



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université A.MIRA-BEJAIA  
Faculté de Technologie  
Département d'Hydraulique

# Mémoire

Présenté par

Melle BAHLOUL Fayrouz

Pour l'obtention du diplôme de Magister

Filière :Hydraulique

Option : Hydraulique Générale

Thème

## Contribution Au Développement De La Méthode d'Estimation Des Ressources En Eau

(Cas des ressources en eau du bassin versant de la Soummam)

Soutenu le : 17/12/2014

Devant le Jury composé de :

Mr ALLOUACHE	Atmane	M.C.A	Univ. de Béjaïa	Président
Mr LABIOD	Chouaib	M.C.A	Univ. de Béjaïa	Examineur
Mr LADJEL	Mahmoud	M.C.A	Univ. de Béjaïa	Rapporteur

Année Universitaire : 2013/2014

*« Le voyage d'une goutte d'eau qui s'exhale de l'océan et après avoir tout animé sur son passage, revient à l'océan et recommence à décrire sans cesse un cercle bienfaisant » Tissandier (L'eau, Hachette, 1869)*

---

# Remerciements

Ce mémoire n'aurait jamais vu le jour sans les encouragements des personnes que je ne pourrai tous les citer, mais je voudrais leur exprimer collectivement toute ma reconnaissance.

Le travail présenté doit beaucoup aux conseils de Monsieur le Docteur *LADJEL MAHMOUD*, qui ma fait bénéficier de ses connaissances, je le remercie pour ses conseils et pour sa lecture attentive du manuscrit malgré son emploi du temps très chargé. Je voudrais surtout le remercier pour l'esprit de tolérance avec lequel il a dirigé ce travail, aussi le remercier parce qu'il a cru en moi et il a accepté en toute modestie d'être mon promoteur.

Sans oublier, mes remerciements qui s'adressent à mon enseignant Monsieur *BERREKSI*.

Je remercie aussi Monsieur *LAHOUARI* pour son aide.

Je remercie mes collègues *DALIL* et *NASSIM* pour leurs soutiens.

Tous mes respects et reconnaissance se dirigent vers ma famille qui m'a soutenu jusqu'au bout, *FAROUK* et *SOUHILA* qui m'ont toujours dit « fonce n'est pas peur, tu arriveras », mes chers parents, mes frères, mes belles sœurs, *Nadine* et ma *DARINE*.

Sans oublier, 2D, Lefdoudi, Khlifati, 3D, surtout ma Sam.

Aussi, merci à tous mes proches dont je n'étalerai pas ici les noms et les titres, mais qui ont bien sûr une place à part.

A tous mes enseignants, à tous ceux qui m'ont encouragé, à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, à tous ceux qui m'ont accordé leur confiance, à tous ceux qui m'ont montré leur intérêt, à vous tous **MERCI !!**

*Bonne lecture.*



## LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.01	Les bassins versants de l'Algérie.....	12
Tableau II.02	Superficies des sous bassins versants de la Soummam.....	13
Tableau II.03	Paramètres hydrographiques du bassin versant de la Soummam.....	24
Tableau II.04	Caractéristiques morphométriques du bassin versant de la Soummam.....	25
Tableau II.05	Composition du réseau hydro pluviométrique du bassin versant de la Soummam..	25
Tableau II.06	Estimation des eaux souterraines dans le bassin versant de la Soummam.....	26
Tableau II.07	Mobilisation de la ressource en eau souterraine du bassin versant de la Soummam	26
Tableau II.08	Estimation des eaux superficielles dans le bassin versant de la Soummam.....	27
Tableau II.09	Caractéristiques des barrages du bassin versant de la Soummam.....	27
Tableau III.01	Liste des postes pluviométriques retenus se trouvant dans le bassin versant de la Soummam.....	30
Tableau III.02	Liste des postes pluviométriques retenus se trouvant limitrophes au bassin versant de la Soummam.....	31
Tableau III.03	Valeurs de la pluie moyenne annuelle des stations retenues.....	33
Tableau III.04	Paramètres statistiques estimés par la méthode des moments.....	36
Tableau III.05	Paramètres statistiques estimés par la méthode des max-vraisemblance.....	37
Tableau III.06	Paramètres statistiques estimés par la méthode grapho-analytique.....	39
Tableau III.07	Coordonnées des centres hydrographiques et la valeur de la pluie moyenne interannuelle.....	43
Tableau III.08	Valeurs de la pluie moyenne interannuelle estimée par la méthode des isohyètes.....	44
Tableau III.09	Valeurs de la pluie moyenne interannuelle tirée de la carte ANRH 1992.....	45
Tableau III.10	Valeurs de la pluie moyenne interannuelle estimée pour chaque sous bassins par les trois méthodes.....	45
Tableau III.11	Valeur de la pluie moyenne interannuelle (PMI) adoptées.....	49
Tableau III.12	Liste des stations hydrométriques.....	50
Tableau III.13	Débit moyen mensuel et annuel enregistré à la station Tilesdit (150106) pour la période (1968-1987).....	51
Tableau III.14	Liste des stations hydrométriques retenues.....	52
Tableau III.15	Débit moyen mensuel et annuel à la station Tilesdit (150106) après comblement des lacunes.....	53
Tableau III.16	Caractéristiques statistiques estimés par la méthode des moments.....	54
Tableau III.17	Caractéristiques statistiques estimés par la méthode du max-vraisemblance.....	54
Tableau III.18	Caractéristiques statistiques estimés par la méthode grapho-analytique.....	56
Tableau III.19	Valeurs de l'écoulement moyen interannuel choisi pour les sous bassins versant de la Soummam.....	59
Tableau III.20	valeurs de l'évapotranspiration de chaque sous bassins versants de la Soummam.....	59
Tableau IV.01	Les données climatiques et morphométriques des sous bassins versants.....	62
Tableau IV.02	Résultats de calcul du coefficient climatique $C_a$ .....	72
Tableau IV.03	Résultats de calcul du coefficient d'écoulement $C_a^*$ .....	74
Tableau V.01	Caractéristiques morphométriques et climatiques des sous bassins versants.....	78
Tableau V.02	Valeurs du coefficient de référence climatique obtenue pour les différents sous bassins versants.....	79
Tableau V.03	Valeurs calculées du coefficient $k^*$ avec la méthode régression multiple.....	85

**LISTE DES FIGURES**

Figure II.01	Détermination de H' .....	10
Figure II.02	La dépendance $\Phi=f(S)$ .....	12
Figure II.03	Les bassins versants de l'Algérie.....	12
Figure II.04	Les sous bassins versants de la Soummam.....	13
Figure II.05	Les étages bioclimatiques du bassin versant de la Soummam.....	16
Figure II.06	Carte de la pluie moyenne annuelle du bassin versant de la Soummam.....	17
Figure II.07	Carte de l'évapotranspiration du bassin versant de la Soummam.....	18
Figure II.08	Carte du réseau hydrographique du bassin versant de la Soummam.....	22
Figure II.09	Carte du réseau pluviométrique et hydrométrique du bassin versant de la Soummam.....	26
Figure III.01	Carte de la position des stations pluviométriques retenues.....	31
Figure III.02	Courbe des fréquences empiriques des pluies annuelles de la station (02 1911).....	38
Figure III.03	Graphique de la dépendance $P_{ographe-analytique}=f(P_{omoment})$ .....	40
Figure III.04	Graphique de la dépendance $C_{v\ graphoanalytique}=f(C_{v\ moment})$ .....	40
Figure III.05	Graphique de la dépendance $C_{v\ maxvraisemblance}=f(C_{v\ moment})$ .....	41
Figure III.06	Graphique de la dépendance $C_{v\ maxvraisemblance}=f(C_{v\ graphoanalytique})$ .....	41
Figure III.07	Carte de la pluie moyenne interannuelle (PMI) du bassin versant de la Soummam.....	42
Figure III.08	Carte de la pluie moyenne interannuelle (P.M.I.) du bassin versant Soummam extraite de la carte édité par l'ARNH.....	44
Figure III.09	Graphique de la dépendance $PMI_{isohyèteS}=f(PMI_{centre hydrologique})$ .....	46
Figure III.10	Graphique de la dépendance $PMI_{isohyèteS}=f(PMI_{ANRH})$ .....	46
Figure III.11	Graphique de la dépendance $PMI_{centre hydrologique}=f(PMI_{ANRH})$ .....	47
Figure III.12	Graphique de la dépendance $PMI_{centre hydrologique}=f(latitude)$ .....	47
Figure III.13	Graphique de la dépendance $PMI_{isohyètes}=f(latitude)$ .....	48
Figure III.14	Graphique de la dépendance $PMI_{ANRH}=f(latitude)$ .....	48
Figure III.15	Position des stations hydrométrique du bassin versant de la Soummam et des bassins limitrophes.....	49
Figure III.16	Evolution de l'information hydrométrique.....	50
Figure III.17	Pourcentage d'information hydrométrique disponible pour 18 stations (en blanc station non retenue).....	51
Figure III.18	Courbe des fréquences empiriques des écoulements annuels du bassin de la Soummam à la station Boubirek (150703).....	55
Figure III.19	Graphique de la dépendance $E_0\ grapho-analytique = f(E_0\ moments)$ .....	56
Figure III.20	Graphique de la dépendance $C_v\ grapho-analytique = f(C_v\ moments)$ .....	57
Figure III.21	Graphique de la dépendance $C_v\ max\ vraisemblance = f(C_v\ moments)$ .....	57
Figure III.22	Graphique de la dépendance $C_s\ grapho-analytique = f(C_s\ moments)$ .....	58
Figure III.23	Graphique de la dépendance $C_s\ max\ vraisemblance = f(C_s\ moments)$ .....	58
Figure IV.01	Graphique de la dépendance $C_v=f(latitude)$ .....	63
Figure IV.02	Graphique de la dépendance $ln(C_v/S+1)=f(ln(S+1))$ .....	63
Figure IV.03	Graphique de la dépendance $ln(C_v/P_o)=f(ln(P_o))$ .....	64
Figure IV.04	Graphique de la dépendance $ln(C_v/H_{moy}+1)=f(ln(H_{moy}+1))$ .....	64
Figure IV.05	Graphique de la dépendance $k=f(latitude)$ .....	65
Figure IV.06	Graphique de la dépendance $ln(k/S+1)=f(ln(S+1))$ .....	65

Figure IV.07	Graphique de la dépendance $\ln(K/P_o)= f(\ln(P_o))$ .....	66
Figure IV.08	Graphique de la dépendance $\ln(K/H_{moy}+1)=f(\ln(H_{moy}+1))$ .....	66
Figure IV.09	Graphique de la dépendance $\alpha= f(\text{latitude})$ .....	67
Figure IV.10	Graphique de la dépendance $\ln(\alpha/S+1)= f(\ln(S+1))$ .....	68
Figure IV.11	Les pluies sur les versants Nord et Sud du bassin de la Soummam.....	68
Figure IV.12	Graphique de la dépendance $\ln(\alpha/H_{moy}+1)= f(\ln(H_{moy}+1))$ .....	69
Figure IV.13	Graphique de la dépendance $\ln(\alpha/P_o)= f(\ln(P_o))$ .....	69
Figure IV.14	Graphique de la dépendance $C_{cv}= f(\text{latitude})$ .....	70
Figure IV.15	Graphique de la dépendance $C_k= f(\text{latitude})$ .....	71
Figure IV.16	Graphique de la dépendance $C_\alpha= f(\text{latitude})$ .....	71
Figure IV.17	Carte du coefficient $C_\alpha$ .....	72
Figure IV.18	Graphique de la dépendance $C_\alpha^*= f(\text{latitude})$ .....	74
Figure IV.19	Carte du coefficient $C_\alpha^*$ .....	75
Figure V.01	Position des stations Ain Zada et Magraoua.....	80
Figure V.02	Graphique dépendance $E_{réel}, E_{clim} = f(S)$ .....	80
Figure V.03	Dépendance entre coefficient de référence climatique k et la superficie des bassins versants.....	81
Figure V.04	Graphique de la dépendance $\ln(k/P_o) = f(\ln(P_o))$ .....	82
Figure V.05	Graphique de la dépendance $\ln(k/(S+1)) = f(\ln(S+1))$ .....	83
Figure V.06	Graphique de la dépendance $\ln(k/(H_{moy}+1)) = f(\ln(H_{moy}+1))$ .....	83
Figure V.07	Graphique de la dépendance $\ln(k/(\Phi +1)) = f(\ln(\Phi +1))$ .....	84
Figure V.08	Graphique de la dépendance $k= f(\text{latitude})$ .....	85
Figure V.09	Carte de $C_k$ à la limite du bassin de la Soummam.....	86

# INTRODUCTION GENERALE

---

## INTRODUCTION GENERALE

La formation de la pluie constituait une grande énigme pour les hommes, ce n'est qu'après le développement de la science qu'il été devenu possible de comprendre ce mécanisme, qui se déroule en trois étapes : une montée vers le ciel, formation des nuages et finalement les gouttes de pluie apparaissent.

En 1674 Pierre Perrault hydrologue français, édita un traité « De l'origine des fontaines » ou il a démontré à l'aide d'une série d'expériences, que la pluie ne pénétrait pas dans le sol au-delà d'environ 60 centimètres et qu'ainsi, la plupart de la pluie qui tombe ne va pas dans les sources. Il introduisit le concept de bassin versant : il mesura le débit de la Seine au Bar-sur-Seine et la pluie tombée. Après un an, il trouva que le volume d'eau écoulee représentait un peu plus de la moitié de ce que le bassin versant à l'amont de son point de mesure avait pu recevoir.

Il en conclut qu'il n'était pas besoin d'avoir recours à des théories compliquées pour expliquer l'origine des sources : l'eau des rivières vient tout simplement de la pluie. Cette conclusion a ensuite été étayée par une analyse quantitative plus rigoureuse publiée par Edme Mariotte (1686), qui développa une méthodologie pour mesurer les vitesses d'écoulement et les débits dans son "Traité du mouvement des eaux et des autres corps fluides".

Pierre Perrault, attribua la différence à l'évapotranspiration, dont l'existence fut démontrée quelques années plus tard par Edmond Halley en 1687. [2].

Il continua de développer la théorie du cycle hydrologique, qui représente correctement le rôle de l'évaporation, de la transpiration, des infiltrations et du ruissellement de surface.

Le déficit d'écoulement est la différence entre la quantité des précipitations sur un bassin versant et la quantité d'eau écoulee à l'exutoire de ce dernier, exprimé en lame d'eau. Cette différence est calculée pour une année, on parle du déficit d'écoulement annuel ou pour plusieurs années, déficit d'écoulement interannuel. Pour que le déficit d'écoulement annuel ait une signification, il convient que le calcul se rapporte à l'année hydrologique, c'est-à-dire 12 mois consécutif, allant d'Octobre à Septembre. Pour un hydrologue, on parle du déficit d'écoulement et pour un agronome on parle de l'évapotranspiration. [3].

A la renaissance, Léonard de Vinci scientifique florentin et Bernard Palissy savant français, ont réalisé de nombreuses observations et mesures, ou Palissy était le premier à décrire le cycle de l'eau en 1530, la façon dont l'eau s'évapore des océans puis forme des nuages qui se déplace vers les terres, tombe sous forme de pluie. Il a fallu attendre le XVIIème siècle pour arriver à une formulation exacte. Le XVIIIème siècle traita surtout de la mécanique des fluides et de l'hydraulique : formule de Chézy pour calculer le débit d'un cours d'eau, piézomètre de Bernoulli, moulinet de Woltmann. Les eaux souterraines furent particulièrement étudiées au XIXème siècle. Les fondements de l'hydrogéologie moderne furent posés par Darcy en 1856. Alexis Clairaut et Georges Buffon mathématiciens français mettent en évidence que "le cycle de l'eau ne peut être qu'atmosphérique"

Edmond Halley établit la première synthèse hydrologique régionale en rapprochant la moyenne des précipitations annuelles et le débit. Il était enfin confirmé que les rivières, les sources et les eaux souterraines étaient alimentées par les précipitations. [1].

A l'origine, l'évaluation des ressources en eau se base essentiellement sur un réseau de stations de mesures hydrométriques. Néanmoins, pour réaliser ce travail, on doit avoir non seulement des données de mesures, concernant ces postes, mais aussi des données des régions limitrophes. Ces données sont généralement des données physiographiques tel que la superficie et la forme du bassin versant.



Dans le glossaire international d'hydrologie [4], l'évaluation des ressources en eau est définie comme la « détermination des sources, de l'étendue, de la fiabilité et de la qualité des ressources en eau en vue de leur utilisation et de leur maîtrise ». Les ressources en eau sont définies comme « l'ensemble des eaux disponibles, ou que l'on peut mobiliser, pour satisfaire en quantité et en qualité une demande donnée en un lieu donné, pendant une période appropriée ». [5]

Les techniques utilisées, pour l'évaluation, sont principalement la cartographie, la modélisation et les méthodes moins complexes telles que l'interpolation linéaire.

Afin de réaliser cette évaluation, on doit collecter, traiter et analyser les données hydrométéorologiques nécessaires, qui sont sur le cycle de l'eau tel que la pluie. Ces informations sont d'une grande importance, car s'il se produit un événement extrême et il n'est pas mesuré et porté à temps, la donnée sera perdue à jamais, et elle ne peut être remplacée et le manque d'observation ne pourra plus être comblé d'une façon vraisemblable.

Les données physiographiques à collecter sont la donnée topographique qui est un facteur explicatif des variations des éléments du cycle de l'eau, géologique et géomorphologique qui déterminent la valeur des coefficients de ruissellement et d'infiltration, pédologiques qui sont le sol et le climat, en particulier les caractéristiques pluviométriques, le ruissellement, l'infiltration et d'autres paramètres hydrométéorologiques, la couverture végétale qui joue un rôle sur le taux d'évaporation.

Le bilan hydrique est le résultat d'une succession de phase où l'eau passe de l'atmosphère vers la terre et de la terre vers l'atmosphère, de l'évaporation des mers ou des nappes d'eau vers une condensation en nuage puis précipitation et accumulation dans le sol ou à la surface puis ré-évaporation, c'est un cycle continu dans le temps, formé par quatre paramètres qui sont : les précipitations, l'évaporation, écoulement et la réserve en eau dans le sol.

Les ressources hydriques des oueds, notamment en Algérie, se forment essentiellement par les précipitations durant la saison hivernale. Cette ressource est exprimée à travers l'écoulement moyen interannuel. Dans les grands bassins l'écoulement est égal à la somme des principaux facteurs climatiques (pluie+évaporation); par contre dans les petits et moyens bassins, l'écoulement est soumis à l'influence prédominante des facteurs physico-géographiques locaux.

L'objectif de ce travail est d'établir des relations analytiques exprimant l'écoulement moyen interannuel en fonction des principaux facteurs déterminants (la superficie  $S$ , l'altitude moyenne  $H_{\text{moy}}$ , la pluie  $P_0$ ), sachant à priori, la complexité du phénomène ne permet pas d'établir une relation analytique générale, qui tient compte de l'influence de tous facteurs non quantifiés, d'où nous sommes contraints de faire appel à la cartographie.

Notre recherche porte sur le bassin versant de la Soummam, pour qui l'évaluation des ressources en eau est d'une grande importance, car ce bassin connaît une croissance que ce soit démographique, industrielle....

La présente recherche concerne, dix sous-bassins versants de la Soummam et cinq sous-bassins limitrophes à celui-ci. La superficie de ce dernier est de 9 125 km<sup>2</sup>. Il s'étend des marges des hautes plaines de Hodna au Sud, à la mer méditerranée et le massif de Djurdjura au Nord.

Notre travail est devisé en deux parties principales :

- ❖ La première vise à décrire le bassin versant objet de l'étude. Ce diagnostic physico-géographique nous permettra de caractériser les principaux facteurs morphologiques, lithologiques et climatiques.
- ❖ La seconde est consacrée à l'analyse des dépendances entre l'E.M.I et les différents facteurs climatiques et physico-géographiques.

# CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

---



L'évaluation des ressources en eau nécessite des données sur les variations spatiotemporelles des écoulements, et des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de l'eau présente dans les divers éléments de son cycle (précipitation, évaporation, humidité de l'air, ruissellement, cours d'eau, lacs, neiges et glaces, humidité du sol, eaux souterraines). Les besoins en données peuvent occuper des rangs de priorité différents selon les pays ou même selon les régions d'un seul et même pays. Ces priorités sont déterminées d'une part par les besoins présents ou futurs des usagers et, d'autre part, par les caractéristiques des ressources en eau disponibles. Cependant, ces dernières ne peuvent être estimées sans les informations obtenues à partir des études d'évaluation de base.

L'idée du rôle prédominant du climat dans la formation de ressources en eau que se soit superficielles ou souterraines est basée sur des principes théoriques fondamentaux sur lesquels la science moderne d'hydrologie a été développée.

Au début, ces relations semblent être particulièrement utiles pour une évaluation quantitative des ressources en eau, où l'hydrologie connaît un développement dans des conditions d'observations extrêmement inadéquates, contrairement à la connaissance météorologique. A ce moment là, les caractéristiques des écoulements fluviaux étaient habituellement tirées des données météorologiques.

Une simple équation basée sur une période de longue durée, pour un grand bassin versant, était la base méthodologique de ce calcul, a été formulée par **Penk** (1896) et **Voejkov** (1948):

$$\bar{E} = \bar{P} - \bar{Z} \dots\dots\dots(1)$$

avec

$\bar{E}$ : écoulement annuel,

$\bar{P}$ : précipitations annuelles,

$\bar{Z}$  : évaporation annuelle

A partir de cette équation, on admet que, si les bassins versants n'ont aucun échange d'eau avec les bassins adjacents et drainent la totalité des eaux souterraines, l'écoulement est déterminé par des facteurs climatiques seulement : les précipitations et l'évaporation.

Pour les autres caractéristiques d'un bassin, comme la morphologie, la couverture végétale, les sols et sous sols, affectent l'écoulement via la précipitation et l'évaporation.[6]

En 1904, **Schreiber** a proposé un modèle, qui permet l'estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) à partir de la pluviométrie et de l'évapotranspiration potentielle (ETP), au pas de temps interannuel en faisant appel à la fonction exponentielle. Alors que **Ol'dekop** (1911) a proposé le modèle sans paramètres, en utilisant une fonction «tangente hyperbolique».

Ensuite, plusieurs chercheurs ont proposés des dépendances diverses de l'écoulement aux précipitations et au déficit d'humidité de température de l'air (exemple **Sokolov** et **Chebotarev** en 1970). Ces formules n'ont pas été largement utilisées, puisqu'ils n'ont pas entièrement reflété la nature physique des liaisons entre les composantes du bilan hydrique dans la gamme entière de leurs variations et ils n'ont fourni non plus des calculs de l'écoulement fiable en particulier dans les zones du déficit d'eau.

Les diverses dépendances linéaires et non-linéaires des écoulements aux précipitations et autres facteurs météorologiques, étaient largement appliquées pour l'évaluation des ressources en eau, jusqu'à 1940.

Pour estimer les ressources en eau, directement, à partir de l'équation (1), il était nécessaire en premier lieu de développer une méthodologie fiable pour la détermination de l'évaporation. Les solutions fondamentales de ce problème ont été d'abord faites par **Schreiber** (1904) et **Ol'dekop** (1911).

**Schreiber** (1904) a proposé un modèle qui permet de calculer l'évapotranspiration réelle (Z) à partir de la pluviométrie (P) et de l'évapotranspiration potentielle (E) au pas de temps annuel, en faisant appel à la fonction exponentielle, ce modèle s'écrit comme suit : [2]

$$Z = P \cdot (1 - e^{-k/P}) \dots\dots\dots(2)$$

Donc l'écoulement devient comme suit :

$$E = P \cdot e^{-k/P} \dots\dots\dots(3)$$

La recherche qui montre l'interaction entre le climat et les caractéristiques des ressources en eau et qui reste valable, même de nos jours, a été établie par **Ol'dekop** (1911). Celui-ci a proposé les équations célèbres suivantes pour calculer l'évaporation et l'écoulement, comme cité en haut, c'est un modèle sans paramètres, il utilise des fonctions mathématiques usuelles, la fonction « tangente hyperbolique » :

$$Z = Z_0 \tanh \frac{P}{Z_0} \dots\dots\dots(4)$$

$$E = P - Z_0 \tanh \frac{P}{Z_0} \dots\dots\dots(5)$$

Où  $Z_0$  est l'évaporation maximale probable (ETP) dans le cas d'un sol à humidité suffisante ou l'évaporation potentielle du sol.

D'après **Ol'dekop** (1911), les équations (4) et (5) sont appliquées pour des saisons de six mois d'hiver et d'été et  $Z_0$  est estimé à partir des moyens de dépendances empiriques au déficit de saturation en été et en hiver.

Les équations Ol'dekop, ont été appliquées avec succès pendant plusieurs années sans aucun changement.

En 1928, **Velikanov M.A** et **Sokolovsky D.L**, sur la base des données de 18 bassins versants du territoire européen de l'U.R.S.S. et de l'Allemagne Occidentale, où le coefficient de l'écoulement varie de 0.13 à 0.41 et le déficit d'humidité varie de 3.6 à 1.76, ont pu mettre à l'évidence la formule du coefficient de l'écoulement suivante:

$$\alpha_0 = 1 - \sqrt{\frac{d}{d_{max}}}$$

où:

$d_{max}$  = 4.8 mm est la valeur maximale du déficit de l'humidité de l'air.

Quand  $d < 2$  et  $d > 4$ , cette formule donne des écarts importants par rapport aux valeurs observées. Et pour remédier, **Kritsky S.N** et **Menkel M.F** ont proposé la formule empirique suivante:

$$\alpha_0 = \frac{11}{d^3 \sqrt{d} + 11}$$

Alors que **Poliakov B.V**, pour les régions arides où  $d > 3.00\text{mm}$ , propose la formule:

$$\alpha_0 = k_0 \frac{9}{d^3 + 9}$$

où:

$k_0$ : coefficient de correction qui peut être donné par un calcul inverse.

En 1948, ces relations ont été modifiées par **Budyko** qui a proposé l'utilisation du ratio de l'équilibre de radiation de la surface humidifiée ( $R_0$ ) à la chaleur latente de l'évaporation :

$$E = \frac{R_0}{L} \dots\dots\dots(6)$$

Selon cette équation, on remarque, qu'il y a une combinaison eau-bilan énergétique. Donc, selon **Ol'dekop-Budyko**, les dépendances des ressources en eau, dans n'importe qu'elle région, aux paramètres climatologiques peut être présenté comme suit :

$$E = P - \frac{R_0}{L} \tanh \frac{P.L}{R_0} \dots\dots\dots(7)$$

$$\alpha = 1 - \frac{R_0}{L.P} \tanh \frac{P.L}{R_0} \dots\dots\dots(8)$$

$\alpha$ : coefficient d'écoulement

$\frac{R_0}{L.P}$ , dans l'équation (8), est appelé indice de sécheresse, étant une caractéristique du contenu totale d'une zone.

L'application des équations (7) et (8) dans les zones jaugées, montre qu'elles reflètent tout à fait les lois naturelles zonales de variation de composante du bilan hydrique (**Fedorov 1977**). Les valeurs de l'écoulement observées sont celles calculées à partir de l'équation (7).

Plusieurs méthodes ont été proposées, plus tard dans plusieurs pays, pour calculer l'évaporation, on peut citer les graphiques de dépendances entre l'évaporation et la température de l'air, proposés par **Kuzin (1934)**, qui étaient largement utilisées en URSS. Cette méthode est simple et précise pour les zones humides, où il y a une abondance d'eau. Durant les années 1940 et 1950, la méthode de **Poliakov (1946)** et des méthodes de calcul d'évaporation par **Thornthwaite (1939)**, **Penman (1948)** et **Turc (1954)** ont été développées et largement appliquées en URSS et dans d'autres pays.

Il est à noter, qu'au début des années quarante, les méthodes de calcul de l'évaporation ont été principalement développées, non seulement pour évaluer l'écoulement annuel, mais pour étudier la dynamique de l'évaporation elle-même, et aussi pour calculer le bilan de l'eau des rivières et des surfaces à des physiographies variables.[7]

Ceci est expliqué du fait que les calculs de l'E.M.I à partir de l'équation du bilan hydrique apparaissent appropriés pour les régions arides, où l'écoulement est faible et son amplitude se rapproche de la valeur de l'erreur des précipitations et de l'évaporation.

Pour les régions humides, où le réseau hydrométrique est dense, les données climatiques peuvent être utiles, pour étudier les caractéristiques de l'écoulement et ses variations spatiales ainsi la disponibilité de l'eau.

**Tixeront** (1963), a proposé son idée de base, concernant son modèle, lié à l'existence d'une certaine corrélation entre la pluviosité moyenne annuelle et le ruissellement moyen annuel. Ces éléments étant relatifs aux longues périodes d'observation, une trentaine d'années par exemple (pas de temps pluriannuel). Il estime, que ces corrélations existent quand on a affaire à des bassins aux sols normalement constitués, ni trop perméables (terrains karstiques ou dunaires), ni trop squelettiques (zones trop arides en particulier).

Par la suite, il a cherché en Tunisie une relation simple permettant, pour des bassins 'normaux', d'estimer l'écoulement annuel moyen à partir des données pluviométriques et de l'évapotranspiration potentielle.

On prend comme exemple, les enquêtes munies par **Mezentsev** et **Karnatsevich** (1969), **Nikitin** et **Zemtsov** (1986), pour le territoire ouest sibérien.

Cette méthode climatologique pour déterminer l'écoulement à partir de la différence entre les précipitations et l'évaporation était appliquée avec succès par **Baumgarther** et **Reichel** (1975), pour tous les continents.

Cette approche rend possible les déterminations des ratios entre les composantes du bilan hydrique pour une période à long terme, relatif aux continents et aux océans dans le Nord et le Sud de l'hémisphère.

Quand un réseau hydrométrique est dense et organisé dans les petites et grandes rivières, il est clair, qu'une évaluation des ressources en eau sera fiable, car elle est faite directement des données d'écoulement prises à partir des observations, en utilisant les méthodes de pondération ou de cartographie, pour les zones d'insuffisance humidité et dans les régions arides.

En 1974, **Padoun N-N**, pour estimer le module spécifique d'écoulement, a eu recours à l'altitude moyenne  $H_{moy}$  des bassins versants (selon lui, facteur intégrateur des précipitations, et également facteur influençant la diminution de l'évaporation due à la baisse de la température de l'air). Ce paramètre est pris en compte à travers un coefficient  $k h_{moy}$  qui varie de 1 au niveau de la mer à 1,7 à une altitude de 1 800 m. Selon la relation simplifiée proposée par **Sogreah**, 1989, pour utiliser la table de **Padoun**.

« Connaissant la pluie moyenne interannuelle  $P$  (en mm), le module spécifique (en l/s/km<sup>2</sup>) est calculé comme suit :

si  $P = 200$  à  $900$  mm/an : Module spécifique =  $kh_{moy} (0,0019 P - 3,57)$

si  $P = 900$  à  $1800$  mm/an : Module spécifique =  $kh_{moy} (0,0236 P - 14,2)$  »

Cet auteur a, toutefois, émis des remarques sur le peu de perspectives à accorder à des liaisons entre éléments du relief et écoulement, à cause de l'information limitée sur l'écoulement et de la nature complexe de l'orographie du pays. En égard à ces limites, les nombreuses formules, à travers lesquelles les hydrologues ont cherché à mettre en équation les régimes hydrologiques observés en Algérie, se sont réduites, en majorité à faire intervenir la variable pluie et, au plus, la variable surface du bassin versant.

**Rodier** (1975), a effectué une synthèse sur les données de l'écoulement annuel des bassins versants de la zone entre les pluviosités interannuelles 300 et 800 mm. Trois paramètres ont été retenus pour la régionalisation : la surface du bassin, la pluie annuelle et le paysage correspondant au bassin, c'est-à-dire l'ensemble des états de surface des sols et des facteurs caractérisant la pente. Chaque paysage correspond à un bassin type. On peut interpoler les résultats entre deux bassins types s'ils comportent les mêmes composantes en proportion variables.

**Dubreuil** et **Vuillaume** (1975), à partir d'une zonation climatique des bassins versants de l'Afrique de l'Ouest, présentent des formules de type régression linéaire, donnant l'écoulement moyen interannuel d'un petit bassin versant en fonction des variables suivantes : la pluie annuelle, l'évaporation, le pourcentage de culture, le pourcentage de surface occupée et un indice représentant la surface et la dégradation hydrographique du bassin. [8]

En 1977, **Deri J.**, dans sa recherche sur l'estimation des écoulements annuels des bassins algériens (complétés par **Sarvary I.** en 1987), a tenté de trouver des relations entre l'écoulement et les paramètres morphométrique, relations qui se sont avérées « très peu serrées », à l'exemple de la relation entre la densité de drainage et l'apport spécifique, traduite par un coefficient de corrélation assez faible ( $R = 0,47$ ).

**Sircoulon Jacques**, dans son article « Impact des changements climatiques sur les ressources en eau de surface en Afrique de l'Ouest et Centrale », a cité également les grandes synthèses régionales, qui apportent pour les grands bassins tropicaux intégrant le Sahel, des informations très précieuses sur les écoulements et les facteurs conditionnels des régimes hydrologiques en particulier la monographie du Sénégal. La constatation la plus importante est relative aux comportements différents des petits et grands bassins sahéliens vis à vis de l'écoulement.

Les études montrent ainsi que sur les bassins, de moins de quelques milliers de  $\text{km}^2$ , la distribution de l'écoulement n'a pas radicalement changé, le déficit pluviométrique étant compensé par une augmentation des coefficients de ruissellement (phénomène d'imperméabilisation des sols en surface, diminution de la végétation; par contre pour les plus grandes superficies les phénomènes d'évaporation et de dégradation hydrographique l'emportent et l'on rejoint le comportement des grands bassins fluviaux où les déficits d'écoulement sont énormes. [9]

**Salah Aidaoui** considère, que les variations spatiales de l'écoulement annuel superficiel, à l'échelle des bassins hydrologiques, peuvent être mieux caractérisées par les débits spécifiques, qui permettent de faire la comparaison à d'autres bassins d'étendues différentes, car ils synthétisent l'interaction des divers facteurs à l'échelle annuelle, d'un bassin à l'autre. [10]

D'après **Cemagref** (1989), « L'apport annuel, ou module, est la première grandeur à connaître pour un bassin versant donné. Sa valeur moyenne peut servir notamment à l'estimation d'autres caractéristiques hydrologiques qui lui sont liées ». C'est également de la bonne connaissance des apports et de leur variabilité que dépend le dimensionnement adéquat des ouvrages de régularisation des débits des cours d'eau.

Dans l'hydrologie et la météorologie, les méthodes utilisées pour évaluer les paramètres climatiques ainsi que les ressources en eau, sont basées sur le concept de la stationnarité du climat, c'est-à-dire que les conditions climatiques sont considérées similaires à celle observées dans le passé.



Actuellement, on ressent un changement climatique, comparé aux années précédentes, ce changement est dû à l'activité humaine (la construction des barrages, les incendies, la viabilisation, exploitation de forêt, élimination de couvert végétal.....). Toutes ces activités donnent un seul résultat, qui est la croissance de la présence du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, ce qui conduit à une augmentation de la température. La concentration en CO<sub>2</sub> était évaluée la première fois par **Callender** (1938), et suite à ces données, le doublement de la teneur en CO<sub>2</sub> provoquera une élévation de la température moyenne de l'air de 2°C. Au début des années 70, **Budyko** (1972) a démontré que la température moyenne de l'air devrait augmenter de 0.2°C dans les 10 années qui suivent, et qu'il faut prendre en considération cette variation. Cette conclusion a été soutenue par **Bolin** et **Boecker** (1975). A partir des années 80, lors des conférences sur le changement anthropique du climat, il a été prononcé que le réchauffement climatique est inévitable.[11]

On déduit que l'évaluation des apports annuels d'un bassin versant, dépend de plusieurs paramètres, climatologiques : précipitations, l'évaporation, la température ; morphométrique, exemple : la surface du bassin, le couvert végétal ; activité humaine....

On connaît l'extrême variabilité des ressources en eau superficielle et les problèmes que cela pose en aménagement du territoire. En conséquence, générer de longues séries de débits annuels (ou mensuels) est une nécessité pour l'étude de la disponibilité des ressources en eau. (BURGES et LETTENMAIER, 1975).

La détermination des écoulements moyens interannuel (E.M.I), est une étape importante pour pouvoir gérer et estimer la ressource en eau, car on se retrouve confronter d'une part à la disponibilité et d'autre part aux besoins à cette échelle ; aussi un paramètre d'une grande importance qu'on doit prendre en considération qui est la température, qui joue un rôle essentiel dans le réchauffement de la planète, dont plusieurs recherches ont été faites pour montrer le poids de ce critère et son impact sur la disponibilité des ressources en eau.



CHAPITRE II : DESCRIPTION PHYSICO-  
GÉOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE DU BASSIN  
VERSANT DE LA SOUMMAM

---



## **II-1-Introduction :**

Le bassin versant est un territoire dont les limites sont naturelles, dans lequel les écoulements des eaux convergent vers un seul point appelé exutoire, donc cet espace peut être considéré comme étant isolé, du point de vue hydrologique. Puisque toutes les eaux, qui tombent à l'intérieur des limites du bassin versant, peu importe l'endroit, aboutissent à la même porte de sortie, qui est l'exutoire du cours d'eau principal qui draine ce bassin versant.

Ce qui se passe dans un bassin versant est un échange d'eau entre l'atmosphère, la surface et le souterrain ; cette circulation d'eau obéit à un système hydrologique complexe. On retrouve plusieurs phénomènes qui réagissent simultanément : les précipitations, l'évaporation, l'évapotranspiration (transpiration des végétaux), la condensation et le ruissellement. L'eau s'évapore, chauffé par l'énergie solaire, se disperse sous forme de vapeur dans l'atmosphère, puis se refroidissant, l'eau se condense et forme des gouttelettes qui constituent des nuages. L'eau ensuite retombe sur terre et océans sous forme de grêle, pluie ou neige, puis ruisselle ou s'infiltré dans le sol alimentant les nappes phréatiques, une partie rejoint les cours d'eau, se jette ensuite dans les mers et les océans.

Cette transformation est appelée le cycle hydrologique, qui est un ensemble de phénomènes de renouvellement de l'eau sur terre, et c'est un mécanisme concomitant, qui n'a ni début ni fin. Ce régime hydrologique est influencé par plusieurs facteurs, tels que la topographie, la morphologie du bassin, c'est le cas de notre bassin versant de la Soummam ou la connaissance de ses caractéristiques sont indispensables pour l'élaboration de notre étude.

## **II-2-Caractéristiques d'un bassin versant :**

La circulation de l'eau est influencée par deux paramètres, le climat et la zone. Avant de réaliser une étude hydrologique, la connaissance des caractéristiques de cet endroit est importante et qui sont : la topographie, l'occupation du sol, la pédologie, la végétation...etc... toutes ces caractéristiques jouent un rôle important dans l'étude de certaines composantes du cycle hydrologique.

Un bassin versant est souvent associé à un cours d'eau, possédant en général un seul exutoire. Sa surface est délimitée par la ligne reliant tous les points haut de la région formant ainsi une ligne de partage des eaux, à l'extérieur de ce périmètre, les précipitations ne contribuent pas au débit du cours d'eau. Jusqu'à présent la notion du bassin versant se rapporte à un bassin topographique c'est-à-dire défini par le relief du terrain.

La physiographie décrit la variation spatiale des caractéristiques physiques d'un bassin versant ayant un impact hydrologique puisqu'elles ont un effet sur l'acheminement de l'eau. Une gamme d'indice et de paramètres ont été développée pour permettre la comparaison des bassins versants entre eux.

La superficie d'un bassin versant est l'aire délimitée par la ligne de partage des eaux, représente un paramètre important puisque la quantité d'eau drainée est proportionnelle à la surface du bassin versant.

La forme (liée à l'indice de Gravelius), d'un bassin versant et ces altitudes, sont également des caractéristiques qui affectent l'acheminement de l'eau. Les bassins versants existent sous diverses forme, il y a ceux qui ont une forme compacte drainent l'eau rapidement que les bassins qui sont allongés.

La différence des hauteurs est due à la répartition de l'altitude dans un bassin versant. Cette distribution est appelée courbe hypsométrique, qui décrit le pourcentage de l'aire totale du bassin au dessus ou au dessous d'une hauteur donnée. Les altitudes sont indicatrices de la rapidité avec laquelle le bassin draine les précipitations, particulièrement les écoulements superficiels. On peut tirer de cette courbe, l'altitude moyenne, médiane et la pente moyenne.

La pente est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin, la vitesse des ruissellements et les temps de concentration (et donc de la réponse hydrographique), elle influence directement sur le débit de pointe lors d'une averse.

La pente moyenne du cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin donc le temps de concentration.

### Pente moyenne d'un cours d'eau :

Dans la pratique hydrologique, la question relative à la détermination de la pente longitudinale d'un cours d'eau est toujours posée. Pour la plupart des rivières, cette pente varie en longueur dans le sens de l'écoulement fluvial. Pour la quasi-totalité des cours d'eau, avec un profil concave, la pente est maximale à la source et minimale à l'exutoire. Les différents concepts, proposés par les hydrologues, visent à trouver un équivalent de cette caractéristique, facile à réaliser et à appliquer.

En réalité, on ne possède pas la pente moyenne du bassin versant, et par manque de cette donnée on se contente d'utiliser comme indice de pente, la pente brute du cours d'eau.

On propose, la détermination de la pente moyenne, au niveau d'une section donnée sur un cours d'eau, consiste à chercher la hauteur équivalente  $H'$  d'un triangle, de superficie égale à celle de la projection du profil en long du cours d'eau, entre les altitudes  $H_{max}$  en amont et  $H_{min}$  en aval.

Pour cela, sur une carte topographique, on fixe la section du projet sur le cours d'eau et dans un système d'axes orthogonal, on trace le profil en long du thalweg principal, dont l'extrémité en zone amont est située à l'altitude  $H_{max}$  l'extrémité à l'exutoire est située à l'altitude  $H_{min}$ , comme nous le montre la figure ci-dessous. (cas d'un bassin versant quelconque).

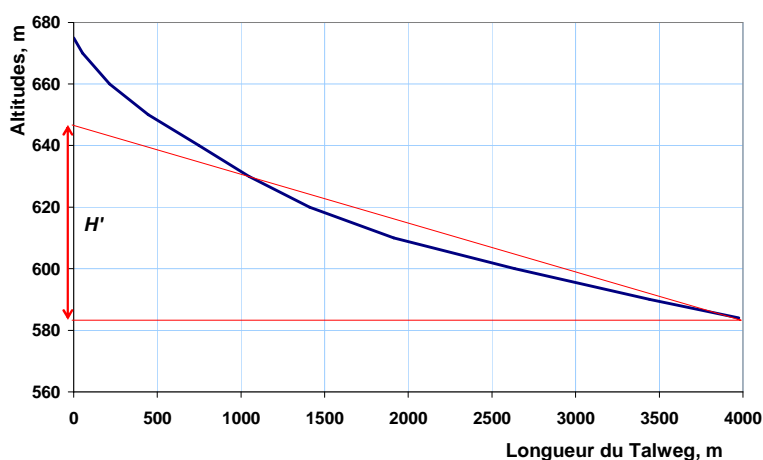


Fig I.01 : Détermination de  $H'$

La pente moyenne est exprimée par la relation suivante:

$$I = \frac{H'}{L_{ce}} \text{ ‰} \quad (9)$$

où:  $I$ : pente moyenne du thalweg principal, en ‰ ;  $L_{ce}$  longueur du thalweg principal, en m ; -  $H' = \frac{2 \sum \Delta S_i}{L_{ce}}$  hauteur du triangle équivalent, dont la superficie est égale à celle au dessous de la ligne du profil, en m et  $\sum \Delta S_i$  - superficie au dessus de la ligne du profil.

### Facteur morphologique :

Le bassin versant occupe un espace tridimensionnel, avec une morphologie complexe. La diversité de l'orientation, des longueurs et des pentes des versants conditionne la genèse de l'écoulement de surface; notamment la concentration globale pondérée des eaux de ruissellement et les pertes des eaux de pluies. Pour tenir compte de ce complexe morphologique, il est impératif de tenir compte de la forme du bassin versant projetée sur un plan horizontal et de sa pente par rapport à ce plan de référence. On propose un coefficient qu'on nommera coefficient morphologique  $\Phi$  qui est adimensionnel.

La forme du bassin versant est exprimé sous forme de rapport de la superficie du bassin versant  $= B \cdot l_{ce}$ , à la superficie d'un carré de côté égal à la longueur du cours d'eau  $S = l_{ce} \cdot l_{ce} = l_{ce}^2$ .

$$\text{Soit : } \frac{B \cdot l_{ce}}{l_{ce}^2} = \frac{B}{l_{ce}}$$

$$B_{l_{ce}} = \frac{B}{l_{ce}} \quad (10)$$

Le rapport  $B_{l_{ce}} = \frac{B}{l_{ce}}$  exprime la largeur relative du bassin versant par rapport à la longueur du cours d'eau, avec  $B$  comme largeur moyenne du bassin versant et  $l_{ce}$  la longueur du cours d'eau.

La pente du bassin versant est exprimée par la pente brute du cours d'eau, en tant que représentant relatif, soit:

$$I_{br} = \frac{H_{max} - H_{min}}{l_{ce}} \quad (11)$$

où :

$H_{max}$  : altitude de l'extrémité amont du cours d'eau, en mètre.

$H_{min}$  : altitude de l'extrémité aval du cours d'eau, en mètre.

Ainsi, nous exprimons, pour la première fois, le coefficient morphologique sous la forme de produit de la largeur spécifique du bassin versant  $B_{l_{ce}} = \frac{B}{l_{ce}}$  et de la pente brute est égale à :

$$I_{br} = \frac{H_{max} - H_{min}}{l_{ce}}, \text{ soit :}$$

$$\Phi = I_{br} B_{l_{ce}} \quad (12)$$

Les données nécessaires pour la détermination de coefficient morphologiques sont facilement accessibles, à partir d'un traitement cartographique ordinaire.

L'analyse graphique de la dépendance  $\Phi = f(S)$ , pour 15 sous bassins versants objet d'étude, dont la superficie varie de 71 km<sup>2</sup> à 8240 km<sup>2</sup>, montre une diminution de ce coefficient avec l'augmentation de la superficie (**fig.II.02**).

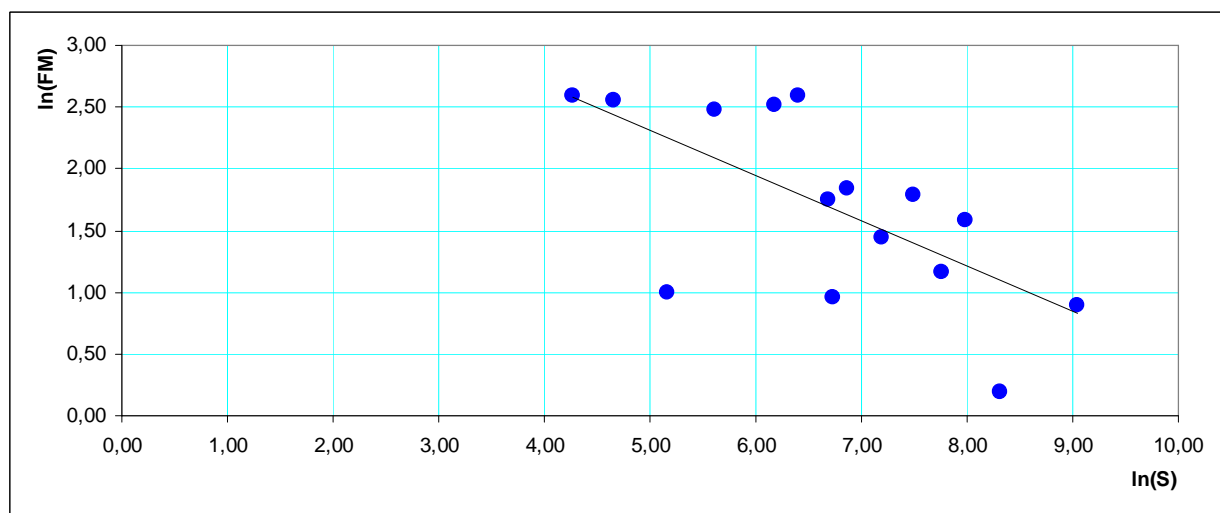


Fig I.02 : Dépendance  $\Phi = f(S)$

### II-3-Les caractéristiques physiques du bassin versant de la Soummam :

L'Algérie est divisée en 17 bassins versants regroupés en trois (03) zones : dix (10) bassins tributaires de la méditerranée, six (06) bassins endoréiques occupant les hautes plaines et un (01) bassin saharien.

N° du bassin	Nom du bassin	N° du bassin	Nom du bassin
01	Cheliff	10	Kebir Rhumel
02	Côtiers Algérois	11	Macta
03	Côtiers constantinois	12	Medjedar
04	Côtiers Oranais	13	Sahara
05	Chott el Hodna	14	Seybousse
06	Chott Melhir	15	<b>Soummam</b>
07	H. Plateaux constantinois	16	Tafna
08	Chott Ech Chergui	17	Zahrez
09	Isser		

Tableau II.01 : Les bassins versants de l'Algérie.

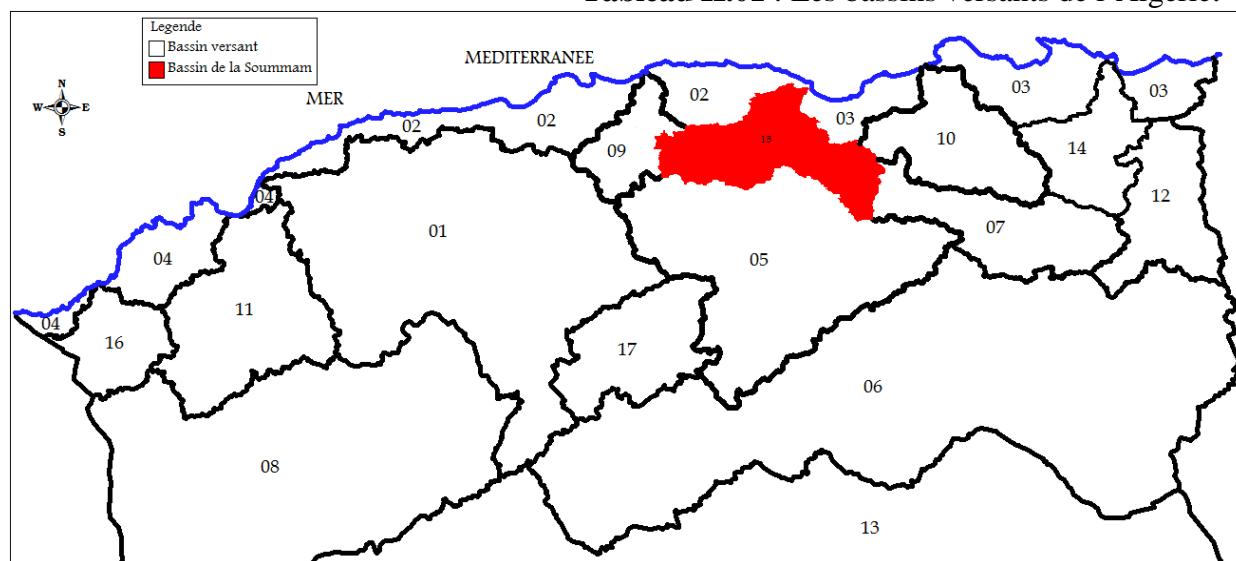


Fig II.03 : Les bassins versants de l'Algérie

(Source : extraite de la carte du réseau hydroclimatologique et de la surveillance de la qualité des eaux, dressée par l'ANRH, département des eaux superficielles, édition 2005)



Notre zone d'étude porte le numéro 15, qui est le bassin versant de la Soummam, sa surface totale est d'environ 9125 km<sup>2</sup>, composé de 10 sous bassins versants.

