en matière de valorisation des bases d'information disponibles (couvrant initialement de façon très discontinue l'espace) et mérite d'être poursuivi et affiné ;
- Etablir une modélisation hydrologique « Ecoulement des cours d'eau », pour l'estimation des apports en eau de surface au Nord de Algérie ;
- Le modèle établi a été utilisé pour reconstituer les valeurs de l'écoulement des bassins versants non jaugés.