

***Bilan hydrologique et ressources en eau de surface
du bassin Cheliff-Zahrez***

Presentée par ; Mr MEHAIGUENE MADJID

Pour l'obtention du diplôme de Magister en Aménagement hydraulique

Devant le jury composé de ;

Saad Hammoudi

président

Meddi Mohammed

Directeur de thèse

Remaoun Mohamed

Examineur

Remini Boualem

Examineur

PREAMBULE

INTRODUCTION 10

I.	CARACTERISTIQUES MORPHOMETRIQUES DE LA REGION.....	16
I.1.	SUPERFICIE, ALTITUDE ET FORMES DES UNITES HYDROLOGIQUES	16
I.1.1.	ALTITUDE MOYENNE.....	18
I.1.2.	LA FORME DES BASSINS	21
I.1.3.	RECTANGLE EQUIVALENT	23
I.2.	INDICE DE PENTE ET RELIEF	24
I.3.	RESEAU HYDROGRAPHIQUE.....	28
I.3.1.	DESCRIPTION DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE	28
I.3.2.	DENSITE DE DRAINAGE.....	31
I.3.3.	PROFIL EN LONG.....	33
II.	LES FACTEURS CLIMATIQUES ET LEUR VARIABILITE	36
II.1.	PLUVIOMETRIE	36
II.1.1.	ACQUISITION DE DONNEES ET CHOIX DE LA PERIODE DE REFERENCE.....	36
II.1.2.	CARACTERISTIQUES DU RESEAU PLUVIOMETRIQUE	37
II.1.3.	REPARTITION GEOGRAPHIQUE DES PRECIPITATIONS	39
II.1.4.	REPARTITION DES PRECIPITATIONS FREQUENTIELLES	42
II.1.5.	VARIATIONS SAISONNIERES DES PRECIPITATIONS	43
II.1.6.	LAME D'EAU PRECIPITEE PAR SOUS BASSIN	46
II.2.	LES FACTEURS THERMIQUES, PARAMETRES ESSENTIELS DU DEFICIT D'ECOULEMENT ...	48
II.2.1.	TEMPERATURE	48
II.2.1.1.	REPARTITION GEOGRAPHIQUE DES TEMPERATURES.....	48
II.2.1.2.	VARIABILITE DES TEMPERATURES MENSUELLES	49
II.2.2.	EVAPOTRANSPIRATION.....	51
III.	L'EQUIPEMENT HYDROMETRIQUE DU BASSIN VERSANT: LA CRITIQUE ET L'HOMOGENEISATION DES DONNEES	57
III.1.	L'EQUIPEMENT HYDROMETRIQUE	58
III.1.1.	APERÇU HISTORIQUE	58
III.1.2.	LE RESEAU HYDROMETRIQUE ACTUEL ET SES LACUNES.....	58
III.1.2.1.	TECHNIQUES DE MESURES	59
III.2.	LA CRITIQUE DES DONNEES HYDROLOGIQUES.....	61
III.3.	L'HOMOGENEISATION DES SERIES DE DEBITS.....	61
IV.	BILAN HYDROLOGIQUE ET DISPONIBILITE EN EAU DE SURFACE	66
IV.1.	LE CHOIX DE L'ANNEE HYDROLOGIQUE	66
IV.2.	LES VARIATIONS SPATIALES DE L'ECOULEMENT MOYEN ANNUEL.....	66
IV.2.1.	LES MODULES ABSOLUS ET SPECIFIQUES	66
IV.2.2.	LE BILAN HYDROLOGIQUE ET DEFICIT ANNUEL D'ECOULEMENT	70
IV.2.2.1.	LE BILAN HYDROLOGIQUE ET SES NUANCES GEOGRAPHIQUES.....	70
IV.2.2.2.	LE DEFICIT ANNUEL DE L'ECOULEMENT. SA CORRELATION AVEC LES HAUTEURS D'EAU PRECIPITEES.....	72
IV.3.	ESSAI CARTOGRAPHIQUE DE L'ECOULEMENT MOYEN ANNUEL	74
IV.4.	L'IRRREGULARITE INTERANNUELLE DES MODULES ET LEUR REPARTITION STATISTIQUE ...	78
IV.4.1.	L'HYDRAULICITE ET LA VARIABILITE INTERANNUELLE DES DEBITS.....	78
IV.4.1.1.	L'HYDRAULICITE	78
IV.4.1.2.	LA VARIABILITE INTERANNUELLE DES MODULES.....	87

IV.4.2.	REPARTITION FREQUENTIELLE DES MODULES.	87
	AJUSTEMENT A UNE LOI LOG - NORMALE	87
IV.4.3.	LES RESSOURCES ANNUELLES EN EAU DE SURFACE.....	91

V.	REGIMES FLUVIAUX ET VARIATIONS SAISONNIERES DES RESSOURCES EN EAU DE SURFACE	95
V.1.	LES REGIMES SAISONNIERS ET LES COEFFICIENTS MENSUELS DE DEBITS.....	95
V.1.1.	LES NUANCES GEOGRAPHIQUES DES REGIMES	96
V.1.2.	DES REGIMES SAISONNIERS A FORTE VARIABILITE TEMPORELLE.....	99
V.2.	LES DISPONIBILITES SAISONNIERES EN EAU DE SURFACE.....	101

VI.	DETECTION DES MODIFICATIONS DE L'ECOULEMENT FLUVIAL AU MOYEN DE L'INDICE DE DEBIT DE BASE.....	104
VI.1.	INTRODUCTION	105
VI.2.	POSITION DU PROBLEME	106
VI.3.	L'INDICE D'ECOULEMENT DE BASE (IEB)	106

CONCLUSION.....	140
------------------------	------------

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

Liste des tableaux

Tableau 1: Indices de compacité par sous bassin versant	21
Tableau 2: Longueur équivalente et largeur équivalente par sous bassin versant	23
Tableau 3: Indice de pentes globales et classe de relief.	25
Tableau 4: Caractéristiques morphométriques des bassins versants de la région d'étude.	27
Tableau 5: Longueur des oueds permanents et temporaires par bassin versant.	29
Tableau 6: Densité de drainage par sous bassin versant.....	31
Tableau 7: Inventaire du réseau pluviométrique.	37
Tableau 8: Répartition des pluies fréquentielles.	42
Tableau 9: Précipitations mensuelles dans les bassins de la région d'étude.	43
Tableau 10: Distribution saisonnière des précipitations (moyenne des postes pluviométriques).	44
Tableau 11: Lames d'eau moyennes annuelles précipitées.	46
Tableau 12: Températures moyennes mensuelles et annuelles (C°).	49
Tableau 13: Evapotranspiration potentielles moyennes mensuelles et annuelles (mm).	51
Tableau 14: Inventaire des stations de mesure	58
Tableau 15: Caractéristiques des stations hydrométriques	60
Tableau 16: variations d'Amont en Aval des modules absolus et spécifiques dans l'Oued Cheliff. (Débits influencés par les prélèvements et les rejets)	67
Tableau 17: Variations des débits absolus et spécifiques dans le bassin -versant Cheliff-Zahrez.....	69
Tableau 18: Bilans moyens annuels de l'écoulement. (1968 - 2001)	71
Tableau 19: Valeurs du déficit et de l'indice d'écoulement extrapolées en fonction des précipitations.	74
Tableau 20: Résidus des débits spécifiques obtenus après interpolation.....	77
Tableau 21: Valeurs de l'hydraulicité aux différentes stations de l'Amont à l'Aval d'Oued Cheliff (1968 à 2001).	86
Tableau 22: Débit moyens annuels (m ³ /s) et durée de récurrence de la station de SIDI BEL ATTAR.....	89
Tableau 23: Débits moyens annuels (m ³ /s) et durée de récurrence (Années) de différentes stations du bassin Cheliff - Zahrez.	90
Tableau 24: Ecoulement annuel moyen dans la région hydrographique Cheliff -Zahrez.....	92
Tableau 25: Variabilité des débits annuels et mensuels dans la région d'étude	99
Tableau 26: Disponibilités mensuelles moyennes et extrêmes en eau de surface à l'Amont de Sidi Bel Attar (1968 - 2001).	101
Tableau 27: Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base en aux différentes stations du bassin Haut et du Moyen Cheliff.	117
Tableau 28: Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base en aux différentes stations du bassin Bas Cheliff et de la Mina.	126
Tableau 29: Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base en aux différentes stations du bassin Amont Boughzoul.....	131
Tableau 30: Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base en aux différentes stations du bassin Côtier.	134
Tableau 31: Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base en aux différentes stations du cours d'eau principal (Cheliff).	137

Liste des figures

Figure 1: Bassin hydrographique Cheliff-Zahrez.	14
Figure 2: Sous régions du bassin hydrographique Cheliff-Zahrez.....	15
Figure 3: Carte des sous bassins versants	17
Figure 4: Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques du bassin Cheliff Amont-Boughzoul	19
Figure 5: Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques du bassin Cheliff Aval-Boughzoul	19
Figure 6: Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques du bassin Zahrez.	20
Figure 7: Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques du bassin Côtier - Dahra.....	20
Figure 8: Réseau Hydrographique (Cheliff à l'amont de Boughzoul)	30
Figure 9: Profils en long de l'Oued Cheliff et de ses principaux affluents.	33
Figure 10: Disponibilité des données pluviométriques	36
Figure 11: Réseau pluviométrique du le bassin Cheliff Zahrez.	38
Figure 12: Carte pluviométrique et tranches de précipitation moyenne (période 1968-2001)	41
Figure 13: Courbes de variations mensuelles des précipitations.	44

Figure 14: Variations de la température moyenne mensuelle du Sud au Nord du bassin Cheliff Zahrez aux stations : Djelfa, Ksar Chellalaj, El Khemis, et Ténès.....	50
Figure 15: Variation des précipitations et de l'évapotranspiration dans le bassin Côtier (période 1986-2001)	52
Figure 16: Variation des précipitations et de l'évapotranspiration dans le bassin Cheliff à l'aval de Boughzoul (période 1968-2001).	52
Figure 17: Variation des précipitations et de l'évapotranspiration dans le bassin Cheliff à l'amont de Boughzoul (période 1968-2001).	53
Figure 18: Variation du potentiel évapotranspiré annuel dans la région hydrographique Cheliff -Zahrez	54
Figure 19: Réseau hydrométrique du bassin hydrographique Cheliff-Zahrez	59
Figure 20: Station d'el Abadia et de Arib Cheliff	63
Figure 21: Station de Arib Ebda et de Arib Cheliff.....	64
Figure 22: Ecoulement interannuel et déficit d'écoulement. (1968-2001).....	73
Figure 23: Grille d'interpolation de l'écoulement annuel moyen optimisé sur le bassin Cheliff-Zahrez.	75
Figure 24: Esquisse de l'écoulement annuel moyen de surface. (Période 1968 - 2001)	76
Figure 25: Variations annuelles des modules du bassin Cheliff à la station Sidi Bel Attar (013602)	79
Figure 26: Variations mensuels des modules du bassin Cheliff à la station Sidi Bel Attar (013602)	79
Figure 27: Variations annuelles des modules du bassin haut Cheliff à la station Ghrib Amont (011407)	80
Figure 28: Variations mensuels des modules du bassin haut Cheliff à la station Ghrib Amont (011407).....	80
Figure 29: Variations annuelles des modules du bassin Moyen Cheliff à la station Ponteba Défluent (012203)	81
Figure 30: Variations mensuels des modules du bassin Moyen Cheliff à la station Ponteba Défluent (012203)	81
Figure 31: Variations annuelles des modules du bassin de la Mina à la station Oued El Abtal (013402)	82
Figure 32: Variations mensuels des modules du bassin de la Mina à la station Oued El Abtal (013402)	82
Figure 33: Variations annuelles des modules du bassin de la Mina à la station Sidi Ali Ben Amar (012909).....	83
Figure 34: Variations mensuels des modules du bassin de la Mina à la station Sidi Bel Attar (012909).....	83
Figure 35: Variations annuelles des modules du bassin Cheliff à l'amont de boughzoul à la station Sidi Bouabdelah (011210) de 1973 à 2001.	84
Figure 36: Variations mensuels des modules du bassin Cheliff à l'amont de boughzoul à la station Sidi Bouabdelah (011210).....	84
Figure 37: Variations annuelles des modules du bassin Côtier Dahra à la station Sidi Sidi Akacha (020207) de 1973 à 2001.	85
Figure 38: Variations mensuels des modules du bassin Côtier Dahra à la station Sidi Sidi Akacha (020207)	85
Figure 39: Ajustement à une Loi Log - Normale de la station de SIDI BEL ATTAR.....	88
Figure 40: Caractéristiques hydrologiques aux bassins Côtier, Cheliff et Zahrez de la région d'étude	93
Figure 41: Courbe des coefficients moyens mensuels de débits du Cheliff à Oued Djediouia Cheliff (1968-2001).	95
Figure 42: Courbes des C.M.D de cour d'eau principale du bassin Moyen et Bas Cheliff.	96
Figure 43: Courbes des C.M.D de cour d'eau principale du bassin Haut Cheliff.	97
Figure 44: Courbes des C.M.D de cour d'eau La Mina et ses affluents.	97
Figure 45: Courbes des C.M.D du bassin Côtier.	98
Figure 46: Courbes des C.M.D de bassin Amont Boughzoul.....	98
Figure 47: variations des apports mensuelles moyennes et extrêmes à la station Sidi Bel Attar.	102
Figure 48: Organigramme de l'indice d'écoulement de base (IEB).	108
Figure 49: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Herraza à El Ababsa (Année humide)	110
Figure 50: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Herraza à El Ababsa (Année moyenne)	110
Figure 51: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Herraza à El Ababsa (Année sèche)	111
Figure 52: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Ebda à Arib Ebda (Année humide)	112
Figure 53: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Ebda à Arib Ebda (Année moyenne)	112
Figure 54: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Ebda à Arib Ebda (Année sèche)	113
Figure 55: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Sly à Ouled Ben AEK (Année humide)	114
Figure 56: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Sly à Ouled Ben AEK (Année moyenne)	114
Figure 57: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Sly à Ouled Ben AEK (Année sèche)	115
Figure 58: Indices d'écoulement de base mensuels calculés à la station de Ouled ben Aek (Oued Sly), Année hydrologique 1987/1988.	116
Figure 59: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Rhiou à Ammi Moussa (Année humide)	120
Figure 60: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Rhiou à Ammi Moussa (Année moyenne)	120
Figure 61: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Rhiou à Ammi Moussa (Année sèche).....	121
Figure 62: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Mina à Sidi Ali Ben Amar (Année humide)	122
Figure 63: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Mina à Sidi Ali Ben Amar (Année moyenne) ..	122
Figure 64: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Mina à Sidi Ali Ben Amar (Année sèche)	123

Figure 65: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Mina à Oued El Abtal (Année humide)	124
Figure 66: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Mina à Oued El Abtal (Année moyenne)	124
Figure 67: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Mina à Oued El Abtal (Année sèche)	125
Figure 68: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Ouassel à Col. Bougara (Année humide).....	129
Figure 69: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Ouassel à Col. Bougara (Année moyenne)....	129
Figure 70: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Ouassel à Col. Bougara (Année sèche)	130
Figure 71: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Allala à Sidi Akacha (Année humide)	132
Figure 72: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Allala à Sidi Akacha (Année moyenne).....	132
Figure 73: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Allala à Sidi Akacha (Année sèche)	133
Figure 74: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Cheliff à Penteba Défluent (Année humide) .	135
Figure 75: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Cheliff à Penteba Défluent (Année moyenne)	135
Figure 76: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Cheliff à Penteba Défluent (Année sèche) ...	136
Figure 77: Courbes d'interpolation de l'indice d'écoulement de base.	139

Préambule

« Selef est un grand fleuve qui sourd aux montagnes de Guanseris et, descendant par les plaines désertes (qui sont là où le royaume de Telenisis confine avec celui de Tenez) passe outre, continuant son cours jusqu'à ce qu'il vient à entrer dans la mer Méditerranée, séparant Mezzagran d'avec Mostaganim; A la bouche d'icelui, quand il se jette dans la mer, se prend bons poissons et de diverses espèces ». (Léon l'africain (de l'Afrique 1556))

L'oued cheliff qui s'étend sur une distance de 800Km traverse le bassin versant le plus important du pays avec une superficie de 43 750Km². Il est le seul cours d'eau algérien, qui prend sa source dans l'Atlas saharien, près d'aflou dans les monts du djebel Amour. Deux barrages sont installés le long de cet Oued, Bouguezoul qui décrète les crues en provenance du haut bassin de l'Oued Cheliff et Ghrib dont le comblement de la retenue et ralenti par la décantation des eaux du premier barrage. Plusieurs autres ouvrages de déviation des eaux pour l'irrigation sont construits tout au long de son périple (Djendel, Oum Drou, Boukader, Sidi-bel attar). L'oued Cheliff est alimenté par plusieurs affluents et nappes souterraines. En période d'étiage, il n'est alimenté que par les lachures du barrage Ghrib situé à l'amont ou par les affluents (exemple : Oued Mina).

Introduction

Dans le cadre de des exigence accrues en eau d'un pays méditerranéen en pleine phase de construction et la nouvelle étape très importante dans le développement de l'Algérie, nous espérons apporter une contribution utile grâce à l'étude hydrologique d'un bassin bien représentatif de l'Ouest Algérien.

Vaste de 56 227 km² environ, le bassin du Cheliff-Zahrez déborde largement les limites géographiques du Cheliff : cette région hydrographique limitée naturellement au nord par la mer Méditerranée, à l'Ouest par la région Oranie – Chott Chergui, à l'Est par la région Algéroise – Hoddna – Sommam et au sud par le Sahara. Elle est découpée en trois grands sous bassins versants :

- Le bassin du Cheliff est le plus grand du point de vue superficie en Algérie, il représente plus de 77 % de la superficie totale du bassin Cheliff-Zahrez, ce même bassin limité au nord par les monts du Dahra et au sud par l'Atlas saharien. Il comprend au nord la vallée du Cheliff, au sud les hauts plateaux allant de Saida à Tiaret, les plaines de Nahr Ouassel et Ain Oussera et au centre le massif de l'Ouarezenis.
- Le bassin du côtier Dahra ne forme pas un bassin unique mais se compose de plusieurs bassins individuels, dont les plus importants, du point de vue pluviométrique, sont Oued Damous, Oued Kramis et Oued Allalah.
- Le bassin Zahrez est une cuvette dans les hauts plateaux et comprend deux Chott : Chott-Chergui et Chott-Gharbi.

La taille assez grande du bassin retenu répond à une double nécessité :

- Une nécessité d'ordre technique : il existe sur tout le bassin 30 stations hydrométriques dont les données sont exploitables. Cette faible densité de l'équipement hydrométrique ne permet pas une analyse fine des variations spatiales des mécanismes hydrologiques et leurs facteurs conditionnels.
- Une nécessité d'ordre méthodologique : comme géographe-hydrologue, nous sommes enclins, plus que tout autre spécialiste, à percevoir un système fluvial dans sa globalité physique- de l'amont à l'aval- afin d'en cerner tous les tenants et les aboutissants et d'établir des comparaisons entre ses unités hydrologiques différenciées.

Ainsi, le bassin du Cheliff –Zahrez offre un bon exemple de possibilité d'étude de problème hydrologiques et d'aménagement hydraulique, problèmes appelés à être élucidés davantage dans l'avenir car ils restent très peu « défrichés » dans plusieurs de leurs aspects.

Dans cette optique, notre travail à pour finalité plus qu'une présentation monographique, une approche à la fois analytique et synthétique des modalités de l'écoulement et du régime hydrologique lato-sensu afin de déterminer les ressources en eau et leur variabilité.

La mise en œuvre de cette approche implique le recours systématique aux données de mesures hydrométéorologiques et à leur traitement statistique, aux enquêtes et observations directes sur le terrain, aux cartes et, enfin, aux photographies aériennes lorsque leur emploi s'imposait.

Cependant, l'insuffisance dans le temps et dans l'espace des mesures fournies par les réseaux météorologiques et surtout hydrométrique constitue une contrainte importante quant à l'approfondissement de l'analyse de certains paramètres hydrologiques. Elles permettent

malgré tout d'ébaucher une estimation quantitative des ressources en eau et des rendre compte des aspects caractéristiques de l'écoulement.

Ainsi, notre étude du bassin Cheliff-Zahrez s'articule-t-elle en deux parties principales :

- Le diagnostic physico-géographique, première étape de la connaissance d'un bassin – versant, permettra de caractériser les principaux facteurs naturels intervenant dans l'alimentation en eau et dans l'écoulement : facteurs oro-hydrographiques et morphologiques, lithologiques, climatiques et biogéographiques. Leur interaction est déterminante dans le comportement hydrologique du bassin et des sous bassins.
- L'étude hydrologique, basée sur le traitement statistique des données hydrométriques nous conduira à préciser les termes du bilan hydrologiques et à mettre en lumière les aspects fondamentaux de l'écoulement annuel, saisonnier, extrême et donc des ressources en eau de surface et leur variabilité. Et de préciser les restitutions des nappes aquifères à l'écoulement fluvial au moyen de l'indice d'écoulement de base.

Pour venir aux questions de forme, en plus des graphiques et des tableaux traduisant les différents résultats de l'étude, nous avons cherché grâce des cartes à synthétiser les éléments essentiels du contexte hydrologique, ces cartes se prêtent à des confrontations et peuvent servir d'instrument de travail.

Chapitre



Caractéristiques morphométriques de la région

Un régime hydrologique ne peut être totalement perçu sans étude préalable aussi fine que possible des conditions physico-géographiques de l'écoulement dont l'interaction complexe détermine l'intensité et la variabilité des phénomènes hydrologiques dans le temps et l'espace. De ce fait, on s'efforcera de montrer dans cette partie les caractéristiques et l'importance relative des facteurs de l'écoulement envisagés comme suit :

- L'étude du contexte morpho-structural du bassin et des caractéristiques du réseau hydrographique permettra de situer le cadre de réception des eaux précipitées et l'organisation du drainage.
- Les facteurs climatiques, phénomènes aléatoires les plus déterminants du comportement hydrologiques des cours d'eau et de l'alimentation des nappes, seront analysés. Ils interviennent dans le bilan de l'écoulement essentiellement par les précipitations et les températures.

S'étendant entre la mer méditerranéenne au nord et les hautes plaines des Chotts Chergui et Gharbi du Zahrez, le bassin du Cheliff-Zahrez présente un relief compartimenté, reflet de la nette opposition topographique Tell-Hautes plaines qui le caractérise. Il est juxtaposé aux autres unités hydrologiques recouvrant également Tell et hautes plaines : le bassin de l'Algérois –Soummam-Hodna à l'Est et le bassin Orani-Chott Chergui à l'Ouest.

Les limites du bassin du Cheliff-Zahrez sont très nettes sur la partie tellienne où elles suivent rigoureusement les lignes de crete ; elles sont souvent plus floues en ce qui concerne la ligne de partage des eaux le séparant du bassin Sahara, au sud, car la limite endoréisme-exoréisme est localement imprécise. De ce fait, le calcul de la superficie du bassin diffère souvent d'un opérateur à l'autre.

Par ailleurs, à l'opposition topographique par laquelle se caractérise le bassin, s'ajoute une opposition structurale qui se traduit par un substratum relativement simple au sud formé de vastes étendues sédimentaires d'où émergent des massifs calcaires isolés, et un édifice beaucoup plus complexe au Nord constitué de nombreuses séries hétérogènes empilées au cours de phases tectoniques successives.

Ainsi on distingue de l'amont à l'aval du bassin : l'Atlas Saharien, les hautes plaines, les massifs tellien, la vallée du Cheliff et les massifs Côtiers Dahra du Nord.

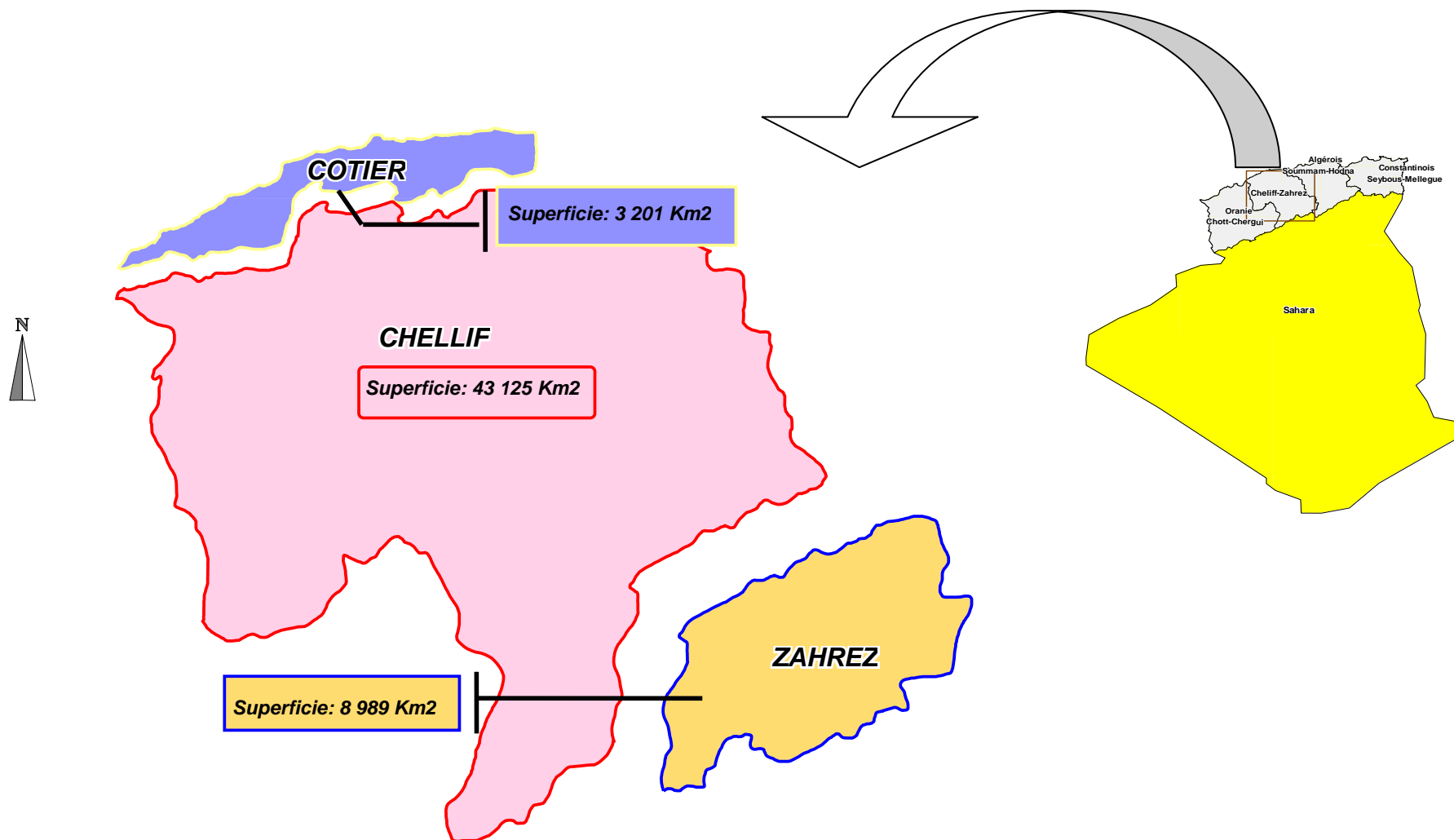


Figure 1: Bassin hydrographique Cheliff-Zahrez.

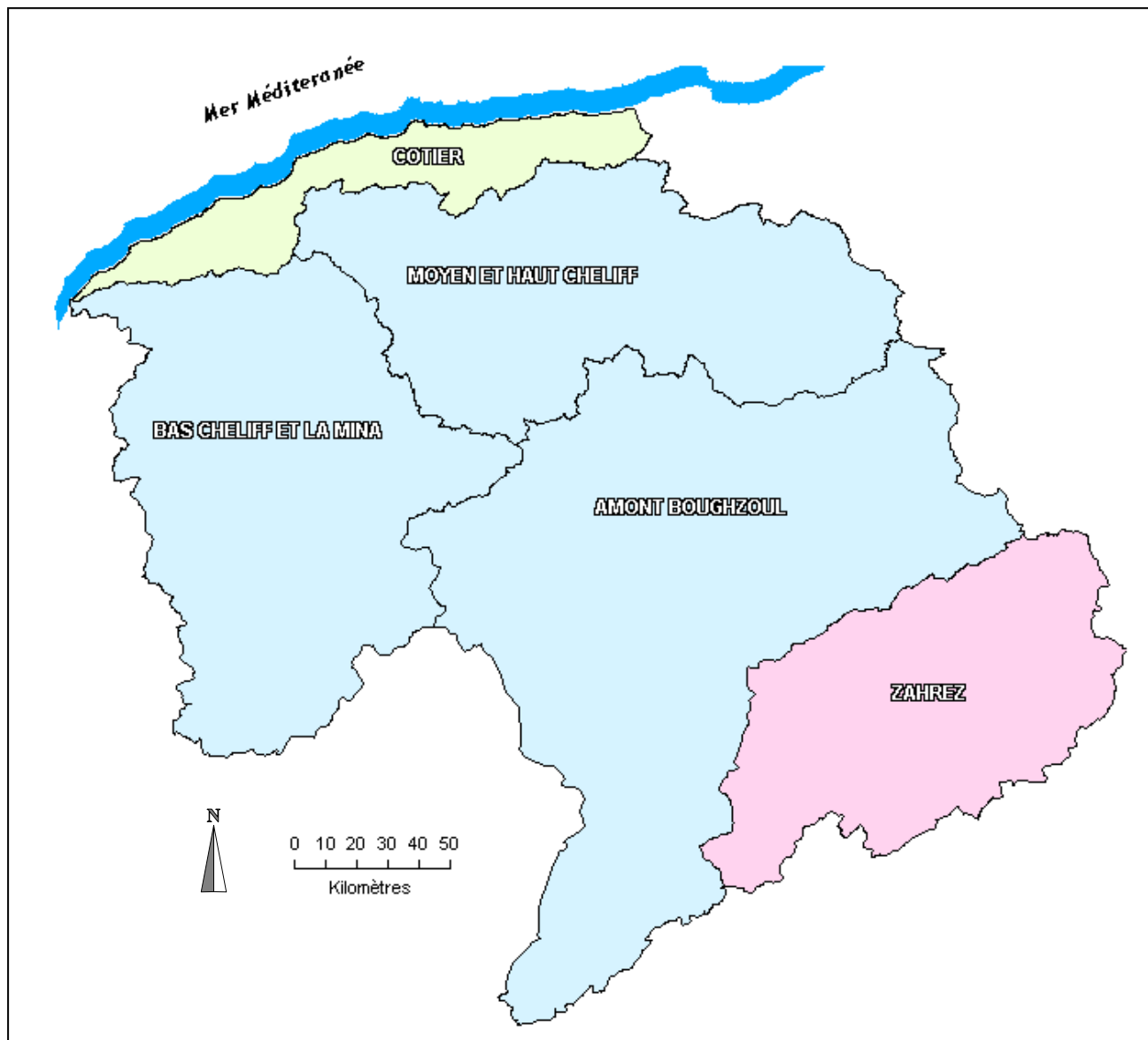


Figure 2: Sous régions du bassin hydrographique Cheliff-Zahrez.

I. Caractéristiques morphométriques de la région

Les différents paramètres morphométriques du bassin (forme, altitude, pente, relief, etc..) interviennent, et souvent de façon combinée, dans les modèles de l'écoulement.

Ils ont l'avantage de se prêter à une analyse quantifiée, mais l'emploi des méthodes de mesure correspondantes doit être mené avec prudence, vu l'extrême interférence des facteurs physiques et l'influence, parfois prononcée, de certains paramètres qu'il est difficile d'exprimer par les méthodes précises et définies.

Dans le cas du Cheliff-Zahrez, la taille importante du bassin versant (56 227 km² soit plus de 22% de la superficie de l'Algérie du Nord), et même celle des (03) bassins qu'il englobe; Côtier (3 202 km²), Cheliff (44 035 km²) et le Zahrez (8 990 km²) ainsi que sa complexité géologique, notamment dans sa partie Nord, rendent une telle étude fort délicate. C'est pourquoi nous nous limiterons à quelques caractéristiques morphométriques susceptibles d'identifier les bassins de la région d'étude, leurs diverses unités et de comparer ces paramètres entre eux, sans pour autant prétendre en tirer des conclusions exhaustives.

I.1. Superficie, Altitude et formes des unités hydrologiques

L'aire de l'étude se compose selon les délimitations orohydrographiques, de 03 bassins : Le côtier Dahra, le Cheliff de son tour se divise en deux grands bassins : le Cheliff à l'aval du barrage Boughzoul et le Cheliff à l'amont du barrage de Boughzoul, ainsi que le bassin du Zahrez. Dont les limites sont reportées sur les figures 1 et 2.

Leurs superficies respectives, mentionnées dans le tableau 5, varient de 3 201 km² (Côtier Dahra), à 8 989 km² (bassin du Zahrez), à 19 979 km² (bassin Cheliff Amont Boughzoul) et à 24 028 km² au bassin Cheliff à l'aval du Boughzoul qui à son tour contrôle 43% de la surface de réception totale de la région hydrographique. Les bassins Amont Boughzoul et Zahrez représentent 51 % de la surface de réception totale du bassin Cheliff-Zahrez, par contre le bassin côtier ne représente que 6%.

Ces trois grands bassins englobe plusieurs sous bassins ; (Côtier ; 03 sous bassins); (l'aval Boughzoul; 24 sous bassins); (l'amont Boughzoul ; 12 sous bassins) et le bassin Zahrez (06 sous bassins), figure3.

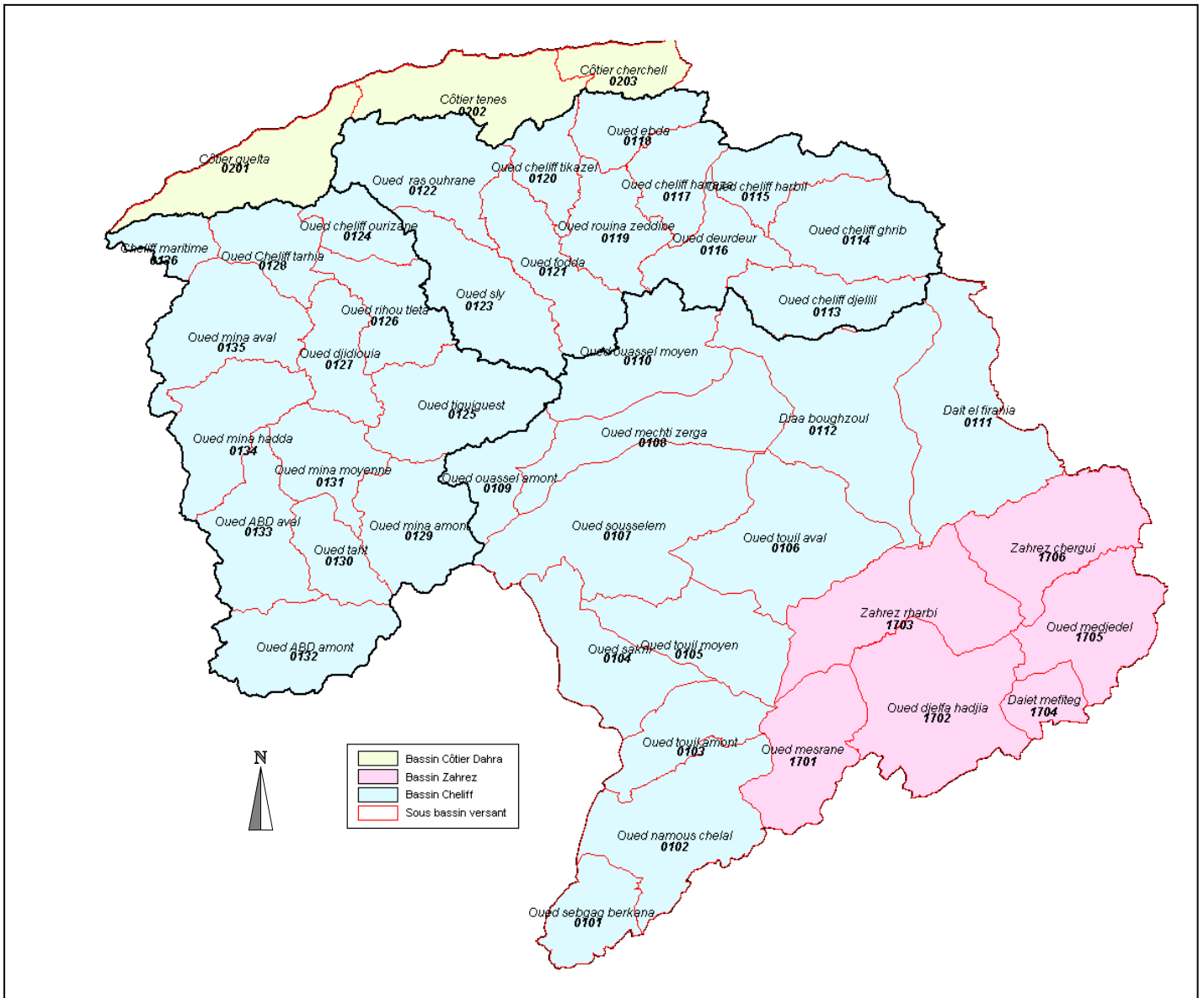


Figure 3: Carte des sous bassins versants

I.1.1. Altitude moyenne

L'altitude moyenne des bassins de la région d'étude, calculée à partir de la courbe hypsométrique est de l'ordre de 390 m dans le bassin côtier et elle varie dans le bassin Cheliff entre 640 m (Aval Boughzoul) et 980 m dans les hauts plateaux (Amont Boughzoul). L'altitude moyenne dans le bassin Zahrez varie dans de fortes proportions.

L'altitude moyenne des sous bassins, calculée également d'après leurs courbes hypsométriques respectives, varie dans de faibles proportions dans le bassin Côtier de 330 à 400m. L'altitude moyenne varie entre moins de 300 m (sous bassins Cheliff Ouarizane et Mina aval) à plus de 900 m (sous bassins Oued Deurdeur et Oued Abd amont). Elle est élevée dans les sous bassins des hautes plaines (Amont Boughzoul). Elle varie entre 790 m (sous bassin Diaa Boughzoul) à 1410m (sous bassin Oued Sebgag Berkana). Dans le bassin Zahrez, elle varie entre 910 m (sous bassin Zahrez Chergui) à 1280 (sous bassin Daeit Mefiteg) (figure 4, 5, 6 et 7).

La répartition par tranches d'altitude de la superficie des bassins, plus significative que l'altitude moyenne, ressort nettement des courbes hypsométriques ; elle est, par ailleurs, visualisée par le diagramme des fréquences altimétriques établi pour les bassins de la région d'étude.

Il s'avère que les secteurs, d'altitude supérieure à 1200 m, sont peu étendus dans les bassins Aval et Amont Boughzoul; Elles correspondent à des massifs montagneux importants, seuls les sommets des monts de l'Ouarsenis, des monts de Tiaret et des djebels Ammour dépassant les 1600 m d'altitude.

Les zones d'altitude comprise entre 400 et 1000 m, couvrent 13 899 km² dans le bassin Aval Boughzoul, soit environ 58% de la superficie total de ce bassin. Les zones d'altitude comprise entre 700 et 1200 m, couvrent 15 736 km² dans le bassin Amont Boughzoul, soit environ 79% de la superficie totale du bassin. Dans le bassin du Zahrez, les zones d'altitude comprise entre 800 et 1200 m couvrent 6 908 km² soit 77 % de la superficie totale du bassin. Ces zones dans les bassins à l'amont du barrage Boughzoul et Zahrez correspondent en majorité aux bassins des hautes plaines. L'altitude de ces dernières ne descend, que très rarement, en dessous de 700 m (figures 4 et 6).

Enfin, les secteurs, d'altitude inférieure à 400 m dans le bassin Aval Boughzoul, représentant un peu plus du quart (29,45%) de la superficie totale du bassin. Elles concernent essentiellement la moitié septentrionale du bassin. Ils correspondent exclusivement aux vallées drainées par le Moyen et le Bas Cheliff (le principal affluent : l'Oued Mina).

Par contre, dans le bassin du Côtier d'après le diagramme des fréquences altimétrique, il s'avère que les secteurs d'altitude supérieure à 600 m sont très peu étendus dans le bassin. Les secteurs d'altitude supérieure à 1000 m ne couvrent guère les 10 km², soit 0,36 % de la superficie totale.

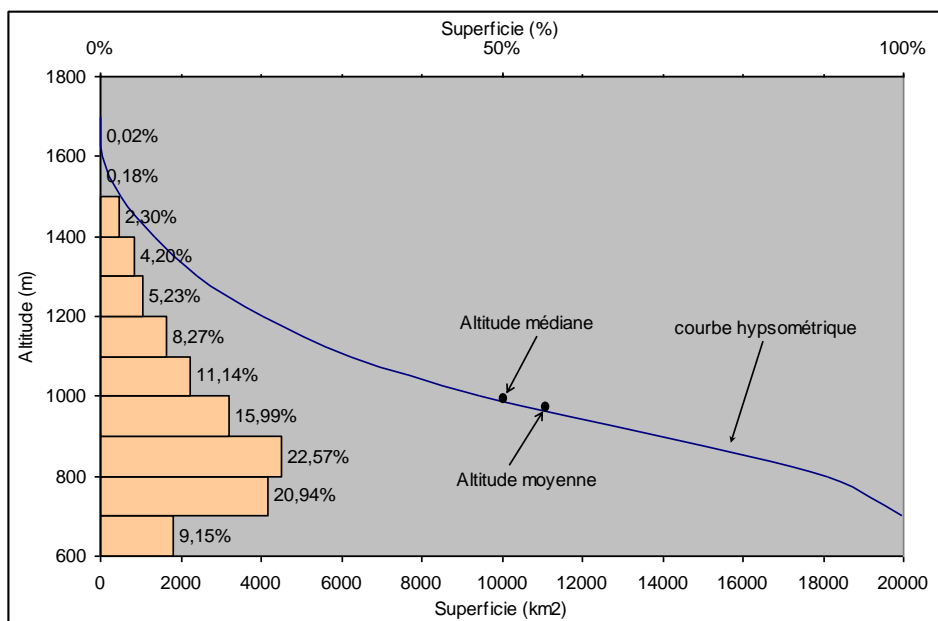


Figure 4: Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques du bassin Cheliff Amont-Boughzoul

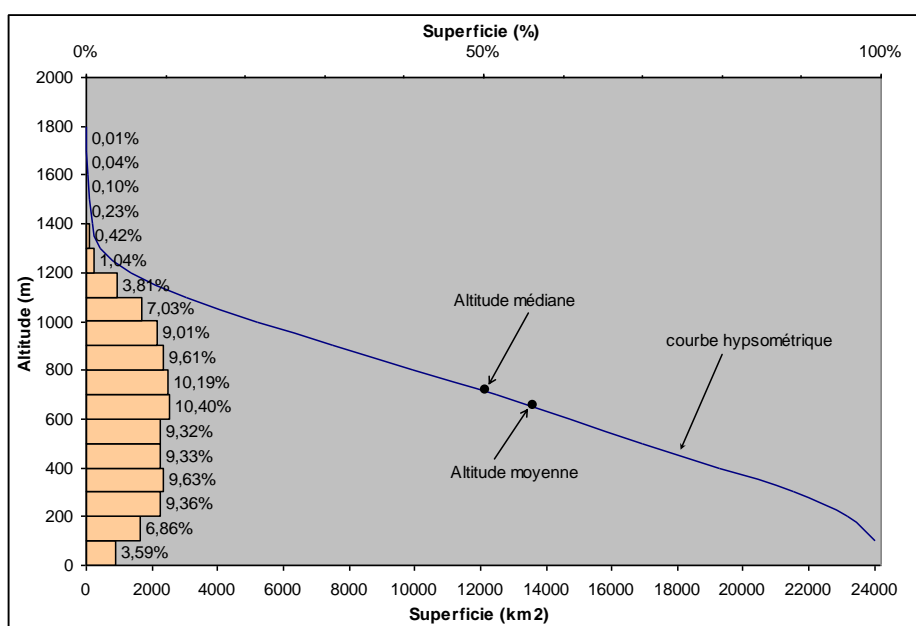


Figure 5: Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques du bassin Cheliff Aval -Boughzoul

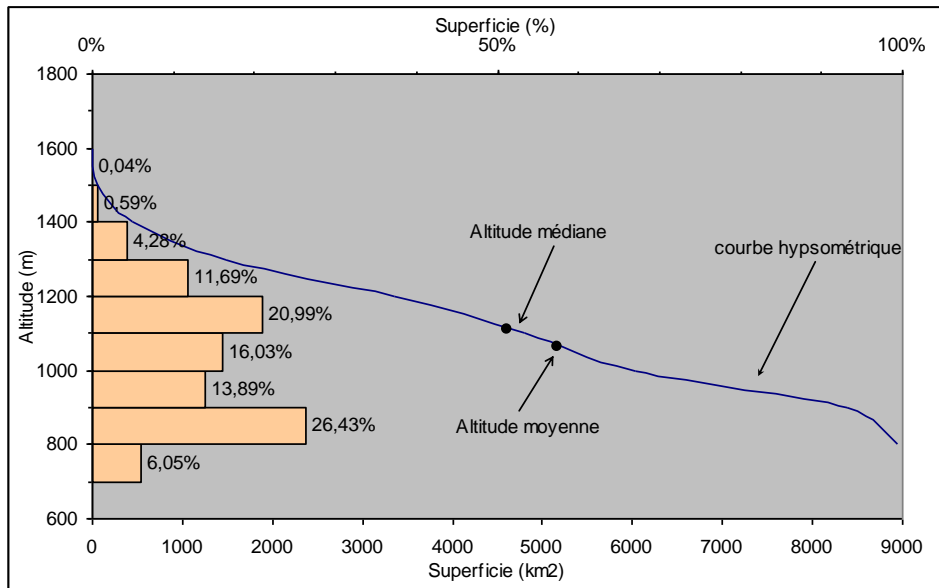


Figure 6 : Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques du bassin Zahrez.

Dans le bassin côtier les secteurs d'altitude inférieure à 600 m, représentent 2476 km², soit 80% de la superficie totale du bassin. Enfin, la tranche d'altitude inférieure à 100 m ne représente que 8 % de la superficie totale ; elle correspond aux vallées près de la mer (figure 4).

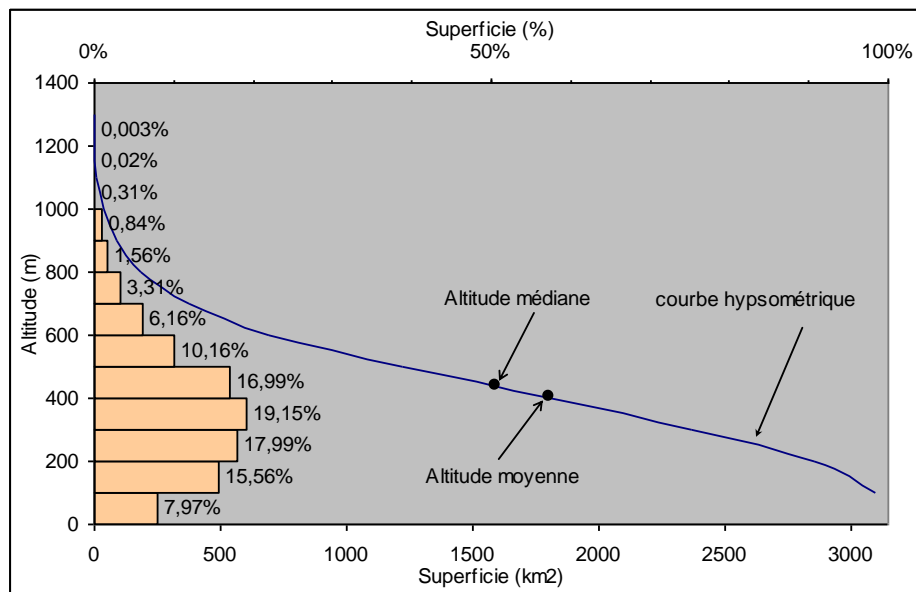


Figure 7 : Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques du bassin Côtier - Dahra

I.1.2. La forme des bassins

Cette forme qui peut être traduite par l'indice de compacité de « Graveluis » K_c , a également une influence certaine sur l'écoulement ; elle détermine, dans une certaine mesure, l'allure de l'hydrogramme de crue. Un bassin très allongé ne réagira pas, toutes choses égales d'ailleurs, de la même manière qu'un bassin de forme ramassée (M.Roche, 1963).

L'indice de compacité (K_c) s'établit en comparant le périmètre stylisé du bassin (P) à celui d'un cercle qui aurait la même surface (A) :

$$\text{Soit : } KC = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

K_c est égal à 1 pour un bassin circulaire et croît d'autant plus que la compacité diminue.

Les valeurs de l'indice de compacité (tableau 1) montrent que tous les bassins (Côtier, Aval Boughzoul, Amont Boughzoul et Zahrez) sont allongés dont l'indice de forme reste élevée (varie entre 1,52 à Côtier Cherchell et 1,89 à côtier Ténès). L'indice de forme est élevée dans l'aval et l'amont Boughzoul (K_c varie entre 1,33 et 2,01). Cette remarque est valable pour le bassin du Zahrez où l'indice de forme est supérieur à 1,12.

Tableau 1 : Indices de compacité par sous bassin versant

Bassin	Code sous bassin	Nom sous bassin	Superficie (km ²)	Périmètre (km)	Indice de compacité (kc)
Côtier - Dahra	0201	Côtier Guelta	1312,0	243,2	1,88
	0202	Côtier Tenes	1324,0	245,1	1,89
	0203	Côtier Cherchell	565,4	128,8	1,52
Cheliff à l'aval Boughzoul	0113	Oued Cheliff Djellil	992,85	179,96	1,60
	0114	Oued Cheliff Ghrib	1383,69	176,81	1,33
	0115	Oued Cheliff Harbil	767,29	167,95	1,70
	0116	Oued Deurdeur	857,64	185,65	1,78
	0117	Oued Cheliff Harraza	743,97	142,68	1,46
	0118	Oued Ebda	680,55	141,10	1,51
	0119	Oued Rouïna Zeddine	898,54	173,69	1,62
	0120	Oued Cheliff Tikazel	570,52	142,58	1,67
	0121	Oued Fodda	1161,32	212,75	1,75
	0122	Oued Ras Ouahrane	1437,44	224,12	1,66
	0123	Oued Sly	1405,47	225,12	1,68
	0124	Oued Cheliff Ouarizane	564,72	122,13	1,44
	0125	Oued Tiguiguest	1513,02	202,89	1,46
	0126	Oued Rhiou Tleta	928,45	185,18	1,70
	0127	Oued Djidiouia	799,40	162,00	1,60
	0128	Oued Cheliff Tarhia	759,63	145,00	1,47
	0129	Oued Mina amont	1277,66	176,00	1,38
	0130	Oued Taht	657,57	128,00	1,40
	0131	Oued Mina moyenne	892,21	162,00	1,52
	0132	Oued Abd amont	1352,80	188,00	1,43
0133	Oued Abd aval	1228,61	198,00	1,58	
0134	Oued Mina hadda	1250,98	193,00	1,53	
0135	Oued Mina aval	1462,52	212,00	1,55	
0136	Oued Cheliff Maritime	431,41	112,00	1,51	
Cheliff à l'amont Boughzoul	0101	Oued Sebgag Berkana	791,0	139,5	2,01
	0102	Oued Namous Chelal	2019,0	268,5	1,67
	0103	Oued Touil Amont	963,8	177,0	1,60
	0104	Oued Sakni	1329,0	156,5	1,50
	0105	Oued Touil Moyen	1403,0	203,3	1,52
	0106	Oued Touil Aval	2033,0	233,9	1,45
	0107	Oued Sousselem	2833,0	292,7	1,54
	0108	Oued Mechti Zerga	1549,0	251,3	1,79
	0109	Oued Ouassel Amont	699,3	152,0	1,61

Bassin	Code sous bassin	Nom sous bassin	Superficie (km ²)	Périmètre (km)	Indice de compacité (kc)
	0110	Oued Ouassel Moyen	1403,0	222,1	1,66
	0111	Dait El Firania	2339,0	284,6	1,65
	0112	Diaa Boughzoul	2617,0	338,8	1,85
Zahrez	1701	Oued Mesrane	1330,0	176,9	1,36
	1702	Oued Djelfa Hadja	2223,0	252,7	1,50
	1703	Zahrez Rharbi	1936,0	257,7	1,64
	1704	Daiet Mefiteg	437,6	95,8	1,28
	1705	Oued Medjedel	1434,0	200,0	1,48
	1706	Zahrez Chergui	1628,0	213,0	1,48

Toutes les valeurs sont très rapprochées, les formes des sous bassins correspondants étant donc plus ou moins identiques. Il est cependant nécessaire de soulever des réserves au sujet de la fiabilité des valeurs de l'indice de compacité, du fait qu'elles sont étroitement liées aux mesures du périmètre stylisé.

Il n'en demeure pas moins que les bassins de la région d'étude (Côtier, Cheliff et Zahrez) présentent, dans l'ensemble, des formes assez allongées favorisant un écoulement lent des eaux de ruissellement. Mais l'influence du relief est plus déterminante.

I.1.3. Rectangle équivalent

Ce rectangle est défini pour avoir comparer facilement les bassins entre eux, et puisque les valeurs de Kc sur tous les bassins de la région d'étude (Côtier, Cheliff à l'aval et à l'amont du barrage Boughzoul et Zahrez) sont supérieures à 1,12 dans ce cas, ces bassins versants sont assimilables à un rectangle dont les bassins sont trois fois plus longs que larges.

Les valeurs de la longueur et de la largeur du bassin sont définies d'après les formules suivantes :

$$L = Kc\sqrt{A/1,12\left(1 + \sqrt{1 - (1,12/Kc)^2}\right)} \text{ et } l = Kc\sqrt{A/1,12\left(1 - \sqrt{1 - (1,12/Kc)^2}\right)} \quad (2)$$

Les valeurs de la longueur équivalente et de la largeur équivalente sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Longueur équivalente et largeur équivalente par sous bassin versant

Bassin	Code sous bassin	Nom sous bassin	Superficie (km ²)	Périmètre (Km)	Longueur équivalente (Km)	Largeur équivalente (Km)
Côtier - Dahra	0201	Côtier Guelta	1 312,0	243,2	33	102
	0202	Côtier Tenes	1 324,0	245,1	34	103
	0203	Côtier Cherchell	565,4	128,8	19	44
Cheliff à l'aval de Boughzoul	0113	Oued cheliff Djellil	992,85	179,96	77,10	12,88
	0114	Oued cheliff Ghrib	1383,69	176,81	68,08	20,32
	0115	Oued Cheliff Harbil	767,29	167,95	73,54	10,43
	0116	Oued Deurdeur	857,64	185,65	82,42	10,41
	0117	Oued Cheliff Harraza	743,97	142,68	58,66	12,68
	0118	Oued Ebda	680,55	141,10	59,02	11,53
	0119	Oued Rouina Zeddine	898,54	173,69	74,84	12,01
	0120	Oued Cheliff Tikazel	570,52	142,58	62,10	9,19
	0121	Oued Fodda	1161,32	212,75	94,02	12,35
	0122	Oued Ras Ouahrane	1437,44	224,12	97,28	14,78
	0123	Oued Sly	1405,47	225,12	98,26	14,30
	0124	Oued Cheliff Ouarizane	564,72	122,13	49,70	11,36
	0125	Oued Tiguiguest	1513,02	202,89	83,28	18,17
	0126	Oued Rhiou Tleta	928,45	185,18	81,15	11,44
	0127	Oued Djidiouia	799,40	162,00	69,50	11,50
	0128	Oued Cheliff Tarhia	759,63	145,00	59,80	12,70
	0129	Oued Mina amont	1277,66	176,00	69,66	18,34
	0130	Oued Taht	657,57	128,00	51,14	12,86
0131	Oued Mina moyenne	892,21	162,00	67,85	13,15	
0132	Oued Abd amont	1352,80	188,00	76,26	17,74	
0133	Oued Abd aval	1228,61	198,00	84,45	14,55	
0134	Oued Mina hadda	1250,98	193,00	81,07	15,43	
0135	Oued Mina aval	1462,52	212,00	89,69	16,31	
0136	Cheliff maritime	431,41	112,00	46,78	9,22	
Cheliff à l'amont de Boughzoul	0101	Oued Sebgag Berkana	791,0	139,5	19	62
	0102	Oued Namous Chelal	2 019,0	268,5	38	100
	0103	Oued Touil Amont	963,8	177,0	25	63
	0104	Oued Sakni	1329,0	156,5	23	52
	0105	Oued Touil Moyen	1 403,0	203,3	30	69
	0106	Oued Touil Aval	2 033,0	233,9	35	76
	0107	Oued Sousselem	2 833,0	292,7	42	101
	0108	Oued Mehti Zerga	1 549,0	251,3	35	100

Bassin	Code sous bassin	Nom sous bassin	Superficie (km ²)	Périmètre (Km)	Longueur équivalente (Km)	Largeur équivalente (Km)
	0109	Oued Ouassel Amont	699,3	152,0	22	55
	0110	Oued Ouassel Moyen	1 403,0	222,1	31	82
	0111	Dait El Firania	2 339,0	284,6	40	105
	0112	Diaa Boughzoul	2 617,0	338,8	47	140
Zahrez	1701	Oued Mesrane	1 330,0	176,9	38	54
	1702	Oued Djelfa Hadjia	2 223,0	252,7	37	85
	1703	Zahrez Rharbi	1 936,0	257,7	37	94
	1704	Daiet Mefiteg	437,6	95,9	15	27
	1705	Oued Medjedel	1 434,0	200,0	29	66
	1706	Zahrez Chergui	1 628,0	213,0	31	70

I.2. Indice de pente et relief

Le relief joue un rôle prépondérant dans l'aptitude au ruissellement des terrains. Son appréhension peut être faite à l'aide de l'indice de pente global (Ig).

L'indice de pente globale se calcule d'après la formule suivante :

$$I_g = \frac{D}{L} ; \text{(m/km)} \quad (3)$$

D : dénivelée simple ou bien la distance verticale qui, exprimée en mètres, sépare les altitudes ayant 5% de la surface du bassin au-dessous d'elles ; elle peut être assimilée à la distance séparant les deux courbes de niveau maîtresses extrêmes qui délimitent le bassin.

L : longueur du rectangle équivalent telle que définit par M.Roche (km)

Pour permettre une comparaison plus poussée des bassins entre eux du point de vue relief, on détermine la dénivelée spécifique (Ds) puis déduit de l'indice de pente globale.

$$D_s = I_g \sqrt{A} ; \quad (4)$$

(A) la superficie du bassin versant en Km²

Sous classes de relief au sens des hydrologues de l' O.R.S.T.O.M. (IRD actuellement)

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

Tableau 3 : Indice de pentes globales et classe de relief.