Sous bassins	Code	Superficie (km <sup>2</sup> )
Oued Eddous	15 01	903
Oued Zaiane	15 02	1 012
Oued Sahel Amont	15 03	430
Oued Azerou	15 04	1 084
Oued Sahel Aval	15 05	326
Oued Bousselam Amont	15 06	1 785
Oued Bousselam Moyen	15 07	1 234
Oued El Ham	15 08	930
Oued Bousselam Aval	15 09	360
Oued Soummam	15 10	1 061
total	10	9 125

Tableau II.02 : Superficie des sous bassins versants de la Soummam

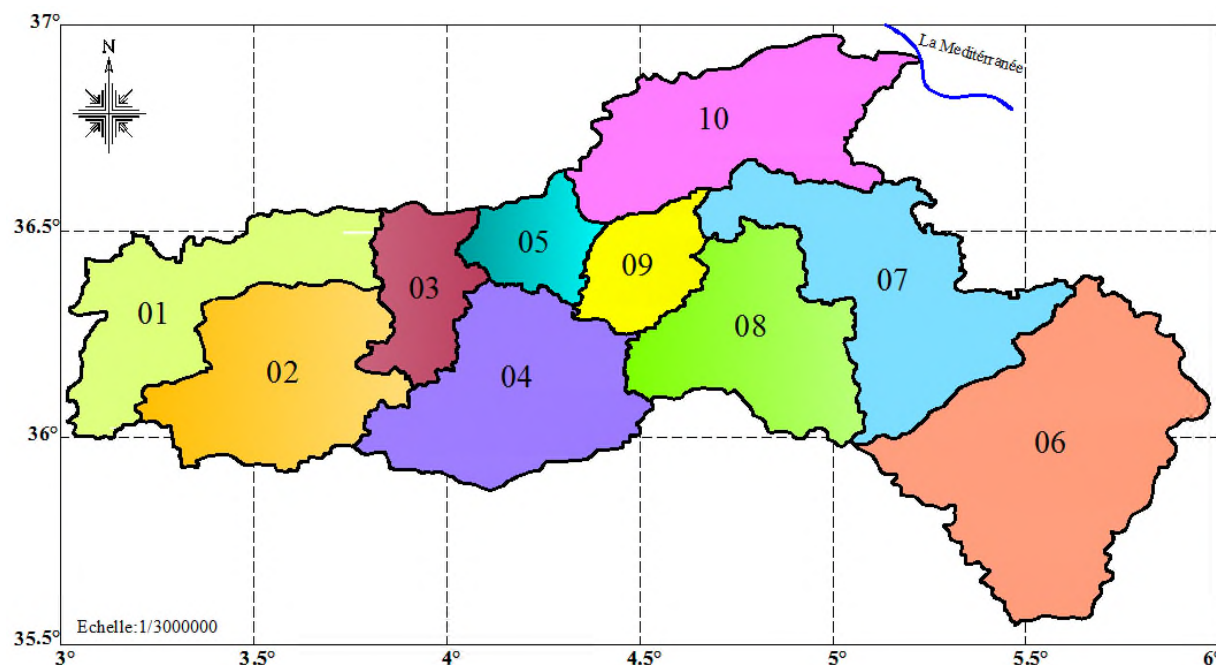


Fig II.04 : Les sous bassins versants de la Soummam

(Source : extraite de la carte du réseau hydroclimatologique et de la surveillance de la qualité des eaux, dressée par l'ANRH, département des eaux superficielles, édition 2005)

### II-3-1-Emplacement géographique et orographie :

#### II-3-1-1-Position géographique :

Le bassin versant de la Soummam est situé dans la partie Nord de l'Algérie, il accède à la méditerranée par le golf de Bejaia ; tandis que la grande partie de son territoire se trouve retiré dans le continent. Il s'étend dans la direction Nord-est-ouest vers le Sud-est dans la région de Sétif. Il est situé entre 3°40'-4°45' de longitude de Greenwich et 36°-36°45' de latitude Nord. Au Nord et à l'Ouest, il est limité par les chaînes du Djurdjura, à l'Est par les montagnes de la petite Kabylie (Djebel Babor), au Sud et au Sud-est par les monts de la Hodna.

### **II-3-1-2-Orographie :**

Sur le plan orographique, le bassin versant de la Soummam ne fait pas un ensemble, il est visiblement partagé en deux régions différentes, à savoir :

#### **\*La région du Sahel :**

Elle est située entre deux chaînes de montagnes : le Djurdjura au Nord et les Bibans au Sud.

#### **\*La région de Boussellam :**

Une partie de cette région est constituante du plateau Sétifien.

Et au point de vue structure, on distingue :

#### **-La chaîne du Djurdjura :**

La chaîne du Djurdjura s'étend sur une longueur d'environ 60 kilomètres, de Tizi-Djaboub (1185m), à l'Ouest, jusqu'à Tizi-n'Chria (1231m) à l'Est. Elle se compose en réalité de deux chaînes, étroitement unies, formant une crête continue, dont les dépressions se maintiennent au-dessus de 1600m d'altitude sauf dans la partie orientale (Chellata).

Limitée à l'Est par le ravin et le col de Tirourda. Ses crêtes hardies s'abaissent brusquement au Nord sur les contreforts du massif kabyle ou s'échelonnent par des gradins escarpés sur la grande dépression de Boghni, dans la partie Ouest.

Au Sud, une série de contreforts importants surtout dans la partie centrale, s'abaissent à la vallée de l'Oued Sahel, dont l'altitude varie de 350 à 450m.

L'extrémité occidentale s'élève brusquement, par un seul gradin, de 1250 à 2000m, formant une crête saillante sans entaille remarquable jusqu'à Tizi Ogoulmime. Le sommet remarquable du Tamgout Haïzer atteint 2123 m, mais le point culminant, au Nord-Est s'élève à 2164 m. Les arêtes rocheuses du flanc Nord sont très élevées et atteignent les 1882m, surplombent les contreforts des Guechtoula qui s'abaissent, par des pentes plus ou moins adoucies, sur la plaine des Beni-bou-Berdan et la vallée de Boghni. Le versant Sud descend brusquement sur le plateau raviné des Beni-Meddour, qui se rattache aux collines de Bouïra.

Le Tamgout de Lella-Khedidja, point culminant de la chaîne (2308m), présente l'aspect d'une pyramide gigantesque, dont les pentes s'inclinent à l'Est et à l'Ouest sur deux profonds ravins, et au Sud sur la vallée de l'Oued Sahel. Au Nord-Est, se profile une crête étroite, d'une altitude de plus de 2000m, se rattachant au Takerrat et à l'Azerou Maden (2020m), au-delà de la traversée du col des Ait OuAbane (1766m), la chaîne présente encore deux masses rocheuses, dont la principale est Azerou N'tirourda (1760m).

Au Sud, les contreforts importants des Beni-Ouakour, des Beni-Kani, forment de larges croupes arrondies, et ne présentent rien de l'aspect rocheux et pittoresque de la crête.

A l'Est de Tirourda, la crête principale change totalement d'aspect, constituée par des ondulations à pentes adoucies, d'une altitude moyenne de 1700 à 1800m, elle s'abaisse en approchant du Col de Chellata (1476m), Les pics rocheux se montrent sur le versant Nord, chez les Illilten, Azrou N'thour (1884m).

Les contreforts, sur le versant Sud, chez les Beni-Mlikeuch, forment de puissants chaînons, qui s'abaissent plus ou moins brusquement à la vallée de l'Oued Sahel.

Au Col de Chellata, la crête redevient rocheuse, et reproduit l'image d'un tronçon de la grande chaîne dans le Tizibert (1723m) et l'Azerou des Beni-Zikki (1707m), puis s'abaisse à la dépression de Tizi-n'Chria (1231 m).

Au Nord-Ouest, le plateau incliné, profondément découpé des Beni-Zikki, est bordé à sa limite par quelques pics rocheux. Au Sud-Est, des escarpements avec quelques rochers isolés prolongent le massif chez les Ouzellaguen, dont les contreforts inférieurs se terminent à la vallée, en aval d'Akbou. [12]

### **-La chaîne des Bibans :**

Une chaîne continue formée par une série de crêtes, se relève en se prolongeant à l'Est, à la limite des Béni Abbés où elle atteint 1400m, les contreforts du versant Nord constituent tout le pays montagneux des Béni Abbés.

Elle se continue par le Djebel Djafra, à peine interrompue par la coupure étroite que traverse le ravin de l'Oued Lakrenagh, elle se relève au Djebel Zemoura, formant au Nord les contreforts importants des Beni-Hala qui atteignent les 1562m. Le Kef Ayed, le Djebel Magraouah, le Djebel Guergour prolongent cette crête rocheuse, que traverse le Boussellam dans une gorge étroite aux flancs escarpés. Sur le flanc Est, le Djbel Tafat (1615m) forme un point culminant, bien marqué, séparé par une dépression de la croupe du Djbel Anini (1546m). Le flanc Est présente une dépression qui le sépare du Djbel Megriss (1722m), point culminant au Nord de Sétif dont les pentes dénudées et monotones contrastent avec le pittoresque des rochers de Kherrata.

Le bassin du Boussellam comprend plus des deux tiers de cette région. Cette rivière, après son passage dans le défilé du Guergour, s'étale dans un cours très sinueux, entre deux rides montagneuses, et changeant plusieurs fois de direction, vient rejoindre l'Oued Sahel, en face d'Akbou.

Dans la zone littorale, l'Oued Djemàa descend du massif des Beni-Sliman : l'Oued Aguerioun : à dans son bassin, limité au Sud par le Mégris et le Djebel Anini, la majeure partie des massifs escarpés de la chaîne des Babors. [12]

### **-La dépression du Sahel :**

Il y a deux dépressions marquantes dans le bassin versant de la Soummam, l'une d'elles est formée par le cours du Sahel et celui de la Soummam, l'autre fait partie du plateau Sétifien.

La dépression Sahel-Soummam est située entre Djebel Djurdjura et les chaînes de Bibans dans le cours supérieur et entre la grande et la petite Kabylie dans le cours inférieur. Elle pénètre dans le bassin du côté Ouest, faisant suite à la plaine des Arib. C'est la quelle reçoit le nom du plateau de Bouira. Plus loin vers l'Est, la dépression se rétrécit, tourne vers le Nord-ouest et disparaît presque près de Sidi Aich. De nouveau, elle s'élargit graduellement vers le Golf de Bejaia.

### **-Le plateau Sétifien :**

Il fait partie des hauts plateaux, avec une altitude moyenne de 1000m, s'étend à partir de la dépression Medjena à l'Ouest jusqu'au plateau d'El Eulma à l'Est.

On peut dire que le relief du bassin versant de la Soummam, est caractérisé par :

-La vallée du Sahel orientée Est-ouest et située entre la chaîne du Djurdjura au Nord et la chaîne des Bibans au Sud.

-Le plateau Sétifien qui est la partie constituante des hauts plateaux, limitée au Nord par les montagnes de la petite Kabylie.

### **II-3-2-Le climat :**

Les conditions climatiques jouent un rôle déterminant sur le régime d'un cours d'eau, ce sont les précipitations surtout liquides, qui constituent le facteur essentiel intervenant par :

Leur répartition annuelle et mensuelle, leur total journalier et surtout les averses génératrices des crues.

Ces différents aspects des précipitations sont plus ou moins modifiés selon un effet combiné des autres paramètres physiques (altitude et exposition) et climatiques : la température, l'évaporation, l'évapotranspiration, les vents et l'humidité aussi ; des facteurs qui influent sur l'écoulement et le régime hydrologique du bassin.

Dans ce qui suit, nous allons présenter les caractéristiques climatiques du bassin versant de la Soummam, on trouve que le climat est divisé en trois étages:

- \*Etage Subhumide ;
- \*Etage Humide ;
- \*Etage Semi-aride.

Ces caractéristiques climatiques ont été déterminées à base d'analyse du bilan hydrique, c'est-à-dire des précipitations moyenne mensuelles et de la variation de la température de l'air.

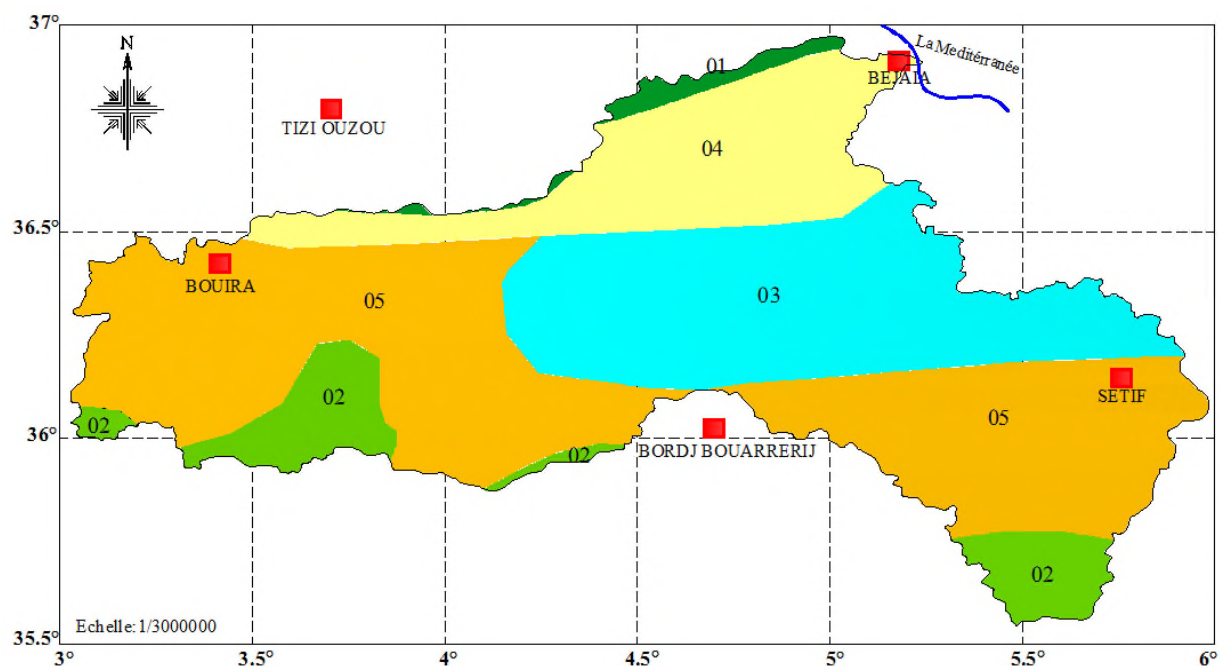


Fig II.05 : Les étages bioclimatiques du bassin versant de la Soummam

(Source : Office Nationale de la Météorologie)

(01 : Étage humide à hiver doux, 02 : étage subhumide à hiver froid, 03 : subhumide à hiver frais, 04 : subhumide à hiver doux, 05 : semi-aride à hiver frais).

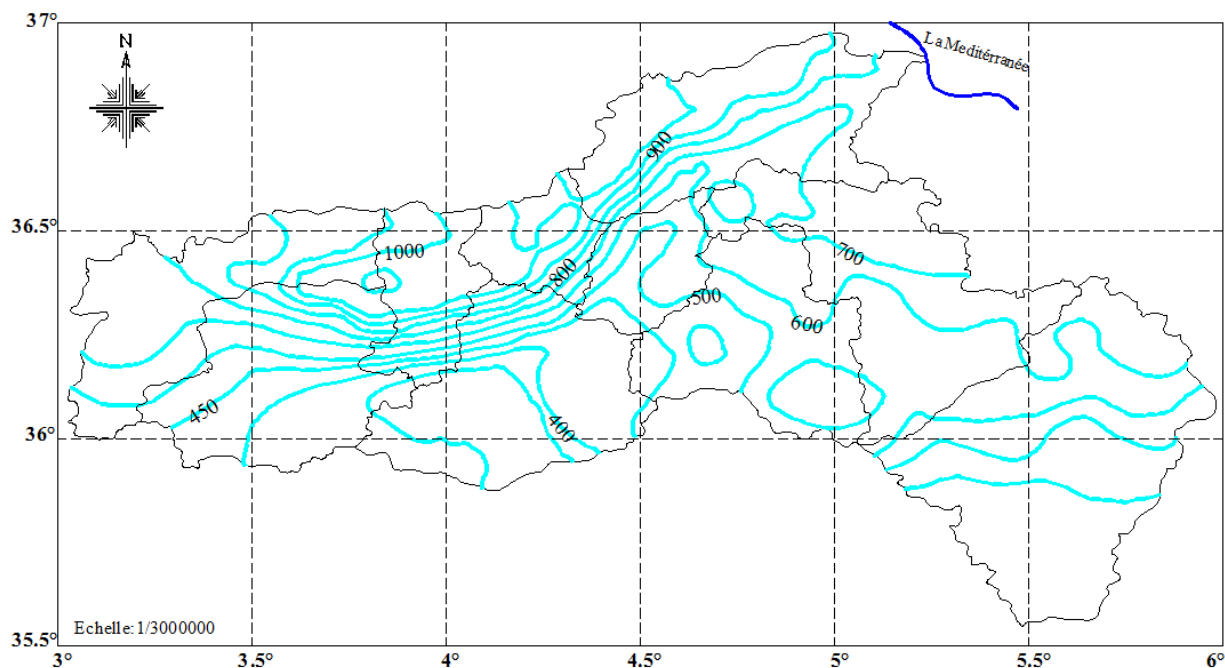
### II-3-2-1-Les précipitations :

Le bassin versant de la Soummam est soumis en général à un climat de type méditerranéen, la plupart des précipitations viennent durant la période hivernale.

#### -Répartition des précipitations :

La chaîne de Djurdjura qui s'étend parallèlement à la vallée de la Soummam, constitue une barrière naturelle aux masses d'air humide venant du Nord. Ces dernières deviennent sèches dès qu'elles traversent les hauteurs du Djurdjura. En descendant dans la vallée de la Soummam, elles se réchauffent, conduisant ainsi à une faible précipitation.

Au Nord, du côté de la mer, on observe le même effet, puisque la vallée est enfermée par les chaînes montagneuses de la petite Kabylie. A ce niveau les précipitations atteignent les 1000mm puis diminuent rapidement, de façon que sur le plateau Sétifien elles se réduisent jusqu'à 500mm-600mm. Elles décroissent ensuite à une valeur plus basse au Sud.



**Fig II.06 :** Carte de la pluie moyenne annuelle du bassin versant de la Soummam

(Source : extraite de la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord, dressée par l'ANRH, moyennes annuelles ramenées à la période 1922-1960/1969-1989, édition 1993)

### **II-3-2-2-Evapotranspiration :**

Du point de vue répartition spatiale, l'évapotranspiration potentielle (ETP) s'accroît du Nord au Sud, contrairement à l'évapotranspiration réelle (ETR) qui évolue parallèlement à l'augmentation des températures et des précipitations ; les plus fortes valeurs de l'ETR sont atteintes dans les bassins inférieurs où toutes les conditions favorables se trouvent réunies : températures élevées, précipitations abondantes et couvert forestier dense.

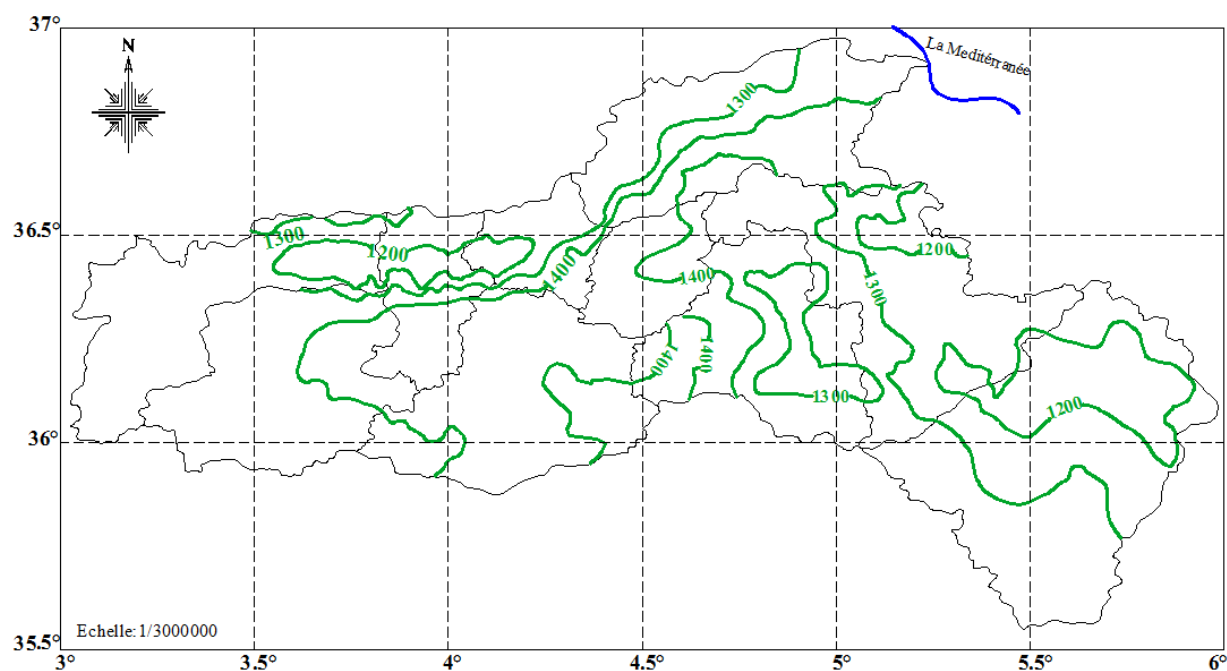
Rappelons que l'évapotranspiration désigne au départ les pertes en eau par retour direct à l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau. L'évapotranspiration est la perte complexe provenant de l'évaporation du sol, de l'interception par les feuilles des arbres et autres obstacles d'une partie des précipitations qui n'atteint jamais le sol.

L'évapotranspiration est, après les précipitations, le terme le plus important du bilan hydrologique.

Les facteurs conditionnels de l'évapotranspiration sont :

- la température de l'air.
- la température de l'eau.
- l'humidité de l'air.
- le rayonnement solaire.
- le vent. [13]

L'évapotranspiration potentielle annuelle calculée d'après l'ANRH varie entre 1214 et 1569 mm, et pour la majeure partie du bassin, elle est de l'ordre 1382mm.



**Fig II.07** : Carte de l'évapotranspiration du bassin versant de la Soummam

(Source : extraite de la carte des évaporations potentielles moyennes annuelles de l'Algérie du Nord, dressée par l'ANRH)

### II-3-3-Le couvert végétal :

La végétation est un paramètre physique important des bassins versant. Suivant sa nature, sa diversité et sa densité, il influence directement sur le cycle hydrologique, à travers la rétention des eaux de pluie et de l'évaporation de ces eaux. Le couvert végétal constitue un isolant entre le sol et l'atmosphère. Cet isolant est d'autant plus efficace quand il est plus dense et plus haut. La végétation est aussi la résultante des facteurs physico-géographiques tel que : le climat, le relief, la lithologie, auxquels s'ajoutent le facteur humain (défrichement, reboisement..).

La végétation évolue en fonction des conditions climatiques, sa densité diminue avec l'altitude. D'une manière générale la couverture végétale conditionne et influence la rapidité du ruissellement superficiel, le taux d'évaporation et la capacité de rétention du bassin versant.

La végétation joue un rôle essentiel dans la protection du sol, elle exerce une protection mécanique directe sur l'écoulement fluvial, en diminuant la force vive des eaux et en favorisant leur infiltration ; cette résistance à l'écoulement est d'autant plus grande que le couvert végétal est plus dense.

La végétation du bassin versant de la Soummam est de type méditerranéen.

La basse et la moyenne Soummam sont occupées par des oliveraies et des vignobles.

Dans la région de la moyenne Soummam, le couvert végétal est moins dense.

Dans la plaine, la végétation est dense mais temporaire, formée par les grands champs de cultures diverses. Avant, les forêts couvraient la région, mais actuellement ce capital tend à disparaître à cause des feux d'été et l'arrêt des campagnes de reboisement. [ANRH Alger]

### II-3-4-La géologie :

La géologie des terrains influe non seulement sur l'écoulement de l'eau souterraine mais également sur le ruissellement des surfaces. Dans ce dernier cas, l'étude géologique d'un bassin versant dans le cadre d'un projet hydrologique a surtout pour objet de déterminer la perméabilité des formations lithologiques. Celle-ci intervient sur la vitesse de montée des crues, sur leur volume, ainsi que sur l'aggravation du phénomène d'inondation.

Les caractères géologiques principaux à considérer sont la lithologie et la structure tectonique :

**a-La lithologie :**

Les caractéristiques hydrologiques du bassin sont dans une large mesure influencées par l'imperméabilité des roches et les sols qui ont dérivé d'absorber l'eau et de la retenir de manière temporaire.

D'une manière générale de l'étude géologique, nous ressortons les différentes formations lithologiques.

**-Le quaternaire continental :**

Il est représenté par des alluvions le long de la vallée du Sahel et au niveau des hautes plaines.

[ANRH Alger]

**-Le pliocène continental :**

Le coteau du Sahel est couronné par des graviers siliceux et fluviaux. Ailleurs, il est conglomératique sinon caillouteux.

**-Le miocène :**

Il s'agit essentiellement du miocène inférieur. Il est continu depuis l'ouest de Bejaia jusqu'aux environs de Sidi Aich. Il affleure également du côté de Djebel Mansourah sous forme de grés.

**-L'oligocène:**

Il est généralement argilo-gréseux. Il affleure en abondance à partir de Tazmalt et de part et d'autre de la vallée de la Soummam, en allant vers l'Ouest. On note également sa présence au niveau de la chaîne de Gouraya et de la région de Béni-Mansour.

**-L'éocène :**

Il est quasiment marneux, parfois calcaro-marneux. Il affleure surtout au niveau des hautes plaines.

**-Le crétacé :**

Se présente en général, sous forme de flysch. Il est étendu, continu depuis la chaîne des Bibans jusqu'aux montagnes de la petite Kabylie. Le faciès est marneux au crétacé supérieur (Sénonien). Il est schisteux, sous forme de bancs de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur avec quelques intercalations de grés au crétacé moyen (Albien) et apparaît dans la région de Béni-Mansour et la chaîne des Bibans. Il est grés-pélimitique, parfois carbonaté-gréseux au crétacé inférieur. [ANRH Alger]

**-Le jurassique :**

Il affleure surtout au niveau de la chaîne calcaire et le long de sa continuité vers l'Est. Il est principalement calcaro-dolomitique.

**-Les trias :**

Il est de faciès gypso-salin et apparaît le long de contacts anormaux (contact des nappes de charriages) dans le Tell méridional et présenté par des conglomérats et des grés rougeâtres dans le Tell septentrional.

Afin de mettre en évidence le rapport entre la nature lithologique de ces faciès et la distribution statistique des altitudes, nous avons choisi de regrouper ces différents faciès en classes. Cette classification est basée sur leur indice de dureté.

\***Roches dures** : calcaires, dolomies et grés.

\***Roches semi-dures** : marnes calcaireuses, grés pélimitique, argiles gréseuses et marnes.

\***Roches tendres** : alluvions et conglomérats.

**b-La tectonique :**

Il est difficile d'apprécier par une valeur chiffrée l'âge et le style de la tectonique. Jusqu'à présent, les études menées par certains géologues, montrent que le bassin versant de la Soummam est affecté principalement par, deux phases tectoniques importantes :

**-La phase post crétacé, ante miocène :**

Caractérisé par deux grands accidents de direction principale Nord-Sud. C'est une phase de distension, qui a engendré la formation des Horsts et des Grabens, remarquablement présents dans la chaîne de Gouraya. [ANRH Alger]

**-La phase miocène :**

Elle comprend les trois phases suivantes :

**-Phase de compression :**

Elle engendre la tectonique tangentielle, caractérisée par les nappes de types Mauritanien et Massylien. C'est la structure de ces nappes qui détermine en partie les faibles pentes du côté Sud de la dépression du Sahel. [ANRH Alger]

**-Phase de distension :**

Elle est caractérisée par deux réseaux de failles normales :

-réseau Nord Est et Sud Ouest.

-réseau Nord Ouest et Sud Est.

C'est à cette phase que la structure actuelle est liée, d'où : pentes assez fortes engendrées par ces failles, au niveau de la chaîne Kabyle. [ANRH Alger]

**-La néotectonique (miocène actuelle) :**

Cette phase est caractérisée par une forte activité sismique provoquant ainsi une tectonique cassante. [ANRH Alger]

**II-3-5-Les sols :**

Suivant la texture, la morphologie, le mode d'évolution pédo-génétique et le niveau de la salinisation la classification distinguent cinq principaux types de sol dans les zones arides et semi arides.

On trouve : les sols peu évolués, calcaires, gypseux, salins et argileux.

**-Les sols peu évolués :**

Les sols peu évolués occupent des surfaces étendues dans le monde, ils sont répartis dans les montagnes, déserts, sables, alluviaux, avec un régime d'humidité et de température variable.

Cette classe est très hétérogène sur le plan pédologique. Car elle regroupe soit des profils jeunes des climats humides, qui représentent des stades initiaux d'un certain type de pédogenèse (sol d'érosion ou d'apport), soit des sols dont l'évolution est empêchée par un facteur climatique : climat tantôt trop sec (désert) tantôt trop froid (cryosols).

Pour que l'altération chimique puisse se produire, seule une désagrégation mécanique des matériaux minéraux peut intervenir. Les sols peu évolués à profil de type « AC » sont caractérisés essentiellement par la faible altération du matériau minérale et dans la majorité des cas, la faible teneur en matière organique du profil, qui reste peu coloré (peu de fer libre).

Il ne se forme pas de complexe organo-minéraux permettant l'élaboration d'une structure, et caractérisent une pédogenèse.



**-Les sols calcaires :**

Un sol calcaire est un sol contenant du CaCO<sub>3</sub> libre en suffisant pour présenter une effervescence visible sous l'action d'Hcl dilué à froid, le CaCO<sub>3</sub> est souvent accompagné de Mg (Ca). Le sol contient généralement le CaCO<sub>3</sub> en proportions diverses :

-Terre dites « terres franche » ; 1 à 5% de calcaire.

-Terre argilo-calcaire ; 5 à 30% de calcaire.

-Terre sablo-calcaire ; 5 à 30% de calcaire.

L'origine de calcaire de sol provient de la désagrégation des roches calcaires qui laissent dans le sol des fragments de roche calcaire de dimensions diverses et en quantités variables selon la nature de la roche d'une part et selon les conditions d'altération d'autre part.

**-Les sols gypseux :**

Il s'agit essentiellement des sols calci-magnésiques à encroûtement gypseuses de surface.

Les sols gypseux sont largement répandus et apparaissent typique des régions arides et semi-arides.

L'origine du gypse en quantité importante dans les sols est en relation avec la présence des roches sédimentaires gypseuses. Le gypse est dissous, transporté à l'état de solution dans les nappes et dans les couvertures pédologiques ; il peut être repris sous forme solide et transporté par le vent.

Les sols gypseux offrent à la végétation un milieu très défavorable et difficile à traverser aussi bien du point de vue physique que du point de vue chimique (fort déficit en éléments nutritifs, particulièrement en phosphate, mais aussi en nitrate et autres oligo-éléments).

**-Les sols salins :**

Ils sont caractérisés par une texture lourde, une structure moins favorable, compacte et moins aérée ce qui les rend asphyxiant et une bonne profondeur, leur mise en valeur dépend essentiellement de la maîtrise de la salinité. L'idéal est l'implantation d'espèces tolérantes aux sels.

**- Les Sols argileux :**

Les sols argileux sont des sols dont la teneur en argile est relativement élevée, ce qui le rend trop compact et donc moins propice à certaines cultures, on l'affecte généralement à des reboisements ou à des pâturages permanents, si la teneur en argile le rend trop lourd.

**-Le type des sols de la région d'étude :**

La majorité des sols dans le bassin de la Soummam sont des sols calcaires. Ces sols ont généralement une texture légère et sont donc perméables.

Au Nord du bassin, on rencontre des sols insaturés qui ne contiennent pas de calcaire dont l'argile peut être plus abondante en surface qu'en profondeur, leurs roches mères sont généralement imperméables ou donnent des produits de décomposition imperméables.

Le long des oueds, les sols existants sont des dépôts alluviaux appelés sols alluviaux à profil indifférencié ou présentent une simple accumulation de matières organiques en surface. On rencontre aussi, en petites quantités, des sols calciques et des sols en équilibre peu épais, plus au moins riches en calcaire et très pauvres en sels solubles. [14]

**II-4-Le réseau hydrographique du bassin versant de la Soummam :**

Les caractéristiques hydrographiques du bassin versant de la Soummam, sont diverses. Le cours d'eau principal qui le draine est celui de l'oued du Sahel-Soummam, celui-ci reçoit sur toute sa longueur, à partir de l'Adjiba jusqu'à l'embouchure de la Soummam dans la mer, de nombreux affluents.

On retrouve le Sahel, qui est un cours d'eau venant du Nord-ouest, le Boussellam qui vient du Sud-est, et la Soummam qui se forme à Akbou à la rencontre de ces deux affluents et coule en direction du Nord-est vers la mer.

On retrouve dans le bassin versant de la Soummam, un réseau hydrographique qui compte neuf (09) principaux oueds, d'une longueur totale d'environ 726 km, qui sont :

-Oued Azerou, Zaiane, Ftaïssa, O'kriss, Bouktou, Eddous, El Main, Boussellam et Soummam

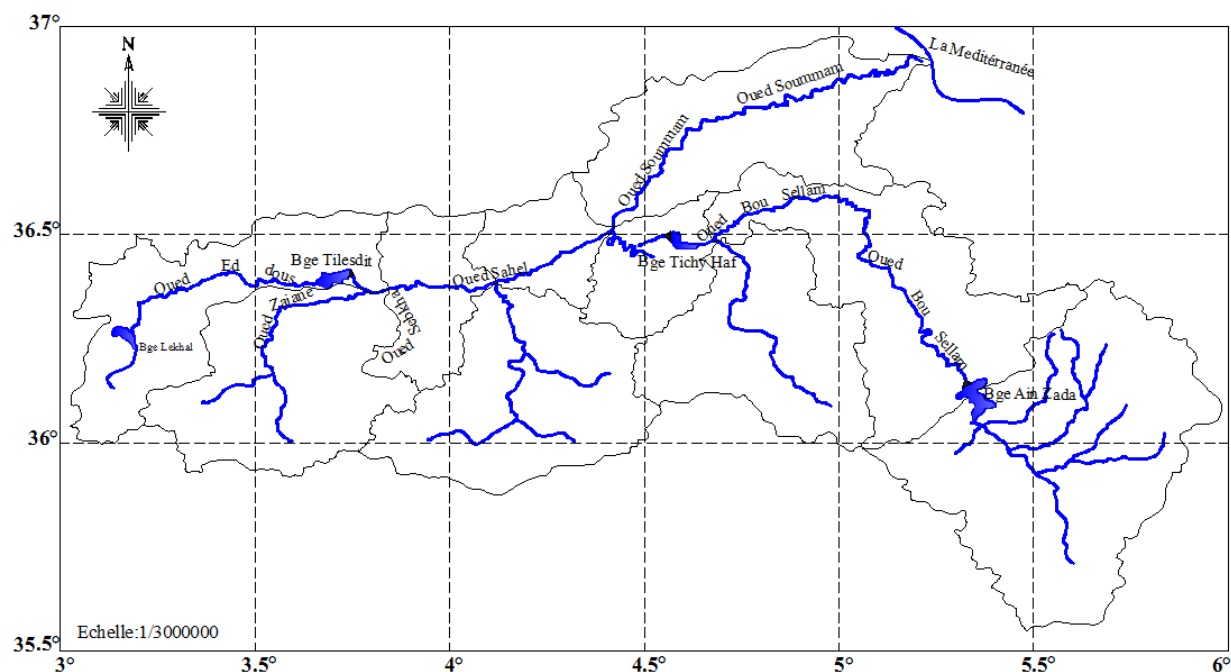


Fig II.08 : Carte du réseau hydrographique du bassin versant de la Soummam

(Source : extraite de la carte du réseau hydroclimatologique et de la surveillance de la qualité des eaux, dressée par l'ANRH, département des eaux superficielles, édition 2005)

#### II-4-1-Description de l'Oued Sahel :

La vallée de l'Oued Sahel forme la limite naturelle de la région du Djurdjura, depuis Bouïra jusqu'à son embouchure. Depuis ses origines dans le massif du Dira jusqu'au delà de Bouïra, cette rivière porte le nom d'Oued Lekhal et ne prend la désignation d'Oued Sahel qu'au confluent de l'Oued Zaïane, à la hauteur d'EI-Adjiba, C'est à partir de ce point que la vallée, large de 3 à 4 kilomètres, forme une zone limite bien tranchée entre les contreforts du Djurdjura au Nord et toute la région montagneuse du Sud, Sa direction, d'abord tournée vers l'Est jusqu'à Béni Mansour, s'incline peu à peu au nord-est.

#### II-4-2-Description de l'Oued Boussellam :

L'Oued Boussellam fait partie du bassin versant de la Soummam ; il est le principal axe hydrographique de la Wilaya de Sétif. Il prend sa source à Ras Ain Boussellam qui se trouve au nord de Fermatou et se déverse dans l'Oued Soummam pour rejoindre la méditerranée. Il naît de la réunion d'Oued Guessar qui descend de la partie Sud-ouest de Djebel Megriss et de l'Oued El Ourissia qui se trouve dans la partie Sud de ce Djebel.

#### II-4-3-Description de l'Oued Soummam :

L'oued Soummam est né de la confluence de deux oueds importants : l'Oued Boussellam qui prend sa naissance aux hauts plateaux de Setif à Fermatou et de l'Oued Sahel formé par la jonction de l'oued Ziane et l'oued Eddous provenant de Bouira exactement Sour El Ghozlane, à Akbou, il atteint la mer méditerranéenne à Bejaia.

## II-5-Classification du chevelu hydrographique:

Un réseau hydrographique est l'ensemble des cours d'eau qui drainent les eaux de surface vers l'exutoire d'un bassin versant.

Pour classer les ramifications d'un réseau hydrographique, on doit associer pour chaque cours d'eau un numéro en fonction de son importance. On retrouve de nombreuses classifications, à savoir :

### -La classification de Horton :

Tout cours d'eau sans affluent est d'ordre 1, tout cours d'eau ayant un affluent d'ordre X est d'ordre X+1, et garde cet ordre sur toute sa longueur. A la confluence de deux talwegs d'importance égale, on donne l'ordre supérieur au plus long.

### -La classification de Schumm :

Est d'ordre X+1 tout tronçon de rivière formé par la réunion de deux cours d'eau d'ordre X.

Pour notre bassin d'étude, le bassin versant de la Soummam, selon cette classification est d'ordre 7.

### -Le degré de développement du réseau :

#### a-La densité de drainage :

La densité de drainage a été définie par R.E. Horton en 1932 afin de décrire le degré de développement d'un réseau hydrographique :  $D_d = \frac{\sum L_i}{A}$ , avec :

$D_d$  = densité de drainage

$L_i$  = longueur de chacun des tronçons (m)

$A$  = superficie du bassin versant (m<sup>2</sup>)

La longueur totale de cours d'eau représente la somme des longueurs des cours d'eau de tous les ordres du réseau hydrographique. La densité de drainage est un indice de l'intensité du réseau de drainage.

#### b-La densité hydrographique :

Appelée aussi la fréquence de drainage, est définie comme le nombre de drains du bassin

versant par unité de surface :  $F = \frac{\sum N_i}{A}$

$F$  est la densité hydrographique [km<sup>-2</sup>],  $N_i$  est le nombre de cours d'eau,  $A$  représente la superficie du bassin [km<sup>2</sup>].

#### c-Le coefficient de torrentialité :

Le coefficient de torrentialité est étroitement lié à la densité de drainage. Il donne une idée sur le comportement du réseau de drainage c'est-à-dire comment l'eau provenant des cours d'eau d'ordre inférieur arrive à la rivière principale.

Il est obtenu à l'aide de la formule suivante :  $C_t = \frac{N_1}{A} D_d$

$N_1$  est le nombre de talweg s'ordre 1,  $A$  est la superficie du bassin,  $D_d$  est la densité de drainage et  $C_t$  est le coefficient de torrentialité.

#### d-Le rapport de confluence:

Le rapport de confluence  $R_c$  est égal au quotient du nombre de talwegs d'ordre X par celui des talwegs d'ordre supérieur X+1.

Les réseaux hydrographiques sont toujours dendritiques, c'est-à-dire ramifiés comme les branches d'un arbre.

Certains auteurs distinguent trois principaux types de réseaux :

\***Chêne** : la ramification est bien développée avec un espacement régulier des confluences. Le rapport  $R_c$  est inférieur à 5.

\***Peuplier** : le bassin versant est nettement plus long que large, présente de nombreux affluents parallèles et un rapport de confluence élevé,  $R_c$  supérieur à 10.

\***Pin** : le bassin se caractérise par une concentration des confluences dans le secteur amont d'où sort un tronç qui ne reçoit plus d'affluents importants. Le rapport  $R_c$  est faible. [15]

Cette organisation est très importante pour la formation des crues du cours d'eau principal. Selon le type de géométrie du réseau, les crues des différents affluents confluent plus au moins rapidement de l'espace et dans le temps, elles se superposent plus au moins les unes sur les autres, ou au contraire se succèdent les unes après les autres.

Paramètres	Valeurs
Classification du chevelu hydrographique	Ordre 7
Densité de drainage	0,7 km/km <sup>2</sup>
Densité hydrographique	0,2 km <sup>-2</sup>
Coefficient de torrentialité	0,108

Tableau II.03 : paramètres hydrographiques du bassin versant de la Soummam

## II-6-Les caractéristiques morphométriques du bassin versant de la Soummam:

Comme nous l'avons suscité, les différents paramètres morphométriques d'un bassin versant sont : la forme, l'altitude, la pente, le relief... jouent un rôle essentiel dans le comportement hydrologique.

La forme du bassin peut être traduite par l'indice de compacité de Gravelus.

On parle aussi du rectangle équivalent, cette notion permet de ramener une forme quelconque d'un bassin versant à une forme rectangulaire ayant la même superficie, le même périmètre et le même indice de compacité, ce concept était introduit pour pouvoir comparer des bassins entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques géométriques sur l'écoulement.

Le relief et l'altitude, caractérisés par la courbe hypsométrique qui donne la répartition des altitudes des sous bassins en fonction des surfaces correspondantes, jouent aussi un rôle sur le comportement hydrologique d'un bassin, il montre l'aptitude des terrains au ruissellement, à l'infiltration et à la vaporisation.

Le tableau suivant résume les différentes caractéristiques morphométriques du bassin versant de la Soummam :

Caractéristiques	Valeurs
Aire	9125,00 km <sup>2</sup>
Périmètre	655,00 km
Indice de compacité (Gravelius)	1,63
Altitude maximale	2308,00 m
Altitude minimale	2,00 m
Altitude moyenne	785,00 m
Altitude médiane	900,00 m
Indice de pente global	0,45 %
Largeur du rectangle équivalent	40,00 km
Longueur du rectangle équivalent	240,00 km

**Tableau II.04** : caractéristiques morphométriques du bassin de la Soummam.

### II-7-Réseau hydro pluviométrique :

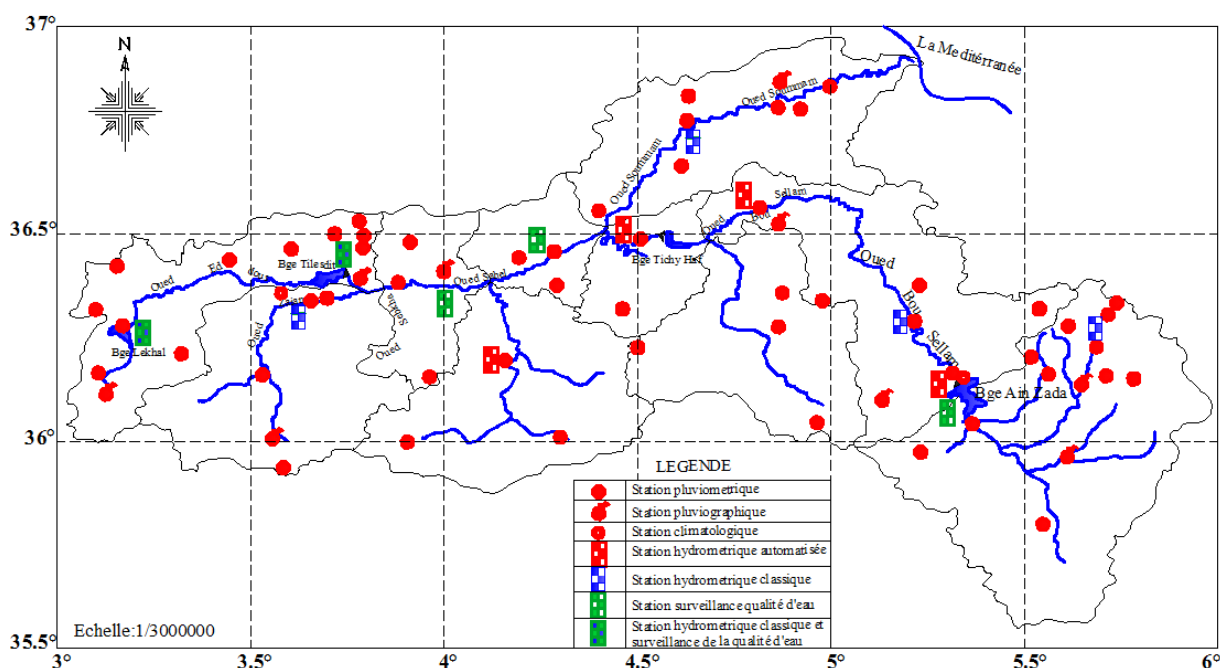
Chaque sous bassin du bassin versant de la Soummam est équipé d'un réseau hydrométrique et pluviométrique important. Malheureusement par manque d'entretien, plusieurs stations se trouvent à l'arrêt, et on rencontre des manques dans la plus parts des séries statistiques.

#### -Type de station dans chaque sous bassins :

On retrouve dans chaque sous bassin un réseau composé de stations hydrométriques, climatologique, pluviométriques et pluviographiques. Aussi il existe des stations de surveillance de la qualité de l'eau.

Sous bassin versant	Station hydrométrique	Station pluviométrique	Station pluviographique	Station climatologique
15.01	02 stations classiques et surveillance de la qualité d'eau	11	02	/
15.02	01 station classique	04	01	01
15.03	01 station surveillance de la qualité d'eau	03	01	/
15.04	01 station automatisée	03	/	/
15.05	01 station surveillance de la qualité d'eau	03	/	/
15.06	01 station classique 01 station de surveillance de la qualité d'eau	11	02	/
15.07	01station classique 02 stations automatisées	06	02	01
15.08	/	04	/	/
15.09	01station automatisée	02	/	/
15.10	01 station classique	07	01	/
Total	06 classiques 04 automatisées 03 stations de surveillance de la qualité d'eau	54	09	02

**Tableau II.05** : composition du réseau hydro pluviométrique du bassin versant de la Soummam



**Fig II.09 :** Carte du réseau pluviométrique et hydrométrique du bassin versant de la Soummam

(Source : extraite de la carte du réseau hydroclimatologique et de la surveillance de la qualité des eaux, dressée par l'ANRH, département des eaux superficielles, édition 2005)

## II-8-Les potentialités et la mobilisation des eaux du bassin versant de la Soummam:

### a-Les eaux souterraines :

Les unités hydrogéologiques du bassin se répartissent comme suit :

- Nappe de la haute et moyenne Soummam
- Nappe de la basse Soummam
- Nappe d'El Snam
- Nappe des hautes plaines Sétifiennes.

Potentialité des eaux souterraines est donnée dans le tableau suivant :

Source de l'étude	Méthode utilisée	Potentialité (Hm <sup>3</sup> /an)
PNE	Pluie-Infiltration	153

**Tableau II-06 :** estimation des eaux souterraines dans le bassin de la Soummam

Cette estimation est faite sur la base des résultats du PNE (Plan National de l'Eau), basée sur l'approche Pluie-Filtration.

La mobilisation des eaux souterraines est donnée dans le tableau suivant :

wilaya	Nombre de forage	Volume produit (Hm <sup>3</sup> )	Affectation eau potable	Affectation irrigation	Affectation industrie
-Bouira	27	2,3	2,3	0	0
-Bejaia	207	145	60,00	71	14
-BBA	29	7,00	5,00	2	0
-Sétif	47	25,00	21,00	2	2
Total	310	179,30	88,30	75	16

**Tableau II-07 :** mobilisation de la ressource en eau souterraine

**b-Les eaux superficielles :**

La potentialité des eaux superficielles est donnée dans le tableau suivant :

Sous B.V	Code	Sup. du B.V Km <sup>2</sup>	Apport annuel (Hm <sup>3</sup> )
Boussellam	15.04.01	4 309	165,4
Eddous-Sahel	15.03.02	3 755	167,0
Soummam	15.10.01	1 061	132,7
Total		<b>9 125</b>	<b>465,1</b>

**Tableau II-08** : estimation des eaux superficielles dans le bassin de la Soummam

Le bassin versant de la Soummam compte :

-02 barrages Lekhal et Tilesdit qui se trouve dans le sous bassin N°01.

-01 barrage Tichy Haf qui se trouve dans le sous bassin N°09.

-01 barrage Ain Zada qui se trouve dans le sous bassin N°06.

Barrages	Oueds	Surface (km <sup>2</sup> )	Capacité (Hm <sup>3</sup> )	Volume régularisée (Hm <sup>3</sup> )	Destination	Année mise en service
Ain Zada	Boussellam	2080	125	50	-Sétif, BBA, El Eulma	1986
Lekhal	Lekhal	189	30	17	-Ain Bessam, Sour el Ghozlane, El Hachimia	1985
Sous total	/	/	155	67	/	/
Tichy Haf	Boussellam	1520	80	150	-AEP, AEI de bouira et villes limitrophe	
Tilesdit	Eddous	843	167	73	-AEP, AEI du couloir Akbou Bejaia	
Sous total	/	/	247	223	/	/
<b>Total</b>	/	/	<b>402</b>	<b>290</b>	/	/

**Tableau II-09** : caractéristiques des barrages du bassin de la Soummam

### **II-9-Conclusion :**

Suite à l'analyse des caractéristiques du bassin versant de la Soummam, on peut tirer les remarques suivantes :

-Le bassin de la Soummam est composé de trois régions principales : les plateaux Sétifiens, les plateaux de Bouira et la vallée de la Soummam et il est de forme irrégulière.

-Le climat est non uniforme, il est sous la dépendance de trois types de climat : climat littoral tempéré, climat de l'Atlas Tellien et le climat des hautes plaines.

-Le bassin versant de la Soummam est caractérisé par une pluviométrie allant de 350mm au niveau du sous bassins versant N°06 et atteint les 1000 mm au Nord.

-Il est aussi caractérisé par une évapotranspiration qui varie entre 1200 mm et 1400 mm.

-On doit dire que la température de l'air est un paramètre important qui régit les abaissments d'eau qui s'opèrent par le phénomène de l'évapotranspiration. L'étude des températures moyennes mensuelles et annuelles est primordiale, car c'est elles qui nous permettent d'évaluer le déficit d'écoulement d'un bassin versant. La température moyenne annuelle de notre zone d'étude varie de 13° à 19°.

-Le bassin versant de la Soummam possède un réseau hydrographique très développé, d'ordre 07, on retrouve trois rivières et leurs affluent qui constituent sa structure hydrographique fondamental, à savoir : le Sahel, affluent venant du Nord-Ouest, le Bousellam venant du Sud-est et la Soummam qui se forme à Akbou à la confluence du Sahel et du Bousellam et coule directement du Nord-Est vers la mer.



# CHAPITRE III: COLLECTE ET ANALYSE DES DONNEES

---



### III-1-Introduction :

L'analyse du régime pluviométrique des précipitations est d'une grande importance, pour une région où les ressources en eau deviennent de plus en plus insuffisantes.

La connaissance des potentialités pluviométriques est importante, car leur impact est déterminant sur le développement socio-économique. Car son manque ou son absence génère des sécheresses et nuis à l'environnement.

La présente analyse concerne les données collectées, relatives aux stations d'observations dans le bassin de la Soummam et aussi dans les sous-bassins limitrophes à celui-ci.

Dans cette étude, nous traitons les données pluviométriques, hydrométriques, morphométriques et toutes données relatives aux facteurs qui peuvent influencer d'une manière directe ou indirecte sur la formation de l'écoulement.

### III-2-Collecte des données :

La collecte de données est une étape importante et déterminante. Nous avons pu collecter quelques données pluviométriques, morphométriques et hydrométriques de certaines stations.

Les données, utilisées dans le présent travail, nous ont été fournies par l'A.N.R.H Alger et la D.R.E de Bejaia. Il s'agit des données morphométriques des sous bassins versants (voir annexe **01**) et les caractéristiques des stations pluviométriques (Voir annexe **02** et **03**).

Aussi, L'ANRH a mis à notre disposition :

-la carte pluviométrique de l'Algérie du nord (1/500 000).

-la carte du réseau hydro-climatologique et de la surveillance de la qualité des eaux (1/500 000).

-la carte des évapotranspirations du nord de l'Algérie (1/500 000).

Nous remarquons, que les données hydrométéorologiques se caractérisent par des lacunes assez importantes.

#### III-2-1-Choix de la période d'étude :

La première étape consiste à la collecte des données existantes sur la pluviométrie de toutes les stations disponibles. Puis nous avons comparé les postes entre eux, pour faire un choix d'un réseau avant 1968 ou après. Car les débuts des observations ont lieu à des dates différentes. Il y a des discontinuités dans une même série. C'est pour raison et pour assurer une certaine homogénéisation dans le temps, nous avons cherché une période commune pour toutes les stations d'observations, pour un maximum de postes avec des séries suffisamment longues et représentatives. Nous avons opté pour la période 1968-2000.

#### III-2-2-Choix des stations :

Le taux d'informations pluviométriques recueillies dans le bassin versant de la Soummam est constitué d'une cinquantaine de postes répartis de façon plus au moins uniforme, et de quatorze stations se trouvant dans les bassins limitrophes, soit un total de soixante quatre stations. Mais, on n'a pas pu retenir que cinquante stations, qui ont fonctionné depuis 1968.

Les stations retenues ont des périodes, allant de 1968 à 2000, soit une durée de 32 ans, car nous avons écarté les autres postes, à cause de la discontinuité, aussi la période d'étude prise ne coïncide pas avec leurs années d'observations et elles présentent des durées courtes qui sont du à la fermeture ou à une implantation récentes de nouvelles stations.

Enfaite, nous avons pris en considération seulement les stations possédant une série de donnée la plus complète et la plus longue possible et nous avons essayé de manière à ce que les stations retenues couvre la plus grande superficie possible du bassin versant de la Soummam.

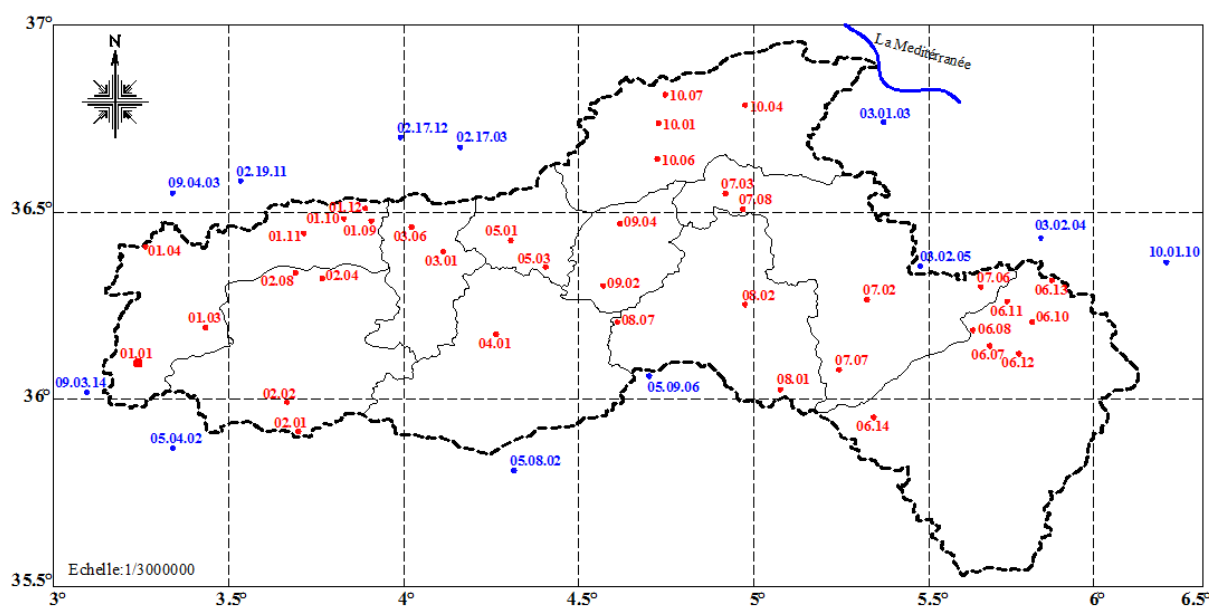
Les stations pluviométriques retenues sont représentées dans le tableau **III-01**, et sur la carte figure **III-01**.

N°	Nom De La Station	Code	(X) m	(Y) m	(Z) m
1	Sour El Ghouzlane	15.01.01	3.6743	36.1485	828
2	El Hachimia	15.01.03	3.8047	36.2162	730
3	Sidi Attaf	15.01.04	3.693	36.372	836
4	Assameur	15.01.09	4.1673	36.4195	/
5	Ain Allouane	15.01.10	4.1141	36.4229	/
6	Haizer	15.01.11	3.9972	36.3967	580
7	Tikjda	15.01.12	4.1143	36.4428	810
8	T. Souk El Khmis	15.02.01	4.1274	36.0206	/
9	Bordj Okriss	15.02.02	3.9609	36.0752	750
10	El Asnam SH	15.02.04	4.0294	36.3103	435
11	Koudiat Tindart	15.02.08	4.0582	36.313	520
12	Mechdellah	15.03.01	4.2589	36.3624	465
13	Beni Hammad	15.03.06	4.2025	36.4088	545
14	Porte De Fer	15.04.01	4.3591	36.2059	303
15	Tazmalt	15.05.01	4.3899	36.3826	427
16	Ighil Ali	15.05.03	4.5326	36.3332	/
17	Ain Arnat	15.06.07	5.2998	36.1849	1029
18	Bouira	15.06.08	5.3997	36.1815	1010
19	Fermatou	15.06.10	5.3825	36.2297	1043
20	Mahouane	15.06.11	5.4584	36.2670	/
21	Setif INRA	15.06.12	5.3558	36.1664	970
22	Zeiri	15.06.13	5.4205	36.3093	1130
23	Tixter	15.06.14	5.0789	36.0491	956
24	Magraoua	15.07.02	5.0675	36.2761	740
25	Boubirek	15.07.03	4.8026	36.47	500
26	Ain Abessa	15.07.06	5.2837	36.2993	1070
27	Bir Kasdali	15.07.07	5.0129	36.1385	980
28	Beni Ourtilane	15.07.08	4.8372	36.4397	1020
29	Sidi M'barek	15.08.01	4.9013	36.1021	1011
30	Zemourah	15.08.02	4.836	36.264	950
31	Djbel Mourissane	15.08.07	4.5919	36.2295	1020
32	Guelaa	15.09.02	4.6584	36.2958	/
33	Sidi Yahia	15.09.04	4.5991	36.4147	255
34	Sidi Aich	15.10.01	4.6779	36.6082	196
35	Domaine Maouche Ahmed	15.10.04	4.8444	36.6393	/
36	Seddouk	15.10.06	4.6719	36.5405	370
37	Tifra	15.10.07	4.6813	36.6581	/

**Tableau III.01** : liste des postes pluviométriques retenus se trouvant dans le bassin versant de la Soummam.

N°	Nom De La Station	Code	(X) m	(Y) m	(Z) m
01	/	02.09.11	4.7492	36.7418	/
02	Ain El Hammam	02.17.03	4.2975	36.5585	1200
03	/	02.17.12	4.1839	36.5757	/
04	Arkoub	02.19.11	3.878	36.4944	610
05	/	03.01.03	5.2749	36.6315	/
06	Amoucha	03.02.04	5.399	36.39	738
07	Ain Roua	03.02.05	5.1695	36.3369	1100
08	Dirach	05.04.02	3.7406	35.9891	834
09	El Haourane	05.08.02	4.3915	35.9459	803
10	Medjana	05.09.06	4.6493	36.1282	106
11	Pont de la Treille	09.03.14	3.5636	36.144	370
12	Djebahia	09.04.03	3.7472	36.4717	520
13	Chebabta	10.01.10	5.6336	36.3393	660

**Tableau III.02 :** liste des postes pluviométriques retenues se trouvant dans les bassins versants limitrophes.



**Fig. III-01 :** Carte de la position des stations pluviométriques retenues (Source : extraite de la carte du réseau hydroclimatologique et de la surveillance de la qualité des eaux, dressée par l'ANRH, département des eaux superficielles, édition 2005)

### III-3-Critique des données pluviométriques recueillies :

Après le choix des stations, l'examen visuel des données de ces dernières montre que certaines séries présentent un certain nombre de lacunes et possible des hétérogénéités.

### III-4-Contrôle et comblement des données manquantes :

Avant toute utilisation de données, il est important de les analyser, de contrôler la fiabilité et la précision de ces dernières, car elles peuvent être affectées par des erreurs que se soit des erreurs aléatoires qui affectent la précision des données et les erreurs systématiques qui affectent à leurs tours la fiabilité des données.

L'origine de ces erreurs est liée à des phénomènes externe qui perturbent les mesures, tel que le changement de l'observateur, mauvaise interprétation des chiffres, erreurs d'appareillage sur n années, erreurs de lecture.

Les données des stations retenues présentent des lacunes à l'échelle annuelle, qui sont dues soit au changement ou à l'absence de l'observation soit à une défaillance du pluviomètre.

Avant d'utiliser ces données, il est important de combler les lacunes d'observations, cela est essentiel pour obtenir une série suffisamment longue et continue, aussi tester la qualité des séries en utilisant des méthodes statistiques d'analyse afin de vérifier leur homogénéité.

#### **III-4-1- Comblement des lacunes d'observations :**

Il est à noter que les séries de données fournies par les services de l'ANRH, présentent des lacunes. Ces dernières ont dû être comblées afin de les homogénéiser aux mieux et faciliter leur utilisation. Le comblement de ces vides peut se faire par plusieurs méthodes, à savoir :

-Remplacer la valeur manquante par celle de la station la plus proche ;

-Remplacer la valeur manquante par la moyenne des stations voisines. Cette méthode est utilisée lorsque les précipitations moyennes annuelles de la station à compléter ne diffèrent pas de plus de 10% des précipitations moyennes annuelles aux stations de référence.

-Remplacer la valeur manquante par la méthode de régression. Pour que cette méthode soit efficace, il faut que la régression soit linéaire et que le coefficient de corrélation soit élevé.

En ce qui concerne la linéarité, elle peut être vérifiée dès le début à l'aide d'un graphique en portant sur les coordonnées les deux stations à comparer. Ces stations doivent présenter au mois une dizaine de valeurs comme dans une région où les fluctuations d'amplitudes sont très différentes.

Cette technique a été proposée par Laborde (2000), son objectif consiste à évaluer les valeurs manquantes d'un tableau de données (matrice) à partir d'Analyses en Composantes Principales (ACP) effectuées de manière itérative.

Nous avons utilisée cette méthode (Bouche trou, programme écrit en basic et présenté sous forme de macros sur Excel), vu que cette dernière a été adoptée pour l'élaboration de la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord.

##### **III-4-1-1-Présentation de la méthode du logiciel HYDROLAB :**

Après le choix de la période d'étude et des stations, on se retrouve face à des observations, dont la majorité, sont incomplètes, ce qui nous amène à procéder au comblement de ces vides.

Cette méthode consiste à évaluer les valeurs manquantes d'un tableau de données à partir d'Analyses en Composantes Principales (ACP) effectuées de manière itérative.

Les données pluviométriques annuelles manquantes ont été complétées à l'aide de cette méthode, de ce fait, il est devenu possible de calculer pour chaque station sa pluie moyenne annuelle, les résultats sont repris dans le tableau suivant :

N°	Nom De La Station	Code	P (mm)
1	Sour El Ghouzlane	15.01.01	410
2	El Hachimia	15.01.03	361
3	Sidi Attaf	15.01.04	622
4	Assameur	15.01.09	857
5	Ain Allouane	15.01.10	620
6	Haizer	15.01.11	513
7	Tikjda	15.01.12	700
8	T. Souk El Khmis	15.02.01	437
9	Bordj Okriss	15.02.02	557
10	El Asnam SH	15.02.04	449
11	Koudiat Tindart	15.02.08	436
12	Mechdellah	15.03.01	306
13	Beni Hammad	15.03.06	366
14	Porte De Fer	15.04.01	290
15	Tazmalt	15.05.01	372
16	Ighil Ali	15.05.03	389
17	Ain Arnat	15.06.07	331
18	Bouira	15.06.08	415
19	Fermatou	15.06.10	394
20	Mahouane	15.06.11	402
21	Setif INRA	15.06.12	347
22	Zeiri	15.06.13	505
23	Tixter	15.06.14	263
24	Magraoua	15.07.02	427
25	Boubirek	15.07.03	541
26	Ain Abessa	15.07.06	568
27	Bir Kasdali	15.07.07	370
28	Beni Ourtilane	15.07.08	543
29	Sidi M'barek	15.08.01	320
30	Zemourah	15.08.02	510
31	Djbel Mourissane	15.08.07	443
32	Guelaa	15.09.02	347
33	Sidi Yahia	15.09.04	366
34	Sidi Aich	15.10.01	472
35	Domaine Maouche Ahmed	15.10.04	449
36	Seddouk	15.10.06	475
37	Tifra	15.10.07	822
38	/	02.09.11	650
39	Ain El Hammam	02.17.03	1023
40	/	02.17.12	283
41	Arkoub	02.19.11	649
42	/	03.01.03	898
43	Amoucha	03.02.04	582
44	Ain Roua	03.02.05	581
45	Dirach	05.04.02	250
46	El Haourane	05.08.02	322
47	Medjana	05.09.06	334
48	Pont de la Treille	09.03.14	420
49	Djebahia	09.04.03	606
50	Chebabta	10.01.10	390

Tableau III.03 : Valeurs de la pluie moyenne annuelle des stations retenues

**III-4-2- Contrôle des séries pluviométriques comblées:**

Le contrôle des séries pluviométriques veut dire étudier l'homogénéité de ces dernières, c'est-à-dire si l'échantillon fait partie de la même population ou il existe dans une même série plusieurs populations, ce qui nous conduit à une hétérogénéité d'une série. Cette hétérogénéité est du, comme nous l'avons évoqué au:

- déplacement de certaines stations (différences topographiques).
- une erreur d'appareillage pendant X années.
- mauvais état de l'appareil de mesures.
- remplacement de l'observateur.
- mauvaise interprétation des chiffres, oubli de virgule.
- Le changement de type d'appareils, de leurs conditions d'installations (hauteur au-dessus du sol).

**III-4-2-1-Test d'homogénéité :**

Pour mieux comprendre, analyser et traiter les données recueillies, on doit connaître l'historique des stations prises dans l'étude, afin d'expliquer les causes qui perturbent l'hétérogénéité, lorsqu'elles se présentent, on doit savoir bien sûr le nom de la station, ces coordonnées, les périodes et les détails sur les équipements.

**III-4-2-1-1-Test simple cumul :**

Le principe consiste à cumuler les valeurs annuelles observées des pluies; une fois faits, on les met en ordonnées et le temps en abscisse. A partir de cumulés en fonction du temps on dispose d'un nuage de points, ces derniers fluctuent autour d'une droite. Si on constate une cassure de la droite on conclut que la série correspondante présente une tendance, des observations erronées ou des valeurs exceptionnelles.

**III-4-2-1-2-Test double cumul :**

Le principe de ce test est le même que celui déjà décrit, et la courbe des doubles cumulés est obtenue en portant en abscisses les totaux annuels cumulés de la station de base, qu'on appellera station de référence, qui doit être complète sur toute la période prise en considération et supposée homogène et en ordonnées les totaux annuels cumulés de la station à vérifier, cette méthode est la plus utilisée, ; Si les points sont distribués de façon linéaire, on conclut que la série est homogène, au contraire, s'il apparaît une ou plusieurs cassures dans la distribution des points, la série n'est pas homogène.

On doit effectuer le calcul des pluies cumulées pendant un nombre d'années successives des stations, puis comparer les résultats par groupe de deux. Pour des stations soumises au même régime pluviométrique, la corrélation entre deux stations doit être linéaire.

**III-5-Analyse fréquentielle des pluies annuelles :**

L'analyse hydrologique s'appuie généralement sur des principes bien établis d'hydrodynamique, de thermodynamique et de statistique. La principale difficulté et d'appliquer ces principes à un milieu naturel hétérogène et mal observé (densité insuffisante et mauvaise répartition des points d'observation) (OMM, 1994).

La pluie annuelle présente un caractère aléatoire, qui est lié au climat d'une nature irrégulière. Pour déterminer la valeur moyenne interannuelle, on doit d'abord procéder à une analyse statistique fondée sur une loi probabiliste donnée.

Le choix d'une telle loi est confronté à l'estimation des caractéristiques statistique de celle-ci, à savoir la valeur moyenne, le coefficient de variation  $C_v$  et le coefficient d'asymétrie  $C_s$ . La vraisemblance des valeurs de ces caractéristiques dépend de la taille de l'échantillon c'est-à-dire la taille de la série d'observations, en pratique hydrologique, doit avoir au minimum une série de trente (30) années.



**III-5-1-La méthode des moments :**

Cette méthode consiste à la détermination des caractéristiques statistiques par les formules suivantes :

a- La moyenne arithmétique :  $P_0 = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{N}$  (13)

Ou :  $P_i$  valeurs de la pluie annuelle en mm

N : nombre d'année

b- Le coefficient de variation  $C_v$ :  $C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (k_i - 1)^2}{N-1}}$  où :  $k_i = \frac{P_i}{P_0}$  (14)

c- Le coefficient d'asymétrie  $C_s$ :  $C_s = \frac{N(\sum_{i=1}^N (k_i - 1)^3)}{(N-1)(N-2)C_v^3}$  (15)

Le résultat des calculs sont récapitulés dans le tableau suivant :

Nom de la Station	Code de la station	P (mm)	$C_v$	$C_s$
Sour El Ghouzlane	15.01.01	410	0.26	0.90
El Hachimia	15.01.03	361	0.30	1.05
Sidi Attaf	15.01.04	622	0.28	1.11
Assameur	15.01.09	857	0.29	0.85
Ain Allouane	15.01.10	620	0.36	0.70
Haizer	15.01.11	513	0.41	1.07
Tikjda	15.01.12	700	0.45	0.68
T. Souk El Khmis	15.02.01	437	0.36	0.30
Bordj Okriss	15.02.02	557	0.26	-1.03
El Asnam SH	15.02.04	449	0.33	0.22
Koudiat Tindart	15.02.08	436	0.27	0.84
Mechdellah	15.03.01	306	0.31	0.59
Beni Hammad	15.03.06	366	0.52	0.77
Porte De Fer	15.04.01	290	0.25	0.41
Tazmalt	15.05.01	372	0.26	0.89
Ighil Ali	15.05.03	389	0.35	0.41
Ain Arnat	15.06.07	331	0.31	0.10
Bouira	15.06.08	415	0.24	0.26
Fermatou	15.06.10	394	0.25	0.16
Mahouane	15.06.11	402	0.43	0.16
Setif INRA	15.06.12	347	0.26	0.33
Zeiri	15.06.13	505	0.25	0.39
Tixter	15.06.14	263	0.40	0.37
Magraoua	15.07.02	427	0.31	0.36
Boubirek	15.07.03	541	0.28	0.62
Ain Abessa	15.07.06	568	0.24	0.08
Bir Kasdali	15.07.07	370	0.33	0.89
Beni Ourtilane	15.07.08	543	0.25	1.02
Sidi M'barek	15.08.01	320	0.24	0.53
Zemourah	15.08.02	510	0.31	0.66
Djbel Mourissane	15.08.07	443	0.24	0.42
Guelaa	15.09.02	347	0.37	1.03

Nom de la Station	Code de la station	P (mm)	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>
Sidi Yahia	15.09.04	366	0.33	0.52
Sidi Aich	15.10.01	472	0.28	0.98
DomaineMaouche A	15.10.04	449	0.26	0.46
Seddouk	15.10.06	475	0.23	0.31
Tifra	15.10.07	822	0.30	1.02
	02.09.11	650	0.29	0.30
Ain El Hammam	02.17.03	1023	0.25	0.63
	02.17.12	283	0.22	0.31
Arkoub	02.19.11	649	0.29	0.31
	03.01.03	898	0.25	-0.04
Amoucha	03.02.04	582	0.26	0.24
Ain Roua	03.02.05	581	0.20	-0.23
Dirach	05.04.02	250	0.29	0.46
El Haourane	05.08.02	322	0.70	2.89
Medjana	05.09.06	334	0.35	1.07
Pont de la Treille	09.03.14	420	0.35	0.75
Djebahia	09.04.03	606	0.27	0.92
Chebabta	10.01.10	390	0.30	0.72

**Tableau III.04** : Paramètres statistiques estimés par la méthode des moments

Les valeurs du coefficient d'asymétrie estimées par la méthode des moments se caractérisent par des écarts considérables, varient entre (-1.03 à 2.89)

### III-5-2-La méthode du maximum vraisemblance :

En hydrologie, la méthode du maximum vraisemblance a été introduite par Kritsky S. N. et Menkel F. O. (Kritsky S. N. et Menkel F. O. A propos de l'utilisation de la méthode de la maximum vraisemblance pour l'estimation des paramètres statistiques de l'écoulement fluvial. Edition de l'Académie des Sciences de l'URSS, 1949). En 1974 Blakhinov E. G. a proposé un mode opératoire de cette méthode, qui est fondé sur le calcul en premier lieu les statistiques suivantes :

$$\lambda_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (16)$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg(k_i) \quad (17)$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i \lg(k_i) \quad (18)$$

La statique  $\lambda_1$  exprime la valeur moyenne arithmétique  $\bar{x}$ . Les valeurs des coefficients de variation  $C_v$  et d'asymétrie  $C_s$  sont tirées respectivement à partir des nomogrammes dressés pour ce but. Cette méthode est recommandée pour l'estimation des paramètres statistiques, surtout quand les valeurs du coefficient de variation  $C_v > 0.5$ . Quand  $C_v < 0.5$ , cette méthode et celle des moments donnent pratiquement les mêmes résultats.

Les résultats de calcul sont insérés dans le tableau suivant :

Nom de la Station	Code de la station	P (mm)	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	Cs/Cv
Sour El Ghouzlane	15.01.01	410	0.255	1.134	4.4
El Hachimia	15.01.03	361	0.293	1.266	4.3
Sidi Attaf	15.01.04	622	0.280	1.371	4.9
Assameur	15.01.09	857	0.285	0.994	3.5
Ain Allouane	15.01.10	620	0.367	0.838	2.3
Haizer	15.01.11	513	0.410	1.429	3.5
Tikjda	15.01.12	700	0.459	0.816	1.8
T. Souk El Khmis	15.02.01	437	0.358	0.365	1.0
Bordj Okriss	15.02.02	557	0.261	-0.416	-1.6
El Asnam SH	15.02.04	449	0.329	0.298	0.9
Koudiat Tindart	15.02.08	436	0.267	1.003	3.8
Mechdellah	15.03.01	306	0.317	0.706	2.2
Beni Hammad	15.03.06	366	0.529	0.936	1.8
Porte De Fer	15.04.01	290	0.254	0.490	1.9
Tazmalt	15.05.01	372	0.262	1.047	4.0
Ighil Ali	15.05.03	389	0.357	0.502	1.4
Ain Arnat	15.06.07	331	0.308	0.180	0.6
Bouira	15.06.08	415	0.239	0.335	1.4
Fermatou	15.06.10	394	0.256	0.245	1.0
Mahouane	15.06.11	402	0.433	1.488	3.4
Setif INRA	15.06.12	347	0.264	0.425	1.6
Zeiri	15.06.13	505	0.253	0.483	1.9
Tixter	15.06.14	263	0.404	0.456	1.1
Magraoua	15.07.02	427	0.317	0.435	1.4
Boubirek	15.07.03	541	0.281	0.735	2.6
Ain Abessa	15.07.06	568	0.245	0.156	0.6
Bir Kasdali	15.07.07	370	0.330	1.076	3.3
Beni Ourtilane	15.07.08	543	0.246	1.272	5.2
Sidi M'barek	15.08.01	320	0.248	0.607	2.5
Zemourah	15.08.02	510	0.311	0.793	2.6
Djbel Mourissane	15.08.07	443	0.245	0.508	2.1
Guelaa	15.09.02	347	0.374	1.369	3.7
Sidi Yahia	15.09.04	366	0.334	0.639	1.9
Sidi Aich	15.10.01	472	0.273	1.208	4.4
DomaineMaouche A	15.10.04	449	0.266	0.544	2.0
Seddouk	15.10.06	475	0.238	0.392	1.6
Tifra	15.10.07	822	0.301	1.240	4.1
	02.09.11	650	0.296	0.381	1.3
Ain El Hammam	02.17.03	1023	0.256	0.757	2.9
	02.17.12	283	0.225	0.381	1.7
Arkoub	02.19.11	649	0.297	0.376	1.3
	03.01.03	898	0.254	0.054	0.2
Amoucha	03.02.04	582	0.264	0.306	1.2
Ain Roua	03.02.05	581	0.210	-0.100	-0.5
Dirach	05.04.02	250	0.291	0.566	1.9
El Haourane	05.08.02	322	0.928	5.269	5.7
Medjana	05.09.06	334	0.353	1.359	3.9
Pont de la Treille	09.03.14	420	0.356	0.945	2.7
Djebahia	09.04.03	606	0.265	1.108	4.2
Chebabta	10.01.10	390	0.299	0.868	2.9

Tableau III.05 : Paramètres statistiques estimés par la méthode du maximum vraisemblance

### III-5-3-La méthode grapho-analytique d'Alekseev :

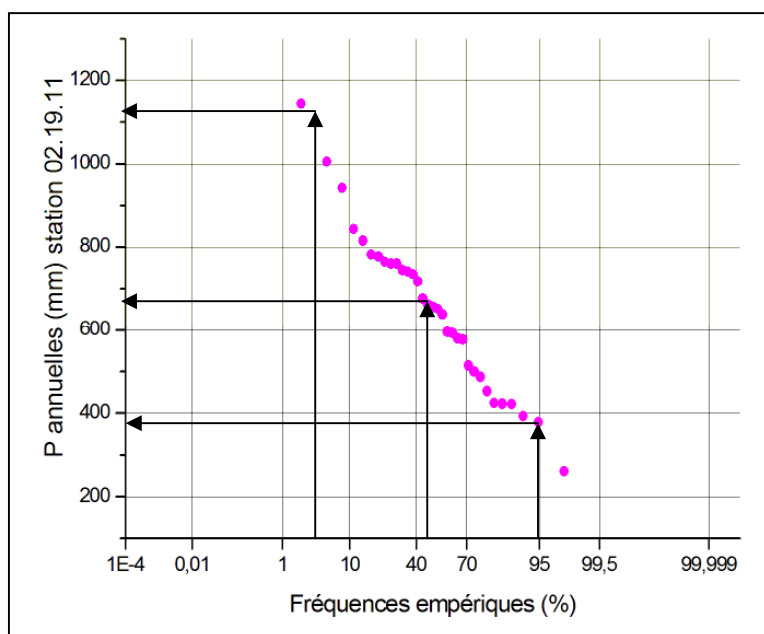
La méthode grapho-analytique d'Alekseev donne la possibilité de tenir compte de la courbure de la courbe des fréquences.

Les paramètres statistiques sont estimés à l'aide des valeurs de trois points caractéristiques tirés à partir de la courbe empirique lissée, ils correspondent respectivement aux fréquences 5 %, 50% et 95%.

Le traitement statistique se fait comme suit :

-En premier lieu, on construit les courbes empiriques de fréquences des pluies annuelles pour chaque station retenue (**fig. III.02**).

Les autres courbes sont insérées en annexe **05**.



**Fig. III.02** : Courbe des fréquences empiriques des pluies annuelles de la station (02 19 11)

Après avoir tiré les quantiles  $P_{5\%}$ ,  $P_{50\%}$  et  $P_{95\%}$ , on calcule le coefficient de courbure  $S$  :

$$S = \frac{P_{5\%} + P_{95\%} - 2P_{50\%}}{P_{5\%} - P_{95\%}} \quad (19)$$

A la valeur calculée de  $S$  correspond une valeur du coefficient d'asymétrie  $C_s$  qu'on tire dans un tableau spécial (annexe **06**)

$$\text{On calcule l'écart quadratique type par : } \sigma_p = \frac{P_{5\%} - P_{95\%}}{\Phi_{5\%} - \Phi_{95\%}} \quad (20)$$

$$\text{et la valeur moyenne : } p_o = P_{50\%} - \sigma_p \cdot \Phi_{50\%} \quad (21)$$

$$\text{Le coefficient de variation est exprimé par : } C_v = \frac{\sigma_p}{p_o} \quad (22)$$

Les résultats de calcul obtenus sont insérés dans le tableau **III.06** :

N. Station	Code	P <sub>5%</sub>	P <sub>50%</sub>	P <sub>95%</sub>	S	C <sub>S</sub>	$\sigma$	P <sub>0</sub>	C <sub>V</sub>
S.E Ghouzlane	15.01.01	617	387	265	0,31	1,1	111	407	0,27
El Hachimia	15.01.03	552	337	219	0,29	1,03	104	356	0,29
Sidi Attaf	15.01.04	1054	580	407	0,47	1,66	212	618	0,34
Assameur	15.01.09	1370	809	513	0,31	1,1	270	858	0,32
Ain Allouane	15.01.10	1098	596	228	0,15	0,52	267	644	0,41
Haizer	15.01.11	991	500	198	0,24	0,86	247	544	0,45
Tikjda	15.01.12	1438	677	237	0,27	0,96	375	744	0,50
Souk El Khmis	15.02.01	756	419	216	0,25	0,9	168	444	0,38
Bordj Okriss	15.02.02	724	605	339	0,38	1,35	123	623	0,20
El Asnam SH	15.02.04	648	435	263	0,11	0,1	117	437	0,27
Koudiat Tindart	15.02.08	682	425	254	0,2	0,7	132	441	0,30
Mechdellah	15.03.01	503	273	201	0,52	1,83	101	288	0,35
Beni Hammad	15.03.06	795	326	89	0,33	1,16	223	359	0,62
Porte De Fer	15.04.01	416	272	185	0,25	0,9	72	283	0,25
Tazmalt	15.05.01	611	348	235	0,4	1,43	121	366	0,33
Ighil Ali	15.05.03	630	381	80	0,09	0,33	168	406	0,41
Ain Arnat	15.06.07	524	326	158	0,08	0,3	112	332	0,34
Bouira	15.06.08	578	380	265	0,27	0,96	98	395	0,25
Fermatou	15.06.10	535	371	245	0,13	0,46	89	384	0,23
Mahouane	15.06.11	829	334	210	0,6	2,125	213	366	0,58
Setif INRA	15.06.12	499	330	209	0,17	0,6	89	339	0,26
Zeiri	15.06.13	689	434	346	0,49	1,73	113	451	0,25
Tixter	15.06.14	427	271	82	0,09	0,33	106	287	0,37
Magraoua	15.07.02	705	404	235	0,28	1	147	428	0,34
Boubirek	15.07.03	878	524	348	0,34	1,2	168	556	0,30
Ain Abessa	15.07.06	797	559	327	0,013	0,04	143	580	0,25
Bir Kasdali	15.07.07	609	342	203	0,32	1,13	128	361	0,35
Beni Ourtilane	15.07.08	854	516	366	0,39	1,4	156	550	0,28
Sidi M'barek	15.08.01	479	311	199	0,2	0,7	86	321	0,27
Zemourah	15.08.02	867	491	282	0,29	1,03	183	519	0,35
Dj/ Mourissane	15.08.07	654	434	285	0,19	0,66	114	451	0,25
Guelaa	15.09.02	676	323	174	0,4	1,43	161	347	0,46
Sidi Yahia	15.09.04	629	327	222	0,48	1,7	134	363	0,37
Sidi Aich	15.10.01	693	446	273	0,18	0,63	129	465	0,28
DneMaouche A	15.10.04	652	441	262	0,08	0,3	119	447	0,27
Seddouk	15.10.06	681	463	296	0,13	0,46	118	481	0,25
Tifra	15.10.07	1333	778	509	0,35	1,23	261	817	0,32
	02.09.11	1009	657	267	0,05	0,17	226	691	0,33
A/ El Hammam	02.17.03	1791	1019	447	0,15	0,52	413	1081	0,38
	02.17.12	419	279	89	0,15	0,52	101	294	0,34
Arkoub	02.19.11	1009	657	375	0,11	0,4	194	671	0,29
	03.01.03	1243	958	576	0,15	0,52	205	989	0,21
Amoucha	03.02.04	874	560	390	0,3	1,06	152	583	0,26
Ain Roua	03.02.05	756	567	369	0,02	0,006	118	585	0,20
Dirach	05.04.02	408	251	146	0,2	0,7	81	261	0,31
El Haourane	05.08.02	979	564	128	0,02	0,006	259	603	0,43
Medjana	05.09.06	605	297	168	0,41	1,46	141	318	0,44
Pont la Treille	09.03.14	731	395	236	0,36	1,26	157	419	0,38
Djebahia	09.04.03	995	581	404	0,4	1,43	190	609	0,31
Chebabta	10.01.10	622	378	238	0,27	0,96	120	396	0,30

**Tableau III.06-** Les caractéristiques statistiques estimées par la méthode grapho-analytique.

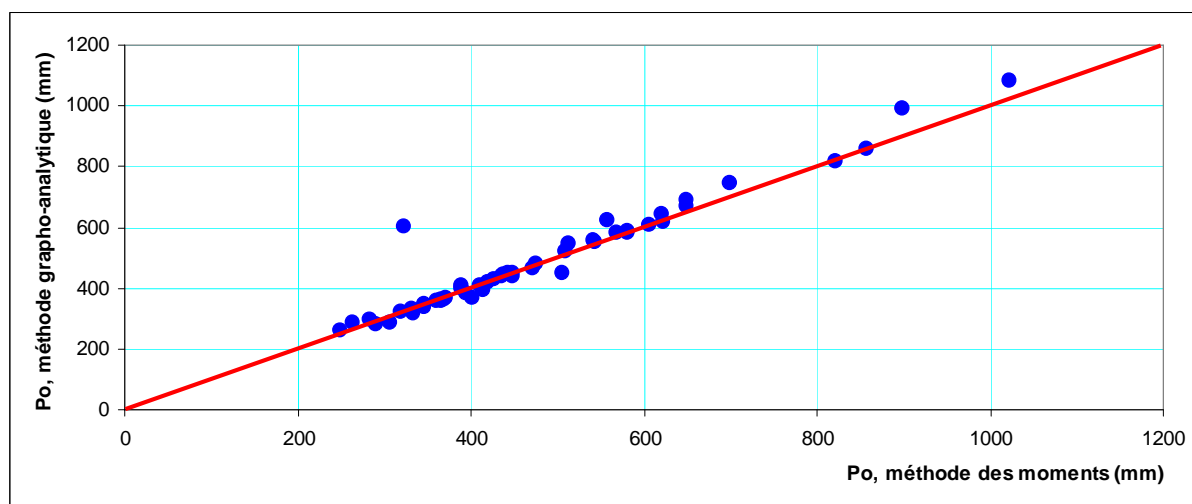
A l'aide des trois méthodes, nous avons pu calculer la valeur de la pluie moyenne interannuelle de toutes les stations. L'analyse statistique des données pluviométriques montre que les pluies annuelles se caractérisent par une asymétrie relativement modérée.

Les résultats obtenus par les trois méthodes, nous montre que :

La moyenne calculée par la méthode des moments et du maximum de vraisemblance est légèrement inférieure à celle calculée par la méthode grapho-analytique d'Alekseev. Les moyennes adoptées pour dresser la carte des pluies moyennes interannuelles sont celles obtenus par la troisième méthode.

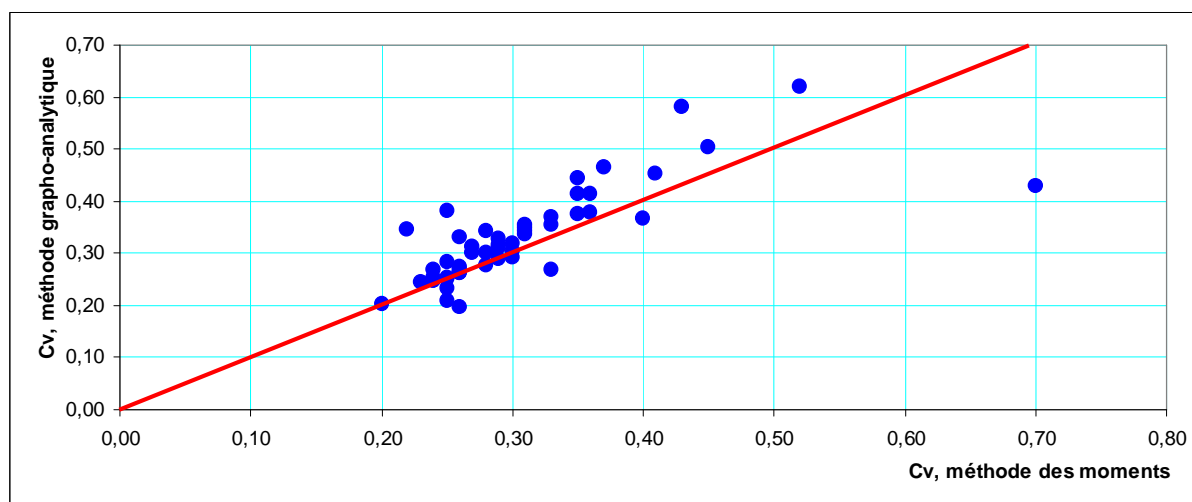
#### III-5-4-Analyse des résultats obtenus par les trois méthodes :

La comparaison des moyennes obtenues par la méthode grapho-analytique avec les moyennes obtenues par la méthode des moments (**Fig.III.03**), montre qu'elles sont pratiquement de même ordre.



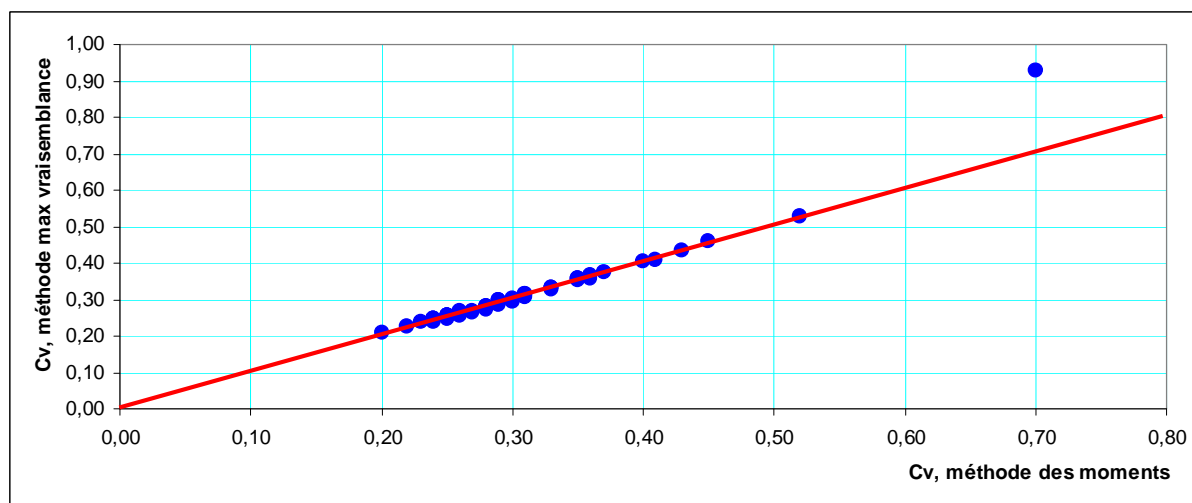
**Fig.III.03:** Graphique de la dépendance  $P_{o,grapho-analytique} = f(P_{o,moments})$

De même, la comparaison des valeurs de coefficient de variation obtenues par la méthode grapho-analytique avec celles obtenues par la méthode des moments (**Fig.III.04**), montre que les valeurs obtenues par la méthode grapho-analytique sont supérieures.



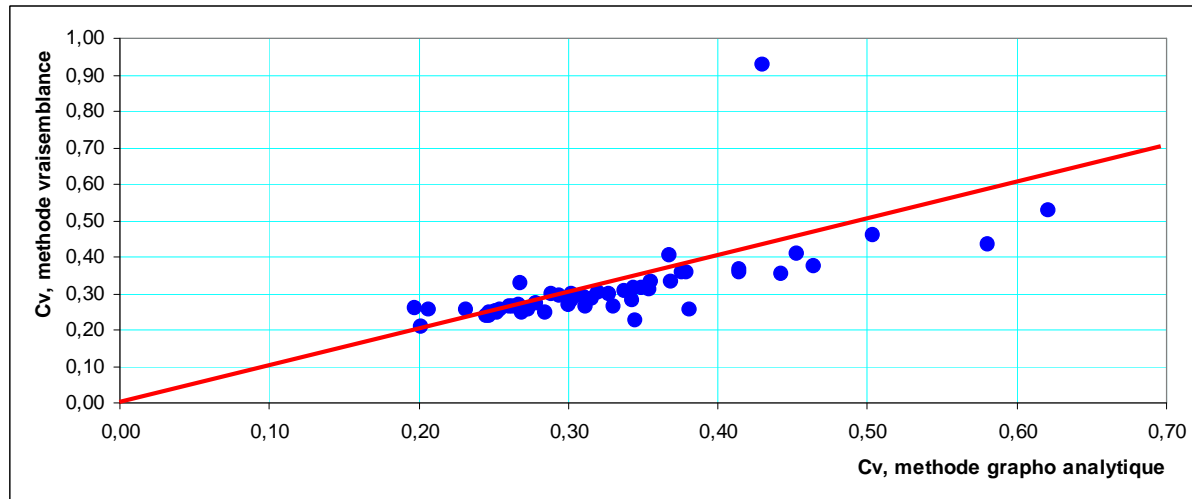
**Fig. III.04 :** Graphique de la dépendance  $C_{v,grapho-analytique} = f(C_{v,moments})$

Par contre, la comparaison des valeurs de coefficient de variation obtenues par la méthode du maximum de vraisemblance avec celles obtenues par la méthode des moments (**Fig.III.05**), montre qu'elles sont très proches et pratiquement du même ordre avec un coefficient de corrélation  $R=0.976$



**Fig. III.05** : Graphique de la dépendance  $C_{v, \text{max vraisemblance}} = f(C_{v, \text{moments}})$

Les résultats du coefficient de variation obtenus par la méthode des max-vraisemblance et par la méthode graph-analytique montre que les valeurs obtenues par la méthode grapho-analytique sont supérieures. (**Fig.III.06**)

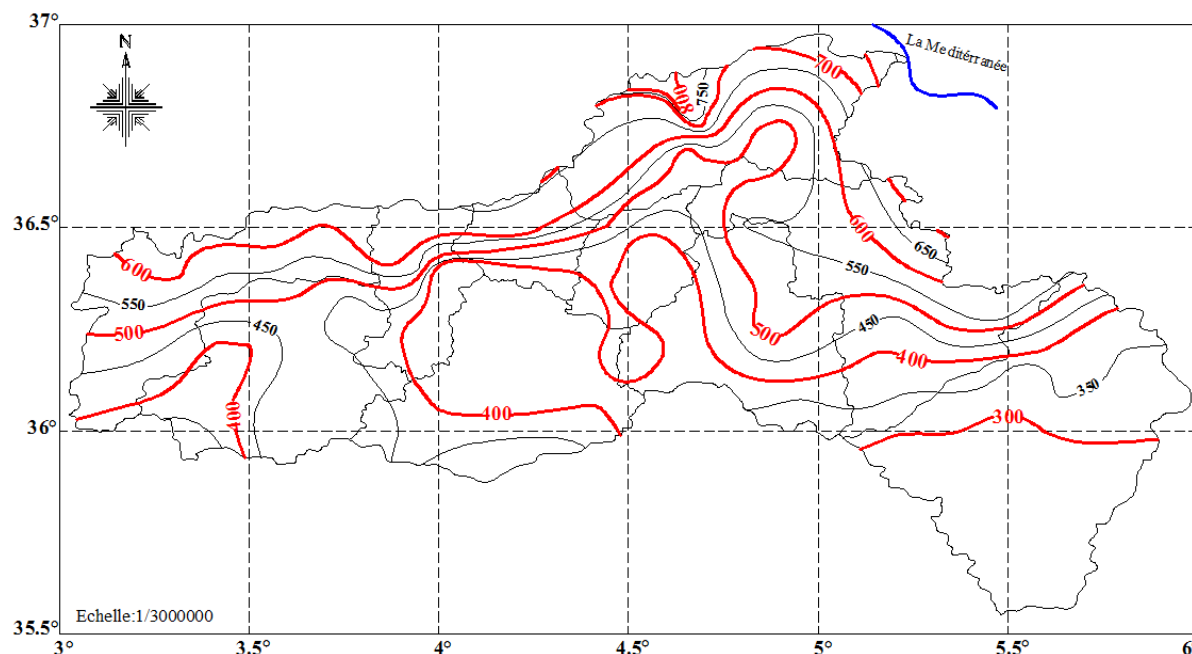


**Fig. III.06** : Graphique de la dépendance  $C_{v, \text{max vraisemblance}} = f(C_{v, \text{graphoanalytique}})$

Néanmoins, pour l'étude de l'écoulement moyen interannuel nous adoptons les résultats obtenus par la méthode grapho-analytique qui tient compte de l'asymétrie de la courbe des fréquences

### III-5-5-Carte des pluies moyennes interannuelles du bassin de la Soummam :

Le principe de la continuité spatiale de la pluie en tant que facteur climatique, permet de la cartographier sous forme d'isohyètes. Sur la base des valeurs moyennes obtenues par la méthode grapho-analytique d'Alekseev, nous avons tracé la carte de la P.M.I. du bassin de la Soummam (**Fig.III.07**).



**Fig. III.07 :** Carte de la pluie moyenne interannuelle (PMI) du bassin versant de la Soummam.

Cette carte exprime la répartition spatiale de la pluie moyenne interannuelle (PMI). On remarque que la valeur de la pluie minimale est enregistrée au sous bassin n°06 (environ 260mm), aussi, on remarque une concentration des isohyètes au niveau du sous bassin n°3, indiquant que cette zone représente un relief accidenté et qu'il reçoit une quantité importante des pluies (chaîne du Djurdjua). La valeur enregistrée dans cette zone atteint les 800mm. Alors que la valeur maximale sur le littoral est de l'ordre de 750 mm. La répartition de la pluie moyenne est très influencée par l'altitude.

### III-6-Détermination de la PMI des différents sous bassins :

Le passage de la donnée ponctuelle de la pluie à la valeur moyenne sur une superficie donnée se fait par l'une des techniques connues. Mais l'existence de la carte de la pluie moyenne interannuelle donne essentiellement deux possibilités pour déterminer la lame moyenne sur un bassin versant :

- 1- tirer la valeur correspondant au point appelé centre hydrologique du bassin. Ladjel le considère comme le point d'intersection de la courbe de l'altitude moyenne du bassin avec la moitié de la longueur du cours d'eau.
- 2- tenir compte de la variation de la pluie et calculer la moyenne pondérée.

Les deux procédés sont appliqués pour la détermination de la pluie moyenne sur les différents sous-bassins de la Soummam.

#### III-6-1-La méthode des centres hydrologiques :

Comme beaucoup d'hydrologues, qui admettent que la valeur de  $P_0$  tirée directement de la carte, représente la valeur moyenne représentative du bassin. Nous avons tiré les valeurs des P.M.I de la Soummam (**fig.III.07**) correspondant au centre de gravité hydrologique de chaque sous bassin.

Les valeurs des centres hydrologiques et des pluies moyennes interannuelles des sous-bassins de la Soummam et des bassins limitrophes se trouvent dans le tableau **III.07**



N°	N.Station	N.Oued	Code	X °	Y°	P <sub>0</sub> (mm)
01	Tilesdit	Eddous	15.01.06	3.834	36.318	611
02	El Snam	Zaiane	15.02.04	4.025	36.234	455
03	P/ de fer	Azerou	15.04.01	4.470	36.244	370
04	Ferमतou	Boussellam	15.06.01	5.410	36.260	350
05	Ain Zada	Boussellam	15.07.01	5.264	36.194	500
06	Megraoua	Boussellam	15.07.02	5.122	36.336	680
07	Boubirek	Boussellam	15.07.03	4.775	36.422	550
08	Sidi Yahia	Boussellam	15.09.01	4.772	36.418	548
09	Sidi Aich	Soummam	15.10.01	4.777	36.638	575
10	Boubroune	Boubhir	02.15.13	4.340	36.668	900
11	A/Zaouia	El hamam	02.19.05	3.999	36.552	650
12	Medjez	Ksob	05.09.01	4.810	35.878	340
13	S/Ouadah	Soubellah	05.11.01	5.475	35.775	290
14	B/Slimane	Malah	09.03.05	3.649	36.261	545
15	Tassadane	El kebir	10.01.09	5.676	36.300	800

**Tableau. III.07 :** Coordonnées des centres hydrologiques et valeur de la pluie moyenne interannuelle.

### III-6-2-La méthode des isohyètes :

Une courbe isohyète est le lieu géométrique des points sur lesquels il est tombé la même hauteur de pluie pendant une période déterminée. Il est bien entendu que l'on ne peut jamais tracer exactement une telle courbe, comme on le ferait pour une courbe de niveau. On se contentera de tracer avec le maximum de vraisemblance, compte tenu de ce que l'on sait de la région, des courbes représentant approximativement la répartition spatiale de la pluie pendant la période considérée. [13].

La valeur de la pluie moyenne sur un sous bassin  $P_o$  est déterminée par la méthode grapho-analytique des isohyètes. Il suffit de connaître les surfaces partielles comprises entre les isohyètes  $S_i$  et la valeur de la pluie moyenne correspondante.