Bassin	Code sous bassin	superficie	Ig	Ds (m/km)	Classe de relief
Côtier - Dahra	0201	1 312,0	5,88	213,07	R5
	0202	1 324,0	6,80	247,29	R5
	0203	565,4	18,18	432,33	R6
Cheliff à l'aval Boughzoul	0113	992,85	16,91	532,67	R7
	0114	1383,69	17,67	657,11	R7
	0115	767,29	15,01	415,86	R6
	0116	857,64	19,41	568,51	R7
	0117	743,97	23,87	650,97	R7
	0118	680,55	23,73	619,02	R7
	0119	898,54	21,38	640,85	R7
	0120	570,52	14,49	346,11	R6
	0121	1161,32	18,08	616,17	R7
	0122	1437,44	11,31	428,71	R6
	0123	1405,47	17,30	648,61	R7
	0124	564,72	20,12	478,05	R6
	0125	1513,02	13,21	513,84	R7
	0126	928,45	16,02	488,13	R6
	0127	799,40	12,95	366,11	R6
	0128	759,63	10,04	368,79	R6
	0129	1277,66	11,51	411,24	R6
	0130	657,57	15,65	401,21	R6
0131	892,21	16,21	484,23	R6	
0132	1352,80	9,22	339,23	R6	
0133	1228,61	13,03	456,58	R6	
0134	1250,98	14,80	523,55	R7	
0135	1462,52	10,03	383,76	R7	
0136	431,41	12,85	266,81	R6	
Cheliff à l'amont Boughzoul	0101	791,0	6,45	125,62	R5
	0102	2 019,0	5,00	224,67	R5
	0103	963,8	4,76	147,83	R5
	0104	1329,0	7,69	225,40	R5
	0105	1 403,0	5,80	217,14	R5
	0106	2 033,0	6,58	296,64	R6
	0107	2 833,0	6,93	368,89	R6
	0108	1 549,0	4,00	157,43	R5
	0109	699,3	5,45	144,24	R5
	0110	1 403,0	6,10	228,39	R5
	0111	2 339,0	4,76	230,30	R5
	0112	2 617,0	4,29	219,24	R5
Zahrez	1701	1 330,0	11,11	405,21	R6
	1702	2 223,0	5,88	277,35	R6
	1703	1 936,0	5,32	234,04	R5
	1704	437,6	7,41	154,95	R5
	1705	1 434,0	4,55	172,13	R5
	1706	1 628,0	8,57	345,84	R6

Toutefois, les résultats (tableau 3) permettent de montrer que les plus fortes valeurs de l'indice de pente global (Ig) et la dénivelée spécifique (Ds) concernent les sous bassins situés à l'aval du barrage Boughzoul (relief fort), ainsi que le sous bassin Côtier Cherchel (Côtier Dahra).

Ces valeurs traduisent bien d'ailleurs l'importance du volume montagneux et la forte incision du relief dans ces secteurs.

Les valeurs les plus faibles de l'indice de pente global (Ig), relief modéré, correspondent aux bassins situés à l'Amont Boughzoul et Zahrez; elles caractérisent le milieu des hautes plaines, relativement plat et homogène, dont ces bassins font partie. Le bassin du Zahrez situé à l'amont du barrage Boughzoul, bien que faisant partie des hautes plaines, se classe dans la

catégorie du relief assez fort. Ceci est lié à la massivité des reliefs calcaires karstifiés que comporte ce secteur, entre autres les djebels Slim Dar Chioukh et Djelfa.

On constate, par ailleurs, que les sous bassins qui caractérisent le bassin Côtier Dahra se rangent dans les classes du relief assez fort à fort et cela en passant de l'Ouest à l'Est.

On constate, aussi, que l'ensemble de la région étudiée (Côtier Dahra, Cheliff et Zahrez) se range dans la classe du relief modéré, à cause vraisemblablement de l'influence de la surface, ce qui se traduit par l'atténuation du relief d'ensemble.

Dans ce même sens, et du fait que ce genre de classement comparatif s'applique mieux à des bassins de petite taille, l'importance relative de la surface des bassins étudiés «égalisé» en quelque sorte le relief, d'où les faibles différences entre les classes du relief trouvées.

Cette brève analyse a permis de relever les nuances morphométriques existant entre les unités de la région d'étude. Cependant le bassin Cheliff à l'aval Boughzoul et le bassin Côtier, montrent des caractères morphométriques assez particuliers, favorisant, à priori, le ruissellement de surface.

Tableau 4 : Caractéristiques morphométriques des bassins versants de la région d'étude.

Bassin	Sous bassin	Surface (A) (km ²)	Périmètre (P) (km)	Altitude moyenne (m)	Altitude minimale (m)	Altitude maximale (m)	indice de compacité (kc)	Indice de pente global (I _g) (m/km)	Dénivelée spécifique (Ds) (m)	Classe de relief
Côtier - Dahra	0201	1312	243,2	330	0	900	1,88	5,88	213,07	Relief assez fort
	0202	1324	245,1	395	0	1200	1,89	6,8	247,29	Relief assez fort
	0203	565,4	128,8	400	0	1300	1,52	18,18	432,33	Relief fort
Sous total		3201,4		390	0	1300				
Cheliff à l'aval de Boughzoul	0113	992,85	179,96	900	600	1800	1,60	16,91	532,84	Relief très fort
	0114	1383,69	176,81	870	500	1600	1,33	17,67	657,29	Relief très fort
	0115	767,29	168,95	600	300	1300	1,70	15,01	415,78	Relief assez fort
	0116	743,97	142,68	980	300	1800	1,46	19,41	568,42	Relief très fort
	0117	857,64	185,65	575	300	1600	1,76	23,87	651,09	Relief très fort
	0118	690,55	141,10	610	200	1500	1,51	23,73	619,08	Relief très fort
	0119	898,54	173,69	640	200	1700	1,62	21,38	640,87	Relief très fort
	0120	570,52	142,58	370	200	1100	1,67	14,49	346,10	Relief assez fort
	0121	1161,32	212,75	785	200	1800	1,75	18,08	616,13	Relief très fort
	0122	1437,44	224,12	375	100	1100	1,66	11,31	428,80	Relief assez fort
	0123	1405,47	225,12	710	100	1700	1,68	17,30	648,58	Relief très fort
	0124	564,72	122,13	275	75	1000	1,44	20,12	478,12	Relief assez fort
	0125	1513,02	202,89	805	300	1300	1,46	13,21	513,83	Relief très fort
	0126	928,45	185,18	460	75	1300	1,70	16,02	488,15	Relief fort
	0127	799,40	162,00	550	200	1000	1,60	12,95	366,14	Relief fort
	0128	759,63	145,00	310	50	800	1,47	10,04	276,71	Relief fort
	0129	1277,66	176,00	1095	600	1300	1,38	11,51	411,42	Relief fort
	0130	657,57	128,00	910	600	1300	1,40	15,65	401,32	Relief fort
0131	892,21	162,00	650	300	1300	1,52	16,21	484,19	Relief fort	
0132	1352,80	188,00	1100	800	1400	1,43	9,22	339,12	Relief fort	
0133	1228,61	198,00	775	300	1300	1,58	13,03	456,72	Relief fort	
0134	1250,98	193,00	490	100	1200	1,53	14,80	523,47	Relief très fort	
0135	1462,52	212,00	345	50	900	1,55	10,03	383,57	Relief fort	
0136	431,41	112,00	215	0	700	1,51	12,85	266,90	Relief fort	
Sous total		24 028,3		640	0	1 800				
Cheliff à l'amont de Boughzoul	0101	791	139,5	1410	1100	1700	2,01	6,45	125,62	Relief assez fort
	0102	2019	208,5	1205	900	1700	1,67	5	224,67	Relief assez fort
	0103	963,8	177	1050	800	1300	1,6	4,76	147,83	Relief assez fort
	0104	1329	156,5	1130	800	1500	1,5	7,69	225,4	Relief assez fort
	0105	1403	203,3	970	700	1400	1,52	5,8	217,14	Relief assez fort
	0106	2033	233,9	870	600	1300	1,45	6,58	296,64	Relief fort
	0107	2833	292,7	1000	600	1500	1,54	6,93	368,89	Relief fort
	0108	1549	251,3	890	600	1200	1,79	4	157,4	Relief assez fort
	0109	699	152	1060	800	1300	1,61	5,45	144,24	Relief assez fort
	0110	1403	222,1	950	700	1700	1,66	6,1	228,39	Relief assez fort
	0111	2339	284,6	840	600	1500	1,65	4,76	230,3	Relief assez fort
	0112	2617	338,8	790	600	1600	1,85	4,29	219,24	Relief assez fort
Sous total		19 096,8		940	600	1 700				
Zahrez	1701	1330	176,9	1110	800	1600	1,36	11,11	405,21	Relief fort
	1702	2223	252,7	1200	800	1600	1,5	5,88	277,35	Relief fort
	1703	1936	257,7	950	800	1500	1,64	5,32	234,04	Relief assez fort
	1704	437,6	95,87	1280	1100	1500	1,28	7,41	154,95	Relief assez fort
	1705	1434	200	1200	800	1600	1,48	4,55	172,13	Relief assez fort
	1706	1628	213	910	700	1600	1,48	8,57	345,84	Relief fort
Sous total		8 989		1 020	700	1 600				

I.3. Réseau hydrographique

I.3.1. Description du réseau hydrographique

Le bassin Cheliff résulte de la jonction de deux cours d'eau importants : l'Oued Touil et Nahr Ouassel, drainant respectivement une superficie de 16 338 km² et 3 651 km² et dont la confluence donne naissance à l'Oued Cheliff (figure 8).

L'Oued Touil prend sa source dans l'Atlas saharien, près d'Aflou dans les monts de Djebel Ammour. Il traverse les hautes plaines de quatre wilaya successivement : Laghouat, Djelfa, Tiaret et Medea au barrage Boughzoul, avec une orientation SW-NE jusqu'à Chahbounia à Médéa pour confluer avec l'Oued Nahr Ouassel qui coule en oblique vers le Nord-Est et traverse successivement (03) wilayas :Tiaret, Tissemsilt et Médéa.

L'Oued Cheliff résultant de jonction des deux grands cours d'eau précédents, prend d'abord une direction Sud-Nord et franchit la chaîne de Médea (Boughari). Ensuite, suivant une orientation SE-NW il traverse le massif de Gantass, et enfin il coule en oblique de l'Est à l'Ouest, traversant ainsi successivement (04) wilayas : Ain Defla, Chlef, Relizane et Mostaganem, jusqu'à son embouchure dans une large vallée vers la mer méditerranée.

Sur la majeure partie de son cours d'eau, il serpente au fond d'une vallée parallèle à la mer bordée au sud par le massif des Ouarsenis et au nord par la chaîne côtière des monts du Dahra et du Zaccar. De Boughzoul à l'embouchure du Cheliff, la distance en ligne droite est d'environ 250 km et la dénivellation à peu près 625 m. Durant tout ce parcours, l'Oued Cheliff ne reçoit pas d'affluents importants sur sa rive droite sauf l'Oued Ebda et l'Oued Ras Ouahrane, mais sur sa rive gauche, il collecte les eaux de l'Oued Deurdeur, Harreza, Rouina Zeddine, Fodda, Sly, Rhiou, Djediouia et l'affluent important plus au Ouest : Oued Mina qui suit une direction Sud-Nord.

Les cours d'eau du massif Côtier du Dahra, qui s'étend sur une centaine de kilomètres d'Est en Ouest et sur une trentaine de kilomètres de large, sont orientés Sud-Nord vers la méditerranée et sont très courts et présentent une forte pente (Oued Damous, Allala, Tarzoult et Kramis).

La dépression du Zahrez qui occupe 9 102 km², où les rares cours d'eau, souvent éphémères, drainant vers le chott Zahrez Chergui (Oued El Medbouh) et le chott Zahrez Gharbi (Oued Hadjia et Mesrane).

De cet ensemble, il est possible de délimiter trois grandes parties du bassin :

- Le bassin Cheliff à l'amont du barrage Boughzoul : correspondant à l'Oued Touil et Nahr Ouassel ainsi que le bassin du Zahrez.
- Le bassin Cheliff à l'aval du barrage Boughzoul : formé par l'Oued Cheliff et ses affluents jusqu'à son embouchure.
- Le bassin Côtier-Dahra : correspondant de l'Ouest à l'Est aux Oueds de Kramis, Allala et Damous.

Les longueurs des Oueds permanents et temporaires par bassin sont mentionnées dans le tableau suivant :

Tableau 5 : Longueur des oueds permanents et temporaires par bassin versant.

Sous région	Sous Bassin	Nom du Sous Bassin Versant	Longueur des oueds permanents Lp (km)	Longueurs des oueds temporaires Lt (km)	Longueur total L (km)
Côtier - Dahra	201	Côtier Guelta	365	548	913
	202	Côtier Tenes	236	1 013	1 249
	203	Côtier Cherchell	101	275	376
Sous Total			702	1 836	2 538
Cheliff à l'aval de Boughzoul	113	Oued Cheliff Djellil	167	439	606
	114	Oued Cheliff Ghrib	197	598	795
	115	Oued Cheliff Harbil	72	326	398
	116	Oued Deurdeur	176	329	505
	117	Oued Cheliff Harraza	107	252	359
	118	Oued Ebda	75	393	467
	119	Oued Rouina Zeddine	178	575	753
	120	Oued Cheliff Tikazel	55	345	401
	121	Oued Fodda	419	657	1 076
	122	Oued Ras Ouhrane	172	988	1 160
	123	Oued Sly	564	670	1 233
	124	Oued Cheliff Ourizane	119	298	417
	125	Oued Tiguiguest	546	527	1 073
	126	Oued Rihou Tleta	277	442	719
	127	Oued Djidiouia	254	359	613
	128	Oued Cheliff Tarhia	316	180	497
	129	Oued Mina Amont	263	535	798
	130	Oued Taht	58	393	451
	131	Oued Mina Moyenne	186	365	551
132	Oued ABD Amont	28	576	604	
133	Oued ABD Aval	124	754	878	
134	Oued Mina Hadda	287	723	1 011	
135	Oued Mina Aval	171	535	707	
136	Cheliff Maritime	87	105	192	
Sous Total			4 898	11 366	16 264
Cheliff à l'amont de Boughzoul	101	Oued Sebgag Berkana	114	428	542
	102	Oued Namous Chelal	121	1 274	1 395
	103	Oued Touil Amont	38	502	540
	104	Oued Sakni	-	363	363
	105	Oued Touil Moyen	-	641	641
	106	Oued Touil Aval	5	842	847
	107	Oued Sousselem	233	1 340	1 573
	108	Oued Mechti Zerga	260	552	812
	109	Oued Ouassel Amont	113	208	321
	110	Oued Ouassel Moyen	319	621	940
	111	Dait El Firania	100	702	802
	112	Diaa Boughzoul	165	922	1 087
Sous Total			1 468	8 395	9 866
Zahrez	1701	Oued Mesrane	-	940	940
	1702	Oued Djelfa Hadjia	116	1 356	1 472
	1703	Zahrez Rharbi	-	700	700
	1704	Daiet Mefiteg	-	190	190
	1705	Oued Medjedel	-	711	711
	1706	Zahrez Chergui	-	545	545
Sous Total			116	4 442	4 558

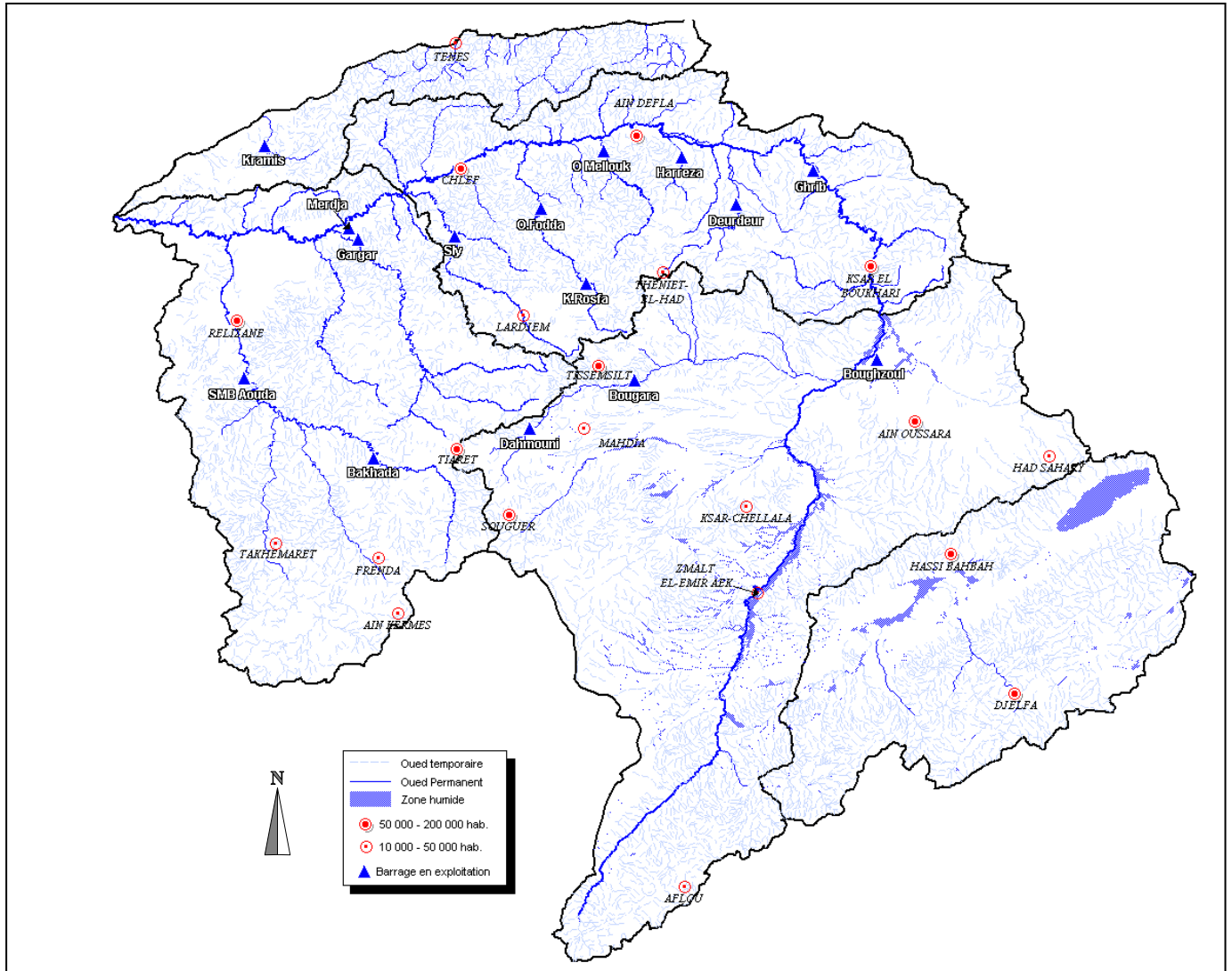


Figure 8 : Réseau Hydrographique (Cheliff à l'amont de Boughzoul)

I.3.2. Densité de drainage

L'opposition entre les secteurs Sud et Nord du bassin Cheliff-Zahrez est encore plus marquée par les densités de drainage. Pour affiner l'analyse, nous avons effectué des calculs de la densité de drainage total, permanent et temporaire, pour les principaux bassins contrôlés par les stations hydrométriques ; les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

$$Dd \text{ (densité de drainage total)} = \frac{L}{A} \quad (5)$$

L : longueur totale curvimétrée (en km) des drains permanents et temporaires.

A : surface du bassin versant (km²).

Ddp : densité de drainage permanent (L étant la longueur des talwegs qui coulent en permanence).

Ddt : densité de drainage temporaire (L étant la longueur des talwegs qui coulent en temporairement).

Tableau 6 : Densité de drainage par sous bassin versant.

Sous région	Sous Bassin	Nom Sous Bassin Versant	Lp (km)	Lt (km)	L (km)	Superficie (Km ²)	Ddp	Ddt	Dd	Ddp/Dd (%)	Ddt/Dd (%)
Côtier-Dahra	0201	Côtier Guelta	365	548	913	1312	0,28	0,42	0,70	40	60
	0202	Côtier Tenes	236	1013	1249	1324	0,18	0,77	0,94	19	81
	0203	Côtier Cherchel	101	275	376	565	0,18	0,49	0,66	27	73
Sous Total			702	1836	2538	3201	0,21	0,56	0,77	28	72
Cheliff à l'aval de Boughzoul	0113	Oued Cheliff Djellil	166,56	439,10	605,66	992,85	0,17	0,44	0,61	28	72
	0114	Oued Cheliff Ghrib	196,60	598,17	794,77	1383,69	0,14	0,43	0,57	25	75
	0115	Oued Cheliff Harbil	72,16	326,03	398,19	767,29	0,09	0,42	0,52	18	82
	0116	Oued Deurdeur	176,24	328,98	505,22	857,64	0,21	0,38	0,59	35	65
	0117	Oued Cheliff Harraza	107,45	251,62	359,07	743,97	0,14	0,34	0,48	30	70
	0118	Oued Ebda	74,60	392,84	467,43	680,55	0,11	0,58	0,69	16	84
	0119	Oued Rouina Zeddine	177,73	575,18	752,90	898,54	0,20	0,64	0,84	24	76
	0120	Oued Cheliff Tikazel	55,23	345,41	400,64	570,52	0,10	0,61	0,70	14	86
	0121	Oued Fodda	418,89	656,82	1075,70	1161,32	0,36	0,57	0,93	39	61
	0122	Oued Ras Ouhrane	171,76	988,26	1160,02	1437,44	0,12	0,69	0,81	15	85
	0123	Oued Sly	563,64	669,79	1233,44	1405,47	0,40	0,48	0,88	46	54
	0124	Oued Cheliff Ourizane	118,95	298,25	417,20	564,72	0,21	0,53	0,74	29	71
	0125	Oued Tiquiguest	545,87	527,04	1072,91	1513,02	0,36	0,35	0,71	51	49
	0126	Oued Rihou Tleta	276,55	442,13	718,68	928,45	0,30	0,48	0,77	38	62
	0127	Oued Djidiouia	254,21	358,92	613,13	799,40	0,32	0,45	0,77	41	59
	0128	Oued Cheliff Tarhia	316,45	180,28	496,73	759,63	0,42	0,24	0,65	64	36
	0129	Oued Mina Amont	262,61	535,09	797,70	1277,66	0,21	0,42	0,62	33	67
	0130	Oued Taht	57,86	393,10	450,95	657,57	0,09	0,60	0,69	13	87
0131	Oued Mina Moyenne	185,83	365,33	551,16	892,21	0,21	0,41	0,62	34	66	
0132	Oued ABD Amont	27,97	576,20	604,17	1352,80	0,02	0,43	0,45	5	95	
0133	Oued ABD Aval	124,32	753,67	877,99	1228,61	0,10	0,61	0,71	14	86	
0134	Oued Mina Hadda	287,44	723,37	1010,81	1250,98	0,23	0,58	0,81	28	72	
0135	Oued Mina Aval	171,41	535,43	706,84	1462,52	0,12	0,37	0,48	24	76	
0136	Cheliff Maritime	87,49	104,69	192,18	431,41	0,20	0,24	0,45	46	54	
Sous Total			4897,82	11365,66	16263,49	24018,26	0,20	0,47	0,68	30	70
Cheliff à l'amont de Boughzoul	0101	Oued Sebgag Berkana	114	428	542	791	0,14	0,54	0,69	21	79
	0102	Oued Namous Chelal	121	1274	1395	2019	0,06	0,63	0,69	9	91
	0103	Oued Touil Amont	38	502	540	964	0,04	0,52	0,56	7	93
	0104	Oued Sakni	-	363	363	1329	0	0,27	0,27	0	100
	0105	Oued Touil Moyen	-	641	641	1403	0	0,46	0,46	0	100
	0106	Oued Touil Aval	5	842	847	2033	0	0,41	0,42	1	99
	0107	Oued Sousselem	233	1340	1573	2833	0,08	0,47	0,56	15	85
	0108	Oued Mechti Zerga	260	552	812	1549	0,17	0,36	0,52	32	68
	0109	Oued Ouassel Amont	113	208	321	699	0,16	0,3	0,46	35	65
	0110	Oued Ouassel Moyen	319	621	940	1403	0,23	0,44	0,67	34	66

Sous région	Sous Bassin	Nom Sous Bassin Versant	Lp (km)	Lt (km)	L (km)	Superficie (Km ²)	Ddp	Ddt	Dd	Ddp/Dd (%)	Ddt/Dd (%)
	0111	Dait El Firania	100	702	802	2339	0,04	0,3	0,34	13	87
	0112	Diaa Boughzoul	165	922	1087	2617	0,06	0,35	0,42	15	85
	Sous Total		1468	8395	9866	19979	0,08	0,42	0,50	15	85
Zahrez	1701	Oued Mesrane	-	940	940	1330	0	0,71	0,71	0	100
	1702	Oued Djelfa Hadjia	116	1356	1472	2223	0,05	0,61	0,66	8	92
	1703	Zahrez Rharbi	-	700	700	1936	0	0,36	0,36	0	100
	1704	Daiet Mefiteg	-	190	190	438	0	0,43	0,43	0	100
	1705	Oued Medjedel	-	711	711	1434	0	0,5	0,5	0	100
	1706	Zahrez Chergui	-	545	545	1628	0	0,33	0,33	0	100
	Sous Total		116	4442	4558	8989	0,008	0,49	0,50	1,33	98,66

Plus que la densité de drainage total (Dd) qui s'assimile à la notion de densité de thalwegs, préconisée par les morphologues, du fait qu'elle exprime la dissection générale du relief, la densité de drainage permanent (Ddp) fait mieux ressortir, dans notre optique hydrologique, les variations de l'écoulement à l'échelle du bassin.

En effet, les valeurs de Ddp varient considérablement d'un secteur à l'autre et sont étroitement dépendantes de deux facteurs principaux, la lithologie et l'abondance des précipitations.

Elles sont faibles dans la région des hautes plaines : les sous bassins à l'amont du barrage Boughzoul, malgré qu'on enregistre des valeurs relativement élevée au nord du bassin aux sous bassins ; Oued Mechti Zerga (32%), Oued Ouassel Amont (35%) et Oued Ouassel Moyen (34%), et très faible dans le bassin Zahrez, en raison d'une part, de la faible abondance des précipitations à laquelle s'ajoute une évapotranspiration élevée et d'autre part, de la perméabilité non négligeable des formations lithologiques. Le rôle de la lithologie apparaît plus clairement dans les sous bassins de l'Oued Touil aval, Oued Touil Moyen et Oued Skani.

La densité de drainage permanent reste en moyenne assez faible dans le bassin Cheliff à l'amont du barrage de Boughzoul.

Elle est, par contre, relativement élevée dans le bassin du Côtier-Dahra (sous bassin Côtier Guelta ; 43% et Côtier Cherchel ; 27%) et dans le bassin Cheliff à l'aval du barrage de Boughzoul (sous bassin Oued Deurdeur ; 35%, Oued Fodda ; 39%, Oued Sly ; 46%, Oued Tiguiguest ; 51% et Oued Cheliff Tarhia ; 64%) où se conjugue une forte abondance pluviométrique et une faible perméabilité des affleurements géologiques. Toute en ajoutant que les valeurs de la densité de drainage permanent enregistrées aux sous bassin de la rive gauche de l'Oued Cheliff sont nettement supérieures aux celles des sous bassins de la rive droite (Oued Sly ; 46%, Oued Ras Ouhrane 15%).

Nettement opposées aux valeurs de la Ddp, les valeurs de la densité de drainage temporaire (Ddt) viennent également confirmer les nuances régionales soulignées en fonction des conditions pluviométriques et lithologiques propres aux bassins considérés. Ainsi, aux plus faibles valeurs de Ddp correspondent les valeurs de Ddt les plus fortes ; sous bassin Oued Abd Amont (bassin Aval Boughzoul), sous bassin Oued Touil Aval (bassin Amont Boughzoul), sous bassin Oued Djelfa Hadjia (bassin Zahrez) et sous bassin Côtier Ténès (bassin Côtier Dahra) et inversement, aux plus fortes valeurs de Ddp correspondent les valeurs de Ddt les plus faibles ; sous bassin Oued Cheliff Tarhia, Oued Tiguiguest (bassin Aval Boughzoul),

Dans l'ensemble, la densité de drainage temporaire est nettement plus élevée dans les hautes plaines (Amont Boughzoul et Zahrez) où une bonne partie des drains est à sec la plupart du temps ; les affluents ne sortent des bassins que lors des crues, d'où la notion d'écoulement « pseudo-exoréique » proposée par M. Côte (1979)

I.3.3. Profil en long

Les profils en long relatifs au cours principal du Cheliff et à ses principaux affluents permettent d'apporter des éléments complémentaires à la densité de drainage, au vu du rôle déterminant des pentes des thalwegs sur le ruissellement superficiel et surtout sur les vitesses d'écoulement lors des crues (figure 9).

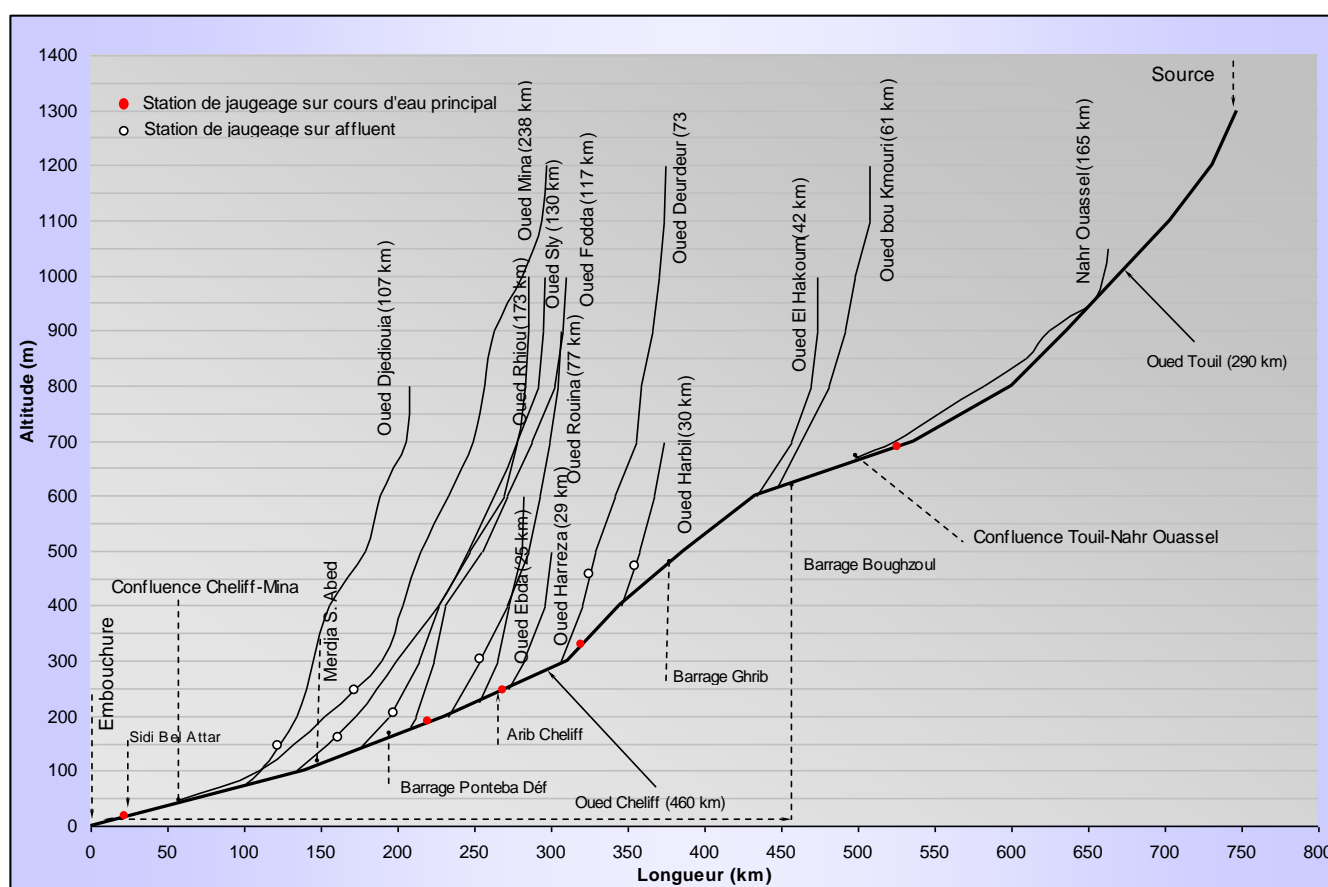


Figure 9 : Profils en long de l'Oued Cheliff et de ses principaux affluents.

Les grands traits qui ressortent de ces profils consistent d'une part, en la rupture de pente nettement marquée de l'Oued Cheliff à sa sortie du barrage Boughzoul (à Boghar) et d'autre part, en l'opposition entre la faible déclivité des cours d'eau des hautes plaines (Nahr Ouassel : 1,76‰) et les fortes pentes des affluents prenant naissance dans les massifs montagneux du Tell (Oued Harbil au confluent de l'Oued Cheliff : 10,7‰, Oued Fodda au confluent du Cheliff : 11‰, Oued Sly au confluent du Cheliff : 20‰). L'importante rupture de pente au niveau des gorges de Boghar joue, de pair avec l'encaissement profond du lit de l'Oued, dans le sens d'une accentuation de la vitesse de propagation des crues à l'aval du seuil rocheux (barrage Ghrib). Aussi, le vigoureux barrage structural que représente le barrage Boughzoul contribue à bloquer la remontée régressive de l'érosion (il joue le rôle d'un écrêteur de crues), ce qui a évité le déchargement des hautes plaines, par opposition au domaine tellien intensément disséqué.

D'autres ressauts le long de l'Oued Cheliff, certes beaucoup moins marqués mais également liés à des seuils rocheux, n'apparaissent pas nettement sur le profil en long. Les accentuations de pentes correspondantes peuvent également engendrer, surtout à l'échelle de petits bassins, un accroissement rapide des vitesses d'écoulement. Les resserrements relatifs à ce cours d'eau semblent, par ailleurs, favorables à des aménagements, intéressants pour le stockage de l'eau. La décroissance des pentes des affluents telliens se fait de façon irrégulière ; les pentes exceptionnellement élevées dans leur partie amont ne sont pas réalisées que sur de brefs secteurs et sont à l'origine de crues rapides qui ont une influence directe sur le renforcement des crues de l'Oued Cheliff, notamment au niveau de son cours inférieur.

Ainsi, les éléments qu'apportent les profils en long des cours d'eau ne font que renforcer les nuances relatives à la morphométrie du réseau hydrographique déjà relevées entre les grands secteurs du bassin du Cheliff.

En somme, le bassin Cheliff à l'aval du barrage de Boughzoul et, à un degré moindre, le bassin Cheliff à l'amont du barrage Boughzoul dans sa partie Nord (les sous bassins qui sont drainés par Nahr Ouassel) présentent les conditions les plus favorables au déclenchement de crues rapides : concentration relativement poussée du chevelu hydrographique, densité de drainage permanent élevée, pentes des thalwegs les plus fortes.

Pour revenir à la disposition d'ensemble du réseau hydrographique, on retient trois faits essentiels caractérisant le Cheliff :

- Un Oued partagé entre deux grands domaines géographiques nettement différenciés, Hautes plaines et Tell,
- Un Oued décrit de coudes au niveau des seuils rocheux, plus particulièrement à Boghar (Médéa),
- Un Oued dont le chevelu est désorganisé dans la partie méridionale du bassin.

Chapitre

A large, stylized white number '2' is centered behind the word 'Chapitre' on a dark blue gradient background.

Les facteurs climatiques et leur variabilité

II. Les facteurs climatiques et leur variabilité

II.1. Pluviométrie

Dans le cadre de l'analyse pluviométrique, nous insisterons tout d'abord sur la critique et l'homogénéisation des données statiques, tâche primordiale pour en tirer des conclusions fondées. Aussi une telle opération est-elle nécessaire pour envisager les possibilités d'amélioration des données d'observation en vue de disposer de séries plus continues et plus fines à l'échelle du terrain d'étude. Après quoi, nous aborderons les principaux caractères de précipitations et l'importance de leur variabilité.

II.1.1. Acquisition de données et choix de la période de référence

Les données pluviométriques ont été recueillies auprès de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques ANRH. Un bref aperçu sur le tableau synoptique des données d'observations pluviométriques nous permet de constater d'une part l'hétérogénéité générale des séries allant généralement du début de 20^{ème} siècle jusqu'à la période de l'indépendance (1962) et de courtes séries récentes, en partie postérieures à 1970 (figure 10) disponibilité des données pluviométriques). La décennie 1960-1970 se caractérise par un vide relatif, les quelques données disponibles étant discontinues.

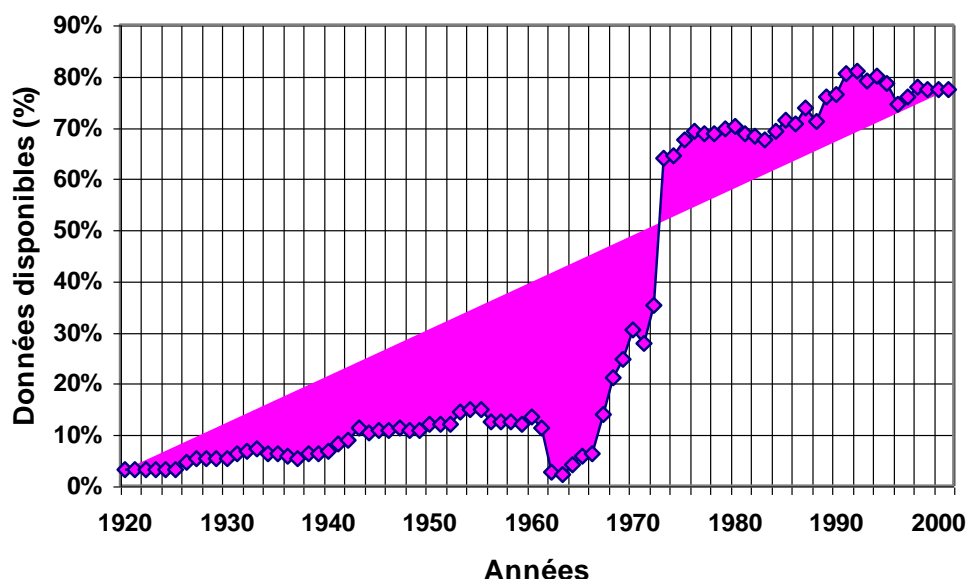


Figure 10 : Disponibilité des données pluviométriques

II.1.2. Caractéristiques du réseau pluviométrique

La région hydrographique Cheliff-Zahrez est équipée d'un réseau pluviométrique de 158 postes géré par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, ainsi répartis dans les bassins de la région d'étude :

Le bassin du Côtier est équipé d'un réseau pluviométrique de 14 postes, soit une densité de (04) postes pour 1000 km², dont (09) postes pluviométriques sont en service (tableau 7).

67 postes pluviométriques dans le haut et le moyen Cheliff, soit une densité d'un poste pour 208 km². 61 postes sont en service et 6 sont actuellement à l'arrêt.

40 postes pluviométriques dans le bas Cheliff et la Mina avec une densité d'un poste pour 254 km². 31 postes sont opérationnels et 9 postes sont à l'arrêt.

28 postes pluviométriques dans le bassin Amont du barrage Boughzoul, soit une densité d'un poste pour 1000 km². 26 postes sont opérationnelles et (02) sont actuellement à l'arrêt.

09 postes pluviométriques dans le bassin du Zahrez, dont (03) postes sont service, avec une densité très faible, soit moins d'un poste pour 1000 km².

Les stations les plus anciennes dans la région d'étude disposent de données enregistrées à partir des années 1910.

Comme on peut encore constater que la densité de couverture en informations pluviométriques est très inégale d'une zone de faibles altitudes (plaines du Haut et Moyen Cheliff où le réseau est plus concentré) à une zone de grandes altitudes (monts de l'Ouarsenis et Dahra où la densité du réseau est moins importante), figure 11.

En plus de l'hétérogénéité des séries d'observation, le réseau pluviométrique est inégalement réparti (figure 11). Parmi les 37 stations dans le bassin Amont Boughzoul et Zahrez, 29 ont été retenues (opérationnelles). Ce nombre, parait, à priori, satisfaisant, mais, il est, en réalité, très faible comparé à la superficie des deux bassins de la région d'étude (28 980 km²) : 01 poste pour 1000 km² environ.

Ce sous équipement est encore aggravé par une forte disparité géographique du réseau : la partie septentrionale du bassin aval-Boughzoul zone des grandes altitudes (hautes plaines), la plus arrosée est la paradoxalement la plus dépourvue en postes pluviométriques.

Tableau 7 : Inventaire du réseau pluviométrique.

Bassin	Superficie (km ²)	Nbr de poste pluviométrique		Densité du réseau en (1000 km ²)	
		total	Opérationnel	total	Opérationnel
Côtier - Dahra	3 202	14	9	4,37	2,81
Cheliff à l'aval du Boughzoul	14 080	107	92	7,59	6,53
Cheliff à l'amont du Boughzoul	19 990	28	26	1,45	1,2
Zahrez	8 990	9	3	0,88	0,33

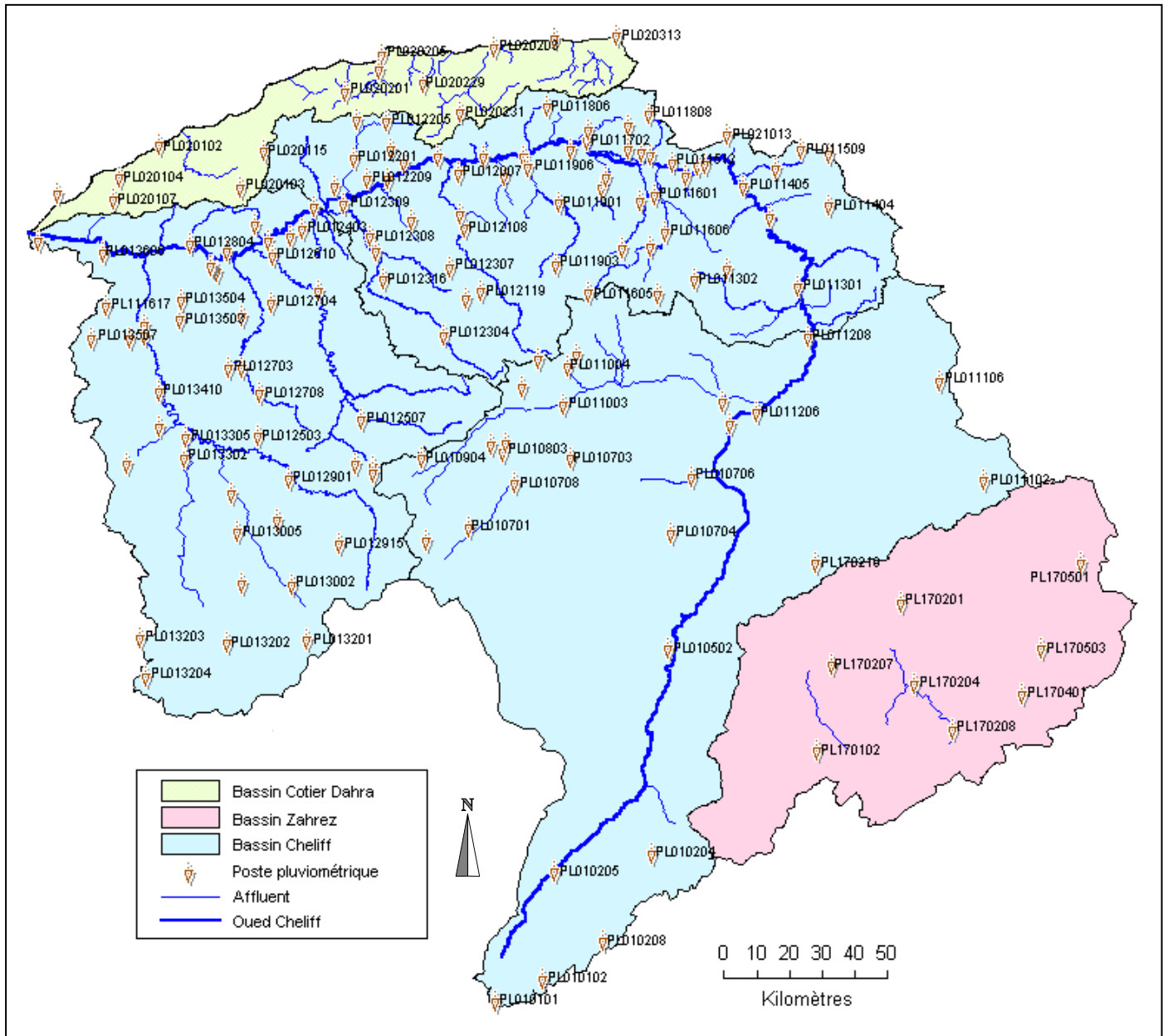


Figure 11 : Réseau pluviométrique du le bassin Cheliff Zahrez.

II.1.3. Répartition géographique des précipitations

L'étude plus ou moins précise des variations spatiales des précipitations annuelles moyennes passe par l'élaboration d'une carte d'isohyètes. En effet, la connaissance de totaux précipités issus de stations plus ou moins dispersées artificiellement dans la région ne suffit pas, à elle seul, pour cerner la disposition globale dans les zones pluviométriques. Il s'agit donc de passer de cette information ponctuelle à une estimation valable de tranche d'eau moyenne précipitée sur l'ensemble du bassin. Cette opération est capitale pour l'évaluation ensuite de la lame d'eau écoulée.

La carte pluviométrique ci-dessous, établie à partir des séries chronologiques de longue durée couvrant la période 1968/1969-2001/2002 fait bien ressortir les traits essentiels de la répartition des précipitations dans la région d'étude :

- Une concentration des précipitations sur les versants Est des monts du Dahra et Nord du Zaccar (bassin Côtier), avec une moyenne interannuelle de plus de 600 mm (station F'kirina (Tachta) 020231 ; 634 mm).
- Une disposition longitudinale des isohyètes en bandes plus ou moins parallèles et valeurs décroissantes des précipitations de l'Est vers l'Ouest marquée aussi par une diminution du gradient altimétrique du bassin Cotier (de 634 mm à la station de F'kirina (Tachta) à 355 mm à la station de Sidi Ali, 020107).
- Dans le bassin du Haut et Moyen Cheliff; une concentration des précipitations sur les versants Sud des monts du Dahra et du Zaccar, avec une moyenne interannuelle de plus de 600 mm (stations 011803 Sidi Medja et 011806 El Anneb). Les précipitations se réduisent dans la plaine du Haut et Moyen Cheliff où elles varient entre 300 et 400 mm, et dans le sud du bassin où elles atteindraient plus de 500 mm.
- La disposition longitudinale des isohyètes en bandes plus ou moins parallèles et les valeurs décroissantes du Nord au Sud, est toutefois, altérée au niveau de la chaîne de l'Ouarsenis où intervient le rôle important de l'altitude ainsi que la dissymétrie pluviométrique entre les versants du Nord-Ouest au vent et les versants Sud-Est sous le vent. Ainsi, on remarque bien une augmentation de l'Ouest vers l'Est marquée aussi par l'augmentation du gradient altimétrique du bassin.
- Pour le bassin versant du Bas Cheliff et de la Mina, les isohyètes illustrent clairement l'augmentation de la concentration des précipitations proportionnellement à l'altitude de 200 mm à 500 mm; les versants Nord-ouest des monts de Tiaret ouverts au vent de la mer sont les plus arrosés, avec une moyenne interannuelle de plus de 400 mm (Sidi Bakht (013103) et Tiaret ANRH (012917)). Les précipitations se réduisent dans la plaine du Bas Cheliff où elles varient entre 200 et 350 mm.
- La région des hautes plaines (bassin Amont Boughzoul et Zahrez) est cernée en gros par la tranche d'eau moyenne précipitée 300-350mm dont le tracé suit étroitement la limite des versants Sud-tellien, sauf au Nord, au niveau de limite de l'Ouarsenis où intervient le rôle important de l'altitude, où la limite remonte jusqu'à 500 mm. Et plus au Sud par l'isohyète 150mm.

Dans cette région (Amont Boughzoul et Zahrez) le climat semi-aride est particulièrement développé et l'espacement des isohyètes est très important. C'est là où l'effet de la latitude est très sensible : les perturbations cycloniques arrivent appauvries en vapeur d'eau suite à leur passage sur l'écran montagneux du Tell ; la principale remarque qui découle dans la région Amont Boughzoul et Zahrez à trait à la diminution générale des précipitations (145 mm à la station Guelta Sidi Saad, 206 mm à la station de Zaafrane, 246 mm à la station de Recheiga) par rapport aux régions Côtier et Aval Boughzoul (figure 12).

Le phénomène de variabilité spatiale est donc très sensible dans la partie Sud de la région hydrographique Cheliff-Zahrez.

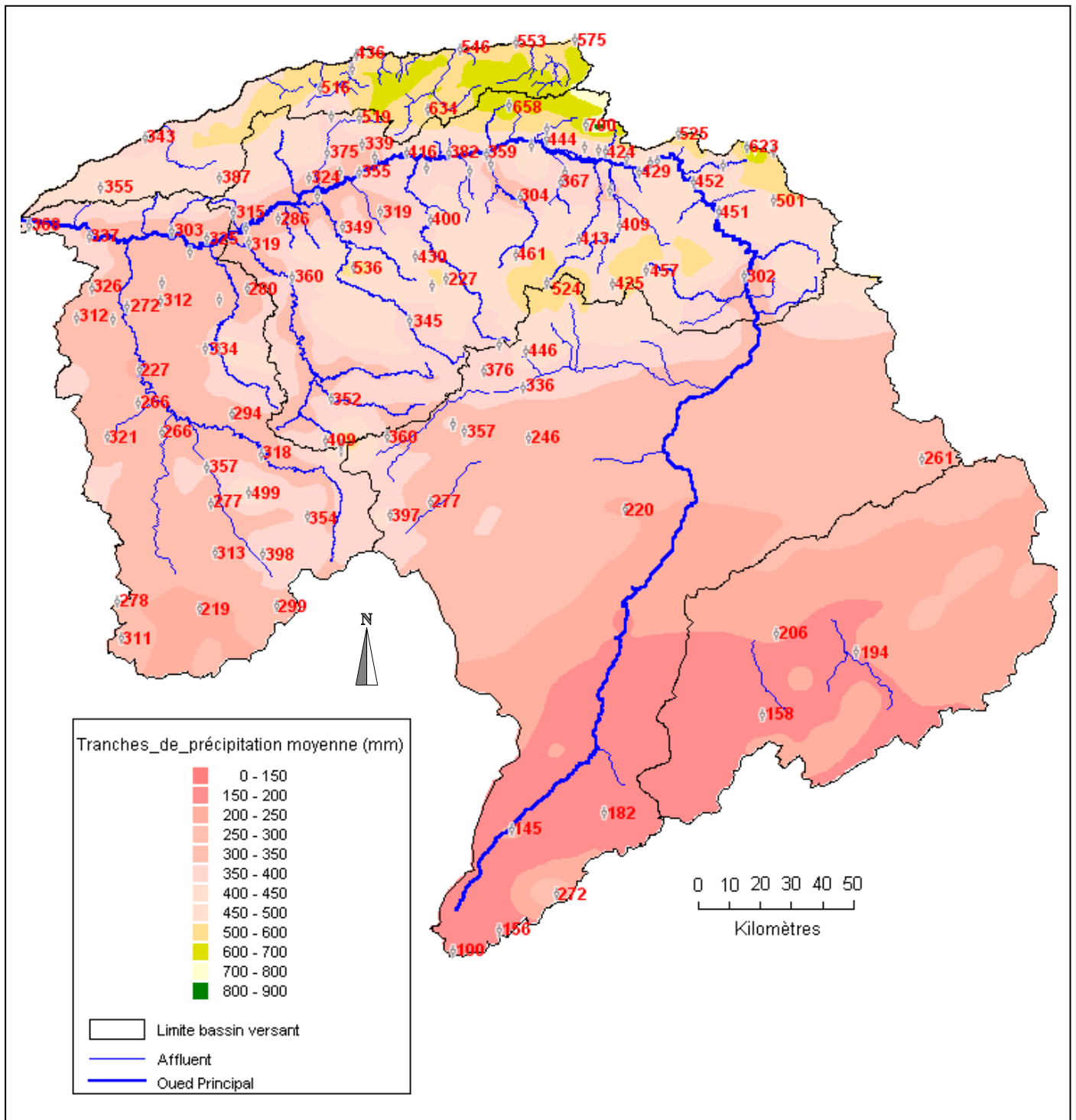


Figure 12 : Carte pluviométrique et tranches de précipitation moyenne (période 1968-2001)

II.1.4. Répartition des précipitations fréquentielles

L'analyse de la variabilité interannuelle des précipitations mérite d'être complétée par une étude fréquentielle, c'est à dire l'estimation des valeurs limites atteintes ou dépassées pendant une période donnée selon l'ajustement des séries de données pluviométriques à une loi statistique qui est la racine-normale la mieux adaptée à la distribution des pluies annuelles (dans ce cas, la recherche d'une loi d'ajustement aboutit, selon les études déjà faites sur la région hydrographique Cheliff-Zahrez, à admettre l'anamorphose en racine carrée (puissance $\frac{1}{2}$) des valeurs annuels pour assurer la normalité).

Les quantiles estimés pour les différentes stations de la région d'étude pour les probabilités de retour retenues sont présentés dans le tableau ci-dessous:

Tableau 8 : Répartition des pluies fréquentielles.

Bassin	STATIONS	Année humide		Préci moy	Année sèche	
		100 Ans	10 Ans		10 Ans	100 Ans
		(F = 0,99)	(F = 0,9)	(F = 0,5)	(F = 0,1)	(F = 0,01)
Côtier	020102	590,3	468,0	337,3	228,0	154,6
	020103	674,4	531,6	379,5	253,0	168,8
	020211	1 016,6	784,5	540,9	342,5	214,1
	020313	995,7	787,2	564,8	379,3	255,3
	020203	929,2	739,7	536,8	366,4	251,5
Aval-Boughzoul	011301	645,6	468,3	289,6	153,7	74,4
	011405	755,1	605,7	445,0	309,0	216,5
	011601	486,7	400,0	305,3	223,3	165,9
	011605	893,6	711,1	515,7	351,6	241,0
	011702	787,8	616,4	434,9	285,0	186,2
	011801	870,0	689,3	496,4	335,0	226,9
	011803	1226,1	964,5	686,6	455,7	302,4
	012201	662,1	519,3	367,7	242,2	159,2
	012610	567,3	443,5	312,6	204,4	133,2
	012806	903,6	675,0	440,0	255,1	141,4
	012908	900,1	717,6	522,0	357,4	246,2
	013002	703,9	551,4	389,8	256,1	167,8
	013204	667,0	483,6	298,8	158,3	76,5
	013304	458,6	357,6	250,9	163,1	105,4
	013505	447,9	361,7	268,6	189,3	134,9
Amont-Boughzoul	010101	236,5	164,9	94,7	43,9	16,7
	010102	390,5	266,3	146,3	61,9	19,6
	010205	355,9	244,3	136,0	59,2	19,9
	010708	442,5	334,0	221,7	132,4	76,5
	011003	579,8	459,3	330,7	223,1	151,0
	011106	383,3	258,8	139,3	56,6	16,2
	011210	330,4	249,1	165,0	98,2	56,5
Zahrez	170401	186,7	123,2	63,2	23,1	5,0
	170216	311,5	213,9	119,2	52,0	17,5
	170102	377,6	261,8	148,6	67,2	24,5
	170201	370,3	257,1	146,3	66,6	24,5

Les valeurs des précipitations décennales et centennales sèches s'écartent de façon significative de la moyenne, surtout à l'Est du bassin du Haut et du Moyen Cheliff, à l'Ouest

du bassin Côtier et au Sud du bassin Amont Boughzoul et Zahrez où elles indiquent des précipitations minimales plus sévères.

Les pluies moyennes annuelles sont comprises dans l'ensemble entre 300 et 700 mm dans le bassin du Haut et du Moyen Cheliff; des pluies moyennes supérieures à 600 mm sont enregistrées aux stations situées plus au Nord. Alors, dans le bassin du Bas Cheliff et la Mina, les pluies moyennes annuelles sont comprises entre 200 et 600 mm; des valeurs des pluies moyennes supérieures à 500 mm sont enregistrées aux stations situées au Sud Est de ce bassin (tableau 08).

Les pluies moyennes annuelles sont comprises dans le bassin Côtier entre 300 et 600 mm ; des pluies moyennes supérieures à 600 mm sont enregistrées aux stations situées au Sud-Est du bassin Côtier sur les monts de Zaccar et au niveau du massif du Dahra.

Les pluies moyennes annuelles du bassin Amont Boughzoul sont comprises entre 150 et 350 mm, les pluies moyennes supérieures à 400 mm sont enregistrées au nord sur les versants sud-tellienne (446 mm à la station Khemisti).

Les pluies moyennes annuelles ne dépassent guère les 250 mm dans le bassin du Zahrez.

II.1.5. Variations saisonnières des précipitations

La répartition les variations mensuelles des précipitations dans l'année conditionnent, en relation avec les facteurs thermiques, l'écoulement saisonnier et par là même le régime des cours d'eau ainsi que celui des nappes aquifères.

Les courbes des variations des précipitations mensuelles (figure 13), relèvent des nuances géographiques dans la répartition des pluies au cours de l'année moyenne avec, cependant, une individualisation nette de la saison sèche d'été pour l'ensemble des stations : Juillet, Août et juin sont dans l'ordre, les mois les plus secs de l'année.

Par ailleurs, décembre correspond au mois le plus humide dans la quasi-totalité des stations. Celui-ci devient plus prononcé lorsqu'on s'approche de la zone maritime.

L'organisation des saisons n'est pas homogène à l'échelle de la région étudiée, car elle dépend du régime pluviométrique propre à chaque secteur géographique. Il est nécessaire donc, de déterminer ces régimes pluviométriques et analyser leur répartition dans l'espace.

Tableau 9 : Précipitations mensuelles dans les bassins de la région d'étude.

Bassin	station pluviométrique	sept	oct.	nov.	dec	jan	fev	mars	avr	mai	juin	juil	août
Côtier	PL020201	20,3	49,8	63,4	78,7	62,0	73,0	60,5	44,9	30,7	5,0	0,8	2,1
	PL020211	22,6	50,5	70,5	76,0	68,3	70,4	59,1	51,1	35,2	5,8	1,0	3,5
Haut et Moyen Cheliff	PL011501	15,6	36,0	53,3	56,5	61,3	51,9	48,2	43,9	24,5	8,1	3,8	0,9
	PL012203	18,0	39,4	50,8	53,7	50,7	55,3	44,4	41,1	28,4	6,2	1,5	3,0
Bas Cheliff et la Mina	PL012806	15,0	29,4	33,0	35,9	28,5	36,7	27,9	28,1	15,8	4,6	0,5	1,9
	PL013301	15,5	27,3	21,7	22,5	22,5	31,4	32,3	26,7	18,3	6,9	6,8	6,8
Amont Boughzoul	PL011003	28,3	30,6	34,9	32,3	37,9	38,6	32,6	38,2	29,8	13,8	5,6	10,5
	PL011210	16,5	18,0	17,9	13,8	20,5	12,1	13,3	19,9	18,4	10,2	2,8	3,4
Zahrez	PL170207	15,5	15,0	19,0	11,8	19,9	15,7	19,5	20,2	21,8	9,7	6,4	12,6

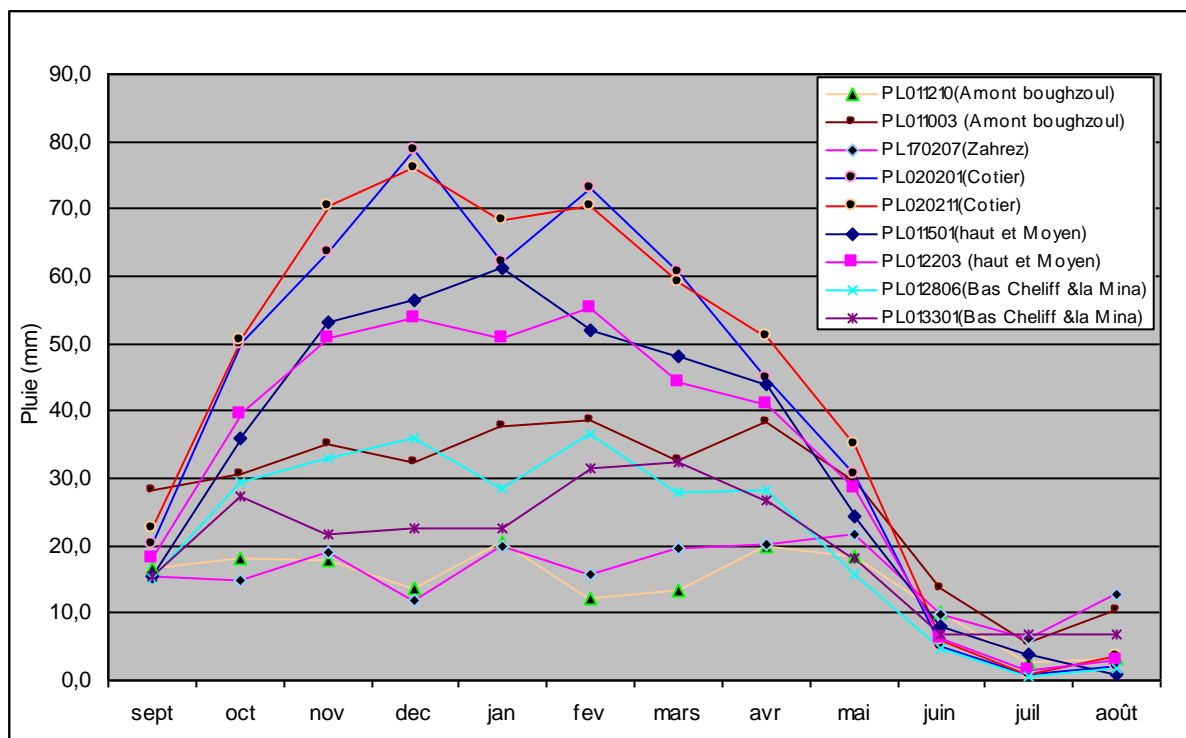


Figure 13 : Courbes de variations mensuelles des précipitations.