La pluie moyenne sur le sous-bassin est calculée par l'expression suivante :

$$P_o = \frac{\sum_{i=1}^N P_i \times S_i}{S_{BV}} \quad (23)$$

$P_o$  – pluie moyenne interannuel (mm),

$P_i$  – valeur moyenne de pluie entre deux isohyètes (mm),

$S_i$  – superficie comprise entre les isohyètes  $i$  et  $i+1$  (km<sup>2</sup>),

$S_{BV}$  – surface totale de chaque sous bassin. (km<sup>2</sup>),

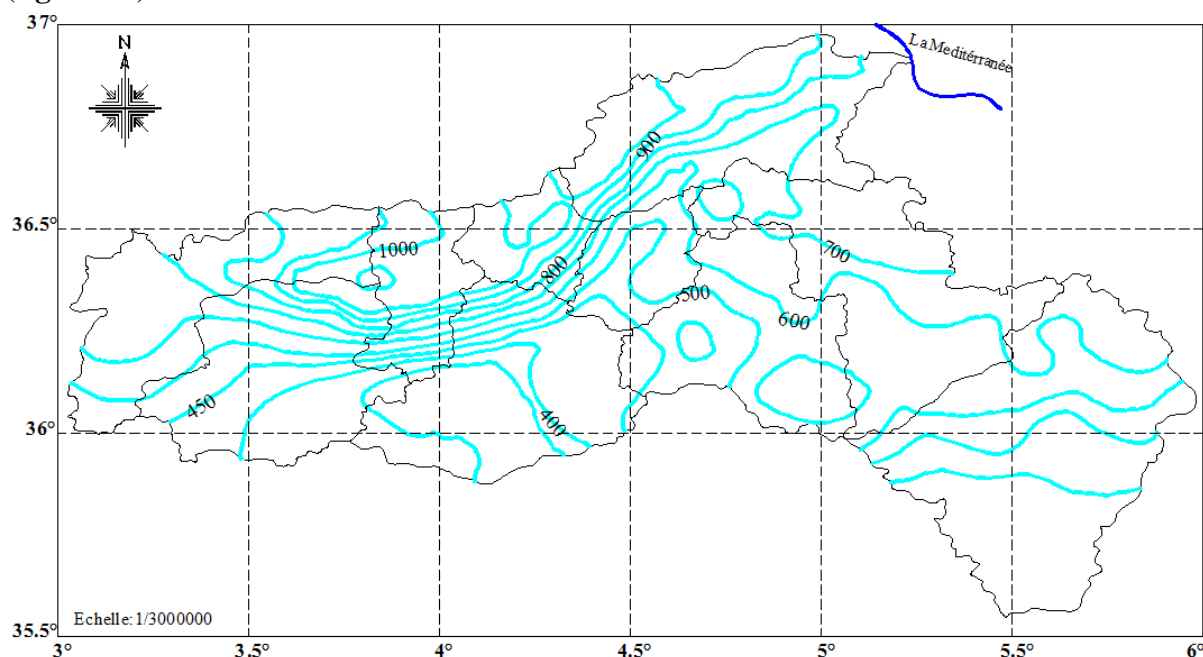
Les valeurs des pluies moyennes interannuelles des sous-bassins de la Soummam, déterminées par la méthode des isohyètes se trouvent dans le tableau.

N°	N.Station	N.Oued	Code	X °	Y°	P <sub>0</sub> (mm)
01	Tilesdit	Eddous	15.01.06	3.834	36.318	595
02	El Snam	Zaiane	15.02.04	4.025	36.234	465
03	P/ de fer	Azerou	15.04.01	4.470	36.244	350
04	Ferमतou	Boussellam	15.06.01	5.410	36.260	400
05	Ain Zada	Boussellam	15.07.01	5.264	36.194	520
06	Megraoua	Boussellam	15.07.02	5.122	36.336	725
07	Boubirek	Boussellam	15.07.03	4.775	36.422	427
08	Sidi Yahia	Boussellam	15.09.01	4.772	36.418	390
09	Sidi Aich	Soummam	15.10.01	4.777	36.638	600
10	Boubroune	Boubhir	02.15.13	4.340	36.668	880
11	A/Zaouia	El hamam	02.19.05	3.999	36.552	710
12	Medjez	Ksob	05.09.01	4.810	35.878	325
13	S/Ouadah	Soubellah	05.11.01	5.475	35.775	305
14	B/Slimane	Malah	09.03.05	3.649	36.261	536
15	Tassadane	El kebir	10.01.09	5,676	36,300	739

**Tableau. III.08 :** valeurs de la pluie moyenne interannuelle estimées par la méthode des isohyètes.

### III-6-3-La méthode des isohyètes éditées par les services de l'ANRH :

Les valeurs des pluies moyennes interannuelles des sous-bassins de la Soummam, déterminées par la méthode des isohyètes a partir de la carte des pluies moyennes annuelles éditée par les services de l'ARNH, dont voici un extrait relatif au bassin de la Soummam (**fig.III.08**).



**Fig.III.08 :** Carte de la pluie moyenne interannuelle (P.M.I.) du bassin versant Soummam extraite de la carte éditée par l'ARNH

(Source : extraite de la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord, dressée par l'ANRH, moyennes annuelles ramenées à la période 1922-1960/1969-1989, édition 1993)

Les résultats de calcul se trouvent dans le tableau suivant :

N°	N.Station	N.Oued	Code	X °	Y°	P <sub>0</sub> (mm)
01	Tilesdit	Eddous	15.01.06	3.834	36.318	663
02	El Snam	Zaiane	15.02.04	4.025	36.234	625
03	P/ de fer	Azerou	15.04.01	4.470	36.244	350
04	Fermatou	Boussellam	15.06.01	5.410	36.260	520
05	Ain Zada	Boussellam	15.07.01	5.264	36.194	540
06	Megraoua	Boussellam	15.07.02	5.122	36.336	569
07	Boubirek	Boussellam	15.07.03	4.775	36.422	800
08	Sidi Yahia	Boussellam	15.09.01	4.772	36.418	600
09	Sidi Aich	Soummam	15.10.01	4.777	36.638	750
10	Boubroune	Boubhir	02.15.13	4.340	36.668	828
11	A/Zaouia	El hamam	02.19.05	3.999	36.552	876
12	Medjez	Ksob	05.09.01	4.810	35.878	380
13	S/Ouadah	Soubellah	05.11.01	5.475	35.775	350
14	B/Slimane	Malah	09.03.05	3.649	36.261	530
15	Tassadane	El kebir	10.01.09	5,676	36,300	854

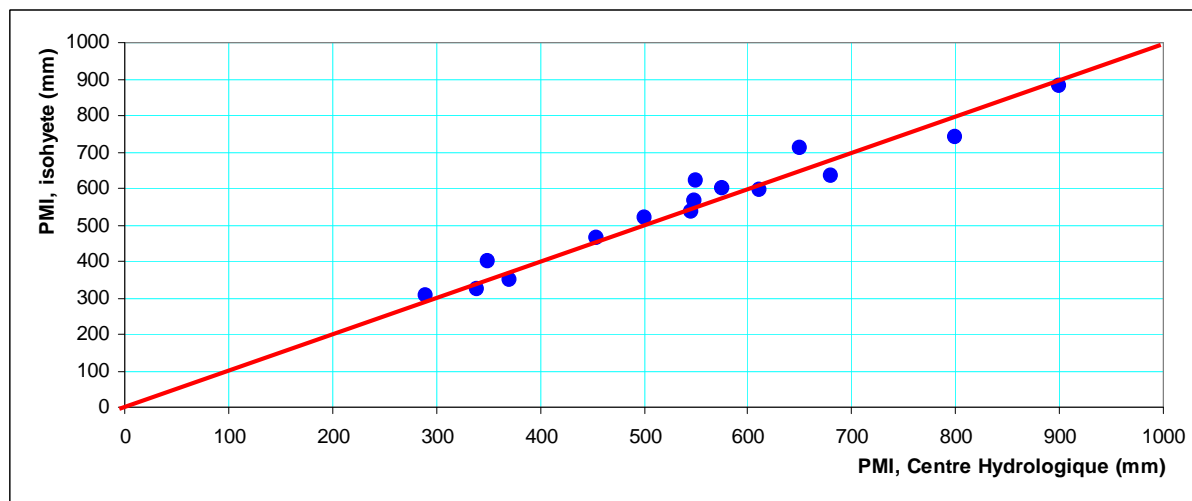
**Tableau. III.09** : valeurs de la pluie moyenne interannuelle tirées de la carte ANRH 1992.

#### III-6-4-Analyse comparative des trois approches :

Le tableau suivant nous montre les différentes valeurs des pluies moyennes interannuelles obtenues à partir des différentes méthodes.

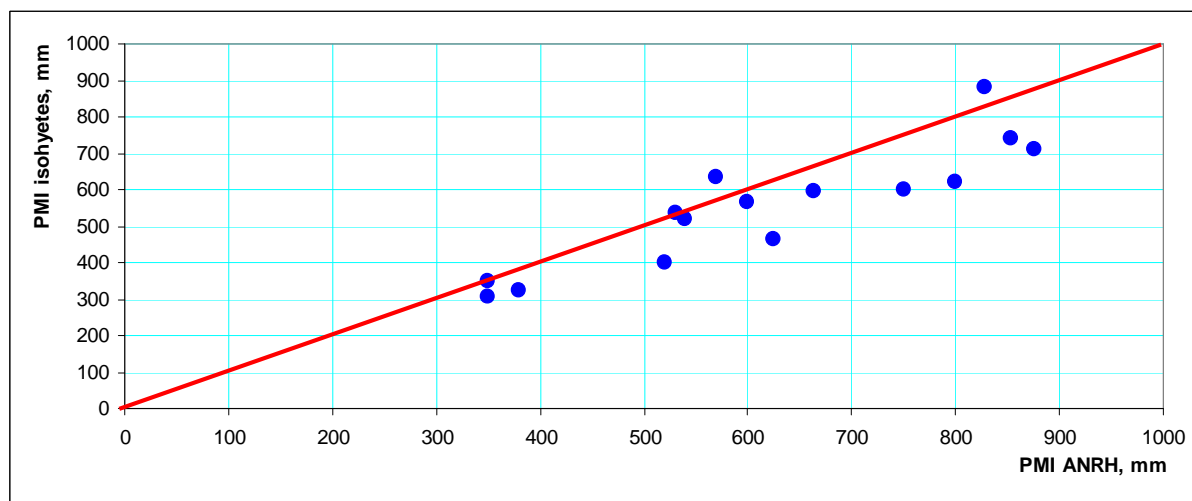
N°	N.Station	N.Oued	Code	X°	Y°	P <sub>0</sub> (mm) C.H	P <sub>0</sub> (mm) Isohyetes	P <sub>0</sub> (mm) ANRH
01	Tilesdit	Eddous	15.01.06	3.834	36.318	611	595	663
02	El Snam	Zaiane	15.02.04	4.025	36.234	455	465	625
03	P/ de fer	Azerou	15.04.01	4.470	36.244	370	350	350
04	Fermatou	Boussellam	15.06.01	5.410	36.260	350	400	520
05	Ain Zada	Boussellam	15.07.01	5.264	36.194	500	520	540
06	Megraoua	Boussellam	15.07.02	5.122	36.336	680	725	569
07	Boubirek	Boussellam	15.07.03	4.775	36.422	550	427	800
08	Sidi Yahia	Boussellam	15.09.01	4.772	36.418	548	390	600
09	Sidi Aich	Soummam	15.10.01	4.777	36.638	575	600	750
10	Boubroune	Boubhir	02.15.13	4.340	36.668	900	880	828
11	A/Zaouia	El hamam	02.19.05	3.999	36.552	650	710	876
12	Medjez	Ksob	05.09.01	4.810	35.878	340	325	380
13	S/Ouadah	Soubellah	05.11.01	5.475	35.775	290	305	350
14	B/Slimane	Malah	09.03.05	3.649	36.261	545	536	530
15	Tassadane	El kebir	10.01.09	5.676	36.300	800	739	854

**Tableau. III.10** : Pluie moyenne interannuel (PMI) estimées pour chaque sous-bassin par les trois méthodes.



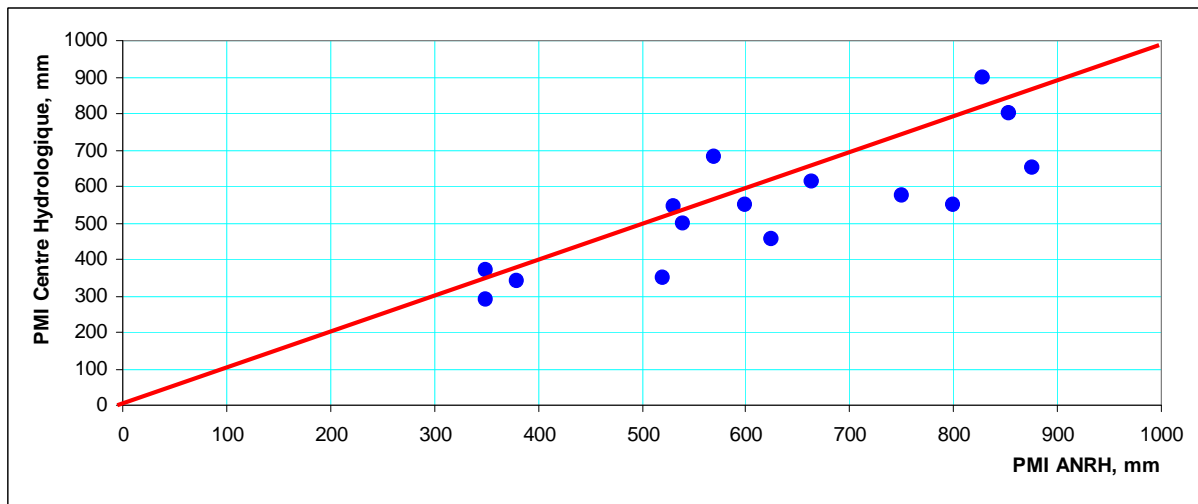
**Fig. III.09** : Graphique de la dépendance  $PMI\ isohyètes=f(PMI\ centre\ hydrologique)$

Selon le graphe ci-dessus, on remarque que les valeurs obtenues par la méthode des isohyètes et celles calculées à partir des centres hydrologiques sont presque les mêmes avec un coefficient de corrélation égal à 0.976.



**Fig. III.10** : Graphique de la dépendance  $PMI\ isohyètes=f(PMI\ ANRH)$

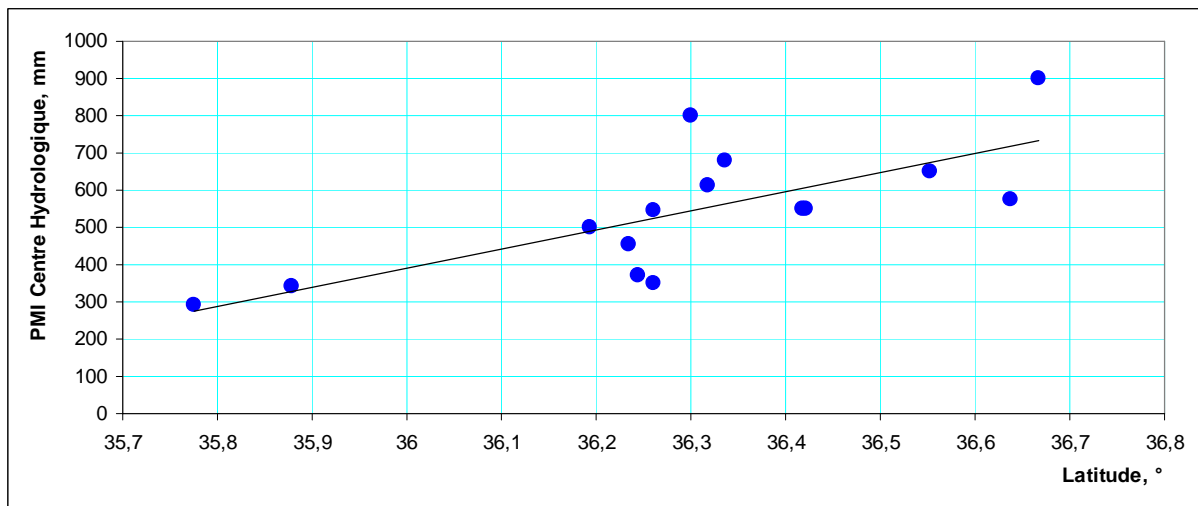
Selon le graphe ci-dessus, on remarque que les valeurs obtenues par la méthode des isohyètes et celles tirées de la carte de l'ANRH sont presque du même ordre et présente un coefficient de corrélation égal à 0.894



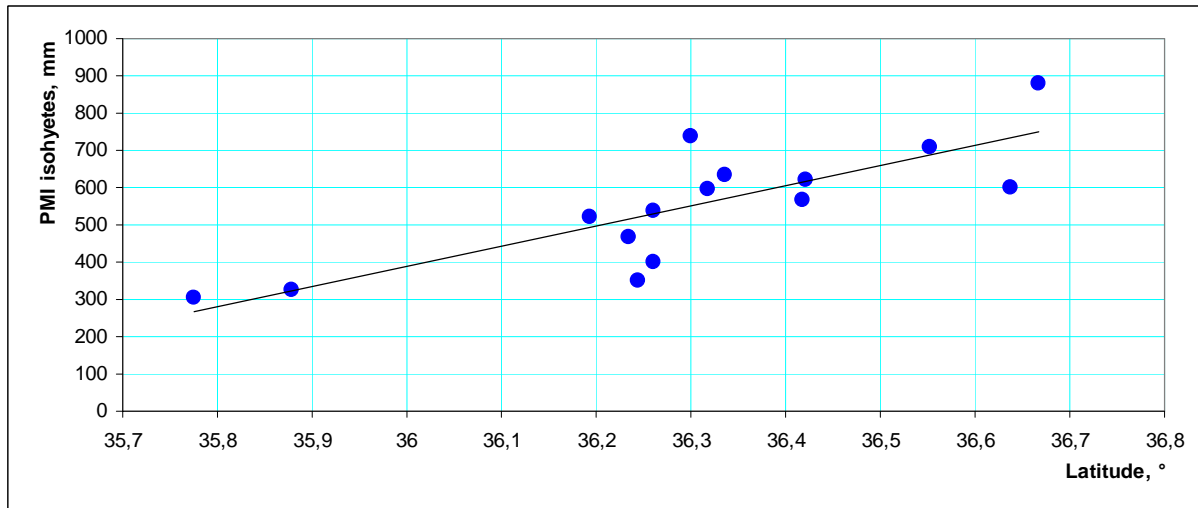
**Fig. III.11** : Graphique de la dépendance  $PMI\ centre\ hydrologique=f(PMI\ ANRH)$

Par contre les valeurs obtenues par la méthode des centres hydrologiques et celles tirées de la carte de l'ANRH sont un peu différentes mais présente un coefficient de corrélation égal à 0.815.

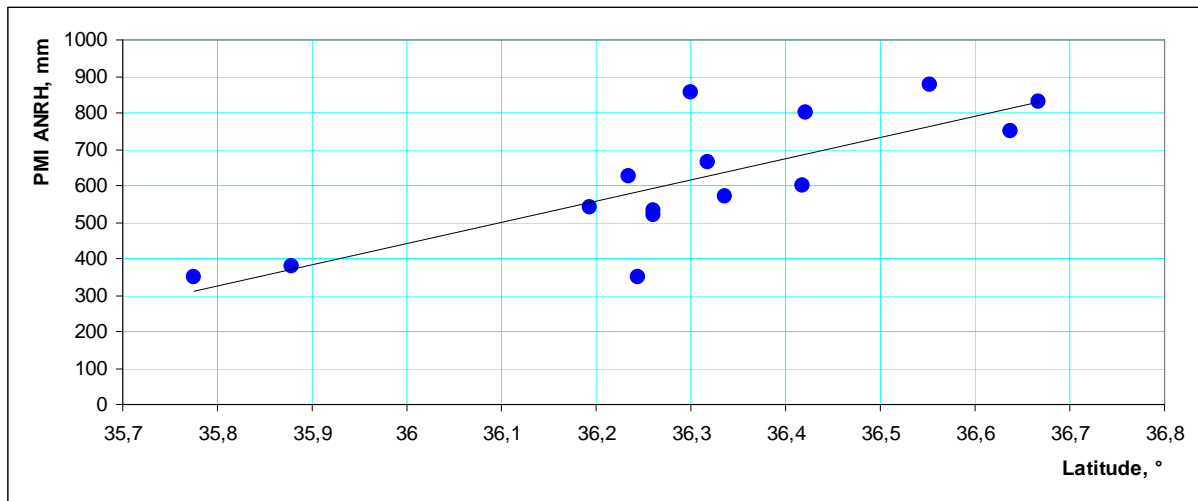
En ce qui concerne la dépendance des pluies calculées par les trois approches avec la latitude, on trouve :



**Fig. III.12** : Graphique de la dépendance  $PMI\ centre\ hydrologique=f(latitude)$



**Fig. III.13** : Graphique de la dépendance  $PMI\ isohyètes=f(latitude)$



**Fig. III.14** : Graphique de la dépendance  $PMI\ ANRH=f(latitude)$

Selon les graphes ci-dessus, on remarque que la pluie augmente avec la latitude. Après cette analyse, les valeurs sélectionnées pour élaborer notre étude, sont celles déterminées par la méthode des isohyètes, qui sont obtenues à partir des données pluviométriques que nous avons au préalable traitées et analysées et qui nous donne un coefficient de corrélation signifiant avec la latitude par rapport aux deux autres méthodes.

N°	N.Station	N.Oued	Code	X°	Y°	P <sub>0</sub> (mm) Isohyetes
01	Tilesdit	Eddous	15.01.06	3.834	36.318	595
02	El Snam	Zaiane	15.02.04	4.025	36.234	465
03	P/ de fer	Azerou	15.04.01	4.470	36.244	350
04	Fermatou	Boussellam	15.06.01	5.410	36.260	400
05	Ain Zada	Boussellam	15.07.01	5.264	36.194	520
06	Megraoua	Boussellam	15.07.02	5.122	36.336	725
07	Boubirek	Boussellam	15.07.03	4.775	36.422	427
08	Sidi Yahia	Boussellam	15.09.01	4.772	36.418	390
09	Sidi Aich	Soummam	15.10.01	4.777	36.638	600
10	Boubroune	Boubhir	02.15.13	4.340	36.668	880
11	A/Zaouia	El hamam	02.19.05	3.999	36.552	710
12	Medjez	Ksob	05.09.01	4.810	35.878	325
13	S/Ouadah	Soubellah	05.11.01	5.475	35.775	305
14	B/Slimane	Malah	09.03.05	3.649	36.261	536
15	Tassadane	El kebir	10.01.09	5.676	36.300	739

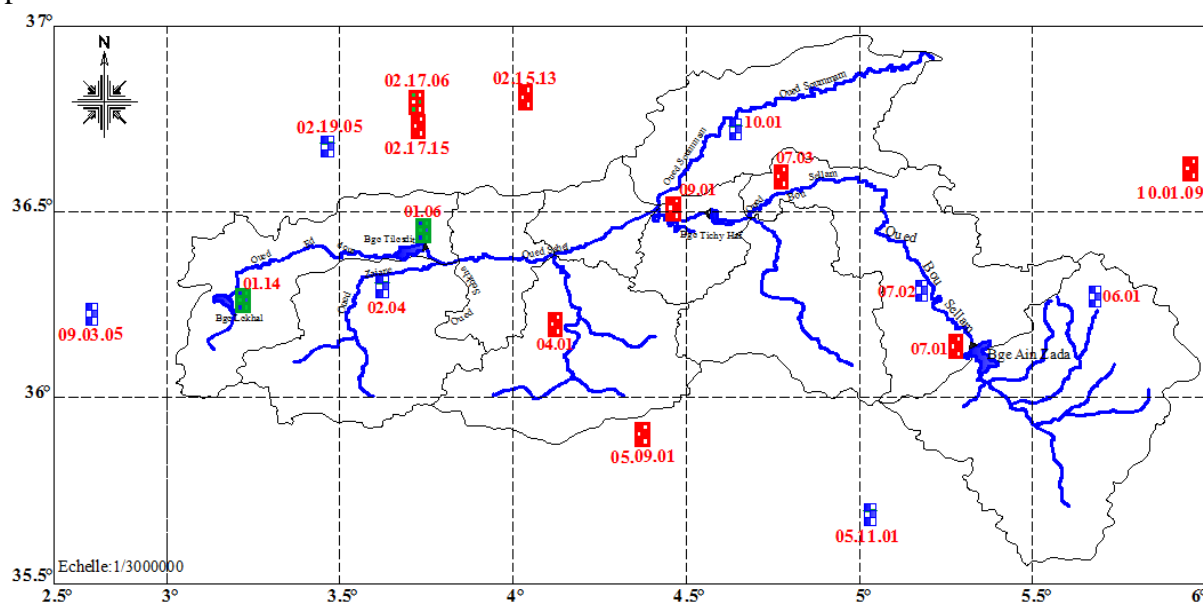
**Tableau. III.11** : Valeur de la pluie moyenne interannuelle (PMI) adoptées.

### III-7-Les données hydrométriques et leur homogénéisation:

#### III-7-1-Les séries de débits disponibles et acquises :

Dans cette recherche, on utilise les données hydrométriques relatives aux débits, en occurrence les débits moyens annuels.

Selon la disponibilité des données hydrométriques, nous avons collecté dix (10) séries de données, relatives aux sous bassins, faisant partie intégrante du grand bassin versant de la Soummam et huit (08) autres séries de données hydrométriques de sous bassins limitrophes. Le volume et la qualité des données collectées varient d'une station à une autre et d'une période à l'autre.



**Fig.III.15** : position des stations hydrométrique du bassin versant de la Soummam et des bassins limitrophes.

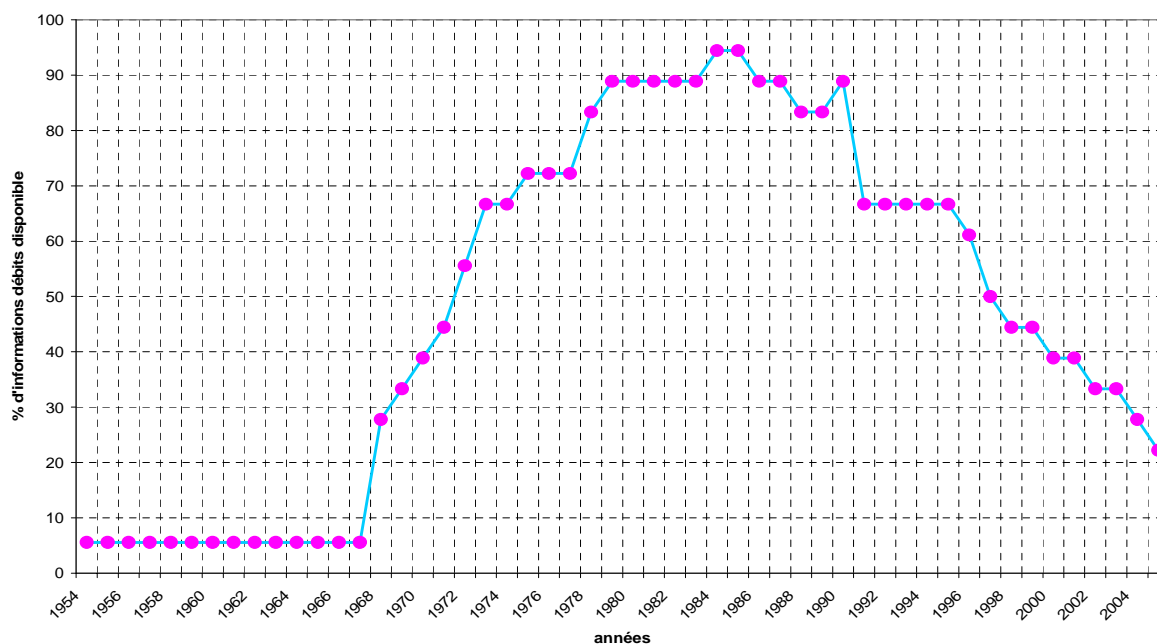
**III-7-2-Description des données hydrométriques :**

Le réseau hydrométrique est relativement neuf, la plupart des stations ont été mise en service les années 70, à l'exception de la station Sidi Aich (151001), dont le début de fonctionnement remonte aux années 50, aussi le réseau en question est composé de stations classiques, autres sont automatisées et certaines d'entre elles sont dotées d'une surveillance de la qualité de l'eau. Aussi, on remarque que les données présentent des lacunes.

Une analyse préliminaire a permis de déterminer les tailles des séries hydrométriques de chaque station, avec le nombre des lacunes enregistrées pendant la période d'observation, les résultats obtenus sont insérés dans le tableau III.12

N°	N. Station	N. Oued	Code	X	Y	Années d'observation	Nombre des observations	Nombre de lacune
01	Tilesdit	Eddous	15.01.06	3.7517	36.2635	1979-1987	19	04
02	Ain Tasta	Lekhal	15.01.14	3.6764	36.1643	1990-1994	04	04
03	El Snam	Zaiane	15.02.04	3.9659	36.1682	1985-1994	26	10
04	P/ de fer	Azerou	15.04.01	4.3503	36.0912	1985-1994	23	8
05	Fermatou	Boussellam	15.06.01	5.3871	36.2897	1969-2005	36	6
06	Ain Zada	Boussellam	15.07.01	5.2763	36.0473	1968-2004	36	10
07	Megraoua	Boussellam	15.07.02	5.2672	36.0466	1968-1995	27	11
08	Boubirek	Boussellam	15.07.03	5.1832	36.1503	1969-2006	37	8
09	Sidi Yahia	Boussellam	15.09.01	5.0752	36.5485	1971-1995	34	14
10	Sidi Aich	Soummam	15.10.01	4.5954	36.1841	1953-1992	39	12
11	Boubroune	Boubhir	02.15.13	4.3040	36.6898	1988-2001	13	10
12	RN30	Aissi	02.17.06	/	/	1978-1985	07	20
13	/	/	02.17.15	/	/	1985-1994	09	15
14	Ain Zaouia	El Hamam	02.19.05	3.8576	36.5773	1975-1995	20	13
15	Medjez	Ksob	05.09.01	4.8125	35.9819	1972-2005	33	7
16	S/Ouadah	Soubellah	05.11.01	5.1520	35.7789	1973-1999	28	6
17	B/Slimane	Malah	09.03.05	3.3615	36.0983	1972-1996	24	4
18	Tassadane	El kebir	10.01.09	5.6502	36.3775	1973-2003	30	8

**Tableau III.12 :** liste des stations hydrométriques.



**Fig.III.16 :** Evolution de l'information hydrométrique.



On remarque que pour la période de 1954-1967, une seule station hydrométrique possède des données, avec un pourcentage relativement élevé, dépassant les 50% et qui atteint les 94% durant la période 1972 à 1997. Mais à partir de 1998 l'information sur le débit diminue, pour atteindre les 22% à l'an 2000.

A titre d'exemple, nous présentons dans le tableau suivant les valeurs des débits moyens mensuels et des débits moyens annuels du sous-bassin N°01 (code150106) drainé par l'oued Eddous pour la période 1968-0987.

MOIS	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	M/annuel
68-69	0,14	0,12	0,44	5,23	3,21	1,90	7,00	5,87	6,76	0,61	0,29	0,06	2,23
69-70	0,10	NO	1,73	27,20	13,00	5,14	4,89	12,90	4,87	1,23	0,38	0,18	NO
70-71	0,10	0,66	0,36	0,70	4,60	1,76	3,87	5,21	1,09	0,30	0,16	0,01	1,57
71-72	0,09	0,22	4,66	9,15	50,20	25,40	18,00	12,50	9,61	1,95	0,58	0,29	11,10
72-73	0,76	0,96	0,44	6,76	28,50	32,30	18,50	9,34	3,18	1,29	0,37	0,25	8,42
73-74	0,77	0,41	0,42	1,92	2,42	8,53	31,30	18,00	3,79	1,44	0,48	0,16	5,79
74-75	0,21	0,42	0,79	0,68	NO	4,34	8,83	3,60	1,40	0,51	0,07	0,03	NO
75-76	0,14	0,10	2,24	2,00	1,13	16,60	7,54	5,12	2,93	1,08	0,84	0,08	3,25
76-77	0,22	0,68	1,71	7,79	6,07	2,35	0,79	0,70	0,39	0,12	0,04	0,01	1,74
77-78	0,08	0,04	0,20	0,23	0,43	1,14	2,60	7,38	0,99	0,22	0,06	0,06	1,11
78-79	0,03	0,20	NO	NO	1,09	6,71	13,00	3,97	1,11	0,30	0,13	0,04	NO
79-80	0,56	0,285	2,05	0,986	6,5	3,59	13,8	2,91	5,73	0,54	0,15	0,06	3,10
80-81	0,057	0,066	0,271	17,2	5,9	8,05	5,22	4,22	1,63	0,32	0,10	0,15	3,60
81-82	0,088	0,09	0,156	0,947	14,2	15,4	9,6	3,46	1,59	0,64	0,04	0,04	3,85
82-83	0,047	0,437	2,98	18,4	4,13	2,14	1,36	0,88	0,56	0,19	0,15	0,00	2,61
83-84	0	0	0	0,0656	0,418	7,27	3,51	2,51	0,99	0,48	0,07	0,00	1,28
84-85	0,005	0,167	0,197	2,86	3,9	3,59	23,5	2,48	1,35	0,64	0,02	0,00	3,23
85-86	0	0,05	0,716	0,952	1,21	2,39	15,9	1,56	0,79	0,47	0,06	0,00	2,01
86-87	0	0,0523	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tableau III.13 : Débit moyen mensuel et annuel enregistré de l'oued Eddous à Tilesdit

III-7-3-Choix de séries hydrométriques :

Le choix à faire est compliqué. Car il s'agit de faire un choix entre un nombre réduit de stations avec des séries longues ou un grand de stations avec dont les séries d'observations sont courtes. Nous avons opté en définitive pour la période allant de 1968 à 1997, avec 15 stations ou l'information hydrométrique est couverte à plus 85%.

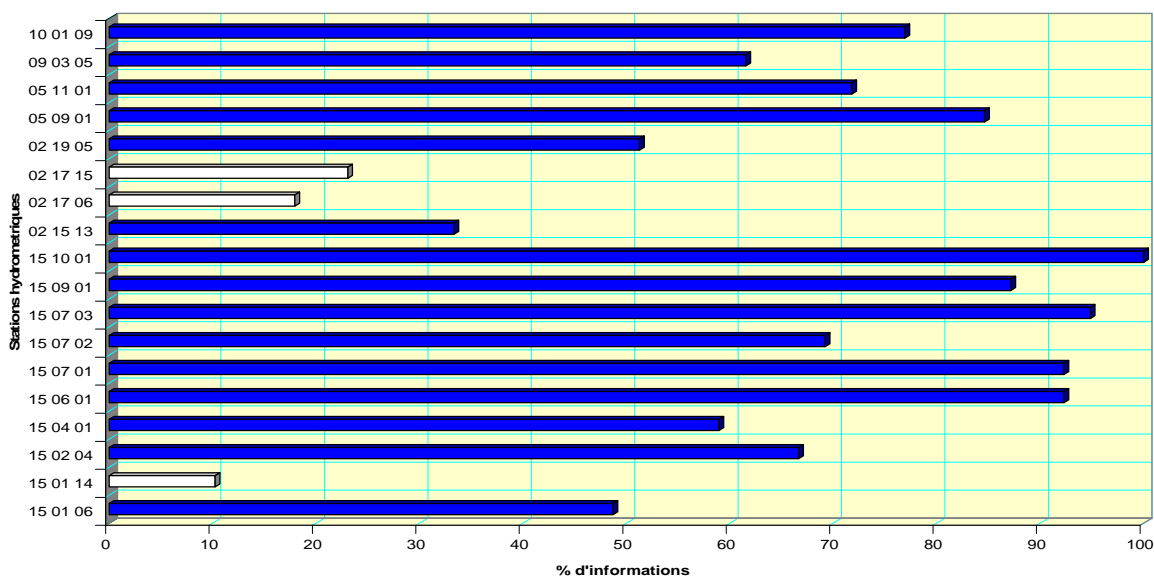


Fig.III.17 : Pourcentage d'information hydrométrique disponible pour 18 stations (en blanc station non retenue)

Après analyse, les stations hydrométriques retenues, sont insérées dans le tableau suivant :

N°	N.Station	N.Oued	Code	X	Y	Nombre d'observation
01	Tilesdit	Eddous	15.01.06	3.7517	36.2635	19
02	El Snam	Zaiane	15.02.04	3.9659	36.1682	26
03	P/ de fer	Azerou	15.04.01	4.3503	36.0912	23
04	Fermatou	Boussellam	15.06.01	5.3871	36.2897	36
05	Ain Zada	Boussellam	15.07.01	5.2763	36.0473	36
06	Megraoua	Boussellam	15.07.02	5.2672	36.0466	27
07	Boubirek	Boussellam	15.07.03	5.1832	36.1503	37
08	Sidi Yahia	Boussellam	15.09.01	5.0752	36.5485	34
09	Sidi Aich	Soummam	15.10.01	4.5954	36.1841	39
10	Boubroune	Boubhir	02.15.13	4.3040	36.6898	13
11	Ain Zaouia	El hamam	02.19.05	3.8576	36.5773	20
12	Medjez	Ksob	05.09.01	4.8125	35.9819	33
13	S/Ouadah	Soubellah	05.11.01	5.1520	35.7789	28
14	B/Slimane	Malah	09.03.05	3.3615	36.0983	24
15	Tassadane	El kebir	10.01.09	5.6502	36.3775	30

**Tableau III.14:** liste des stations hydrométriques retenues.

#### III-7-4-Comblement des lacunes d'observations:

Le comblement de lacunes des séries acquises, a été effectué mois par mois en utilisant deux méthodes, à savoir :

-Dans le cas ou, le manque se limite à un seul mois, durant la période des observations, alors on comble ce manque par la moyenne arithmétique mensuelle de ce mois.

-Si le manque est constituée de plusieurs mois, alors le comblement s'effectué par la méthode de la régression multiple avec les stations limitrophes.

$$E_i = a_1 E_{i,1} + a_2 E_{i,2} + \dots + a_j E_{i,j} + c$$

$i$  : numéro de l'écoulement du mois concerné

$j$  : numéro des stations analogues.

$E_i$  : écoulement mensuel de la station concernée par les lacunes.

$E_{i,j}$  : écoulement mensuel de la station analogue pour le même mois.

L'application de la méthode de régression multiple pour les mois à lacunes s'est effectuée avec des stations de référence dont le nombre varie pour chaque cas de 2 à 4 stations. Dans tous les cas le coefficient de corrélation multiple varie de 0.70 à 0.85.

A titre d'exemple, nous présentons les écoulements de l'oued Eddous à Tilesdit à, code 150106 après comblement des lacunes tableau **III.15**.

MOIS	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	M/annuel
68-69	0,14	0,12	0,44	5,23	3,21	1,90	7,00	5,87	6,76	0,61	0,29	0,06	2,23
69-70	0,10	(5.61)	1,73	27,20	13,00	5,14	4,89	12,90	4,87	1,23	0,38	0,18	(6.47)
70-71	0,10	0,66	0,36	0,70	4,60	1,76	3,87	5,21	1,09	0,30	0,16	0,01	1,57
71-72	0,09	0,22	4,66	9,15	50,20	25,40	18,00	12,50	9,61	1,95	0,58	0,29	11,10
72-73	0,76	0,96	0,44	6,76	28,50	32,30	18,50	9,34	3,18	1,29	0,37	0,25	8,42
73-74	0,77	0,41	0,42	1,92	2,42	8,53	31,30	18,00	3,79	1,44	0,48	0,16	5,79
74-75	0,21	0,42	0,79	0,68	(0.85)	4,34	8,83	3,60	1,40	0,51	0,07	0,03	(1.80)
75-76	0,14	0,10	2,24	2,00	1,13	16,60	7,54	5,12	2,93	1,08	0,84	0,08	3,25
76-77	0,22	0,68	1,71	7,79	6,07	2,35	0,79	0,70	0,39	0,12	0,04	0,01	1,74
77-78	0,08	0,04	0,20	0,23	0,43	1,14	2,60	7,38	0,99	0,22	0,06	0,06	1,11
78-79	0,03	0,20	(0.89)	(1.17)	1,09	6,71	13,00	3,97	1,11	0,30	0,13	0,04	(2.36)
79-80	0,56	0,285	2,05	0,986	6,5	3,59	13,8	2,91	5,73	0,54	0,15	0,06	3,10
80-81	0,057	0,066	0,271	17,2	5,9	8,05	5,22	4,22	1,63	0,32	0,10	0,15	3,60
81-82	0,088	0,09	0,156	0,947	14,2	15,4	9,6	3,46	1,59	0,64	0,04	0,04	3,85
82-83	0,047	0,437	2,98	18,4	4,13	2,14	1,36	0,88	0,56	0,19	0,15	0,00	2,61
83-84	0	0	0	0,0656	0,418	7,27	3,51	2,51	0,99	0,48	0,07	0,00	1,28
84-85	0,005	0,167	0,197	2,86	3,9	3,59	23,5	2,48	1,35	0,64	0,02	0,00	3,23
85-86	0	0,05	0,716	0,952	1,21	2,39	15,9	1,56	0,79	0,47	0,06	0,00	2,01
86-87	0	0,0523	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

**Tableau III.15:** Débit moyen mensuel et annuel à la station Tilesdit (150106) après comblement des lacunes.

Les résultats de comblement des séries d'observations sont insérés en annexe 07.

### III-8-Analyse fréquentielle des écoulements annuels :

Après l'analyse préliminaire et l'opération de comblement des lacunes, nous avons obtenu des séries d'observations de l'écoulement qui varient de 13 années à la station de Boubroune et à 39 années à la station Sidi Aich.

Dans ce qui suit, on estime les caractéristiques statistiques des écoulements annuels, avec la méthode des moments, la méthode du maximum vraisemblance et la méthode grapho-analytique d'Alekseev. Ces caractéristiques statistiques ont pour but l'ajustement vraisemblable de la distribution des valeurs de l'écoulement moyen annuel par une loi probabiliste appropriée, pour chacun des sous-bassins de la Soummam et des sous-bassins limitrophes.

#### III-8-1-La méthode des moments :

L'estimation des caractéristiques statistiques de l'écoulement : la moyenne statistique, le coefficient de variation et le coefficient d'asymétrie. Elles sont déterminées par les expressions suivantes :

a- La moyenne arithmétique :  $E_0 = \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{N}$  (24)

b- Le coefficient de variation  $C_v$ :  $C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (k_i - 1)^2}{N - 1}}$  où :  $k_i = \frac{E_i}{E_0}$  (25)

c- Le coefficient d'asymétrie  $C_s$ :  $C_s = \frac{N \sum_{i=1}^N (k_i - 1)^3}{(N - 1)(N - 2)C_v^3}$  (26)

Les résultats des calculs par la méthode des moments sont récapitulés dans le tableau III.16

N°	Station	Oued	Code	S(Km) <sup>2</sup>	Q(m <sup>3</sup> /s)	E <sub>0</sub> (mm)	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	Cs/Cv
01	Tilesdit	Eddous	15.01.06	842	3.44	129.43	0.79	1.61	<b>2.04</b>
02	El Snam	Zaiane	15.02.04	800	0.72	28.53	1.33	2.02	<b>1.52</b>
03	P/ de fer	Azerou	15.04.01	605	0.36	18.90	0.86	0.88	<b>1.02</b>
04	Fermatou	Boussellam	15.06.01	105	0.42	126.75	0.85	1.08	<b>1.27</b>
05	Ain Zada	Boussellam	15.07.01	1800	0.73	12.73	0.77	1.27	<b>1.65</b>
06	Megraoua	Boussellam	15.07.02	2350	1.077	14.49	0.89	1.40	<b>1.57</b>
07	Boubirek	Boussellam	15.07.03	2950	3.68	39.43	0.67	0.86	<b>1.28</b>
08	Sidi Yahia	Boussellam	15.09.01	4050	4.97	38.80	0.74	0.87	<b>1.18</b>
09	Sidi Aich	Soummam	15.10.01	8420	15.68	58.85	0.59	1.73	<b>2.93</b>
10	Boubroune	Boubhir	02.15.13	480	3.2	210.81	0.66	0.99	<b>1.50</b>
11	A/Zaouia	El hamam	02.19.05	71	0.22	101.28	0.92	1.31	<b>1.42</b>
12	Medjez	Ksob	05.09.01	1330	0.86	20.49	0.51	0.37	<b>0.73</b>
13	S/Ouadah	Soubellah	05.11.01	170	0.13	24.24	0.63	1.39	<b>2.21</b>
14	B/Slimane	Malah	09.03.05	273	0.38	44.29	0.60	0.29	<b>0.65</b>
15	Tassadane	El kebir	10.01.09	960	3.08	101.34	0.72	1.50	<b>2.08</b>

**Tableau III.16** : Caractéristiques statistiques estimés par la méthode des moments.

### III-8-2-La méthode du maximum vraisemblance :

L'estimation des caractéristiques statistiques de l'écoulement : la moyenne statistique, le coefficient de variation et le coefficient d'asymétrie. Elles sont déterminées par les expressions suivantes :

$$\lambda_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (27) \quad \lambda_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log(k_i) \quad (28) \quad \lambda_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i \log(k_i) \quad (29)$$

La statique  $\lambda_1$  exprime la valeur moyenne arithmétique  $\bar{x}$ . Les valeurs des coefficients de variation  $C_v$  et d'asymétrie  $C_s$  sont tirées respectivement à partir des nomogrammes dressés pour ce but. Cette méthode est recommandée pour l'estimation des paramètres statistiques, surtout quand les valeurs du coefficient de variation  $C_v > 0.5$ . Quand  $C_v < 0.5$ , cette méthode et celle des moments donnent pratiquement les mêmes résultats.

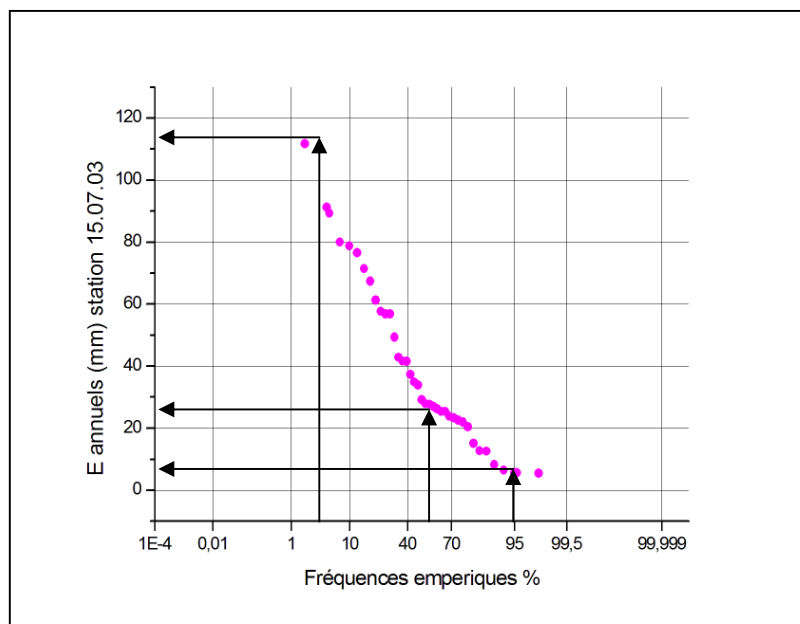
N°	N.Station	N.Oued	Code	S(Km) <sup>2</sup>	Q(m <sup>3</sup> /s)	E <sub>0</sub> (mm)	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	Cs/Cv
01	Tilesdit	Eddous	15.01.06	842	3.44	129.43	0.77	2.75	<b>3.5</b>
02	El Snam	Zaiane	15.02.04	800	0.72	28.53	1.42	3.10	<b>2.2</b>
03	P/ de fer	Azerou	15.04.01	605	0.36	18.90	1.28	4.75	<b>3.7</b>
04	Fermatou	Boussellam	15.06.01	105	0.42	126.75	0.85	1.29	<b>1.5</b>
05	Ain Zada	Boussellam	15.07.01	1800	0.73	12.73	0.76	1.61	<b>2.1</b>
06	Megraoua	Boussellam	15.07.02	2350	1.077	14.49	0.92	1.90	<b>2.1</b>
07	Boubirek	Boussellam	15.07.03	2950	3.68	39.43	0.67	1.05	<b>1.6</b>
08	Sidi Yahia	Boussellam	15.09.01	4050	4.97	38.80	0.74	1.08	<b>1.5</b>
09	Sidi Aich	Soummam	15.10.01	8420	15.68	58.85	0.62	2.17	<b>3.5</b>
10	Boubroune	Boubhir	02.15.13	480	3.2	210.81	0.68	1.34	<b>2.0</b>
11	A/Zaouia	El hamam	02.19.05	71	0.22	101.28	0.97	1.87	<b>1.9</b>
12	Medjez	Ksob	05.09.01	1330	0.86	20.49	0.50	0.45	<b>0.9</b>
13	S/Ouadah	Soubellah	05.11.01	170	0.13	24.24	0.65	1.80	<b>2.8</b>
14	B/Slimane	Malah	09.03.05	273	0.38	44.29	0.62	0.33	<b>0.5</b>
15	Tassadane	El kebir	10.01.09	960	3.08	101.34	0.71	2.07	<b>2.9</b>

**Tableau III.17** : Caractéristiques statistiques estimés par la méthode du maximum vraisemblance

**III-8-3-La méthode grapho-analytique d'Alekseev :**

La méthode grapho-analytique d'Alekseev donne la possibilité de tenir compte de la courbure de la courbe des fréquences, en choisissant trois quantiles, c'est-à-dire trois points caractéristiques tirés de cette courbe qui sont les points correspondants aux fréquences 5 %, 50% et 95%.

Le traitement statistique est composé des étapes. Tout d'abord, on construit les courbes des fréquences empiriques des écoulements annuels pour chaque sous-bassin (**fig.21**).



**Fig.III.18 :** Courbe des fréquences empiriques des écoulements annuels du bassin de la Soummam à la station Boubirek (150703).

On tire les quantiles  $E_{5\%}$ ,  $E_{50\%}$  et  $E_{95\%}$  puis on calcul le coefficient de courbure  $S$  :

$$S = \frac{E_{5\%} + E_{95\%} - 2E_{50\%}}{E_{5\%} - E_{95\%}} \tag{30}$$

A la valeur du coefficient de courbure calculée de  $S$  correspond une valeur du coefficient d'asymétrie  $C_s$  qu'on tire dans le tableau d'Alekseev.

On calcule l'écart quadratique type par: 
$$\sigma_p = \frac{E_{5\%} - E_{95\%}}{\Phi_{5\%} - \Phi_{95\%}} \tag{31}$$

La moyenne est exprimée par: 
$$E_o = E_{50\%} - \sigma_p \cdot \Phi_{50\%} \tag{32}$$

Le coefficient de variation est exprimé par: 
$$C_v = \frac{\sigma_p}{E_o} \tag{33}$$

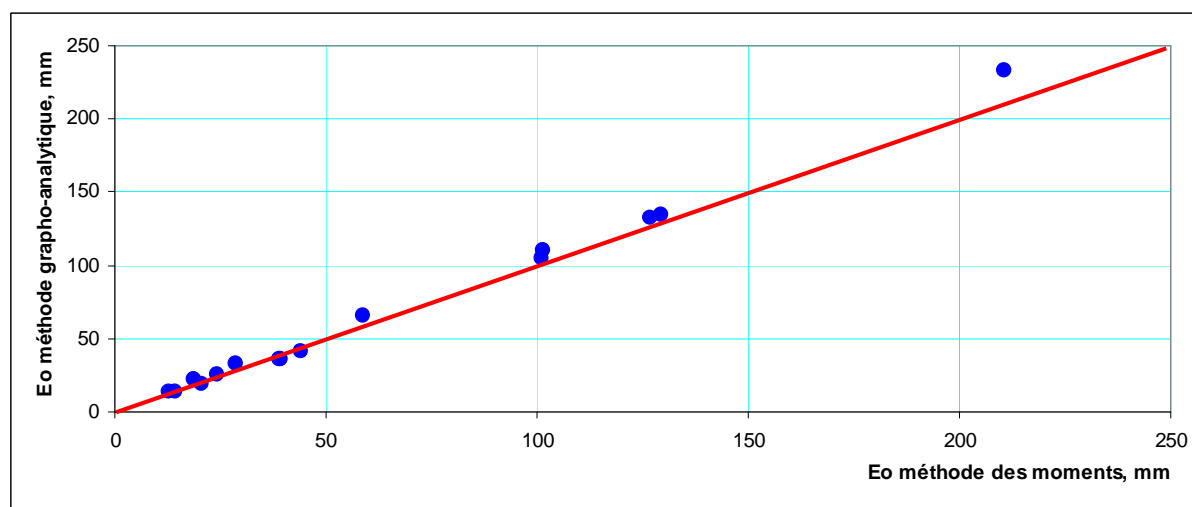
Les autres courbes des fréquences empiriques sont insérées en annexe **08**

Les valeurs des caractéristiques statistiques obtenues par la méthode grapho-analytique sont insérées dans le tableau III.18.

N. Station	Nom Oued	Code	$E_{5\%}$	$E_{50\%}$	$E_{95\%}$	S	$\sigma$	$C_s$	$C_v$	$E_0$ mm	$C_s/C_v$
Tilesdit	Eddous	15.01.06	389,43	97,95	11,37	0,54	127	1,90	0,94	134,78	<b>2.02</b>
El Snam	Zaiane	15.02.04	130,21	11,74	4,06	0,88	51	3,55	1,55	32,91	<b>2.29</b>
P/ de fer	Azerou	15.04.01	78,34	12,95	0,1	0,67	28	2,40	1,23	22,75	<b>1.95</b>
Fermatou	Boussellam	15.06.01	355,08	100,59	17,26	0,51	112	1,80	0,85	131,95	<b>2.12</b>
Ain Zada	Boussellam	15.07.01	37,87	10,36	3,03	0,58	12	2,05	0,85	14,14	<b>2.42</b>
Megraoua	Boussellam	15.07.02	43,71	8,47	2,22	0,7	15	2,53	1,08	13,92	<b>2.35</b>
Boubirek	Boussellam	15.07.03	89,37	29,14	5,74	0,44	27	1,56	0,75	35,782	<b>2.07</b>
Sidi Yahia	Boussellam	15.09.01	90,05	28,44	7,12	0,49	27	1,73	0,75	35,81	<b>2.29</b>
Sidi Aich	Soummam	15.10.01	150,7	54,04	22,22	0,5	43	1,76	0,65	65,91	<b>2.70</b>
Boubroune	Boubhir	02.15.13	545,1	202,77	32,26	0,34	162	1,20	0,69	233,55	<b>1.73</b>
A/Zaouia	El hamam	02.19.05	315,35	71,43	8,44	0,59	105	2,10	1,00	105,03	<b>2.10</b>
Medjez	Ksob	05.09.01	36,26	17,77	5,23	0,19	10	0,66	0,53	18,89	<b>1.25</b>
S/Ouadah	Soubellah	05.11.01	62,52	20,58	5,02	0,46	19	1,63	0,75	25,44	<b>2.18</b>
B/Slimane	Malah	09.03.05	89,44	37,04	5,41	0,25	26	0,90	0,64	40,94	<b>1.42</b>
Tassadane	El kebir	10.01.09	296,17	83,74	15,04	0,51	93	1,80	0,85	109,78	<b>2.12</b>

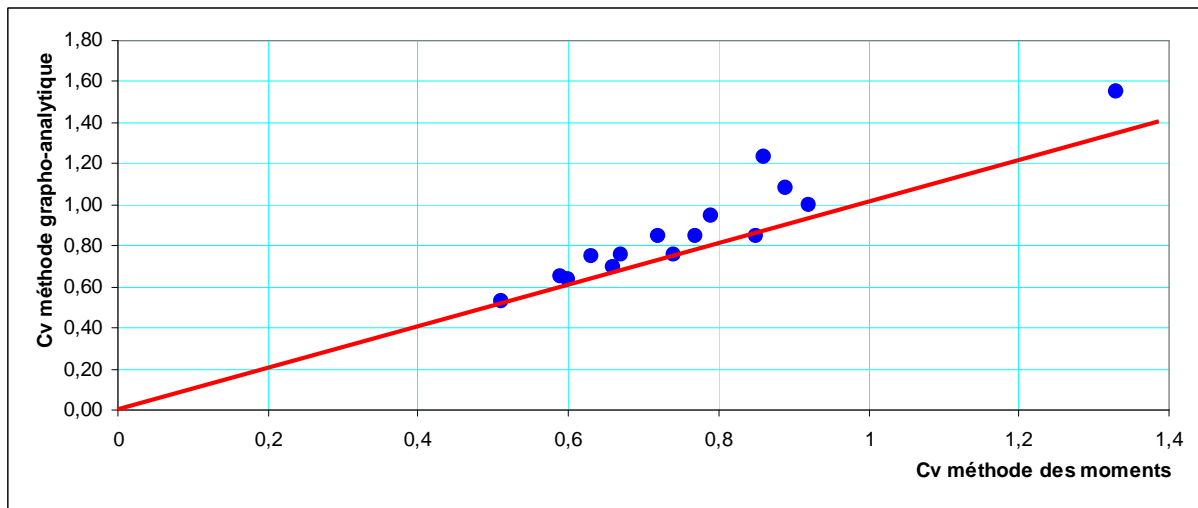
**Tableau III.18:** Caractéristiques statistiques estimés par la méthode grapho-analytique.

### III-8-4-Analyse comparative des caractéristiques statistiques :



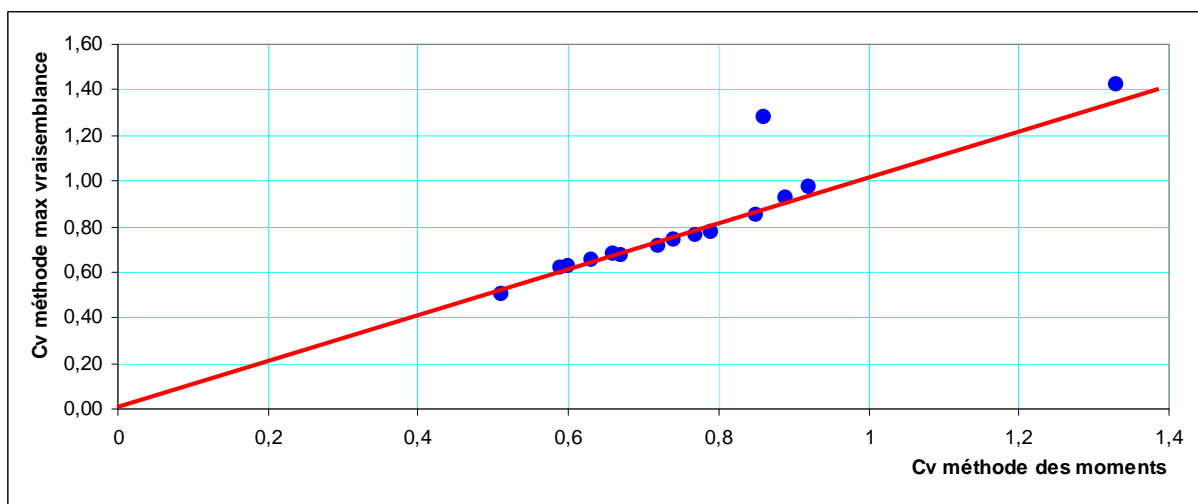
**Fig.III.19 :** graphique de la dépendance  $E_0$  grapho-analytique =  $f(E_0$  moments)

Les valeurs de l'écoulement moyen interannuel estimées par les deux méthodes statistiques, sont presque de même grandeur, comme nous le montre Le graphique ci-dessus de la dépendance, avec un coefficient de corrélation  $R=0.998$ .



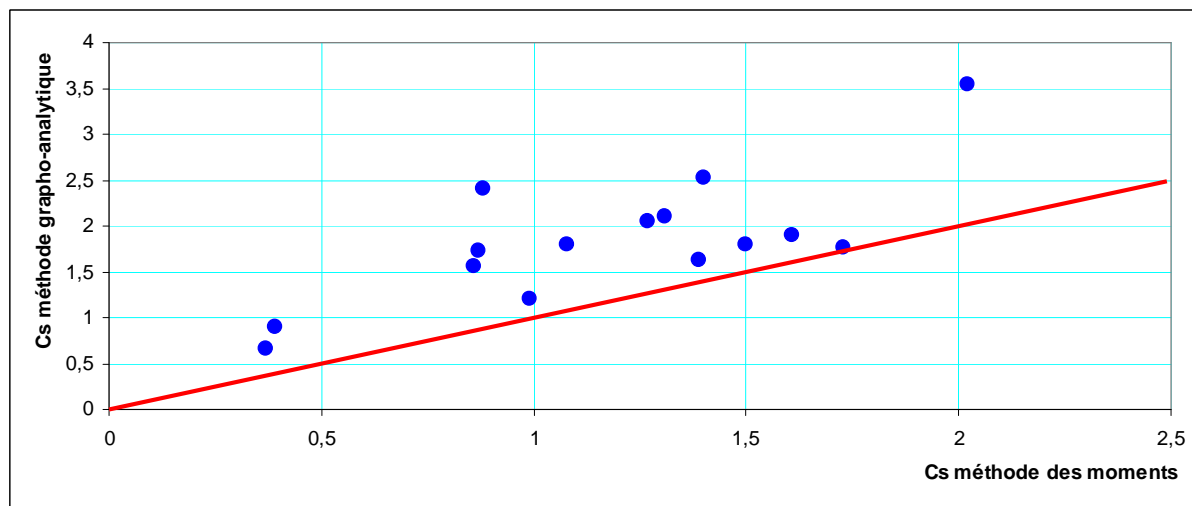
**Fig.III.20** : graphique de la dépendance  $C_v \text{ grapho-analytique} = f(C_v \text{ moments})$

Le graphique ci-dessus nous montre que les valeurs estimées par la méthode grapho-analytique sont légèrement supérieures aux valeurs estimées par la méthode des moments, avec un coefficient de corrélation  $r=0.946$



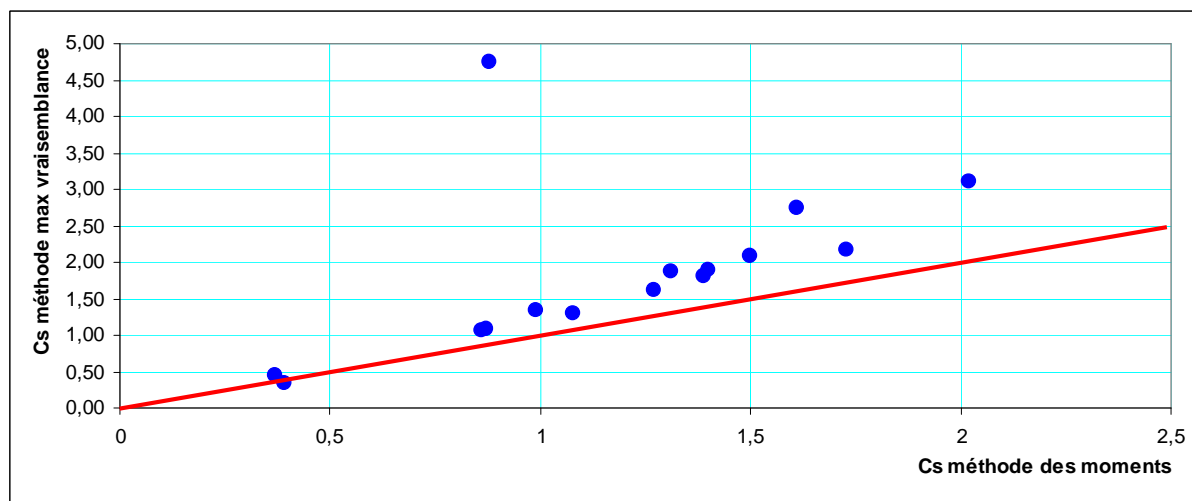
**Fig.III.21** : graphique de la dépendance  $C_v \text{ max vraisemblance} = f(C_v \text{ moments})$

Ce graphique de la dépendance du coefficient de variation estimé par la méthode du maximum vraisemblance et par la méthode des moments, nous montre qu'elles sont presque du même ordre avec un coefficient de corrélation  $R=0.911$



**Fig.III.22** : graphique de la dépendance  $C_s \text{ grapho-analytique} = f(C_s \text{ moments})$

Pour les valeurs du coefficient d’asymétrie de l’écoulement annuel estimées par la méthode grapho-analytique sont surestimées par rapport aux valeurs obtenues par la méthode moments, comme nous le montre le graphique de la dépendance, cela est expliqué par la valeur du coefficient de corrélation  $r=0.745$



**Fig.III.23** : graphique de la dépendance  $C_s \text{ max vraisemblance} = f(C_s \text{ moments})$

De même pour le graphique ci-dessus qui nous montre que les valeurs du coefficient d’asymétrie  $C_s$  estimées par la méthode max-vraisemblance sont légèrement supérieure à celle estimées par la méthode des moments, avec un coefficient de corrélation  $r=0.525$ .

Après cette analyse statistique de l’écoulement moyen interannuel pour le bassin de la Soummam, nous avons opté pour les valeurs de l’EMI calculées par la méthode grapho-analytique.

Les résultats sont insérés dans le tableau suivant :



N. Station	Nom Oued	Code	E <sub>0</sub> mm
Tilesdit	Eddous	15.01.06	<b>134,78</b>
El Snam	Zaiane	15.02.04	<b>32,91</b>
P/ de fer	Azerou	15.04.01	<b>22,75</b>
Fermatou	Boussellam	15.06.01	<b>131,95</b>
Ain Zada	Boussellam	15.07.01	<b>14,14</b>
Megraoua	Boussellam	15.07.02	<b>13,92</b>
Boubirek	Boussellam	15.07.03	<b>35,78</b>
Sidi Yahia	Boussellam	15.09.01	<b>35,81</b>
Sidi Aich	Soummam	15.10.01	<b>65,91</b>
Boubroune	Boubhir	02.15.13	<b>233,55</b>
A/Zaouia	El hamam	02.19.05	<b>105,03</b>
Medjez	Ksob	05.09.01	<b>18,89</b>
S/Ouadah	Soubellah	05.11.01	<b>25,44</b>
B/Slimane	Malah	09.03.05	<b>40,94</b>
Tassadane	El kebir	10.01.09	<b>109,78</b>

**Tableau III.19:** Valeurs de l'écoulement moyen interannuel choisies

### III-9-Les données de l'évapotranspiration potentielle :

Les valeurs de l'ETP sont tirées de la carte de l'Evapotranspiration potentielle (E.T.P.) de l'Algérie, qui est réalisée par l'A.N.R.H. en 2002. Le recours à cette carte permet d'éviter de faire des calculs compliqués. Les données de l'évapotranspiration qu'on va utiliser dans le présent travail, seront tirées directement de cette carte, pour les centres de gravité hydrologiques des sous bassins.

Les valeurs sont insérées dans le tableau ci-dessous.

Nom d'oued	Nom de la station	Code de la station	ETP (mm)
Tilesdit	Eddous	15.01.06	1200
El Snam	Zaiane	15.02.04	1300
P/ de fer	Azerou	15.04.01	1365
Fermatou	Boussellam	15.06.01	1200
Ain Zada	Boussellam	15.07.01	1210
Megraoua	Boussellam	15.07.02	1300
Boubirek	Boussellam	15.07.03	1300
Sidi Yahia	Boussellam	15.09.01	1400
Sidi Aich	Soummam	15.10.01	1350
Boubroune	Boubhir	02.15.13	1200
A/Zaouia	El hamam	02.19.05	1220
Medjez	Ksob	05.09.01	1400
S/Ouadah	Soubellah	05.11.01	1400
B/Slimane	Malah	09.03.05	1366
Tassadane	El kebir	10.01.09	1200

**Tableau III.20 :** valeurs de l'évapotranspiration de chaque sous bassins versants.

**III-10-Conclusion :**

L'analyse, des caractéristiques hydro-pluviométriques du bassin de la Soummam, est d'une grande importance, pour une région où les ressources en eau deviennent de plus en plus insuffisantes.

Nous avons collecté les données, auprès des services de l'A.N.R.H et de la D.R.E de Bejaia. Les données pluviométriques sont relatives à 50 stations, pour la période allant de 1968 à 2000.

Certaines séries, de données pluviométriques, présentent des lacunes. Le comblement de ces vides s'est fait par plusieurs méthodes appropriées et l'homogénéité de ces données a été testée par différentes méthodes: test simple cumul et test double cumul.

La détermination de la valeur moyenne interannuelle, a nécessité une analyse statistique fondée sur une loi probabiliste donnée.

Le choix d'une telle loi est confronté à l'estimation d'un certain nombre de caractéristiques statistique : la valeur moyenne, le coefficient de variation  $C_v$  et le coefficient d'asymétrie  $C_s$ . La méthode des moments donne des valeurs du coefficient d'asymétrie très biaisées. La méthode de maximum vraisemblance donne des valeurs relativement moins biaisées. Elle est recommandée, quand les valeurs du coefficient de variation  $C_v > 0,5$ . La méthode grapho-analytique d'Alekseev a l'avantage de tenir compte dès le départ de la courbure de la courbe empirique des fréquences.

L'analyse statistique des données pluviométriques montre que les pluies annuelles se caractérisent par une asymétrie relativement modérée. Nous adoptons les valeurs des moyennes obtenues par la méthode grapho-analytique. La comparaison graphique, des caractéristiques statistiques, s'est faite par rapport à la bissectrice. Les valeurs moyennes estimées la méthode grapho-analytique sont supérieures à celles estimées par la méthode des moments.

Alors que les valeurs de coefficient de variation estimées par la méthode du maximum de vraisemblance et celles obtenues par la méthode des moments, sont pratiquement de même ordre. Les valeurs des  $C_v$  estimées par la méthode de maximum vraisemblance sont inférieures à celle estimées par la méthode grapho-analytique.

Sur la base des valeurs moyennes obtenues par la méthode grapho-analytique d'Alekseev, nous avons établi notre propre carte de la P.M.I. du bassin de la Soummam.

La détermination la lame de pluie moyenne interannuelle des sous bassins versants s'est effectué par : la valeur tirée de notre carte, pour le centre hydrologique du bassin, ou par la méthode des isohyètes, qui donne la valeur moyenne pondérée. Les valeurs des PMI des sous bassins, estimées par les deux méthodes, sont de même ordre statistique.

Nous avons estimé les PMI des sous bassin, à partir de la carte de l'ANRH, par la méthode des isohyètes. Les valeurs des PMI obtenues par la méthode des isohyètes sont supérieures à celles déterminées pour les centres hydrologiques et inférieures à celles déterminées par la carte de l'ANRH.

Il s'avère, que les pluies moyennes interannuelles sont soumises à la répartition climatique latitudinale et augmentent en s'approchant de la mer.

Ainsi, les valeurs des PMI adoptées sont celles déterminées par la méthode des isohyètes, qui sont obtenues à partir des données pluviométriques que nous avons au préalable traitées et analysées.

Dans cette recherche, on a utilisé les données hydrométriques de 15 sous bassins ; 09 appartenant à la Soummam et 06 autres limitrophes à celui-ci.

Pratiquement, toutes les séries d'observations ont des lacunes, qu'il faut combler. Le comblement a été effectué mois par mois en remplaçant par la moyenne arithmétique mensuelle de ce mois, quand le nombre de lacunes n'est important ou en utilisant la méthode de la régression multiple avec les stations limitrophes.

L'estimation, des caractéristiques statistiques des écoulements annuels, s'est effectuée par les trois principales méthodes : la méthode des moments, la méthode de maximum vraisemblance et la méthode grapho-analytique d'Alekseev.

Les valeurs de l'écoulement moyen interannuel estimées par les deux méthodes statistiques, sont légèrement supérieures à celle estimées par la méthode des moments. La même remarque est valable, pour les valeurs de coefficient de variation de l'écoulement annuel.

Les valeurs du coefficient d'asymétrie de l'écoulement annuel estimées par la méthode des moments sont inférieures à celles estimées par la méthode grapho-analytique.

Ainsi, après cette analyse, nous avons opté pour les valeurs de l'EMI estimées par la méthode grapho-analytique.

Les données de l'évapotranspiration utilisées dans notre travail, sont tirées directement de la carte de l'Evapotranspiration potentielle (E.T.P.) de l'Algérie, qui est réalisée par l'A.N.R.H. en 2002, pour les centres de gravité hydrologiques des sous bassins.

## CHAPITRE IV: ANALYSE DE L'ÉCOULEMENT MOYEN INTERANNUEL

---



**IV-1-Introduction :**

L'écoulement moyen interannuel, généré par les précipitations  $P_o$ , qui sont transformées par les facteurs physico-géographiques. On considère, que la superficie du bassin  $S$  caractérise indirectement, à travers l'incision des couches géologiques, la capacité de drainage de l'écoulement souterrain, ainsi que l'influence conjuguée de certains facteurs intrazonaux. De même pour l'altitude moyenne du bassin, qui exprime l'influence de la zonalité verticale.

Dans ce chapitre, nous procédons à l'analyse des dépendances des certains facteurs de l'écoulement : le coefficient de variation  $C_v$ , le rapport  $K=C_s/C_v$  et le coefficient d'écoulement  $\alpha$  et chercher les dépendances, si elles existent avec la latitude, la superficie du bassin  $S$ , l'altitude moyenne  $H_{moyen}$  et la quantité de pluie  $P_o$ . Le critère de validation prend en considération la valeur du coefficient corrélation.

**IV-2-Les principales caractéristiques :**

Les caractéristiques statistiques des pluies moyennes et des écoulements pour chaque sous bassins, ont été estimés par trois méthodes. Les résultats pris en considération sont ceux obtenus par la méthode grapho-analytique d'Alekseev.

Les principales caractéristiques climatiques, morphométriques et statistiques des sous bassins versants de la Soummam, sont insérées dans le tableau suivant :

N°	Station	Oued	Code	X°	Y°	S(km <sup>2</sup> )	H ,m	Po	Eo	Cs	Cv	K=Cs/Cv
1	Tilesdit	Eddous	15.01.06	3,834	36,318	842	727	595	134,78	1.90	0.94	2.02
2	El Snam	Zaiane	15.02.04	4,025	36,234	800	848	465	32,91	3.55	1.55	2.29
3	P/ de fer	Azerou	15.04.01	4,47	36,244	605	880	350	22,75	2.40	1.23	1.95
4	Fermatou	Boussellam	15.06.01	5,41	36,26	105	1205	400	131,95	1.80	0.85	2.12
5	Ain Zada	Boussellam	15.07.01	5,264	36,194	1800	1036	520	14,14	2.05	0.85	2.42
6	Megraoua	Boussellam	15.07.02	5,122	36,336	2350	1000	725	13,92	2.53	1.08	2.35
7	Boubirek	Boussellam	15.07.03	4,775	36,422	2950	872	427	35,78	1.56	0.75	2.07
8	Sidi Yahia	Boussellam	15.09.01	4,772	36,418	4050	960	390	35,81	1.73	0.75	2.29
9	Sidi Aich	Soummam	15.10.01	4,777	36,638	8420	860	600	65,91	1.76	0.65	2.70
10	Boubroune	Boubhir	02.15.13	4,34	36,668	480	819,6	880	233,55	1.20	0.69	1.73
11	A/Zaouia	El hamam	02.19.05	3,999	36,552	71	472,8	710	105,03	2.10	1.00	2.10
12	Medjez	Ksob	05.09.01	4,81	35,878	1330	1080	325	18,89	0.66	0.53	1.25
13	S/Ouadah	Soubellah	05.11.01	5,475	35,775	176	1182,5	305	25,44	1.63	0.75	2.18
14	B/Slimane	Malah	09.03.05	3,649	36,261	273	940	536	40,94	0.90	0.64	1.42
15	Tassadane	El kebir	10.01.09	5,676	36,3	960	955	739	109,78	1.80	0.85	2.12

**Tableau IV.01** : les données climatiques et morphométrique des sous bassins versants

**IV-3-Analyse graphique des dépendances**

Comme nous l'avons déjà signalé, l'analyse graphique concernera uniquement les caractéristiques suivantes. : le coefficient de variation  $C_v$ , le coefficient  $K=C_s/C_v$  et le coefficient d'écoulement annuel  $\alpha$ . On cherche leur dépendance avec la superficie du bassin versant  $S$ , la pluie génératrice  $P_o$ , l'altitude moyenne du bassin versant et éventuellement la latitude.

**IV-3-1-Analyse de la dépendance  $C_v = f(\text{latitude}, S, P_o, H_{moy})$**  **$\alpha$ -Dépendance  $C_v = f(\text{latitude})$  :**

Le phénomène de variabilité de l'écoulement, dans le temps, est exprimé par le coefficient de variation  $C_v$ , qui traduit la dispersion relative de cette caractéristique autour de la moyenne.

Le graphique suivant montre la dépendance du coefficient de variation en fonction de la latitude.

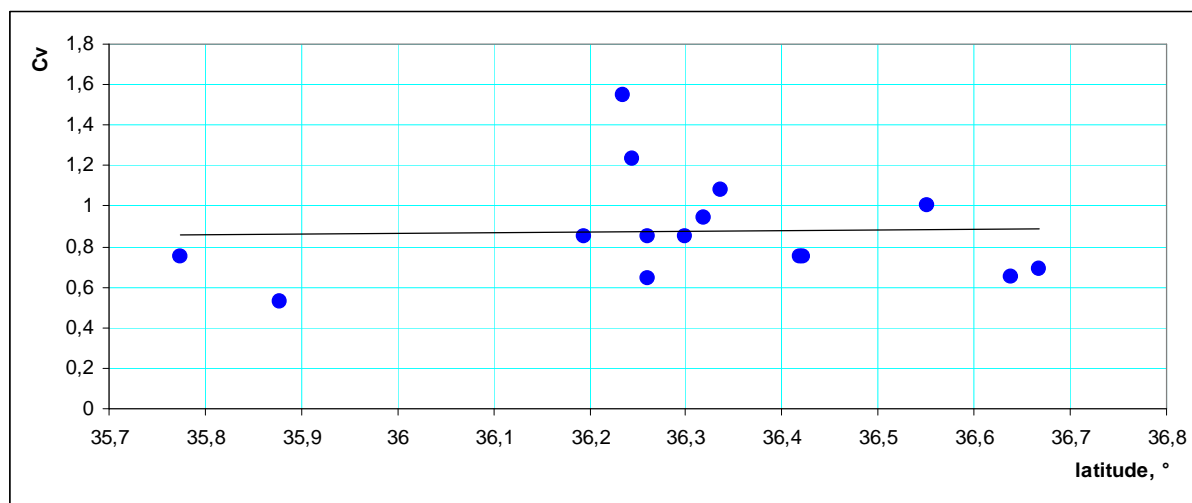


Fig IV.01 : graphique de la dépendance  $C_v = f(\text{latitude})$

Théoriquement, le coefficient  $C_v$  doit refléter l'influence conjuguée de tous les facteurs liés au climat et avoir une tendance dans le sens de la latitude, c'est-à-dire en se rapprochant de la mer. Vu la place qu'occupe le bassin de la Soummam, où il y a un front conflictuel entre le climat méditerranéen pour la partie nord et le climat saharien pour la partie sud. Ceci perturbe la répartition spatiale, selon la latitude, du coefficient de variation.

Le graphique montre que la dépendance  $C_v = f(\text{latitude})$  n'a pas une tendance claire, d'où inexistence de relation. Les valeurs oscillent autour de la moyenne statistique égale à 0.83.

**b-Dépendance  $\ln(C_v/S+1) = f(\ln(S+1))$  :**

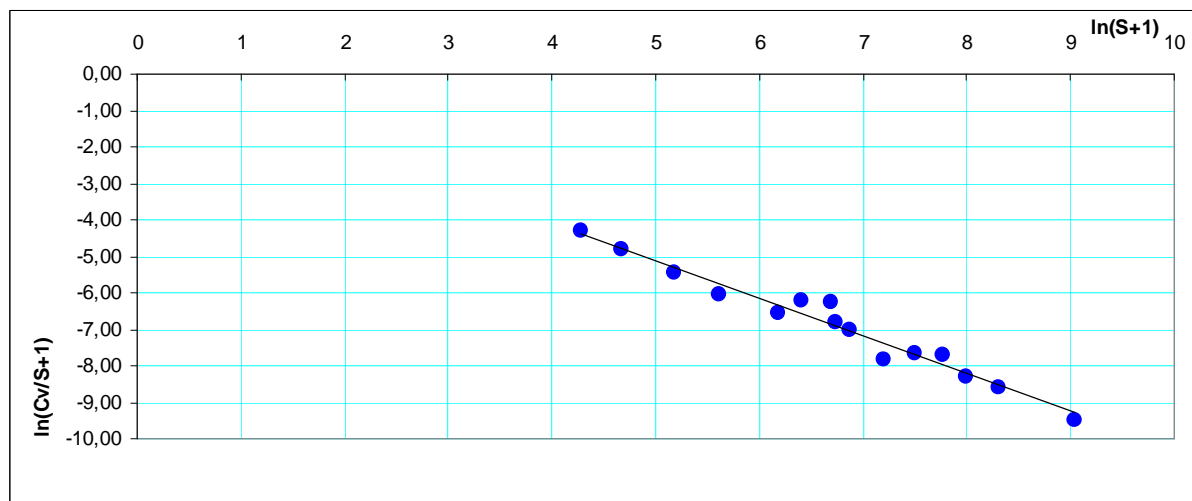
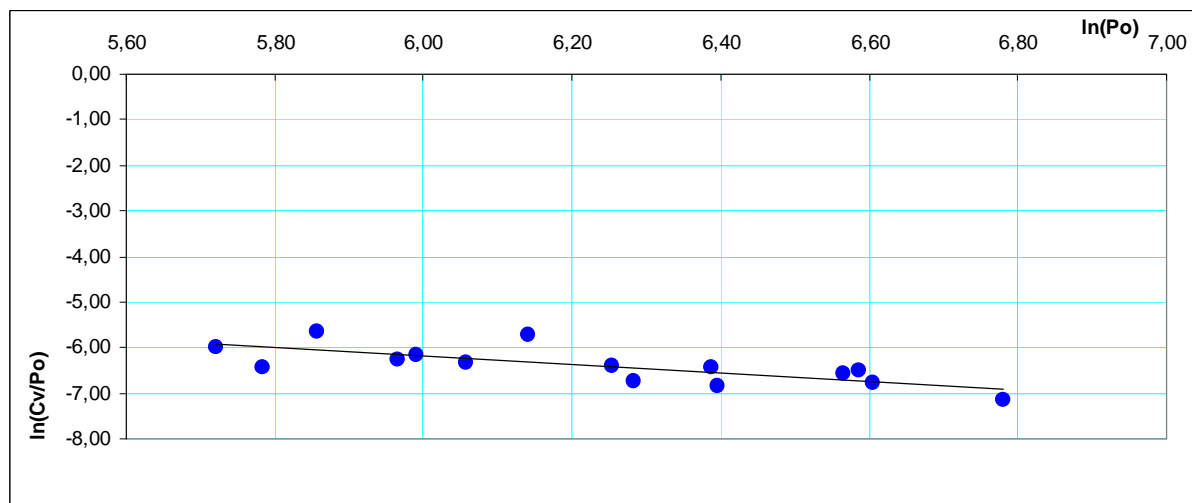


Fig IV.02 : graphique de la dépendance  $\ln(C_v/S+1) = f(\ln(S+1))$

Le graphique montre l'existence d'une forte dépendance du coefficient de variation en fonction de la superficie  $\ln(C_v/S+1) = f(\ln(S+1))$ , avec un coefficient de corrélation égal à 0.981. On remarque que le coefficient variation  $C_v$  diminue avec l'augmentation de la superficie du bassin versant, soit :

$$C_v = \frac{\text{Const}}{(S+1)^{0.339}} \quad (34)$$

**c-Dépendance  $\ln(C_v/P_o)=f(\ln(P_o))$  :**

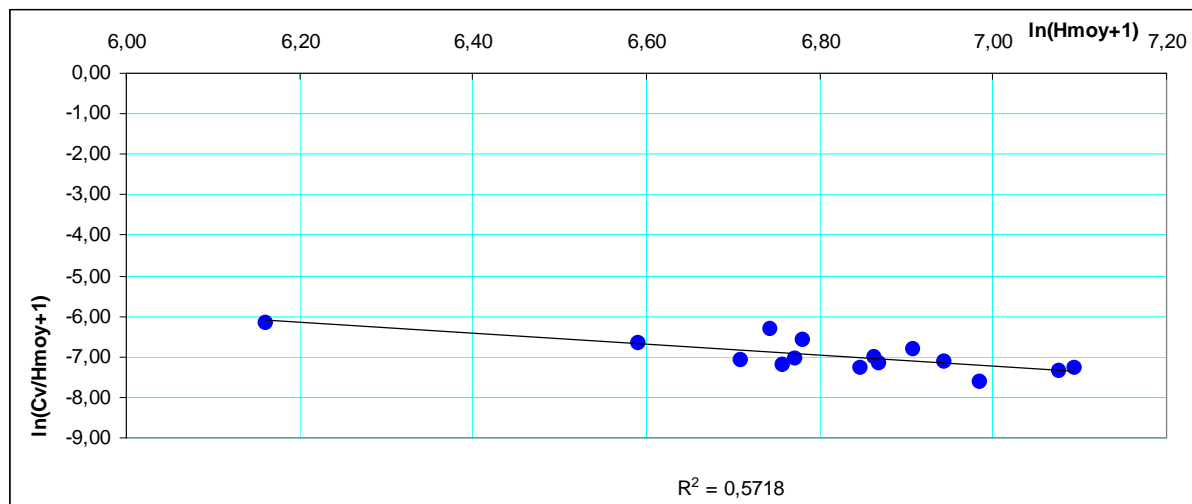


**Fig IV.03** : graphique de la dépendance  $\ln(C_v/P_o)= f(\ln(P_o))$

Le graphique ci-dessus montre l'existence d'une dépendance significative du coefficient de variation en fonction de la pluie  $\ln(C_v/P_o)= f(\ln(P_o))$ , avec un coefficient de corrélation égal à 0.740. On remarque que le coefficient variation  $C_v$  est proportionnel avec la pluie

$$C_v = \text{const. } P_o^{0.0794} \tag{35}$$

**d- Dépendance  $\ln(C_v/H_{moy}+1)=f(\ln(H_{moy}+1))$  :**



**Fig IV.04** : graphique de la dépendance  $\ln(C_v/H_{moy}+1)=f(\ln(H_{moy}+1))$

Le graphique ci-dessus montre l'existence d'une dépendance significative du coefficient de variation en fonction de l'altitude moyenne du bassin versant  $\ln(C_v/H_{moy}+1)= f(\ln(H_{moy}+1))$ , avec un coefficient de corrélation égal à 0.756. On remarque que le coefficient variation  $C_v$  est inversement proportionnel à l'altitude moyenne du bassin

$$C_v = \frac{\text{Const}}{(H_{moy}+1)^{0.352}} \tag{36}$$



### IV-3-2- Analyse graphique de la dépendance $K=f(\text{latitude}, S, P_o, H_{\text{moyen}})$ :

Le coefficient  $K$ , qui exprime le rapport  $C_s/C_v$ , reflète la variabilité spatiale des différentes combinaisons du complexe de l'influence conjuguée des facteurs climatiques et physico-géographiques.

#### a-Dépendance $K=f(\text{latitude})$ :

Les facteurs climatiques et physico-géographiques dépendent de la position géographique, déterminée par des coordonnées géographiques. A cet effet, les caractéristiques statistiques de l'écoulement moyen interannuel doivent faire l'objet d'une analyse par rapport à la latitude.

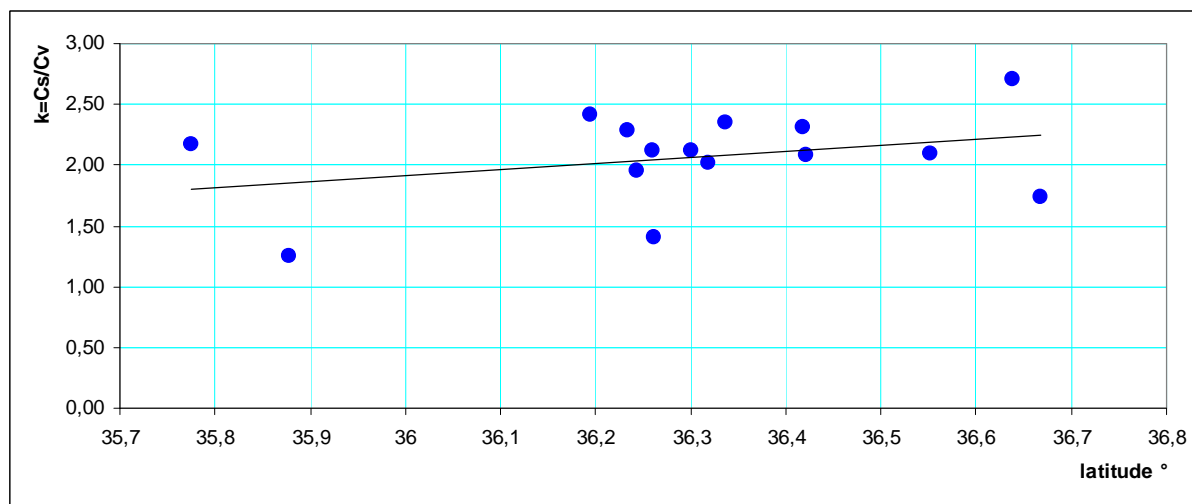


Fig IV.05 : graphique de la dépendance  $k = f(\text{latitude})$

Le graphique de la dépendance  $K = f(\text{latitude})$  montre, qu'il y a une très légère augmentation avec la latitude, mais avec un coefficient de corrélation  $r = 0,315$ . Ceci permet de négliger cette dépendance et prendre en considération une valeur moyenne statistique  $K=2,02$ . Il faut remarquer, que beaucoup d'hydrologues considèrent, que pour l'écoulement moyen la valeur de ce coefficient  $K=2$ .

#### b-Dépendance $\ln(K/S+1)=f(\ln(S+1))$ :

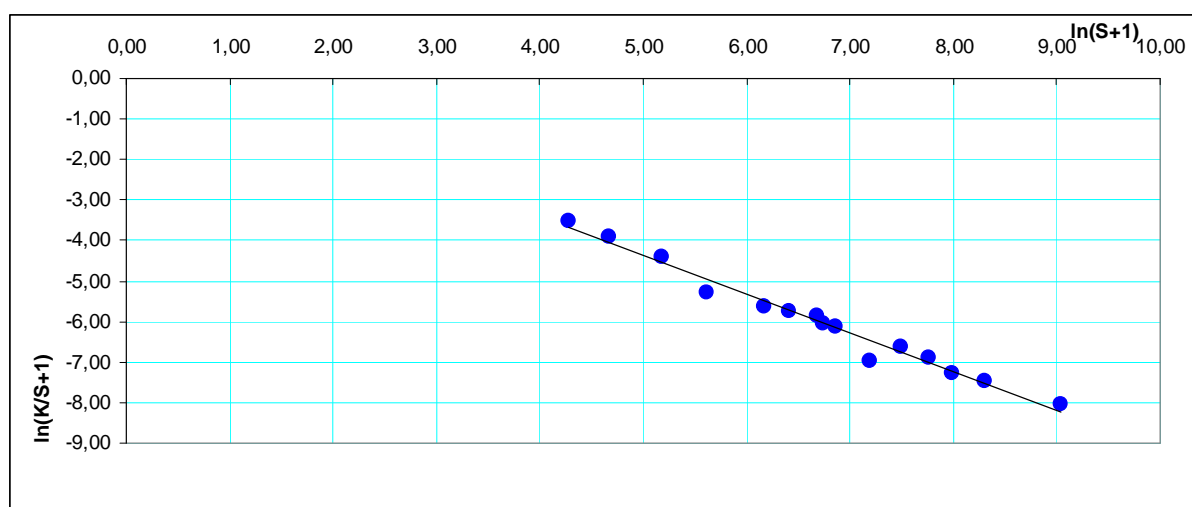
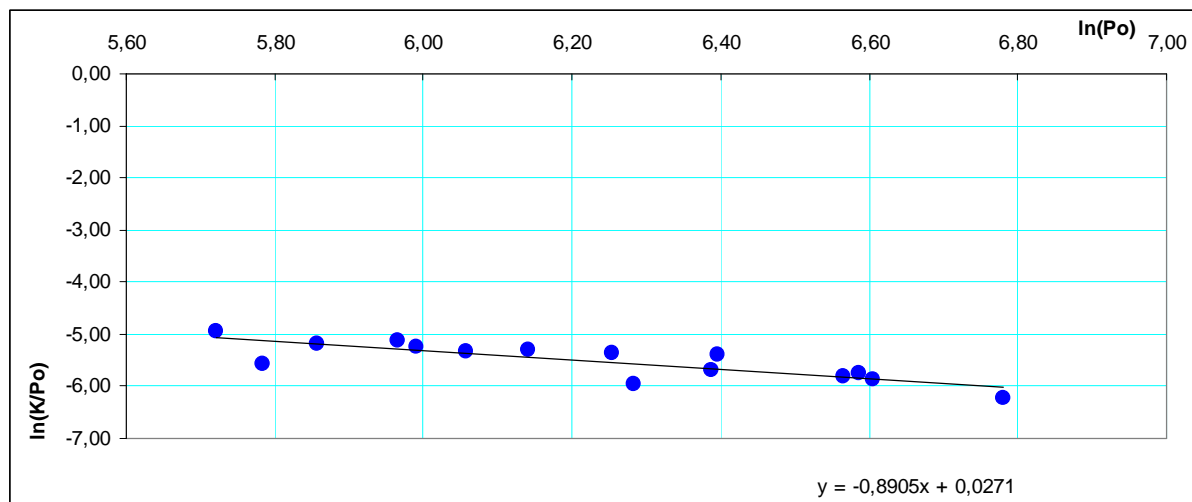


Fig IV.06 : graphique de la dépendance  $\ln(k/S+1)=f(\ln(S+1))$

Le graphique ci-dessus montre l'existence d'une dépendance significative du coefficient  $K$  en fonction de la superficie du bassin versant  $\ln(K/S+1)= f(\ln(S+1))$ , avec un coefficient de corrélation égal à 0.989. On remarque que le coefficient  $K$  est proportionnel à la superficie du bassin  $K = \text{const.} (S + 1)^{0.05}$  (37)

**c-Dépendance  $\ln(K/P_o)= f(\ln(P_o))$  :**

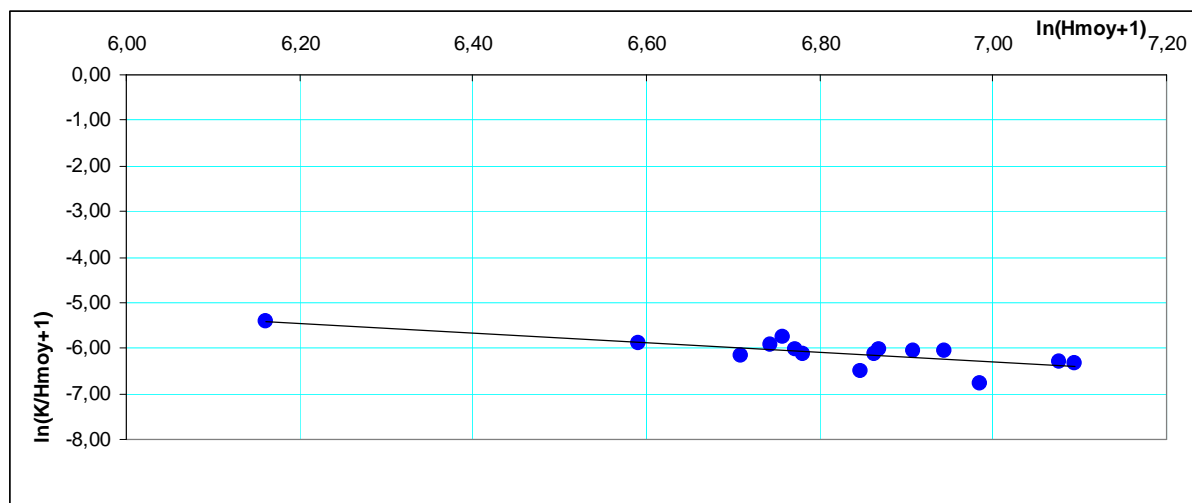


**Fig IV.07 :** graphique de la dépendance  $\ln(K/P_o)= f(\ln(P_o))$

L'analyse graphique ci-dessus montre l'existence d'une dépendance significative du coefficient  $K$  en fonction de la pluie  $\ln(K/P_o)= f(\ln(P_o))$ , avec un coefficient de corrélation égal à 0.828. On remarque que le coefficient  $K$  augmente modérément avec l'augmentation de la pluie  $P_o$ ,  $K = \text{const.} P_o^{0.11}$  (38)

**d-Dépendance  $\ln(K/H_{moy}+1)= f(\ln(H_{moy}+1))$  :**

Les facteurs, déterminant la genèse de l'écoulement, sont souvent conditionnés par le zonalité climatique verticale. Les coefficients statistiques  $C_s$  et  $C_v$  reflètent indirectement la genèse et la répartition spatiale de l'écoulement. De même le coefficient  $K$  est soumis à cette régularité.



**Fig IV.08 :** graphique de la dépendance  $\ln(K/H_{moy}+1)=f(\ln(H_{moy}+1))$

Le graphique de la dépendance  $\ln(K/H_{moy}+1)=f(\ln(H_{moy}+1))$  montre qu'il y a une dépendance significative caractérisée par un coefficient de corrélation  $r = 0.768$ , avec

$$K = \frac{Const}{(H_{moy}+1)^{0.07}} \quad (39)$$

#### IV-3-3-Analyse graphique de la dépendance $\alpha=f(\text{latitude}, S, H_{moy}, P_0)$ :

Le coefficient d'écoulement exprime le taux des pluies qui est transformé en écoulement. C'est une caractéristique climatique et dépend aussi des facteurs physico-géographiques. Par manque d'informations et de données, nous utilisons comme facteur intégrant l'influence conjuguée, la quantité de pluie, la superficie du bassin versant et l'altitude moyenne de ce dernier. L'objectif est l'identification des dépendances éventuelles du coefficient d'écoulement avec ces facteurs.

##### a-Dépendance $\alpha = f(\text{latitude})$ :

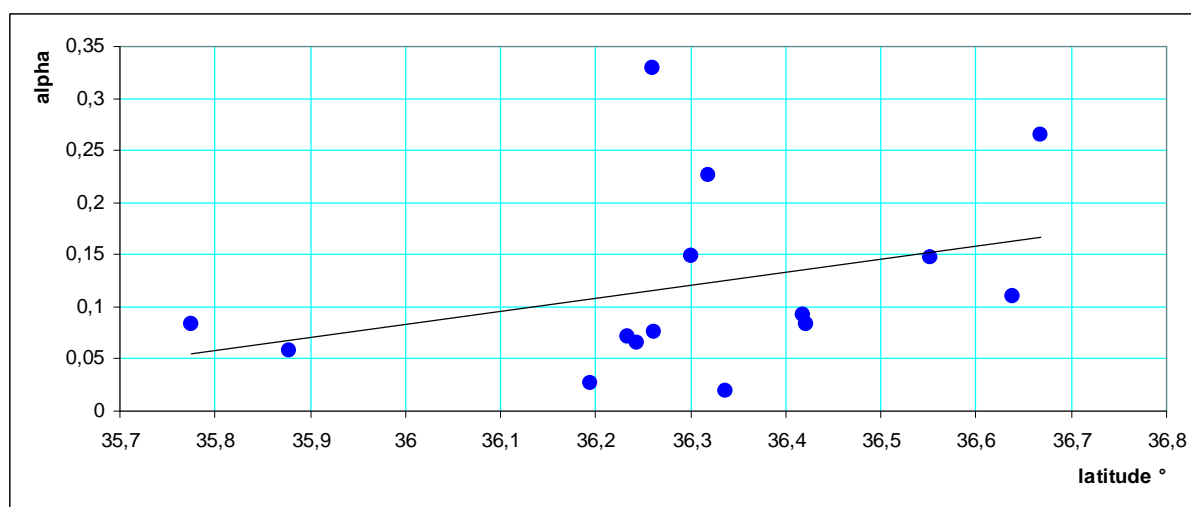


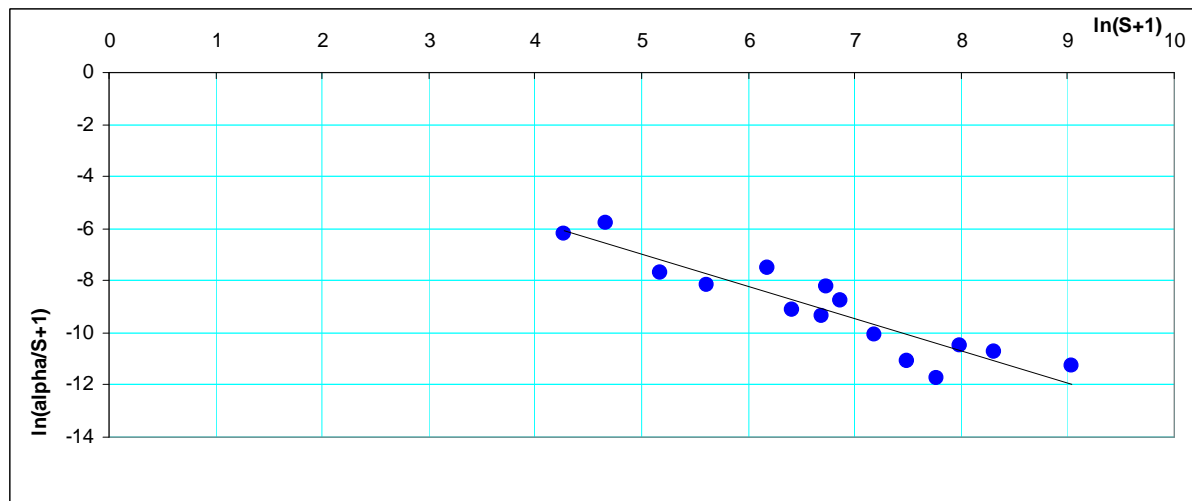
Fig IV.09 : graphique de la dépendance  $\alpha = f(\text{latitude})$

Le graphique de la dépendance  $\alpha=f(\text{latitude})$  montre qu'il y a une faible tendance d'augmentation de ce dernier en s'approchant de la mer méditerranée, bien que cette dépendance se caractérise par un faible coefficient de corrélation égal à 0.328.

##### b- Dépendance $\ln(\alpha/S+1)=f(\ln(S+1))$

Si on admet, qu'une région est arrosée par la même quantité de pluie, alors l'écoulement doit obligatoirement augmenter avec l'augmentation de la superficie. Car plus la superficie augmente, la composante souterraine croît proportionnellement. Mais, quand les pluies varient dans l'espace, la composante superficielle de l'écoulement moyen en dépend plus.