Afin de distinguer les pluies qu'on pourrait appeler arbitrairement d'automne-hiver (septembre-Février) et les pluies de printemps-été (Mars-Aout), survenant dans des conditions de température et à des phases de développement de la végétation absolument différentes (H. Isnard, 1950), on calcule le pourcentage des précipitations de chaque mois par rapport au total annuel et ce, pour des stations choisies selon une coupe Nord-Sud:

Tableau 10 : Distribution saisonnière des précipitations (moyenne des postes pluviométriques).

Bassin		Octobre - Janvier	Fevrier - Mai	Juin - Septembre
Côtier Dahra		50,43%	40,70%	8,46%
Cheliff à l'aval Boughzoul	Haut et Moyen Cheliff	46,77%	44,59%	8,69%
	Bas Cheliff et la Mina	46,94%	44,19%	8,83%
Cheliff à l'amont Boughzoul		42,18%	42,53%	16,56%
Zahrez		38,36%	41,18%	20,47%

Le pourcentage cumulé des pluies de printemps-été s'accroît régulièrement du Nord au Sud : 8,46%, 8,69%, 8,83%, 16,56% et 20,47 (tableau 10). Le maximum principal se situe en général en décembre mais en remarque un fait caractéristique correspondant à l'apparition d'un maximum secondaire très accusé en Avril aux stations des hautes plaines (bassin Cheliff à l'amont Boughzoul et Zahrez) ; ce dernier ne s'écarte que très légèrement du maximum principal.

Cette différence de distribution mensuelle et saisonnière des pluies du Nord au Sud du bassin (Côtier-Dahra, Cheliff à l'aval Boughzoul, Cheliff à l'amont Boughzoul et Zahrez) permet de distinguer successivement :

- **Un régime maritime** (bassin Côtier - Dahra) : Caractérisé par une forte proportion de pluies d'automne-hiver et une augmentation rapide des précipitations à partir de septembre jusqu'à décembre-janvier (50,43% du total annuel), puis une décroissance régulière jusqu'au minimum estival. Ce régime concernant plus particulièrement les stations, du bassin Côtier, Ténès et Cherchell correspond aux étages bioclimatiques subhumide et humide. M. Côte (1974)
- **Un régime de transition tellien** (bassin Cheliff à l'aval de Boughzoul) : caractérisé par un maximum pluviométrique principal en Décembre et la présence d'un palier lors de la décroissance des pluies (Mars-Avril). Il correspond aux stations situées dans la zone médiane du bassin Cheliff Zahrez (Tamezguida, Sidi Medjahed, Ponteba Bge, Bakhada Bge, Ain Ammara...), relevant donc de l'étage subhumide et parfois semi aride.
- **Un régime continental** : Caractérisé par l'abondance relative des pluies de printemps-été, les pluies de juin-septembre représentent 16,56% et 20,47% respectivement dans le bassin du Cheliff à l'amont Boughzoul et Zahrez et la présence de deux maximum, l'un en hiver (Décembre-Janvier) et l'autre au printemps (Avril-Mai). Ce régime s'identifie au secteur des hautes plaines (Col. Bougara, Sidi Bouabdellah, Zaafrane...) donc à bioclimat exclusivement semi-aride.

II.1.6. Lame d'eau précipitée par sous bassin

L'estimation de la tranche d'eau précipitée, pour la période de référence considérée (1968-2001), au niveau des sous bassins versants de la région hydrographique étudiée à été faite par la méthode des isohyètes, à partir de la carte des isohyètes citée précédemment.

Les résultats de calcul ainsi effectués sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 11 : Lames d'eau moyennes annuelles précipitées.

Bassin	Code	Nom bassin	Altitude moyenne (m)	superficie (km ²)	tranche d'eau moyenne annuelle précipitée (mm) (1968-2001)
Côtier - Dahra	0201	Côtier Guelta	330	1312	441,0
	0202	Côtier Ténès	395	1324	555,2
	0203	Côtier Cherchell	400	656,4	609,7
moyenne			375	3201,4	535,3
Cheliff à l'aval de Boughzoul	0113	Oued Cheliff Djellil	900	992,85	401,9
	0114	Oued Cheliff Ghrib	870	1383,69	457,3
	0115	Oued Cheliff Harbil	600	767,29	465,6
	0116	Oued Deurdeur	980	743,97	463,4
	0117	Oued Cheliff Harraza	575	857,64	433,6
	0118	Oued Ebda	610	690,55	570,8
	0119	Oued Rouina Zeddine	640	898,54	423,9
	0120	Oued Cheliff Tikazel	370	570,52	429,0
	0121	Oued Fodda	785	1161,32	421,2
	0122	Oued Ras Ouhrane	375	1437,44	396,3
	0123	Oued Sly	710	1405,47	414,6
	0124	Oued Cheliff Ourizane	275	564,72	348,8
	0125	Oued Tiguiguest	805	1513,02	365,7
	0126	Oued Rihou Tleta	460	928,45	375,8
	0127	Oued Djidiouia	550	799,40	369,1
	0128	Oued Cheliff Tarhia	310	759,63	345,0
	0129	Oued Mina Amont	1095	1277,66	369,0
0130	Oued Taht	910	657,57	336,6	
0131	Oued Mina Moyenne	650	892,21	328,5	
0132	Oued Abd Amont	1100	1352,80	256,9	
0133	Oued Abd Aval	775	1228,61	294,6	
0134	Oued Mina Hadda	490	1250,98	303,5	
0135	Oued Mina Aval	345	1462,52	303,6	
0136	Oued Cheliff Maritime	215	431,41	366,8	
moyenne			640	24 028,3	392,51
Cheliff à l'amont de Boughzoul	0101	Oued Sebgag Berkana	1410	791	180,1
	0102	Oued Namous Chelal	1205	2019	183,8
	0103	Oued Touil Amont	1050	963,8	178,5
	0104	Oued Sakni	1130	1329	257,3
	0105	Oued Touil moyen	970	1403	224,2
	0106	Oued Touil aval	870	2033	245,5
	0107	Oued Sousselem	1000	2833	302,9
	0108	Oued Mechti zerga	890	1549	328,3
	0109	Oued Ouassel amont	1060	699,3	369,2
	0110	Oued Ouassel moyen	950	1403	414,8
	0111	Dait el Firania	840	2339	308,4

Bassin	Code	Nom bassin	Altitude moyenne (m)	superficie (km ²)	tranche d'eau moyenne annuelle précipitée (mm) (1968-2001)
	0112	Diaa Boughzoul	790	2617	325,5
moyenne			1013,7	19096,8	276,5
Zahrez	1701	Oued Mesrane	1110	1330	175,4
	1702	Oued Djelfa hadja	1200	2223	194,0
	1703	Zahrez Rharbi	950	1936	221,7
	1704	Daïet Mefiteg	1280	437,6	215,2
	1705	Oued Medjedel	1200	1434	235,8
	1706	Zahrez Chergui	910	1628	250,3
moyenne			1108,3	8988,6	215,4

On remarque bien que l'augmentation des modules pluviométriques de l'Ouest en Est provoque une augmentation des tranches d'eau précipitées proportionnelles. Les tranches d'eau précipitées dans le bassin du bas Cheliff et de la Mina sont moins importantes que celles du bassin du Haut et du Moyen Cheliff, ce qui exprime la prépondérance des lames d'eau écoulées dans le bassin du Haut et du Moyen Cheliff.

Malgré une augmentation, plus ou moins, progressive des modules pluviométrique de l'amont à l'aval du bassin Amont- Boughzoul et Zahrez, la tranche d'eau annuelle moyenne reçue pour l'ensemble des deux bassins reste relativement faible 276 mm et 215 mm respectivement. Ceci est lié à l'influence du régime semi-aride marquée du bassin supérieur.

L'augmentation pluviométrique de l'Ouest en Est dans le bassin côtier provoque une augmentation proportionnelles des tranches d'eau moyennes précipitées ; cette dernière étant évalué à 535 mm, soit un volume moyen annuel d'environ 1700 millions de m³.

II.2. Les facteurs thermiques, paramètres essentiels du déficit d'écoulement

II.2.1. Température

Les températures moyenne, annuelles et mensuelles, régissent directement, en interaction avec les autres facteurs météorologiques (insolation, vitesse et turbulence du vent, précipitations) et biogéographiques, le phénomène d'évapotranspiration et par là-même le déficit d'écoulement annuel et saisonnier.

Les données existantes sont celles des stations gérées par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques et par l'office national de météorologie. Ces données relevées à partir des cartes de températures moyennes mensuelles éditées récemment par l'ANRH.

II.2.1.1. Répartition géographique des températures

Le régime thermique de la région étudiée connaît, toutefois, des nuances régionales qui peuvent être déterminées tant par les valeurs des températures moyennes annuelles et mensuelles, que par celles de l'amplitude thermique.

En effet, les températures moyennes annuelles diminuent progressivement du Nord (bassin Côtier, bassin aval Boughzoul) au Sud (bassin Amont Boughzoul et Zahrez) : 18,5 C° à Ténès, 17,0C° à Miliana, 16,2C° à Ksar Chellala et 13,4C° à Djelfa respectivement (tableau 12).

Les température moyennes mensuelles suivent le même schéma, mais la décroissance est plus rapide en saison froide qu'en saison chaude, à cause de l'effet particulièrement rigoureux de la continentalité en hiver et l'influence plus régulatrice de la mer en été.

L'amplitude thermique annuelle, qui est définie par la différence des températures moyennes du mois le plus chaud et du mois le plus froid, évolue, quant à elle, en sens inverse :Ténès:14,3 C°, Miliana:18,3 C°, Ksar Chellala:20,3 C° et Djelfa:20 C°. Ces données mettent en évidence l'accroissement de la tendance continentale du climat du Nord au sud; la continentalité s'affirme nettement dans les hautes plaines dont le relief en cuvettes se trouve isolé des influences maritimes par l'écran montagneux que présente la chaîne tellienne.

La limite de cette continentalité est marquée par le décalage du mois le plus chaud : il se produit déjà en Juillet dans les hautes plaines (bassin Amont Boughzoul et Zahrez) à cause des variations rapides de la températures de l'air alors qu'il est reporté pour le mois d'Août sur le littoral (bassin Côtier et Aval Boughzoul) du fait de l'influence maritime qui retarde la montée des températures.

A la différence des précipitations, la variabilité des températures est dans l'ensemble faible ; on admet d'une façon générale que la variabilité saisonnière et interannuelles des températures augmente du Nord au Sud dans la région d'étude, donc parallèlement à l'augmentation des contrastes thermiques.

II.2.1.2. Variabilité des températures mensuelles

Selon les données des stations en question, il s'avère que, contrairement aux précipitations, les saisons thermiques sont bien tranchées :

La saison chaude de Mai à Octobre, mois durant lesquels les températures moyennes mensuelles sont supérieures à la moyenne annuelle, alors que la saison froide s'étale de Novembre à Avril.

Le maximum des températures est atteint en Août ou Juillet autour de 27 à 28°C et le minimum se situe en janvier ou Février de 3°C à plus de 10°C (figure 14).

Tableau 12 : Températures moyennes mensuelles et annuelles (C°).

Bassin	Station	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Annuelle
Côtier - Dahra	Ténès	12,1	13	14,3	16	19,0	22,4	25,4	26,4	23,9	20,1	16	13,1	18,5
	Sidi LAKhder	11,6	12,3	13,4	15	17,8	20,5	23,1	23,6	22,1	16,8	15,2	12,3	17,0
	Cap IVI	11,7	12,4	13,9	16	18,8	22	24,4	25,1	23	19,5	14,4	12,6	17,8
Cheliff à l'aval de Bougzoul	Chlef	9,6	10,9	13,4	16,4	20,8	25,6	29,6	29,8	25,3	19,4	13,9	10,1	18,7
	El Abadia	9,1	10,3	12,6	15,3	19,0	24,0	28,5	28,9	25,4	19,1	13,9	9,7	17,9
	Chlef ONM	9,4	10,7	12,9	15,4	20,1	24,0	28,9	29,4	25,4	19,8	13,8	10,1	18,3
	Ain Defla	8,9	9,8	12,6	16	20,5	26,0	30,6	30,3	25,9	20,4	13,7	9,9	18,7
	Miliana	8,9	10,3	11,8	13,8	18,0	22,7	26,7	27,3	23,3	18,3	13,0	9,9	17,0
	Ghrib Bge	8,2	9,3	12,3	13,3	17,6	22,3	26,1	27,0	21,9	17,5	12,7	8,8	16,4
	Medea	6,8	6,7	9,8	12,3	15,4	20,4	24,6	24,4	20,8	15,4	11,0	6,4	14,5
	Merdja	11,5	13,3	15,7	16,2	21,0	23,6	26,3	27,8	24,8	20,2	17,1	13,0	19,2
	Sidi Slimane	7,3	8,1	9,9	12,6	17,2	21,0	26,5	27,1	22,3	16,8	10,9	7,7	15,6
	Theniet El Had	4,7	5,8	8,5	11,3	15,2	20,3	23,8	24,1	19,6	14,8	8,9	6,0	13,5
	Ammi Moussa	9,1	10,8	12,9	15,6	19,4	24,4	28,2	28,5	24,7	19,0	13,6	9,6	17,9
	Ksar El Boukhari	5,7	7,1	9,9	13,1	17,0	21,5	26,3	25,3	21,5	16,0	10,4	6,2	15,0
	Zoubiria Mongorno	5,1	6,4	9,1	12,0	15,9	20,4	24,7	24,7	20,6	15,6	9,9	6,0	14,2
	Ouzera	4,6	6,2	8,4	10,9	15,7	20,0	25,6	25,3	19,5	14,6	8,5	5,7	13,7
	Relizane	9,9	11,3	13,4	16,3	20,0	23,6	27,9	28,7	25,0	19,6	14,5	10,8	18,4
	Sidi Med B. Aouda	11	12,1	15,9	17,2	22,1	24,5	29,0	29,5	25,2	20,3	16,3	13,1	19,6
	Ain Kermes	6,5	7,6	9,8	11,9	16,9	22,0	26,4	25,4	20,8	16,3	11,3	7,7	15,2
	Bekhada	9,7	10,7	14,1	14,2	19,5	23,7	28,6	28,2	24,3	18,4	14,8	10,3	18,0
Guertoufa	6,1	6,9	9,1	12,1	16,1	21,0	25,9	26,0	21,7	15,9	10,3	6,6	14,8	
Cheliff à l'amont de Bougzoul	Tissemst	5,8	5,4	8,7	11	16,5	20,5	25,4	25,3	21	15,1	9,9	6	14,2
	Dahmounia	6,4	8,1	10,3	12	16,5	21	26,5	25,3	22,2	17,3	12,1	8,1	15,5
	ksar Chellala	6,8	8,3	10,9	14	18,4	23	27,1	27,4	23,3	16,6	11,1	7,4	16,2
	Aflou	4,3	3,5	8,3	11	16,7	20,4	24	24	19	13,9	8,5	4,8	13,2
Zahrez	Djelfa	4,3	5,6	8,2	11	15,6	20,3	24,3	24	19,8	13,6	8,5	4,8	13,4
	Charef	3,6	4,9	7,5	11	15,1	20	24,7	24,3	19,6	13,7	8,1	4,4	13,0

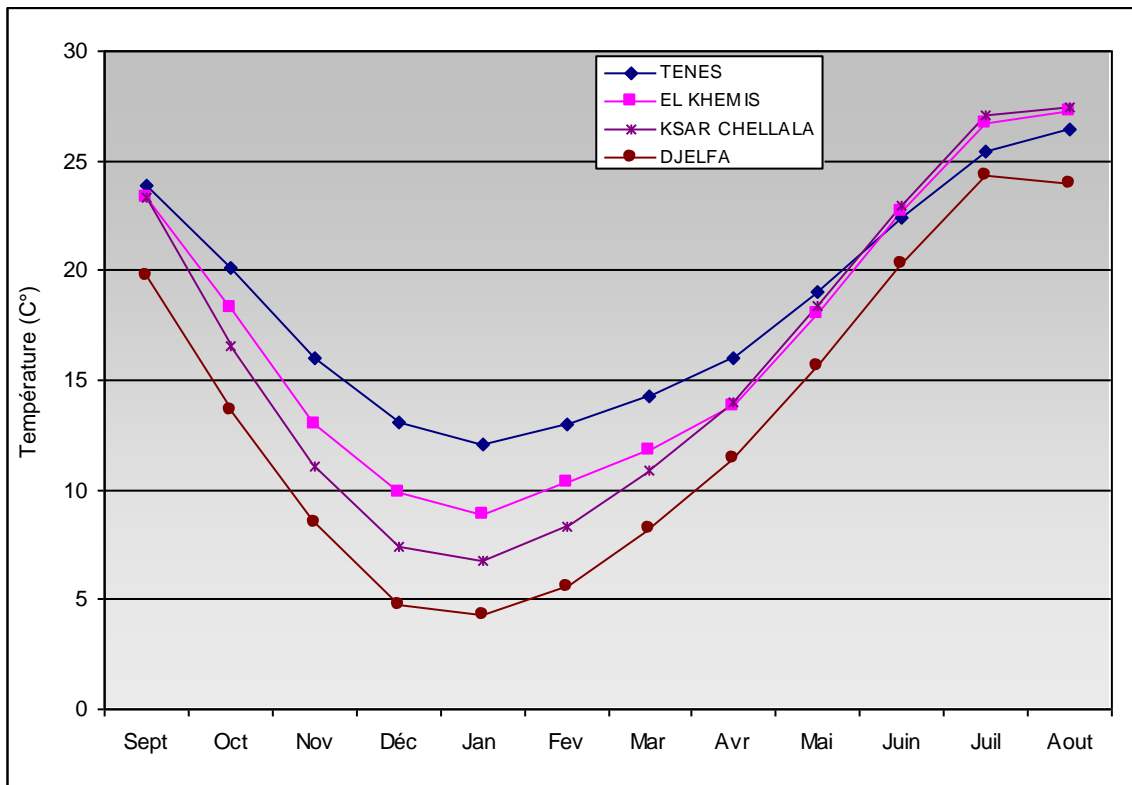


Figure 14: Variations de la température moyenne mensuelle du Sud au Nord du bassin Cheliff Zahrez aux stations : Djelfa, Ksar Chellalaj, El Khemis, et Ténès.

II.2.2. Evapotranspiration

Sur le plan temporel, il existe une nette coïncidence, typiquement méditerranéenne, entre le maximum thermique et le minimum pluviométrique, ce qui se traduit par une sécheresse marquée où l'évapotranspiration atteint sa valeur plafond.

Les données d'évapotranspiration inscrites ci-dessous (tableau 13) sont relevées de la carte éditée par les services de l'ANRH (2002).

Tableau 13 : Evapotranspiration potentielles moyennes mensuelles et annuelles (mm).

Bassin	Station	Jan	Fevr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Annuelle
Côtier - Dahra	TENES	47	62	97	129	154	176	196	183	138	96	56	42	1376
	SIDI LAKHEDHER	48	62	94	123	150	169	187	171	130	91	66	42	1333
	CAP IVI	48	62	97	129	156	177	194	180	134	93	66	42	1378
Cheliff à l'aval Boughzoul	Ksar El Boukhari	31	45	83	123	163	198	237	214	143	89	46	28	1400
	Zoubiria Mongorno	28	41	76	113	151	186	220	199	136	86	43	27	1306
	Ouzera	27	40	72	105	150	190	228	203	129	81	36	28	1289
	Medea Secteur	34	42	80	114	146	184	218	195	136	84	46	28	1307
	Ghrib Barrage	40	54	96	122	164	199	230	214	142	94	52	35	1442
	Ain Defla	41	54	95	138	181	221	257	229	160	103	54	37	1570
	El Abadia	42	56	95	132	168	207	239	218	156	97	54	36	1500
	Chlef	43	58	99	139	181	214	245	222	154	97	53	37	1542
	Chlef ONM	42	57	95	130	174	207	237	217	153	98	52	37	1499
	Sidi Slimane	36	48	80	115	159	193	230	212	143	89	46	31	1382
	Ammi Moussa	42	59	98	135	172	209	238	217	154	98	54	37	1513
	Merdja	50	69	113	137	182	199	220	208	151	101	64	46	1540
	Theniet El Had	27	38	72	107	145	184	212	194	130	82	40	27	1258
	El Khemis	42	57	91	123	164	199	230	211	147	95	43	32	1434
	Miliana	35	49	82	116	152	187	218	199	138	88	47	32	1343
	Ain Kermes	37	50	87	119	169	210	247	216	146	95	52	35	1463
	Bekhada	48	63	112	132	182	116	253	231	161	101	62	42	1503
	Tiaret	34	45	78	117	156	195	235	213	146	90	46	30	1385
	Relizane	44	60	99	137	174	199	231	214	152	99	56	40	1505
	Sidi M. Benaouda	49	65	117	147	193	216	244	224	156	104	63	48	1626
Cheliff à l'amont Boughzoul	AFLOU	31	33	83	119	171	211	245	221	147	91	45	28	1426
	KSAR CHELLALA	38	54	95	137	182	219	254	232	162	97	51	34	1555
	DAHMOUNIA	35	51	87	118	162	198	242	209	150	97	60	36	1445
	TISSEMSILT	32	42	75	108	151	189	229	206	141	85	44	28	1330
Zahrez	DJELFA	29	42	78	119	163	202	237	212	145	85	44	26	1382
	CHAREF	26	39	74	114	160	202	244	217	145	87	42	25	1373

Le carte d'évapotranspiration (figure 18), établie par l'ANRH, montre que l'évapotranspiration se positionne en parfaite opposition à celle de la pluviométrie. Le total potentiel évapotranspiré annuel serait de 1200 à 1600 mm, soit plus du double du total pluviométrique. En saison froide, l'ETP décroît progressivement jusqu'au moment où elle atteint des valeurs inférieures à celles des précipitations (figures 15, 16 et 17).

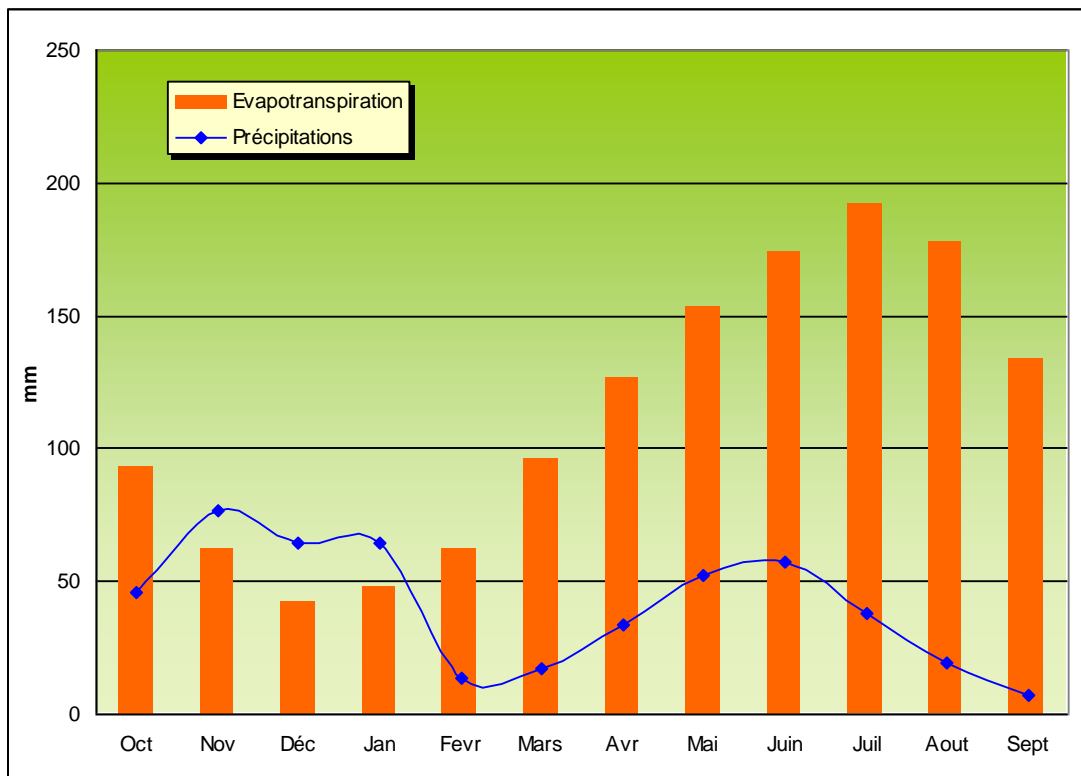


Figure 15: Variation des précipitations et de l'évapotranspiration dans le bassin Côtier (période 1986-2001).

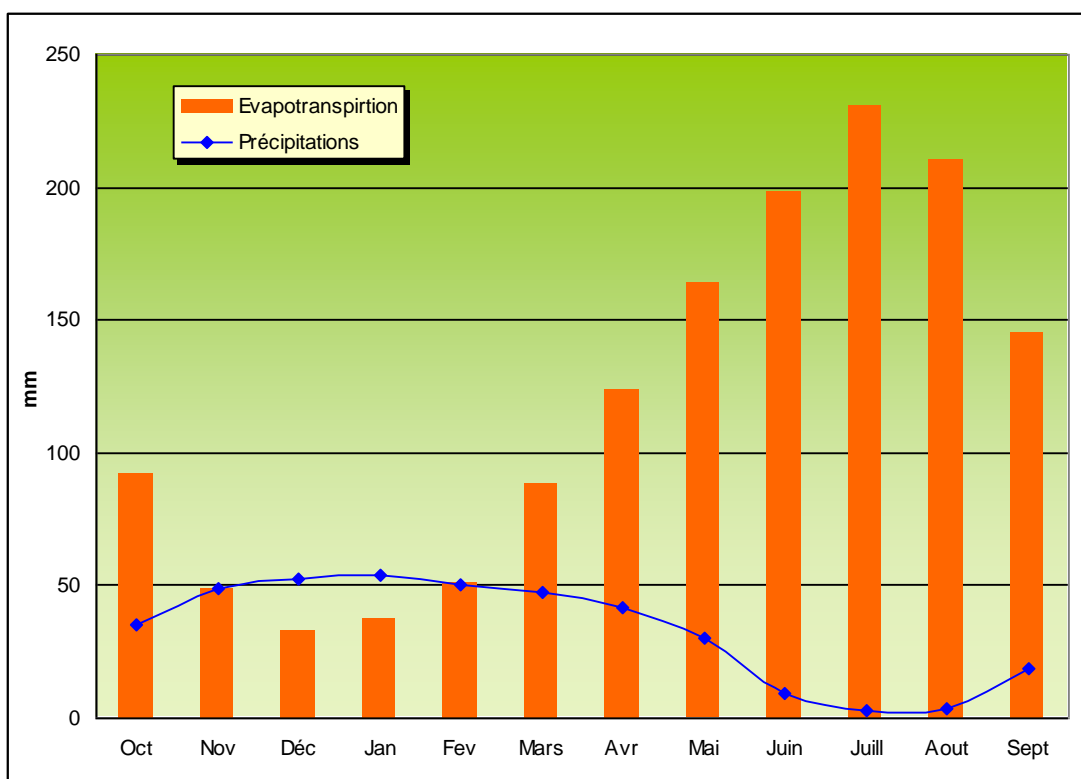


Figure 16: Variation des précipitations et de l'évapotranspiration dans le bassin Cheliff à l'aval de Boughzoul (période 1968-2001).

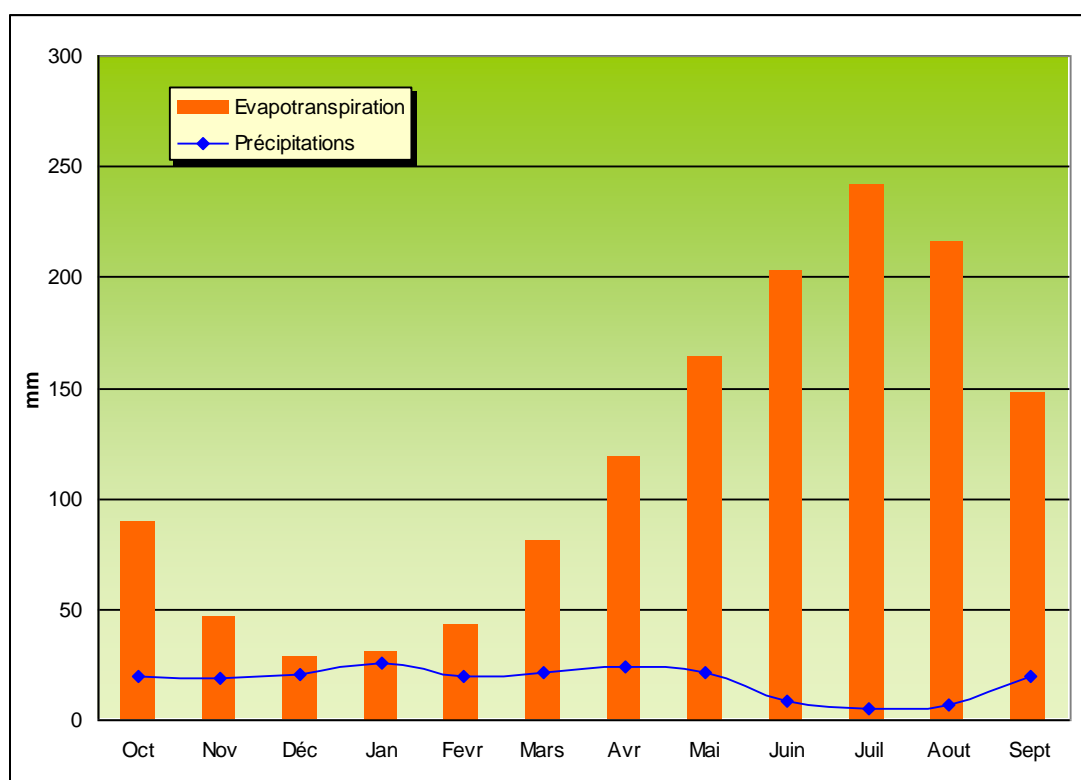


Figure 17: Variation des précipitations et de l'évapotranspiration dans le bassin Cheliff à l'amont de Boughzoul (période 1968-2001).

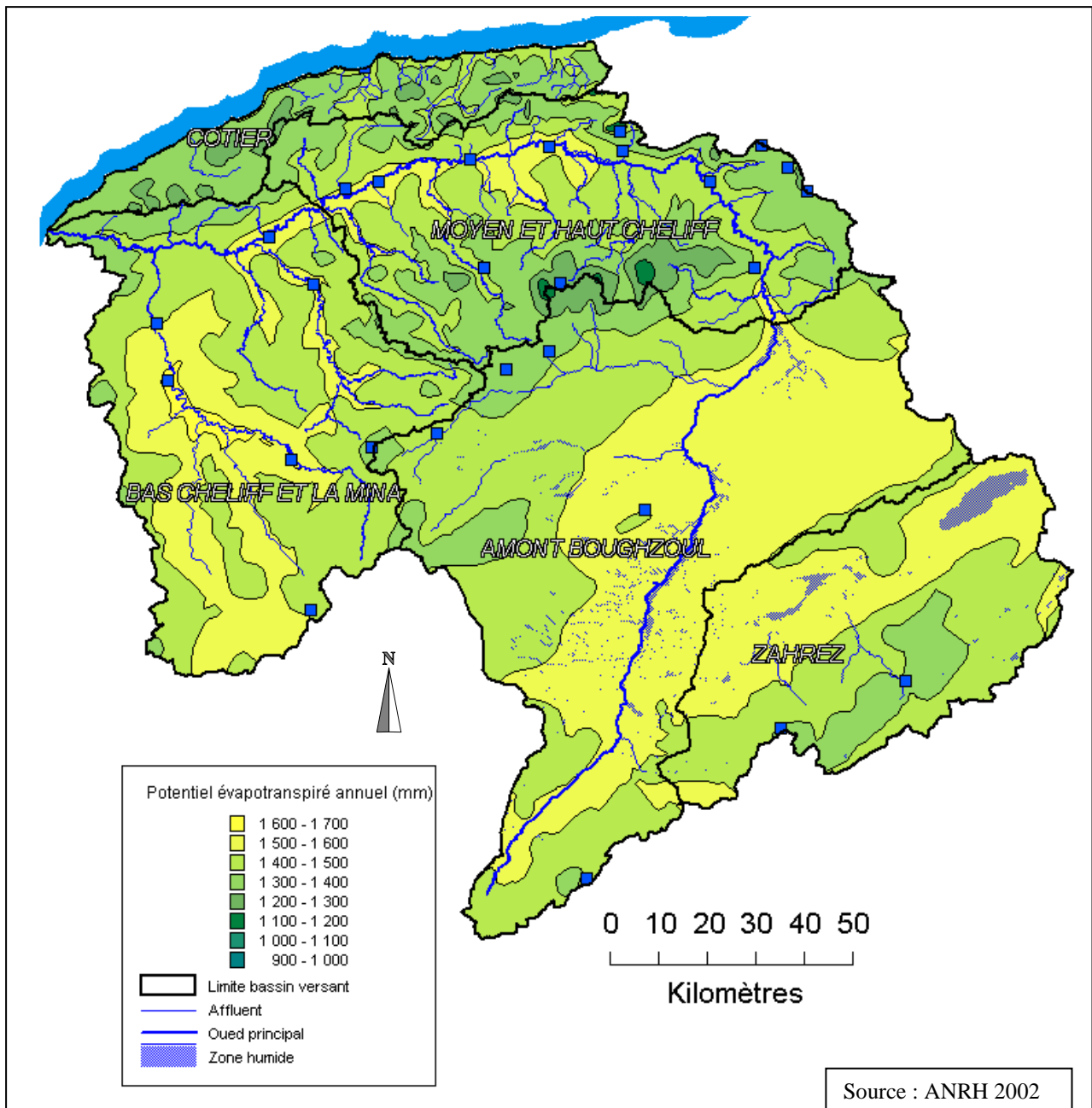


Figure 18: Variation du potentiel évapotranspiré annuel dans la région hydrographique Cheliff -Zahrez

Chapitre



L'équipement hydrométrique du bassin versant

Le comportement hydrologique d'un bassin versant dépend de la conjugaison des paramètres caractérisant les apports atmosphériques, qui sont constitués dans une grande partie par les pluies, et des paramètres physico - géographiques qui sont propres à chaque bassin, la constitution du sol, la couverture végétale, les pentes et les réseaux hydrographiques ainsi que les facteurs climatiques qui rentrent dans le phénomène d'évaporation.

Les régimes hydrologiques varient suivant la répartition des précipitations et suivant les conditions naturelles des bassins versants (RODIER J., 1964).

Les ressources en eau dépendent directement du comportement hydrologique du bassin. La détermination de ces ressources est liée à la connaissance des différents aspects de l'écoulement :

- débits moyens annuels et bilan hydrologique annuel,
- variations saisonnières de l'écoulement,
- étude des deux types extrêmes de l'écoulement : crues et étiages ainsi que leurs fréquences.

En plus de l'aspect quantitatif des ressources en eau, l'aspect qualitatif permet la possibilité d'utilisation de ces eaux (les caractères physico-chimiques des eaux).

Dans cette partie, nous allons essayer d'étudier les variations d'écoulement annuelles ainsi que saisonnières, ensuite, nous aborderons l'étude des écoulements extrêmes : crues et étiages au moyen de l'indice d'écoulement de base.

III. L'équipement hydrométrique du bassin versant: La critique et l'homogénéisation des données

L'étude précise des différentes caractéristiques de l'écoulement et de sa dynamique est conditionnée avant tout par un équipement hydrométrique optimal du bassin-versant devant constituer le rapport d'une documentation hydrologique dense et homogène, c'est pourquoi, nous commencerons, comme pour le facteur climat abordé précédemment, par soulever, au préalable, le problème du réseau hydrométrique et la nécessité de sa rationalisation ainsi que la critique des données d'observations et leur homogénéisation.

Après avoir évoqué l'organisation du réseau hydrométrique et ses insuffisances, on abordera la critique de la documentation hydrologique dont la base correspond aux chroniques de débits, principale matière de l'analyse des phénomènes de l'écoulement. Les lacunes dans les séries d'observations seront comblées par corrélation linéaire mais l'extension de ces dernières ne sera pas tentée pour des raisons de fiabilité.

III.1. L'équipement hydrométrique

III.1.1. Aperçu historique

Comme pour tous les bassins versants algériens, la mise en place du premier réseau de jaugeage dans le bassin du Cheliff-Zahrez date de 1925.

Le tableau 15, montre que certaines stations, réparties de l'amont à l'aval du Cheliff-Zahrez, ont fonctionné sur une période relativement longue (1967 à 2001), à titre d'exemple la station de Ain Amarra, semble-t-il fonctionne depuis 1925. On dispose de données pour la période comprise entre 1967 et 2001, alors que d'autres ont une durée de fonctionnement qui ne dépasse guère 5 ans. La station de Tamzguida dispose des données pour la période de 1987 à 1991 à titre expérimental.

Concernant les méthodes de mesures, dans l'ensemble les hauteurs d'eau étaient relevées au moyen d'un limnigraphe, alors que les débits instantanés étaient évalués à l'aide d'un déversoir.

III.1.2. Le réseau hydrométrique actuel et ses lacunes

Actuellement, 30 stations de jaugeage fonctionnent dans le bassin sur les 47 stations existantes (carte 12). Elles ont été toutes mises en service par l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH) après l'indépendance et plus particulièrement à partir des années soixante dix (1970).

Le réseau hydrométrique est donc ancien mais également de faible densité soit une station pour 1000km², le tableau 14 qui suit permet d'apprécier le taux de couverture du réseau hydrométrique de la région hydrographique.

Tableau 14 : Inventaire des stations de mesure

Région Bassins	Superficie (km ²)	Stations- jaugeages		Bac Etp	
		(Nbr)	Densité 1000 (km ²)	(Nbr)	Densité 1000 (km ²)
Cheliff	43 125	43	0,98	3	0,068
Côtier	3 201	2	0,6	-	0
Zahrez	8 989	2	0,22	-	0
Total Région	56 227	47	0,83	3	0,053

Comme on peut le constater, la densité de couverture en information est très inégale d'un bassin à l'autre.

Le bassin du Zahrez pratiquement très peu couvert en information hydrométrique. Si on prend en considération seulement les stations qui fonctionnent actuellement, 28 stations dans le bassin du Cheliff, cette densité serait d'une station pour 1560 km² et nulle pour la région du Zahrez (figure 19).

Si la densité du réseau hydrométrique dans son ensemble est très inférieure au recommandation de L'organisation Mondiale de Météorologie, il faut cependant remarquer que les écoulements dans la région, à régime endoréique, sont pratiquement peu importants (bassin du Zahrez), et donc peu couvert. Au niveau des régions où la pluviométrie est importante la couverture est acceptable (bassins du Côtier et du Cheliff).

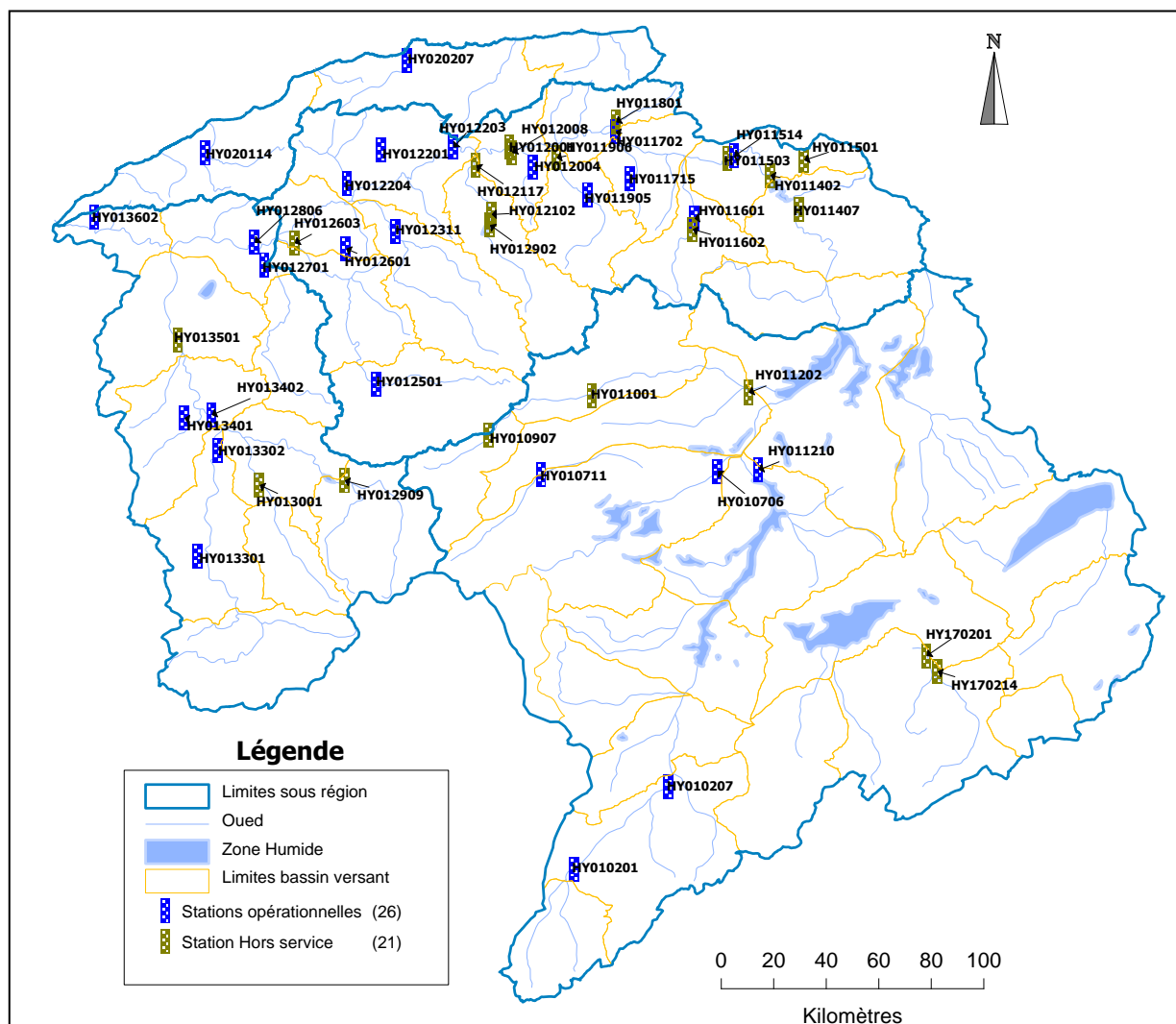


Figure 19: Réseau hydrométrique du bassin hydrographique Chélif-Zahrez

III.1.2.1. Techniques de mesures

Les jaugeages sont effectués généralement au moulinet sauf en période d'étiages où l'on utilise, pour certains cours d'eau, le déversoir, et cela depuis la mise en services des stations à ce jour avec une fréquence moyenne de deux jaugeages durant toute la période de service.

Le limnigraphe fonctionne bien et les hauteurs journalières sont enregistrées sans lacunes et dans le cas de panne, les hauteurs journalières sont reconstituées à partir des lectures d'échelles. Trois lectures d'échelle sont faites quotidiennement pour suppléer aux déterrages éventuels des limnigraphes.

Les profils en long et en travers de la section de l'oued, au site de la station, sont établis en cas de crues et changement du lit de l'oued. Des listes des barèmes sont établis par plusieurs étalonnages, ces derniers ont été réalisés à partir des données existantes d'après la méthode de MANING STRICKLER.

Les caractéristiques essentielles des stations actuelles sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 15 : Caractéristiques des stations hydrométriques

Bassin	Code Station	Nom de la Station	Oued	Cordonnées Lambert		Mise en service	Période d'obs.	Superficie (km ²)	Equipements	Date d'Arrêt
				X (m)	Y (m)					
Côtier	020207	Sidi Akacha	Allalah	375750	354300	01/09/72	1983 à 2001	295	BE LP PO	
	020114	Kramis	Kramis	314420	325490	01/04/89	1990 à 2001	300	BE LP PO	
Haut et Moyen Cheliff	011402	Ghrib Aval	Cheliff	486659	319200	01/09/79	1979 à 1994	2213	BE LP	1994
	011407	Ghrib Amont	Cheliff	495450	308799	01/10/79	1976 à 1995	1898	BE LP	1994
	011501	Tamzguida	Harbil	497000	323899	01/09/70	1987 à 1991	157	BE LP	1994
	011503	Djendel	Cheliff	473700	324450	01/09/67	1967 à 1989	22580	BE LP	1989
	011514	Djenan B. Ouadah	Cheliff	475675	325200	01/12/90	1990 à 2001	22580	BE LP DE	
	011601	Marabout Blanc	Deurdeur	460750	215600	01/12/90	1990 à 2001	500	BE LP PO	
	011602	Sidi Mokarfi	Deurdeur	463000	302600	01/09/68	1968 à 1989	500	BE LP	31/08/89
	011701	Khemis Sp	Cheliff	459150	325950	01/09/69	1973 à 1981	1484	BE LP DE	31/08/90
	011702	Arib Cheliff	Cheliff	245200	230000	01/02/73	1968 à 2001	2452	BE LP TA	
	011715	El Ababsa	Harreza	443950	318050	01/09/72	1973 à 2001	102	BE LP PO	
	011801	Arib Ebda	Ebda	439600	335600	01/09/70	1983 à 1994	270	BE LP PO	1994
	011905	Bir Ouled Tahar	Zeddine	431000	313250	01/09/89	1990 à 2001	435	BE LP PO	
	011906	Rouina Mines	Riuina	421500	324499	01/09/72	1972 à 1992	865	BE LP	31/08/92
	012001	El Abadia 1	Cheliff	407154	327900	01/09/68	1980 à 1991	26414	BE LP DE	1992
	012004	Tikazal	Tekazal	414380	321699	01/09/72	1983 à 1999	130	BE LP DE	
	012102	Salaoutchi	Fodda	401700	307100	1973	1973 à 1987	865	BE LP	1987
	012117	Fodda Rn 4	Fodda	396940	322099	1972	1972 à 1987	340	BE LP	1987
	012201	Ouled Fares	Ouhrane	368100	326650	01/09/72	1990 à 2000	262	BE LP TA	
	012203	Ponteba Def	Cheliff	390000	327749	01/09/58	1983 à 2001	27880	BE LP TA	
	012204	Sobha	Ras	357649	316399	01/09/72	1972 à 2001	445	BE LP	
012311	Ouled Ben Aek	Sly	372550	301700	01/09/65	1985 à 2001	1225	BE LP PO		
012501	Oued Lilli	Tighighest	370320	248120	01/09/71	1973 à 2001	420	BE LP TA		
012601	Ami Moussa	Rhiou	357399	296350	01/12/58	1975 à 2001	1890	BE LP TA		
012603	Oued Rhiou Rn4	Rhiou	341799	298100	01/08/68	1968 à 1991	2360	BE LP	31/08/91	
012902	Bakhada	Mina	349000	228750	01/09/71	1971 à 1987	1275	BE LP	31/08/87	
Bas Cheliff et la Mina	012701	Djediouia Rn4	Djedioua	332600	293899	01/08/68	1973 à 2001	835	BE LP PO	
	012806	Djediouia Cheliff	Cheliff	329599	298200	01/06/71	1973 à 2001	34550	BE LP PO	
	012909	Sidi Ali B. Amar	Mina	357350	225849	01/04/74	1973 à 1982	1200	BE LP TA	01/07/94
	013001	Kef Mahboula	Taht	331450	224339	01/09/52	1970 à 1996	680	BE LP DE	15/03/97
	013301	Takhmart	El Abd	312749	202800	01/03/73	1973 à 1982	1550	BE LP TA	
	013302	Ain Amara	El Abd	316450	335120	01/09/25	1967 à 2001	2480	BE LP TA	
	013401	Sidi Aek Djilali	Haddad	308499	244499	01/07/69	1969 à 2001	470	BE LP PO	
	013402	Oued El Abtal	Mina	316800	245650	22/10/85	1953 à 2001	5400	BE LP TA	
013501	Relizane Amont	Mina	306400	268400	01/09/72	1972 à 1986	6550	BE LP	31/08/86	
013602	Sidi Bel Attar	Cheliff	280749	305550	01/09/46	1975 à 2001	43700	BE LP PO		
Amont Boughzoul	010201	Guelta S. Saad	Sebgag	492900	110650	01/09/73	-	-	BE LP	
	010207	El Beida	Touil	455899	134250	01/09/73	-	-	BE LP	
	010706	Sidi Boudaoud	Ouerk	470599	229550	01/01/71	-	2690	BE LP	
	010711	Ferme Farhat	Sousselem	417120	227899	01/03/73	1973 à 2001	490	BE LP PO	
	010907	Ain Sebaine	Nahr Ouassel	401120	239770	22/05/73	-	515	BE LP PO	31/07/86
	011001	Col. Bougara	Nahr Ouassel	432450	251920	01/03/73	1973 à 1988	1000	BE LP PO	31/08/89
011202	Kef Lasfer	Nahr Ouassel	480150	252969	01/09/73	-	3310	BE LP	1994	
011210	Sidi Bouabdelah	Touil	483100	229550	01/09/73	1983 à 1990	11460	BE LP		
Zahrez	170201	Rochet de Sel	Mellah	534099	173450	1972	-	1290	BE LP TA	1994
	170214	Rochet de Sel DF	Mellah	535799	171849	1975	-	3310	BE LP TA	1994

BE : Batterie d'échelle limnimétrique.
 LP : Limnigraphe pneumatique (à pression).
 LF : Limnigraphe à flotteur.
 TA : Transporteur aérien (téléphérique de mesure).
 DE : Déversoir, Parshal, Seuil bétonné.
 CA : Canal en béton.
 PA : Passerelle.
 PO : Pont.

III.2. La critique des données hydrologiques

Pour la connaissance du régime hydrologique des cours d'eau de la région, on dispose de données d'observations de 31 stations hydrométriques. Pour le reste, on n'a pas pu obtenir les données d'observation, du fait de l'insuffisance des données existantes concernant la limnigraphie l'étalonnage est impossible. Nous avons deux stations non étalonnées elles sont celles de El Beida et Guelta Saad.

Les observations les plus anciennes sur les débits remontent à 1953. Nous avons 11 stations où les séries hydrométriques récentes disponibles couvrent une période longue (plus de 25 ans, 1967 à 2001). La station d'Oued El Abtal possède une série longue (1953 à 2001). Les autres stations couvrent une période de moins de 15 ans à titre d'exemple la station de Sidi Bouabdelah, possède une période de 4 ans (1987 à 1991).

Il est à remarquer que les profils en longs et en travers, pour les stations du secteur de Chlef, ne sont pas établis depuis 1982. Ils furent rétablis après la crue de Novembre 2001, c'est à dire le 06 Mars 2002 et cela après de changement du lit de l'oued.

Malgré une assez bonne fiabilité de l'ensemble des séries hydrométriques, certaines données, notamment les débits d'étiages, doivent être utilisées avec prudence.

De même pour les débits de pointe de crues qui sont évalués souvent par extrapolation des courbes de tarages au delà de certaines valeurs réellement observées.

Par ailleurs, les sites des stations de jaugeage ne sont pas toujours adéquats ; la largeur importante de certains sites ne permettant pas de chiffrer avec précision suffisante les sections mouillées en saison de basse eaux.

III.3. L'homogénéisation des séries de débits

A l'exception de quelques stations qui présentent des séries de débits complètes allant de 1968 à 2001, les autres séries sont incomplètes et présentent plusieurs années manquantes soit des lacunes anciennes avant 1980, soit des lacunes récentes après 1990.

Nous n'effectuerons pas une extension des données hydrométriques (maximisation intrinsèque de l'information au sens de P. DUBREUIL) car, il semble préférable de baser notre analyse sur des données réellement observées et non théoriquement extrapolées, d'autant plus de la forte irrégularité du régime hydrologique du bassin ne justifient guère une telle opération.

On se limitera donc au comblement des lacunes de débits mensuels en se basant sur une corrélation simple. Ces corrélations doivent être faites par le comblement des lacunes d'une série de station étudiée par rapport à une série longue et complète de la station la plus proche appelée station de référence et il faut donc, que les deux stations soient de la même région.

Les débits mensuels estimés, pour les différentes stations présentant des lacunes, ont été établis d'après l'équation :

$$y = ax + b \quad (6)$$

L'intervalle de confiance est de 70 % sur la moyenne estimée.

Un exemple graphique de l'application de cette méthode est illustré par la figure 20, entre la station d' El Abadia 1 et de Arib Cheliff (station de référence), pour les mois de janvier et de juin (saison d'hiver et d'été) et se retrouvant sur le même cours d'eau (Oued Cheliff). La station de Arib Ebda et de Arib Cheliff contrôlant deux cours d'eaux également différents (Oued Ebda et Cheliff), figure 21.

L'analyse des corrélations établies entre différents couples de station fait apparaître un degré de liaison, entre les stations, moins élevé en saison d'été qu'en saison d'hiver, ce qui rejoint tout à fait la conclusion émise à propos des précipitations. D'une manière générale, les meilleures corrélations semblent apparaître entre les stations se trouvant dans le même contexte climatiques et sur un même cours d'eau.

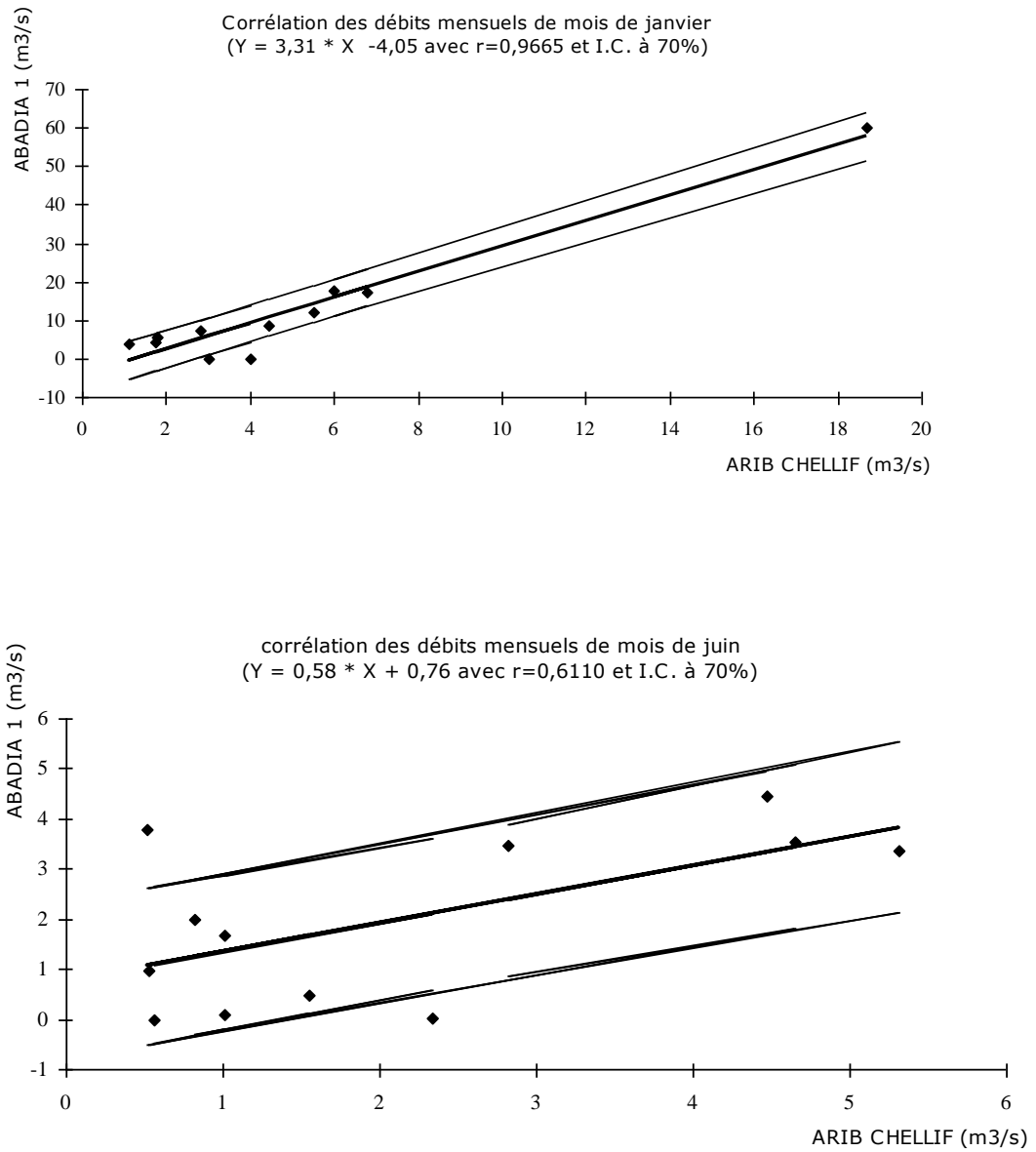


Figure 20: Station d'el Abadia et de Arib Cheliff

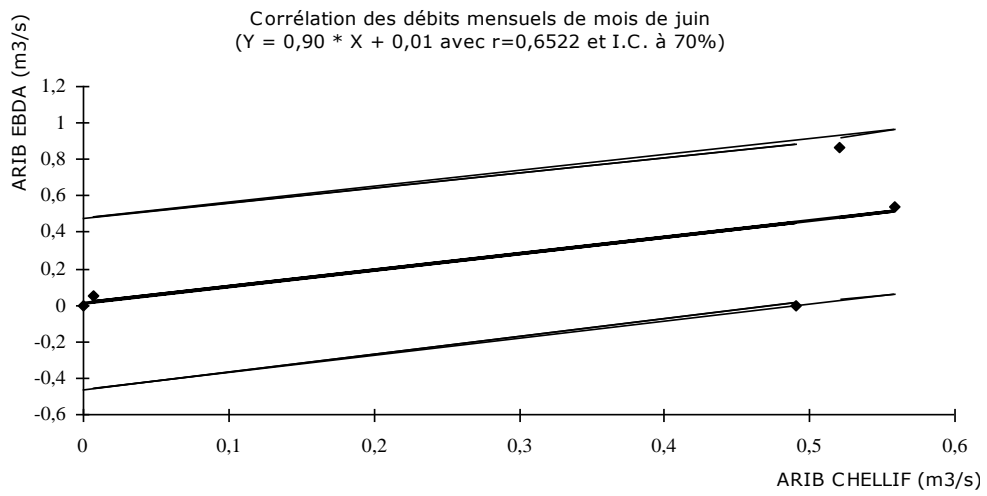
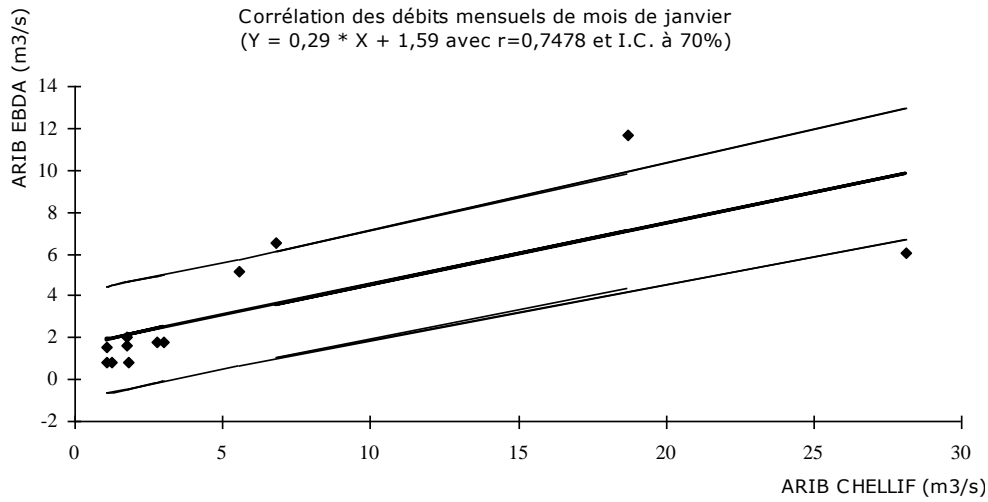


Figure 21: Station de Arrib Ebda et de Arrib Cheliff

Chapitre

4

Bilan hydrologique et disponibilité en eau de surface

IV. Bilan hydrologique et disponibilité en eau de surface

IV.1. Le choix de l'année Hydrologique

En Algérie, l'année hydrologique adoptée par les services de l'Hydraulique correspond à l'année climatique définie de Septembre – Août. Aussi, afin de pouvoir utiliser aisément la documentation hydrologique établie par ces services, nous nous bornerons à retenir cette année de référence en émettant toutefois quelques réserves :

Le découpage de l'année hydrologique adopté est rigide et ne tient pas compte des nuances dues à l'existence de secteurs géographiques différenciés dans le bassin. Il est à première vue valable pour la partie Sud où de fortes précipitations tombent en automne, dès le mois de Septembre. En réalité, dans ce secteur, c'est plutôt le choix des limites des saisons hydrologiques qui posera le plus de problèmes.