Les sous bassins ont des tailles différentes, nous proposons de prendre en considération le coefficient d'écoulement spécifique ( $\alpha/S$ ) pour l'unité de superficie et chercher à établir la dépendance  $\alpha/S = f(S)$ , dans un système logarithmique,  $\ln(\alpha/S+1) = f(\ln(S+1))$ , la valeur 1 est ajoutée dans le but d'éliminer l'indétermination quand la superficie tend vers 0.



**Fig IV.10** : graphique de la dépendance  $\ln(\alpha/S+1) = f(\ln(S+1))$

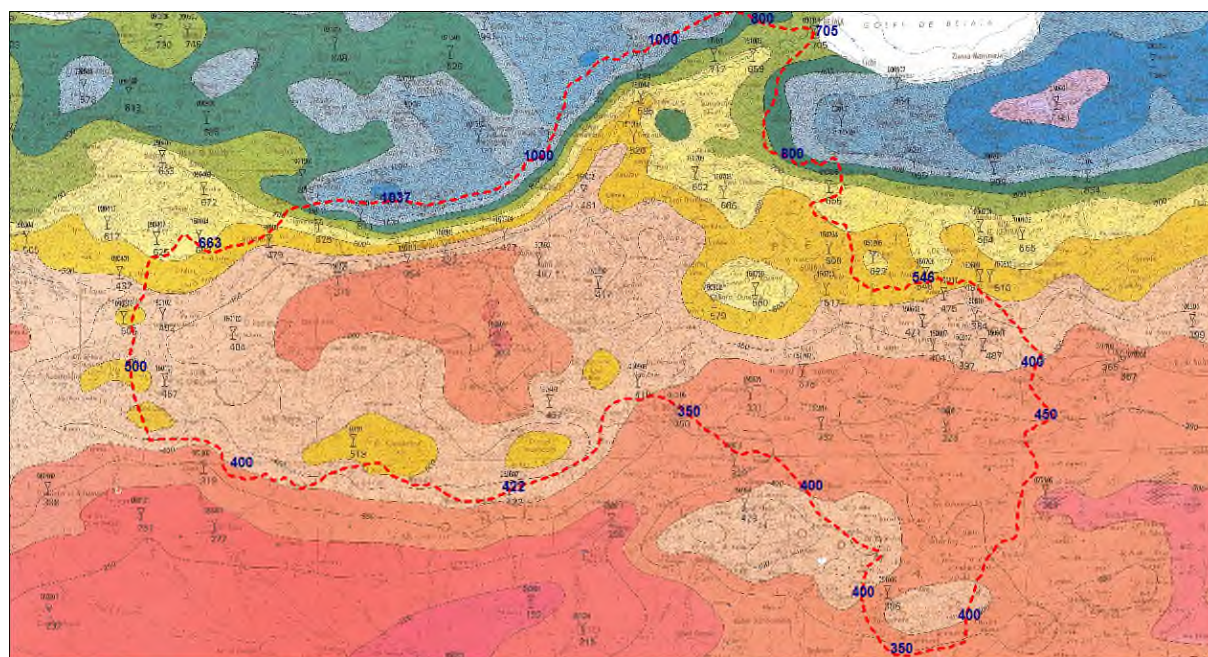
L'analyse graphique montre l'existence d'une dépendance quasi linéaire, avec un coefficient de corrélation  $r = 0,923$ . D'où on peut exprimer cette relation comme suit :

$$\alpha = \frac{Const}{(S+1)^{0.246}} \tag{40}$$

Ceci peut s'expliquer par le fait, que les petits et les moyens bassins versants reçoivent une quantité importante de pluie, que les grands bassins, ce qui explique la décroissance du coefficient d'écoulement moyen avec l'augmentation de la superficie.

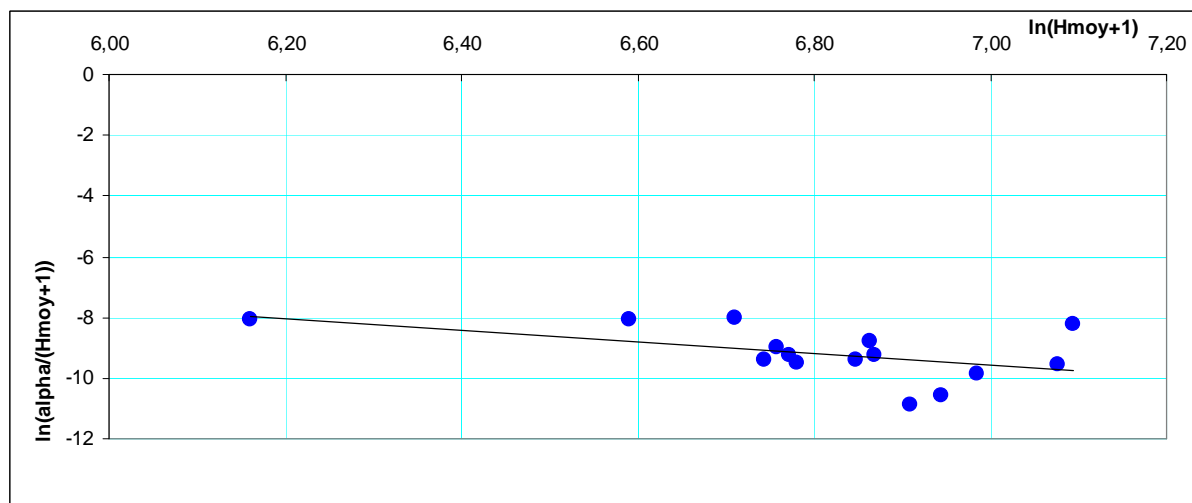
**c- Dépendance  $\ln(\alpha / H_{moy}+1) = f(\ln(H_{moy}+1))$**

Les observations de la pluie ont montré, que le versant nord de la Soummam est plus arrosé que le versant sud. La figure ci-dessous montre qu'à la limite Nord, sur le Djurdjura la quantité atteint les 1000 mm, alors sur la limite Sud elle est de l'ordre de 400 mm. La majeure partie du bassin, où le relief est modéré, la quantité de pluie est de l'ordre de 500 mm. Il est clair que l'influence du relief sur la quantité de la pluie est évidente.



**Fig IV.11** : les pluies sur les versants Nord et Sud du bassin de la Soummam

Le graphique de la dépendance  $(\alpha/H_{moy}+1)= f(H_{moy}+1)$  dans un système d'axe logarithmique nous a mis à l'évidence l'existence d'une relation décroissante quasi linéaire, avec un coefficient de corrélation égal à 0.494.



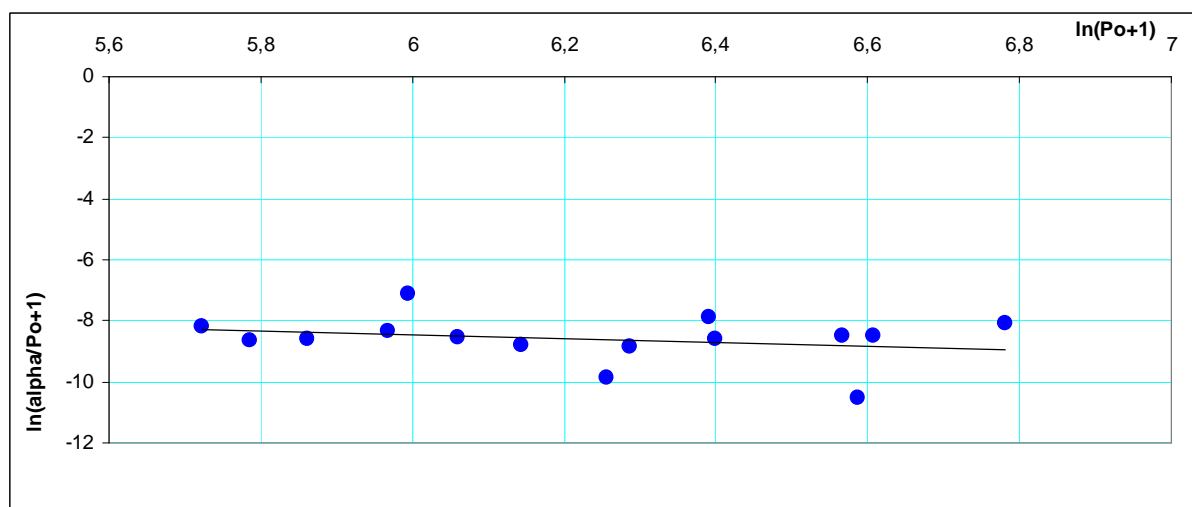
**Fig IV.12** : graphique de la dépendance  $ln(\alpha/H_{moy}+1)= f(ln(H_{moy}+1))$

La relation, entre le coefficient d'écoulement et l'altitude moyenne des sous bassin, peut être exprimée comme suit :  $\alpha = \frac{Const}{(H_{moy}+1)^{0.895}}$  (41)

**d- Dépendance  $ln(\alpha / Po)= f(ln(Po))$**

La pluie, en tant que facteur climatique dominant dans la genèse de l'écoulement, peut avoir un rôle double. Le premier caractérise les réserves de l'humidité stockées dans le bassin. Alors que le deuxième est la genèse de l'écoulement. En principe, dans les conditions, ou les réserves climatiques d'humidité sont constantes, le coefficient d'écoulement est indépendant de ces réserves, c'est-à-dire qu'il n'est pas lié avec la pluie.

Ainsi, on examine l'influence probable de la pluie moyenne interannuelle sur le coefficient d'écoulement.



**Fig IV.13** : graphique de la dépendance  $ln(\alpha/Po)= f(ln(Po))$

L'analyse graphique a permis de découvrir une dépendance quasi linéaire, avec un coefficient  $r=0,244$ . Le coefficient d'écoulement augmente avec l'augmentation de la quantité de la pluie. Cette relation peut être exprimée comme suit :  $\alpha = \text{const. } P_0^{0.41}$  (42)

#### IV-4-Analyse par régression multiple des dépendances :

La méthode de la régression multiple, fondée l'approche des moindres carrés, consiste à établir la relation entre plusieurs variables. La validation de cette méthode exige un échantillon suffisant et représentatif des mesures ou observations de bonne qualité. Cette méthode peut dévoiler les relations génétiques entre ces variables.

##### a- Analyse du coefficient de variation par la méthode régression multiple:

La transformation logarithmique des variables, par la méthode de la régression multiple, on a pu établir la relation entre le coefficient de variation  $C_v$  et les principaux facteurs : la superficie du bassin  $S$ , l'altitude moyenne du bassin  $H_{\text{moyen}}$  et la quantité de la pluie  $P_0$ . Cette relation s'écrit sous la forme suivante:

$$C_v = \frac{C_{cv}}{(S + 1)^{0.0217} P^{0.045} (H_{\text{moy}} + 1)^{0.36}} \quad (43)$$

Avec  $C_{cv}$  comme coefficient climatique, intégrant l'influence conjuguée des facteurs climatiques et intrazonaux non mesurables.

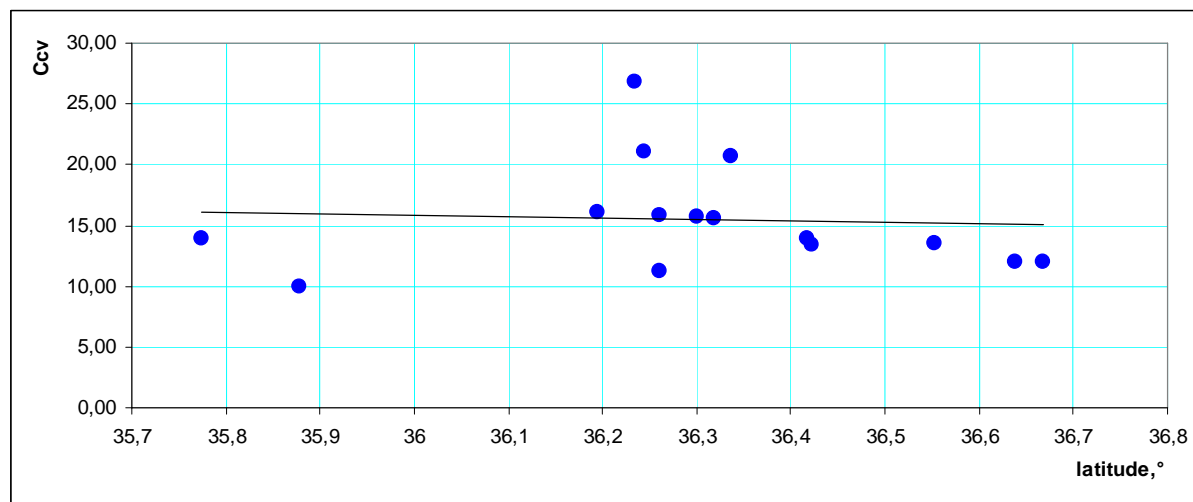


Fig IV.14 : graphique de la dépendance  $C_{cv} = f(\text{latitude})$

L'analyse de la dépendance  $C_{cv} = f(\text{latitude})$  montre l'inexistence de relation entre le coefficient climatique  $C_{cv}$  et la latitude. Ceci permet de prendre pour tous les sous bassins une valeur moyenne statistique  $C_{cv} = 15,45$ .

##### b- Analyse du coefficient K la méthode régression multiple:

La transformation logarithmique des variables, par la méthode de la régression multiple, on a pu établir la relation entre le coefficient K et les principaux facteurs : la superficie du bassin  $S$ , l'altitude moyenne du bassin  $H_{\text{moyen}}$  et la quantité de la pluie  $P_0$ .

Cette relation s'écrit sous la forme suivante:

$$K = C_k \frac{(S + 1)^{0.046} P^{0.0808}}{(H_{moy} + 1)^{0.0602}} \tag{44}$$

Avec  $C_k$  comme coefficient climatique, intégrant l'influence conjuguée des facteurs climatiques et intrazonaux non mesurables.

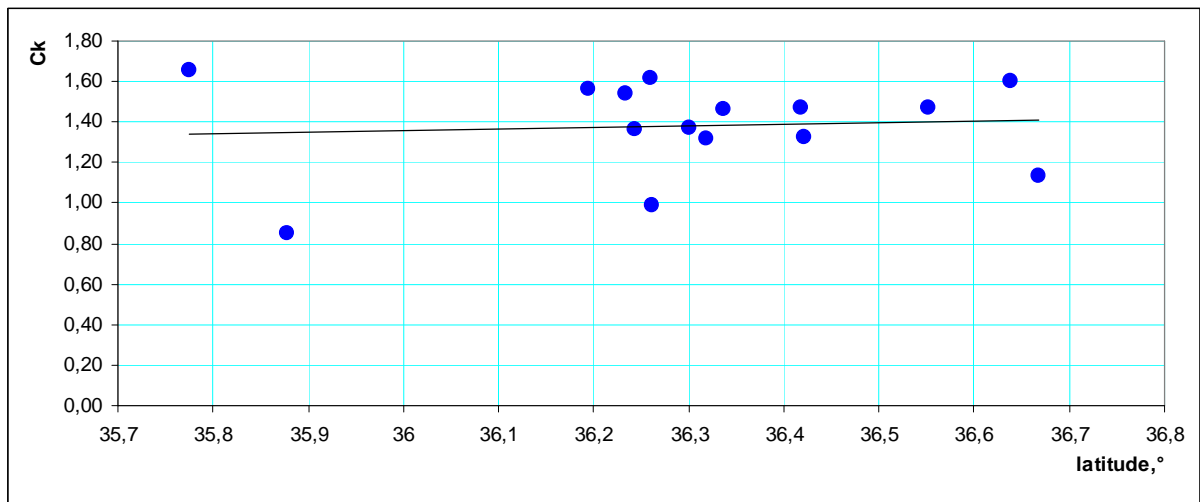


Fig IV.15 : graphique de la dépendance  $C_k = f(latitude)$

L'analyse de la dépendance  $C_k = f(latitude)$  montre l'inexistence de relation entre le coefficient climatique  $C_k$  et la latitude. Ceci permet de prendre pour tous les sous bassins une valeur moyenne statistique  $C_k = 1,38$ .

**c- Analyse du coefficient d'écoulement par la méthode régression multiple :**

La transformation logarithmique des variables, par la méthode de la régression multiple, on a pu établir la relation entre le coefficient  $\alpha$  et les principaux facteurs : la superficie du bassin  $S$ , l'altitude moyenne du bassin  $H_{moyen}$  et la quantité de la pluie  $P_o$ .

Cette relation s'écrit sous la forme suivante:

$$\alpha = C_\alpha \frac{P^{0.306}}{(S + 1)^{0.235} (H_{moy} + 1)^{0.387}} \tag{45}$$

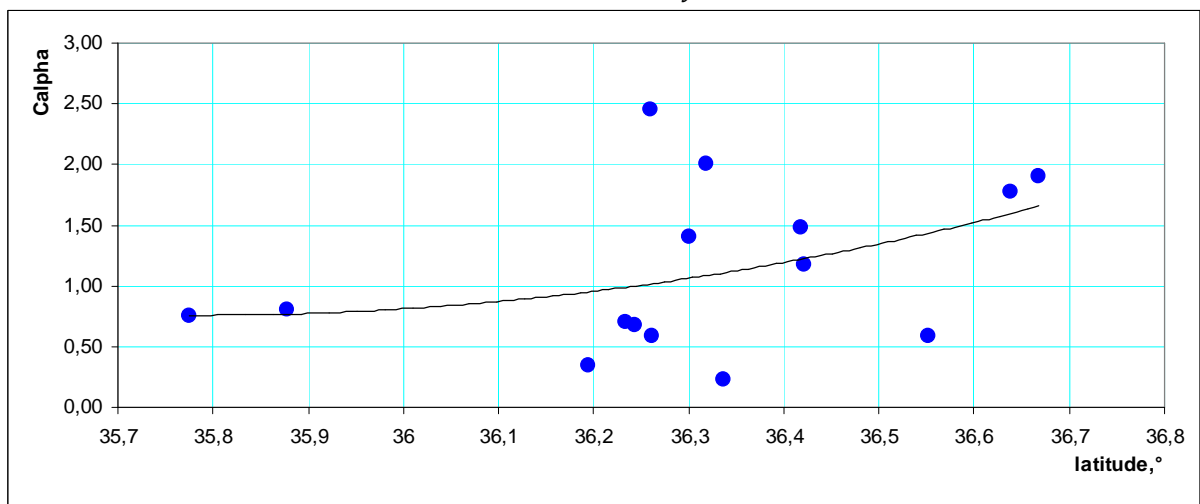


Fig IV.16 : graphique de la dépendance  $C_\alpha = f(latitude)$

Malgré la faible corrélation, néanmoins, l'analyse de la dépendance  $C_a = f(\text{latitude})$  montre l'existence d'une relation entre le coefficient climatique  $C_a$  et la latitude. Ceci permet de le prendre et le cartographier. Les valeurs du coefficient  $C_a$  adoptées pour chaque sous bassin sont contenues dans le tableau suivant :

N°	Nom Station	Nom Oued	Code	X	Y	$C_a$
01	Tilesdit	Eddous	15.01.06	3.834	36.318	2,00
02	El Snam	Zaiane	15.02.04	4.025	36.234	0,71
03	P/ de fer	Azerou	15.04.01	4.470	36.244	0,67
04	Fermatou	Boussellam	15.06.01	5.410	36.260	2,46
05	Ain Zada	Boussellam	15.07.01	5.264	36.194	0,34
06	Megraoua	Boussellam	15.07.02	5.122	36.336	0,23
07	Boubirek	Boussellam	15.07.03	4.775	36.422	1,18
08	Sidi Yahia	Boussellam	15.09.01	4.772	36.418	1,49
09	Sidi Aich	Soummam	15.10.01	4.777	36.638	1,77
10	Boubroune	Boubhir	02.15.13	4.340	36.668	1,91
11	A/Zaouia	El hamam	02.19.05	3.999	36.552	0,59
12	Medjez	Ksob	05.09.01	4.810	35.878	0,80
13	S/Ouadah	Soubellah	05.11.01	5.475	35.775	0,76
14	B/Slimane	Malah	09.03.05	3.649	36.261	0,59
15	Tassadane	El kebir	10.01.09	5.676	36.300	1,41

Tableau IV.02 : résultats de calcul du coefficient climatique  $C_a$

L'analyse graphique, a montré que le coefficient  $C_a$  est indépendant des principales variables :  $S$ ,  $H_{moyen}$  et  $P_o$ . Mais il est soumis à la zonalité latitudinale, c'est-à-dire qu'on peut le cartographier, connaissant les coordonnées des centres hydrologiques des sous bassins. A l'aide des logiciels Surfer et Mapinfo on construit la carte  $C_a = f(X, Y)$ .

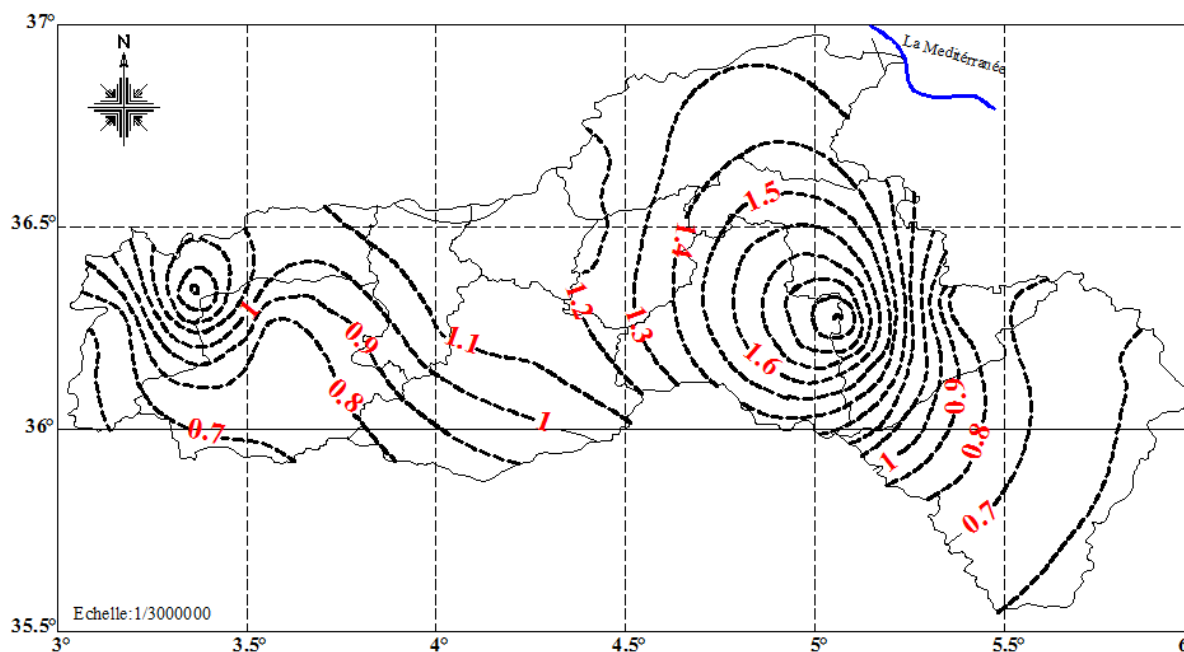


Fig IV.17 : carte du coefficient  $C_a$



**IV-5-Modélisation grapho-analytique du coefficient d'écoulement  $\alpha$  :**

Cette méthode est composée de deux étapes :

La première consiste à faire une analyse graphique des dépendances individuellement avec chaque variable, sous la forme  $Y=(X)$ . Souvent ces dépendances peuvent être exprimé par un monôme, de type  $\frac{Y}{X} = aX^n$ . La variable  $Y$  peut représenter la caractéristique objet de l'analyse, tel que par exemple le coefficient d'écoulement ou autre et la variable  $X$  représente l'une des variables, telle que la superficie du bassin  $S$ , l'altitude moyenne du bassin  $H_{moy}$  et la quantité de la pluie  $P_0$ .

Soit on désigne le coefficient de l'écoulement  $\alpha$  par  $Y$ , la superficie du bassin  $S$  par  $X_1$ , l'altitude moyenne du bassin  $H_{moy}$  par  $X_2$  et la quantité annuelle de la pluie  $P_0$  par  $X_3$ . Puisque la superficie et l'altitude moyenne peuvent prendre la valeur zéro, on leur ajoute +1 pour éviter l'indétermination.

Ainsi, par anamorphose logarithmique, on obtient trois équations :

$$\ln\left(\frac{\alpha}{S+1}\right) = \ln a_1 + n_1 \ln(S+1) \quad (46)$$

$$\ln\left(\frac{\alpha}{H_{moy}+1}\right) = \ln a_2 + n_2 \ln(H_{moy}+1) \quad (47)$$

$$\ln\left(\frac{\alpha}{P_0+1}\right) = \ln a_3 + n_3 \ln(P_0+1) \quad (48)$$

Après quelques transformations, on aura l'expression suivante :

$$\alpha = C_\alpha^* (S+1)^{\frac{n_1+1}{3}} (H_{moy}+1)^{\frac{n_2+1}{3}} (P_0+1)^{\frac{n_3+1}{3}} \quad (49)$$

Avec le coefficient climatique de l'écoulement.

$$C_\alpha^* = \sqrt[3]{a_1 a_2 a_3} \quad (50)$$

Le nombre de facteurs égal à 3, ( $S$ ,  $H_{moy}$  et  $P_0$ ).

$n_1=-0.246$ ,  $n_2=-0.895$  et  $n_3=+0.41$ , exposant relatif à chaque facteur, obtenu à partir de l'analyse graphique individuelle pour chaque facteur.

Les exposants sont obtenus par l'analyse graphique de la dépendance du coefficient d'écoulement  $\alpha$  avec les facteurs suivants : la superficie  $S$ , la pluie moyenne interannuelle  $P_0$  et l'altitude moyenne  $H_{moy}$ , est sont égales à :

$$n_S=-0.082, n_{H_{moy}}=-0.298 \text{ et } n_{P_0}=+0.137$$

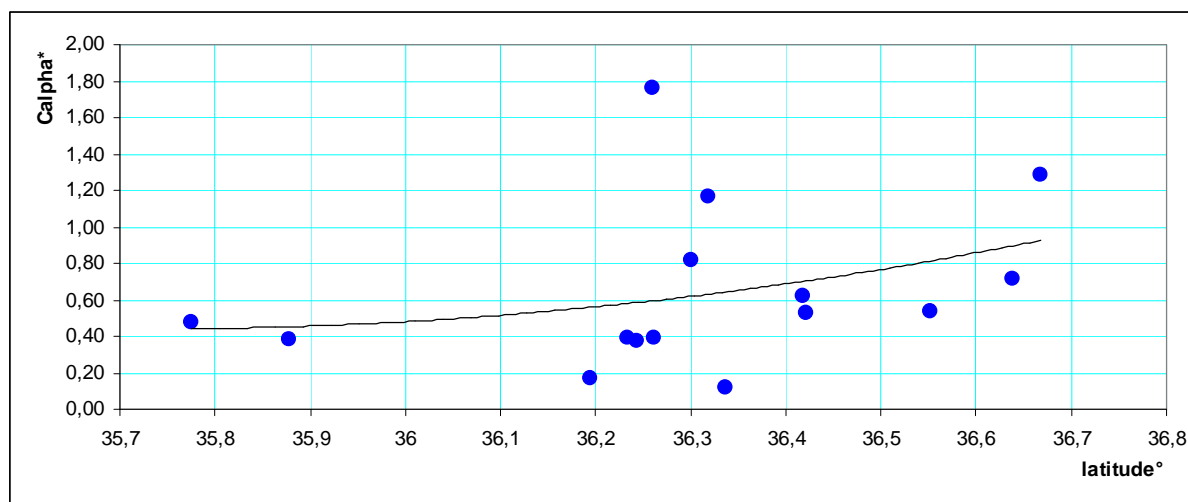
On introduisant ces valeurs dans le modèle (49) on aura l'expression suivante :

$$\alpha = C_\alpha^* \frac{P_0^{0.137}}{(S+1)^{0.082} (H_{moy}+1)^{0.298}} \quad (51)$$

$C_\alpha^*$  exprime le coefficient climatique d'écoulement spécifique pour l'unité de surface, de pluie et d'altitude

N°	Nom Station	Nom Oued	Code	X	Y	$C_{\alpha}^*$
01	Tilesdit	Eddous	15.01.06	3.834	36.318	1,17
02	El Snam	Zaiane	15.02.04	4.025	36.234	0,39
03	P/ de fer	Azerou	15.04.01	4.470	36.244	0,37
04	Fermatou	Boussellam	15.06.01	5.410	36.260	1,76
05	Ain Zada	Boussellam	15.07.01	5.264	36.194	0,17
06	Megraoua	Boussellam	15.07.02	5.122	36.336	0,12
07	Boubirek	Boussellam	15.07.03	4.775	36.422	0,53
08	Sidi Yahia	Boussellam	15.09.01	4.772	36.418	0,62
09	Sidi Aich	Soummam	15.10.01	4.777	36.638	0,72
10	Boubroune	Boubhir	02.15.13	4.340	36.668	1,28
11	A/Zaouia	El hamam	02.19.05	3.999	36.552	0,54
12	Medjez	Ksob	05.09.01	4.810	35.878	0,38
13	S/Ouadah	Soubellah	05.11.01	5.475	35.775	0,48
14	B/Slimane	Malah	09.03.05	3.649	36.261	0,39
15	Tassadane	El kebir	10.01.09	5.676	36.300	0,82

**Tableau IV.03** : résultats de calcul du coefficient climatique d'écoulement  $C_{\alpha}^*$



**Fig IV.18** : graphique de la dépendance  $C_{\alpha}^* = f(\text{latitude})$

Puisque le coefficient climatique dépend de la latitude, donc il est soumis à la zonalité climatique latitudinale, d'où on peut le cartographier.

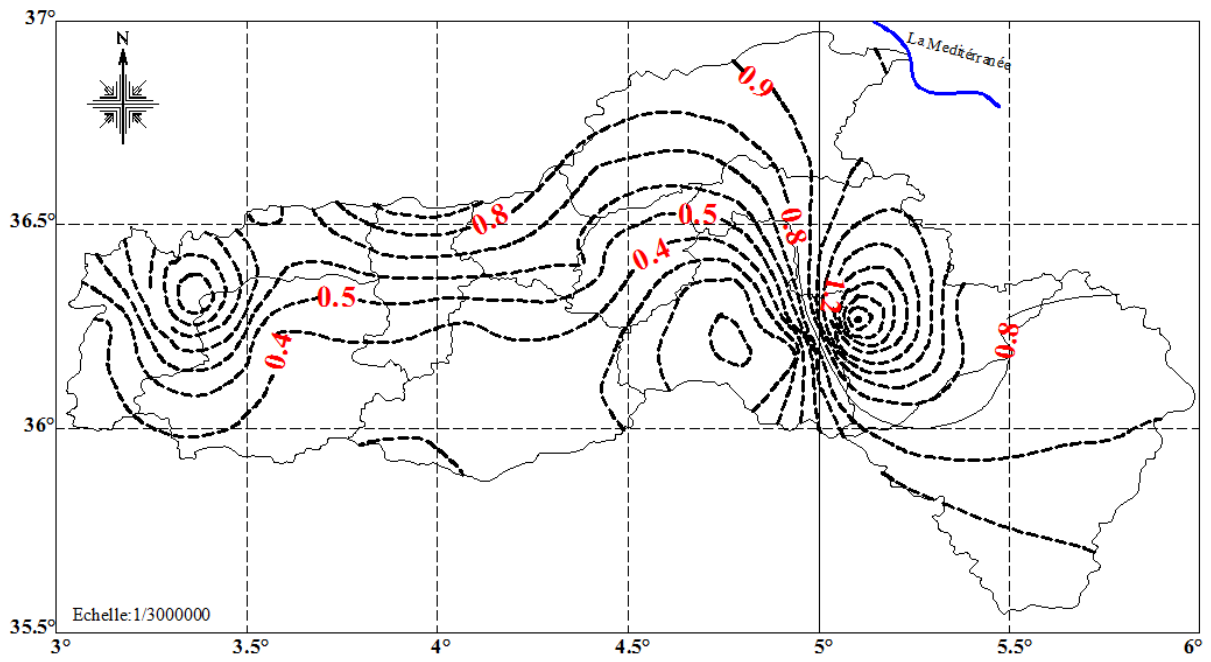


Fig IV.19 : carte du coefficient  $C_a^*$

**IV-6- Conclusion :**

L'écoulement moyen interannuel, généré par les précipitations  $P_o$ , qui sont transformées par les facteurs physico-géographiques.

Les quantités des pluies annuelles, les superficies et les altitudes moyennes des bassins sont considérées, en absences des données, comme les principaux facteurs qui influent directement ou indirectement sur la genèse de l'écoulement.

La superficie est considérée comme indice qui nous renseigne sur la capacité de drainage des eaux souterraines. L'altitude moyenne du bassin reflète l'influence des facteurs liés avec la zonalité verticale.

L'analyse statistique a permis l'estimation des principaux paramètres statistiques, adéquat pour les lois probabilistes appliquées en hydrologie.

Par analyse graphique, on a mis en évidence la dépendance entre le coefficient de variation  $C_v$  et les principaux facteurs adoptés. Il s'avère proportionnel avec la quantité des pluies et est inversement proportionnel avec la superficie et l'altitude moyenne.

Sachant que l'estimation du coefficient d'asymétrie exige un volume d'information très grande. Ce n'est pas le cas pour les sous bassins de la Soummam. Alors, dans la pratique hydrologique, on préfère de recourir au coefficient exprimant le rapport  $C_s/C_v$ , considéré contenu dans l'espace.

La dépendance  $K = f(\text{latitude})$  s'est avéré insignifiant. C'est pourquoi, on considère égal à  $K=2$  pour l'écoulement moyen annuel. Toutefois, il augmente légèrement avec l'augmentation de la superficie des bassins et celle de la quantité annuelle des pluies, avec une importante corrélation, mais inversement proportionnel avec l'altitude moyenne.

Le coefficient d'écoulement exprime le taux des pluies qui est transformé en écoulement. L'analyse que ce dernier montre son augmentation en moyenne modérée avec l'augmentation de la latitude, caractérisée par un faible coefficient de corrélation.

Pour l'analyse du coefficient de l'écoulement  $\alpha$ , nous avons considéré sa valeur spécifique ( $\alpha/S$ ) pour l'unité de superficie. L'analyse de la relation  $\ln(\alpha/S+1) = f(\ln(S+1))$  montre que ce coefficient augmente avec l'augmentation de la quantité de pluie, mais il inversement proportionnel modérément avec la superficie, mais fortement avec l'altitude moyenne du bassin.

La méthode de la régression multiple, fondée sur les moindres carrés, consiste à établir la relation entre plusieurs variables, peut dévoiler les relations génétiques entre ces variables, l'analyse nous a donné la relation suivante :

$$C_v = \frac{C_{cv}}{(S + 1)^{0.0217} P^{0.045} H_{moy}^{0.36}}$$

avec  $C_{cv}$  indépendant des coordonnées géographiques. Ce qui permet de prendre pour tous les sous bassins une seule valeur moyenne statistique  $C_{cv} = 15,4$ .

Par la méthode de la régression multiple, on obtenu la relation pour  $K$ , sous la forme suivante:

$$K = C_k \frac{S^{0.046} P^{0.0808}}{H_{moy}^{0.0602}}$$

avec  $C_k$  indépendant des coordonnées géographiques. Ce qui permet de prendre pour tous les sous bassins une seule valeur moyenne statistique  $C_k=1,38$ .

La même façon, on obtenu une expression pour le coefficient d'écoulement  $\alpha$ , sous la forme suivante:

$$\alpha = C_{\alpha} \frac{P^{0.306}}{S^{0.235} H_{moy}^{0.387}}$$

Ici, le coefficient  $C_{\alpha}$  est indépendant des principaux facteurs ( $S$ ,  $H_{moy}$  et  $P_0$ ), mais il est lié avec la latitude. D'où, on peut cartographier sous forme d'isolignes.

La méthode grapho-analytique a permis d'exprimer le coefficient d'écoulement  $\alpha$ , sous la forme suivante :

$$\alpha = C_{\alpha}^* \frac{P_0^{0.137}}{(S + 1)^{0.082} (H_{moy} + 1)^{0.298}}$$

Il s'avère que le coefficient climatique  $C_{\alpha}^*$  dépend de la latitude, c'est-à-dire, qu'il est soumis à la zonalité climatique latitudinale, d'où on peut le cartographie.

# CHAPITRE V: ETUDE COMPARATIVE DE L'ECOULEMENT TOTAL ET CLIMATIQUE

---



**V-1-Introduction :**

Les modèles théoriques de l'EMI sont élaborés pour les grands systèmes fluviaux qui sont capables de drainer la totalité de l'écoulement. Dans ce cas l'écoulement est considéré climatique, puisqu'il dépend uniquement des caractéristiques climatiques, c'est-à-dire que la pluie est égale à la somme de l'écoulement plus l'évaporation.

Alors qu'au niveau des moyens et des petits bassins l'influence des facteurs locaux devient significative par rapport aux facteurs climatiques.

L'écoulement moyen interannuel est le résultat de l'influence conjuguée des principaux facteurs climatiques, des facteurs géomorphologiques et hydrogéologiques.

Théoriquement, dans les grands bassins versants, l'écoulement moyen interannuel est un écoulement moyen climatique, qui dépend uniquement des pluies moyennes climatiques et de l'évaporation moyenne climatique.

L'utilisation des modèles climatiques, pour les petits et moyens bassins, exige de tenir en compte l'influence des facteurs locaux. Développés par des données climatiques régionales, les modèles théoriques décrivent l'écoulement moyen climatique des grands bassins versants.

**V-2- Les principales caractéristiques :**

Rappelons que, les caractéristiques statistiques des pluies moyennes et des écoulements pour chaque sous bassins, ont été estimés par trois méthodes. Les résultats pris en considération sont ceux obtenus par la méthode grapho-analytique d'Alekseev.

Les principales caractéristiques climatiques et morphométriques des sous bassins versants de la Soummam, sont insérées dans le tableau suivant :

N	N. Oued	N.Station	Code	X°	Y°	S(km <sup>2</sup> )	H <sub>mov</sub>	ETP	P <sub>o</sub>	E <sub>o, réel</sub>
1	Tilesdit	Eddous	15.01.06	3,834	36,318	842	727	1200	595	135
2	El Snam	Zaiane	15.02.04	4,025	36,234	800	848	1300	465	32,9
3	P/ de fer	Azerou	15.04.01	4,47	36,244	605	880	1365	350	22,8
4	Fermatou	Boussellam	15.06.01	5,41	36,26	105	1205	1200	400	132
5	Ain Zada	Boussellam	15.07.01	5,264	36,194	1800	1036	1210	520	14,1
6	Megraoua	Boussellam	15.07.02	5,122	36,336	2350	1000	1300	725	13,9
7	Boubirek	Boussellam	15.07.03	4,775	36,422	2950	872	1300	427	35,8
8	Sidi Yahia	Boussellam	15.09.01	4,772	36,418	4050	960	1400	390	35,8
9	Sidi Aich	Soummam	15.10.01	4,777	36,638	8420	860	1350	600	65,9
10	Boubroune	Boubhir	02.15.13	4,34	36,668	480	819,6	1200	880	233
11	A/Zaouia	El hamam	02.19.05	3,999	36,552	71	472,8	1220	710	105
12	Medjez	Ksob	05.09.01	4,81	35,878	1330	1080	1400	325	18,9
13	S/Ouadah	Soubellah	05.11.01	5,475	35,775	176	1182,5	1400	305	25,4
14	B/Slimane	Malah	09.03.05	3,649	36,261	273	940	1366	536	40,9
15	Tassadane	El kebir	10.01.09	5,676	36,3	960	955	1200	739	110

**Tableau V.01 :** caractéristiques morphométriques et climatiques des sous bassins versants

**V-3- Modèle climatique :**

L'estimation de l'écoulement climatique moyen interannuel (ECMI), est effectuée par le modèle théorique de Mezentsev, appelé par ce dernier : Calculs hydro-climatiques de l'écoulement.



Mezentsev V. S. a proposé l'expression de l'écoulement climatique moyen interannuel, pour un bassin versant fermé, comme suit :

$$E_{o,clim} = P_0 - ETR \tag{52}$$

avec :

$$ETR = ETP \left( 1 + \left( \frac{P_0}{ETP} \right)^{-n} \right)^{-\frac{1}{n}} \tag{53}$$

où :

$E_{o,clim}$  : écoulement climatique moyen interannuel, mm.

$P_0$  : pluie moyenne interannuelle, mm.

$ETR$  : évapotranspiration réelle moyenne interannuelle, mm.

$ETP$  : évapotranspiration potentielle moyenne interannuelle, mm.

$n$  : paramètre, qui intègre l'influence des conditions physico-géographiques de formation l'évapotranspiration et l'écoulement.

Selon les recommandations de Mezentsev V. S, la valeur du paramètre  $n$  est égale à 3, mais elle diminue avec l'accentuation du relief. Dans les régions montagneuses ce paramètre prend la valeur 2.

Considérant le rapport de la valeur de l'écoulement réel à la valeur de l'écoulement estimé par le modèle de Mezentsev comme un coefficient de référence climatique, on aura :

$$K = \frac{E_{réel}}{E_{climatique}} \tag{54}$$

Le tableau suivant, nous donne les résultats obtenu pour les différents sous bassin versants :

N	N. Oued	N.Station	Code	X°	Y°	S(km²)	E <sub>o, réel</sub>	E <sub>o, clim</sub>	k=E <sub>o,réel</sub> /E <sub>o,clim</sub>
1	Tilesdit	Eddous	15.01.06	3,834	36,318	842	135	61,9	2,18
2	El Snam	Zaiane	15.02.04	4,025	36,234	800	32,9	27,2	1,21
3	P/ de fer	Azerou	15.04.01	4,47	36,244	605	22,8	11,0	2,07
4	Fermatou	Boussellam	15.06.01	5,41	36,26	105	132	20,5	6,43
5	<b>Ain Zada</b>	<b>Boussellam</b>	<b>15.07.01</b>	<b>5,264</b>	<b>36,194</b>	<b>1800</b>	<b>14,1</b>	<b>42,2</b>	<b>0,33</b>
6	<b>Megraoua</b>	<b>Boussellam</b>	<b>15.07.02</b>	<b>5,122</b>	<b>36,336</b>	<b>2350</b>	<b>13,9</b>	<b>91,8</b>	<b>0,15</b>
7	Boubirek	Boussellam	15.07.03	4,775	36,422	2950	35,8	21,3	1,68
8	Sidi Yahia	Boussellam	15.09.01	4,772	36,418	4050	35,8	14,3	2,50
9	Sidi Aich	Soummam	15.10.01	4,777	36,638	8420	65,9	51,7	1,27
10	Boubroune	Boubhir	02.15.13	4,34	36,668	480	233	170,4	1,37
11	A/Zaouia	El hamam	02.19.05	3,999	36,552	71	105	96,4	1,09
12	Medjez	Ksob	05.09.01	4,81	35,878	1330	18,9	8,4	2,24
13	S/Ouadah	Soubellah	05.11.01	5,475	35,775	176	25,4	7,0	3,64
14	B/Slimane	Malah	09.03.05	3,649	36,261	273	40,9	37,0	1,11
15	Tassadane	El kebir	10.01.09	5,676	36,3	960	110	109,8	1,00

**Tableau V.02 :** valeurs du coefficient de référence climatique obtenue pour les différents sous bassins versants.

En examinant les valeurs du coefficient de référence climatique, on peut remarquer, que pour deux sous bassins de l'oued Boussemam, à la section Ain Zada (15 07 01) et à la section Megraoua (15 07 02), la valeur de  $K = \frac{E_{réel}}{E_{climatique}}$  est inférieure à l'unité ( $k < 1$ ).

La figure V.01 montre la position des deux stations Ain Zada (15 07 01) et Magraoua (15 07 02), dans la partie Sud-Ouest du bassin de la Soummam, qui se trouvent entre la station Fermatou en amont et la station Boubirek en aval.

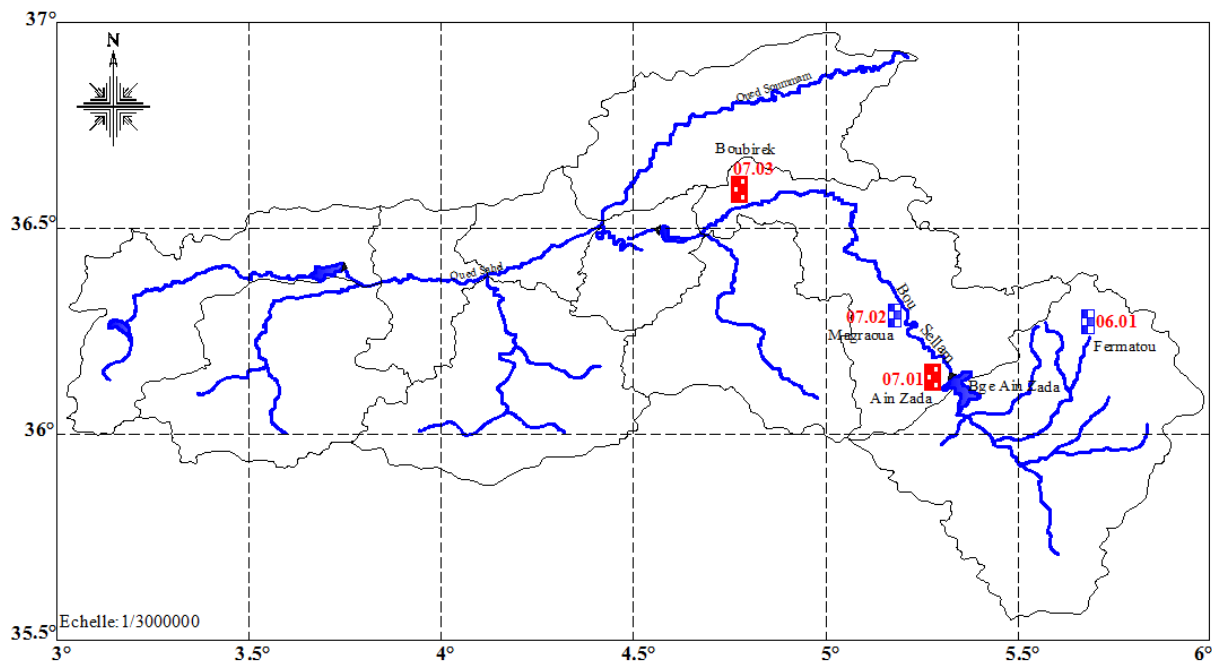


Fig V.01 : position des stations Ain Zada et Magraoua

De même, nous analysons le graphique de la dépendance simultanée entre l'écoulement réel  $E_{o,réel}$ , l'écoulement climatique  $E_{o,clim}$  et la superficie des bassins versants  $S$  (fig V.02).

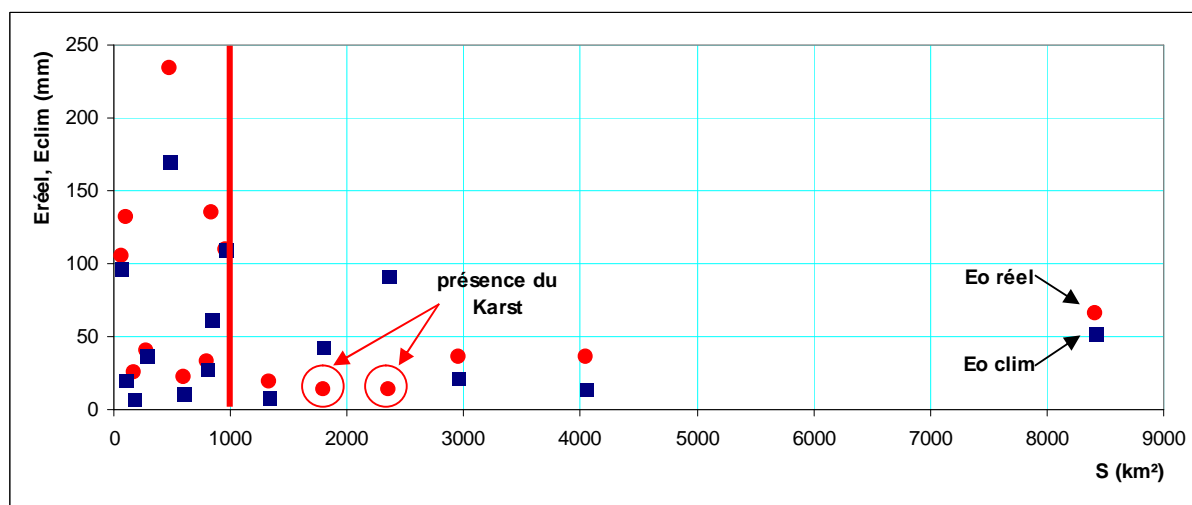
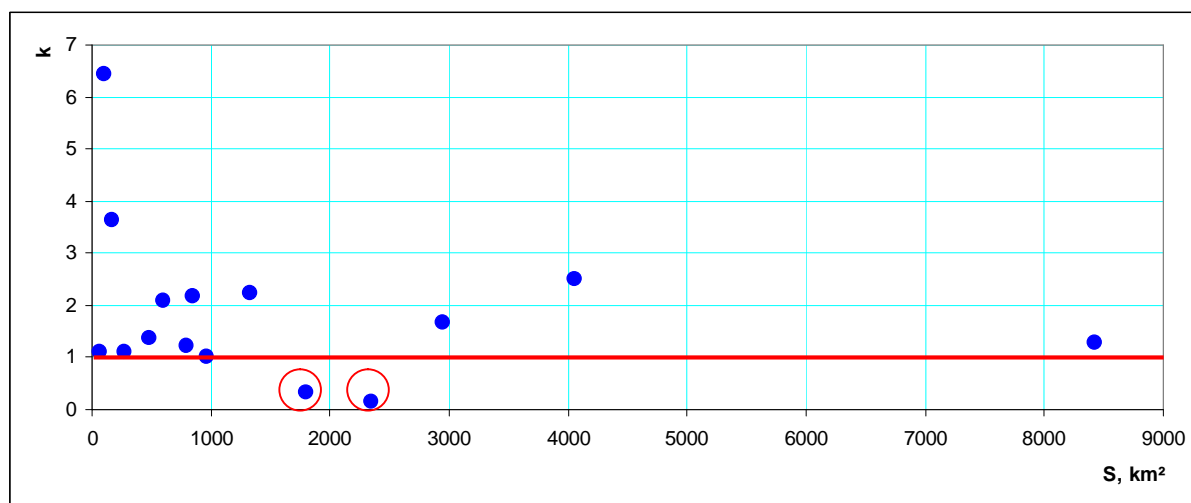


Fig V.02 : graphique dépendance  $E_{réel}, E_{clim} = f(S)$

D'après cette figure, on peut distinguer deux zones : zone des petits et moyens bassins versants dont les superficies sont inférieures à  $1000 \text{ km}^2$  et la zone des grands bassins pour  $S > 1000 \text{ km}^2$ . Théoriquement, la valeur l'écoulement de ces derniers est égale ou légèrement supérieures à l'écoulement climatique. Ainsi, avec l'augmentation de la superficie des bassins, l'écoulement réel  $E_{o,réel}$  tend vers l'écoulement climatique  $E_{o,clim}$ . Par conséquent, s'il y a écart, cela est du à la qualité des données de mesures des caractéristiques climatiques (pluie, ETP).



**Fig V.03** : dépendance entre coefficient de référence climatique  $k$  et la superficie des bassins versants

L'analyse graphique permet de remarquer, que :

1-Pour la majorité des bassins, la valeur de coefficient de référence climatique  $k$  est supérieure ou proche de l'unité, c'est-à-dire l'écoulement réel  $E_{o,réel}$  doit être supérieur à l'écoulement climatique  $E_{o,clim}$ .