Dans la partie Nord, le choix d'une année hydrologique comptée de novembre à octobre semble plus convenable ; cette année est assez bien adaptée au régime thermique qui se traduit par une saison froide de novembre à avril et par une saison chaude de Mai à Octobre.

C'est le découpage annuel qui peut être généralisé à l'ensemble du bassin car de façon globale, les réserves en eaux souterraines épuisées en saison estivale ne sont en voie de reconstitution qu'en Novembre et parfois même qu'en Décembre. Il en est de même pour l'écoulement de surface car les précipitations de Septembre et d'Octobre ne profitent pas efficacement au ruissellement, non seulement en raison de l'évaporation encore élevée en cette période, mais aussi de la dessiccation profonde des sols se traduisant par une forte capacité de rétention capillaire.

IV.2. Les variations spatiales de l'écoulement moyen annuel

IV.2.1. Les modules absolus et spécifiques

Les valeurs du débit annuel absolu (m^3/s) correspondant à la période 1968/1969 – 2000/2001 mettent en évidence l'augmentation de l'abondance du l'Oued Cheliff de l'amont à l'aval (tableau 16):

Cet accroissement progressif de l'écoulement du l'Est à l'Ouest concorde avec les données climatiques et physiographiques du bassin allant de l'Amont de Boughzoul et passant par le Haut et Moyen Cheliff jusqu'à le Bas et La Mina.

En effet, l'apport très modeste du bassin Amont Boughzoul s'explique essentiellement par le caractère semi- aride du climat, se traduisant par de faibles précipitations (moins de 400 mm) et par une évaporation élevée.

On observe, dans ce même domaine climatique, que le bassin de l'Oued Touil aval présente, malgré une superficie plus grande, un débit faible ($0.0296 m^3/s$).

Dans le bassin du Haut et du Moyen Cheliff, le module interannuel de l'Oued Cheliff s'accroît de façon notable en raison du changement de domaine climatique ; l'abondance à la station de Djenan Ben Ouadah (011514) s'élève à $5.163 m^3/s$.

Les stations de Djendel (011503) et d'Arib Cheliff (011702) présentent un débit moins que celui de Djenan Ben Ouadah $4.364 m^3/s$ et $4.825 m^3/s$ respectivement, malgré une

superficie plus grande pour le bassin de Arib Cheliff, et un climat semblable. Il s'agit, en effet, d'un débit influencé par des prélèvements important (captage de sources karstiques, prélèvement au fil de l'Oued). Le débit naturel à la station de Arib Cheliff serait, en effet, plus de $5.50 \text{ m}^3/\text{s}$.

L'abondance augmente plus rapidement ; elle atteint $23.645 \text{ m}^3/\text{s}$ à la l'embouchure (mer méditerrané) station de Sidi Bel Attar, du fait de l'apport important de l'Oued Mina et d'autres petits affluents du bassin Bas Cheliff, de l'Oued Sly, Oued Rhiou, Oued Tighighest, Oued Ouahrane.

Tableau 16 : variations d'Amont en Aval des modules absolus et spécifiques dans l'Oued Cheliff. (Débits influencés par les prélèvements et les rejets)

Cours d'eau	Station de jaugeage	Superficie du B.V (km ²)	Module absolu Q (m ³ /s)	Module spécifique q (l/s/km ²)
Oued Touil	Sidi Bouabdalah	11460	1,0615	0,0926
Oued Cheliff	Ghrib Amont	21416	4,3887	0,2049
Oued Cheliff	Djenan B. O	22580	4,3641	0,1933
Oued Cheliff	Djendel	22580	5,1634	0,2287
Oued Cheliff	Arib Chelif	24520	4,8254	0,1968
Oued Cheliff	El Abadia 1	26414	9,6593	0,3657
Oued Cheliff	Ponteba Defluent	27820	10,3947	0,3728
Oued Cheliff	Djediouia cheliff	34550	15,5587	0,4503
Oued Mina	Oued El Abtal	5400	2,4079	0,4462
Oued Cheliff	Sidi Bel Attar	43700	23,645	0,5411

Les variations spatiales de l'écoulement superficiel à l'échelle du bassin du Cheliff peuvent être encore mieux caractérisées par les débits spécifiques. Ces derniers permettent en effet la comparaison de bassins d'étendus différents, car ils synthétisent l'interaction des divers facteurs physico-géographiques (morphométriques, litho pédologiques, climatiques et biogéographiques).

Toutefois à l'échelle annuelle, d'un bassin à l'autre, l'influence des précipitations est souvent prépondérante.

L'Oued Cheliff se caractérise par un accroissement du débit spécifique de l'amont à l'aval, dans le même sens que le module absolu (tenant compte de la superficie total), ce fait met en évidence comme dans le cas bien d'autre Oued Algériens (Bou Sellam-Soummam, Kébir – Rhumel, Seybouse ...).

La disparité des valeurs des débits spécifiques dans le bassin hydrographique Cheliff-Zahrez, mettent bien en valeur la disparité physique existant entre les différentes secteurs du bassin (tableau 17) :

Ces valeurs sont particulièrement faibles dans le bassin Amont Boughzoul Zehrez, les bassins des hautes plaines (0.092 l/s/km^2) à la station Sidi Bouabdalah. Dans ces bassins les conditions pluviométriques et thermiques défavorables à l'écoulement superficiel y déterminantes.

Dans le Moyen et le Haut Cheliff le débit s'accroît nettement ; la valeur maximum est atteinte dans le bassin du Haut Cheliff à la station de Djenan Ben Ouadah (4.436 l/s/km^2) où la pluviométrie est élevée et les pentes sont fortes (secteurs montagneux) favorisant ainsi l'écoulement de surface. Ces facteurs l'emportent sur une évapotranspiration pourtant importante dans ce secteur de fait de la présence d'un couvert forestier relativement dense.

Bien que le débit du Oued Cheliff soit soutenu à l'aval (le module spécifique du Bas Cheliff à la station de Djediouia Cheliff est de l'ordre de 1.361 l/s/km^2). Bien que dans le bassin du Bas Cheliff et de la Mina les conditions l'écoulement (pluviométriques, pentes) sont moins que celles du Moyen et du Haut Cheliff. Le débit spécifique du bassin de la Mina est de 0.587 l/s/km^2 à la station Oued El Abtal. Le module spécifique de l'ensemble du bassin hydrographique Cheliff-Zahrez reste faible 0.541 l/s/km^2 à la station de Sidi Bel Attar. Ceci traduit bien les effets de la semi- aridité agissant sur près de la moitié du bassin-versant.

Le bassin du Dahra est caractérisé par des conditions d'alimentation et de ruissellement beaucoup plus favorables (pluviométrie élevée et forte pentes), tel que les petits bassins- versants côtiers de Guelta et Ténès. Le débit spécifique est de l'ordre de 2.588 l/s/km^2 .

Ainsi, à titre de comparaison, le débit spécifique moyen annuel de l'Oued Cheliff est presque équivalent à celui des bassins faisant partie de région semi –arides ou subarides sans influence montagnarde notable, tels que celui de Hodna (Oued El Ksob au barrage du Ksob : 1.5 l/s/km^2 ; de Garaet et tarf (Oued Gueiss au barrage de Foum El Gueiss : 2.3 l/s/km^2). Mais, il est nettement plus faible que celui de certains bassins ayant des conditions d'alimentation et de ruissellement beaucoup plus favorables, tels que les petits bassins – versant de Djen Djen (27.8 l/s/km^2), de Sebaou (13.8 l/s/km^2), de Bou Namoussa (8.2 l/s/km^2).

Ces comparaisons sont données à titre indicatif du fait que les séries de référence sont, dans l'ensemble, courtes et non concordantes.

Tableau 17 : Variations des débits absolus et spécifiques dans le bassin –versant Cheliff-Zahrez.

Bassin	Code Station	Superficie BV (Km ²)	Module absolu Q (m ³ /s)	Module spécifique q (l/s/Km ²)	Lame d'eau écoulée E (mm)	Apport annuel moyen (hm ³ /an)
Côtier	020207	295	0,4583	1,5535	48,99	14,453
	020114	300	0,7765	2,5884	81,63	24,489
Bas et la mina	013301	1550	0,6013	0,3879	12,23	18,961
	013001	680	0,3496	0,5142	16,21	11,026
	012909	1200	1,9579	1,6315	51,45	61,743
	013302	2480	1,1257	0,4539	14,31	35,500
	013401	470	0,3787	0,8057	25,41	11,943
	013402	4100(sans bakhada)	2,4097	0,5877	18,53	75,992
	012701	835	0,6340	0,7593	23,95	19,994
	012806	11434(sans ghrib,fodda)	15,5587	1,3607	42,91	490,658
	013602	19284(sans,ghrib, fodda,bakhada)	23,6455	1,2262	38,67	745,683
Moyen et Haut	011407	1898(sans boughzoul)	4,3887	2,3123	72,92	138,403
	011501	157	2,5559	16,2794	51,34	80,602
	011503	1164(sans ghrib)	4,3641	3,7492	118,24	137,627
	011514	1164(sans ghrib)	5,1634	4,4359	139,89	162,834
	011602	500	1,0947	2,1893	69,04	34,521
	011702	2204(sans ghrib)	4,8254	2,1894	69,04	152,175
	011715	102	0,1761	1,7266	54,45	5,554
	011801	270	2,5649	9,4997	299,58	80,887
	011905	435	0,5228	1,2019	37,90	16,487
	011906	865	1,2805	1,4803	46,68	40,382
	012001	4098(sans ghrib)	9,6593	2,3571	74,33	304,615
	012203	4704(sans ghrib,fodda)	10,3947	2,2097	69,69	327,806
	012201	262	0,1460	0,5573	17,57	4,604
	012311	1225	1,3579	1,1085	34,96	42,822
	012501	420	0,4790	1,1406	35,97	15,107
012601	1890	1,9980	1,0571	33,34	63,009	
Amont Boughzoul	010711	490	0,0666	0,1360	4,29	2,101
	011001	1000	0,8447	0,8447	26,64	26,640
	011210	11460	1,0615	0,0926	2,92	33,475

IV.2.2. Le bilan hydrologique et déficit annuel d'écoulement

IV.2.2.1. Le bilan hydrologique et ses nuances géographiques

Le bilan hydrologique permet de quantifier les transferts d'eau issus des précipitations. Il comporte trois principaux termes : les entrées, les sorties et les stocks.

Dans l'hypothèse d'un cycle complet où les variations de stocks sont nulles et les pertes par infiltration profonde sont supposées négligeables (se qui suppose un nombre d'années de référence suffisamment grand), l'équation du bilan d'un bassin – versant peut s'écrire :

$$\boxed{P \text{ (mm)} = E \text{ (mm)} + D \text{ (mm)}} \quad (7)$$

P = Lame d'eau annuelle moyenne précipitée. Elle peut être estimée par la méthode des isohyètes.

E = Lame d'eau annuelle moyenne écoulée, soit :

$$E \text{ (mm)} = Q \text{ (m}^3\text{/s)} * T \text{ } 10^{-6} \text{ secondes} / 10^{-3} * S \text{ (Km}^2\text{)}$$

$$E \text{ (mm)} = q \text{ l/s/Km}^2 * T \text{ } 10^{-6} \text{ s}$$

(Q : débit absolu, q : débit spécifique, T : temps–nombre de secondes de l'année, S : superficie du bassin)

D = Déficit annuel d'écoulement, soit : $D = P - E$.

Il peut être assimilé à l'évapotranspiration réelle (ETR).

Pour rendre plus parlant l'expression du bilan, on utilise parallèlement, une autre variable, le coefficient d'écoulement $C = (E/P) \times 100$ qui, en tant que valeur relative, reflète mieux le rôle diversifié des facteurs physico – géographique propres à chaque bassin.

Ces composantes du bilan hydrologique ont été calculées pour divers sous bassin contrôlés par des stations de jaugeage (tableau 18) ;

Les résultats présentés sont seulement approchés en raison des perturbations artificielles du régime naturel de l'écoulement

On a pas pu déterminer les composantes du bilan hydrologique dans le bassin Amont - Boughzoul du fait de l'absence des données hydrométriques, plus particulièrement dans sa partie Amont et moyen, ainsi que dans le bassin Zahrez.

Tableau 18 : Bilans moyens annuels de l'écoulement. (1968 – 2001)
Valeurs influencées par les prélèvements et les rejets.

Cours d'eau	Station hydrométrique	S (km ²)	P (mm)	E (mm)	D = P - E (mm)	C = E / P (%)
O. Allalah	Sidi akkacha	295	513,5	49,0	464,5	9,5
O. kramis	KRAMIS	366	431,8	81,6	350,1	18,9
O. Sousselem	Ferme farhat	673	338,1	4,3	333,8	1,3
O. Touil	Sidi bouabdallah	1549	245,5	2,9	242,6	1,2
O. Cheliff	GHRIB AMONT	17065	289,3	6,5	282,9	2,2
O. Cheliff	Djenen ben ouadah	880	483,2	139,9	343,3	29,0
O. Deurdeur	Marabout blanc	834	466,2	69,0	397,2	14,8
O. Harreza	EL ABABSA	105	392,0	54,5	337,6	13,9
O. Cheliff	Arib Cheliff	2845	458,2	69,0	389,2	15,1
O. Ebda	ARIB EBDA	195	658,7	299,6	460,9	45,5
O. Zeddine	Bir ouled tahar	421	456,5	37,9	418,5	8,3
O. Cheliff	El Abadia 1	4538	466,9	74,3	392,6	15,9
O. Cheliff	Ponteba Defluent	6077	456,5	69,7	386,9	15,3
O. Ouahrane	Ouled Fares	261	419,8	17,6	402,3	4,2
O. Sly	OULED BEN AEK	1223	424,0	35,0	389,1	8,2
O. Tighighest	OULED LILI	428	371,4	36,0	335,4	9,7
O. Rhiau	AMMI MOUSSA	1920	365,6	33,3	332,3	9,1
O. Djidioua	Djediouia RN 4	842	366,3	23,9	342,4	6,5
O. Cheliff	Djidiouia Cheliff	12827	329,5	42,9	286,6	13,0
O. El Abd	TAKHMERT	1577	260,0	12,2	247,8	4,7
O. El Abd	AIN HAMARA	2522	274,3	14,3	260,0	5,2
O. Taht	KEF MAHBOULA	686	337,4	16,2	321,2	4,8
O. Haddad	SIDI AEK DJILALI	476	328,0	25,4	302,6	7,7
O. Mina	OUED EL ABTAL	5404	346,5	18,5	328,0	5,3
O. Cheliff	SIDI BEL ATTAR	21437	331,5	38,7	292,9	11,7

Le bilan global estimé du Cheliff – Zahrez à la station de SIDI BEL ATTAR se décompose comme suit :

- La tranche d'eau annuelle moyenne précipitée (P) est estimée à 331,5 mm (période 1968 – 2001).
- La lame d'eau annuelle moyenne écoulee (E) s'élève à près de 40 mm. Elle est nettement plus faible par rapport à la hauteur pluviométrique moyenne du bassin, elle est également faible par rapport aux lames d'eaux écoulées à l'échelle de l'Algérie (100 mm).

Le coefficient d'écoulement est de l'ordre de 12 %.

- Le déficit d'écoulement (D), estimé à près de 300 mm, traduit une forte évapotranspiration réelle de l'ordre de 88 % des précipitations.

Le bilan hydrologique connaît des nuances régionales marquées qui rejoignent celles des modules spécifiques analysés précédemment. D'une façon générale, les variations spatiales du bilan moyen annuel se traduisent par une diminution des indices et coefficients d'écoulement de l'Amont vers l'Aval et précisément de l'Est à l'Ouest, l'augmentation est très sensible à l'Est ; dans les secteurs montagneux du bassin.

Pour le cours principal, le coefficient d'écoulement passe dans l'Oued Cheliff de 29% à Djenan Ben Ouadah, à 15,9% à Abadia 1, à 15,3% à Ponteba Défluent, à 13% à Djediouia Cheliff et à 11,3% à Sidi Bel Attar.

La prise en compte des bilans d'écoulement relatifs aux bassins; Amont-Boughzoul, Moyen et Haut Cheliff, Bas Cheliff et La Mina, Côtier; et aux affluents principaux permet de mieux cerner le comportement hydrologique des différents secteurs du bassin du Cheliff–Zahrez. En effet, d'énormes différences apparaissent entre le bassin d'Amont boughzoul et celui du Moyen et Haut Cheliff. Si on prend les valeurs maximales, la lame d'eau écoulée passe de 2,92 mm pour l'Oued Touil à Sidi Bouabdallah à 299,5mm pour l'Oued Ebda à Arib Ebda. Les coefficients d'écoulement respectifs passent donc de 1,2% à 45,5%.

Dans le bassin Amont–Boughzoul, du cours supérieur au climat semi–aride, la lame d'eau écoulée n'atteint guère 10 mm et, de ce fait, le coefficient d'écoulement ne dépassent guère 5%. Les conditions d'alimentation et d'écoulement y sont très défavorables.

Dans le bassin du Moyen et du Haut Cheliff à climat subhumide, malgré une augmentation sensible de l'ETR traduite par les valeurs relativement fortes du déficit d'écoulement, la lame d'eau écoulée atteint des valeurs nettement plus élevées, plus particulièrement dans le Haut Cheliff, dépassant en moyenne 100 mm; le coefficient d'écoulement en moyenne est supérieur à 20%.

Dans le bassin du Bas Cheliff et de la Mina, la lame d'eau écoulée s'élève à 23,95 mm à l'Oued Djidioua à Djidioua RN4 avec un coefficient d'écoulement de l'ordre de 6,5% où l'absence de l'influence montagnarde est déjà marquée ainsi que la diminution des lames d'eau précipitées. Dans le bassin de La Mina, les valeurs de la lame d'eau écoulée sont faibles, ne dépassant pas en moyenne 20mm ; on a enregistré 19mm dans l'Oued Mina à Oued El abtal, avec un coefficient d'écoulement de l'ordre de 5,3 %.

Dans le bassin Côtier, la lame d'eau écoulée semble augmentée de l'Ouest à l'Est passant de 81,63mm pour l'Oued Kramis, 49mm (valeur corrigée : 100mm environ) pour l'Oued Allalah et 138,6mm pour l'Oued Damous. Les coefficients d'écoulement respectifs passent donc de 18,9%, 9,5% (valeur corrigée 20%) à 22,7%.

IV.2.2.2. Le déficit annuel de l'écoulement. Sa corrélation avec les hauteurs d'eau précipitées

Contrairement au coefficient d'écoulement, le déficit d'écoulement n'exprime pas fidèlement les variations hydrologiques d'un bassin à l'autre. Mais son intérêt réside dans le fait qu'il permet d'apprécier les pertes en eau par évapotranspiration. On sait, d'une manière générale, que le déficit annuel moyen de l'écoulement s'accroît quand le total pluviométrique moyen annuel augmente lui-même et ce, jusqu'à une certaine valeur plafond, car l'air saturé ne permet pas une évaporation plus grande et la saturation du sol limite les possibilités d'infiltration.

Les déficits d'écoulements au niveau du Cheliff–Zahrez sont: 242,6 mm à Sidi Bouabdallah (Amont Boughzoul), 460,9 mm à Arib Ebda (Haut Cheliff), 386,9 mm à Ponteba Défluent (Moyen Cheliff), 247,8 mm à Takhmert (La Mina) et 292,9 mm à Sidi Bel Attar (Bas Cheliff). Pour le Côtier, le déficit d'écoulement oscille entre 350,1 mm à Kramis et 464,4 mm

à Sidi Akacha (tableau 18). Son décroissement de l'Est à l'Ouest met bien en valeur le rôle déterminant des précipitations. L'influence des autres facteurs physiques, notamment les températures et le couvert végétal, intervient également mais on ne peut, malheureusement, déterminer quantitativement la part de chacun de ces paramètres.

L'intérêt capital du déficit d'écoulement est d'estimer la relation qui le lie aux hauteurs d'eau précipitées, afin d'évaluer par extrapolation la lame d'eau annuelle moyenne écoulee en divers secteurs non contrôlés du bassin.

C'est pourquoi, la courbe de la loi de Coutagne $D = f(P)$ établie ne représente qu'une approche de solution (figure 22). Les points obtenus ont tendance à représenter deux courbes traduisant vraisemblablement les deux grands régimes climatiques opposés du bassin.

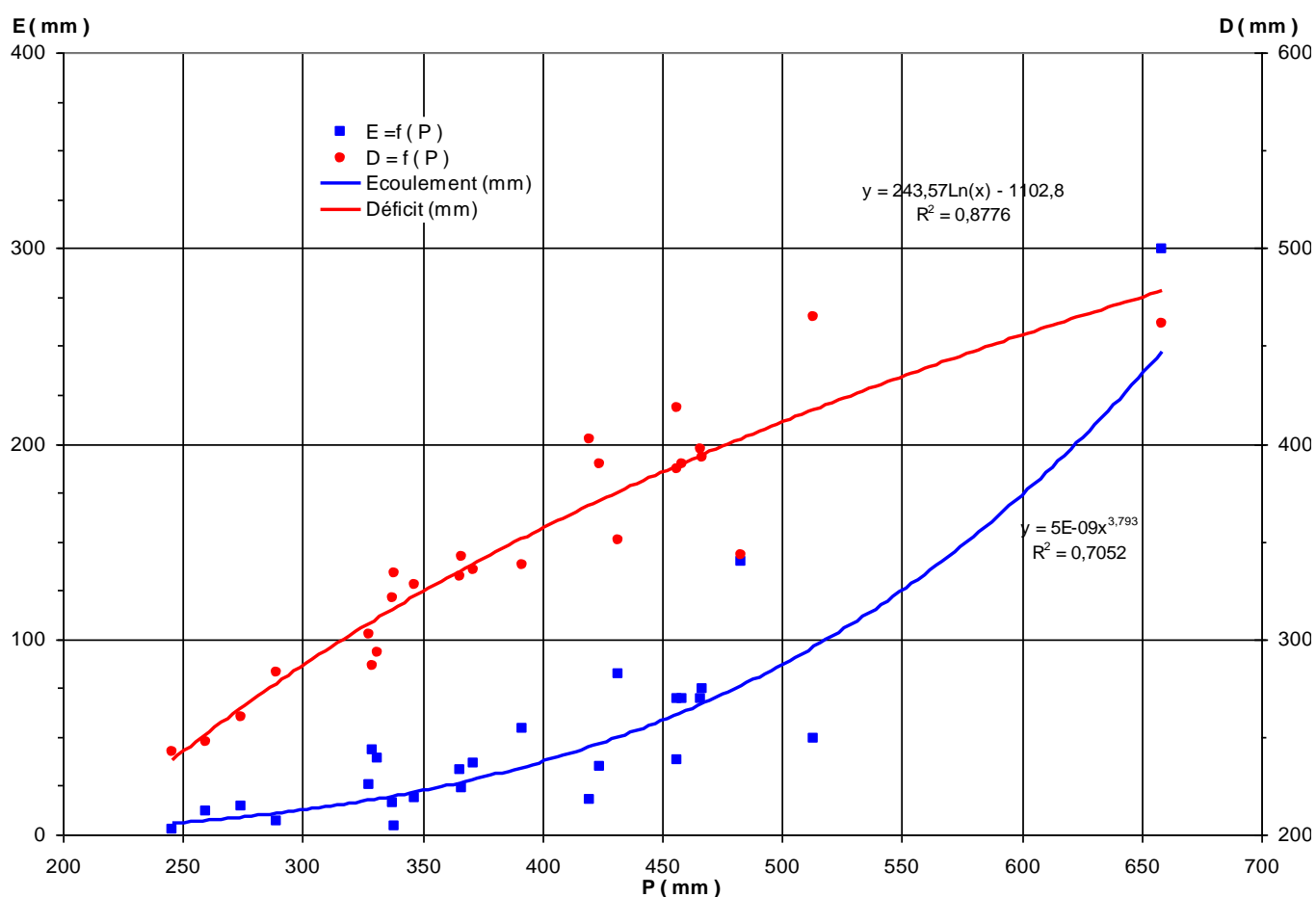


Figure 22: Ecoulement interannuel et déficit d'écoulement. (1968-2001)

Les valeurs extrapolées de ces deux courbes concordent parfaitement. Les valeurs théoriques du déficit d'écoulement varient de 250 à plus de 500 mm pour une pluviométrie allant de 260 à plus de 720 mm. La courbe obtenue $D = f(P)$ ne permet pas de fixer la valeur plafond du déficit d'écoulement.

Les valeurs extrapolées de la lame d'eau écoulee varient, quant à elle, de 0 à plus de 200 mm pour des précipitations comprises entre 220 et plus de 650 mm (tableau 19).

Tableau 19 : Valeurs du déficit et de l'indice d'écoulement extrapolées en fonction des précipitations.

D = f (P)		E = f (P)	
P (mm)	D (mm)	P (mm)	E (mm)
260	250	220	0
320	300	360	20
390	350	430	50
475	400	520	100
580	450	580	150
720	500	630	200
> 720	> 500	> 650	> 200

IV.3. Essai cartographique de l'écoulement moyen annuel

Avant de passer au stade de l'établissement d'une esquisse de la carte de l'écoulement annuel moyen par traçage des lignes d'iso-écoulement, nous sommes obligés de passer par une méthode d'interpolation entre les différentes valeurs au niveau des postes hydrométriques (en tenant compte des débits estimés aux stations de jaugeage). Le krigeage étant une méthode d'interpolation aux nœuds d'une grille à partir d'un semis de points irrégulièrement répartis.

Les informations traitées sont représentées sous forme de grille de mailles élémentaires de taille 3km*3km, pour augmenter les points afin d'obtenir une meilleure précision et une bonne allure des plages d'écoulement lors de l'analyse thématique au Vertical Mapper. Notant aussi qu'il faut que la grille couvrant tout le bassin étudié, ce qui n'est pas le cas malheureusement dans le bassin Cheliff-Zahrez, où il y a une petite partie dans le Sud du bassin non couverte par la grille. On n'a pas utilisé les deux stations de jaugeages qui se trouvent dans cette zone (station d'El Beida; 010207 et Guelta S. Saad; 010201), à cause de l'absence de données hydrométriques pour ces deux stations (figure 23).

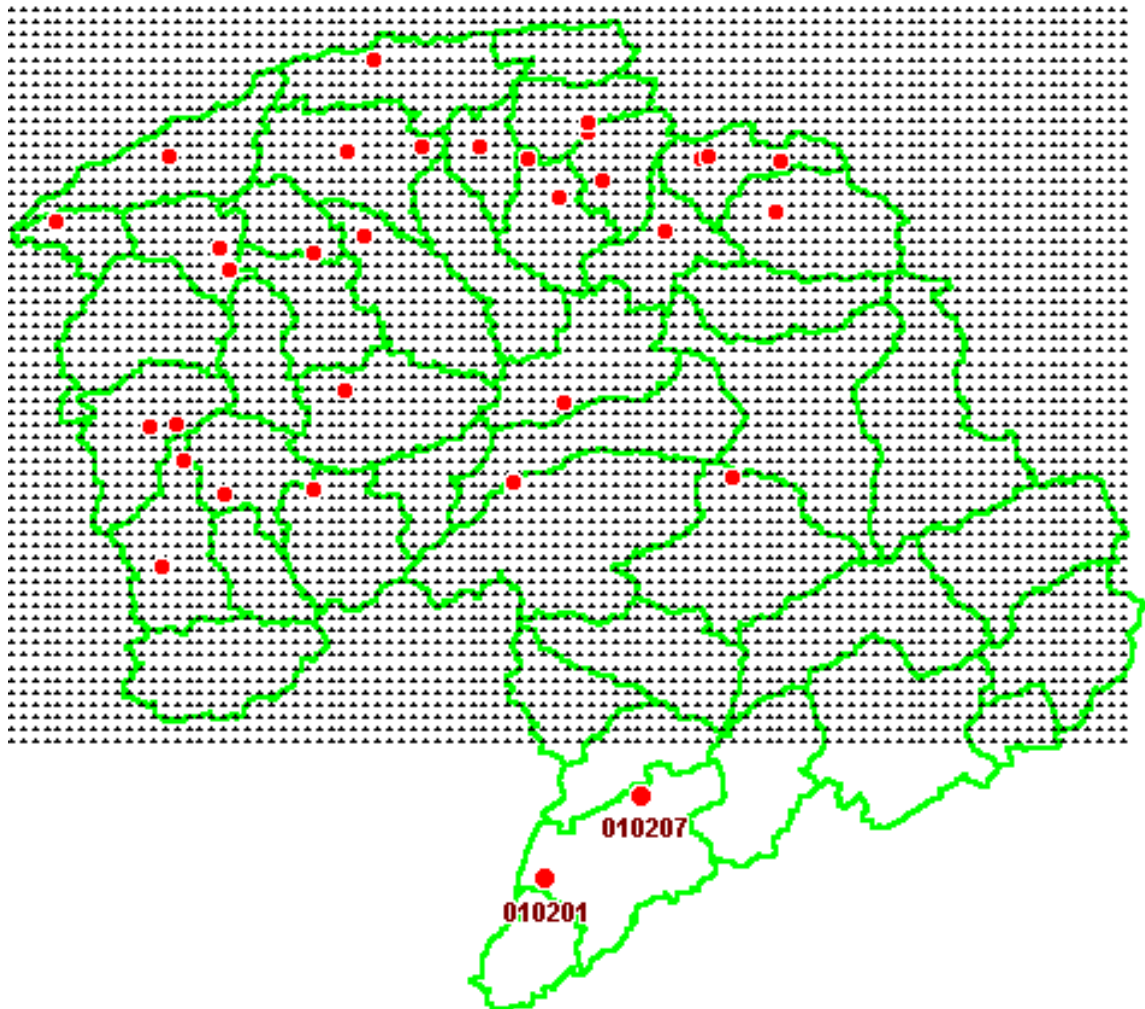


Figure 23: Grille d'interpolation de l'écoulement annuel moyen optimisé sur le bassin Cheliff-Zahrez.

Ensuite nous avons exporté la grille dans l'une des ressources offertes par les systèmes d'information géographiques pour faire une analyse thématique par le logiciel Vertical Mapper.

Ainsi, on est parvenu à esquisser cinq (05) grandes zones d'écoulement moyen annuel, disposées de façon plus ou moins parallèle du Sud-Ouest au Nord-Est du bassin Cheliff-Zahrez (figure 24).

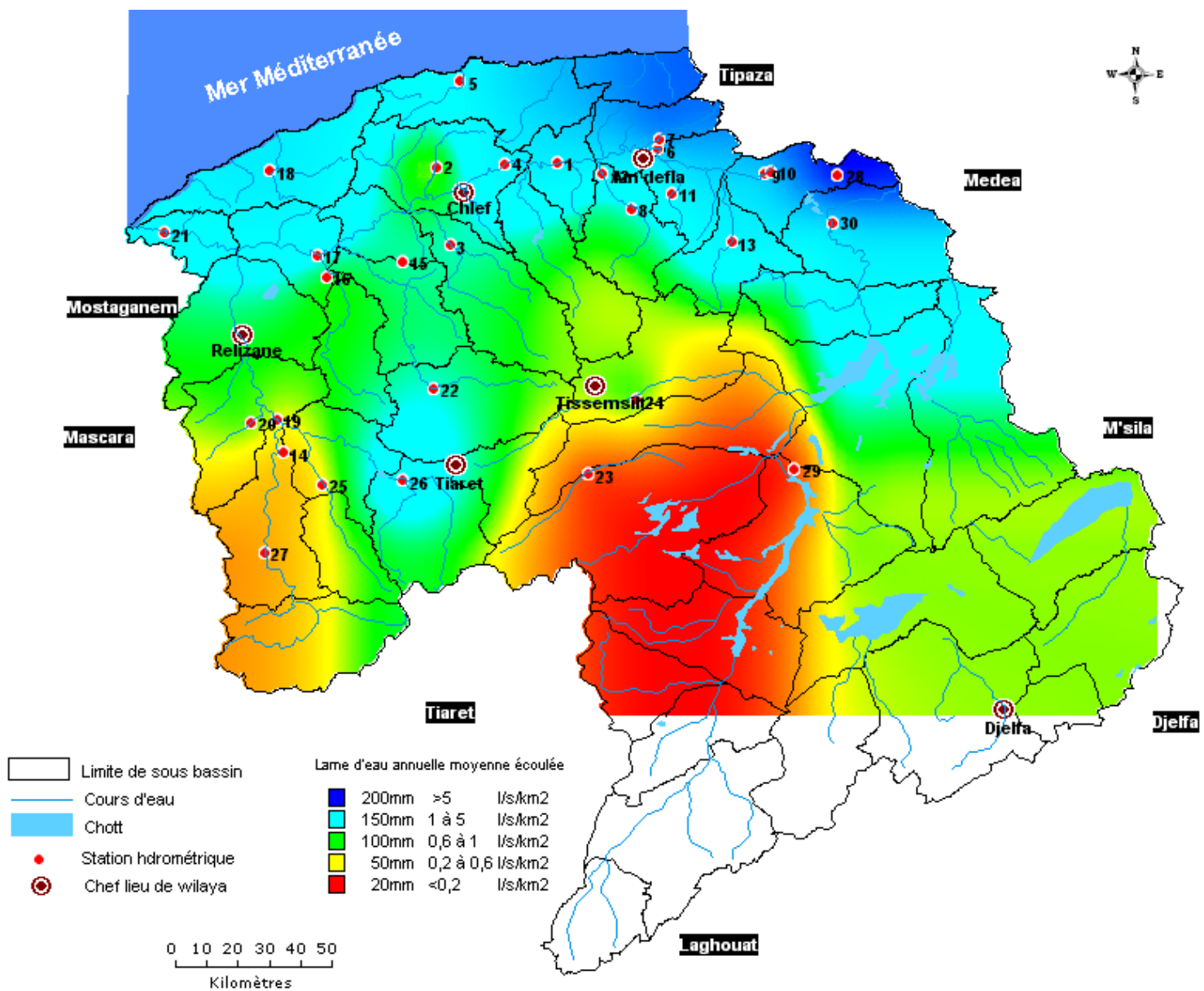


Figure 24: Esquisse de l'écoulement annuel moyen de surface. (Période 1968 – 2001)

On a vérifié que l'information des débits spécifiques pour l'ensemble des stations de jaugeages se situe entre les zones d'écoulements établis. Nous avons par la suite calculé le résidu des débits aux stations, qui est la différence entre les valeurs observées aux stations et les valeurs des surfaces interpolées (tableau 20).

Tableau 20 : Résidus des débits spécifiques obtenus après interpolation.

N° Station	Code Station	Nom Station	Débit spécifique (l/s/km ²)	Résidus des débits (l/s/km ²)
1	HY012001	EL ABADIA 1	2,3571	0,00876614
2	HY012201	OULED FARES	0,5573	-0,11681631
3	HY012311	OULED BEN A.E.K	1,1085	0,02582255
4	HY012203	PONTEBA DEFFLUENT	2,2097	0,09328937
5	HY020207	SIDI AKACHA	1,5535	-0,08701425
6	HY011702	ARIB CHELIFF	2,1894	-1,98659053
7	HY011801	ARIB EBDA	9,4997	2,02724814
8	HY011905	BIR OULED KHELIFA	1,2019	0,04600084
9	HY011503	DJENDEL	3,7492	-0,37149954
10	HY011514	DJEAN BEN OUADAH	4,4359	-0,28807229
11	HY011715	EL ABABSA	1,7266	0,0105977
12	HY011906	ROUINA MINES	1,4803	-0,16636437
13	HY011602	SIDI MOKARFI	2,1893	0,13058495
14	HY013302	AIN AMARA	0,4539	-0,02662203
15	HY012601	AMI MOUSSA	1,0571	0,01424266
16	HY012701	DJEDIOUIA RN4	0,7593	-0,09964864
17	HY012806	DJEDIOUIA CHELIFF	1,3607	0,07291499
18	HY020114	KRAMIS	2,5884	0,07430863
19	HY013402	OUED EL ABTAL	0,5877	-0,02403438
20	HY013401	SIDI AEK DJILLALI	0,8057	0,05111694
21	HY013602	SIDI BEL ATTAR	1,2262	-0,03563866
22	HY012501	OUED LILLI	1,1406	0,00888956
23	HY010711	FERME FARHAT	0,1360	-0,03631103
24	HY011001	COL. BOUGARA	0,8447	0,06628416
25	HY013001	KEF MAHBOULA	0,5142	-0,02876285
26	HY012909	SIDI ALI BEN AMAR	1,6315	0,08855115
27	HY013301	TAKHEMART	0,3879	-0,00241894
28	HY011501	TAMZGUIDA	16,2794	1,15839926
29	HY011210	SIDI BOUABDALLAH	0,0926	-0,03004484
30	HY011407	GHRIB AMONT	2,3123	-0,98725757

Les zones d'écoulement moyen annuel, vont d'une zone de moins de 20 mm ($< 0,2$ l/s/km²) recouvrant tout le secteur des hautes plaines à une zone de plus de 200 mm (> 5 l/s/km²) correspondant aux massifs très arrosés de la chaîne de Zekkar, Chiffa (les monts au Nord de Médéa et de Dahra (Côtier Cherchel).

On remarque que l'optimum étant atteint au niveau des monts du Médéa, plus au Nord Est du bassin (barrière tellienne), l'écoulement commence à décroître dans les plaines du Cheliff en allant à l'Ouest en raison de la faible altitude et donc de la diminution des précipitations. Notons aussi une augmentation de l'écoulement dans la chaîne du Ouarsenis (plus de 1,6 l/s/km²).

Cette esquisse cartographique obtenue par interpolation mérite d'être précisée par des mesures hydrométriques complémentaires issues d'un réseau suffisamment dense afin de mieux appréhender dans l'espace les débits transités par les cours d'eau.

Enfin, on notera que cette information cartographique de l'écoulement correspond à une période sèche, d'où les valeurs modérées de l'hydraulicité abordées ci-dessous.

IV.4. L'irrégularité interannuelle des modules et leur répartition statistique

IV.4.1. L'hydraulicité et la variabilité interannuelle des débits

L'irrégularité interannuelle de l'écoulement peut être mesurée par les variations de l'hydraulicité, c'est-à-dire le rapport du débit d'une année particulière Q_i au débit moyen d'une longue série d'observation (Q/Q_{moy}). Elle peut être complétée par d'autres critères statistiques simple tels que l'écart type ou mieux le coefficient de variation (C.V) ainsi que le coefficient d'immodération (R) traduisant le rapport de modules extrêmes.

Certains hydrologues utilisent également le coefficient K_3 de M. ROCHE qui correspond au rapport du module annuel décennal humide au module annuel décennal sec.

IV.4.1.1. L'hydraulicité

On se référera tout d'abord à la station de Sidi Bel Attar qui nous permettra de cerner l'évolution des débits sur plus de 40 années successives (1954 – 2001). Le graphique correspondant (figure 25 et 26) montre de fortes fluctuations de débits d'une année à une autre ainsi qu'une abondance de l'écoulement durant la période (1968 à 1986) et une indigence de 1987 à 2001. En témoignent les valeurs de l'hydraulicité qui, en plus de forte amplitude, sont en majorité inférieures à l'unité : 18 années hydrologiques sur 34 sont, en effet, déficitaires et la plupart, 15 ans depuis 1987 à 2001 (tableau 21). Ce fait confirme l'hypothèse formulée quand à la tendance climatique « sèche » de ces deux dernières décennies. L'hydraulicité exceptionnelle de 1973 traduit par un coefficient de l'ordre de 2,11 peut être attribuée aux fortes crues de saison froide qu'avait connues l'Oued Cheliff durant cette année ; elle s'oppose nettement au fort déficit de l'année 1999 (0,19), ce qui détermine un coefficient d'immodération remarquable, soit : $R=11$.

Ainsi, on peut dire que l'écoulement annelles subit des grandes variations durant la période considérée pour les différentes stations du bassin Cheliff–Zahrez; (station de Ghrib amont et de Ponteba Défluent) dans le Haut et le Moyen Cheliff (figures 27 à 30), (station de Oued El Abtal et de Sidi Ali Ben Amar) dans le bassin de la Mina (figures 31 à 34), (station de Sidi Bouabdellah) dans le bassin Cheliff à l'amont de Boughzoul et (station de Kramis) dans le côtier Dahra (figures 35 à 38).

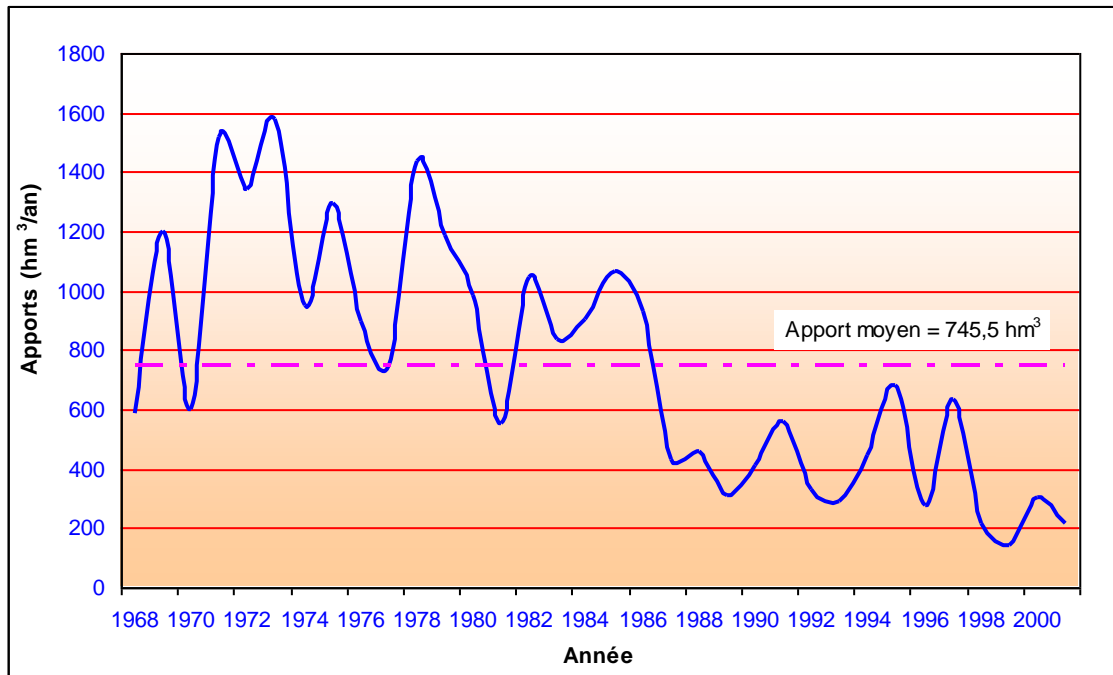


Figure 25: Variations annuelles des modules du bassin Cheliff à la station Sidi Bel Attar (013602) de 1968 à 2001.

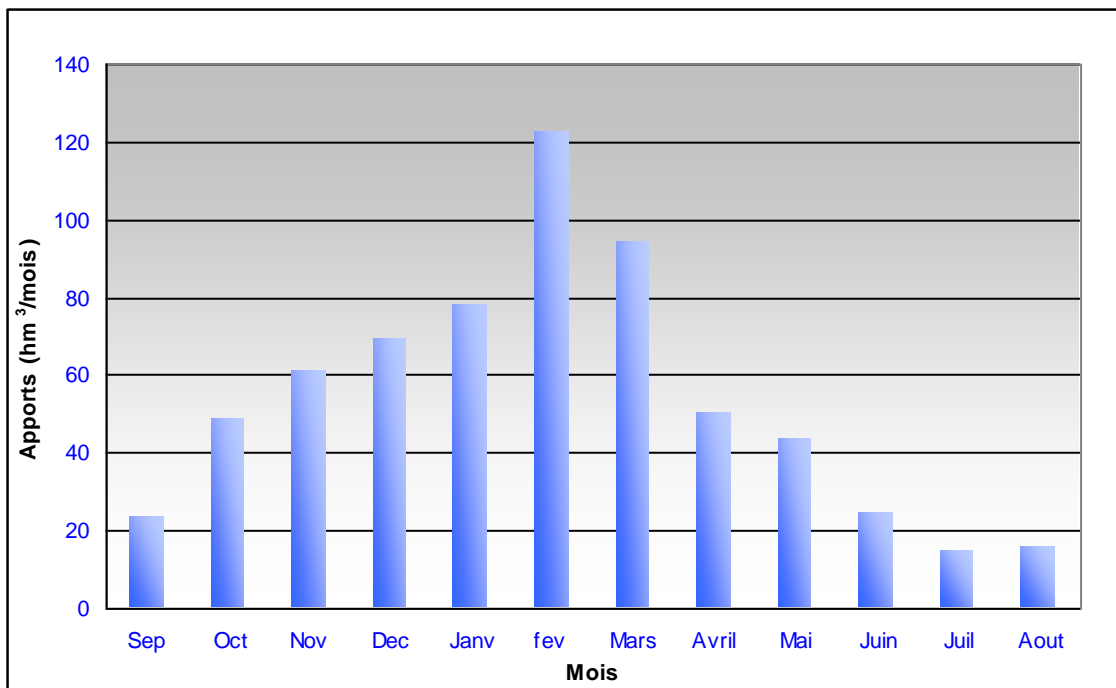


Figure 26: Variations mensuelles des modules du bassin Cheliff à la station Sidi Bel Attar (013602)

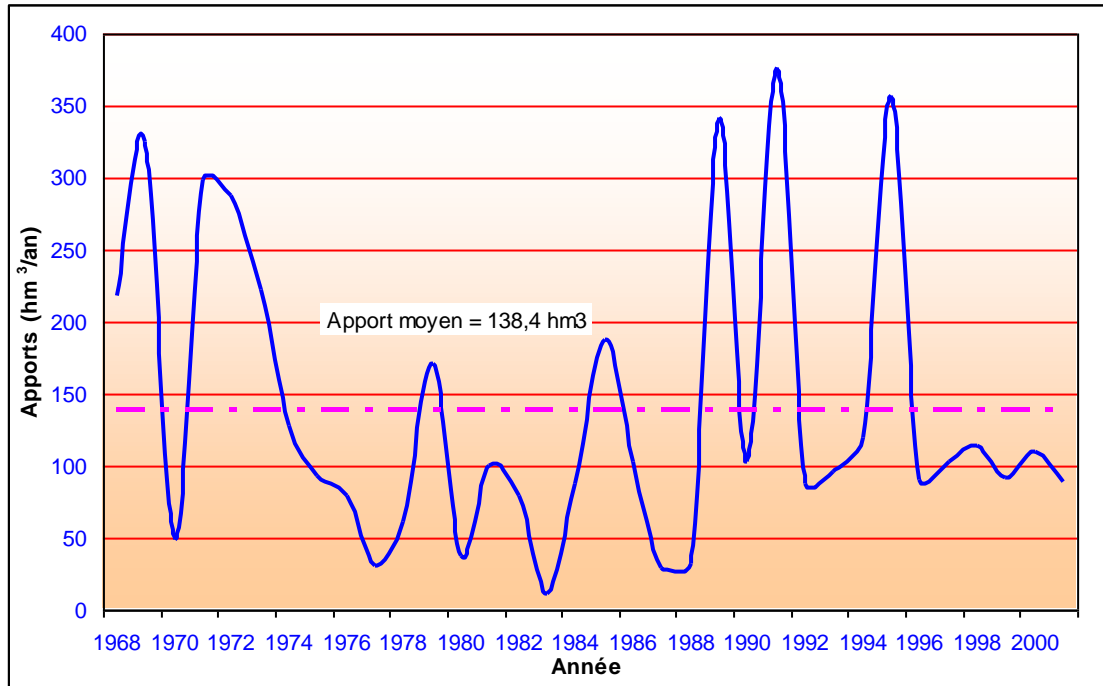


Figure 27: Variations annuelles des modules du bassin haut Cheliff à la station Ghib Amont (011407) de 1968 à 2001.

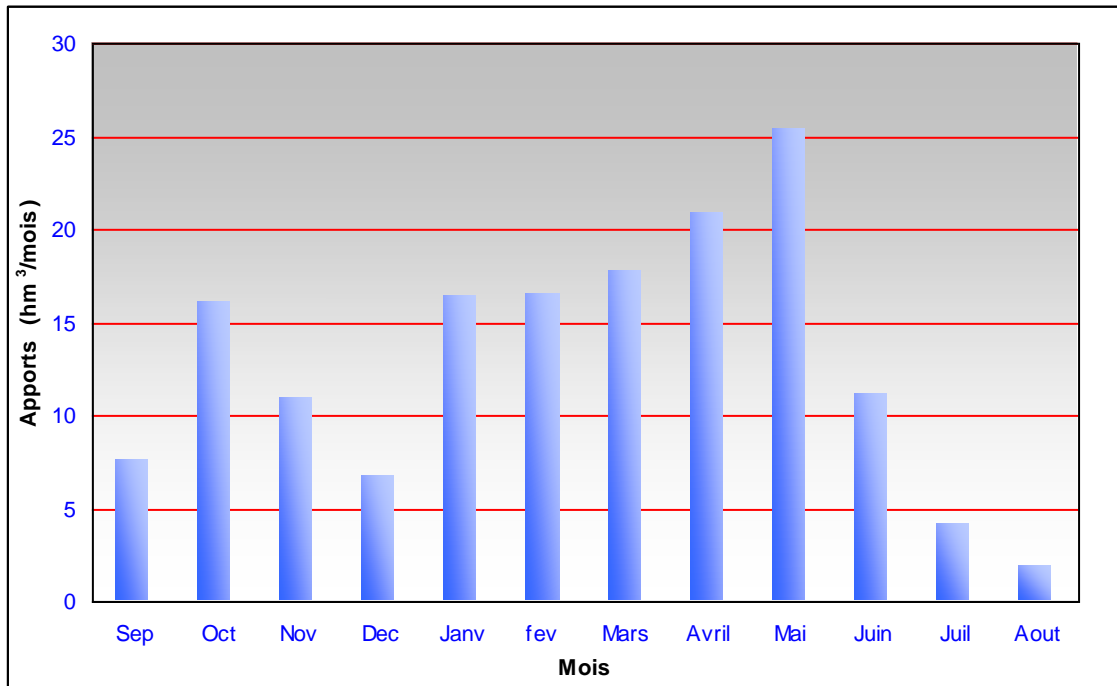


Figure 28: Variations mensuels des modules du bassin haut Cheliff à la station Ghib Amont (011407)

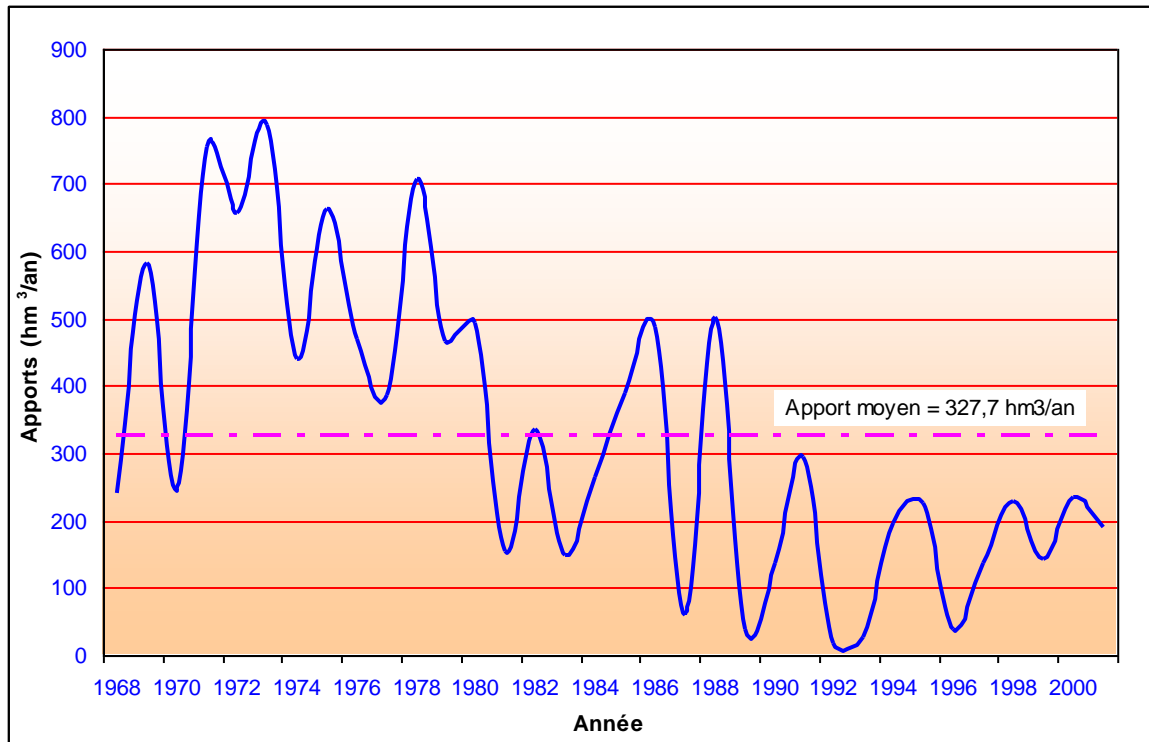


Figure 29: Variations annuelles des modules du bassin Moyen Cheliff à la station Ponteba Défluent (012203) de 1968 à 2001.

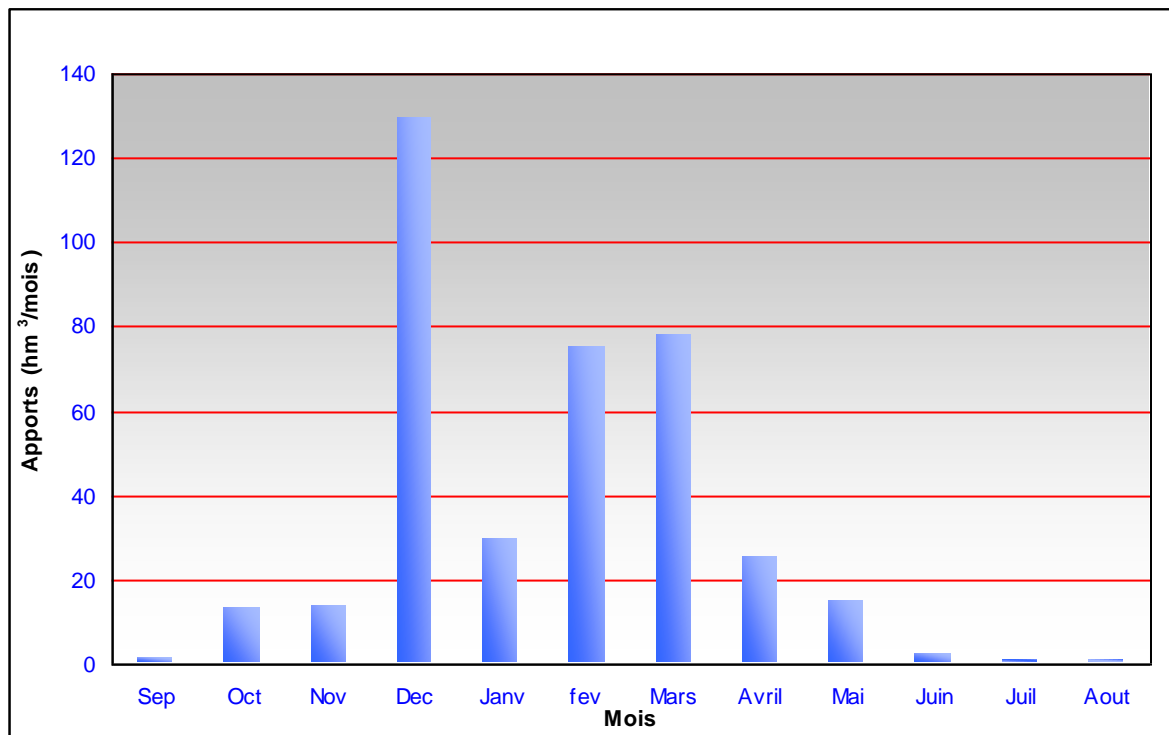


Figure 30: Variations mensuelles des modules du bassin Moyen Cheliff à la station Ponteba Défluent (012203)

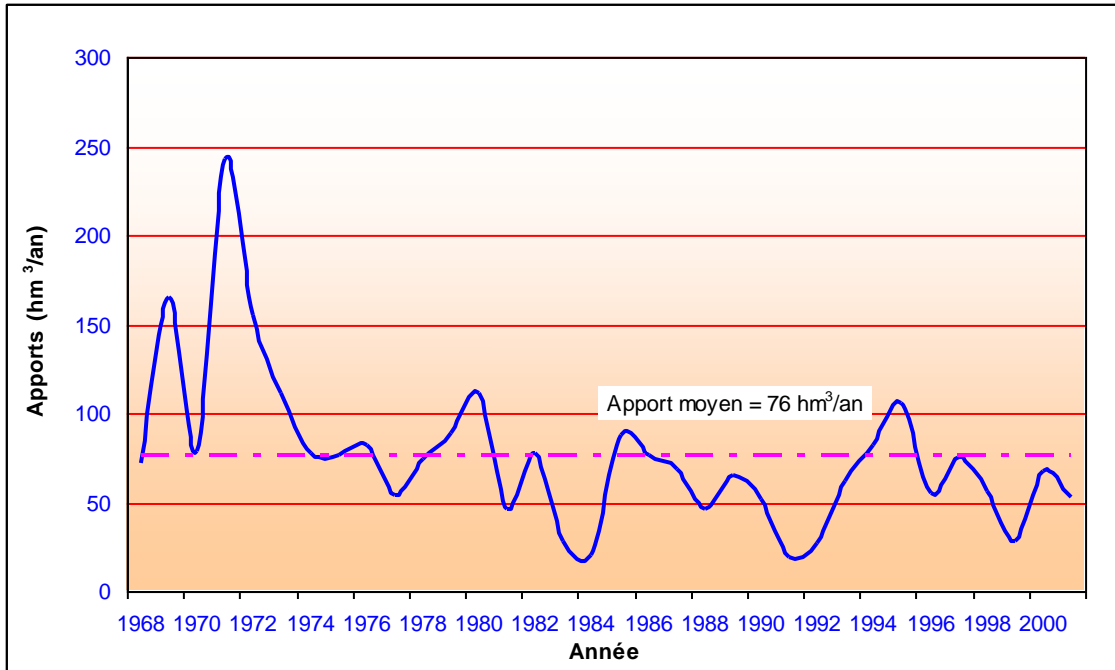


Figure 31: Variations annuelles des modules du bassin de la Mina à la station Oued El Abtal (013402) de 1968 à 2001.

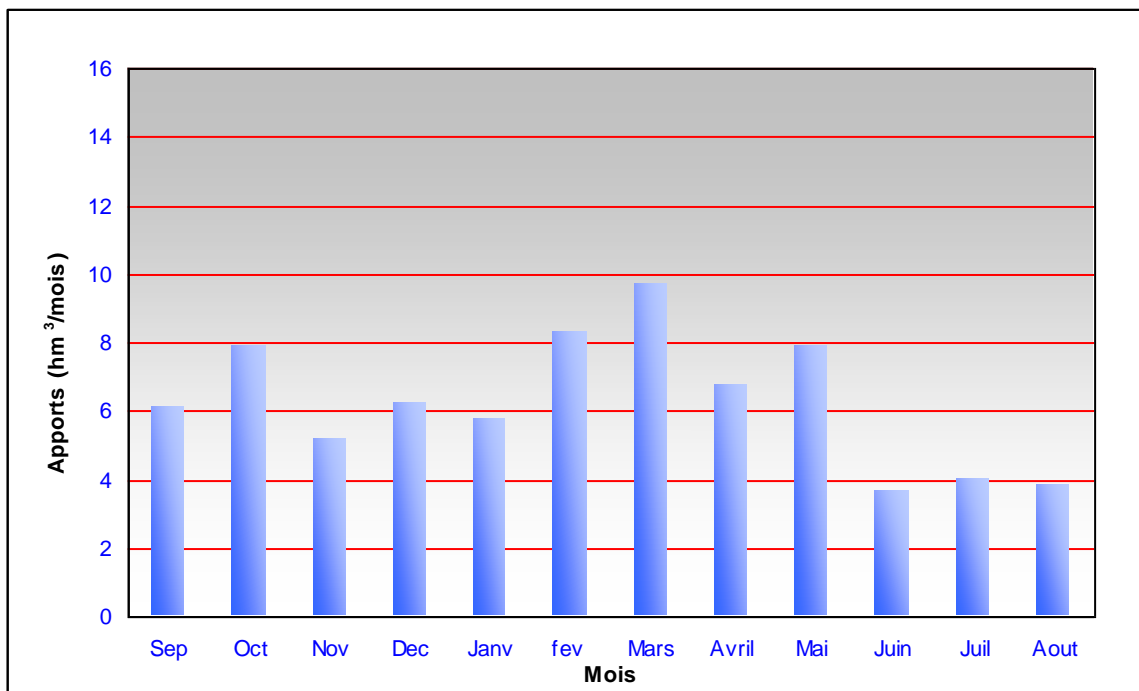


Figure 32: Variations mensuelles des modules du bassin de la Mina à la station Oued El Abtal (013402)

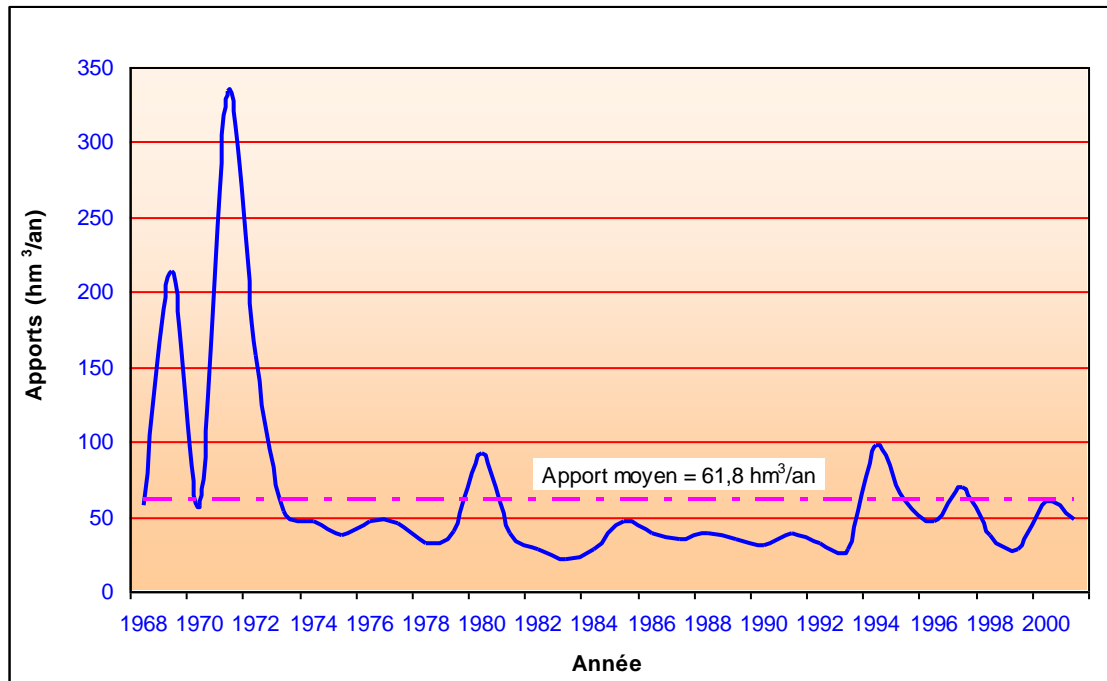


Figure 33: Variations annuelles des modules du bassin de la Mina à la station Sidi Ali Ben Amar (012909) de 1968 à 2001.

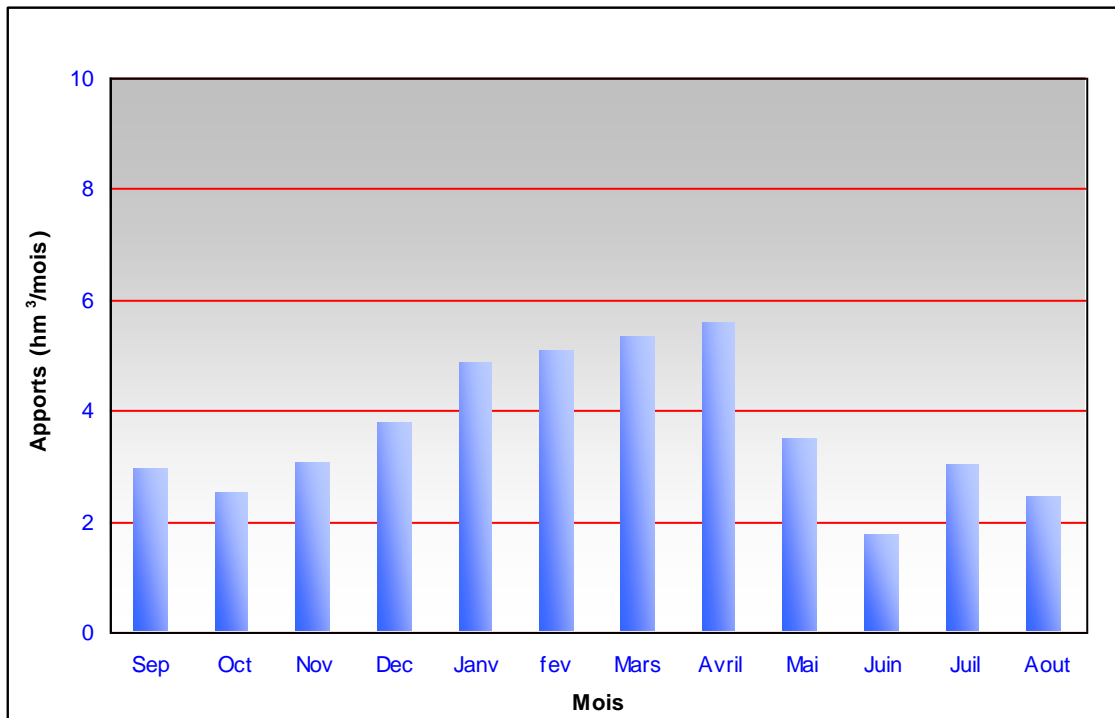


Figure 34: Variations mensuels des modules du bassin de la Mina à la station Sidi Bel Attar (012909)

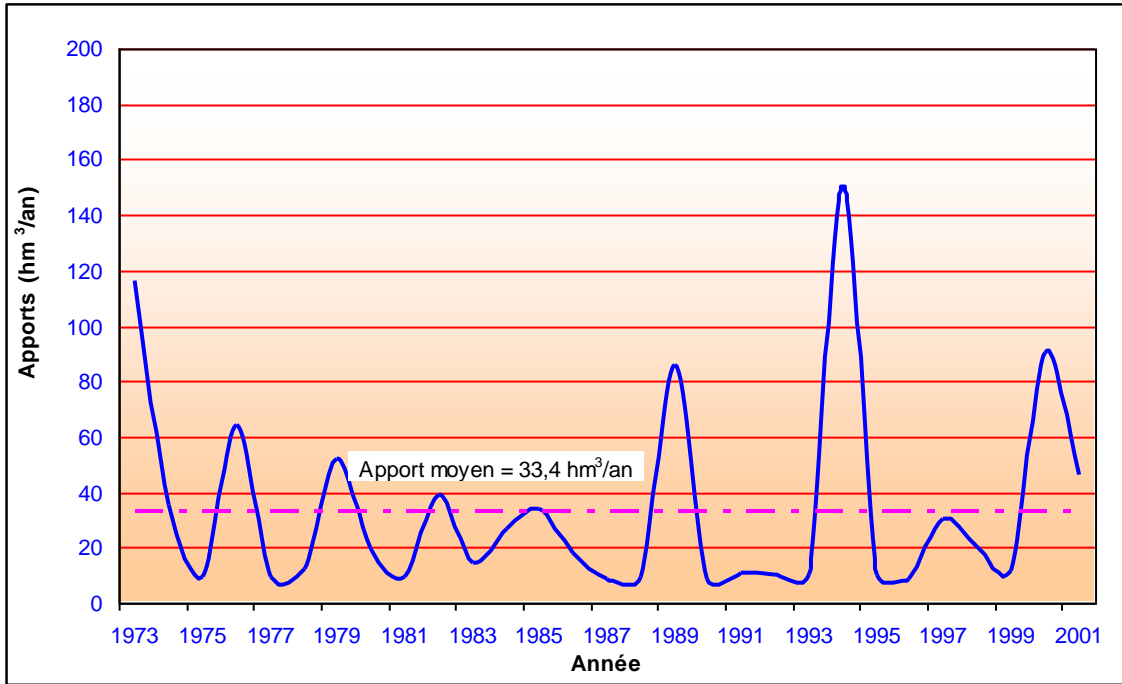


Figure 35: Variations annuelles des modules du bassin Cheliff à l'amont de boughzoul à la station Sidi Bouabdelah (011210) de 1973 à 2001.

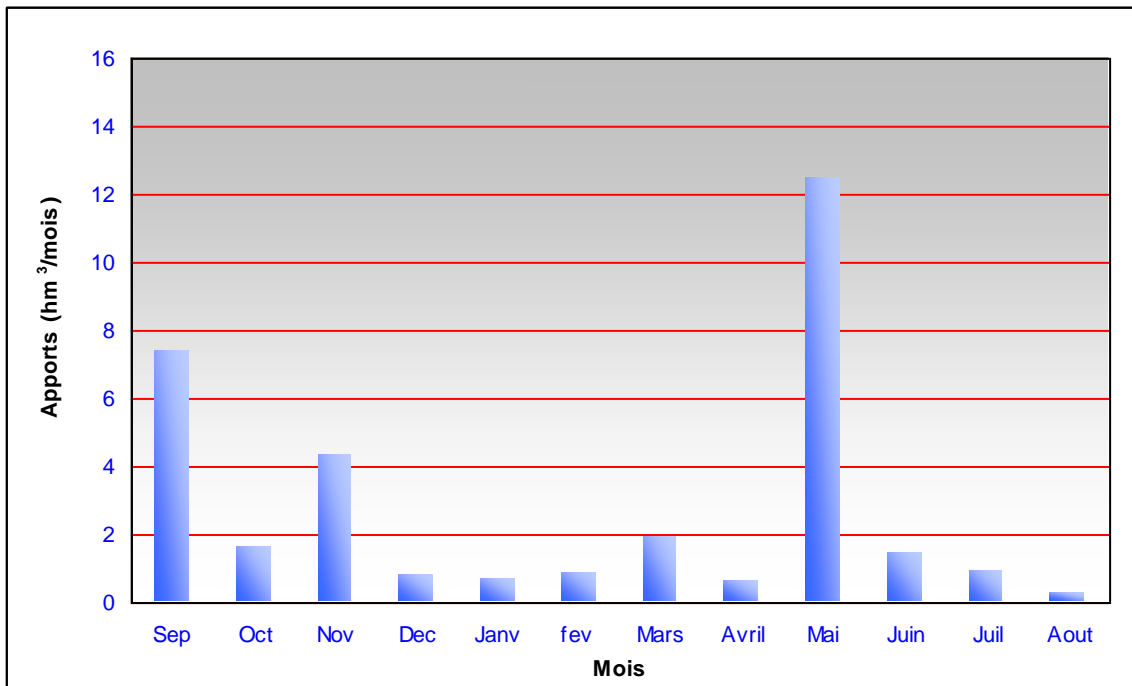


Figure 36: Variations mensuelles des modules du bassin Cheliff à l'amont de boughzoul à la station Sidi Bouabdelah (011210)

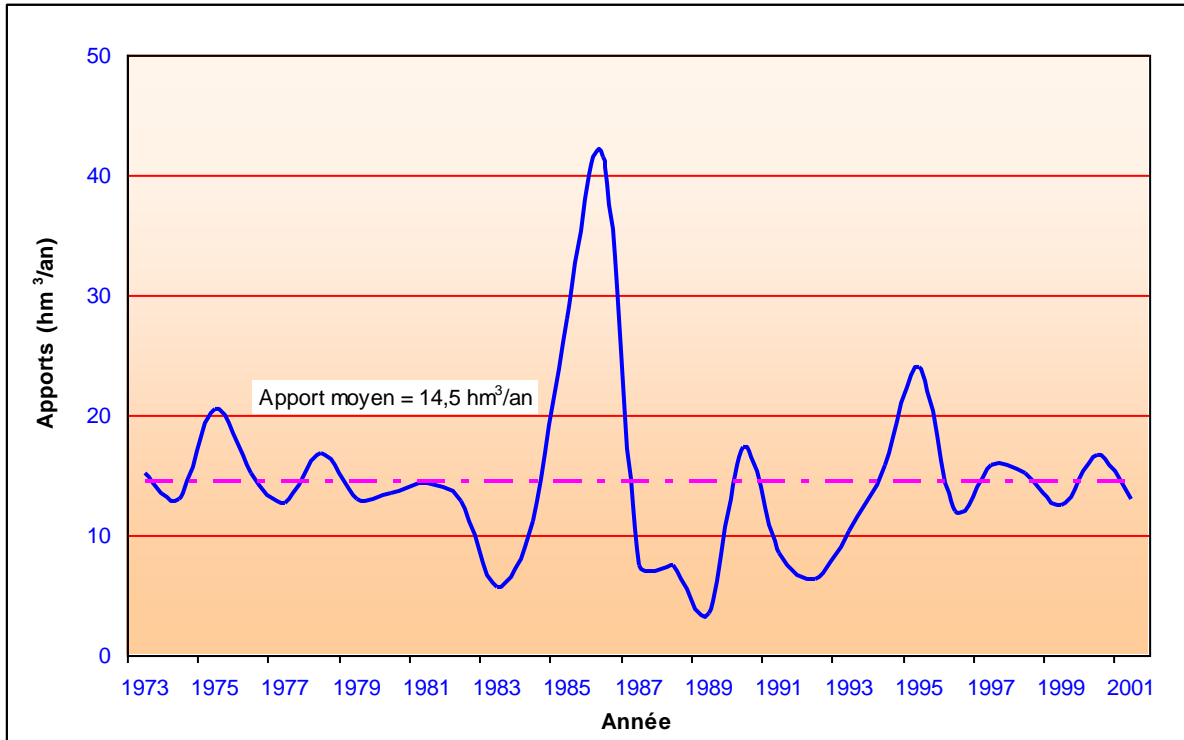


Figure 37: Variations annuelles des modules du bassin Côtier Dahra à la station Sidi Sidi Akacha (020207) de 1973 à 2001.

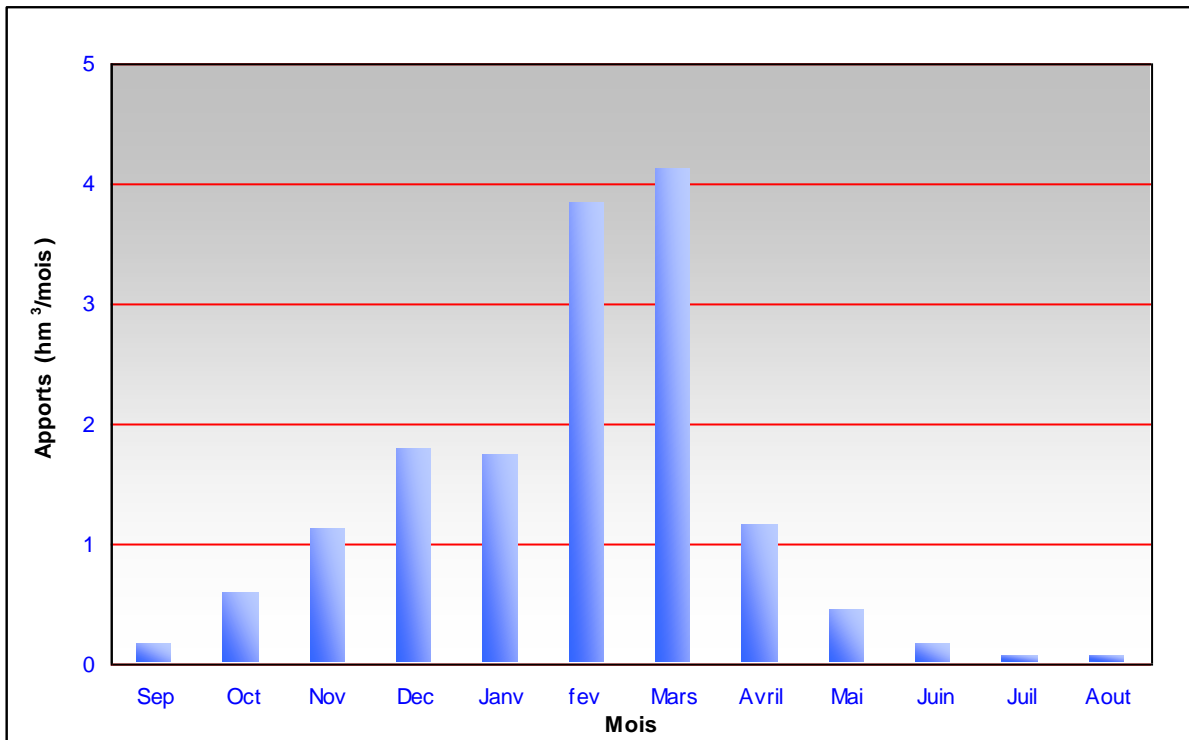


Figure 38: Variations mensuels des modules du bassin Côtier Dahra à la station Sidi Sidi Akacha (020207)

Tableau 21 : Valeurs de l'hydraulicité aux différentes stations de l'Amont à l'Aval d'Oued Cheliff (1968 à 2001).

Année	Station Hydrométrique							
	HY011407	HY011503	HY011702	HY012001	HY012203	HY012806	HY013402	HY013602
1968	1,58	2,15	0,67	0,7	0,73	0,69	0,94	0,79
1969	2,35	3,68	3,31	4,85	1,77	1,9	2,18	1,61
1970	0,35	0,44	0,63	0,62	0,75	0,71	1,03	0,8
1971	2,16	3,32	3,55	3,87	2,31	2,51	3,19	2,03
1972	2,08	2,97	3,27	2,9	2	2,16	2,04	1,79
1973	1,6	1,44	2,23	2,16	2,4	2,62	1,47	2,11
1974	0,92	0,92	0,97	0,77	1,34	1,4	1,02	1,27
1975	0,68	1,67	1,56	1,33	2,02	2,18	1,01	1,74
1976	0,57	1,01	0,96	0,9	1,44	1,5	1,08	1,2
1977	0,22	0,83	0,78	0,71	1,18	1,21	0,71	1,01
1978	0,44	0,6	1,16	1,09	2,16	2,34	0,97	1,93
1979	1,24	0,94	1,42	1,36	1,42	1,49	1,17	1,59
1980	0,27	0,63	1,13	1,1	1,5	1,58	1,46	1,32
1981	0,72	0,62	0,85	0,59	0,48	0,39	0,61	0,74
1982	0,57	0,86	0,89	0,19	1,02	1,03	1,03	1,4
1983	0,08	0,48	0,39	0,01	0,45	0,51	0,36	1,12
1984	0,63	0,65	0,64	0,74	0,81	0,61	0,27	1,21
1985	1,35	0,84	0,94	0,78	1,19	1,14	1,15	1,43
1986	0,74	1,8	1,78	1,66	1,49	1,62	1,01	1,25
1987	0,21	0,47	0,36	0,34	0,18	0,26	0,90	0,58
1988	0,23	0,35	0,31	0,64	1,53	0,34	0,60	0,62
1989	2,47	0,31	0,18	0,11	0,11	0,09	0,85	0,42
1990	0,74	0,4	0,33	0,48	0,42	0,26	0,67	0,55
1991	2,72	1,61	1,53	1,53	0,9	0,63	0,25	0,75
1992	0,63	0,27	0,12	0,17	0,06	0,14	0,36	0,45
1993	0,7	0,23	0,05	0,11	0,08	0,12	0,81	0,39
1994	0,86	1,11	1,15	1,35	0,6	0,71	1,08	0,6
1995	2,58	0,74	0,76	0,66	0,69	0,87	1,39	0,91
1996	0,65	0,32	0,17	0,2	0,12	0,33	0,72	0,37
1997	0,75	0,5	0,47	0,4	0,42	0,56	1,00	0,85
1998	0,82	0,65	0,57	0,59	0,7	0,55	0,74	0,29
1999	0,66	0,32	0,19	0,3	0,44	0,35	0,38	0,19
2000	0,79	0,58	0,46	0,54	0,72	0,68	0,89	0,4
2001	0,64	0,29	0,23	0,24	0,58	0,52	0,69	0,29

Pour ce qui est de la période de référence 1968 – 2001 intéressant l'ensemble des stations du bassin, l'hydraulicité la plus élevée correspond aux années 1969, 1971 et 1973, caractérisée par une forte pluviosité. C'est d'ailleurs les seules trois années ayant connues une véritable surabondance fluviale au cours de la période considérée.

En revanche, les plus faibles valeurs de l'hydraulicité ont été atteintes en 1992 et 1993, à un degré moindre, en 1983, années marquées respectivement par un déficit important.

Les coefficients R relatifs aux séries de ces différentes stations sont nettement plus élevés que celui cité plus haut pour l'écoulement à la station de Sidi Bel Attar (013602).

IV.4.1.2. La variabilité interannuelle des modules

Parmi les différents paramètres qui mesurent la dispersion, nous avons utilisé le coefficient de variation C.V (tableau 25), afin de pouvoir comparer les valeurs de ce coefficient dans les quatre bassins. La variabilité augmente de l'Ouest à l'Est pour l'ensemble du bassin Cheliff-Zahrez.

La variabilité la plus forte caractérise évidemment les bassins à influence climatique semi-aride ; c'est dans le bassin du Amont Boughzoul à Col.Bougara que l'on relève la variabilité record (C.V=2.44). Le coefficient de variation diminue jusqu'à 0.88 dans l'Oued Cheliff à Djendel, mais il reste élevé dans le bassin Harbil à Tamzguida (de l'ordre de 2.09). La légère remontée du C.V toujours dans l'Oued Cheliff à Arib Cheliff et à Elabadia 1 (0.91) et (1.06) respectivement reflète l'effet compensateur de la variabilité interannuelle de l'écoulement dans les affluent de la rive gauche et droite du bassin, C.V=1.28, 0.86 et 0.87 respectivement à El Ababsa, Arib Ebda et Rouina Mines. La variabilité s'atténue relativement dans le Moyen Cheliff : C.V étant de l'ordre de 0.68 dans l'Oued Cheliff à Ponteba Défluent, cette remontée à nouveau jusqu'à 0.78 dans le Bas Cheliff à Djediouia Cheliff due à la variabilité des affluent du bassin Moyen Cheliff. Après il diminue à l'aval (0.55 à Sidi Bel Attar).

Dans le basin de la Mina, les plus fortes valeurs caractérisent les bassins supérieurs de Sidi Ali Ben Amar, Takhmart et Kef Mahboula, où le C.V est de 0.99, 0.85 et 0.77 respectivement. Le coefficient de variation diminue dans la partie centrale du bassin versant de l'Oued Mina (représentée par le bassin versant de l'Oued el Abd à Ain Amara), il a une valeur égalé de 0.42. L'augmentation du coefficient de variation à l'oued El Abtal, de l'ordre de 0.58, est due à l'influence des oueds Taht et El Abd sur le régime de l'oued Mina.

En ce qui concerne le bassin du Côtier, les valeurs extrêmes du C.V oscillent entre 0.55 à Sidi Akacha et 1.03 à Kramis.

Cette variabilité, forte dans l'ensemble, est liée à l'alimentation essentiellement pluviale des cours d'eau. Le faible apport des réserves en eaux souterraines accentue encore le phénomène d'autant plus qu'il s'agit d'une période climatique « sèche »

IV.4.2. Répartition fréquentielle des modules. Ajustement à une loi Log - Normale

L'étude fréquentielle des modules présente un intérêt indéniable dans le cadre des projets d'aménagements hydrauliques et permet de compléter la connaissance du phénomène d'irrégularité de l'écoulement annuel. Le choix de la période de retour du débit de projet dépend de considérations économiques déterminant l'aménagement mais la précision de l'estimation reste liée à la taille de l'échantillon hydrométrique.

Dans notre bassin, la longueur des séries hydrométriques disponibles étant dans l'ensemble longue 34 ans, l'estimation des débits de durée de récurrence centenaire ou millénaire reste possible : en effet, on ne peut en pratique rechercher un quantile dont la probabilité d'apparition correspond à une période de retour supérieure au triple de la longueur de l'échantillon (P. Dubreuil, 1974).

Vu la variation et la forte dispersion des débits annuels, la loi Log – Normale est la d'ajustement la plus adaptée à la distribution des débits annuels comme le montre l'exemple de Sidi Bel Attar (figure 39). L'estimation des quantiles (tableau 22) selon la loi Log – Normale se fait comme suit en prenant en compte la variable réduite de Gauss :

$$\text{Variable réduite : } u = \frac{\log(Q - Q_0) - \text{Moy.} \log(Q - Q_0)}{E.T. \log(Q - Q_0)} \quad (8)$$

$$\text{D'où, } \log(Q - Q_0) = \text{Moy.} \log(Q - Q_0) + u \cdot E.T. \log(Q - Q_0) \quad (9)$$

L'intervalle de confiance sur les quantiles estimés se calcule de la formule suivante :

$$E.T. \log(Q - Q_0) / \text{Rac. } 2n \cdot \text{Rac. } U^2 + 2 \cdot U \cdot U \quad (10)$$

La loi Log – normale comporte un paramètre de position (x_0 ou Q_0) à été proposé.

Ainsi, on a calculé pour l'ensemble des stations, les modules ayant une durée de récurrence de 10, 50 et 100 ans, en année sèche et en année humide (tableau 23).

($x_0=0,00$ Moy. $\log(x-x_0)=1,2969$ E.T. $\log(x-x_0)=0,2783$ $n=34$ et
I.C. à 80%)

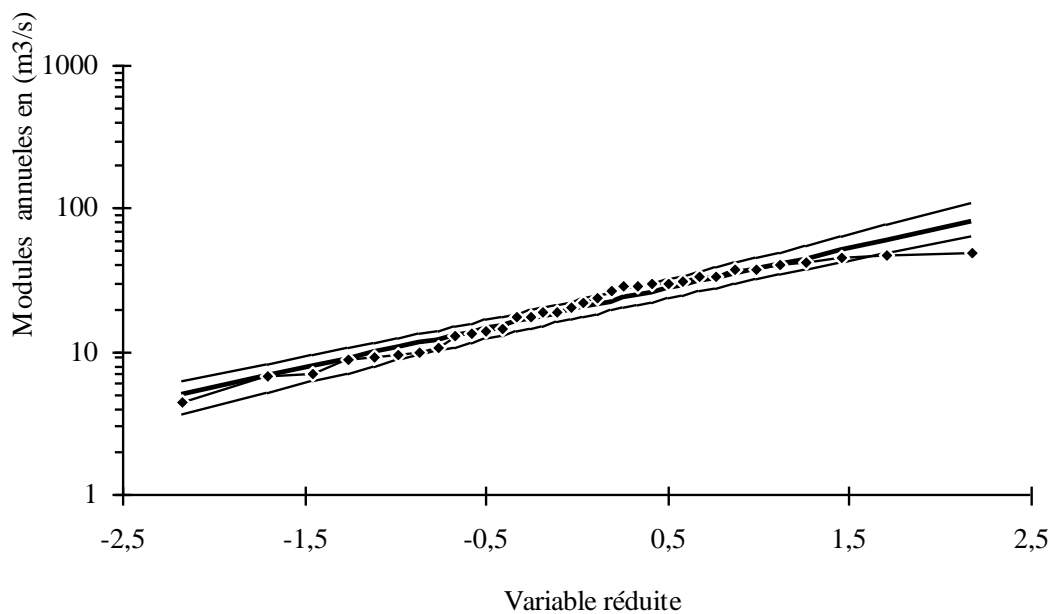


Figure 39: Ajustement à une Loi Log – Normale de la station de SIDI BEL ATTAR.

Tableau 22 : Débit moyens annuels (m^3/s) et durée de récurrence de la station de SIDI BEL ATTAR.
(Période de référence : 1968 – 2001).

Taille n = 34
xo = 0

Moy. $\log(x-x_0)$ = 1,296885989
E.T. $\log(x-x_0)$ = 0,278343404

I.C. à (en%)=80
U Gauss=1,282

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
18,6572	4,3921	1	0,015	-2,178	4,3921	4,9040	3,6341	6,1757
38,1298	6,7670	2	0,044	-1,705	6,7670	6,6415	5,1559	8,1046
18,9356	6,8874	3	0,074	-1,450	6,8874	7,8201	6,2146	9,3978
48,0720	8,6874	4	0,103	-1,265	8,6874	8,8053	7,1105	10,4749
42,4389	9,2083	5	0,132	-1,115	9,2083	9,6922	7,9229	11,4443
49,9211	9,5250	6	0,162	-0,987	9,5250	10,5222	8,6864	12,3529
30,0485	9,8368	7	0,191	-0,873	9,8368	11,3181	9,4202	13,2265
41,1298	10,5365	8	0,221	-0,770	10,5365	12,0939	10,1361	14,0815
28,3667	13,0932	9	0,250	-0,674	13,0932	12,8597	10,8424	14,9294
23,8074	13,6483	10	0,279	-0,584	13,6483	13,6229	11,5453	15,7791
45,5998	14,1798	11	0,309	-0,499	14,1798	14,3898	12,2499	16,6380
37,6949	14,5737	12	0,338	-0,417	14,5737	15,1656	12,9605	17,5127
31,1681	17,4527	13	0,368	-0,338	17,4527	15,9553	13,6809	18,4093
17,4527	17,7060	14	0,397	-0,261	17,7060	16,7635	14,4150	19,3340
33,1813	18,6572	15	0,426	-0,185	18,6572	17,5950	15,1664	20,2931
26,4684	18,9356	16	0,456	-0,111	18,9356	18,4550	15,9390	21,2932
28,6837	20,1889	17	0,485	-0,037	20,1889	19,3487	16,7370	22,3418
33,8601	21,6113	18	0,515	0,037	21,6113	20,2825	17,5652	23,4474
29,4881	23,8074	19	0,544	0,111	23,8074	21,2647	18,4302	24,6213
13,6483	26,4684	20	0,574	0,185	26,4684	22,3040	19,3385	25,8756
14,5737	28,3667	21	0,603	0,261	28,3667	23,4104	20,2978	27,2244
9,8368	28,6837	22	0,632	0,338	28,6837	24,5962	21,3174	28,6851
13,0932	29,4881	23	0,662	0,417	29,4881	25,8769	22,4088	30,2796
17,7060	30,0485	24	0,691	0,499	30,0485	27,2720	23,5869	32,0360
10,5365	31,1681	25	0,721	0,584	31,1681	28,8072	24,8708	33,9911
9,2083	33,1813	26	0,750	0,674	33,1813	30,5170	26,2863	36,1949
14,1798	33,8601	27	0,779	0,770	33,8601	32,4493	27,8691	38,7170
21,6113	37,6949	28	0,809	0,873	37,6949	34,6737	29,6706	41,6593
8,6874	38,1298	29	0,838	0,987	38,1298	37,2961	31,7690	45,1783
20,1889	41,1298	30	0,868	1,115	41,1298	40,4902	34,2912	49,5323
6,7670	42,4389	31	0,897	1,265	42,4389	44,5685	37,4645	55,1915
4,3921	45,5998	32	0,926	1,450	45,5998	50,1834	41,7587	63,1482
9,5250	48,0720	33	0,956	1,705	48,0720	59,0889	48,4218	76,1151
6,8874	49,9211	34	0,985	2,178	49,9211	80,0239	63,5458	107,9881

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.
0,01	-2,327	4,4590	3,2545	5,6744
0,02	-2,054	5,3103	3,9847	6,6302
0,1	-1,282	8,7121	7,0255	10,3732
0,5	0,000	19,8101	17,1470	22,8868
0,9	1,282	45,0450	37,8322	55,8595
0,98	2,054	73,9019	59,1894	98,4870
0,99	2,327	88,0099	69,1590	120,5819

Tableau 23 : Débits moyens annuels (m3/s) et durée de récurrence (Années) de différentes stations du bassin Cheliff – Zahrez.

Station	Paramètres d'ajustement Log.Normal		Année sèche			Module médiane (F0,5)	Année humide		
	Moy.Log (Q - Q ₋)	E.T.Log(Q - Q ₋)	Module centenn-ale (F0,01)	Module cinquantenn-ale (F0,02)	Module décenn-ale (F0,1)		Module décenn-ale (F0,9)	Module cinquantenn-ale (F0,98)	Module centenn-ale (F0,99)
HY012806	1,0514	0,3855	1,43	1,82	3,61	11,26	35,12	69,71	88,79
HY012909	0,1910	0,2573	0,39	0,46	0,73	1,55	3,32	5,24	6,16
HY013001	-0,5484	0,2867	0,06	0,07	0,12	0,28	0,66	1,10	1,31
HY013301	-0,3434	0,3279	0,08	0,10	0,17	0,45	1,19	2,14	2,63
HY013302	0,0113	0,1945	0,36	0,41	0,58	1,03	1,82	2,58	2,91
HY013401	-0,4929	0,2677	0,08	0,09	0,15	0,32	0,71	1,14	1,35
HY013402	0,3196	0,2406	0,58	0,67	1,03	2,09	4,25	6,51	7,57
HY012701	-0,3113	0,3406	0,08	0,10	0,18	0,49	1,33	2,45	3,03
HY013602	1,2969	0,2783	4,46	5,31	8,71	19,81	45,05	73,90	88,01
HY011407	0,5199	0,3523	0,50	0,63	1,17	3,31	9,37	17,53	21,86
HY011501	0,0056	0,5818	0,04	0,06	0,18	1,01	5,64	15,87	22,87
HY011503	0,5141	0,3226	0,58	0,71	1,26	3,27	8,46	15,02	18,39
HY011514	0,5971	0,3370	0,65	0,80	1,46	3,95	10,69	19,47	24,06
HY011602	-0,1182	0,3672	0,11	0,13	0,26	0,76	2,25	4,33	5,45
HY011702	0,5086	0,4267	0,33	0,43	0,92	3,23	11,36	24,27	31,73
Hy011715	-1,0273	0,5151	0,01	0,01	0,02	0,09	0,43	1,07	1,48
HY011801	0,2661	0,3775	0,24	0,31	0,61	1,85	5,62	11,01	13,95
HY011905	-0,4063	0,3504	0,06	0,07	0,14	0,39	1,10	2,06	2,56
HY011906	-0,0464	0,3807	0,12	0,15	0,29	0,90	2,76	5,44	6,91
HY012001	0,7654	0,5059	0,39	0,53	1,31	5,83	25,93	63,76	87,59
HY012203	0,8701	0,4251	0,76	0,99	2,11	7,42	26,00	55,37	72,31
HY012201	-0,9359	0,2828	0,03	0,03	0,05	0,12	0,27	0,44	0,53
HY012311	0,1080	0,1416	0,60	0,66	0,84	1,28	1,95	2,51	2,74
HY012501	-0,3944	0,2595	0,10	0,12	0,19	0,40	0,87	1,38	1,62
HY012601	0,2053	0,3081	0,31	0,37	0,65	1,60	3,98	6,89	8,36
HY020207	-0,3874	0,2126	0,13	0,15	0,22	0,41	0,77	1,12	1,28
HY020114	-0,2757	0,4146	0,06	0,07	0,16	0,53	1,80	3,77	4,89
HY010711	-1,6176	0,7764	0,00	0,00	0,00	0,02	0,24	0,95	1,54
HY011001	-0,4160	0,4691	0,03	0,04	0,10	0,38	1,53	3,53	4,74
HY011210	-0,1590	0,3869	0,09	0,11	0,22	0,69	2,17	4,32	5,51

IV.4.3. Les ressources annuelles en eau de surface disponibles

L'apport moyen annuel de l'ensemble du bassin du Cheliff - Zahrez s'élève, selon la série de référence étudiée, à 1 300 millions de m³. Cet apport, calculé pour la période de référence 1968 – 2001 pour les sous bassin contrôlés par des stations hydrométriques. Pour les sous bassins non traités dans les paragraphes précédentes, l'écoulement a été estimé sur la base du débit spécifique calculé pour des bassins similaires. Etant donné que ce volume est généré sur une surface de 56 227 km², le débit spécifique moyen pour toute la région revient à environ 22 mm/an. Les études antérieures, plus grossières, (hydrotechnic, USA et ANRH, PNE Algérie) concordent la valeur de l'écoulement moyen annuel calculée par la présente étude, ANRH (937 Mm³, sans tenir en compte du bassin côtier), PNE ; Plan National de L'eau (1950 Mm³), ces valeurs sont données à titre indicatif, du fait que les périodes de références sont déférentes.

L'apport moyen annuel n'a, cependant, qu'une signification théorique en raison de la forte variabilité inter-annuelle de l'écoulement superficiel mise en lumière par les valeurs de l'hydraulicité et du coefficient de variation ainsi que les données des estimations fréquentielles.

L'apport annuel du bassin amont Boughzoul- Zahrez est extrêmement difficile à estimer. Il n'existe que trois stations hydrométriques pour les quelles on dispose de données. Cette région est une zone moins productive en eau de surface 48,17 Mm³.

Le débit spécifique des bassins du Dahra (côtier) semble augmenter de l'Ouest à l'Est, les valeurs calculées pour les bassins variant de 48.99mm/an à 138.58mm/an, c'est une zone productive en eau de surface.

Les bassins de la Mina et autres affluents à la rive gauche du Cheliff, constituent la majeure partie du bassin du bas Cheliff, les débits spécifiques calculés varient entre 14.31 et 51.45 mm/an.

En ce qui concerne la partie Moyenne et Haute du bassin Cheliff, représente l'un des plus forts volumes écoulés par les bassins-versants algériens près de 700 Mm³, les débits spécifiques calculés varient entre 33.34 et 74.92 mm/an (tableau 24).

Tableau 24 : Ecoulement annuel moyen dans la région hydrographique Cheliff -Zahrez.
(Période 1968 – 2001)

Bassin	Nom sous Bassin	Superficie sous bassin	Débit moyen interannuel (mm/an)	Apports Interannuel (Hm3/an)
Côtier	Côtier Cherchel	565	138,58	78,30
	Côtier Ténès	1324	48,99	64,87
	Côtier Guelta	1312	81,63	107,10
Sous Total		3201		250,26
Haut et moyen Cheliff	Cheliff Djellil	1005,71	72,92	73,36
	Ghrib Cheliff	2396,42	72,92	101,43
	Cheliff Harbil	783,98	45,32	35,53
	Deurdeur	857,63	69,04	59,24
	Cheliff harezas	743,96	62,95	46,83
	Arib Ebda	681,50	74,92	51,09
	Rouina Zedine	898,53	46,68	41,97
	Cheliff Tikazal	570,51	69,69	39,79
	Ras Ouhrane	1437,44	17,57	25,25
	Fodda	1161,31	51,19	59,44
	Sly	1405,46	34,96	49,11
	Tiguiguest	1513,52	35,97	54,46
	Rhiou Tleta	928,45	33,34	30,94
Cheliff Ourizane	564,71	33,34	18,84	
Sous Total		14 949,18		687,28
Bas Cheliff et la Mina	Abd Aval	1228,6	14,31	37,26
	Abd Amont	1373,8	14,31	19,67
	Chéiff Maritim	434,18	18,43	8,00
	Cheliff Taria	759,63	18,43	14,01
	Mina Hadad	1251	18,53	23,19
	Mina Aval	1462,5	18,54	27,12
	Djediouia	799,4	23,95	19,13
	Mina Amont	1284	51,45	66,06
	Mina Moyen	892,21	18,53	16,53
Taht	657,57	16,22	10,67	
Sous Total		10 142,89		241,64
Amont boughzoul	Diaa Boughzoul	2617	10,24	14,64
	Dait el Firania	2339	9,15	12,83
	Oued Ouassel Amont	699,3	26,63	26,64
	Oued Ouassel Moyen	1403		
	Oued Mechti Zerga	1549	6,06	8,49
	Oued Sousselem	2833	-	-
	Oued Sebgag Berkana	791	2,92	33,47
	Oued Namous Chelal	2019		
	Oued Sakni	1329		
	Oued Touil Amont	963,8		
	Oued Touil Moyen	1403		
Oued Touil Aval	2033			
Sous Total		19979		95,79
Zahrez	Zahrez cHergui	1628	-	-
	Oued Medjedel	1434	-	-
	Daïet Mefiteg	437,6	-	-
	Oued Djelfa Hadjia	2223	-	-
	Oued Mesrane	1330	-	-
Zahrez Rharbi	1936	-	-	
Sous Total		8989		-
Total				1274,97

(-) : Manque de données

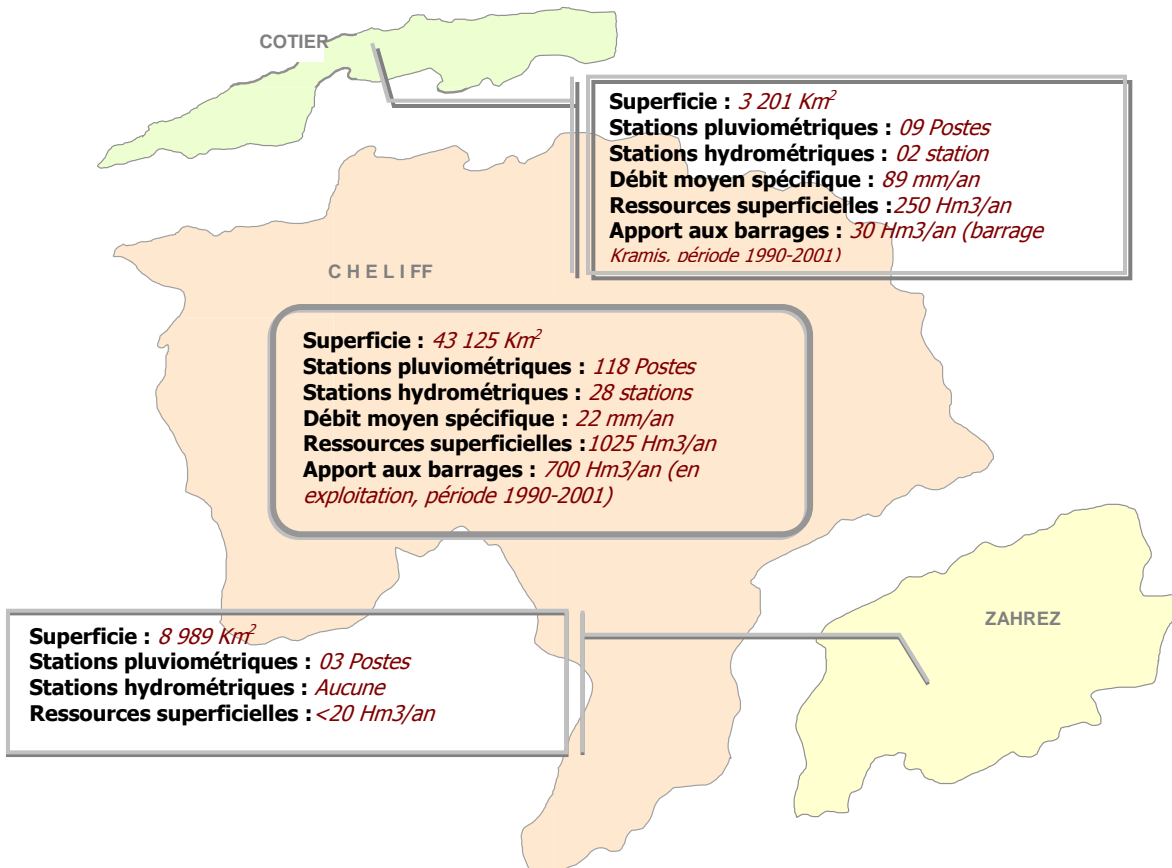


Figure 40: Caractéristiques hydrologiques aux bassins Côtier, Cheliff et Zahrez de la région d'étude



Chapitre

**Régimes fluviaux et
variations
saisonnnières des
ressources en eau de
surface**

V. Régimes fluviaux et variations saisonnières des ressources en eau de surface

L'analyse des débits mensuels permet de mettre en lumière les régimes des cours d'eau et leurs variations inter – annuelles ou inter – saisonnières.

Ces régimes peuvent être traduits par divers critères numériques et graphiques parmi lesquels on retiendra, principalement les coefficients mensuels de débits (C.M.D). Leur variabilité dans le temps sera cernée à partir du coefficient de variation, comme cela a déjà été le cas dans le cadre de l'étude de l'irrégularité inter-annuelle des modules.

Ainsi, cette étude nous conduira à déterminer les disponibilités saisonnières en eau de surface du bassin et leur amplitude.

V.1. Les régimes saisonniers et les coefficients mensuels de débits

Les coefficients mensuels de débits ou rapports des débits moyens mensuels au module de la période considérée, pris pour unité, ont l'avantage de permettre la comparaison des variations saisonnières de régime de cours d'eau de débits très différents. Les C.M.D inférieurs à l'unité correspondent aux mois de basses eaux et les C.M.D supérieurs à l'unité représentent les mois de hautes eaux.

A partir des séries hydrométriques, les C.M.D et leur figuration graphique établit pour les différentes stations de jaugeages permet de quantifier les régimes « moyens » du Cheliff et de ses principaux affluents. Ce sont les coefficients de débits de la station de Djediouia Cheliff qui reflètent le mieux les caractères généraux du Cheliff, du moins à titre d'exemple de son cours inférieur (figure 41).

En effet, le régime « moyen » de ce dernier comporte une période des hautes eaux, de Décembre à Avril et de basses eaux, de Mai à Octobre. Le maximum mensuel (2.65) se situe en Février suivie de très près par Mars (2.52) alors que le minimum mensuel (0.08) correspond au mois de Juillet, mais les valeurs enregistrées en Août et Juin ne sont guère plus élevées, respectivement 0.09 et 0.19 .

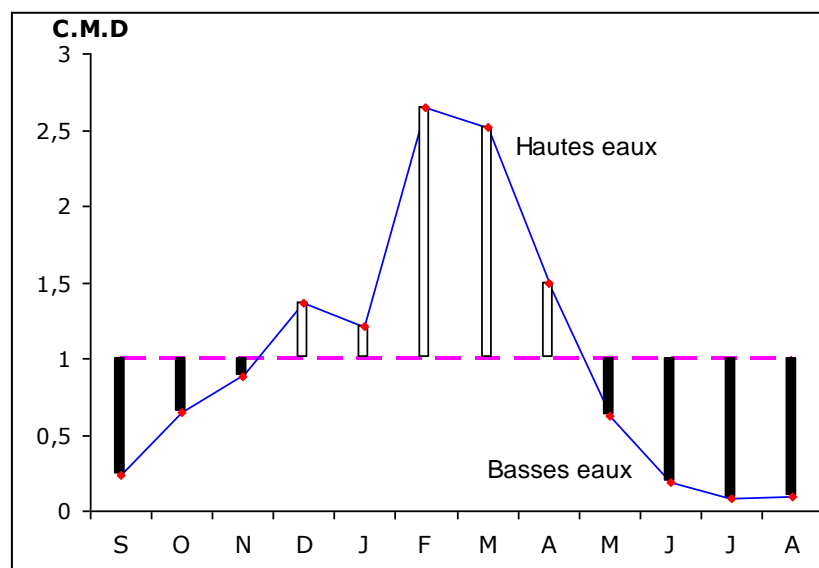


Figure 41: Courbe des coefficients moyens mensuels de débits du Cheliff à Oued Djediouia Cheliff (1968-2001).

V.1.1. Les nuances géographiques des régimes

Sur le plan spatial, il existe des nuances sensibles entre les cours d'eau que se soit sur le cour d'eau principale lui-même passant du Bas et Moyen Cheliff jusqu'au Haut et entre ses affluents du Sud au Nord et de l'Ouest à l'Est.

Sur le cour principale :

- bassin Moyen et Bas sur l'Oued Cheliff (figure 42): la période de hautes eaux est nettement marquée au cours de quatre mois successifs; Décembre, Janvier, Février et Mars et plus rarement jusqu'à Avril, la moyenne mensuelle maximale se situe ne Février pour l'ensemble et en Mars pour l'Oued Cheliff à la station d'El Abadia 1 et Penteba Défluent et plus particulièrement en Avril pour l'Oued Lilli.

La période de basses eaux est ici plus précoce, elle commence dès le mois de Mai, la moyenne mensuelle minimale se trouve en Août. Ceci peut s'expliquer, à priori, par le faible soutient dû aux eaux souterraines. Aussi, le régime hydrologique est-il directement soumis aux variations saisonnières des précipitations, sans échapper évidemment aux effets importants de l'E.T.P.

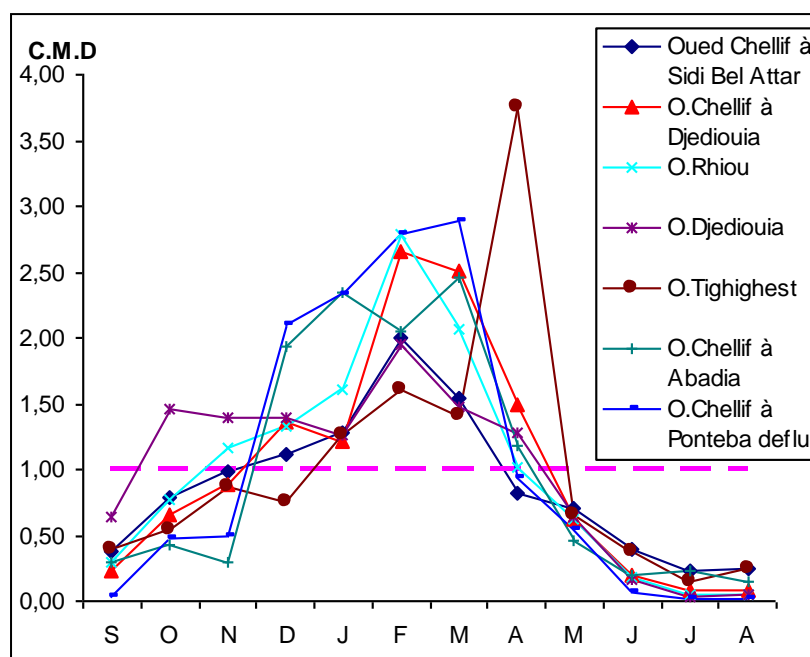


Figure 42: Courbes des C.M.D de cour d'eau principale du bassin Moyen et Bas Cheliff.

- bassin Haut sur l'oued Cheliff (figure 43): la période de hautes eaux commence en mois d'Octobre pour l'Oued Cheliff à la station de Ghrib Amont et Djendel mais les C.M.D tombent rapidement au-dessous de l'unité pendant les deux mois qui suivent Novembre et Décembre avant de croître de nouveau en Janvier; le maximum d'écoulement est atteint en Février.

Pour l'oued Cheliff à la station de Arib Cheliff et de Djenan Ben Ouadah, les hautes eaux n'apparaissent qu'en Janvier en raison vraisemblablement de l'énorme capacité d'infiltration qu'offre son bassin; les pluies du début de l'année climatique n'interviennent donc pas efficacement au soutien de l'écoulement superficiel.

La période de basses eaux commence dès le mois d'Avril et spécialement en Juin pour la station de Ghrib Amont. Les minimales sont en Juin, Août, Septembre et Décembre

respectivement aux stations de Arib Cheliff, Ghrib Amont, Djenan Ben Ouadah et Djendel, il faut noter que les minimales dans ce bassin sont élevées (0.16) qu’au Moyen et Bas Cheliff (0.01).

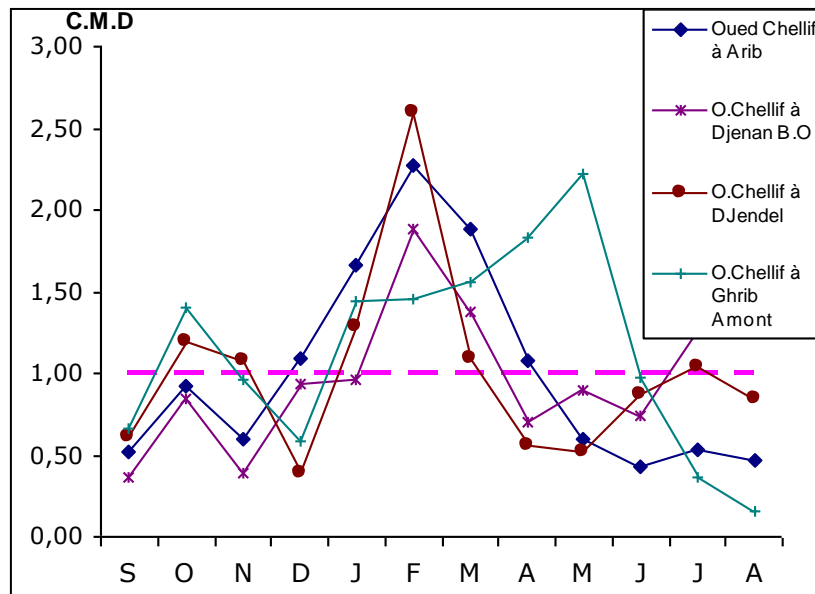


Figure 43: Courbes des C.M.D de cour d'eau principale du bassin Haut Cheliff.

▪ **Bassin la Mina, cour d'eau principale et ses affluents (figure 44):**

La période des hautes eaux commence dès Septembre et Octobre pour l’Oued Taht, El Abd à la station de Takhmart et de Ain Amara et l’Oued Mina à la station de Oued El Abtal, mais les C.M.D tombent rapidement au dessous de l’unité pendant le mois de Novembre et Décembre avant d’augmenter à nouveau en Janvier et en Février, le maximum est atteint en Mars et Avril.

Par ailleurs, la période de basses eaux est décalée dans le temps, elle ne commence qu’au mois de Juin du fait de l’importance relative des précipitations de printemps, la moyenne mensuelle minimale est enregistrée en Juillet.

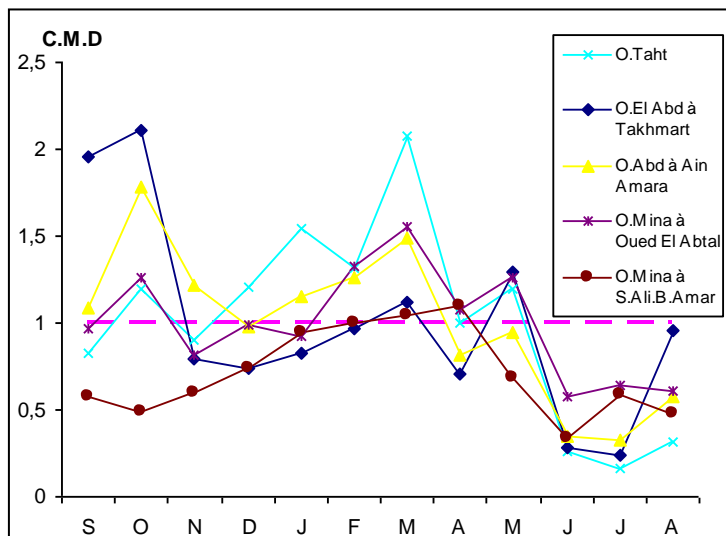


Figure 44: Courbes des C.M.D de cour d'eau La Mina et ses affluents.

▪ **Bassin Côtier :**

La période de hautes eaux commence dès le mois de Novembre. Elle s'étale jusqu'au mois de Mars. La moyenne mensuelle maximale est atteinte aux mois de Février et de Mars, quand à la période de basses eaux débute dès le mois d'Avril, la moyenne mensuelle minimale est en Juillet. (figure 45)

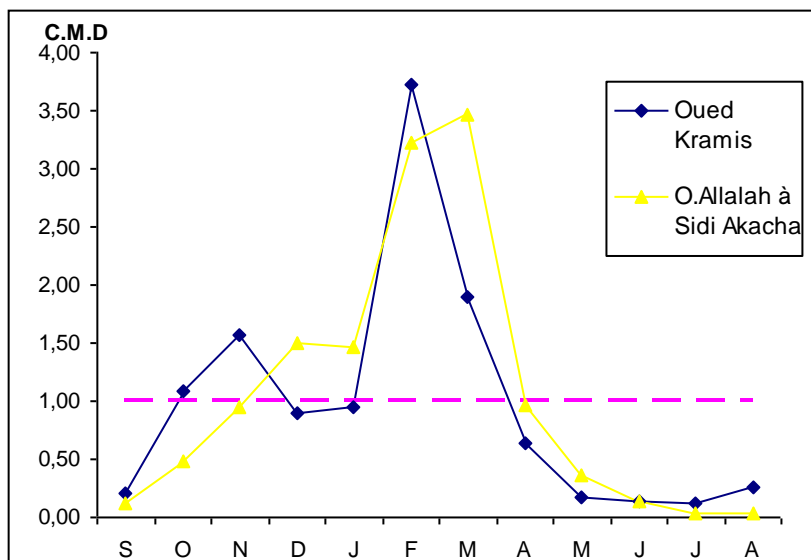


Figure 45: Courbes des C.M.D du bassin Côtier.

▪ **Bassin Amont Boughzoul (figure 46):**

La période de hautes eaux est très courte pour ces cours d'eaux. Elle est enregistrée en Octobre et en Novembre, ensuite, les CMD donnent des valeurs moindres avant de croître à nouveau en mois de Mai.

La période de basses eaux est assez prolongée, allant de Décembre à Avril et de Juin à Septembre, la moyenne minimale se situe en mois d'Avril pour l'Oued Nahr Ouassel et en Août pour l'Oued Touil.