2-Pour les grands bassins la valeur s'approche de un, c'est-à-dire que l'écoulement réel  $E_{o,réel}$  doit être légèrement supérieure ou égal à l'écoulement climatique  $E_{o,clim}$ .

3-Pour les bassins versants, dont la valeur de coefficient de référence climatique  $k$  est inférieure à l'unité ( $k < 1$ ), c'est-à-dire l'écoulement réel  $E_{o,réel}$  est inférieure à l'écoulement climatique  $E_{o,clim}$ .

Il y a deux cas pour lesquels la valeur de coefficient de référence climatique  $k$  est inférieure à l'unité, celui des sections Ain Zada (150701) et Megraoua (150702), situées sur le même oued de Boussellam. La question, qu'on doit se poser : pourquoi une telle anomalie, soit la diminution de l'écoulement. La réponse est, sans doute, les pertes de l'écoulement dues à l'existence de formation karstique, en amont des ces deux sections. Une partie de l'écoulement réel coule en profondeur dans les galeries karstiques (cours d'eau souterrains). Cet écoulement est réapparu en aval, au niveau de la station Boubirek, où la valeur de coefficient de référence climatique  $k$  est supérieur à l'unité ( $k = 1.68$ ).

Dans le présent travail de recherche, on se limitera uniquement à l'étude de l'écoulement réel, non soumis à l'influence des formations karstiques.

Car l'étude de l'influence du karst sur les différentes phases de l'écoulement (moyen, maximum) des oueds, nécessite un volume de données hydrométéorologiques de tous les bassins versants du Nord de l'Algérie. Cette question fera l'objet d'une recherche globale et sera abordée dans un proche avenir.

Dans ce qui suit, nous procédons seulement à l'analyse de l'écoulement des bassins dont l'écoulement réel  $E_{o,réel}$ , est supérieure à l'écoulement climatique  $E_{o,clim}$ .

Il est question d'étudier l'écoulement des petits et moyens bassins versants, dont une partie dépend des facteurs locaux. Par conséquent il faut chercher à établir cette relation avec la superficie  $S$ , l'altitude  $H$  et l'indice morphologique  $\Phi$  (équation 12).

On admet que :

-L'influence des facteurs hydrogéologiques est représentée par la superficie  $S$ , comme indice de la composante souterraine de l'écoulement.

-A travers l'altitude  $H$ , on tient compte de tous les autres facteurs physico-géographiques, qui varient conformément avec la zonalité verticale.

-A travers l'indice morphologique ( $\Phi$ ), on tient compte de la pente et de la forme du bassin versant.

#### V-4- Analyse graphique des dépendances $K=f(P_o, S, H, \Phi)$

L'analyse graphique constitue l'étape préliminaire, qui permet d'identifier l'existence ou l'inexistence de relation empirique entre les variables. Dans le cas, où il y a une relation quelconque, elle permet de montrer la tendance, pour choisir la fonction mathématique adéquate.

##### a- Analyse graphique de la dépendance $k=f(P_o)$ :

Les précipitations sont soumises à la double influence climatique latitudinale et altitudinale. Le relief est exprimé par l'altitude moyenne du bassin versant, qu'on peut considérer comme facteur local. Par conséquent, on doit chercher la relation entre le coefficient de référence climatique  $k$  et la pluie moyenne  $P_o$ .

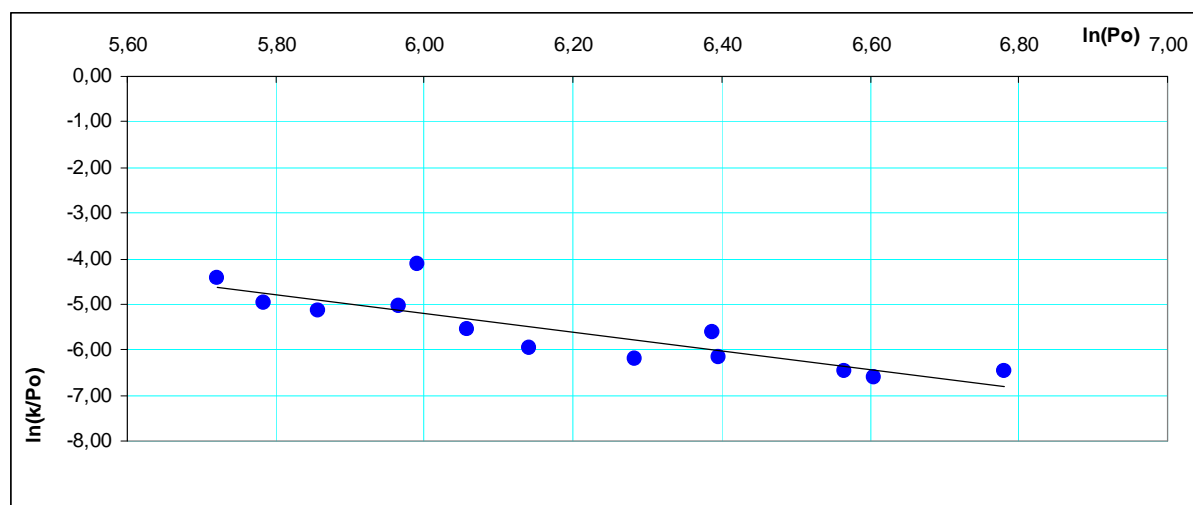
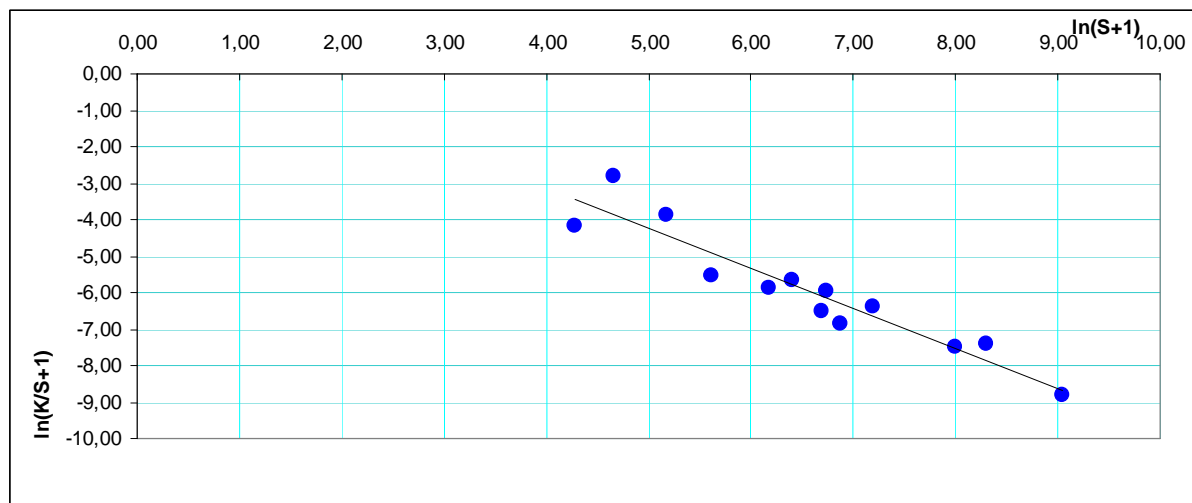


Fig V.04 : graphique de la dépendance  $\ln(k/P_o) = f(\ln(P_o))$

La dépendance  $\ln(k/P_o) = f(\ln(P_o))$ , qui s'est vérifié avec un coefficient de corrélation  $r=0.862$ , montre que le coefficient de référence climatique  $k$  est inversement proportionnel à la pluie  $P_o$ .

**b- Analyse graphique de la dépendance  $k=f(S+1)$  :**

L'influence des facteurs hydrogéologiques est représentée par la superficie  $S$ , comme indice de la composante souterraine de l'écoulement.

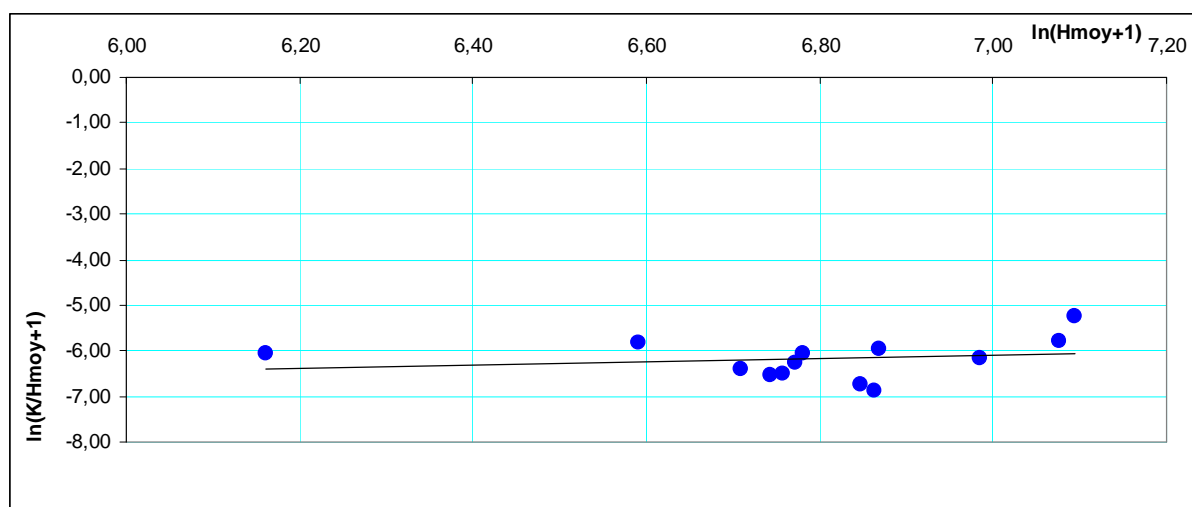


**Fig V.05** : graphique de la dépendance  $\ln(k/(S+1)) = f(\ln(S+1))$

La dépendance  $\ln(k/(S+1)) = f(\ln(S+1))$ , avec un coefficient de corrélation  $r=0.945$ , montre que le coefficient de référence climatique  $k$  est inversement proportionnel à la superficie de bassin versant  $S$ .

**c- Analyse graphique de la dépendance  $k = f(H_{moy}+1)$**

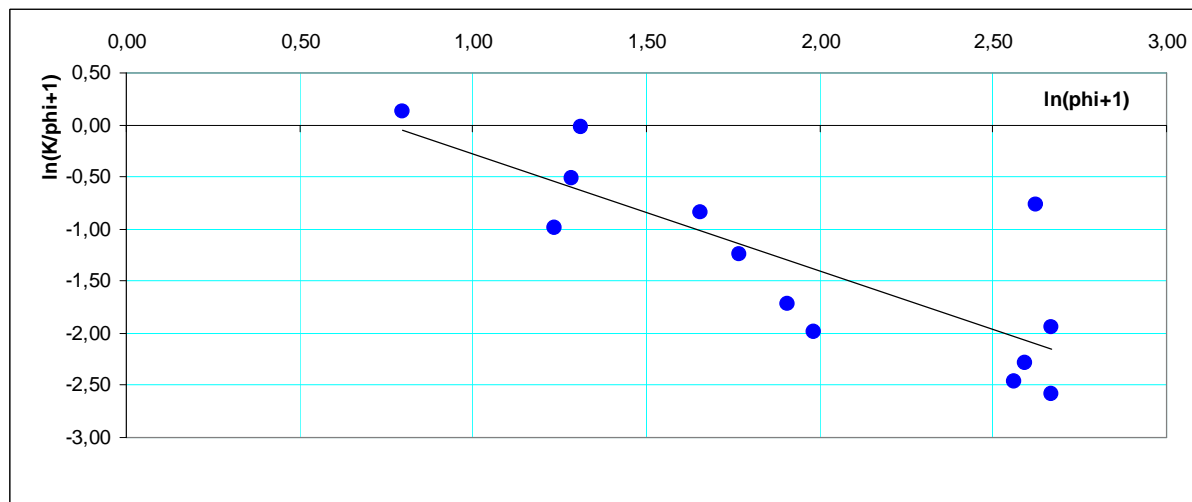
A travers l'altitude moyenne  $H_{moy}$ , on tient compte de tous les autres facteurs de surface, qui varient selon la zonalité verticale.



**Fig V.06** : graphique de la dépendance  $\ln(k/(H_{moy}+1)) = f(\ln(H_{moy}+1))$

La dépendance  $\ln(k/(H_{moy}+1)) = f(\ln(H_{moy}+1))$ , avec un coefficient  $r = 0.193$ , montre que le coefficient de référence climatique  $k$  est proportionnel avec l'altitude moyenne de bassin versant  $H_{moy}$ .

**d- Analyse graphique de la dépendance  $k=f(\Phi)$**



**Fig V.07** : graphique de la dépendance  $\ln(k/(\Phi + 1)) = f(\ln(\Phi + 1))$

La dépendance  $\ln(k/(\Phi+1)) = f(\ln(\Phi + 1))$ , avec un coefficient  $r = 0.807$ , montre que le coefficient de référence climatique  $k$  est inversement proportionnel avec l'indice morphologique de bassin versant  $\Phi$ .

Cette analyse graphique a permis de concevoir, à priori, un modèle monôme sous la forme suivante:

$$k = C_k \frac{(H_{moy} + 1)^{n_H}}{P_0^{n_{P_0}} (S + 1)^{n_S} \Phi^{n_\Phi}} \tag{55}$$

Avec:  $C_k$  : coefficient pouvant être cartographié ou régionalisé.

$$n_h = 1.362 ; n_{P_0} = 1.06 ; n_S = 0.09 ; n_\Phi = 0.124$$

**V-5- Analyse des dépendances par la régression multiple  $k=f(P_0, S, H, \Phi)$  :**

La transformation logarithmique des variables, par la méthode de la régression multiple, on a pu établir la relation entre le coefficient  $k$  et les principaux facteurs : la superficie du bassin  $S$ , l'altitude moyenne du bassin  $H_{moy}$ , la pluie  $P_0$  et la quantité de l'indice morphologique  $\Phi$ .

Cette relation s'écrit sous la forme suivante:

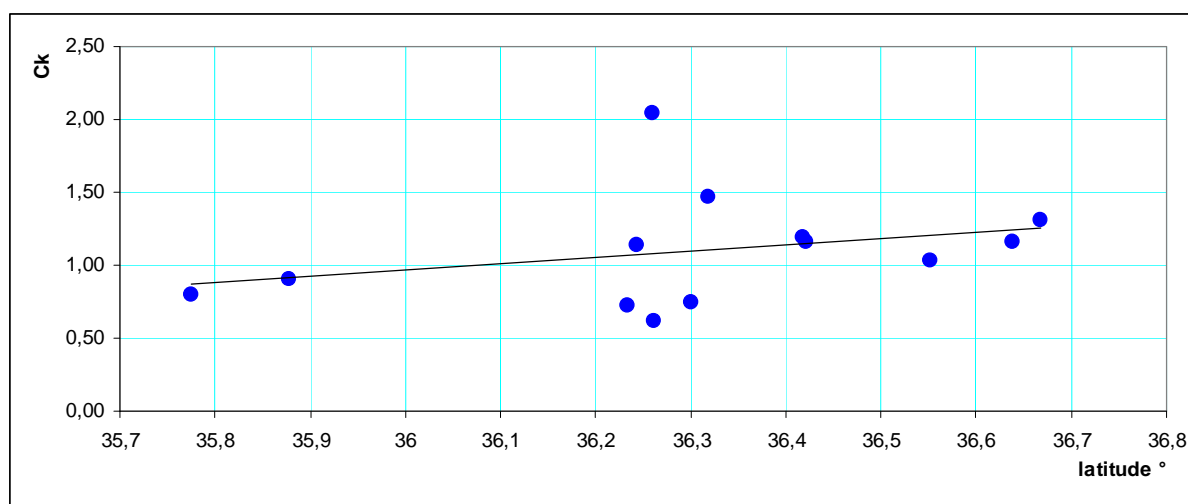
$$k = C_k \frac{(H_{moy} + 1)^{0.872}}{P_0^{0.597} (S + 1)^{0.198} \Phi^{0.211}} \tag{56}$$

Les résultats sont insérés dans le tableau suivant :

Nom de la station	Nom d'oued	Code de la station	X °	Y°	Eo reel	Eo climatique mezentsev	k=Eo reel/Eo clim	$C_k$
Tilesdit	Eddous	15.01.06	3,834	36,318	134,78	61,9	2,18	1,464
El Snam	Zaiane	15.02.04	4,025	36,234	32,91	27,2	1,21	0,719
P/ de fer	Azerou	15.04.01	4,47	36,244	22,75	11,0	2,07	1,139
Fermatou	Boussellam	15.06.01	5,41	36,26	131,95	20,5	6,43	2,039
Boubirek	Boussellam	15.07.03	4,775	36,422	35,78	21,3	1,68	1,155
Sidi Yahia	Boussellam	15.09.01	4,772	36,418	35,81	14,3	2,50	1,193
Sidi Aich	Soummam	15.10.01	4,777	36,638	65,91	51,7	1,27	1,158
Boubroune	Boubhir	02.15.13	4,34	36,668	233,55	170,4	1,37	1,304
A/Zaouia	E hamam	02.19.05	3,999	36,552	105,03	96,4	1,09	1,028
Medjez	Ksob	05.09.01	4,81	35,878	18,89	8,4	2,24	0,903
S/Ouadah	Soubellah	05.11.01	5,475	35,775	25,44	7,0	3,64	0,796
B/Slimane	Malah	09.03.05	3,649	36,261	40,94	37,0	1,11	0,617
Tassadane	El kebir	10.01.09	5,676	36,3	109,78	109,8	1,00	0,745

**Tableau V.03** : valeurs calculées du coefficient  $k^*$  avec la méthode régression multiple.

L'analyse par la régression multiple confirme la structure du modèle, obtenue par voie d'analyse graphique.



**Fig V.08** : graphique de la dépendance  $k = f(\text{latitude})$

L'analyse graphique  $C_k = f(\text{latitude})$  montre qu'il y a une relation avec la latitude, avec un faible coefficient de corrélation égal à  $r = 0,296$ . Mais ceci permet de cartographier  $C_k$  à la limite du bassin de la Soummam.

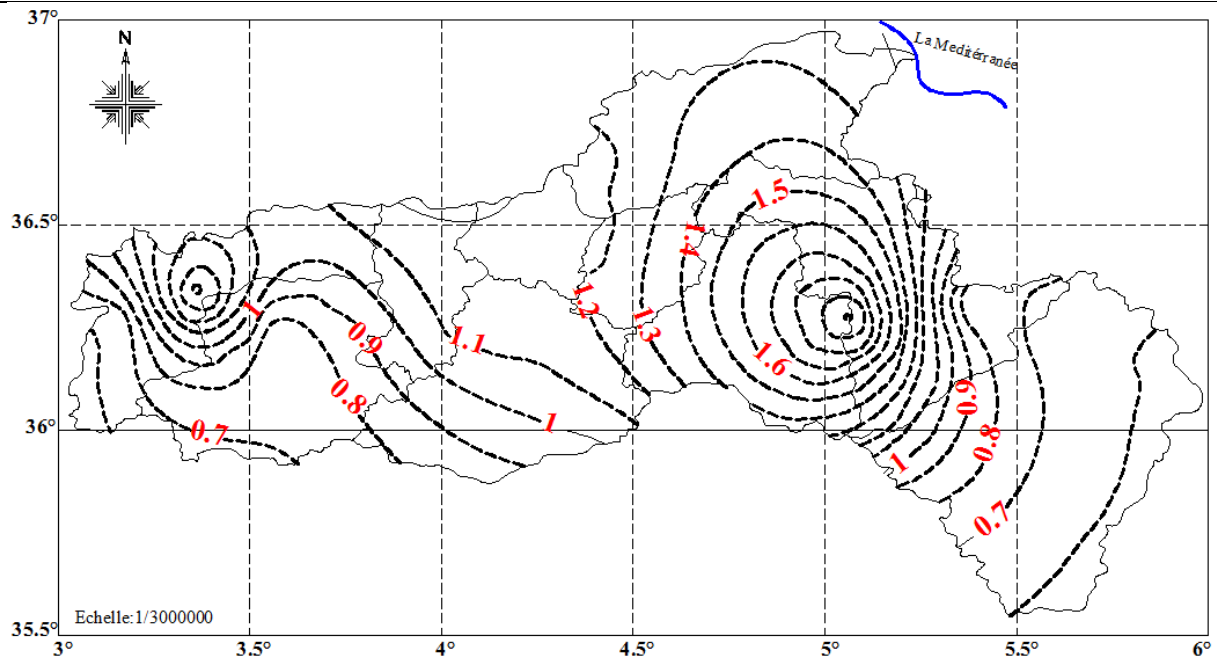


Fig V.09 : carte de  $C_k$  à la limite du bassin de la Soummam.



**V-6-Conclusion :**

L'estimation de l'écoulement climatique moyen interannuel (ECMI), est réalisée par le modèle théorique de Mezentsev. Considérant le rapport de la valeur de l'écoulement réel à la valeur de l'écoulement moyen climatique, comme le coefficient de référence climatique.

Les valeurs, du coefficient de référence climatique, doivent être supérieures ou égales à un.

Pour les deux stations de Ain Zada et de Magraoua, sur l'oued Boussellam, la valeur du coefficient de référence climatique est inférieure à un.

De même, nous analysons le graphique de la dépendance simultanée entre l'écoulement réel  $E_{o,réel}(S)$ , l'écoulement climatique  $E_{o,clim}(S)$  et la superficie des bassins versants  $S$  (fig. ).

L'analyse graphique, de la dépendance  $E_{o,réel}(S)$  et  $E_{o,clim}(S)$ , a permis de distinguer deux zones : zone des petits et moyens bassins versants dont les superficies sont inférieures à 1000 km<sup>2</sup> et la zone des grands bassins pour  $S > 1000$  km<sup>2</sup>.

Théoriquement, la valeur l'écoulement des grands bassins versants doit être égale à l'écoulement climatique. Les écarts, entre l'écoulement réel et l'écoulement climatique sont dus aux erreurs des données de mesures des caractéristiques climatiques (pluie, ETP).

Pour les deux sous bassins de Boussellam à Ain Zada et à Megraoua, les pertes de l'écoulement sont dues à l'existence de formation karstique. Une partie de l'écoulement réel coule en profondeur dans les galeries karstiques. Cet écoulement réapparaît en aval, à la station Boubirek, dont la valeur de coefficient de référence climatique  $k$  est supérieur à l'unité ( $k = 1.68$ ).

L'étude de l'influence du karst sur la formation de l'écoulement des oueds, nécessite tout le volume de données hydrométéorologiques de tous les bassins versants du Nord de l'Algérie.

L'analyse de l'écoulement concerne les bassins dont l'écoulement réel  $E_{o,réel}$ , est supérieure à l'écoulement climatique  $E_{o,clim}$ .

Nous cherchons à établir la relation entre le coefficient de référence climatique avec la superficie  $S$ , l'altitude  $H$  et un indice qu'on nommera indice morphologique  $\Phi$ , qui reflète la forme tridimensionnelle du bassin, influençant, sur les différentes pertes des eaux de pluie et sur la vitesse de concentration des eaux de ruissellement vers le réseau hydrographique, et il est égal au produit de la pente moyenne du bassin versant et de l'indice de forme. Mais pour faciliter l'utilisation, on remplace la pente moyenne du bassin versant  $i_{BV}$  par la pente brute du cours d'eau principale  $I_{br}$ .

L'analyse graphique, des dépendances, permet de montrer la tendance, pour choisir la fonction mathématique adéquate. Cette analyse graphique a permis de concevoir, à priori, un modèle monôme sous la forme suivante:

$$k = C_k \frac{(H_{moy} + 1)^{n_H}}{P_0^{n_{P_0}} (S + 1)^{n_S} \Phi^{n_\Phi}}$$

avec:  $C_k$  coefficient pouvant être cartographier ou régionalisé.

La transformation logarithmique des variables, par la méthode de la régression multiple, on a pu établir la relation entre le coefficient  $k$  et les principaux facteurs : la superficie du bassin  $S$ , l'altitude moyenne du bassin  $H_{\text{moyen}}$  et la quantité de l'indice morphologique  $\Phi$ .

L'analyse par la régression multiple confirme les conclusions de l'analyse graphique et donne l'expression :

$$k = C_k \frac{(H_{\text{moy}} + 1)^{0.872}}{P_0^{0.597} (S + 1)^{0.198} \Phi^{0.211}}$$

L'analyse graphique de la dépendance  $C_k = f(\text{latitude})$  permet de cartographier  $C_k$  à la limite du bassin de la Soummam.

## CONCLUSION GENERALE

---

## CONCLUSION GENERALE

Arriver à quantifier et à gérer la ressource en eau est une démarche complexe. Cette opération possède de multiples finalités, à savoir la satisfaction des besoins en eau, pouvoir soutenir les actions de développement tel que l'agriculture, l'élevage, loisirs...., aussi l'initiation aux dégâts comme les inondations, la sécheresse et les maladies à transmission hydrique.

Avec l'accroissement de la demande, la maîtrise de cette ressource devient de plus en plus une question fondamentale pour pouvoir la gérer surtout avec les changements climatiques et anthropiques.

Pour réaliser une bonne évaluation, en premier lieu on procède à la collecte de données qui est une étape très importante. Ces données, en général, sont sur le cycle de l'eau, les précipitations, l'évaporation, la transpiration et le ruissellement. Aussi les données physiographiques qui nous renseignent sur la topographie du terrain, nature du sol et couverture végétale, la superficie du bassin versant, la forme...

Notre zone d'étude est d'une superficie d'environ 9125 km<sup>2</sup>, possédant un réseau hydrographique développé d'ordre 6, divisée en dix (10) sous bassins versants de taille différentes, située au Nord de l'Algérie entre 3°40'-4°45' de longitude de Greenwich et 36°-36°45' de latitude Nord.

Au Nord et à l'Ouest, il est limité par les chaînes du Djurdjura, à l'Est par les montagnes de la petite Kabylie (Djebel Babor), au Sud et au Sud-est par les monts de la Hodna.

Sur le plan orographique, le bassin est divisé en deux régions, le sahel situé entre deux chaînes le Djurdjura au Nord et les Bibans au Sud et la région de Boussellam qui est constituante du plateau setifien.

Pour le climat, on retrouve un climat humide au Nord-est du côté de la mer, un climat subhumide le long et de part et d'autre de la vallée du Sahel et un climat semi-aride à aride au niveau du plateau Setifien et en allant vers le Sud.

Le bassin versant de la Soummam est soumis en général à un climat de type méditerranéen, la plupart des précipitations viennent durant la période hivernale.

L'évapotranspiration varie au niveau du bassin de 1200 mm à 1400 mm.

La végétation du bassin versant de la Soummam est de type méditerranéen. La basse et la moyenne Soummam sont occupées par des oliveraies et des vignobles. Dans la région de la moyenne Soummam, le couvert végétal est moins dense. Dans la plaine, la végétation est dense mais temporaire, formée par les grands champs de cultures diverses.

La majorité des sols dans le bassin de la Soummam sont des sols calcaires. Ces sols ont généralement une texture légère et sont donc perméables.

Au Nord du bassin, on rencontre des sols insaturés qui ne contiennent pas de calcaire dont l'argile peut être plus abondante en surface qu'en profondeur, leurs roches mères sont généralement imperméables ou donnent des produits de décomposition imperméables.

Le long des oueds, les sols existants sont des dépôts alluviaux appelés sols alluviaux à profil indifférencié ou présentent une simple accumulation de matières organiques en surface. On rencontre aussi, en petites quantités, des sols calciques et des sols en équilibre peu épais, plus au moins riches en calcaire et très pauvres en sels solubles.

Les caractéristiques hydrographiques du bassin versant de la Soummam, sont diverses. Le cours d'eau principal qui le draine est celui de l'oued du Sahel-Soummam, celui-ci reçoit sur toute sa longueur, à partir de l'Adjiba jusqu'à l'embouchure de la Soummam dans la mer, de nombreux affluents.

On retrouve le Sahel, qui est un cours d'eau venant du Nord-ouest, le Boussellam qui vient du Sud-est, et la Soummam qui se forme à Akbou à la rencontre de ces deux affluents et coule en direction du Nord-est vers la mer.

On retrouve dans le bassin versant de la Soummam, un réseau hydrographique qui compte neuf (09) principaux oueds, d'une longueur totale d'environ 726 km, qui sont : Oued Azerou, Zaiane, Ftaissa, O'kriss, Bouktou, Eddous, El Main, Boussellam et Soummam.

Chaque sous bassin du bassin versant de la Soummam est équipé d'un réseau hydrométrique et pluviométrique important. Malheureusement par manque d'entretien, plusieurs stations se trouvent à l'arrêt, et on rencontre des manques dans la plus parts des séries statistiques acquises. On trouve 54 stations pluviométriques, 09 stations pluviographiques, 02 stations climatologiques, 06 stations hydrométriques classiques et 04 automatisées, 03 stations de surveillance de la qualité de l'eau.

La deuxième étape était de rassembler grand nombre de série de données pluviométriques et hydrométriques possible du bassin versant de la Soummam et des bassins limitrophes.

L'analyse, des caractéristiques hydro-pluviométriques du bassin de la Soummam, est d'une grande importance, pour une région où les ressources en eau deviennent de plus en plus insuffisantes.

Nous avons collecté les données, auprès des services de l'A.N.R.H et de la D.R.E de Bejaia. Les données pluviométriques sont relatives à 50 stations, pour la période allant de 1968 à 2000.

Certaines séries, de données pluviométriques, présentent des lacunes. Le comblement de ces vides s'est fait par plusieurs méthodes appropriées et l'homogénéité de ces données a été testée par différentes méthodes: test simple cumul et test double cumul.

La détermination de la valeur moyenne interannuelle, a nécessité une analyse statistique fondée sur une loi probabiliste donnée.

Le choix d'une telle loi est confronté à l'estimation d'un certain nombre de caractéristiques statistique : la valeur moyenne, le coefficient de variation  $C_v$  et le coefficient d'asymétrie  $C_s$ .

La méthode des moments donne des valeurs du coefficient d'asymétrie très biaisées. La méthode de maximum vraisemblance donne des valeurs relativement moins biaisées. Elle est recommandée, quand les valeurs du coefficient de variation  $C_v > 0,5$ . La méthode grapho-analytique d'Alekseev a l'avantage de tenir compte dès le départ de la courbure de la courbe empirique des fréquences.

L'analyse statistique des données pluviométriques montre que les pluies annuelles se caractérisent par une asymétrie relativement modérée. Nous adoptons les valeurs des moyennes obtenues par la méthode grapho-analytique. La comparaison graphique, des caractéristiques statistiques, s'est faite par rapport à la bissectrice. Les valeurs moyennes estimées la méthode grapho-analytique sont supérieures à celles estimées par la méthode des moments.

Alors que les valeurs de coefficient de variation estimées par la méthode du maximum de vraisemblance et celles obtenues par la méthode des moments, sont pratiquement de même ordre.

Les valeurs des Cv estimées par la méthode de maximum vraisemblance sont inférieures à celle estimées par la méthode grapho-analytique.

Sur la base des valeurs moyennes obtenues par la méthode grapho-analytique d'Alekseev, nous avons établi notre propre carte de la P.M.I. du bassin de la Soummam.

La détermination la lame de pluie moyenne interannuelle des sous bassins versants s'est effectué par : la valeur tirée de notre carte, pour le centre hydrologique du bassin, ou par la méthode des isohyètes, qui donne la valeur moyenne pondérée. Les valeurs des PMI des sous bassins, estimées par les deux méthodes, sont de même ordre statistique.

Nous avons estimé les PMI des sous bassin, à partir de la carte de l'ANRH, par la méthode des isohyètes. Les valeurs des PMI obtenues par la méthode des isohyètes sont supérieures à celles déterminées pour les centres hydrologiques et inférieures à celles déterminées par la carte de l'ANRH.

Il s'avère, que les pluies moyennes interannuelles sont soumises à la répartition climatique latitudinale et augmentent en s'approchant de la mer.

Ainsi, les valeurs des PMI adoptées sont celles déterminées par la méthode des isohyètes, qui sont obtenues à partir des données pluviométriques que nous avons au préalable traitées et analysées.

Dans cette recherche, on a utilisé les données hydrométriques de 15 sous bassins ; 09 appartenant à la Soummam et 06 autres limitrophes à celui-ci.

Pratiquement, toutes les séries d'observations ont des lacunes, qu'il faut combler. Le comblement a été effectué mois par mois en remplaçant par la moyenne arithmétique mensuelle de ce mois, quand le nombre de lacunes n'est important ou en utilisant la méthode de la régression multiple avec les stations limitrophes.

L'estimation, des caractéristiques statistiques des écoulements annuels, s'est effectuée par les trois principales méthodes : la méthode des moments, la méthode de maximum vraisemblance et la méthode grapho-analytique d'Alekseev.

Les valeurs de l'écoulement moyen interannuel estimées par les deux méthodes statistiques, sont légèrement supérieures à celle estimées par la méthode des moments. La même remarque est valable, pour les valeurs de coefficient de variation de l'écoulement annuel.

Les valeurs du coefficient d'asymétrie de l'écoulement annuel estimées par la méthode des moments sont inférieures à celles estimées par la méthode grapho-analytique.

Ainsi, après cette analyse, nous avons opté pour les valeurs de l'EMI estimées par la méthode grapho-analytique.

Les quantités des pluies annuelles, les superficies et les altitudes moyennes des bassins sont considérées, en absences des données, comme les principaux facteurs qui influent directement ou indirectement sur la genèse de l'écoulement.

La superficie est considérée comme indice qui nous renseigne sur la capacité de drainage des eaux souterraines. L'altitude moyenne du bassin reflète l'influence des facteurs liés avec la zonalité verticale.

L'analyse statistique a permis l'estimation des principaux paramètres statistiques, adéquat pour les lois probabilistes appliquées en hydrologie.

Par analyse graphique, on a mis en évidence la dépendance entre le coefficient de variation  $C_v$  et les principaux facteurs adoptés. Il s'avère proportionnel avec la quantité des pluies et est inversement proportionnel avec la superficie et l'altitude moyenne.

Sachant que l'estimation du coefficient d'asymétrie exige un volume d'information très grande. Ce n'est pas le cas pour les sous bassins de la Soummam. Alors, dans la pratique hydrologique, on préfère de recourir au coefficient exprimant le rapport  $C_s/C_v$ , considéré contenu dans l'espace.

La dépendance  $K = f(\text{latitude})$  s'est avéré insignifiant. C'est pourquoi, on considère égal à  $K=2$  pour l'écoulement moyen annuel. Toutefois, il augmente légèrement avec l'augmentation de la superficie des bassins et celle de la quantité annuelle des pluies, avec une importante corrélation, mais inversement proportionnel avec l'altitude moyenne.

Le coefficient d'écoulement exprime le taux des pluies qui est transformé en écoulement. L'analyse que ce dernier montre son augmentation en moyenne modérée avec l'augmentation de la latitude, caractérisée par un faible coefficient de corrélation.

Pour l'analyse du coefficient de l'écoulement  $\alpha$ , nous avons considéré sa valeur spécifique ( $\alpha/S$ ) pour l'unité de superficie. L'analyse de la relation  $\ln(\alpha/S+1) = f(\ln(S+1))$  montre que ce coefficient augmente avec l'augmentation de la quantité de pluie, mais il inversement proportionnel modérément avec la superficie, mais fortement avec l'altitude moyenne du bassin.

La méthode de la régression multiple, fondée sur les moindres carrés, consiste à établir la relation entre plusieurs variables, peut dévoiler les relations génétiques entre ces variables, l'analyse nous a donné la relation suivante :

$$C_v = \frac{C_{cv}}{(S+1)^{0.0217} P^{0.045} H_{moy}^{0.36}}$$

avec  $C_{cv}$  indépendant des coordonnées géographiques. Ce qui permet de prendre pour tous les sous bassins une seule valeur moyenne statistique  $C_{cv} = 15,4$ .

Par la méthode de la régression multiple, on obtenu la relation pour  $K$ , sous la forme suivante:

$$K = C_k \frac{S^{0.046} P^{0.0808}}{H_{moy}^{0.0602}}$$

avec  $C_k$  indépendant des coordonnées géographiques. Ce qui permet de prendre pour tous les sous bassins une seule valeur moyenne statistique  $C_k=1,38$ .

La même façon, on obtenu une expression pour le coefficient d'écoulement  $\alpha$ , sous la forme suivante:

$$\alpha = C_\alpha \frac{P^{0.306}}{S^{0.235} H_{moy}^{0.387}}$$

Ici, le coefficient  $C_\alpha$  est indépendant des principaux facteurs ( $S$ ,  $H_{moyen}$  et  $P_o$ ), mais il est lié avec la latitude. D'où, on peut cartographier sous forme d'isolignes.

La méthode grapho-analytique a permis d'exprimer le coefficient d'écoulement  $\alpha$ , sous la forme suivante :

$$\alpha = C_{\alpha} * \frac{P_0^{0.137}}{(S + 1)^{0.082} (H_{moy} + 1)^{0.298}}$$

Il s'avère que le coefficient climatique  $C_{\alpha}^*$  dépend de la latitude, c'est-à-dire, qu'il est soumis à la zonalité climatique latitudinale, d'où on peut le cartographier.

L'estimation de l'écoulement climatique moyen interannuel (ECMI), est réalisée par le modèle théorique de Mezentsev. Considérant le rapport de la valeur de l'écoulement réel à la valeur de l'écoulement moyen climatique, comme le coefficient de référence climatique. Les valeurs, du coefficient de référence climatique, doivent être supérieures ou égales à un.

Pour les deux stations de Ain Zada et de Magraoua, sur l'oued Boussellam, la valeur du coefficient de référence climatique est inférieure à un.

De même, l'analyse graphique de la dépendance simultanée entre l'écoulement réel  $E_{o,réel}(S)$ , l'écoulement climatique  $E_{o,clim}(S)$  et la superficie des bassins versants  $S$  (figV.02).

L'analyse graphique, de la dépendance  $E_{o,réel}(S)$  et  $E_{o,clim}(S)$ , a permis de distinguer deux zones : zone des petits et moyens bassins versants dont les superficies sont inférieures à 1000 km<sup>2</sup> et la zone des grands bassins pour  $S > 1000$  km<sup>2</sup>.

Théoriquement, la valeur l'écoulement des grands bassins versants doit être égale à l'écoulement climatique. Les écarts, entre l'écoulement réel et l'écoulement climatique sont dus aux erreurs des données de mesures des caractéristiques climatiques (pluie, ETP).

Pour les deux sous bassins de Boussellam à Ain Zada et à Megraoua, les pertes de l'écoulement sont dues à l'existence de formation karstique. Une partie de l'écoulement réel coule en profondeur dans les galeries karstiques. Cet écoulement réapparaît en aval, à la station Boubirek, dont la valeur du coefficient de référence climatique  $k$  est supérieur à l'unité ( $k = 1.68$ ).

L'étude de l'influence du karst sur la formation de l'écoulement des oueds, nécessite tout le volume de données hydrométéorologiques de tous les bassins versants du Nord de l'Algérie. L'analyse de l'écoulement concerne les bassins dont l'écoulement réel  $E_{o,réel}$ , est supérieur à l'écoulement climatique  $E_{o,clim}$ .

Afin d'étudier l'écoulement des petits et moyens bassins, on doit chercher à établir une relation qui tient compte de l'influence des facteurs principaux qui sont: la superficie  $S$ , l'altitude moyenne  $H_{moy}$ , la forme et la pente du bassin.

- L'influence des facteurs hydrogéologiques est représentée par la superficie  $S$ , comme indice de la composante souterraine de l'écoulement ;
- A travers l'altitude  $H$ , on tient compte de tous les autres facteurs physico-géographiques, qui varient conformément avec la zonalité verticale;
- La pente et la forme du bassin sont représentées par un indice qu'on nommera indice morphologique ( $\Phi$ ).

Nous cherchons à établir la relation entre le coefficient de référence climatique avec la superficie  $S$ , l'altitude  $H$  et un indice qu'on nommera indice morphologique  $\Phi$ .



Cet indice  $\Phi$  reflète la forme tridimensionnelle du bassin, qui influe, sur les différentes pertes des eaux de pluie et sur la vitesse de concentration des eaux de ruissellement vers le réseau hydrographique.

On propose, un indice morphologique qui est égal au produit de la pente moyenne du bassin versant et de l'indice de forme. Mais pour faciliter l'utilisation, on remplace la pente moyenne du bassin versant  $i_{BV}$  par la pente brute du cours d'eau principale  $I_{br}$ .

L'analyse graphique des dépendances, permet de montrer la tendance pour choisir la fonction mathématique adéquate. Cette analyse a permis de concevoir à priori un modèle monôme sous la forme suivante:

$$k = C_k \frac{(H_{moy} + 1)^{n_H}}{P_0^{n_{P_0}} (S + 1)^{n_S} \Phi^{n_\Phi}}$$

avec:  $C_k$  coefficient pouvant être cartographier ou régionalisé.

La transformation logarithmique des variables, par la méthode de la régression multiple, nous a permis d'établir une relation entre le coefficient  $k$  et les principaux facteurs : la superficie du bassin  $S$ , l'altitude moyenne du bassin  $H_{moyen}$  et la quantité de l'indice morphologique  $\Phi$ .

L'analyse par la régression multiple confirme les conclusions de l'analyse graphique et donne l'expression :

$$k = C_k \frac{(H_{moy} + 1)^{0.872}}{P_0^{0.597} (S + 1)^{0.198} \Phi^{0.211}}$$

L'analyse graphique de la dépendance  $C_k = f(\text{latitude})$  permet de cartographier  $C_k$  à la limite du bassin de la Soummam.

On conclut que les modèles théoriques de l'E.M.I sont élaborés pour les grands systèmes fluviaux et leur utilisation pour les petits et moyens bassins, exige de tenir en compte l'influence des facteurs locaux.

L'analyse de la dépendance de certains facteurs d'écoulement tel que le coefficient de variation  $C_v$ , le rapport  $K = C_s / C_v$  et le coefficient d'écoulement  $\alpha$ , nous a permis d'obtenir un modèle analytique reliant l'écoulement moyen interannuel à travers le coefficient d'écoulement  $\alpha$ , avec les principaux facteurs, aussi nous avons fait ressortir des coefficients climatiques intégrant l'influence conjuguée des facteurs (climatiques et locaux) et qui ont fait l'objet de carte. Cette dernière servira d'outil pour l'estimation des écoulements moyens interannuels.

Ce dernier est composé d'un écoulement climatique et d'un écoulement local. Le rôle de l'écoulement local est significatif au niveau des petits et moyens bassins versants. L'écoulement des grands bassins versants est très proche de l'écoulement climatique. Connaissant la valeur de l'écoulement climatique, l'estimation du coefficient de référence climatique  $k$  nous permet l'estimation de l'écoulement total.

## ANNEXES

---

**Annexe 01:** caractéristiques morphométriques des sous bassins versant de la Soummam et des sous bassins limitrophe.

Oued	Station	Code	X	Y	S	L	Hmax	Hmin	H	I
Eddous	Tilesdit	15.01.06	626.3	340.6	842	85	2305	400	727	18.9
Lekhal	Ain Tasta	15.01.14	591.4	329.6	190	30	1810	650	930	30.5
Zaiane	El Asnam	15.02.04	620.4	335.5	800	54	1561	430	848	17.6
Azerou	Porte de F	15.04.01	650.7	342.0	605	40	1862	445	880	29.5
Boussellam	Fermatou	15.06.01	742.0	329.4	105	18	1737	1025	1205	30.2
Boussellam	Ain Zada	15.07.01	721.0	320.8	1800	65	1737	825	1036	12.2
Boussellam	Magraoua	15.07.02	713.2	333.1	2350	90	1737	740	1000	9.7
Boussellam	Boubirek	15.07.03	689.6	354.5	2950	93.3	1737	400	872	12.6
Boussellam	Sidi Yahia	15.09.01	670.4	347.1	4050	172	2305	80	860	10.2
Soummam	Sidi Aich	15.10.01	678.2	369.7	8420	197.2	2305	80	860	10.2

Oued	Station	Code	X	Y	S	L	Hmax	Hmin	H	I
S.A Youcef	Tifezouine	02.09.16	662.99	387.92	220	31.20	1264.4	160.4	636.6	35.38
Daas	Cap sigli	02.09.17	681.25	387.70	208	29.90	1135.4	216.3	531.4	30.74
ElHamam	Ain Zaouia	02.19.05	605.40	357.34	71	14.70	944.4	306.8	472.8	43.38
bougdoura	RN25	02.19.09	611.56	362.99	300	38.80	1553.1	199.1	556.5	34.90
El Ham	Rocade Sud	05.05.01	483.10	245.80	5600	124.8	1180.0	431.0	774.9	6.02
Soubella	Sidi Ouadah	05.11.01	722.58	277.83	176	33.20	1482.9	904.1	1182.8	17.43
Mellah Est	B.Slimane	09.03.05	560.27	310.85	273	35.00	1195.2	680.7	961.6	14.70
Zeroua	Dechmiya	09.03.09	579.23	312.01	73	10.60	1422.4	983.8	1150.0	41.38
Boubhir	Boubroune	02.15.13	658.08	368.09	480	36.90	1502.5	207.3	819.6	35.10
Aissi	RN30	02.17.15	633.89	362.45	460	39.60	1568.7	338.0	767.6	31.08
Lougmane	Ced Fergues	05.08.01	651.60	291.18	334	34.90	1600.1	570.4	956.7	29.50
Ksob	Medjez	05.09.01	692.22	300.31	1330	77.30	1619.6	689.4	1072.9	12.03
El Kebir	Tassaadane	10.01.09	765.77	344.27	960	70.20	1352.3	498.4	906.4	12.16

**Annexe 02:** caractéristiques des stations pluviométriques se trouvant dans le bassin versant de la Soummam.

N°	Nom de la station	Code	Coordonnées		Altitude (m)	Période disponible	Nombre d'années
			(X) m	(Y) m			
1	Sour El Ghozlane	15.01.01	589.30	317.6	850	1900-1998	82 ans
2	Ain Bessam	15.01.02	587.55	332.9	682	1921-1973	46 ans
3	El Hachimia	15.01.03	600.70	325.1	730	1921-1998	42 ans
4	Sidi Attaf	15.01.04	685.75	342.55	836	1967-1992	26 ans
5	Bouira	15.01.05	607.85	342.95	531	1904-1978	72 ans
6	Assameur	15.01.09	628.70	348.00	1000	1976-1992	17 ans
7	Ain Allouane	15.01.10	624.10	348.35	1025	1973-1993	21 ans
8	Irorhat	15.01.11	617.30	345.10	580	1966-1998	33 ans
9	Tikjda	15.01.12	/	/	/	1959-1994	31 ans
10	T.Souk El Khmis	15.02.01	616.50	303.18	1000	1972-1998	27 ans
11	Bordj Okriss	15.02.02	/	/	/	1967-1998	29 ans
12	El Asnam sh	15.02.04	620.40	335.50	440	1972-1998	27 ans
13	Koudiat Tindart	15.02.08	/	/	/	1971-1998	28 ans
14	Mechdellah	15.03.01	640.90	341.70	465	1973-1998	26 ans
15	Béni Hammad	15.03.06	/	/	/	1971-1998	28 ans
16	El Adjiba	15.03.11	633.80	339.00	390	1913-1961	29 ans
17	Porte de Fer	15.04.01	650.70	324.20	445	1967-2000	34 ans
18	Mansourah	15.04.03	659.20	310.10	700	1913-1976	49 ans
19	Tazmalt	15.05.01	652.70	344.2	350	1966-1998	32 ans
20	Ighil Ali	15.05.03	658.90	338.90	650	1922-1998	61 ans
21	Guellal	15.06.03	737.10	308.15	908	1910-1983	62 ans
22	Sétif PC	15.06.05	/	/	/	1966-1979	14 ans
23	Sétif PC	15.06.06	743.60	323.80	1081	1933-1975	36 ans
24	Ain Arnat	15.06.07	734.90	323.55	1100	1936-1998	50 ans
25	Bouira Coligny	15.06.08	732.00	326.65	1017	1911-1998	79 ans
26	El Ourissia	15.06.09	743.55	334.90	1089	1951-1982	27 ans
27	Fermatou	15.06.10	742.00	328.60	1043	1968-2000	32 ans
28	Mahouane	15.06.11	737.75	332.95	1178	1951-1998	42 ans
29	Sétif INRA	15.06.12	740.10	321.80	970	1968-1992	23 ans
30	Zeiri	15.06.13	745.75	337.50	1130	1968-2000	32 ans
31	Tixter	15.06.14	715.00	308.25	956	1914-2000	69 ans
32	Ain Zada	15.07.01	721.05	320.80	825	/	/
33	Magraoua	15.07.02	713.65	333.10	740	1968-1995	22 ans
34	Boubirek	15.07.03	689.60	354.50	400	1942-2000	46 ans
35	Bougaa	15.07.04	714.65	339.60	886	1924-1981	38 ans
36	Ain Abessa	15.07.06	733.10	336.40	1070	1941-2000	48 ans
37	Bir Kesdeli	15.07.07	709.50	318.40	980	1913-1997	85 ans

N°	Nom de la station	Code	Coordonnées		Altitude (m)	Période disponible	Nombre d'années
			(X) m	(Y) m			
38	Bni Ourthilane	15.07.08	693.00	351.40	1120	1970-1998	24 ans
39	Titest Mc	15.07.20	700.20	332.50	1120	1913-1947	28 ans
40	Sidi M'barek	15.08.01	699.10	313.90	1011	1968-2000	27 ans
41	Zemourah	15.08.02	692.80	331.80	950	1968-2000	28 ans
42	Djbel Mourissane	15.08.07	/	/	/	1914-2000	26 ans
43	Guelaa	15.09.02	669.00	334.70	1060	1922-1993	58 ans
44	Sidi Yahia	15.09.04	/	/	/	1973-2000	26 ans
45	Sidi Aich	15.10.01	678.60	370.15	105	/	/
46	Akbou	15.10.02	665.40	353.00	240	1913-1977	57 ans
47	El Kseur	15.10.03	692.90	377.75	85	1902-1975	73 ans
48	Maouche Ahmed	15.10.04	/	/	/	1967-1997	29 ans
49	Rodha Messaoud	15.10.05	700.70	377.70	25	1967-1990	20 ans
50	Seddouk	15.10.06	678.00	362.10	370	1922-2000	40 ans
51	Tifra	15.10.07	678.70	375.70	450	1922-2000	64 ans

**Annexe 03:** caractéristiques des stations pluviométriques se trouvant dans les bassins versants limitrophes

N°	Nom de la station	Code	Coordonnées		Altitude (m)	Période disponible	Nombre d'années
			(X) m	(Y) m			
	/	02.09.11	4.7492	36.7418	/		
1	AinElHammam	02.17.03	4.2975	36.5585	1200	1915-1991	53ans
2	Béni Yeni	02.17.12	635.00	365.25	760	1972-2009	38 ans
3	Arkoub	02.19.11	/	/	/	1969-1996	28 ans
4	Aokas pépinièr	03.01.03	729.50	373.55	19	1969-2009	41 ans
5	Amoucha	03.02.04	/	/	/	1914-2000	76 ans
6	Ain Roua	03.02.05	/	/	/	1926-2000	64 ans
7	Dirach	05.04.02	/	/	/	1921-1999	39 ans
8	El Haourane	05.08.02	/	/	/	1952-2000	35 ans
9	/	05.09.03	/	/	/	1929-1975	47 ans
10	Medjana	05.09.06	677.75	316.20	1042	1928-2000	65 ans
11	Ras El Oued	05.09.07	/	/	/	1913-1982	35 ans
12	Pont la treille	09.03.14	/	/	/	1974-1998	25 ans
13	Djebahia	09.04.03	/	/	/	1923-1998	65 ans
14	Chebabta	10.01.10	/	/	/	1971-2000	28 ans

**Annexe 4:** Méthode de comblement des lacunes dans des séries pluviométriques

En analysant les séries de données fournies par les services de l'ANRH, on remarque que ces dernières sont soit courtes, ou discontinues et pleines de lacunes.