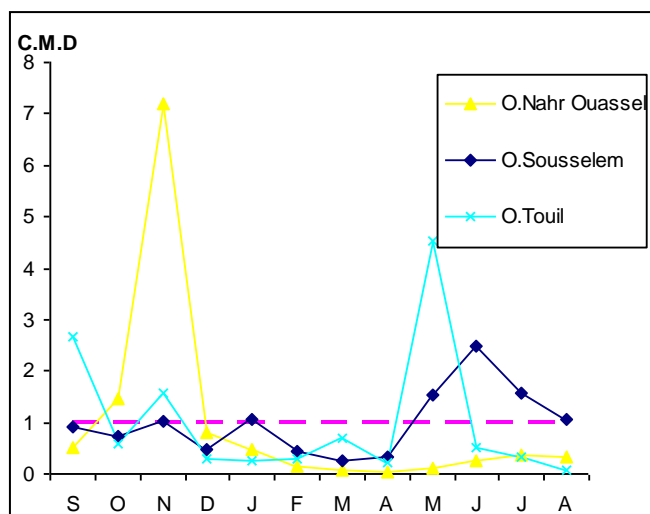


Figure 46: Courbes des C.M.D de bassin Amont Boughzoul

Ainsi, il apparaît que les régimes hydrologiques sont nuancés entre le Sud et le Nord et l'Ouest et l'Est du bassin. Ils se calquent dans leurs grandes lignes sur ceux des régimes des précipitations, mais le parallélisme entre ces deux phénomènes est plus ou moins modifié par le rôle important de la lithologie (restitutions souterraines) et par celui des températures (évaporation).

V.1.2. Des régimes saisonniers a forte variabilité temporelle

L'irrégularité mensuelle et saisonnière des débits au cours de la période de référence ressort parfaitement des valeurs du coefficient de variation calculées pour les différentes stations et pour les différents mois de l'année (tableau 25).

Il apparaît, en effet, que l'écoulement mensuel est extrêmement variable d'une année à l'autre : pour certains mois, le coefficient de variation dépasse largement l'unité et est compris, dans l'ensemble, entre 0,31 et 3,57.

Ces données attestent d'une variabilité du régime plus marquée qu'à l'échelle annuelle. La plus forte variabilité de l'écoulement fluvial concerne la période de saison froide ou de hautes eaux, plus particulièrement le mois de Mars, Janvier et Février. Ce fait peut s'expliquer par l'importance et la fréquence élevée des crues en saison froide. Au contraire, la variabilité relativement modérée des basses eaux peut être justifiée par la fréquence limitée des crues en saison chaude ainsi que par le rôle pondérateur des eaux souterraines alimentant les cours d'eau en période d'étiage.

La variabilité interannuelle des débits moyens mensuels diffère selon les mois et la position géographique du bassin versant. On remarque que, pour les stations qui drainent le bassin de Amont –Boughzoul, le coefficient de variation est supérieur, presque pour tous les mois, à l'unité sauf pour les mois de Décembre, Janvier et Février où il est égal a 0.86, 0.99 et 0.52 à Col. Bougara, 0.71, 0.80 et 0.76 à Sidi Bouabdelah.

Du point du vue géographique, bien que le régime d'écoulement ait semblé être moins immodéré dans la partie Amont- Boughzoul et le Haut Cheliff que dans la partie Moyen et Bas Cheliff, la variabilité inter-mensuelle des débits y est, au contraire, plus accentuée dans l'ensemble du bassin Cheliff–Zahrez.

Tableau 25 : Variabilité des débits annuels et mensuels dans la région d'étude

Bassin	Station		Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Année
Côtier	Sidi Akacha	Moy	0,06	0,22	0,43	0,69	0,67	1,48	1,59	0,44	0,17	0,06	0,02	0,02	0,46
		E.T	0,2	0,21	0,44	0,88	0,37	1,89	0,9	0,72	0,19	0,14	0,02	0,04	0,23
		C.V	3,57	0,95	1,02	1,27	0,56	1,28	0,57	1,63	1,13	2,34	0,9	2,51	0,51
	Kramis	Moy	0,16	0,85	1,22	0,7	0,74	2,9	1,47	0,5	0,13	0,11	0,1	0,21	0,78
		E.T	0,22	0,86	2,72	0,93	0,87	7,22	1,23	1,46	0,17	0,17	0,17	0,24	0,8
		C.V	1,32	1,01	2,23	1,34	1,18	2,49	0,84	2,96	1,29	1,61	1,74	1,18	1,03
Moyen et Haut Cheliff	Ghrib Amont	Moy	2,89	6,17	4,19	2,56	6,3	6,36	6,83	8,04	9,77	4,28	1,57	0,69	4,39
		E.T	5,83	10,48	2,87	2,31	9,31	8,18	7,47	11,14	17,02	5,16	4,26	1,11	3,27
		C.V	2,01	1,7	0,69	0,9	1,48	1,29	1,09	1,39	1,74	1,21	2,71	1,59	0,75
	Djendel	Moy	2,66	5,24	4,7	1,72	5,59	11,33	4,76	2,41	2,29	3,77	4,55	3,67	4,36
		E.T	3,19	7,37	3,64	3,32	8,66	17,52	7,77	4,58	3,35	2,66	2,3	2,54	3,83
		C.V	1,2	1,41	0,77	1,93	1,55	1,55	1,63	1,9	1,47	0,71	0,51	0,69	0,88
	Djenan B.	Moy	1,89	4,33	2,04	4,84	4,98	9,69	7,09	3,59	4,66	3,81	6,56	8,85	5,16

Bassin	Station		Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Année	
	Oudah	E.T	0,8	7,18	0,99	9,24	8,05	14,58	8,47	3,73	3,08	1,28	4,17	6,98	3,86	
		C.V	0,43	1,66	0,49	1,91	1,62	1,5	1,2	1,04	0,66	0,34	0,64	0,79	0,75	
	tamzgu-ida	Moy	3,28	1,16	1,27	2,95	1,67	7,15	1,92	1,86	1,25	1,13	2,5	0,16	2,56	
		E.T	8,96	5,5	5,66	6,03	5,49	13,53	5,42	5,7	5,48	5,68	7,88	0,39	5,35	
		C.V	2,73	4,74	4,47	2,04	3,3	1,89	2,82	3,07	4,39	5,02	3,16	2,46	2,09	
		Moy	0,2	0,59	0,43	1,2	1,5	4,39	2,39	1,05	0,58	0,24	0,08	0,69	1,09	
	Sidi Mokarfi	E.T	0,52	0,75	0,47	2,16	1,91	9,23	2,66	1,19	0,63	0,13	0,11	2,59	1,03	
		C.V	2,66	1,27	1,1	1,8	1,27	2,1	1,12	1,13	1,09	0,54	1,35	3,74	0,94	
	Arib Cheliff	Moy	2,48	4,45	2,89	5,24	8,05	10,96	9,08	5,21	2,9	2,09	2,58	2,28	4,83	
		E.T	2,06	7,01	2,36	10,22	12,16	15,62	10,8	7,83	3,27	1,72	2,11	2,2	4,38	
		C.V	0,83	1,58	0,82	1,95	1,51	1,43	1,19	1,5	1,13	0,82	0,82	0,97	0,91	
		Moy	0,06	0,15	0,09	0,17	0,53	0,24	0,31	0,25	0,19	0,05	0,03	0,01	0,18	
	El Ababsa	E.T	0,13	0,28	0,12	0,35	1,34	0,34	0,36	0,39	0,42	0,1	0,05	0,03	0,23	
		C.V	2,21	1,93	1,36	2,04	2,54	1,43	1,19	1,57	2,21	1,96	1,83	2,38	1,28	
	Arib Ebda	Moy	0,31	0,69	0,81	5,13	3,94	4,97	4,95	4,22	4,05	1,53	0,09	0,05	2,56	
		E.T	0,31	2,23	0,99	11,79	3,78	5,7	3,64	6,37	5,22	1,47	0,06	0,03	2,19	
		C.V	1,01	3,25	1,21	2,3	0,96	1,15	0,74	1,51	1,29	0,96	0,74	0,53	0,86	
		Moy	0,38	0,55	0,73	0,43	0,72	1,04	0,99	0,9	0,39	0,09	0,02	0,02	0,52	
	Bir Ouled Tahar	E.T	0,38	1,75	1,18	0,71	0,72	0,95	0,88	1,33	0,5	0,07	0,02	0,01	0,41	
		C.V	1,01	3,17	1,62	1,65	0,99	0,91	0,89	1,48	1,27	0,75	0,88	0,43	0,78	
	Rouina Mines	Moy	0,12	0,72	0,73	1,05	1,52	4,25	3,1	1,62	0,89	0,3	0,01	1,13	1,28	
		E.T	0,26	1,03	0,9	1,12	0,96	7,75	3,44	2,55	0,7	0,28	0,01	5,98	1,12	
		C.V	2,16	1,43	1,24	1,07	0,63	1,82	1,11	1,57	0,79	0,96	1,23	5,29	0,87	
		Moy	2,8	4,08	2,89	18,74	22,6	19,76	23,78	11,46	4,44	1,96	2,19	1,42	9,66	
	El Abadia1	E.T	2,7	6,17	2,17	49,24	40,29	25,33	22,92	17,31	4,21	1,26	1,6	1,83	10,24	
		C.V	0,97	1,51	0,75	2,63	1,78	1,28	0,96	1,51	0,95	0,64	0,73	1,29	1,06	
	Ponteba Def.	Moy	0,31	4,99	5,04	30,53	11,38	28,99	30,04	9,78	5,61	0,71	0,15	0,12	10,39	
		E.T	0,24	6,55	4,74	39,2	8,63	32,51	29,72	11,4	7,45	0,6	0,2	0,11	7,08	
		C.V	0,79	1,31	0,94	1,28	0,76	1,12	0,99	1,17	1,33	0,85	1,32	0,9	0,68	
		Moy	1,42	1,08	0,65	0,68	1,39	1,72	1,76	1,41	1,02	1,64	1,91	1,6	1,36	
	Ouled Ben Aek	E.T	1,44	0,92	0,91	0,43	1,89	2,14	1,33	0,87	0,7	1,04	1,96	1,3	0,53	
		C.V	1,02	0,86	1,4	0,63	1,36	1,24	0,76	0,62	0,68	0,63	1,03	0,81	0,39	
	Oued Lilli	Moy	0,19	0,26	0,41	0,36	0,6	0,77	0,67	1,8	0,32	0,18	0,07	0,12	0,48	
		E.T	0,31	0,4	0,68	0,33	0,85	0,82	0,84	0,92	0,29	0,24	0,15	0,31	0,3	
		C.V	1,64	1,53	1,65	0,9	1,4	1,07	1,25	0,51	0,92	1,33	2,03	2,63	0,62	
		Moy	0,6	1,54	2,33	2,65	3,35	5,56	4,13	2,04	1,25	0,34	0,1	0,09	2	
	Ami Moussa	E.T	1,28	1,97	3,27	3,73	2,93	8,11	5,68	2,1	1,28	0,5	0,19	0,1	1,26	
		C.V	2,14	1,28	1,41	1,4	0,88	1,46	1,38	1,03	1,03	1,46	1,96	1,19	0,63	
	Bas Cheliff et la Mina	Sidi Ali Ben Amar	Moy	1,13	0,97	1,16	1,45	1,86	1,95	2,05	2,14	1,34	0,66	1,16	0,93	1,96
			E.T	0,93	0,44	0,58	0,56	1,25	0,73	0,63	2,65	0,49	0,37	1,59	1,28	1,94
		C.V	0,83	0,45	0,5	0,38	0,67	0,37	0,31	1,24	0,36	0,55	1,37	1,37	0,99	
		Moy	1,18	1,27	0,48	0,45	0,49	0,58	0,67	0,43	0,77	0,17	0,15	0,58	0,6	
Takhmart		E.T	2,1	1,62	0,48	0,38	0,38	0,57	0,89	0,46	1,39	0,18	0,23	1,84	0,51	
		C.V	1,79	1,28	1,01	0,86	0,76	0,97	1,32	1,09	1,79	1,05	1,55	3,19	0,85	
Ain Amara		Moy	1,23	2,01	1,37	1,1	1,29	1,42	1,68	0,92	1,07	0,4	0,37	0,65	1,13	
		E.T	1,94	2,22	1,33	0,61	0,91	1,21	1,75	0,73	1,72	0,4	0,62	1,88	0,48	
		C.V	1,58	1,1	0,97	0,55	0,7	0,86	1,04	0,8	1,61	1	1,69	2,9	0,42	
		Moy	0,29	0,42	0,32	0,42	0,54	0,46	0,72	0,35	0,42	0,09	0,06	0,11	0,35	
Kef Mahboula		E.T	0,46	0,56	0,33	0,53	1,05	0,68	1,06	0,33	0,74	0,12	0,08	0,21	0,27	
		C.V	1,6	1,33	1,05	1,25	1,94	1,49	1,46	0,94	1,78	1,37	1,45	1,91	0,77	
Sidi Aek	Moy	0,11	0,26	2,04	0,27	0,31	0,34	0,43	0,19	0,27	0,08	0,12	0,03	0,38		

Bassin	Station		Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Année
	Djilali	E.T	0,14	0,35	2,02	0,22	0,25	0,26	0,7	0,22	0,33	0,11	0,33	0,06	0,21
		C.V	1,34	1,34	0,99	0,83	0,8	0,77	1,64	1,13	1,24	1,26	2,67	1,91	0,54
	Oued El Abtal	Moy	2,34	3,04	1,98	2,39	2,21	3,19	3,75	2,59	3,04	1,4	1,54	1,45	2,41
		E.T	2,98	2,83	2,04	2,54	1,65	3,07	5,43	2,97	3,28	1,69	1,91	2,03	1,39
		C.V	1,27	0,93	1,03	1,06	0,74	0,96	1,45	1,15	1,08	1,21	1,25	1,39	0,58
		Moy	0,41	0,92	0,89	0,88	0,8	1,23	0,94	0,65	0,41	0,1	0,02	0,03	0,63
	Djediouia Rn4	E.T	0,94	1,29	1,8	1,49	0,84	1,73	0,96	0,99	0,49	0,15	0,04	0,08	0,43
		C.V	2,3	1,4	2,03	1,69	1,05	1,41	1,03	1,52	1,22	1,52	1,48	2,43	0,68
	Djediouia Cheliff	Moy	3,6	10,1	13,74	21,24	18,94	41,27	39,13	23,26	9,73	3	1,31	1,39	15,56
		E.T	3,43	10,4	14,31	25,87	17,95	52,61	46,11	37,27	11,4	2,83	0,92	1,1	11,6
		C.V	0,95	1,03	1,04	1,22	0,95	1,27	1,18	1,6	1,17	0,94	0,7	0,79	0,75
		Moy	9,03	18,69	23,36	26,53	30,07	47,36	36,29	19,27	16,6	9,25	5,48	5,94	23,65
	Sidi Bel Attar	E.T	6,11	14,34	17,8	22,83	20,78	49,89	36,97	13,55	13,15	6,27	4,34	4,93	13,11
		C.V	0,68	0,77	0,76	0,86	0,69	1,05	1,02	0,7	0,79	0,68	0,79	0,83	0,55
	Amont Boughz-oul	Sidi Bouabdal-ah	Moy	2,83	0,61	1,65	0,3	0,25	0,31	0,72	0,23	4,81	0,54	0,34	0,08
E.T			5,47	0,65	1,76	0,21	0,2	0,24	0,98	0,21	10,88	0,43	1,02	0,22	1,14
		C.V	1,93	1,07	1,06	0,71	0,8	0,76	1,36	0,9	2,26	0,78	3,02	2,64	1,07
		Moy	0,06	0,05	0,07	0,03	0,07	0,03	0,02	0,02	0,1	0,17	0,1	0,07	0,07
Ferme Farhat		E.T	0,14	0,1	0,12	0,08	0,19	0,07	0,05	0,07	0,23	0,27	0,22	0,13	0,07
		C.V	2,2	2,12	1,74	2,6	2,62	2,2	2,76	3,45	2,24	1,64	2,15	1,88	1,11
Col Bougara		Moy	0,44	1,24	6,08	0,68	0,39	0,13	0,05	0,02	0,09	0,23	0,3	0,28	0,84
		E.T	0,58	1,54	24,99	0,58	0,38	0,07	0,04	0,03	0,09	0,43	0,32	0,26	2,06
		C.V	1,31	1,25	4,11	0,86	0,99	0,52	0,71	1,44	1,09	1,85	1,07	0,93	2,44

Moy : Débit moyen (en m³/s)E.T : Ecart type (en m³/s)

C.V: Coefficient de variation (cv= ET / Moy)

V.2. Les disponibilités saisonnières en eau de surface

Les données relatives aux volumes mensuels écoulés à la station de Sidi Bel Attar, station représentative de l'ensemble du bassin du Cheliff-Zahrez, mettent en valeur les fortes disponibilités en eau pendant les mois de hautes eaux par opposition au déficit marqué des mois de basses eaux (figure 47). La moyenne de ces apports mensuels varie entre 122,76 millions de m³ en Février et 14,22 millions de m³ en Juillet (soit un rapport de 1 à 9). Par ailleurs, de Avril à Octobre, l'apport moyen de chaque mois est inférieur à la moyenne annuelle des volumes mensuels écoulés (tableau 26).

Tableau 26 : Disponibilités mensuelles moyennes et extrêmes en eau de surface à l'Amont de Sidi Bel Attar (1968 - 2001).

Apport	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Moyenne annuelle
Maximal Mm ³	56,24	146,95	211,65	260,40	207,53	567,52	467,86	143,27	136,87	75,55	38,51	44,50	196,40
Moyen Mm ³	23,41	48,44	60,54	68,78	77,94	122,76	94,07	49,96	43,02	23,99	14,22	15,40	53,54
Minimal Mm ³	0,00	0,00	0,00	0,00	4,60	1,23	0,02	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50

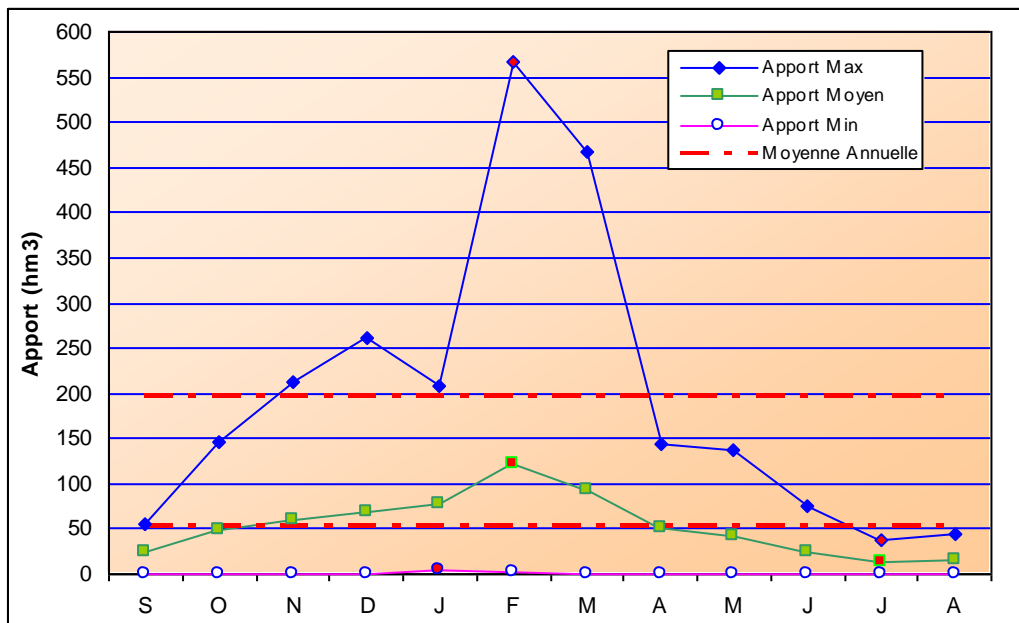


Figure 47: variations des apports mensuelles moyennes et extrêmes à la station Sidi Bel Attar.

En conclusion, les ressources en eau superficielle sont soumises à de très fortes variations saisonnières qui vont dans le sens inverse des besoins : ressources en excès en saison froide où les besoins sont relativement modérés, ressources déficitaires en saison chaude où les besoins, surtout agricoles, sont extrêmement élevés en raison conditions bioclimatiques du bassin.

Chapitre

Détection des modifications de l'écoulement fluvial au moyen de l'indice d'écoulement de base

VI. Détection des modifications de l'écoulement fluvial au moyen de l'indice de débit de base

Dans ce chapitre on suggère d'utiliser l'indice d'écoulement de base pour détecter d'éventuelles perturbations d'origine anthropique (ou climatique) dans une chronique de débits journaliers. Fondée sur une séparation automatique du débit de crue et du débit de base, cette technique permet d'extraire une information qui reste inaccessible par le simple examen de l'écoulement total. Elle est utilisée ici à titre d'exemple des effets anthropiques, pour comparer les bassins-versants de la région du Cheliff, dont parmi eux subissent une légère régulation du régime fluvial par un barrage (bassin oued Sly ; barrage Sidi Yacoub, Oued Rhoiu tleta ; barrage Gargar, Oued Deurdeur ; barrage deurdeur, Oued Mina amont ; barrage Bakhada, Oued Cheliff Ghrib ; barrage Ghrib et Oued Ouassel Moyen ; barrage Dahmouni). L'impact étudié est clairement explicite, tout en restant de portée limitée, ce qui permet de vérifier la sensibilité de l'outil proposé.

VI.1. Introduction

Il est depuis longtemps montré que la multiplicité des activités anthropiques se traduit par des modifications plus ou moins spectaculaires de l'écoulement fluvial (cf. par exemple Park, 1981; Arnell, 1989) Dans le cas d'aménagements lourds ou d'interventions de grande envergure (grands barrages, transferts inter-bassins, pompes massifs pour l'irrigation...), les perturbations du régime hydrologique s'interprètent le plus souvent sans ambiguïté. Par contre, les transformations progressives ou diffuses de l'espace (changements des pratiques culturelles, déforestation, urbanisation...) conduisent à des impacts beaucoup plus difficiles à mettre en évidence (cf. par exemple Humbert et Najjar, 1992). En modifiant peu à peu plusieurs compartiments du bilan de l'eau, les effets de telles métamorphoses ne sont pas aisément détectables, notamment au niveau des enregistrements de débits fluviaux.

Ce travail propose une approche relativement simple et opérationnelle pour déceler d'éventuelles dérives dans une chronique de débits journaliers. Inspirée de la méthode de «l'indice d'écoulement de base» (*Base flow index*, L'vovich, 1972 ; Institute of Hydrology, 1980), généralement employée dans la régionalisation des caractéristiques de l'écoulement, elle permet ici, dans un esprit différent, de tester la chronologie de la part d'écoulement de base dans le débit total. Utilisée sur une longue période et pour une même station, ou en s'appuyant sur des méthodes d'analogie de comportement des bassins, cette approche peut fournir de précieuses indications pour détecter une éventuelle perturbation de fonctionnement qui n'apparaît pas clairement dans l'évolution du débit total. La méthode est appliquée ici à titre d'exemple à des bassins voisins et comparables de la région du Cheliff, dont parmi eux subissent une légère régulation par un barrage.

VI.2. Position du problème

Les méthodes permettant de quantifier l'impact d'un aménagement sur l'écoulement fluvial sont évidemment nombreuses (UNESCO, 1980). De l'expérimentation lourde à l'emploi de modèles de fonctionnement de bassin, sans oublier les techniques d'analyse statistique de tendance..., l'application de l'une ou l'autre méthode doit être clairement adaptée à l'impact étudié et aux données disponibles. L'approche suggérée ici se veut simple, rapide et utilisable en routine. Elle répond à un besoin courant qui est celui de détecter dans une chronique de débits journaliers (QJ), un signal témoignant d'une anomalie possible dans le fonctionnement de l'unité étudiée. En ce sens, elle doit être considérée comme un préalable à l'utilisation ultérieure de méthodes plus sophistiquées. Conceptuellement, au niveau d'un bassin-versant, il est possible de formuler l'hypothèse suivante : en admettant que les effets climatiques aient été éliminés, toute modification sensible des paramètres du milieu doit se répercuter sur l'évolution de la proportion respective du débit de base (QB) et du débit de crue (QC). Il est donc proposé d'extraire et d'analyser l'information contenue dans QJ, et non pas d'étudier QJ lui-même qui, par définition, est une valeur synthétique pouvant masquer des altérations sous-jacentes. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de disposer d'une procédure objective et rapide pour séparer les écoulements.

Cette approche repose également sur les corollaires suivants :

- la modification subie par le bassin doit engendrer un effet quantitativement supérieur à la gamme des erreurs de mesure de l'hydrométrie;
- elle ne doit pas être compensée par une rétroaction inverse (ou une modification d'une autre origine) entraînant une réduction ou une suppression de l'impact pressenti initialement.

Ces compensations risquent d'être d'autant plus marquées que la surface du bassin considéré augmente.

- sachant que, dans les conditions naturelles, la variabilité spatio-temporelle de l'écoulement est essentiellement gouvernée par les facteurs climatiques (Humbert, 1990), ceux-ci (et notamment le régime des précipitations) doivent être maîtrisés.

Une méthodologie permettant de distinguer les effets anthropiques des effets climatiques a été proposée par Refsgaard et al. (1989). La comparaison de différentes périodes d'observation permet aussi d'évaluer la part respective de ces deux facteurs (Vivian, 1986). On peut également réduire l'influence du climat en utilisant la méthode des bassins jumelés.

VI.3. L'indice d'écoulement de base (IEB)

La technique de l'IEB est un procédé automatique de décomposition d'un hydrogramme de débits journaliers. Élaborée par l'Institut d'Hydrologie de Wallingford (Institute of Hydrology, 1980), d'après une idée de Lvovich (1982), elle est traditionnellement utilisée dans les études de régionalisation de l'écoulement (Gustard et al., 1989). L'IEB permet en effet de paramétrer l'influence des conditions géologiques d'un bassin sur l'écoulement de base. Il s'agit bien d'un **indice** qui ne prétend pas quantifier avec exactitude la vidange des nappes souterraines, telle qu'elle pourrait l'être avec des méthodes géochimiques ou isotopiques. L'intérêt de cet indice réside sur tout dans son caractère automatisable et contrôlable (programme d'informatique), tout en étant capable de traiter très rapidement de longues séries de données.

L'indice permet également l'établissement d'un modèle, en le liant à des caractéristiques géologiques des bassins versants.

Cet indice a été largement utilisé au Canada (Pillon and Conie, 1986), (Green, 1986), au Zimbabwe (Meight, 1987), en Nouvelle Zélande (National Water and Soil Conservation Authority, 1984) et en Norvège (Taliaksen, 1986), et en Algérie (sur le bassin versant de la Mina, M. Meddi 1992). Ces études ont montré l'utilité de cet indice dans l'étude des écoulements.

L'approche se fonde sur un algorithme de recherche automatique des points d'inflexion minimale d'un hydrogramme annuel de Q_j , doublé d'une procédure de lissage permettant d'évaluer de proche en proche la part respective de Q_B et de Q_C (voir définition de l'algorithme ci dessous).

La démarche à suivre afin de calculer l'IEB est la suivante (figure 48) :

- On regroupe les débits moyens journaliers en groupes de N de cinq (05) jours non chevauchants (paramètre N fixé à 5) ; ensuite, on calcul le minimum de chaque groupe, et lui donnant le nom ($Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$).
- Scrutation successive des groupes de débits moyens journalier tels que : (Q_1, Q_2, Q_3), (Q_2, Q_3, Q_4),....., (Q_{n-1}, Q_n, Q_{n+1}). Dans chaque classe, si la valeur centrale d'un groupe $Q_n \cdot PVM$ ($PVM =$ pourcentage de validité des minima, fixé à 0,9) est inférieur aux valeurs qui les encadrent (bornes), alors la valeur de ce produit constitue le point de changement de la courbe d'écoulement de base (retenue comme étant un point pivot (Q_{B1}) pour la courbe du débit de base). On continue cette procédure jusqu'à la fin des classes. On attribue, aux valeurs qui vérifient la condition précédente, les noms $Q_{B1}, Q_{B2}, \dots, Q_{Bi}$, dont elles ont des intervalles de temps différents.
- On effectue une interpolation linéaire entre les valeurs Q_{Bi} afin d'estimer les valeurs journalières de $Q_{B1}, Q_{B2}, \dots, Q_{Bn}$.
- Si $Q_{Bi} > Q_i$ alors : Q_{Bi} prend la valeur de Q_i .
- Calcul du V_a : volume de l'hydrogramme des débits moyens journaliers Q_n sur la période étudiée.
- Calcul de V_b : volume au dessous de la courbe de l'écoulement de base entre le premier et le dernier point de changement d'allure de la courbe sur la période étudiée.
- Calcul de l'indice d'écoulement de base ($IEB = V_b/V_a$).

Le débit de base ou le tarissement constituent une ressource hydraulique précieuse en période sèche (agriculture,...).

Afin de calculer le débit de base, nous avons utilisé la méthode citée plus haut. Cette méthode nous a permis de tracer la courbe d'écoulement de base (figures 49, 50, 51,...).

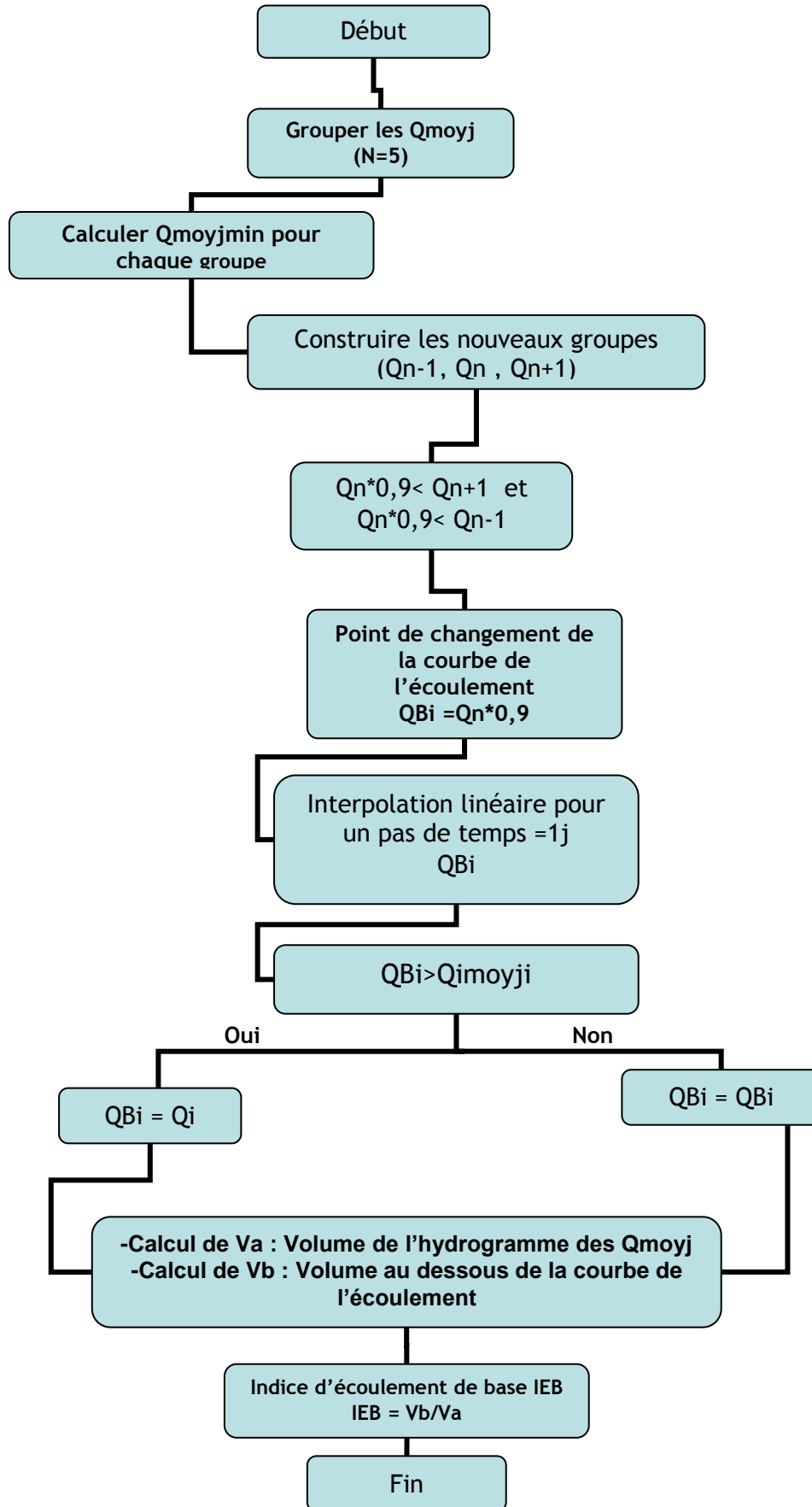


Figure 48: Organigramme de l'indice d'écoulement de base (IEB).

L'algorithme initial a été modifié (conception du programme sous Delphi) de manière à ce que l'opérateur puisse entièrement contrôler la valeur des deux paramètres qui déterminent le procédé de lissage (et qui sont imposés dans le modèle initial). De ces premiers tests, on peut d'ores et déjà tirer quelques enseignements :

- Au niveau spatial (et pour une même période d'étude), les variations de l'IEB traduisent bien les différences des conditions géologiques (Fig. 49 et 55). Les valeurs annuelles s'échelonnent entre 20 % environ pour des bassins imperméables et plus de 60 % pour des lithologies perméables.
- Sur un plan chronologique, l'IEB est évidemment sensible aux événements climatiques et notamment pluviométriques ; il diminue au moment des crues et augmente lors des périodes d'étiage. Son évolution mensuelle sur plusieurs années met en évidence les grandes tendances du climat.
- Si les bassins-versants étudiés sont concernés par d'importants processus d'échanges entre le réseau hydrographique et une nappe alluviale, les résultats issus de l'application de cette méthode doivent être interprétés avec circonspection, car la séparation des écoulements est alors très difficile à réaliser.
- Contrairement au mode opératoire proposé dans l'algorithme de référence, il est indispensable de conserver un contrôle des paramètres afin d'obtenir un schéma optimal de décomposition de l'hydrogramme, en fonction notamment du déroulement séquentiel des aléas pluviométriques.

Si l'IEB est utilisé selon un protocole rigoureux, il peut ainsi constituer un outil intéressant pour déceler un dysfonctionnement par rapport à une référence fiable.

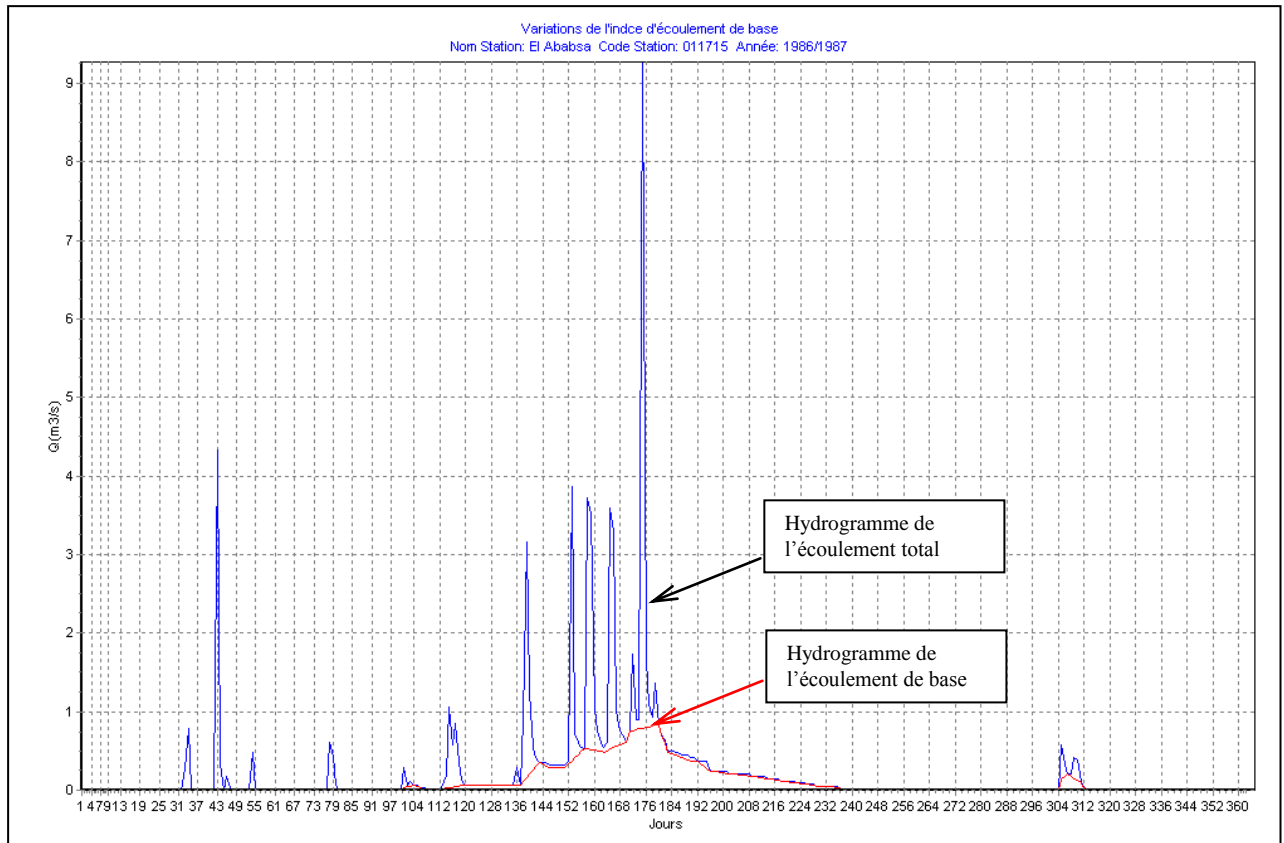


Figure 49: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Herraça à El Ababsa (Année humide)

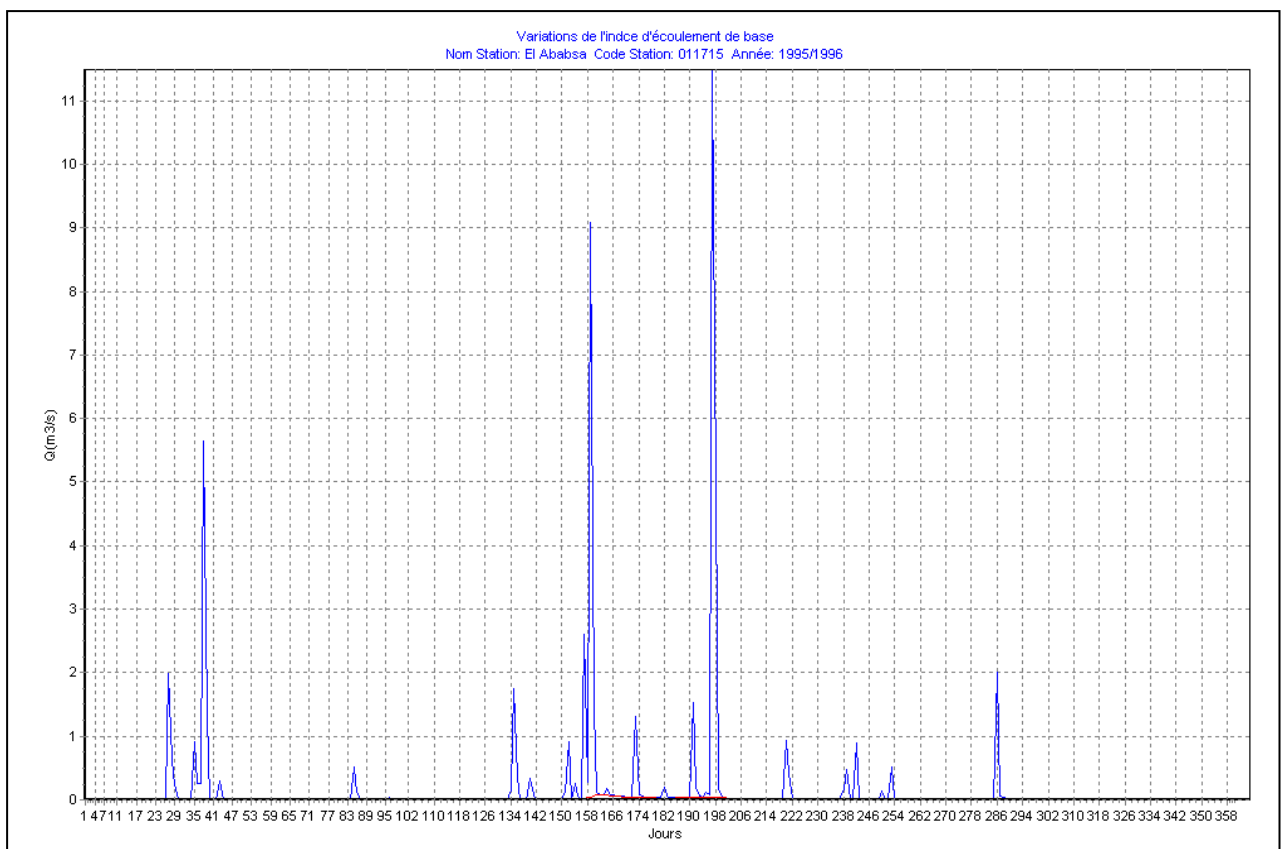


Figure 50: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Herraça à El Ababsa (Année moyenne)

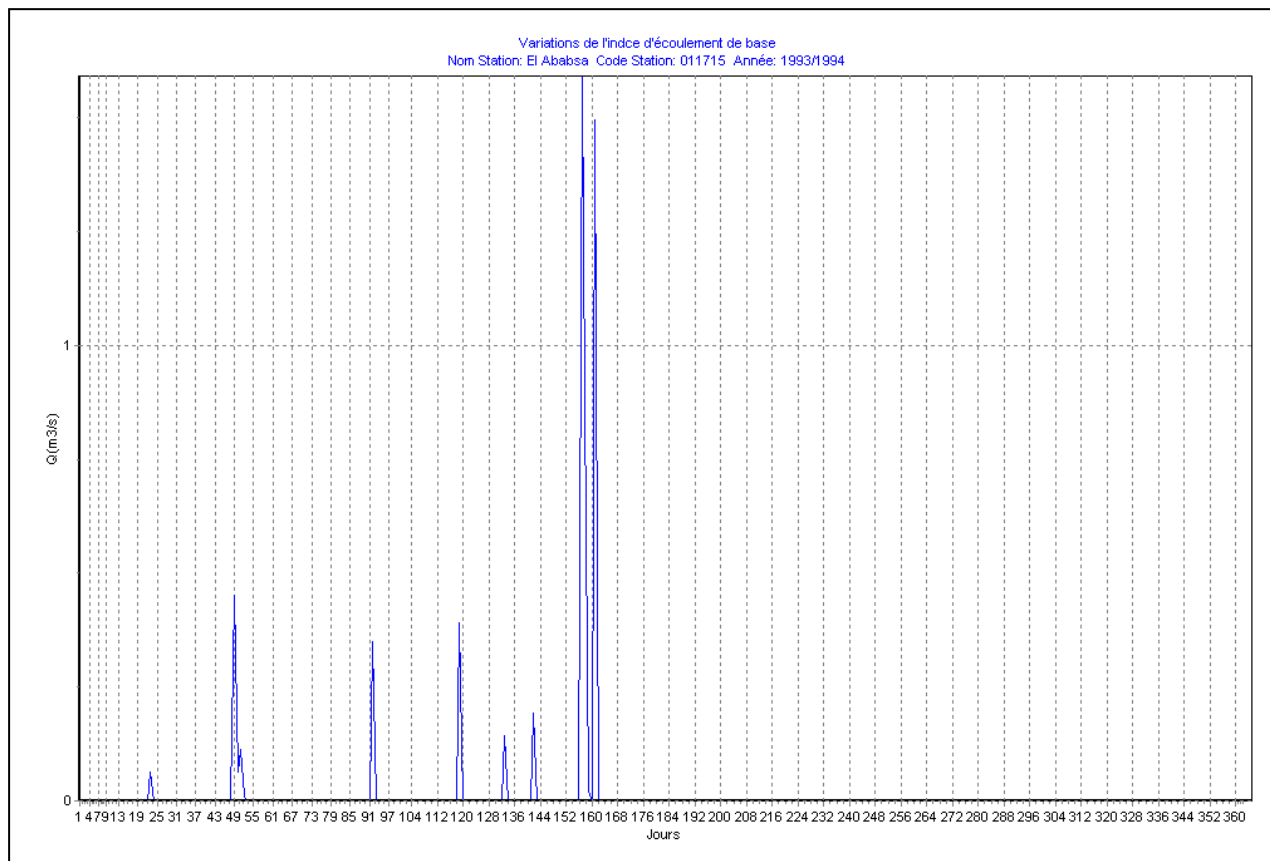


Figure 51: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Herraça à El Ababsa (Année sèche)

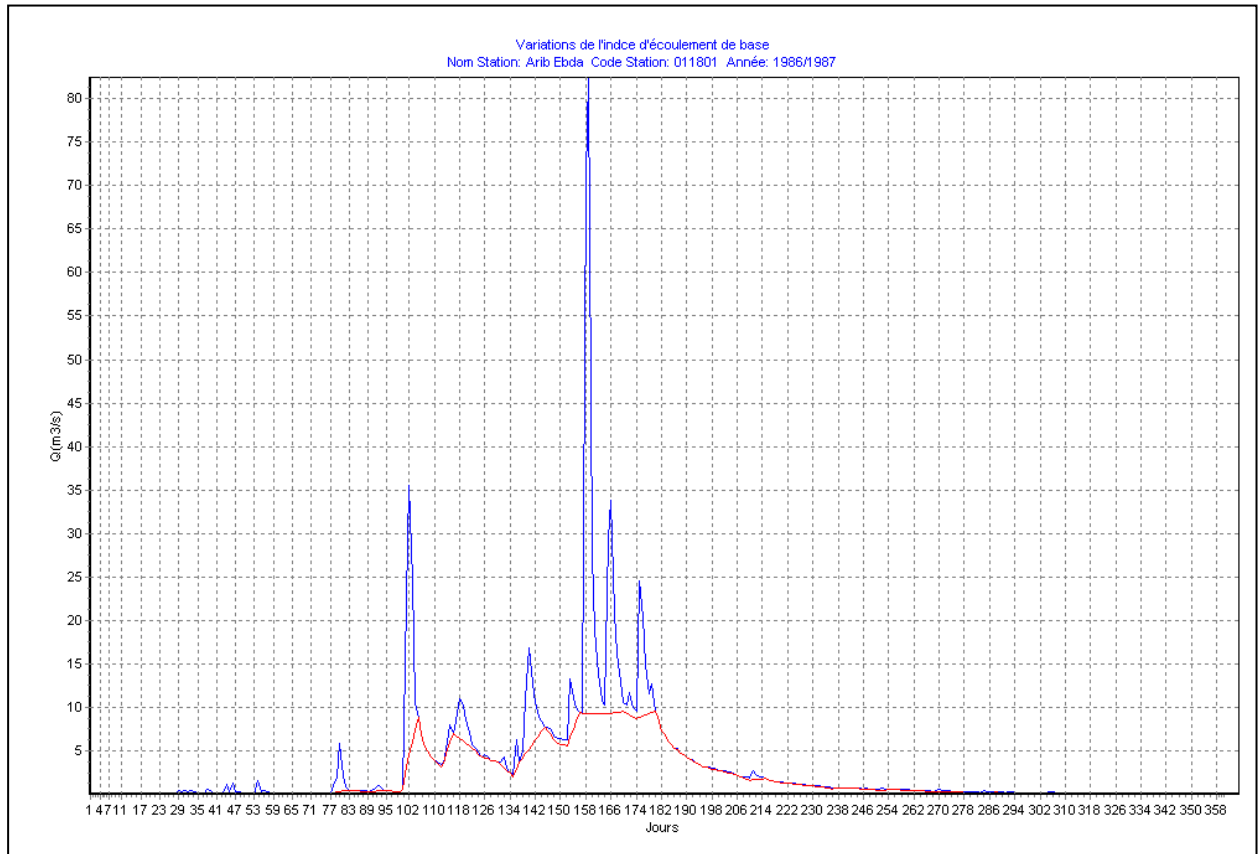


Figure 52: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Ebda à Arrib Ebda (Année humide)

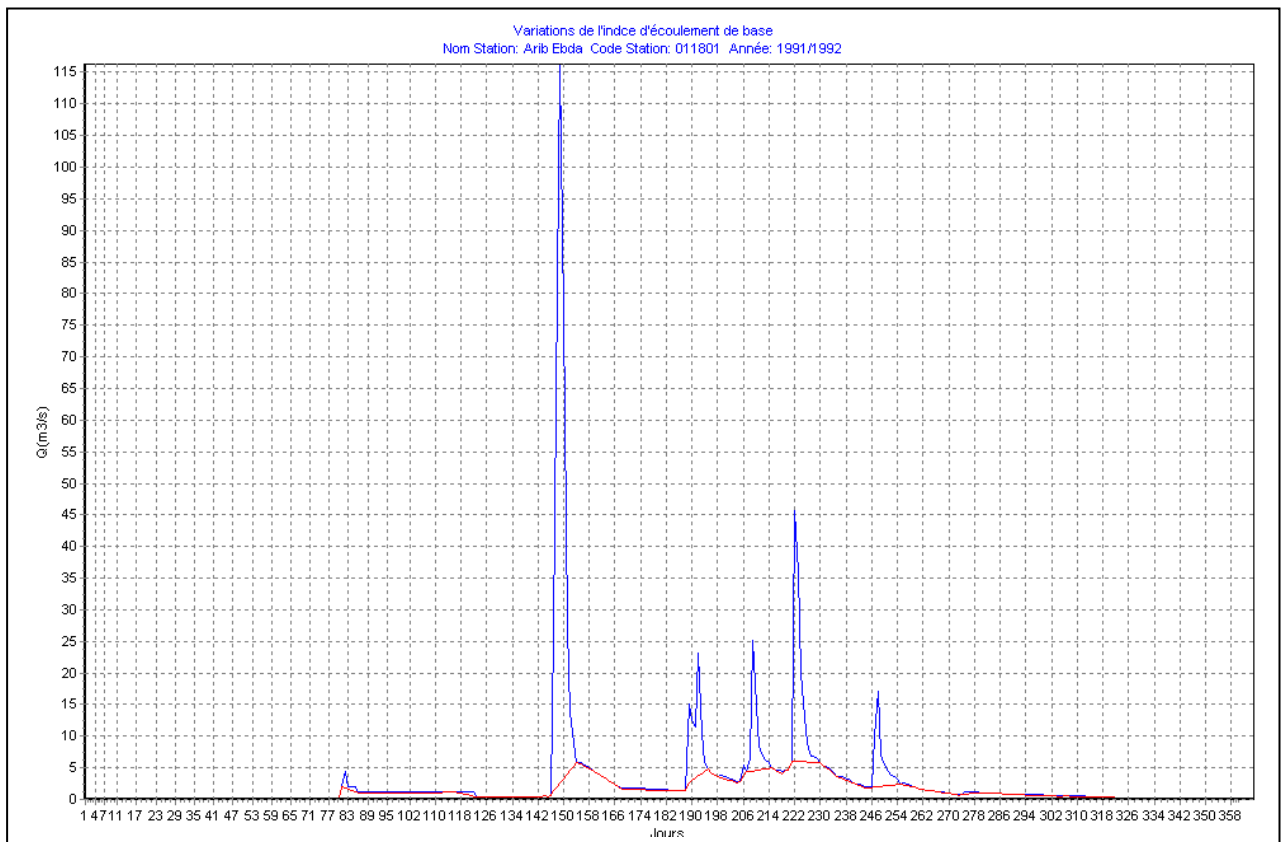
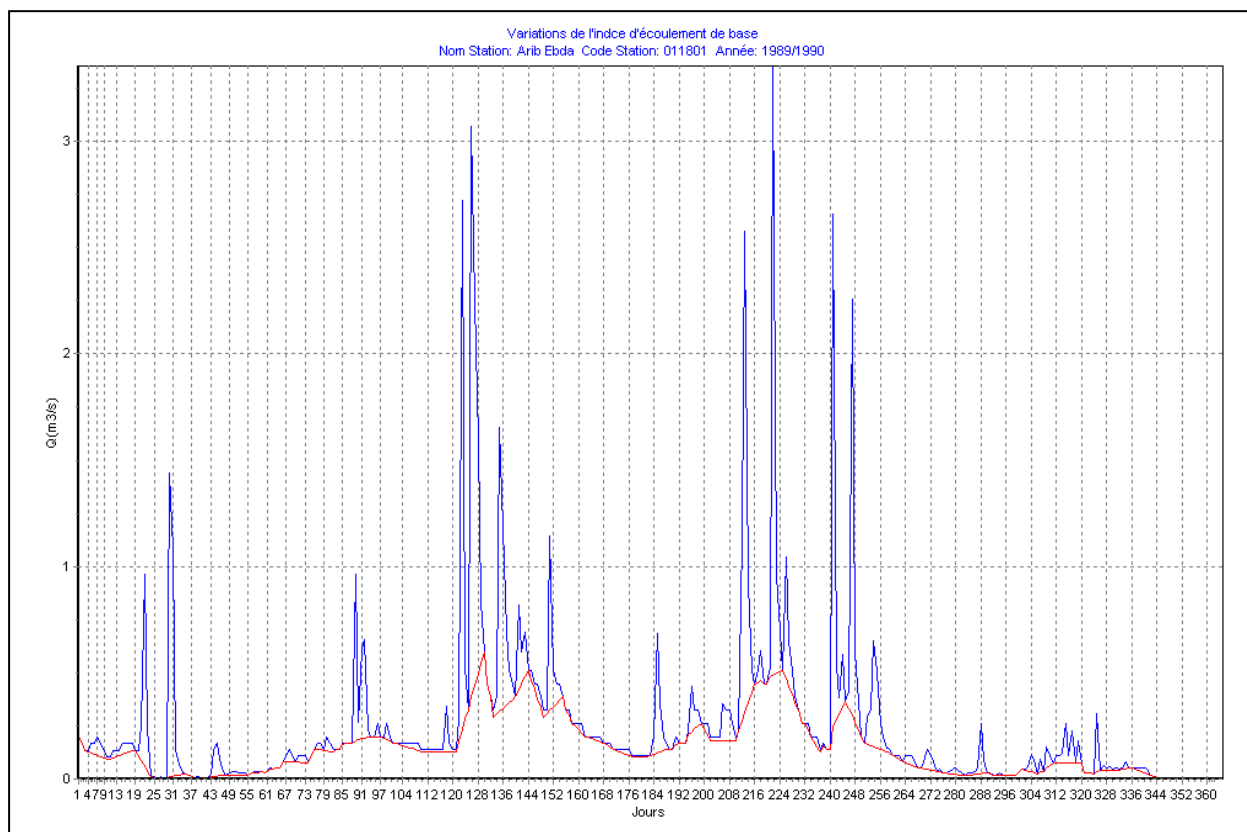


Figure 53: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Ebda à Arrib Ebda (Année moyenne)



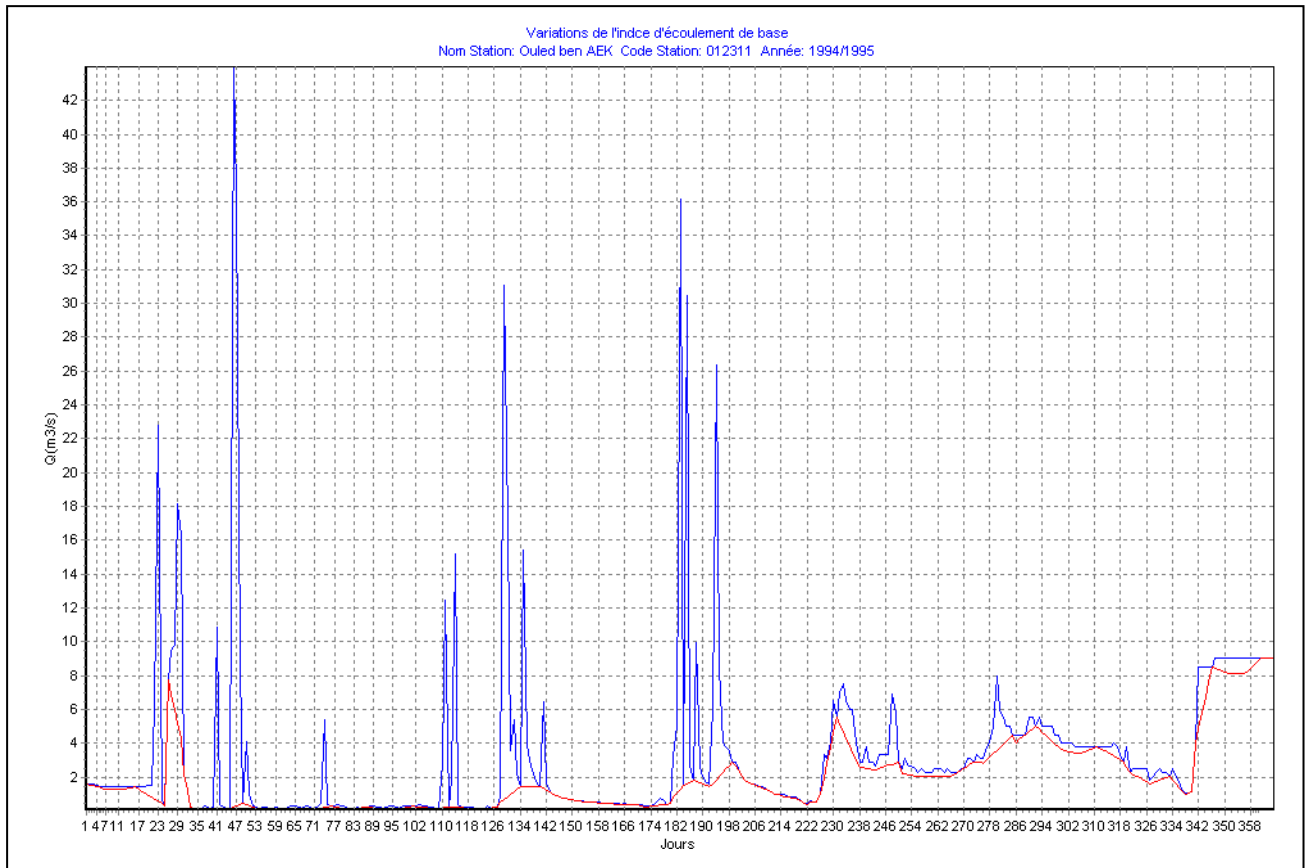


Figure 55: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Sly à Ouled Ben AEK (Année humide)

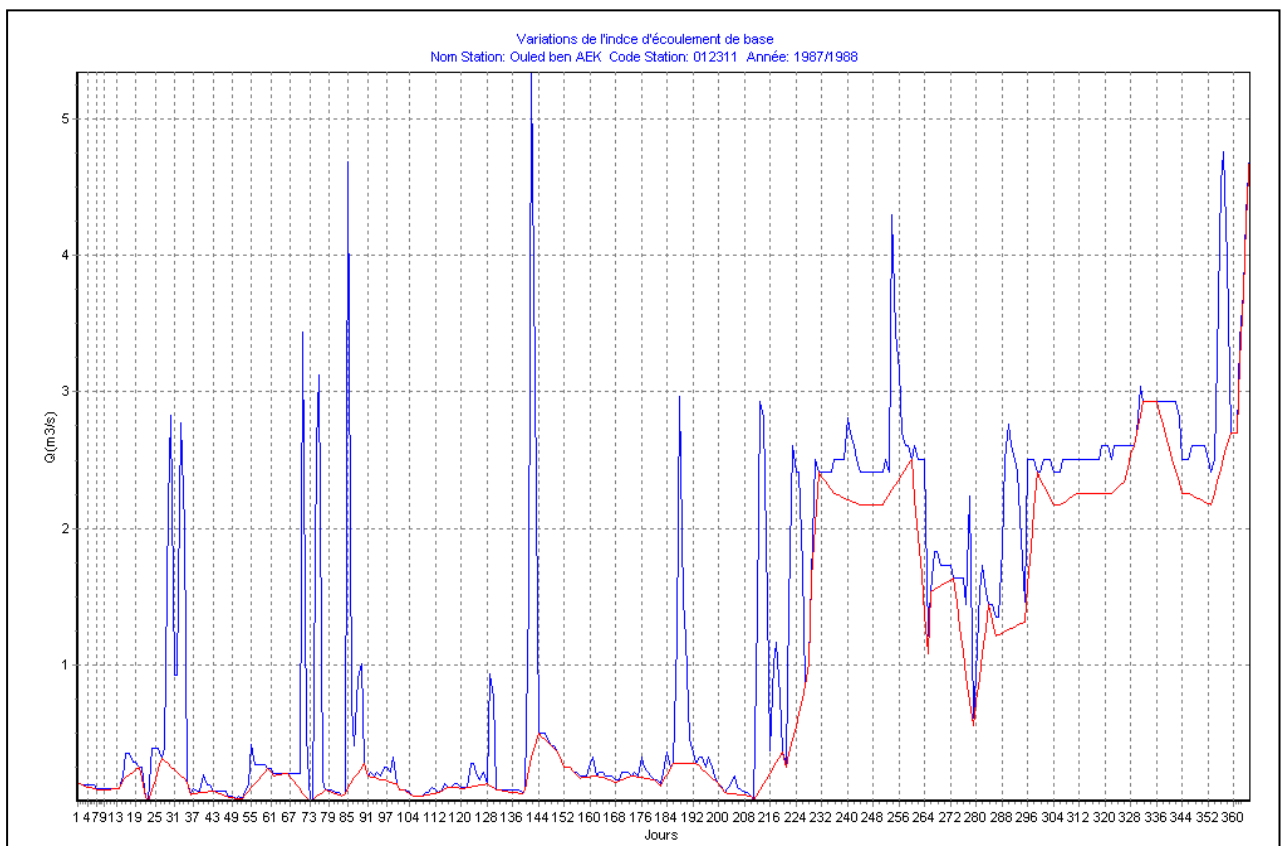


Figure 56: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Sly à Ouled Ben AEK (Année moyenne)

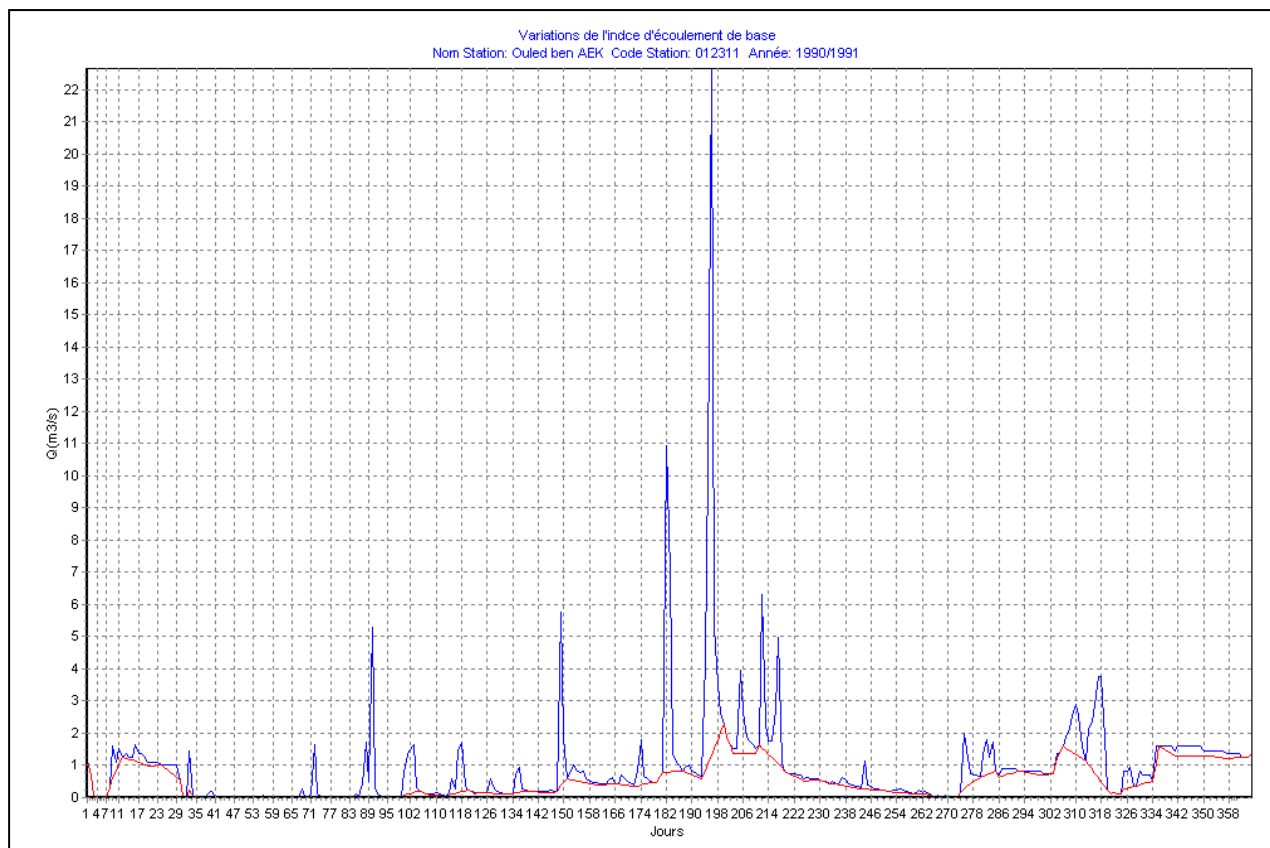


Figure 57: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Sly à Ouled Ben AEK (Année sèche)

D'après les résultats on constate, qu'au niveau des bassins versants du Haut et du Moyen Cheliff que le volume total écoulé varie de 8 millions de m^3 (bassin Ebda), en année caractérisée par une faible hydraulicité à 101 millions de m^3 en année humide. Il varie de 29 Hm^3 à 104 Hm^3 au niveau du bassin oued Sly et de 0.5 Hm^3 à 36 Hm^3 au niveau du bassin Deurdeur. Au niveau des autres bassins le volume total écoulé varie de 2 Hm^3 à 25 Hm^3 (bassin Rouina Zeddine), de 1 Hm^3 à 24 Hm^3 (bassin Ras Ouahrane), de 0.5 Hm^3 à 7 Hm^3 (bassin Cheliff Harreza) et il ne dépasse guère les 3 Hm^3 dans bassin Cheliff Tikezal en année humide. Durant cette dernière, l'écoulement de base a représenté 61% et 59% de l'écoulement total dans les bassins d' Ebda et Oued Sly respectivement, 40% dans les bassins de Deurdeur et du Cheliff Harreza et 19% dans le bassin Ras Ouahrane. Ce pourcentage est moins élevé en hiver (tableau 27).

En année humide, l'écoulement de base représente 30% de l'écoulement total durant la saison sèche. Par contre, en année sèche ce pourcentage est très faible, à l'exception des bassins de Harbil à Tamezghida, Ebda à Arib Ebda et Sly à Ouled Ben Aek. Ces bassins montrent une certaine stabilité de l'écoulement de base par rapport à l'écoulement total, et cela pour les trois années considérées.

Au niveau de l'ensemble des bassins versants du Haut et du Moyen Cheliff, le volume de base est moins important en saison sèche d'une année bien arrosée (par rapport à la moyenne) à cause des lithologies plus ou moins imperméables des bassins, sauf pour les trois bassins versants (Harbil, Ebda et Sly) où le volume de base est important en saison sèche (IEB=70%). Cela peut s'expliquer par la lithologie perméable qui permet au sol d'emmagasiner lors de saison des pluies (hivers et printemps).

A ce niveau, le barrage de Sidi Yacoub, construit en 1985, permet d'atténuer quelque peu les crues et de soutenir les étiages à la station de Ouled Ben Aek dans le bassin de Oued Sly (figure 58). Ce surcroît correspond aux deux situations classiques :

- Emmagasinement d'une partie des volumes excédentaires en période de crue (très marqué pour les mois de Septembre 1987 et de Décembre 1987), se traduisant par des IEB bien plus élevés pour Oued Sly (réduction de 25 à 40 % de l'écoulement de crue).
- Déstockage régulier en période de basses eaux entraînant une hausse de l'IEB par accroissement du débit de base (de 60 à 90 % aus mois de Mai, Juin, Juillet et Aout 1988).

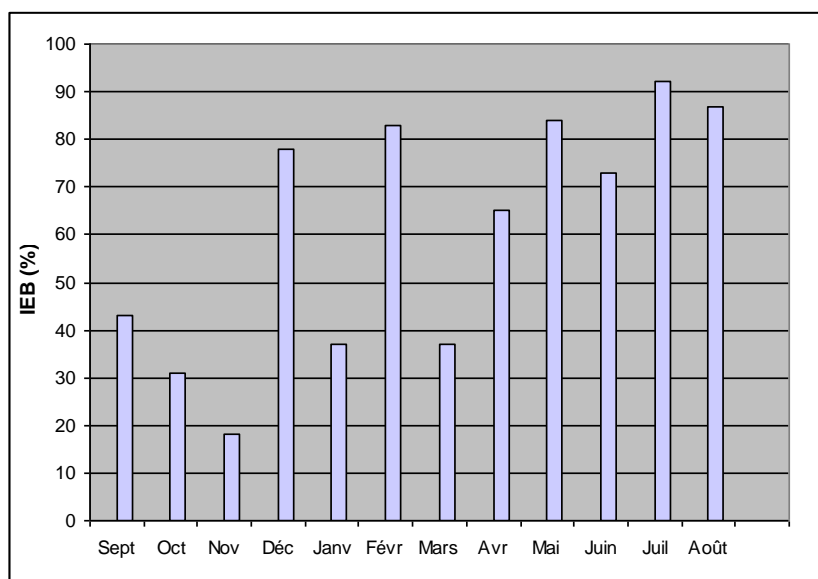


Figure 58: Indices d'écoulement de base mensuels calculés à la station de Ouled ben Aek (Oued Sly), Année hydrologique 1987/1988.

Pour plus de détail sur le volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base, aux différents échelles, pour les années hydrologiques considérées humide, moyenne et sèche aux stations étudiées dans le bassin du Haut et du Moyen Cheliff consulté l'annexe 1.

Tableau 27 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base en aux différentes stations du bassin Haut et du Moyen Cheliff.

Station hydrométrique	Echelle	Année	Va (hm3)	Vc (hm3)	Vb (hm3)	IEB %
011501	Annuelle	Humide	8,075	5,718	2,357	29
		Moyenne	41,135	18,536	22,599	55
		Seche	4,014	1,591	2,423	60
	Automne	Humide	1,619	0,535	1,084	67
	Hiver		6,232	5,037	1,195	19
	Printemps		0,190	0,129	0,061	32
	Ete		0,034	0,016	0,017	51
	Automne	Moyenne	3,155	2,069	1,086	34
	Hiver		28,591	13,239	15,352	54
	Printemps		8,389	2,813	5,576	66
	Ete		0,999	0,415	0,584	58
	Automne	Seche	0,454	0,052	0,403	89
	Hiver		1,279	0,638	0,640	50
	Printemps		1,861	0,865	0,997	54
	Ete		0,420	0,037	0,383	91
011601	Annuelle	Humide	36,879	21,280	15,599	42
		Moyenne	23,859	20,373	3,486	15
		Seche	0,536	0,536	0,000	0
	Automne	Humide	3,079	2,993	0,086	3
	Hiver		14,440	12,894	1,545	11
	Printemps		6,744	4,062	2,682	40
	Ete		12,617	1,332	11,285	89
	Automne	Moyenne	9,588	9,586	0,002	0
	Hiver		14,133	10,745	3,387	24
	Printemps		0,139	0,042	0,097	70
	Ete		0,000	0,000	0,000	0
	Automne	Seche	0,017	0,017	0,000	0
	Hiver		0,034	0,034	0,000	0
	Printemps		0,438	0,438	0,000	0
	Ete		0,047	0,047	0,000	0
011715	Annuelle	Humide	7,331	4,173	3,158	43
		Moyenne	5,049	4,780	0,269	5
		Seche	0,499	0,499	0,000	0
	Automne	Humide	0,713	0,682	0,031	4
	Hiver		5,997	3,355	2,642	44
	Printemps		0,414	0,034	0,380	92
	Ete		0,207	0,102	0,105	51
	Automne	Moyenne	1,063	1,055	0,008	1
	Hiver		3,393	3,223	0,169	5
	Printemps		0,564	0,498	0,065	12
	Ete		0,029	0,003	0,026	88
	Automne	Seche	0,091	0,091	0,000	0
	Hiver		0,408	0,408	0,000	0
	Printemps		0,000	0,000	0,000	0
	Ete		0,000	0,000	0,000	0
011801	Annuelle	Humide	100,891	39,666	61,225	61
		Moyenne	93,449	50,865	42,584	46
		Seche	8,096	3,639	4,457	55

Station hydrométrique	Echelle	Année	Va (hm3)	Vc (hm3)	Vb (hm3)	IEB %
	Automne	Humide	14,615	7,984	6,631	45
	Hiver		78,672	30,853	47,820	61
	Printemps		6,897	0,644	6,254	91
	Ete		0,706	0,186	0,520	74
	Automne	Moyenne	4,602	0,753	3,849	84
	Hiver		49,678	34,118	15,560	31
	Printemps		37,336	15,778	21,558	58
	Ete		1,833	0,216	1,617	88
	Automne	Seche	1,279	0,609	0,670	52
	Hiver		3,287	1,379	1,908	58
	Printemps		2,957	1,470	1,487	50
	Ete		0,573	0,182	0,391	68
011905	Annuelle	Humide	25,702	12,344	13,358	52
		Moyenne	14,351	10,753	3,598	25
		Seche	1,847	1,120	0,727	39
	Automne	Humide	5,452	4,885	0,567	10
	Hiver		18,472	6,840	11,632	63
	Printemps		1,759	0,602	1,158	66
	Ete		0,019	0,018	0,001	6
	Automne	Moyenne	5,279	4,586	0,693	13
	Hiver		2,214	0,681	1,532	69
	Printemps		6,353	5,070	1,283	20
	Ete		0,505	0,416	0,090	18
	Automne	Seche	0,721	0,707	0,014	2
	Hiver		0,973	0,259	0,714	73
	Printemps		0,147	0,147	0,000	0
	Ete		0,007	0,007	0,000	0
	012004	Annuelle	Humide	3,340	1,734	1,606
Moyenne			1,490	1,383	0,107	7
Seche			0,271	0,230	0,040	15
Automne		Humide	0,339	0,339	0,000	0
Hiver			1,895	1,183	0,712	38
Printemps			1,106	0,212	0,895	81
Ete			0,000	0,000	0,000	0
Automne		Moyenne	0,568	0,568	0,000	0
Hiver			0,043	0,043	0,000	0
Printemps			0,797	0,691	0,107	13
Ete			0,082	0,082	0,000	0
Automne		Seche	0,039	0,039	0,000	0
Hiver			0,214	0,174	0,040	19
Printemps			0,017	0,017	0,000	0
Ete			0,000	0,000	0,000	0
012201		Annuelle	Humide	24,696	20,063	4,634
	Moyenne		4,736	3,629	1,107	23
	Seche		1,282	0,860	0,421	33
	Automne	Humide	5,382	5,049	0,333	6
	Hiver		19,004	14,892	4,112	22
	Printemps		0,211	0,090	0,121	57
	Ete		0,100	0,031	0,069	69
	Automne	Moyenne	3,688	3,342	0,346	9
	Hiver		0,726	0,160	0,567	78

Station hydrométrique	Echelle	Année	Va (hm3)	Vc (hm3)	Vb (hm3)	IEB %
	Printemps	Seche	0,266	0,122	0,144	54
	Ete		0,055	0,005	0,051	92
	Automne		0,223	0,131	0,092	41
	Hiver		0,575	0,314	0,261	45
	Printemps		0,481	0,414	0,067	14
	Ete		0,002	0,001	0,001	37
012311	Annuelle	Humide	104,936	43,298	61,638	59
		Moyenne	38,602	10,201	28,402	74
		Seche	29,768	13,409	16,359	55
	Automne	Humide	20,512	16,255	4,257	21
	Hiver		25,775	18,880	6,895	27
	Printemps		24,991	4,769	20,222	81
	Ete		33,658	3,394	30,263	90
	Automne	Moyenne	3,512	2,585	0,927	26
	Hiver		3,097	1,642	1,456	47
	Printemps		14,718	4,005	10,713	73
	Ete		17,275	1,969	15,306	89
	Automne	Seche	2,562	1,640	0,921	36
	Hiver		10,432	6,637	3,795	36
	Printemps		6,870	2,488	4,382	64
	Ete		9,904	2,643	7,261	73

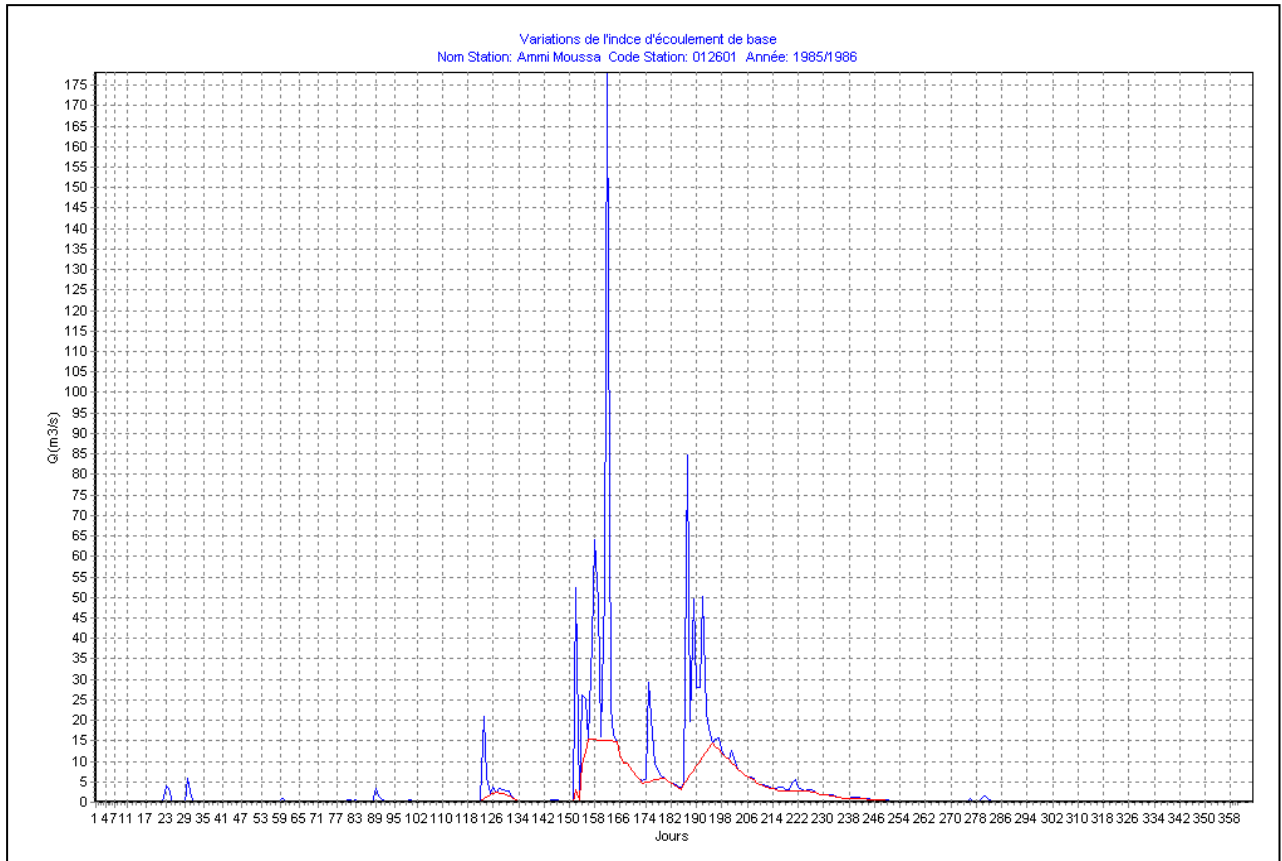


Figure 59: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Rhiou à Ammi Moussa (Année humide)

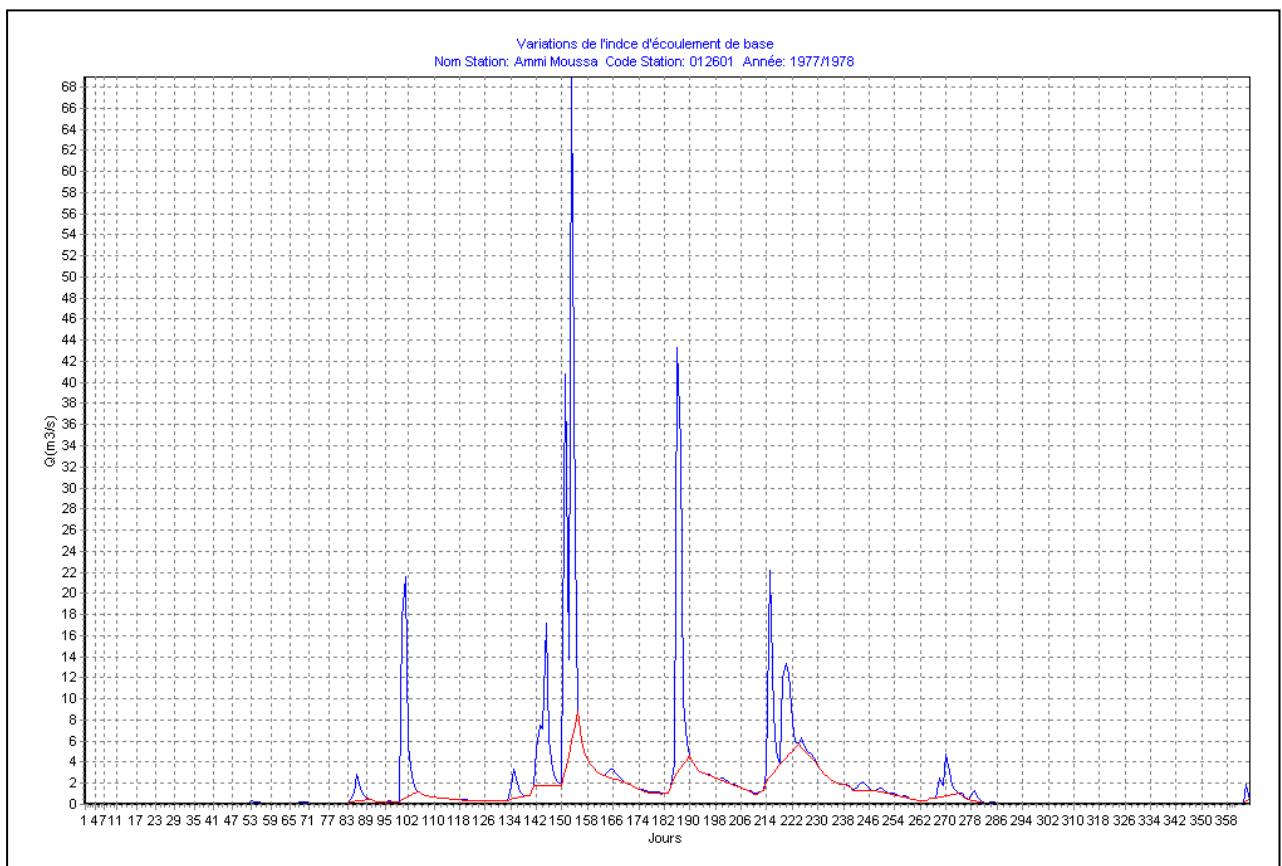


Figure 60: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Rhiou à Ammi Moussa (Année moyenne)

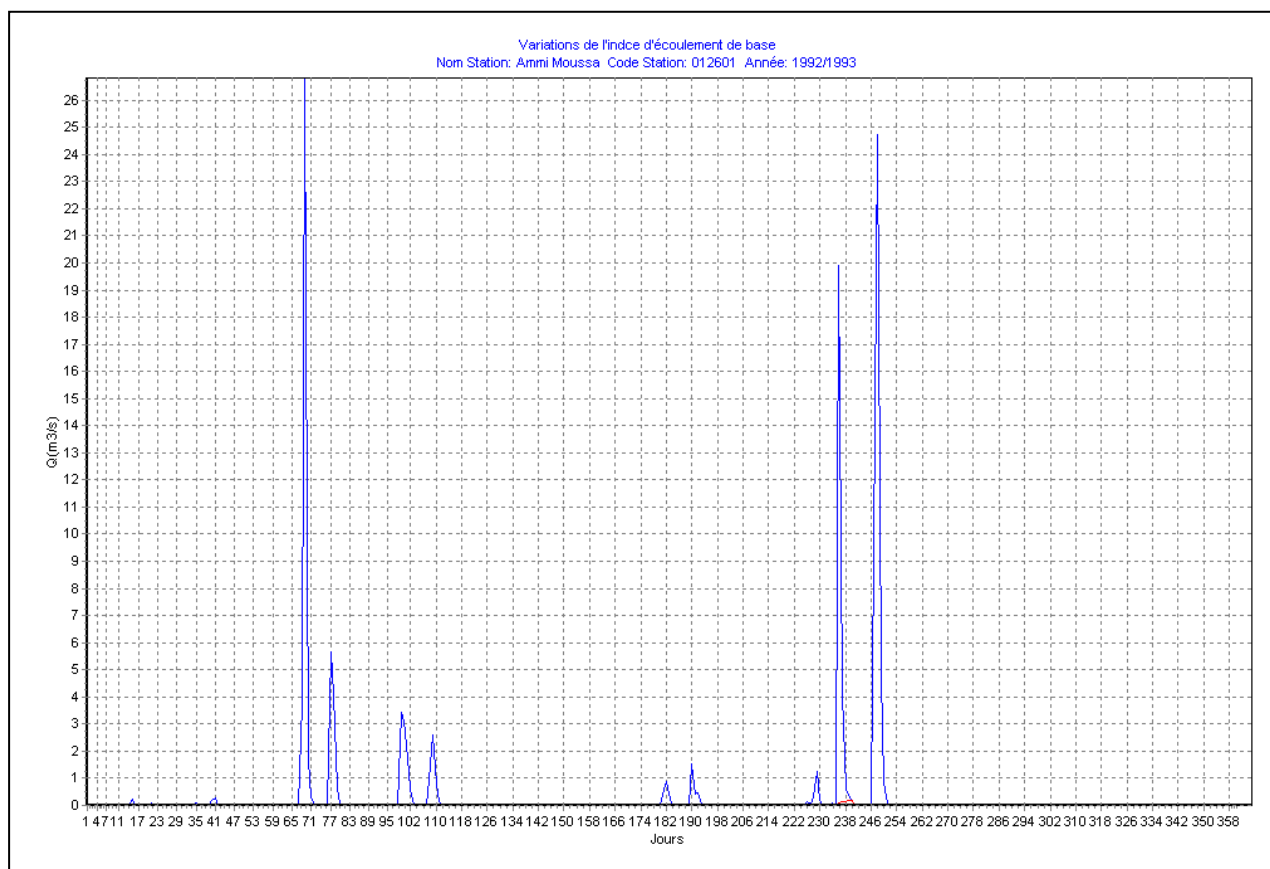


Figure 61: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Rhiou à Ammi Moussa (Année sèche)

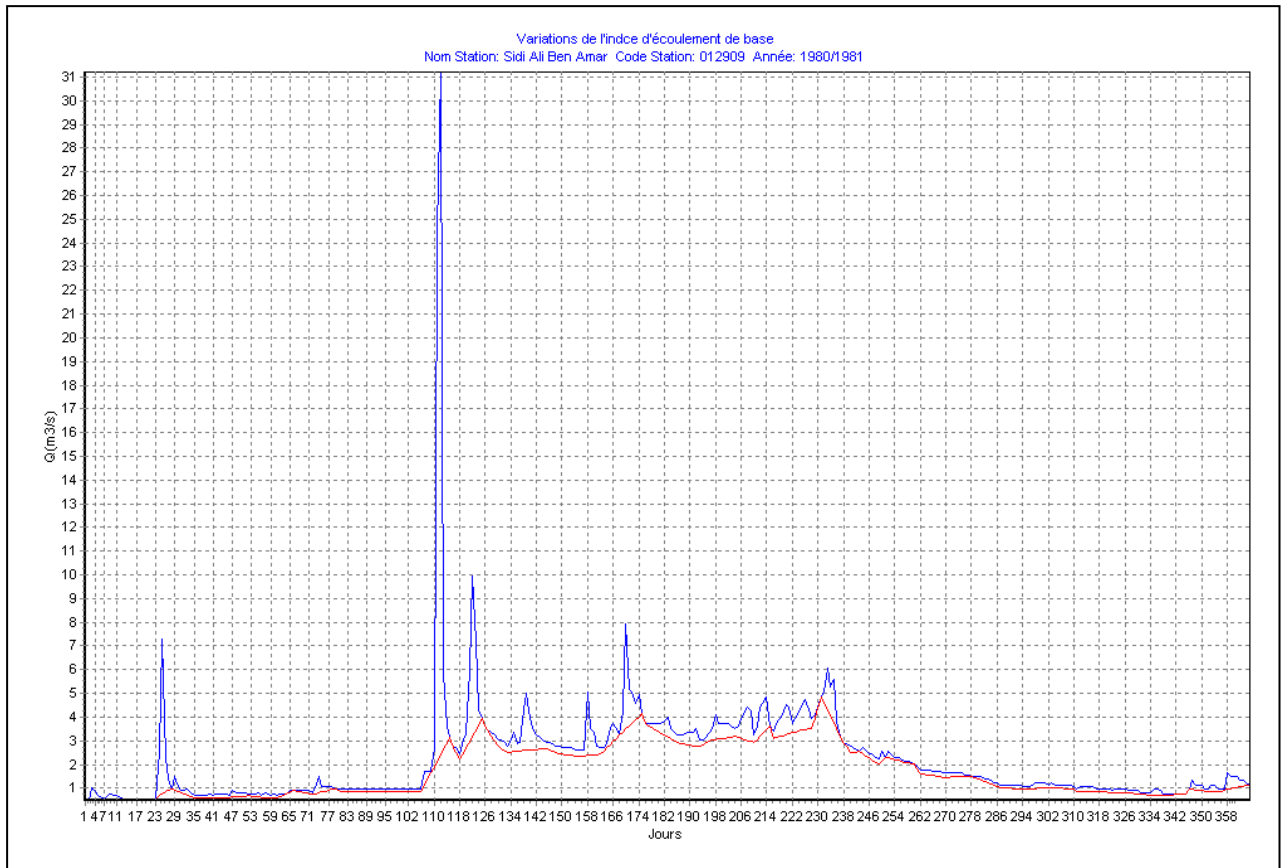


Figure 62: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Mina à Sidi Ali Ben Amar (Année humide)

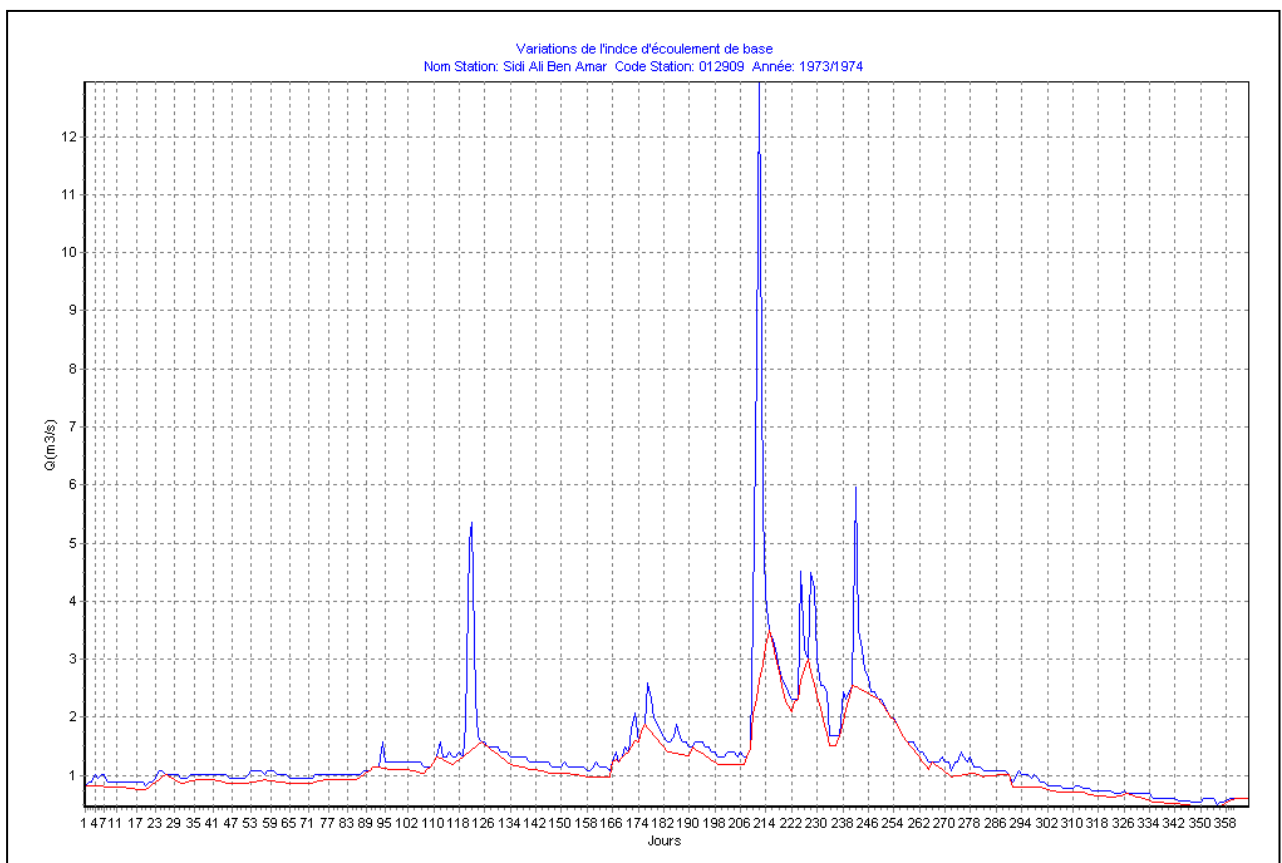


Figure 63: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Mina à Sidi Ali Ben Amar (Année moyenne)

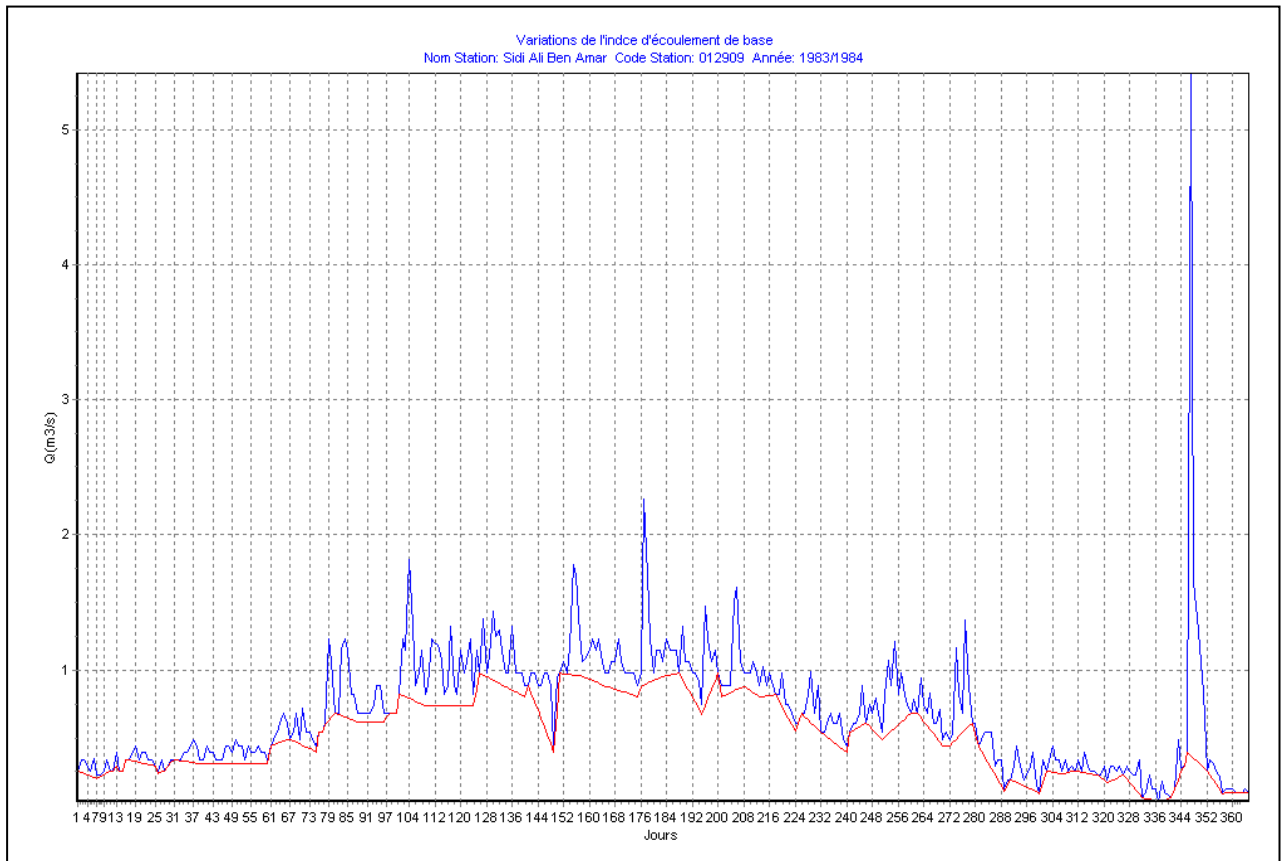


Figure 64: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Mina à Sidi Ali Ben Amar (Année sèche)

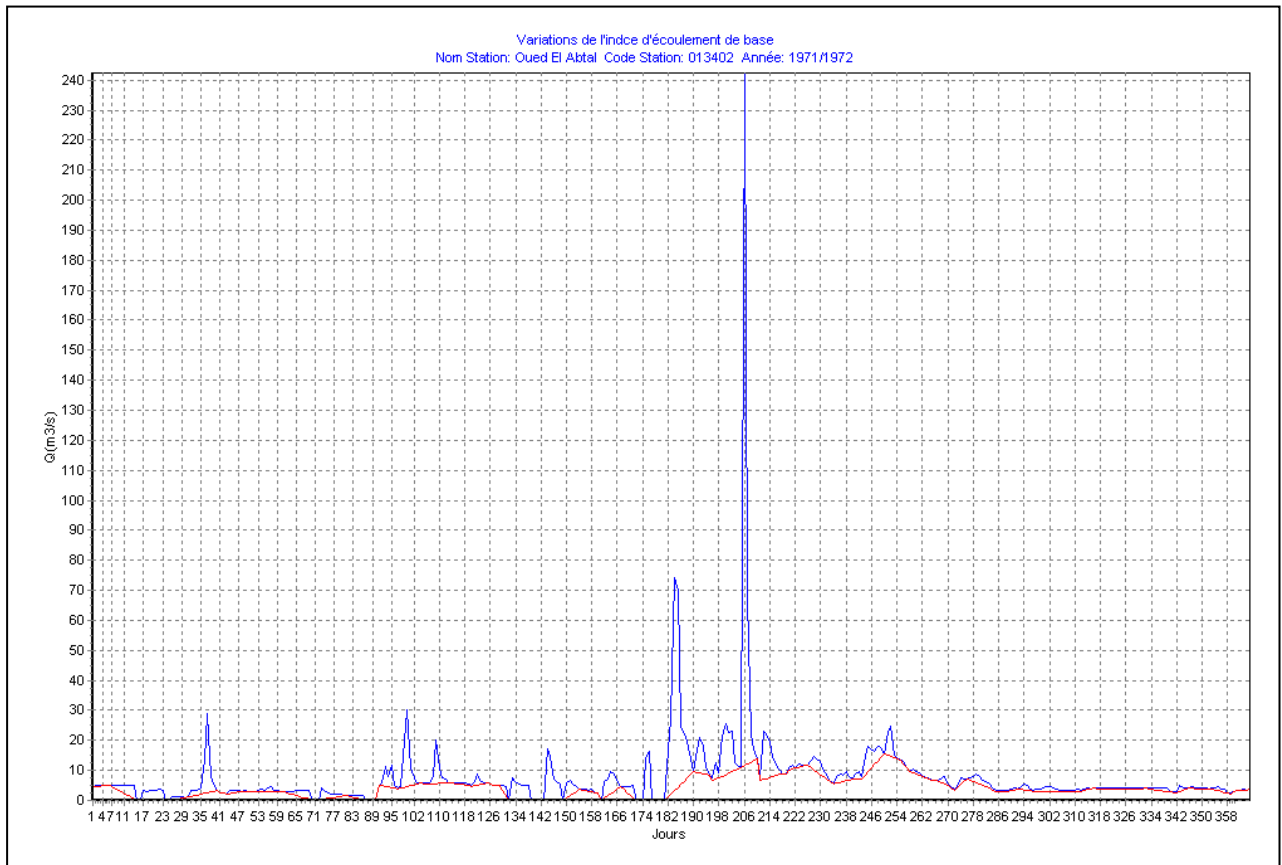


Figure 65: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Mina à Oued El Abtal (Année humide)

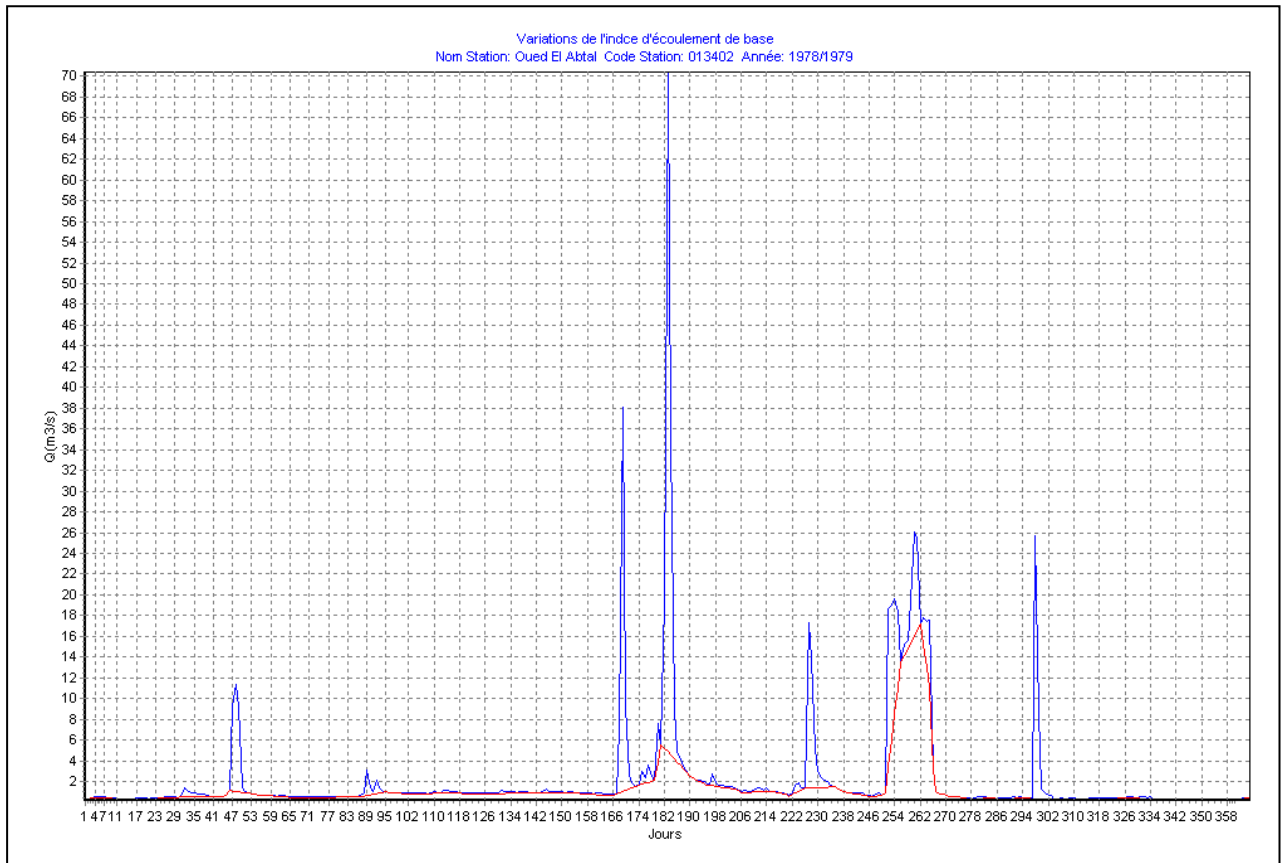


Figure 66: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Mina à Oued El Abtal (Année moyenne)

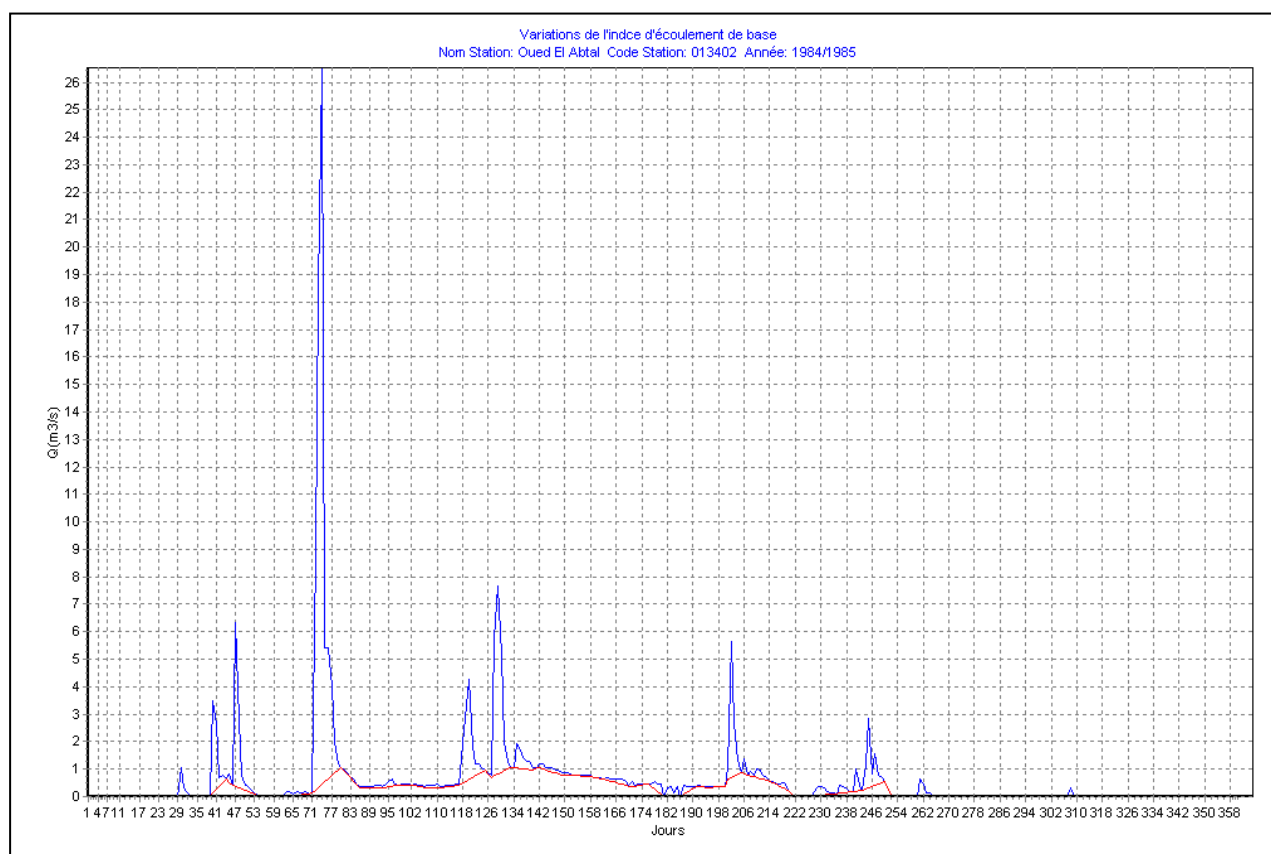


Figure 67: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Mina à Oued El Abtal (Année sèche)

Au niveau des bassins versants du Bas Cheliff et de la Mina, le volume total écoulé varie de 11 Hm^3 (bassin Rhiou Tleta), en année caractérisée par une faible hydraulicité à 118 Hm^3 en année humide. Alors, au niveau du bassin versant de l'oued Mina à Oued el Abtal, le volume total écoulé varie de 20 Hm^3 en une année sèche à plus de 240 Hm^3 en une année humide. Durant cette dernière, l'écoulement de base représente environ 40 % de l'écoulement total dans les bassins versants du Bas Cheliff et 55% dans le bassin de la Mina à Oued el Abtal (tableau 28). Ce pourcentage est moins élevé en hiver et au printemps.

En année humide ou moyenne, l'écoulement de base représente 45% de l'écoulement total durant la saison sèche au niveau du Bas Cheliff et de la Mina. Par contre, en année sèche ce pourcentage est très faible, à l'exception du bassin versant de l'oued Mina amont à Sidi Ali Ben Amar et du bassin versant de l'oued el Abd à Takhmaret. Ces deux bassins montrent une certaine stabilité de l'écoulement de base par rapport à l'écoulement total, et cela pour les trois années considérées.

Malgré l'absence de nappes phréatiques au niveau de l'ensemble du bassin versant de la Mina, le volume de base reste important en saison sèche d'une année bien arrosée (par rapport à la moyenne). Cela peut être expliqué par la lithologie du bassin, qui est en grande partie perméable, qui permet au sol d'emmagasiner lors de la saison des pluies (hiver et printemps).

Par l'analyse des indices d'écoulement de base et sur les années hydrologiques étudiées, avec la présence du barrage SMBA (capacité totale 56 Hm^3) les IEB sont nettement plus élevés pour le bassin Mina amont, avec des hausses de 30 et 40% par rapport aux valeurs

enregistrées sur les bassins de oued Taht à Kef Mahboula, oued Abd amont et aval. Cet accroissement est surtout imputable à la diminution de la proportion de l'écoulement de crue en période de débits importants (stockage), et à la hausse de la proportion de l'écoulement de base en période d'étiage (déstockage), cette hausse de l'IEB peut aussi provenir, mais partiellement, des légères différences observées dans les caractéristiques physiques des bassins (voir tableau 5 du chapitre I) et une pluviométrie plus élevée dans le bassin Mina amont.

Pour plus de détail sur le volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base, aux différents échelles, pour les années hydrologiques considérées humide, moyenne et sèche aux stations étudiées dans le bassin du Bas Cheliff et de la Mina consulté l'annexe 2.

Tableau 28 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base en aux différentes stations du bassin Bas Cheliff et de la Mina.

Station hydrométrique	Echelle	Année	Va (hm3)	Vc (hm3)	Vb (hm3)	IEB %
012501	Annuelle	Humide	24,0792	14,1474	9,9318	41
		Moyenne	9,0538	4,7354	4,3184	48
		Seche	1,7679	1,2589	0,5090	29
	Automne	Humide	1,2767	0,8589	0,4178	33
	Hiver		17,1768	11,8295	5,3473	31
	Printemps		5,2375	1,3998	3,8378	73
	Ete		0,3882	0,0593	0,3290	85
	Automne	Moyenne	1,5767	0,3064	1,2703	81
	Hiver		2,5581	0,7897	1,7684	69
	Printemps		4,1587	3,1837	0,9750	23
	Ete		0,7604	0,4556	0,3047	40
	Automne	Seche	0,8806	0,7392	0,1414	16
	Hiver		0,1637	0,0312	0,1325	81
	Printemps		0,5338	0,4130	0,1208	23
	Ete		0,1898	0,0756	0,1142	60
012601	Annuelle	Humide	118,7115	65,0742	53,6373	45
		Moyenne	63,3885	33,3982	29,9903	47
		Seche	11,0950	10,9940	0,1010	1
	Automne	Humide	2,4753	2,3026	0,1727	7
	Hiver		103,8035	61,1493	42,6541	41
	Printemps		12,4328	1,6223	10,8105	87
	Ete		0,0000	0,0000	0,0000	0
	Automne	Moyenne	6,2838	4,5761	1,7077	27
	Hiver		37,8393	22,1247	15,7146	42
	Printemps		18,9375	6,5343	12,4032	65
	Ete		0,3279	0,1630	0,1649	50
	Automne	Seche	4,9359	4,9347	0,0012	0
	Hiver		0,3557	0,3466	0,0091	3
	Printemps		5,7828	5,6921	0,0907	2
	Ete		0,0206	0,0206	0,0000	0
012701	Annuelle	Humide	40,0774	24,1422	24,1422	40
		Moyenne	20,4980	11,2655	11,2655	45
		Seche	2,9889	1,7366	1,7366	42
	Automne	Humide	3,6215	1,7616	1,7616	51
	Hiver		32,6661	22,0133	22,0133	33
	Printemps		2,9275	0,2931	0,2931	90

Station hydrométrique	Echelle	Année	Va (hm3)	Vc (hm3)	Vb (hm3)	IEB %
	Ete		0,8624	0,0741	0,0741	91
	Automne	Moyenne	4,6626	2,9668	2,9668	36
	Hiver		13,3792	7,3034	7,3034	45
	Printemps		2,4405	0,9939	0,9939	59
	Ete		0,0157	0,0014	0,0014	91
	Automne	Seche	2,2963	1,5766	1,5766	31
	Hiver		0,6808	0,1483	0,1483	78
	Printemps		0,0118	0,0118	0,0118	0
	Ete		0,0000	0,0000	0,0000	0
012909	Annuelle	Humide	70,5120	16,1115	54,4005	77
		Moyenne	43,8385	7,3014	36,5371	83
		Seche	21,8604	5,5596	16,3008	75
	Automne	Humide	12,8978	6,2906	6,6072	51
	Hiver		28,1750	5,5386	22,6364	80
	Printemps		21,9555	3,0248	18,9308	86
	Ete		7,4836	1,2575	6,2261	83
	Automne	Moyenne	8,4931	0,8714	7,6217	90
	Hiver		11,8413	1,9297	9,9116	84
	Printemps		17,6510	3,8044	13,8466	78
	Ete		5,8531	0,6960	5,1571	88
	Automne	Seche	4,9010	1,1104	3,7905	77
	Hiver		8,4543	1,9112	6,5432	77
	Printemps		5,7714	1,3205	4,4510	77
	Ete		2,7337	1,2176	1,5161	55
013001	Annuelle	Humide	51,0075	30,9689	20,0386	39
		Moyenne	10,4373	8,2201	2,2172	21
		Seche	2,9948	1,7769	1,2179	41
	Automne	Humide	3,9367	2,0023	1,9344	49
	Hiver		29,2155	19,5208	9,6947	33
	Printemps		15,0412	9,2188	5,8224	39
	Ete		2,8141	0,2270	2,5871	92
	Automne	Moyenne	5,4147	4,9834	0,4312	8
	Hiver		2,9534	2,0441	0,9093	31
	Printemps		1,2432	0,6116	0,6316	51
	Ete		0,8259	0,5809	0,2450	30
	Automne	Seche	1,4847	1,2466	0,2381	16
	Hiver		0,8797	0,2167	0,6631	75
	Printemps		0,5933	0,2984	0,2949	50
	Ete		0,0372	0,0153	0,0219	59
013301	Annuelle	Humide	58,6056	48,0420	10,5636	18
		Moyenne	18,3755	15,9837	2,3918	13
		Seche	2,8362	0,7238	2,1124	74
	Automne	Humide	36,7489	31,9512	4,7978	13
	Hiver		2,2032	0,3206	1,8826	85
	Printemps		7,7272	5,7026	2,0246	26
	Ete		11,9263	10,0676	1,8586	16
	Automne	Moyenne	2,5226	2,0670	0,4556	18
	Hiver		13,3770	11,6918	1,6852	13
	Printemps		2,3576	2,1296	0,2280	10
	Ete		0,1183	0,0953	0,0230	19
	Automne	Seche	0,3582	0,1000	0,2581	72

Station hydrométrique	Echelle	Année	Va (hm3)	Vc (hm3)	Vb (hm3)	IEB %
	Hiver		1,3074	0,2088	1,0985	84
	Printemps		0,2621	0,1615	0,1006	38
	Ete		0,9086	0,2535	0,6552	72
013302	Annuelle	Humide	52,0620	36,2958	15,7662	30
		Moyenne	34,7147	22,3703	12,3443	36
		Seche	11,6688	5,1760	6,4929	56
	Automne	Humide	23,8758	18,9754	4,9004	21
	Hiver		15,1229	7,9818	7,1412	47
	Printemps		2,5767	0,4609	2,1158	82
	Ete		10,4865	8,8777	1,6088	15
	Automne	Moyenne	11,5751	8,7228	2,8523	25
	Hiver		5,9371	2,2983	3,6389	61
	Printemps		9,9004	7,1883	2,7121	27
	Ete		7,3020	4,1610	3,1410	43
	Automne	Seche	3,4241	1,6056	1,8185	53
	Hiver		4,8897	1,4754	3,4144	70
	Printemps		1,8759	1,2019	0,6740	36
	Ete		1,4791	0,8931	0,5860	40
013401	Annuelle	Humide	7,8279	5,5080	2,3199	30
		Moyenne	8,7861	1,9002	6,8859	78
		Seche	1,5791	1,0472	0,5319	34
	Automne	Humide	6,0399	5,0032	1,0366	17
	Hiver		1,4174	0,2969	1,1205	79
	Printemps		0,2719	0,1274	0,1445	53
	Ete		0,0988	0,0805	0,0183	19
	Automne	Moyenne	2,3011	0,4388	1,8623	81
	Hiver		3,1278	0,6908	2,4370	78
	Printemps		2,8931	0,6863	2,2068	76
	Ete		0,4641	0,0844	0,3797	82
	Automne	Seche	0,5937	0,3980	0,1957	33
	Hiver		0,3701	0,2167	0,1534	41
	Printemps		0,5830	0,4216	0,1615	28
	Ete		0,0322	0,0109	0,0214	66
013402	Annuelle	Humide	244,1202	110,0298	134,0904	55
		Moyenne	73,7919	34,3064	39,4855	54
		Seche	20,5427	12,4482	8,0945	39
	Automne	Humide	36,6145	17,8312	18,7833	51
	Hiver		69,8365	44,0491	25,7875	37
	Printemps		106,3613	41,8605	64,5008	61
	Ete		31,3079	6,2890	25,0189	80
	Automne	Moyenne	8,5384	3,4956	5,0428	59
	Hiver		27,3960	16,2011	11,1949	41
	Printemps		31,8994	11,0774	20,8220	65
	Ete		5,9581	3,5323	2,4259	41
	Automne	Seche	9,6522	7,5604	2,0918	22
	Hiver		8,1660	3,6136	4,5524	56
	Printemps		2,6868	1,2365	1,4503	54
	Ete		0,0378	0,0378	0,0000	0

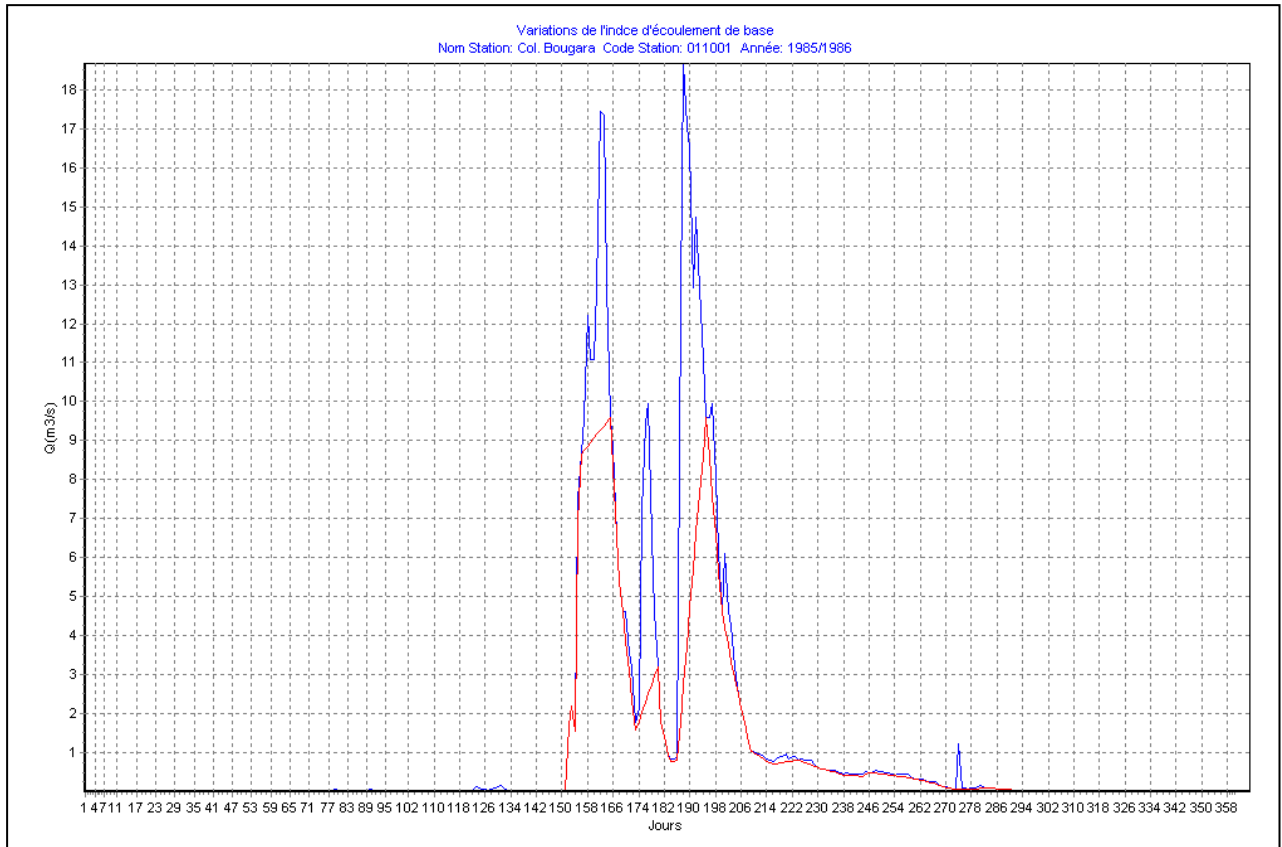


Figure 68: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Ouassel à Col. Bougara (Année humide)

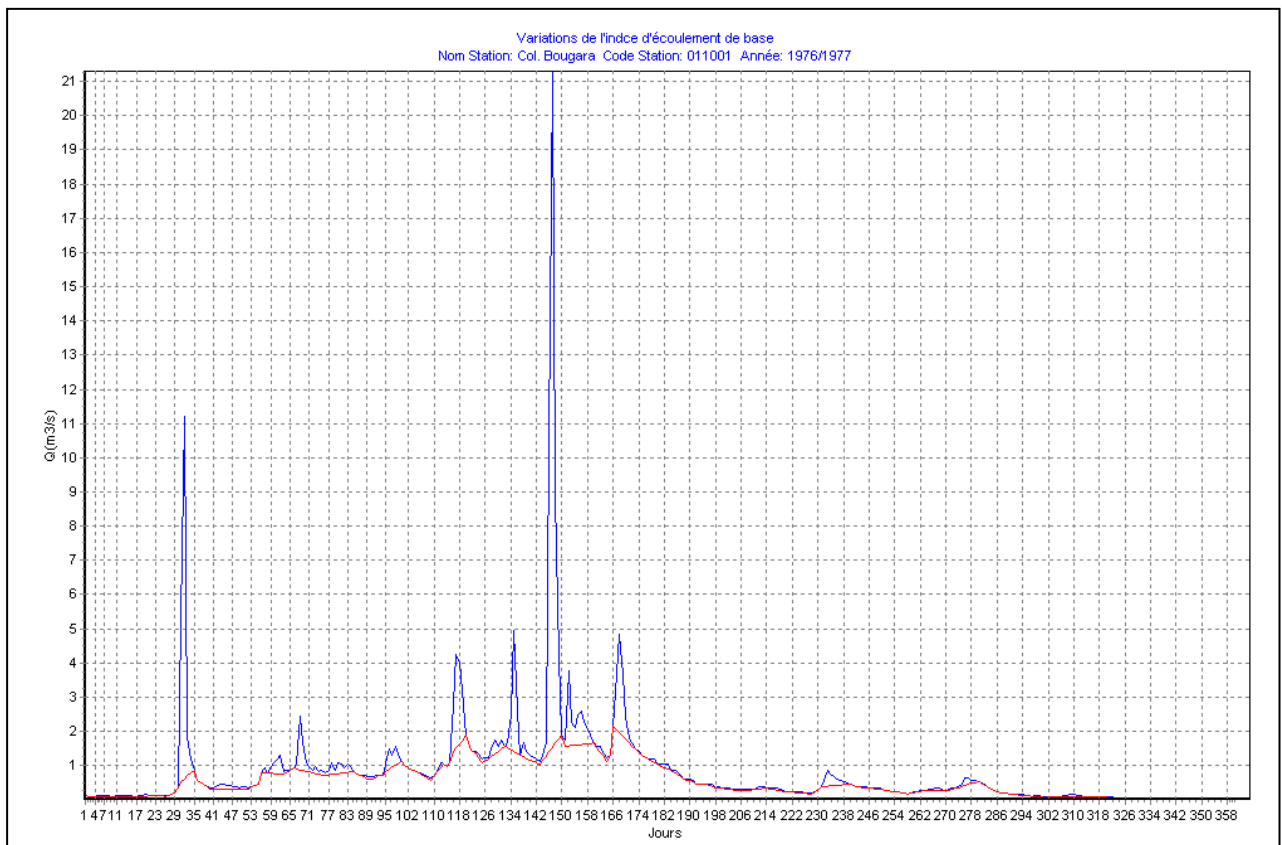


Figure 69: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Ouassel à Col. Bougara (Année moyenne)

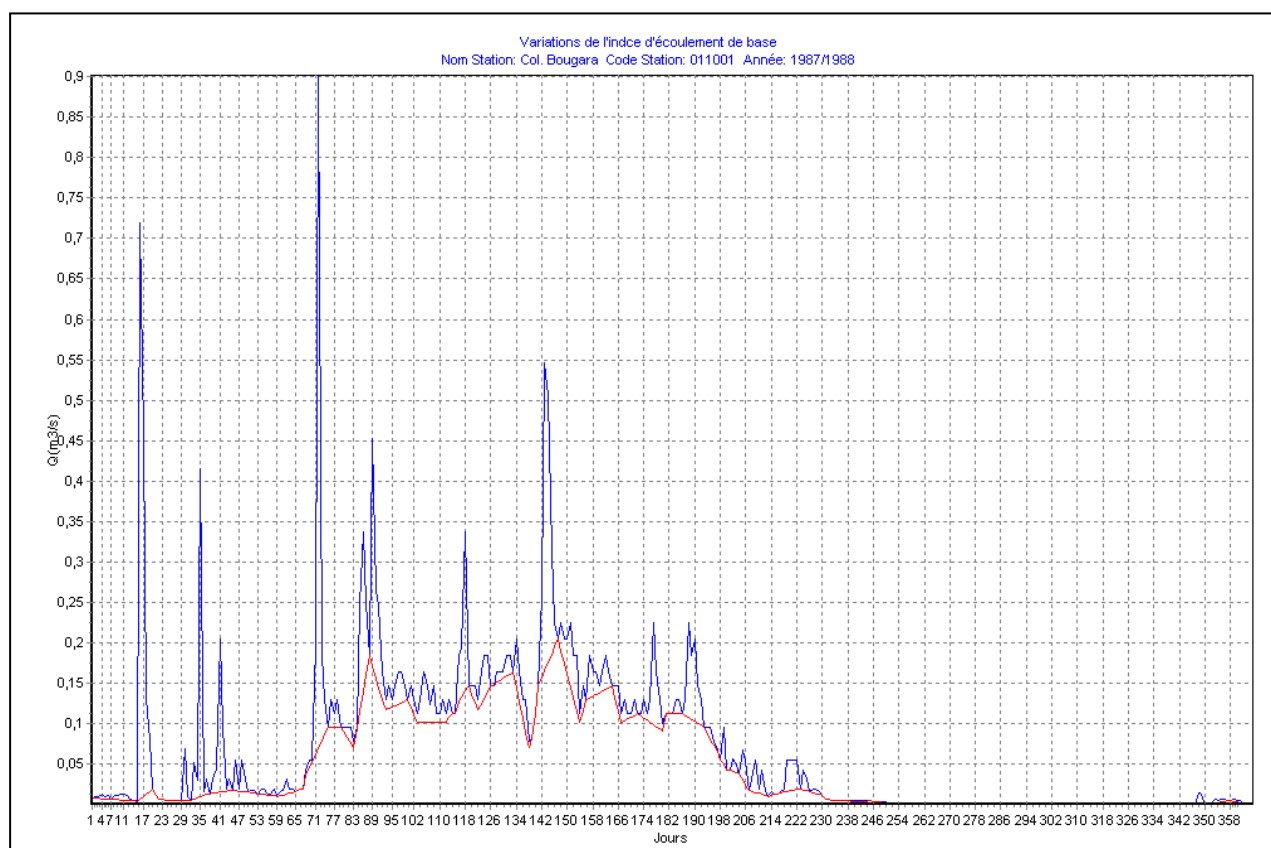


Figure 70: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Ouassel à Col. Bougara (Année sèche)

Au niveau des bassins versants à l'amont de Boughzoul, et pour les quels, on dispose de données de débits journaliers, le volume total écoulé varie de 2 Hm³ (bassin Ouassel moyen), en année caractérisée par une faible hydraulicité à 39 Hm³ en année humide, et de 7 Hm³ à 86 Hm³ (bassin Diaa Boughzoul). Alors que dans le bassin de Sousslem on enregistre un volume total qui ne dépasse guère les 2 Hm³ en une année humide. Durant cette dernière, l'écoulement de base représente environ 69, 67 et 52 % de l'écoulement total respectivement pour les bassins de Sousslem, Ouassel moyen et Diaa Boughzoul (tableau 29).

En année humide ou moyenne, l'écoulement de base a représenté 62 % de l'écoulement total durant la saison sèche au niveau des Bassins versants à l'amont de Boughzoul. Par contre, en année sèche ce pourcentage est faible, à l'exception du bassin versant de l'oued Sousslem à Col. Bougara. Ce bassin montre une certaine stabilité de l'écoulement de base par rapport à l'écoulement total (voir tableau 29), et cela pour les trois années considérées (IEB = 66%). Ce bassin versant étudié est concerné par d'important processus d'échange entre le réseau hydrographique (Nahr Ouassel) et la nappe phréatique du Sersou.

Le volume de base reste important en saison sèche d'une année bien arrosée (par rapport à la moyenne) au niveau des deux bassins versants du Ouassel moyen et de Diaa Boughzoul. Cela peut être expliqué par la lithologie du bassin, qui est en grande partie perméable, qui permet au sol d'emmagasiner lors de la saison des pluies (hiver et printemps).

Pour plus de détail sur le volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base, aux différents échelles, pour les années hydrologiques considérées

humide, moyenne et sèche à la station étudiée dans le bassin Amont Boughzoul consulté l'annexe 3.

Tableau 29 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base en aux différentes stations du bassin Amont Boughzoul.

Station hydrométrique	Echelle	Année	Va (hm3)	Vc (hm3)	Vb (hm3)	IEB %
011001	Annuelle	Humide	39,462	13,040	26,422	67
		Moyenne	26,136	8,840	17,296	66
		Seche	2,245	0,764	1,481	66
	Automne	Humide	0,093	0,027	0,066	70
	Hiver		34,627	12,478	22,149	64
	Printemps		4,712	0,524	4,188	89
	Ete		0,030	0,010	0,019	65
	Automne	Moyenne	7,337	2,368	4,969	68
	Hiver		15,572	6,070	9,501	61
	Printemps		2,679	0,325	2,354	88
	Ete		0,548	0,077	0,471	86
	Automne	Seche	0,788	0,326	0,462	59
	Hiver		1,219	0,278	0,941	77
	Printemps		0,090	0,035	0,055	61
	Ete		0,147	0,125	0,022	15
011210	Annuelle	Humide	86,559	41,800	44,759	52
		Moyenne	38,280	27,040	11,240	29
		Seche	7,664	4,050	3,615	47
	Automne	Humide	1,919	0,671	1,247	65
	Hiver		2,274	0,704	1,570	69
	Printemps		31,612	22,833	8,779	28
	Ete		50,754	17,591	33,163	65
	Automne	Moyenne	25,156	22,196	2,959	12
	Hiver		9,082	3,422	5,660	62
	Printemps		3,496	1,152	2,343	67
	Ete		0,547	0,269	0,278	51
	Automne	Seche	3,409	3,043	0,366	11
	Hiver		2,264	0,453	1,811	80
	Printemps		1,991	0,553	1,437	72
	Ete		0,001	0,001	0,000	15
010711	Annuelle	Humide	5,686	1,772	3,914	69
		Moyenne	1,943	1,108	0,835	43
		Seche	0,025	0,025	0,000	0
	Automne	Humide	3,014	1,356	1,657	55
	Hiver		2,673	0,416	2,257	84
	Printemps		0,000	0,000	0,000	0
	Ete		0,000	0,000	0,000	0
	Automne	Moyenne	0,548	0,548	0,000	0
	Hiver		0,000	0,000	0,000	0
	Printemps		0,332	0,312	0,020	6
	Ete		1,063	0,248	0,815	77
	Automne	Seche	0,025	0,025	0,000	0
	Hiver		0,000	0,000	0,000	0
	Printemps		0,000	0,000	0,000	0
	Ete		0,000	0,000	0,000	0

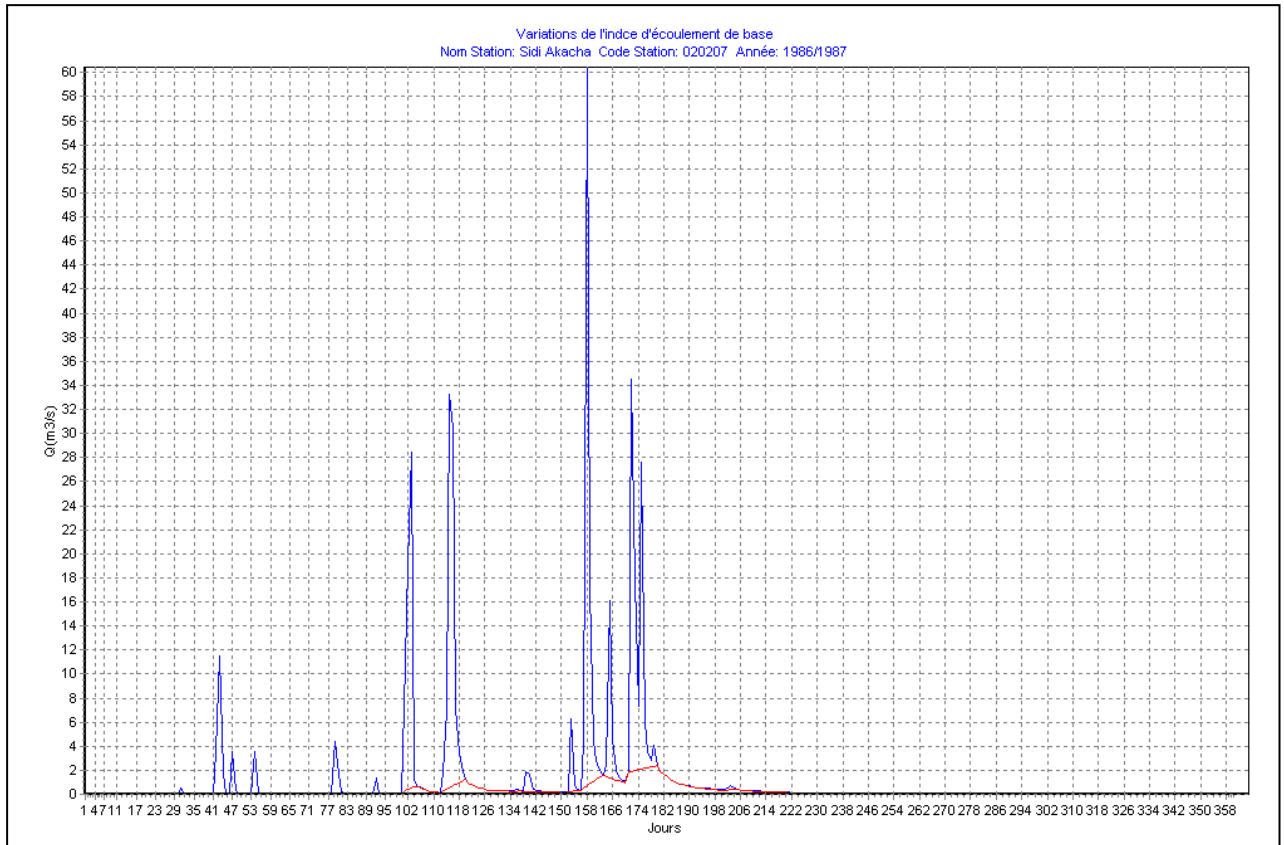


Figure 71: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Allala à Sidi Akacha (Année humide)

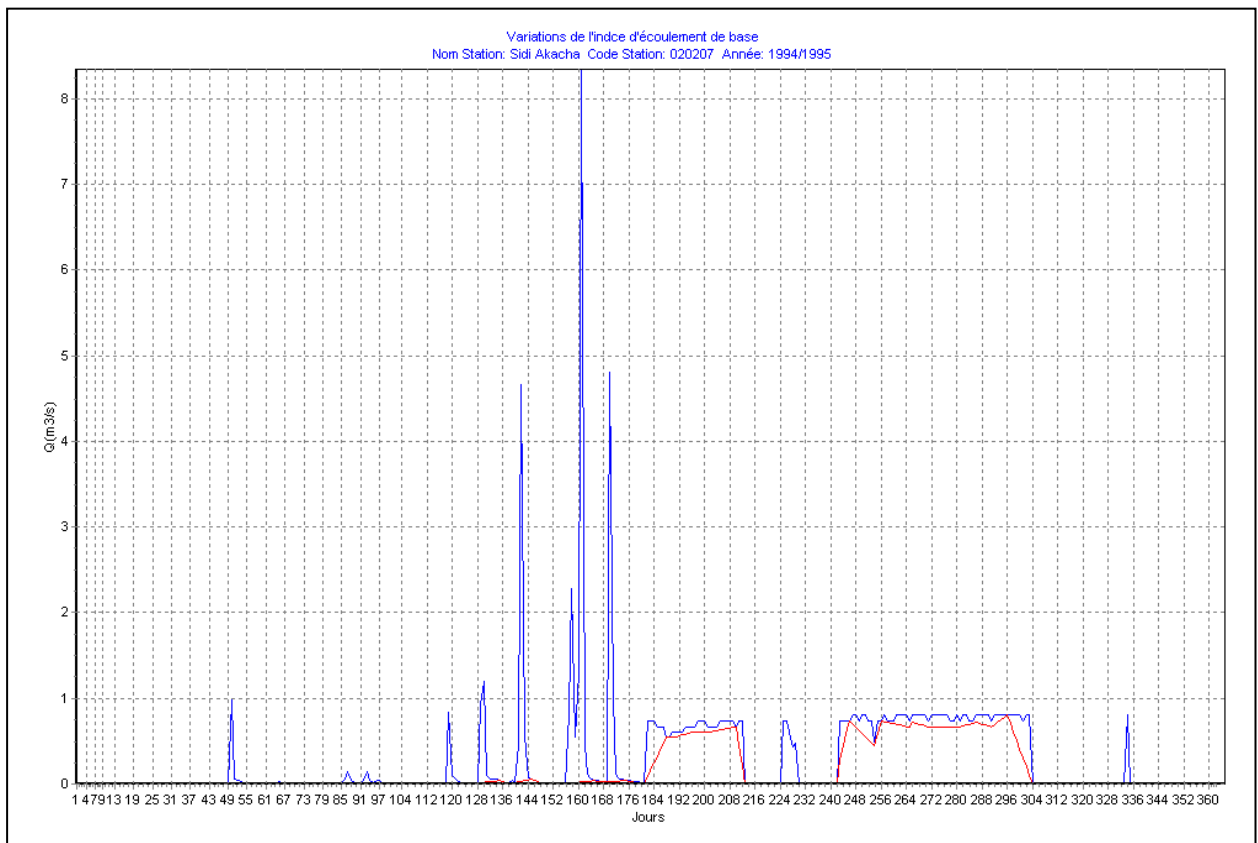


Figure 72: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Allala à Sidi Akacha (Année moyenne)

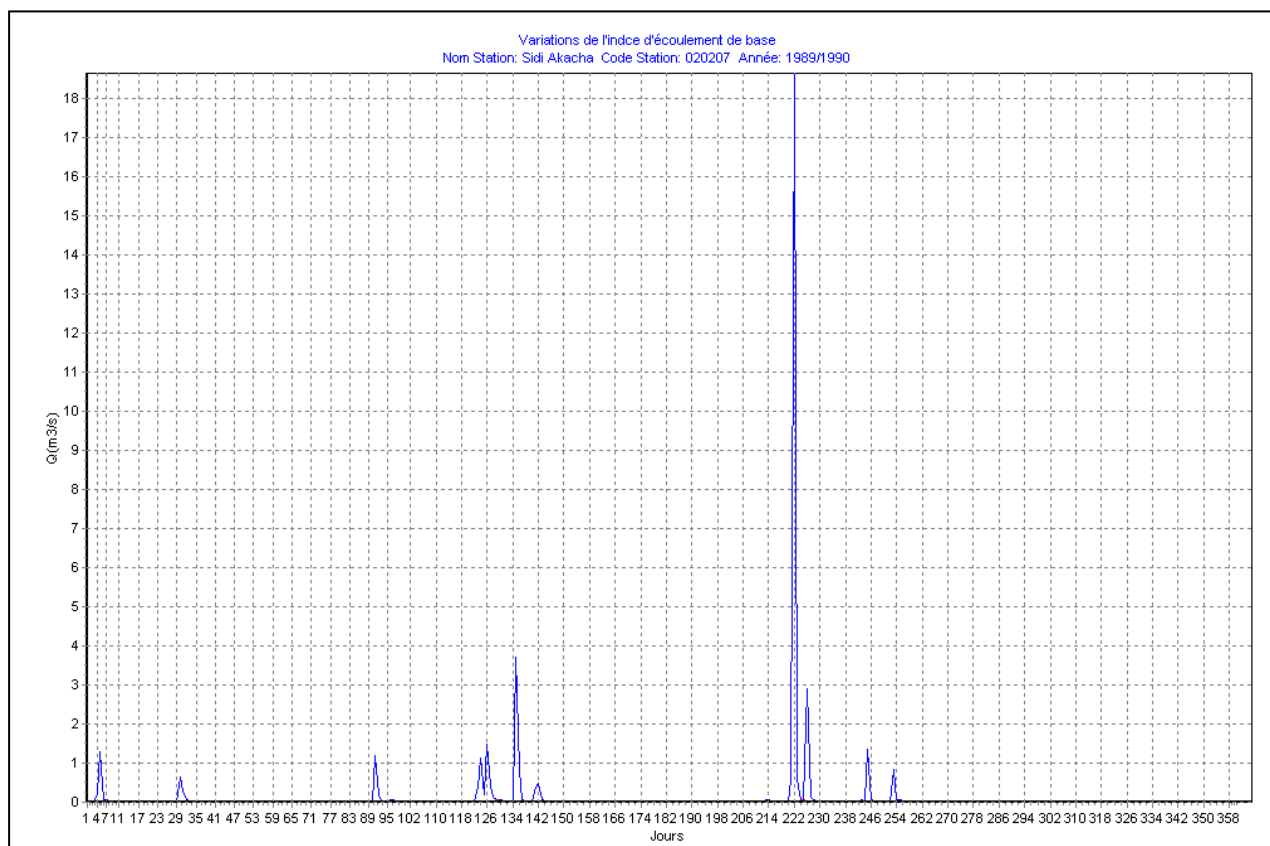


Figure 73: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Allala à Sidi Akacha (Année sèche)

Au niveau des deux bassins versants du Côtier, le volume total écoulé varie de 1.6 Hm^3 (bassin Côtier Guelta), en année caractérisée par une faible hydraulicité à 39.6 Hm^3 en année humide. Pour le bassin Côtier de Ténès, il varie de 3 Hm^3 en une année sèche à plus de 40 Hm^3 en une année humide. Durant cette dernière, l'écoulement de base représente environ 33% de l'écoulement total dans les deux bassins versants du Côtier (tableau 30). Ce pourcentage est moins élevé en hiver et au printemps.

En année humide ou moyenne, l'écoulement de base représente 80 % de l'écoulement total durant la saison sèche au niveau du bassin Côtier Guelta et 30 % seulement au niveau du bassin Côtier de Ténès. Par contre, en année sèche ce pourcentage est faible. Cela peut être expliqué par la présence des lithologies perméables pour le premier et moins imperméables pour le second favorisant à priori les crues (figures 71 à 73).

Pour plus de détail sur les volumes d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base, aux différents échelles, pour les années hydrologiques considérées humide, moyenne et sèche à la station étudiée dans le bassin Côtier consulté l'annexe 4.

Tableau 30 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base en aux différentes stations du bassin Côtier.

Station hydrométrique	Echelle	Année	Va (hm3)	Vc (hm3)	Vb (hm3)	IEB %
020114	Annuelle	Humide	39,651	21,095	18,556	47
		Moyenne	22,557	7,490	15,067	67
		Seche	1,658	1,220	0,438	26
	Automne	Humide	4,897	0,619	4,277	87
	Hiver		11,858	2,211	9,646	81
	Printemps		21,813	18,060	3,753	17
	Ete		1,084	0,205	0,879	81
	Automne	Moyenne	4,903	0,547	4,355	89
	Hiver		11,926	6,368	5,557	47
	Printemps		2,861	0,273	2,587	90
	Ete		2,868	0,301	2,567	90
	Automne	Seche	0,339	0,228	0,110	33
	Hiver		0,869	0,677	0,192	22
	Printemps		0,389	0,307	0,083	21
	Ete		0,061	0,009	0,052	86
	020207	Annuelle	Humide	40,104	32,484	7,620
Moyenne			8,968	4,126	4,842	54
Seche			3,485	3,345	0,140	4
Automne		Humide	8,483	7,893	0,590	7
Hiver			30,624	24,486	6,137	20
Printemps			0,832	0,091	0,742	89
Ete			0,166	0,015	0,151	91
Automne		Moyenne	0,153	0,147	0,006	4
Hiver			3,788	2,778	1,010	27
Printemps			4,340	0,892	3,448	79
Ete			0,688	0,309	0,379	55
Automne		Seche	0,234	0,220	0,015	6
Hiver			0,845	0,784	0,062	7
Printemps			2,251	2,200	0,051	2
Ete			0,154	0,142	0,013	8

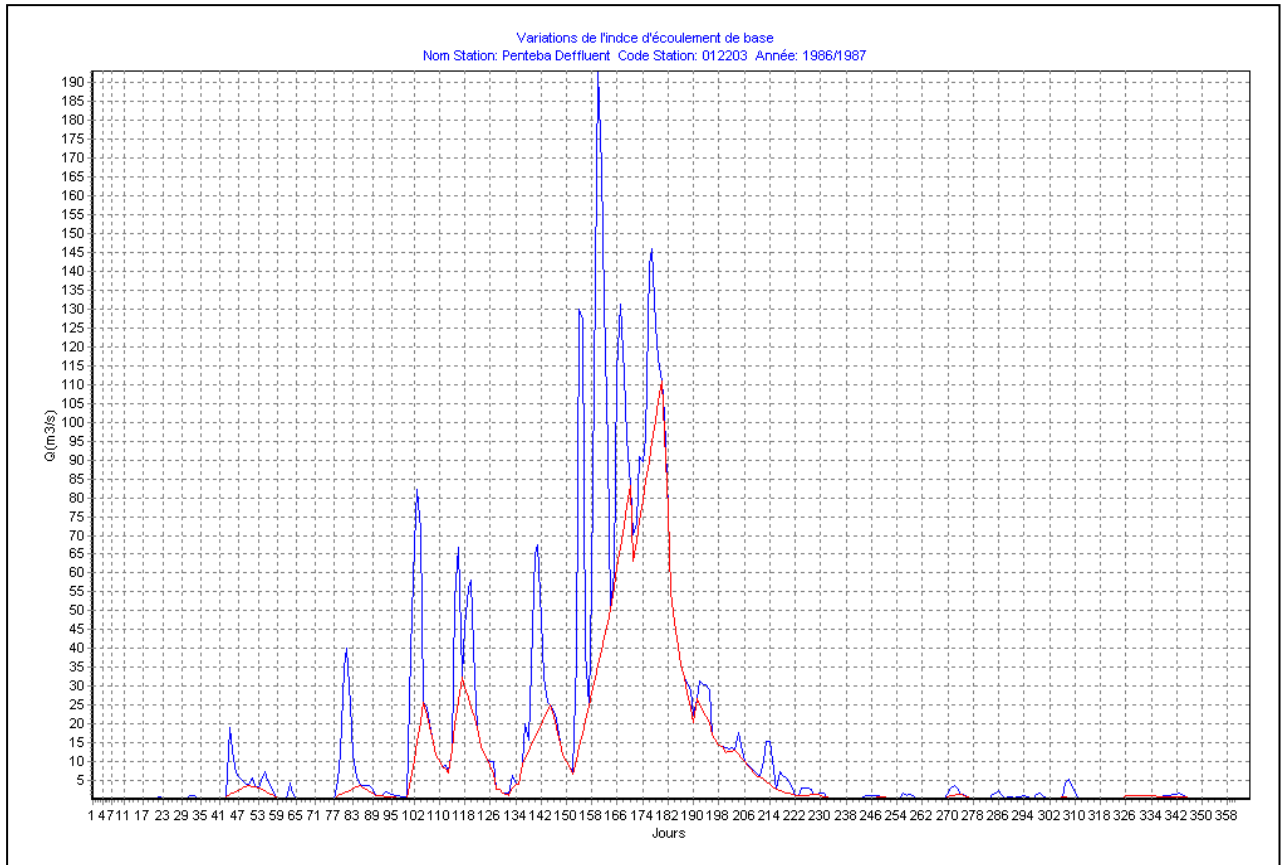


Figure 74: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Cheliff à Penteba Défluent (Année humide)

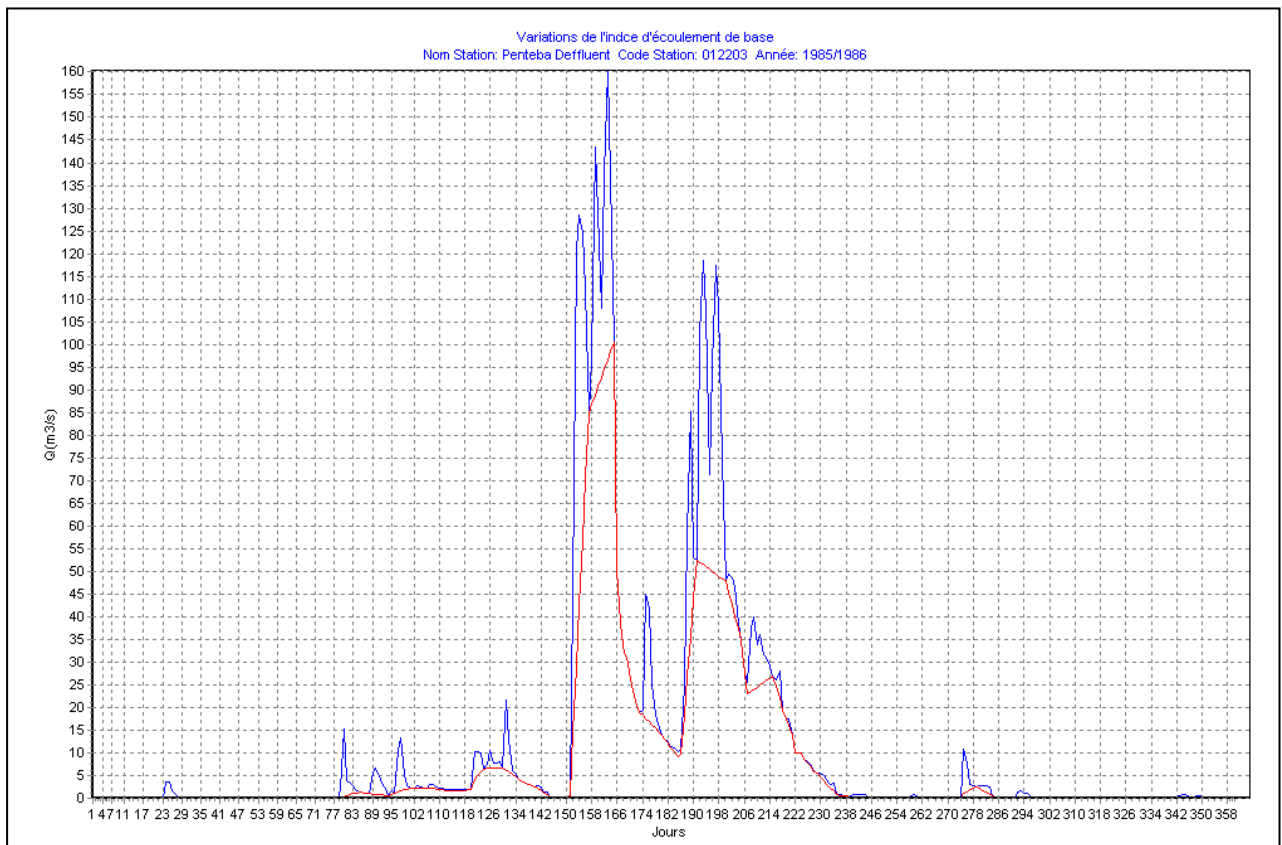


Figure 75: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Cheliff à Penteba Défluent (Année moyenne)

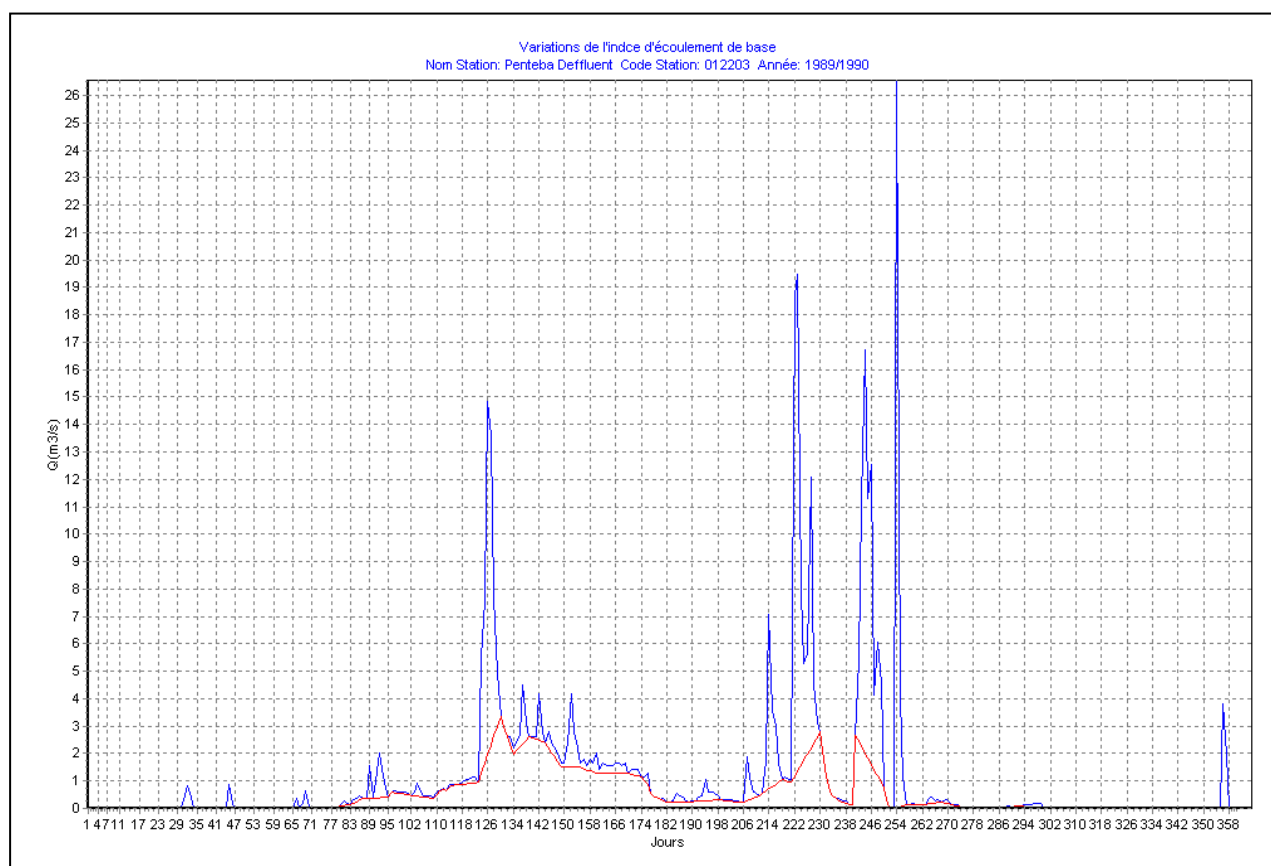


Figure 76: hydrogramme annuel et écoulement de base Oued Cheliff à Penteba Défluent (Année sèche)

Sur le cours d'eau principal, on constate que le volume total écoulé varie de 10 Hm³ en une année caractérisée par une faible hydraulicité à 377 Hm³ en une année humide à la station de Ghrib amont. A la station de Ponteba Défluent, il varie de 37 Hm³ à 468 Hm³. Alors, qu'il varie à la station de Sidi Bel Attar, de 139 Hm³ en une année sèche à plus de 1400 Hm³ en une année humide (tableau 31). Durant cette dernière, l'écoulement de base représente 66% de l'écoulement total (figure 77). Ce pourcentage reste élevé en hiver et au printemps.

En année humide ou moyenne, l'écoulement de base représente 61 % de l'écoulement total durant la saison sèche. En année sèche, ce pourcentage présente une légère atténuation de l'écoulement de base au niveau des stations du bassin Haut et du Moyen Cheliff (34% à la station de Ghrib amont, 42 % à Ponteba défluent et 26 % à Djediouia Cheliff). Le volume de base reste important dans le cours d'eau principal (Cheliff), figures 74 à 76. Cela peut être expliqué par la présence d'importants processus d'échanges entre le réseau hydrographique et la nappe alluviale du Cheliff. Ainsi, il est à noter que le volume de base au niveau du cours d'eau principal du Cheliff sont influencés par des prélèvements importants (captage de sources karstiques, prélèvement au fil de l'oued Cheliff concentré essentiellement dans le bassin du Haut et Moyen Cheliff avec un volume de près de 18 Hm³ enregistré en 2002). En contre partie, il s'agit en effet, d'un volume de base influencé par des rejets très importants d'origine domestiques des agglomérations qui se situent le long de l'oued Cheliff (un volume d'eau rejeté en 2002 près de 30 Hm³ des agglomérations, dont 18 Hm³/an des grandes agglomérations ; Khemis Miliana, AinDefla, Chlef, Chettia, Oued Rhiou et Relizane).

Pour plus de détail sur le volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base, aux différentes échelles, pour les années hydrologiques considérées humide, moyenne et sèche à la station étudiée sur le cours d'eau principal (Cheliff) consulté l'annexe 5.

Tableau 31 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base en aux différentes stations du cours d'eau principal (Cheliff).

Station hydrométrique	Echelle	Année	Va (hm3)	Vc (hm3)	Vb (hm3)	IEB %
011407	Annuelle	Humide	377,36	132,65	244,71	65
		Moyenne	170,84	87,01	83,83	49
		Seche	10,50	6,93	3,57	34
	Automne	Humide	179,32	74,68	104,64	58
	Hiver		59,56	10,27	49,29	83
	Printemps		96,66	38,54	58,12	60
	Ete		41,82	9,17	32,66	78
	Automne	Moyenne	83,63	43,02	40,61	49
	Hiver		51,19	23,56	27,62	54
	Printemps		17,82	6,96	10,85	61
	Ete		18,21	13,47	4,74	26
	Automne	Seche	3,98	3,69	0,30	7
	Hiver		1,78	1,19	0,59	33
	Printemps		1,28	1,00	0,28	22
	Ete		3,45	1,06	2,39	69
011702	Annuelle	Humide	262,27	91,31	170,96	65
		Moyenne	142,11	62,00	80,11	56
		Seche	7,12	4,68	2,43	34
	Automne	Humide	18,99	8,55	10,43	55
	Hiver		179,18	68,99	110,19	61
	Printemps		31,38	7,76	23,62	75
	Ete		32,72	6,01	26,72	82
	Automne	Moyenne	7,16	1,42	5,74	80
	Hiver		71,53	48,95	22,58	32
	Printemps		38,28	7,10	31,17	81
	Ete		25,13	4,52	20,61	82
	Automne	Seche	0,28	0,12	0,16	56
	Hiver		6,83	4,56	2,27	33
	Printemps		0,00	0,00	0,00	45
	Ete		0,00	0,00	0,00	73
012203	Annuelle	Humide	468,98	182,83	286,15	61
		Moyenne	377,44	122,43	255,00	68
		Seche	37,38	21,78	15,59	42
	Automne	Humide	56,93	35,30	21,63	38
	Hiver		386,55	137,27	249,29	64
	Printemps		20,87	8,22	12,65	61
	Ete		4,62	2,04	2,58	56
	Automne	Moyenne	11,81	7,31	4,50	38
	Hiver		303,47	104,09	199,39	66
	Printemps		60,69	10,44	50,24	83
	Ete		1,46	0,59	0,87	59
	Automne	Seche	2,10	0,96	1,14	54
	Hiver		15,28	5,65	9,63	63
	Printemps		19,40	14,61	4,78	25

Station hydrométrique	Echelle	Année	Va (hm3)	Vc (hm3)	Vb (hm3)	IEB %
	Ete		0,60	0,56	0,04	7
012806	Annuelle	Humide	764,89	186,15	578,73	76
		Moyenne	505,13	252,50	252,63	50
		Seche	57,02	42,21	14,82	26
	Automne	Humide	117,90	56,46	61,44	52
	Hiver		587,23	119,43	467,80	80
	Printemps		41,35	7,20	34,15	83
	Ete		18,41	3,07	15,34	83
	Automne	Moyenne	281,74	183,26	98,47	35
	Hiver		199,26	63,73	135,52	68
	Printemps		20,09	3,81	16,28	81
	Ete	Seche	4,05	1,69	2,36	58
	Automne		12,01	10,98	1,03	9
	Hiver		37,17	29,81	7,36	20
	Printemps		6,69	0,94	5,75	86
	Ete		1,15	0,47	0,68	59
	013602	Annuelle	Humide	1430,52	549,44	881,07
Moyenne			746,28	222,23	524,05	70
Seche			139,63	41,28	98,35	70
Automne		Humide	275,36	115,26	160,11	58
Hiver			889,01	399,89	489,13	55
Printemps			206,40	28,15	178,24	86
Ete			59,74	6,14	53,60	90
Automne		Moyenne	158,78	38,54	120,23	76
Hiver			321,16	135,33	185,82	58
Printemps			220,34	41,63	178,71	81
Ete		Seche	46,01	6,73	39,28	85
Automne			41,88	11,58	30,30	72
Hiver			60,73	25,49	35,23	58
Printemps			21,32	2,88	18,44	86
Ete			15,70	1,32	14,38	92

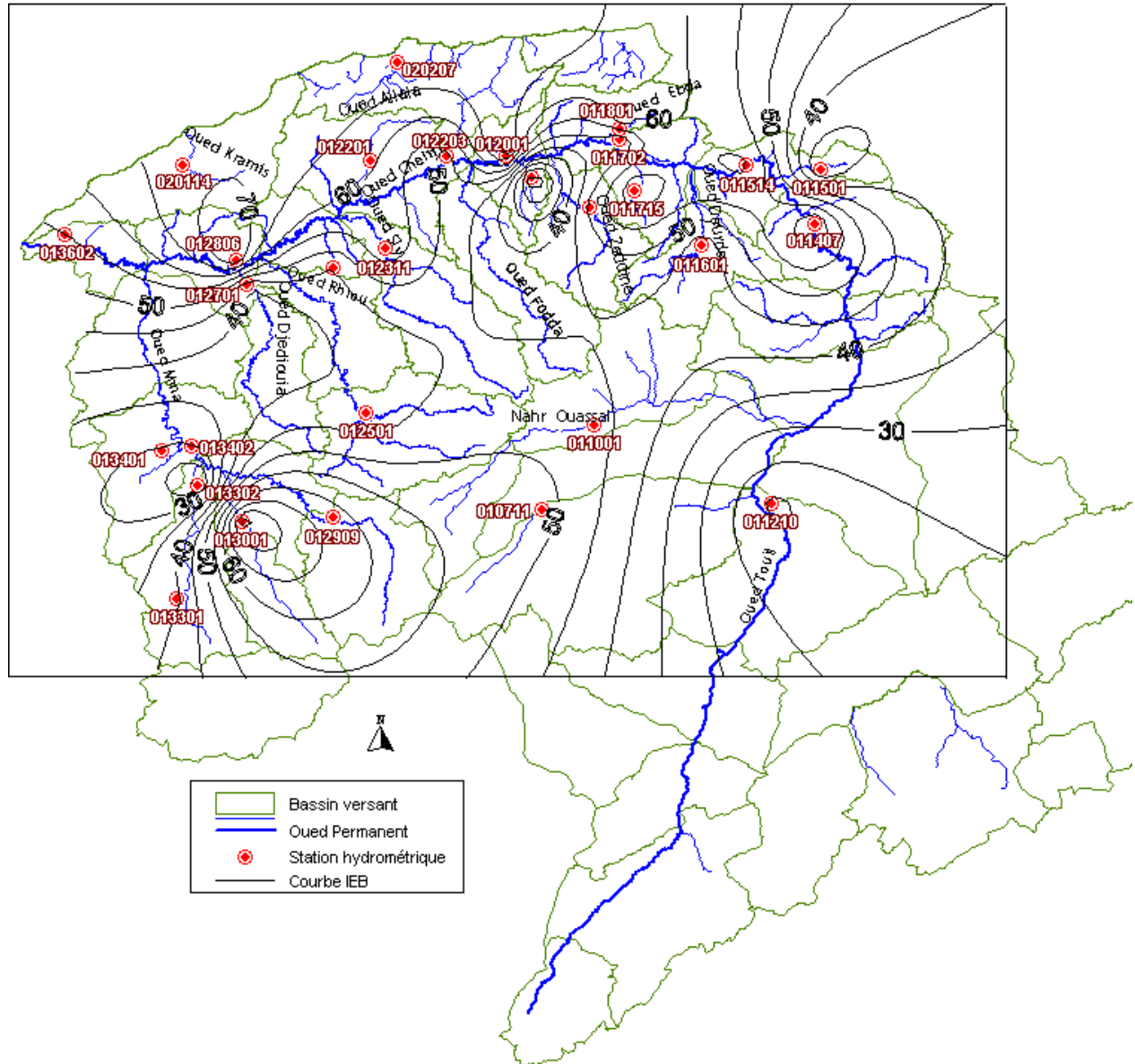


Figure 77: Courbes d'interpolation de l'indice d'écoulement de base.

Enfin, il semble donc que l'indice d'écoulement de base puisse être un outil intéressant pour révéler certaines informations n'apparaissant pas directement dans l'examen du débit total. L'avantage de cette technique réside surtout dans sa simplicité et dans son aptitude à traiter rapidement de gros fichiers de données. En contrepartie, elle doit être utilisée avec rigueur et précaution, et tout diagnostic indiquant une perturbation dans le fonctionnement hydrologique d'un bassin devrait être confirmé par une méthode plus sophistiquée, en fonction du but recherché. Cependant, les résultats présentés ci-dessus permettent de constater que l'apport annuel d'origine souterraine est à la fois non négligeable dans les différents secteurs du bassin du Chelif et relativement moins instable que le volume ruisselé plus particulièrement dans la partie amont Boughzoul. Le débit de base peut, toutefois, tomber à des valeurs faibles lors des années d'indigence marquée.

Conclusion

Des ensembles morpho-structuraux bien tranchés, des caractères morphométriques déterminent des différences sensibles dans l'aptitude des terrains au ruissellement, un climat méditerranéen à forte variabilité spatiale et surtout temporelle, et marqué par l'influence élevée de l'évapotranspiration, un couvert végétal très discontinu, essentiellement dans l'espace et secondairement dans le temps... Telles sont les principales conditions physico-géographiques caractérisant le bassin Cheliff Zahrez et dont la combinaison est déterminante dans le comportement hydrologique des diverses unités du bassin. Toutefois, il est possible, sur la base des résultats dégagés au terme de cette étude de présenter une synthèse des influences (défavorables ou favorables) exercées par les principaux facteurs physico-géographiques sur les termes du bilan hydrologique à l'échelle des trois grandes parties du bassin (bassin Cheliff à l'amont du barrage de Boughzoul, bassin Cheliff à l'aval du barrage de Boughzoul et le bassin Côtier) qui s'apparentent, on l'a vu, aux principaux domaines morphoclimatiques.

Dans le bassin Cheliff à l'amont du barrage de Boughzoul (hautes plaines), les conditions physico-géographiques ne sont pas propices au ruissellement mais plutôt à l'infiltration des eaux, limitée cependant, par la faiblesse des précipitations, l'effet de l'évapotranspiration et la discontinuité du couvert végétal.

Le bassin Cheliff à l'aval du barrage de Boughzoul (unité tellienne) est celui qui dispose, sans doute, des meilleures possibilités de ruissellement et susceptibles d'engendrer un régime torrentiel, et à un degré moins pour l'écoulement souterrain.

Enfin, le bassin Côtier Dahra offre des conditions totalement favorables à l'écoulement de surface. La lithologie constitue un facteur limitant à l'écoulement souterrain dans ce secteur.

Les influences sur l'écoulement de ces facteurs pourraient être cernées de manière plus précise si on envisage au niveau des unités contrôlées par des stations hydrométriques.

Cependant l'évaluation des facteurs indispensables à la connaissance des processus de l'écoulement ne peut suffire à elle seule à en appréhender les différents aspects et à évaluer les ressources en eau disponibles. Elle doit être appuyée sur des mesures hydrométriques établies sur une période aussi longue que possible.

En effet, l'étude entreprise dans le cadre de la partie bilan hydrologique, nous a permis de rendre compte des principales variables hydrologiques et d'estimer les ressources potentielles en eau du bassin versant. La difficulté majeure rencontrée dans cette partie, et qui a rendu l'étude hydrologique de ce bassin difficile est le sous-équipement du bassin ; cette remarque est valable pour l'ensemble des bassins versants Algériens, et également la qualité des données. Le sous-équipement du réseau rend difficile une étude détaillée de la répartition spatiale des lames d'eau écoulées à différentes échelles. Néanmoins, en hydrologie, l'interprétation statistique et graphique des données nous a permis de saisir les variations spatiales de l'écoulement superficiel en liaison avec les données climatiques et physiographiques du bassin de même que sa variabilité temporelle, annuelle et surtout saisonnière et journalière. Le calcul du bilan hydrologique inter-annuel (1986/1969 – 2001/2002) a fait ressortir la faiblesse du coefficient d'écoulement, notamment dans la zone semi aride ($C < 5\%$) et, au contraire, l'importance du déficit d'écoulement ($D = 300$ mm en moyenne, soit plus de 80% de la lame d'eau précipitée) due à une évapotranspiration élevée. La mise en relation du déficit d'écoulement et des lames d'eau écoulées avec les hauteurs de

précipitations nous a amené, par ailleurs, à établir une extrapolation dans l'espace des écoulements ponctuels observés.

L'analyse des variations saisonnières des débits a permis de dégager, spécialement à partir des coefficients mensuels de débits, les nuances de régimes hydrologiques à alimentation essentiellement pluviale liés du reste aux régimes climatiques mais plus ou moins modifiés par le rôle de la lithologie. Ils ont fait apparaître la forte opposition entre l'abondance hivernale et l'indigence estivale des cours d'eau.

Les apports extrêmes mensuels représentent un intérêt économique important. Ils montrent les possibilités réelles de l'utilisation des eaux de surfaces dans les domaines économiques divers (agriculture, alimentation en eau potable ...).

Les variations saisonnières des eaux de surfaces vont dans le sens inverse des besoins, ressources excédentaires en saison froide et déficitaires en saison chaude dont les besoins sont élevés. Une gestion rigoureuse de ces eaux est indispensable afin de régulariser les besoins en eau. Le moyen le plus fiable pour remédier à ce problème est sans doute la construction de retenues collinaires pour maîtriser à l'échelle micro-régionale ces besoins. Ces retenues représentent l'avantage de demander des investissements limités et d'être bien entretenues au niveau d'un petit bassin versant d'une commune.

En ce qui concerne les étiages, nous avons utilisé la technique de l'indice d'écoulement de base (IEB). Souvent très influencés par les prélèvements et les rejets, ont fait apparaître des tarissements marqués des oueds en été. Ceux-ci étant compensés par les apports en eaux souterraines non négligeables dans la partie amont du bassin.

A la lueur de ces données physiques de base, nous relevons de nettes différences entre les ressources en eau de surface et les ressources en eaux souterraines. En effet, les ressources en eau superficielle qui sont mieux cernées quantitativement, représentent un potentiel hydraulique très important (1300 millions de m³/an pour la période considérée) et relativement facilement exploitable. Mais elle sont nettement plus irrégulières que les eaux souterraines (estimées à plus de 300 Hm³ par l'agence du bassin hydrographique Cheliff) et également de moins bonne qualité en raison de la forte charge en suspension des oueds et des problèmes de pollution (cas de l'oued Cheliff pollué par les rejets d'origine domestiques et industrielles).

Enfin, sur le plan spatial, on constate une certaine complémentarité des ressources en eau : les écoulements de surface sont abondants dans la partie Nord du bassin (bassin Cheliff à l'aval de Boughzoul et Côtier) alors que les eaux profondes sont concentrées surtout dans la moitié Sud (bassin Cheliff à l'amont de Boughzoul et Zahrez).

Références bibliographiques

ACHOUR F., (1997) : Condition hydrologiques et disponibilité en eau en région semi-aride : Application de méthodologies nouvelles au bassin du Cheliff, Algérie. Mémoire d'ingénieur d'état. Université des Sciences et Technologie d'Alger. P : 17-65

ACHOUR F. GUEDJAL A. ABDELGADER A. MANIA J. et SAFA A. : Critique et homogénéisation des données pluviométriques, Exemple de l'Algérie Nord Occidentale. Séminaire Maghrébin d'hydrologie en Pays Montagneux, Tizi-Ouzou, Juin 1996.

ACHOUR F. GUEDJAL A. ABDELGADER A. THIEBAUD C. et MANIA J. (1995): Régionalisation de la pluviométrie dans le bassin versant du Cheliff (Algérie) par modèles linéaires. Séminaire National des sciences de la Terre, Alger, mars 1995.

ALIBOU J, (Octobre 2002): Impacts des Changements Climatiques sur les Ressources en Eau et les Zones Humides du MAROC. Centre d'Etude et de Recherche sur les Systèmes Hydrauliques et Environnementaux. P : 10-100

ANRH (2004) : Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord, rapport : 1.

BOUZELBOUDJEN M. (1987-1997) : Gestion intégrée des ressources en eau. Cours Postgrade 3^{ème} cycle en hydrologie et hydrogéologie. Institut Aménagement Terre et Eaux de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne et le Centre d'Hydrogéologie et l'Université de Neuchatel Inédit.

CAMPELLO S. (1979) : Modélisation de l'écoulement sur de petits cours d'eau du Nord Est (Brésil). Thèse de Docteur-Ingénieur. Paris, VI.

CASTANY G., Margat J. (1977) : Dictionnaire français d'hydrogéologie. BRGM. SGN. Orléans, 249 p.

COULOMB. R (2002) : Problématique de l'eau dans le Bassin Méditerranéen. 2ème Colloque Méditerranéen Eau-Environnement, C M E E, Alger, 8 et 9 Octobre. 16 P

CEMAGREF, (1997) : Régimes hydrologiques : AXE 2 - Mise en cohérence des termes du bilan en eau sur les bassins versants. Lyon - Division Hydrologie – Hydraulique. 250 P

DANNEVILLE, L : Contribution des eaux souterraines aux débits et à la qualité des eaux de surface : exemple de la garonne de ses sources à la confluence du Tarn. Thèse Univ Paris et CNRS Moulins.

DONZIER. J.F, (2001) : Gestion intégrée des ressources en eau : Nouvelles orientations pour préparer l'avenir. Office International de l'eau. Journée mondiale de l'eau. 11 P

DUBREUIL P., (1974) : Initiation à l'analyse hydrologique. (Dix exercices suivi des corrigés). Masson & Cle et O.R.S.T.O.M., Paris 1974. P : 01-93.

FOURNEAUX J.C. (1978) : Etude des échanges nappe-rivière : la nappe de la plaine de l'Isère dans l'Ombilic de Grenoble. Thèse de Doctorat ès Sciences naturelles. Univ. Sc. Et médicale de Grenoble.

GIEC. (1995) : Deuxième rapport du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du climat. P : 100-140

GUSTARD A., ROALD L.A., DEMUTH S., LUMADJENG H.S., GROSS R., (1989): Flow regimes from experimental and network data (FRIEND). Institute of hydrology, Wallingford (UK), 2 vol.

HADJI F, ALLAL F, DAHMANI B, (2002): Traitement des eaux du bassin hydrographique de la Tafna. (N-W Algérie) Desalination 152. P : 113 –124.

HUMBERT J., KADEN U. (1994): Détection des modifications de l'écoulement fluvial au moyen de l'indice de débit de base. Centre d'Etudes et de Recherches Eco-Géographiques, CEREG/URA 95 du CNRS, Université Louis Pasteur, Strasbourg. Revue de Géographie Alpine 1994 N° 2.

LENA M. TALLAKSEN, HENNY A.J. VAN LANEN : (February 2003) : Processes and estimation methods for streamflow and groundwater. Developments in water science. ELSEVIER. P : 107-126

LLAMAS. J (1993) : Hydrologie générale : principes et applications 2^{ème} édition. Gaëtan morin éditeur. Canada. P : 69-380

L'VOVICH M.I., (1972) : Hydrologic budget of continents and estimate of the balance of global fresh water resources. Soviet hydrology (4), pp. 349-360.

MANIA J. (1979) : Simulation des débits superficiels et des niveaux piézométriques dans le bassin crayeux de la Cauche (pas de calais). Coll. Nt. Sur l'hydrologie et la prévision des débits, Paris, 7p.

MEBARKI Azzedine, (1984): Ressources en eau et aménagement en Algérie. Office des publications universitaires. 264 P

MEDDI Mohamed (Juillet 1992): Hydro pluviométrie et transport solide dans le bassin versant de l'oued Mina, Thèse de Doctorat de l'université de Strasbourg.. P : 100-175.

PNE (Plan National de l'eau). (1998) : Evaluation des ressources en eaux superficielles. Région Cheliff – Zahrez. DGAIH, Alger. 140 P.

REMENIRAS G. (1980) : L'hydrologie de l'ingénieur ED. Eyrolles, 2^{ème} éd. Revue et auggmentée, 455P

RIBSTEIN Pierre (1990) : Modèles de crues et petits bassins versants au Sahel. Editions de l'ORSTOM. Institut Français de Recherche Scientifique pour Le Développement en Coopération. Collection Etudes et Thèses. 320 P

SAUQUET, (2000): Cartographie des écoulemnts annuels moyens. Chapitre 2, 42 P.

SCHRAMBACH, MARIANI, MOSTEF A, LEFORT (1966) : Exploitation et conservation des nappes souterraines des plaines du haut, moyen et bas Cheliff de la Mina inférieure.

SMATI Abdelwahab, (Septembre 2000) : Vulnérabilité des ressources en eau en Algérie. Direction de la recherche ANRH, Alger, Algérie. Présentation Power Point. 10 P

VIVIAN H. (1979) : Carte des écoulements moyens en France (hydrologie de surface), maquette d'essai, 1 planche.

VIVIAN H. (1986) : Le Rhône supérieur franco-suisse : fluctuations naturelles et artificielles du régimes fluvial. Revue de Géographie Alpine (1/2), pp. 157-165.