Soit une matrice de données  $[x]$  de  $N_o$  observations (ici ce sont les précipitations) mesurées sur  $N_v$  stations pluviométriques (qui représentent des lacunes), on aura :

$$X = \begin{pmatrix} x(1,1) & \textit{inconnu} & \dots & x(1,j) & \dots & x(1,N_v) \\ x(2,1) & x(2,2) & \dots & x(2,j) & \dots & \textit{inconnu} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & x(i,N_v) \\ \\ x(i,1) & x(i,2) & \dots & x(i,j) & \dots & \dots \\ \textit{inconnu} & \dots & \dots & \textit{inconnu} & \dots & \dots \\ x(N_o,1) & x(N_o,2) & \dots & x(N_o,j) & \dots & x(N_o,N_v) \end{pmatrix}$$

Si le nombre de poste  $N_v$  est grand, il est quasiment impossible de "boucher" les trous un par un par des techniques de régression. Le choix des variables explicatives est vite inextricable et de plus les erreurs accidentelles ou systématiques qui ne manquent pas d'affecter certaines observations, sont ainsi répétées.

Nous proposons donc une méthode qui permet de combler rapidement et simplement les lacunes avec la partie la plus fiable de ce tableau de données.

Nous avons utilisé le logiciel Hydrolab (proposé par LABORDE 2000a), qui est une macro installable sur Excel, qui a les fonctionnalités suivantes :

- ajustements par la méthode des moments de lois statistiques : Gauss, Galton (log-normale), Gauss avec transformation racine carrée, Gumbel, Fuller, Weibull, Poisson ;
- régressions multiples ;
- analyse en composantes principales ; aussi le comblement des lacunes

On commence par calculer les moyennes expérimentales  $Mx_o(j)$  et les écart-types expérimentaux  $Sx_o(j)$  des précipitations pour chaque station  $j$  et sur les seules années réellement observées.

$$(Mx_o) = (Mx_o(1) \ Mx_o(2) \ \dots \ Mx_o(j) \ \dots \ Mx_o(N_v))$$

$$(Sx_o) = (Sx_o(1) \ Sx_o(2) \ \dots \ Sx_o(j) \ \dots \ Sx_o(N_v))$$

On peut alors évaluer la matrice des valeurs centrées réduites

$$u(i,j) = x(i,j) - Mx_o(j)/Sx_o(j)$$

Et calculer pour chaque observation la moyenne des valeurs centrées réduites disponibles :  $\bar{u}(i)$

$$[u] = \begin{pmatrix} u(1,1) & \textit{inconnu} & \dots\dots\dots & u(1,j) & \dots\dots\dots & u(1,Nv) \\ u(2,1) & u(2,2) & \dots\dots\dots & u(2,j) & \dots\dots\dots & \textit{inconnu} \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots & u(i,Nv) \\ \\ u(i,1) & u(i,2) & \dots\dots\dots & u(i,j) & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ \textit{inconnu} & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots & \textit{inconnu} & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ u(No,1) & u(No,2) & \dots\dots\dots & u(No,j) & \dots\dots\dots & u(No,Nv) \end{pmatrix}$$

On peut alors dans une première étape remplacer chaque valeur inconnue  $x(i,j)$  par une valeur

$$x_{e0}(i,j) = u(i) - M_{x0}(j)/\sigma_{x0}(j)$$

correspondant à la variable réduite moyenne pour cette observation

On obtient la première matrice complète  $[x_0]$  :  $x_{e0}(i,j)$

$$[x_0] = \begin{pmatrix} x(1,1) & \mathbf{x_{e0}(1,2)} & \dots\dots\dots & x(1,j) & \dots\dots\dots & x(1,Nv) \\ x(2,1) & x(2,2) & \dots\dots\dots & x(2,j) & \dots\dots\dots & \mathbf{x_{e0}(2,Nv)} \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots & x(i,Nv) \\ \\ x(i,1) & x(i,2) & \dots\dots\dots & x(i,j) & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ \mathbf{x_{e0}(i+1,1)} & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots & \mathbf{x_{e0}(i+1,j)} & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ x(No,1) & x(No,2) & \dots\dots\dots & x(No,j) & \dots\dots\dots & x(No,Nv) \end{pmatrix}$$

Nous effectuons alors une A.C.P. sur cette matrice  $[x_0]$  et obtenons les projections des variables  $[a_1]$  et des observations  $[c_1]$  sur les  $k$  seules premières composantes principales pouvant avoir une signification physique :

$$[a_1] = \begin{pmatrix} a_1(1,1) & a_1(1,2) & \dots\dots\dots & a_1(1,j) & \dots\dots\dots & a_1(1,Nv) \\ a_1(2,1) & a_1(2,2) & \dots\dots\dots & a_1(2,j) & \dots\dots\dots & a_1(2,Nv) \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots & a_1(i,Nv) \\ \\ a_1(k,1) & a_1(k,2) & \dots\dots\dots & a_1(k,j) & \dots\dots\dots & a_1(k,Nv) \end{pmatrix}$$



$$[c_1] = \begin{pmatrix} c_1(1,1) & c_1(1,2) & c_1(1,k) \\ c_1(2,1) & c_1(2,2) & c_1(2,k) \\ \dots & \dots & \dots \\ c_1(n_0,1) & c_1(n_0,2) & \dots & c_1(n_0,k) \end{pmatrix}$$

Ainsi que les matrices des moyennes et écarts-types :

$$\begin{aligned} [M_{x1}] &= M_{x1}(1) & M_{x1}(2) & \dots & M_{x1}(j) & \dots & M_{x1}(Nv) \\ [S_{x1}] &= S_{x1}(1) & S_{x1}(2) & \dots & S_{x1}(j) & \dots & S_{x1}(Nv) \end{aligned}$$

Il est alors possible de reconstituer chaque observation manquante  $x(i,j)$  par une nouvelle valeur estimée  $xe1(i,j)$  :

$$xe1(i,j) = Mx1(j) + Sx1(j) * \{ a1(1,j) c1(i,1) + a1(2,j) c1(i,2) + \dots + a1(k,j) c1(i,k) \}$$

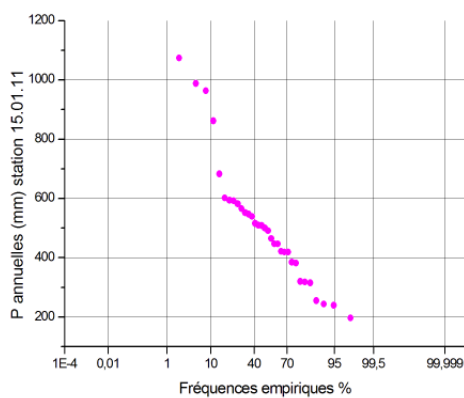
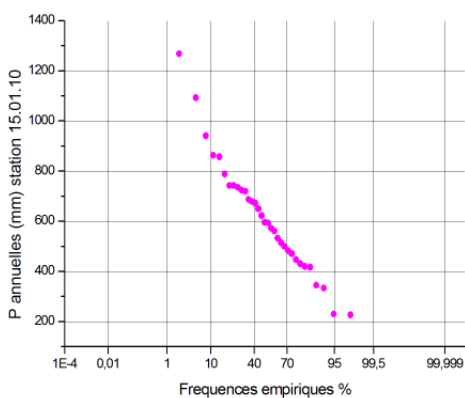
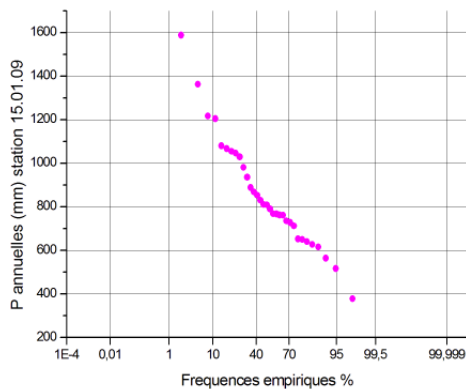
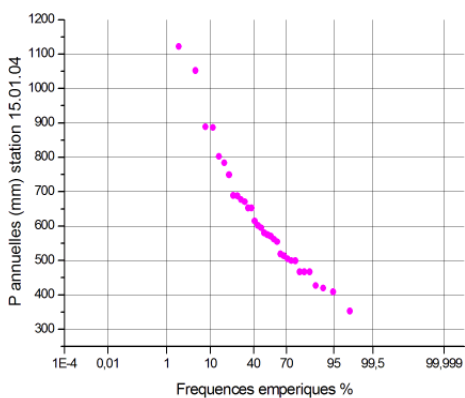
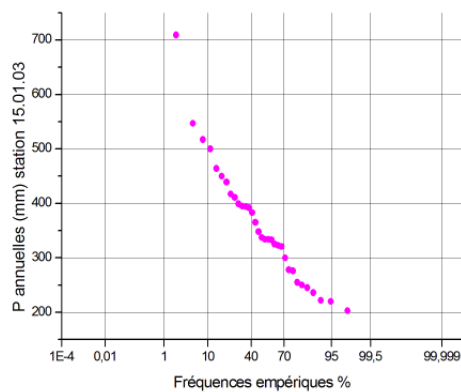
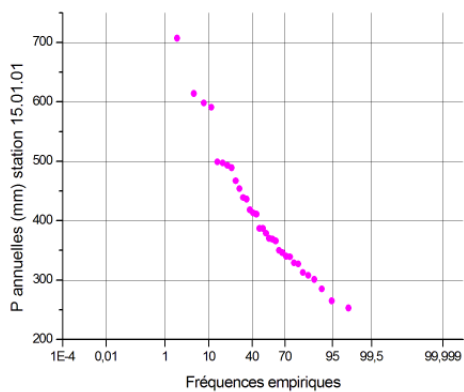
Cette estimation n'est pas très correcte puisque l'A.C.P. a été effectuée sur une matrice "bouchée" à partir de moyennes interannuelles, cependant  $xe1(i,j)$  est une meilleure estimation que  $xe0(i,j)$  puisqu'elle tient compte des observations aux autres stations pour cette année  $j$ . On peut donc réitérer le processus en remplaçant dans la matrice  $[x0]$  chaque  $xe0(i,j)$  par les  $xe1(i,j)$  adaptés. On obtient ainsi une nouvelle matrice  $[x1]$  :

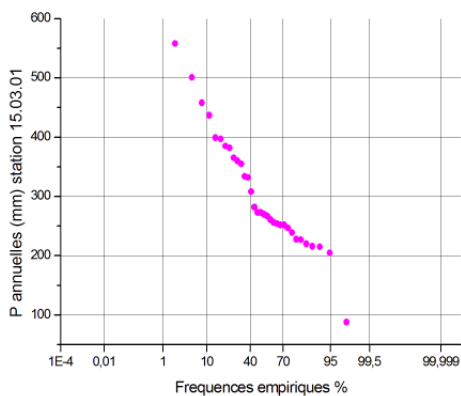
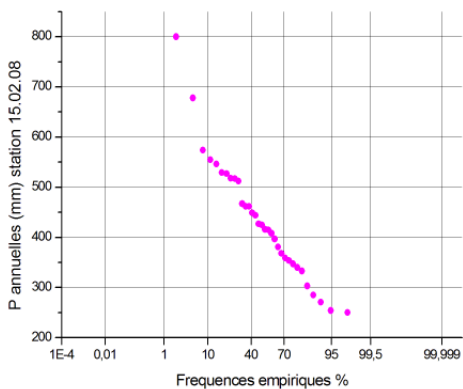
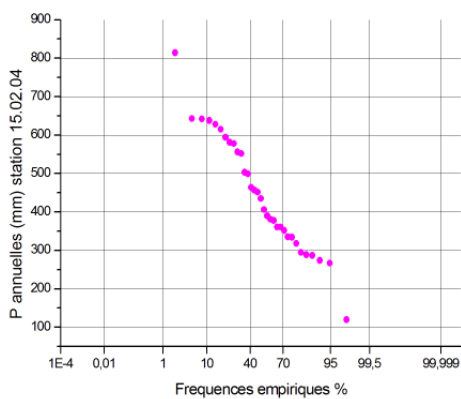
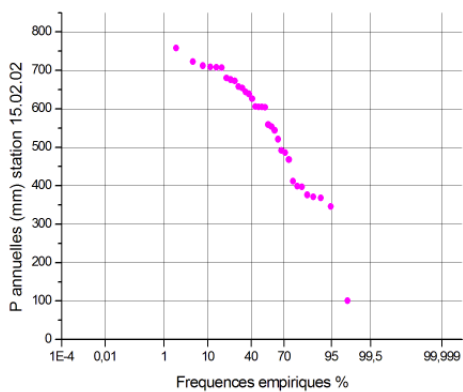
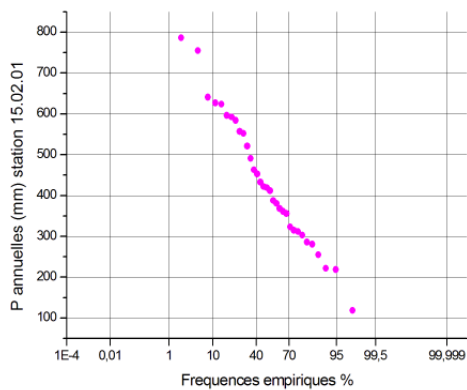
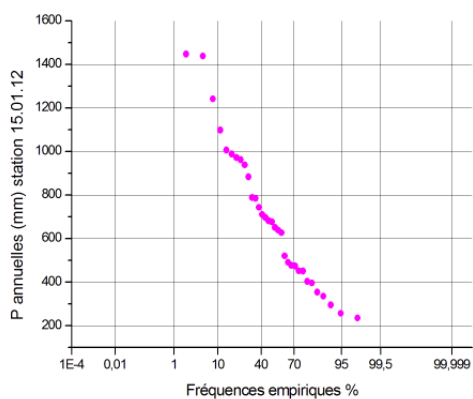
$$[x1] = \begin{pmatrix} x(1,1) & \mathbf{xe1(1,2)} & \dots & x(1,j) & \dots & x(1,Nv) \\ x(2,1) & x(2,2) & \dots & x(2,j) & \dots & \mathbf{xe1(2,Nv)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & x(i,Nv) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x(i,1) & x(i,2) & \dots & x(i,j) & \dots & \dots \\ \mathbf{xe1(i+1,1)} & \dots & \dots & \mathbf{xe1(i+1,j)} & \dots & \dots \\ x(N0,1) & x(N0,2) & \dots & x(N0,j) & \dots & x(N0,Nv) \end{pmatrix}$$

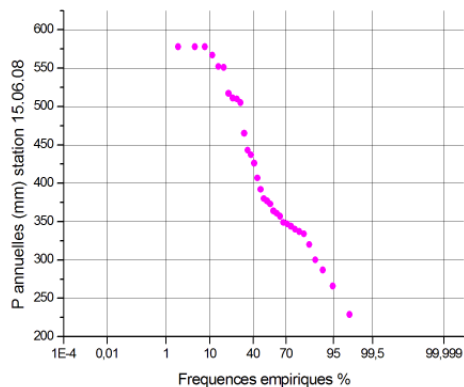
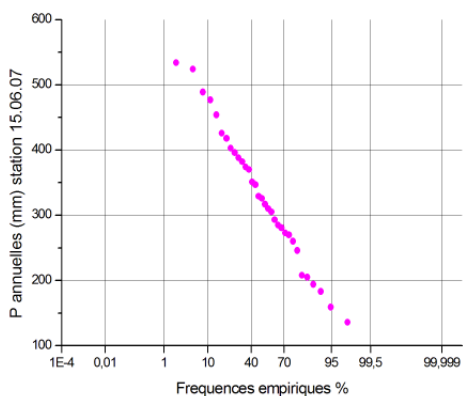
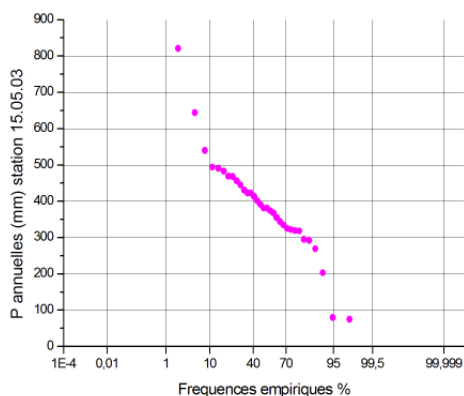
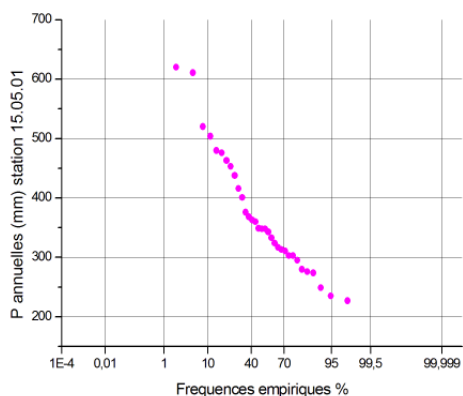
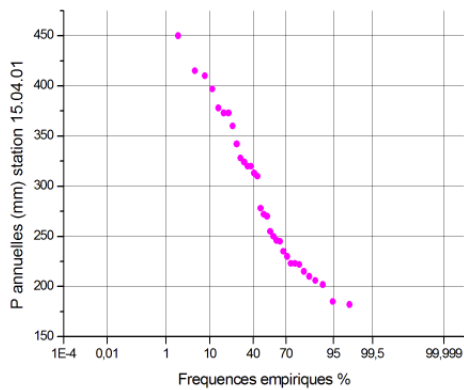
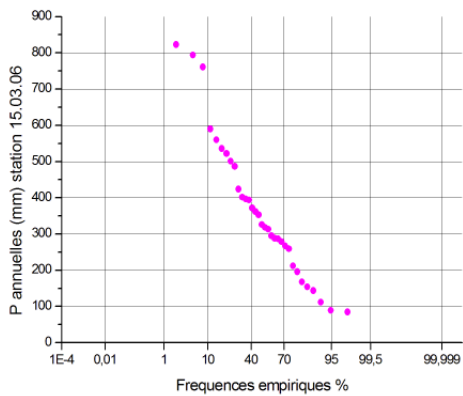
On recommence alors une A.C.P. sur la matrice  $[x1]$  permettant d'obtenir de nouvelles matrices  $[c2]$ ,  $[a2]$ ,  $[Mx2]$  et  $[Sx2]$  d'où l'on tirera de nouvelles estimations  $xe2(i,j)$ .

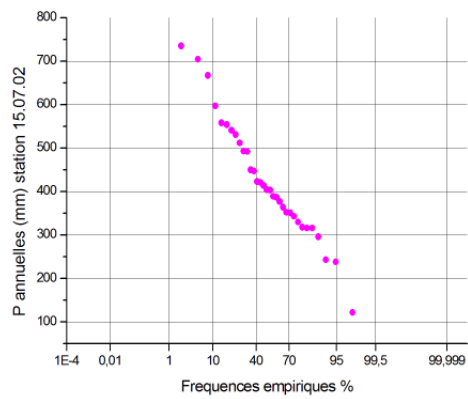
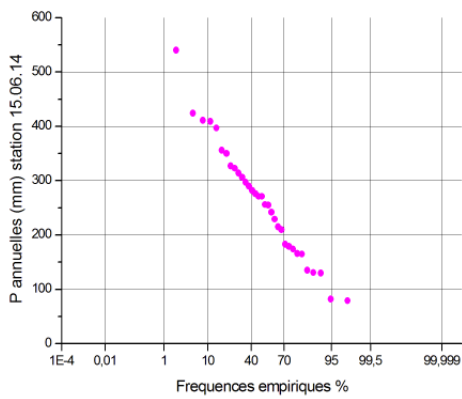
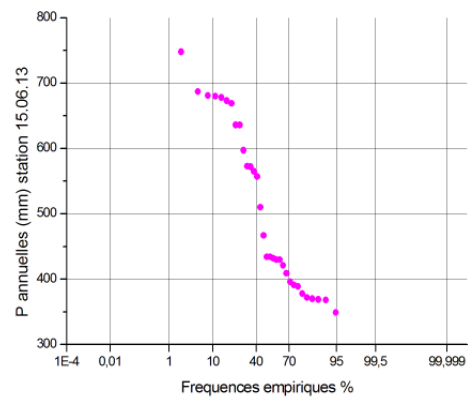
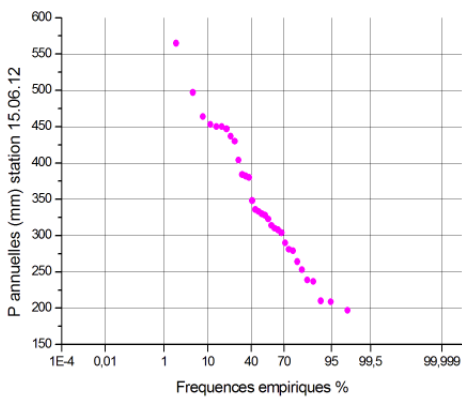
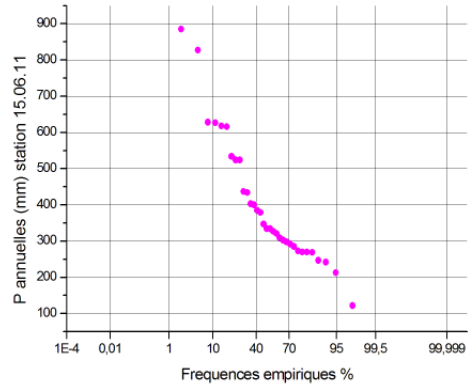
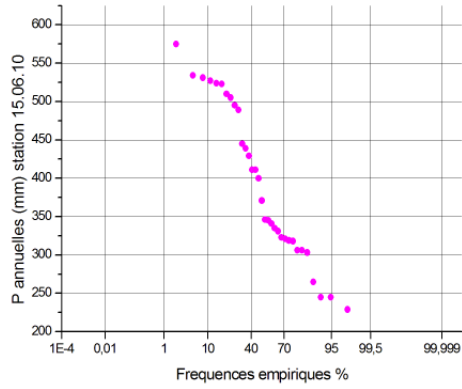
A chaque itération nous modifions les estimations pour les observations manquantes.

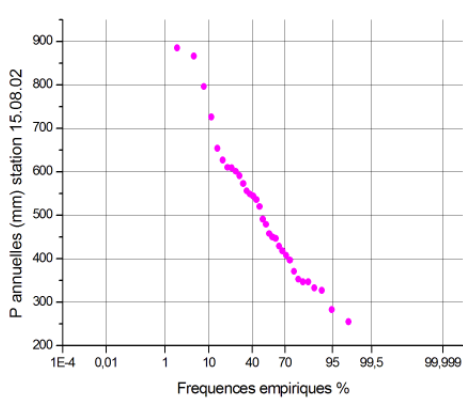
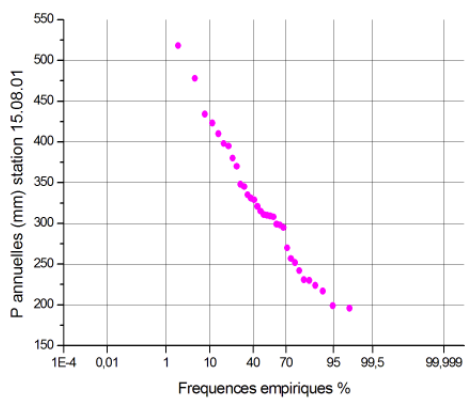
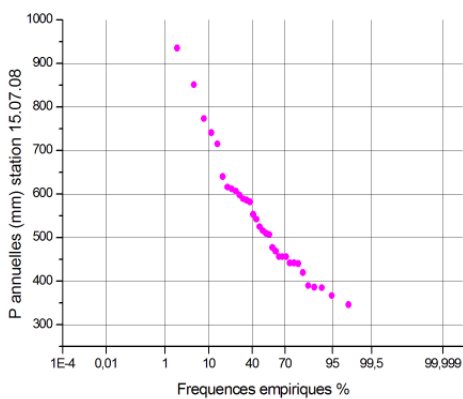
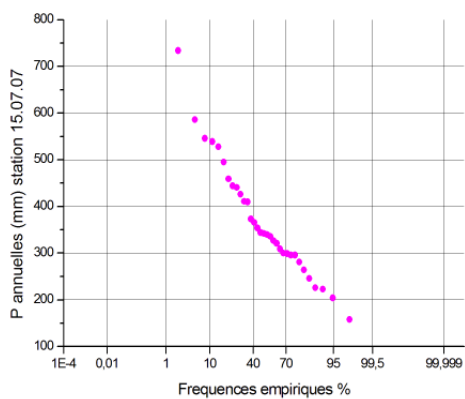
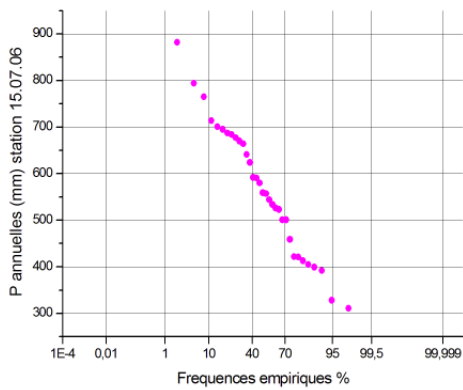
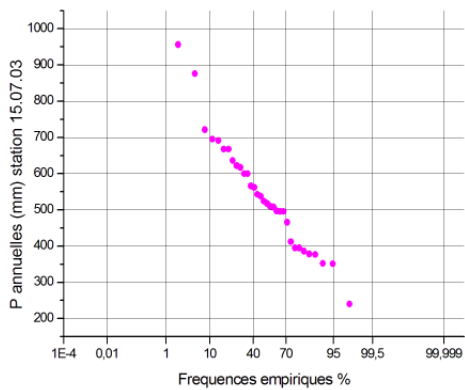
Annexe 05 : Courbes des fréquences empiriques des pluies annuelles

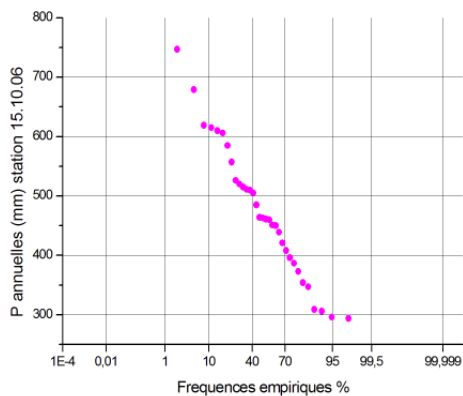
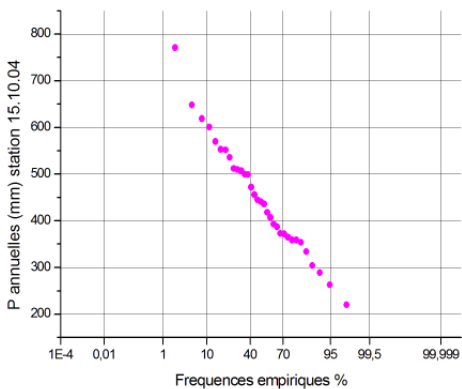
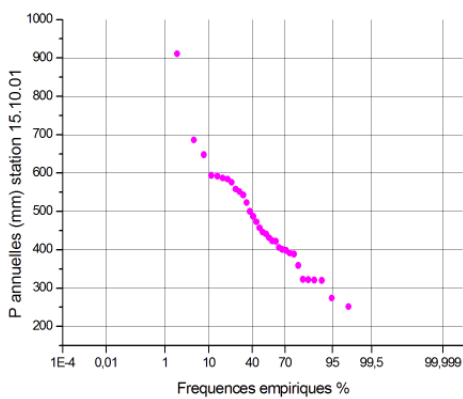
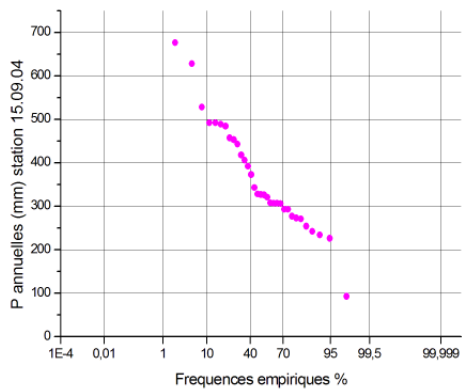
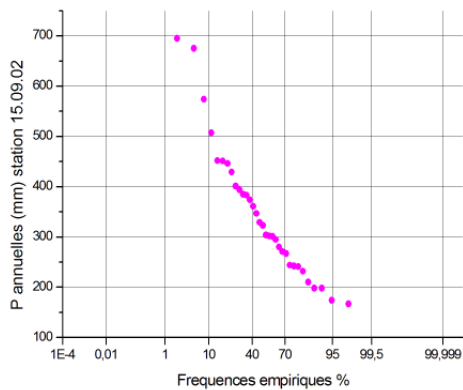
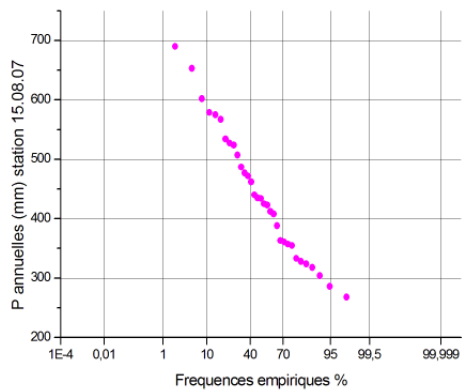


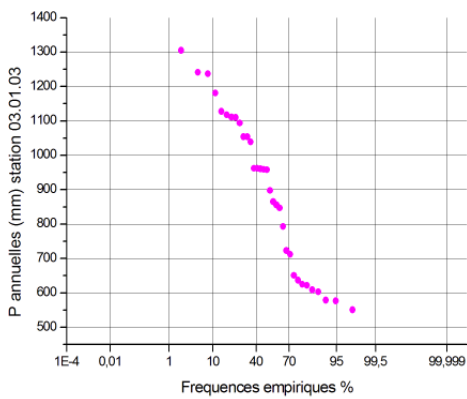
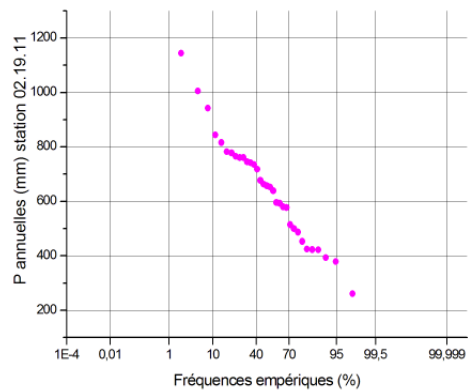
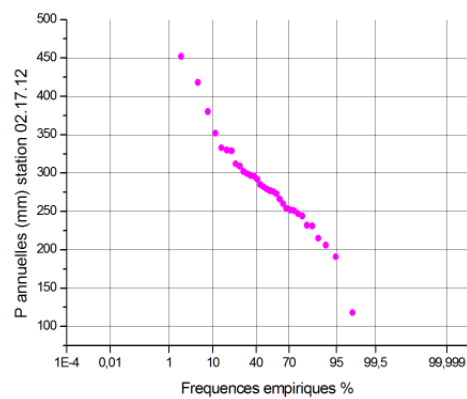
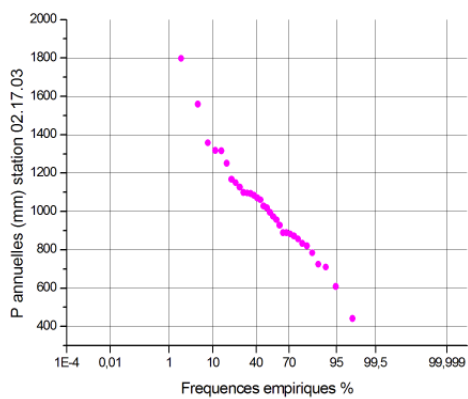
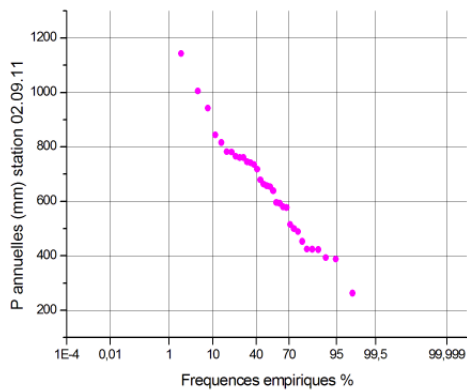
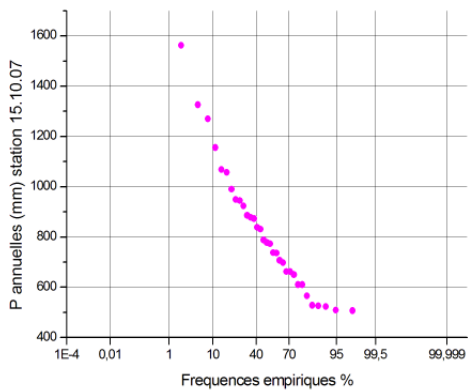




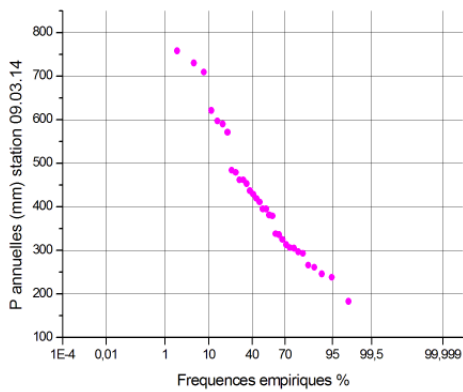
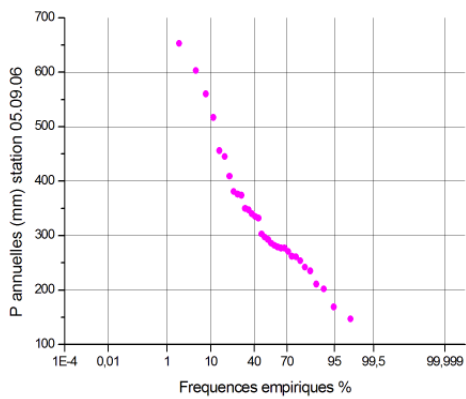
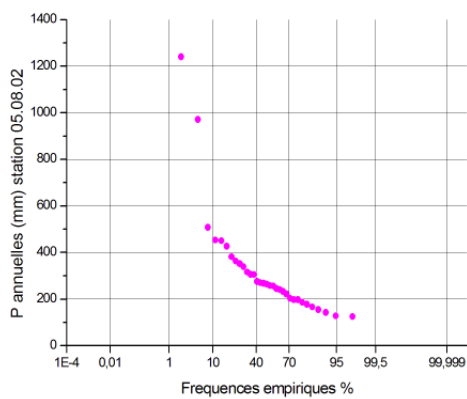
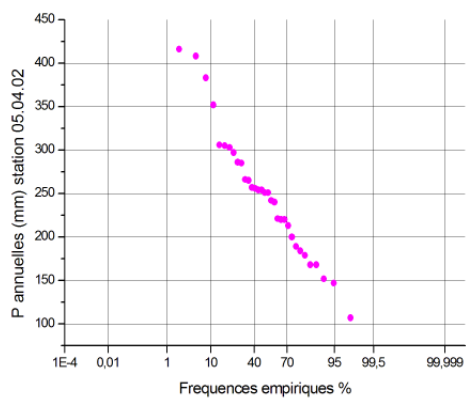
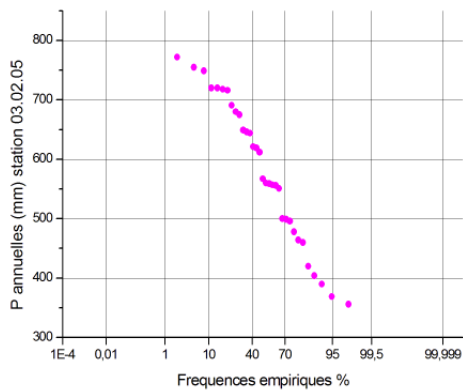
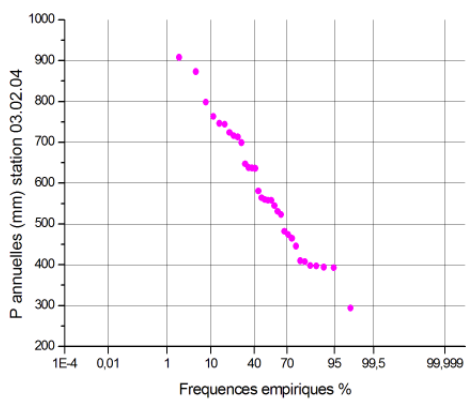


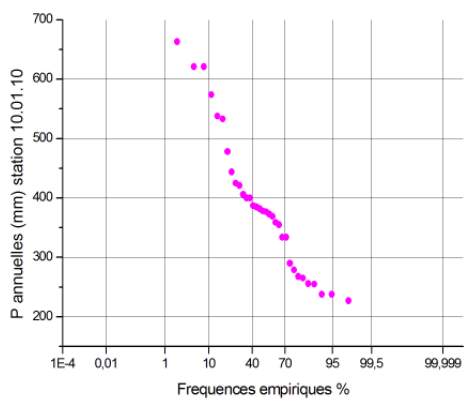
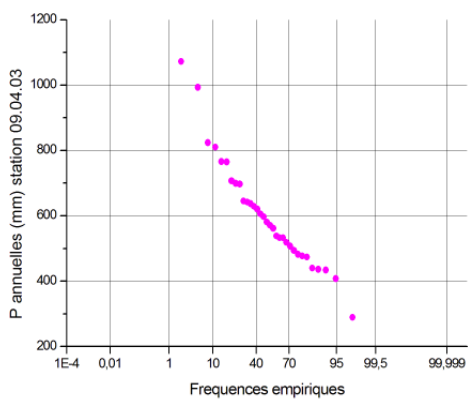












Annexe 06 : Tableau Foster - Rebkin

Cs	0,1	1	3	5	10	20	30	40	50	60	70	75	80	90	95	99	99,9	Cs
0,00	3,09	2,33	1,88	1,64	1,28	0,84	0,52	0,25	0	-0,25	-0,52	-0,67	-0,84	-1,28	-1,64	-2,33	-3,09	0
0,1	3,23	2,4	1,92	1,67	1,29	0,84	0,51	0,24	-0,02	-0,27	-0,53	-0,68	-0,85	-1,27	-1,61	-2,25	-2,95	0,1
0,2	3,38	2,47	1,96	1,7	1,3	0,83	0,51	0,22	-0,03	-0,28	-0,55	-0,69	-0,85	-1,26	-1,58	-2,18	-2,81	0,2
0,3	3,52	2,54	2	1,72	1,31	0,82	0,48	0,2	-0,05	-0,3	-0,56	-0,7	-0,85	-1,24	-1,55	-2,1	-2,67	0,3
0,4	3,66	2,61	2,04	1,75	1,32	0,82	0,47	0,19	-0,07	-0,31	-0,57	-0,71	-0,85	-1,23	-1,52	-2,03	-2,54	0,4
0,5	3,81	2,68	2,03	1,77	1,32	0,81	0,46	0,17	-0,08	-0,33	-0,58	-0,71	-0,85	-1,22	-1,49	-1,96	-2,4	0,5
0,6	3,96	2,75	2,12	1,8	1,33	0,8	0,44	0,16	-0,1	-0,34	-0,59	-0,72	-0,85	-1,2	-1,45	-1,88	-2,27	0,6
0,7	4,1	2,82	2,15	1,82	1,33	0,79	0,43	0,14	-0,12	-0,36	-0,6	-0,72	-0,85	-1,18	-1,42	-1,81	-2,14	0,7
0,8	4,24	2,89	2,18	1,84	1,34	0,78	0,41	0,12	-0,13	-0,37	-0,6	-0,73	-0,86	-1,17	-1,38	-1,74	-2,02	0,8
0,9	4,38	2,96	2,22	1,86	1,34	0,77	0,4	0,11	-0,15	-0,38	-0,61	-0,73	-0,85	-1,15	-1,35	-1,66	-1,9	0,9
1	4,53	3,02	2,25	1,88	1,34	0,76	0,38	0,09	-0,16	-0,39	-0,62	-0,73	-0,85	-1,13	-1,32	-1,59	-1,79	1
1,1	4,67	3,09	2,28	1,89	1,34	0,74	0,36	0,07	-0,18	-0,41	-0,62	-0,74	-0,85	-1,1	-1,28	-1,52	-1,68	1,1
1,2	4,81	3,15	2,31	1,91	1,34	0,73	0,35	0,05	-0,19	-0,42	-0,63	-0,74	-0,84	-1,08	-1,24	-1,45	-1,58	1,2
1,3	4,95	3,21	2,34	1,92	1,34	0,72	0,33	0,04	-0,21	-0,43	-0,63	-0,74	-0,74	-1,06	-1,2	-1,38	-1,48	1,3
1,4	5,09	3,27	2,37	1,94	1,34	0,71	0,31	0,02	-0,22	-0,44	-0,64	-0,73	-0,83	-1,04	-1,17	-1,32	-1,39	1,4
1,5	5,23	3,33	2,39	1,95	1,33	0,69	0,3	0	-0,24	-0,45	-0,64	-0,73	-0,82	-1,02	-1,13	-1,26	-1,31	1,5
1,6	5,37	3,39	2,42	1,96	1,33	0,68	0,28	-0,02	-0,25	-0,46	-0,64	-0,73	-0,81	-0,99	-1,1	-1,2	-1,24	1,6
1,7	5,5	3,44	2,44	1,97	1,32	0,66	0,26	-0,03	-0,27	-0,47	-0,64	-0,72	-0,81	-0,97	-1,06	-1,14	-1,17	1,7
1,8	5,64	3,5	2,46	1,98	1,32	0,64	0,24	-0,05	-0,28	-0,48	-0,64	-0,72	-0,8	-0,94	-1,02	-1,09	-1,11	1,8
1,9	5,77	3,55	2,49	1,99	1,31	0,63	0,22	-0,07	-0,29	-0,48	-0,64	-0,72	-0,79	-0,92	-0,98	-1,04	-1,05	1,9
2	5,91	3,6	2,51	2	1,3	0,61	0,2	-0,08	-0,31	-0,49	-0,64	-0,71	-0,78	-0,9	-0,95	-0,99	-1	2
2,1	6,04	3,65	2,53	2,01	1,29	0,59	0,18	-0,1	-0,32	-0,5	-0,64	-0,7	-0,76	-0,87	-0,914	-0,945	-0,953	2,1
2,2	6,14	3,68	2,54	2,02	1,27	0,57	0,16	-0,12	-0,33	-0,5	-0,64	-0,69	-0,75	-0,842	-0,882	-0,905	-0,91	2,2
2,3	6,26	3,73	2,57	2,01	1,26	0,55	0,14	-0,13	-0,34	-0,5	-0,63	-0,68	-0,74	-0,815	-0,85	-0,867	-0,87	2,3
2,4	6,37	3,78	2,6	2	1,25	0,52	0,12	-0,14	-0,35	-0,51	-0,62	-0,67	-0,72	-0,792	-0,82	-0,83	-0,834	2,4
2,5	6,5	3,82	2,62	2	1,23	0,5	0,1	-0,16	-0,36	-0,51	-0,62	-0,66	-0,71	-0,768	-0,79	-0,8	-0,8	2,5
2,6	6,54	3,86	2,63	2	1,21	0,48	0,085	-0,17	-0,37	-0,51	-0,61	-0,66	-0,7	-0,746	-0,764	-0,77	-0,77	2,6
2,7	6,75	3,92	2,64	2	1,19	0,46	0,07	-0,18	-0,38	-0,51	-0,61	-0,65	-0,68	-0,724	-0,736	-0,74	-0,74	2,7
2,8	6,86	3,96	2,65	2	1,18	0,44	0,057	-0,2	-0,39	-0,51	-0,6	-0,64	-0,67	-0,703	-0,711	-0,715	-0,715	2,8

**Annexe 06 (suite) :** Les valeurs du coefficient d'asymétrie Cs et du coefficient de courbure S de la courbe binomiale de distribution

Cs	Φ5%	Φ50%	Φ95%	Φ5% - Φ95%	$S=(\Phi5\% + \Phi95\% - 2 \Phi50\%)/(\Phi5\%-\Phi95\%)$
0	1,64	0	-1,64	3,28	0
0,1	1,67	-0,02	-1,61	3,28	0,03
0,2	1,7	-0,03	-1,58	3,28	0,06
0,3	1,72	-0,05	-1,55	3,27	0,08
0,4	1,75	-0,07	-1,52	3,27	0,11
0,5	1,77	-0,08	-1,49	3,26	0,14
0,6	1,8	-0,1	-1,45	3,25	0,17
0,7	1,82	-0,12	-1,42	3,24	0,2
0,8	1,84	-0,13	-1,38	3,22	0,22
0,9	1,86	-0,15	-1,35	3,21	0,25
1	1,88	-0,16	-1,32	3,2	0,28
1,1	1,89	-0,18	-1,28	3,17	0,31
1,2	1,92	-0,19	-1,24	3,16	0,34
1,3	1,94	-0,21	-1,2	3,14	0,37
1,4	1,95	-0,22	-1,17	3,12	0,39
1,5	1,96	-0,24	-1,13	3,09	0,42
1,6	1,97	-0,25	-1,1	3,07	0,45
1,7	1,98	-0,27	-1,06	3,04	0,48
1,8	1,99	-0,28	-1,02	3,01	0,51
1,9	2	-0,29	-0,98	2,98	0,54
2	2	-0,31	-0,95	2,95	0,57
2,1	2,01	-0,32	-0,91	2,92	0,59
2,2	2,02	-0,33	-0,88	2,89	0,63
2,3	2,01	-0,34	-0,85	2,86	0,64
2,4	2	-0,35	-0,82	2,82	0,67
2,5	2	-0,36	-0,79	2,79	0,69
2,6	2	-0,37	-0,76	2,76	0,72
2,7	2	-0,38	-0,74	2,74	0,74
2,8	2	-0,39	-0,71	2,71	0,76
2,9	1,99	-0,39	-0,69	2,68	0,78
3	1,97	-0,4	-0,67	2,64	0,8
3,1	1,97	-0,4	-0,64	2,62	0,81
3,2	1,96	-0,41	-0,62	2,59	0,83
3,3	1,95	-0,41	-0,6	2,56	0,85
3,4	1,94	-0,41	-0,59	2,53	0,86
3,5	1,93	-0,41	-0,57	2,5	0,87
3,6	1,93	-0,42	-0,56	2,48	0,89
3,7	1,91	-0,42	-0,54	2,45	0,9
3,8	1,9	-0,42	-0,53	2,43	0,91
3,9	1,9	-0,41	-0,51	2,41	0,92
4	1,9	-0,41	-0,5	2,4	0,92
4,1	1,89	-0,41	-0,49	2,38	0,93
4,2	1,88	-0,41	-0,48	2,36	0,94
4,3	1,87	-0,4	-0,47	2,34	0,94
4,4	1,86	-0,4	-0,46	2,32	0,95
4,5	1,85	-0,4	-0,45	2,3	0,96

---

Cs	Φ5%	Φ50%	Φ95%	Φ5% - Φ95%	$S=(\Phi5\% + \Phi95\% - 2 \Phi50\%)/(\Phi5\%-\Phi95\%)$
<b>4,6</b>	1,84	-0,4	-0,44	2,28	0,97
<b>4,7</b>	1,83	-0,4	-0,43	2,26	0,97
<b>4,8</b>	1,81	-0,39	-0,42	2,23	0,98
<b>4,9</b>	1,8	-0,39	-0,41	2,21	0,98
<b>5</b>	1,78	-0,38	-0,4	2,18	0,98
<b>5,1</b>	1,76	-0,38	-0,39	2,15	0,98
<b>5,2</b>	1,74	-0,37	-0,38	2,15	0,98









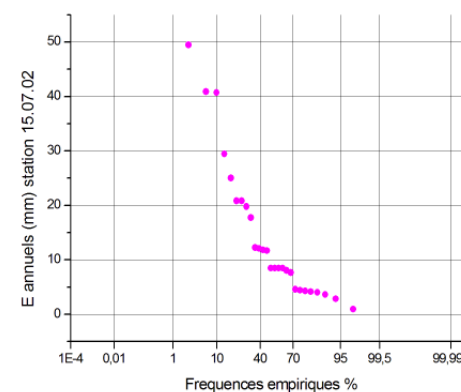
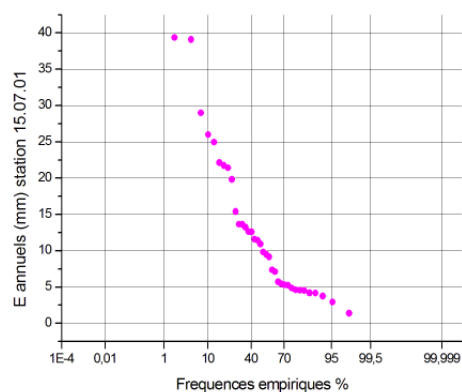
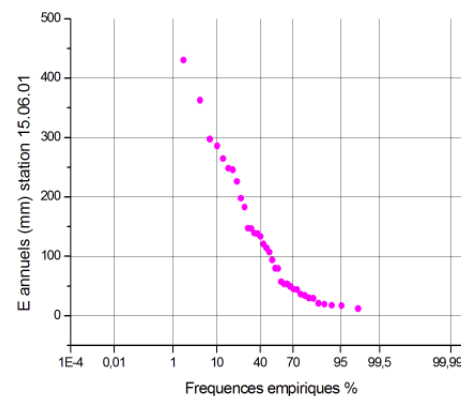
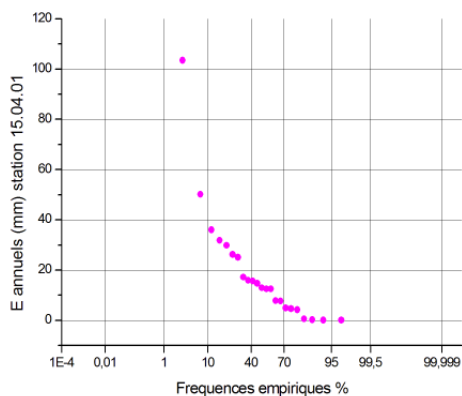
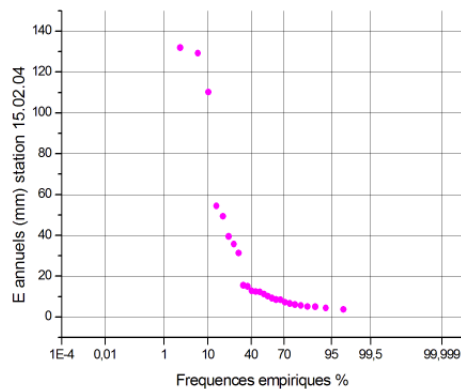
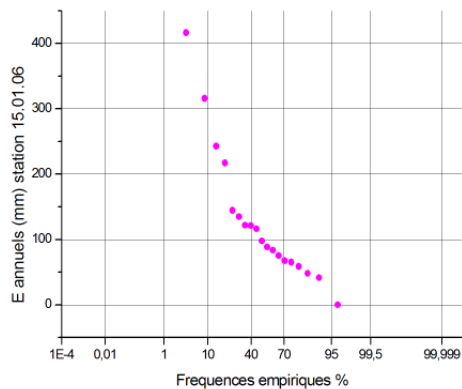


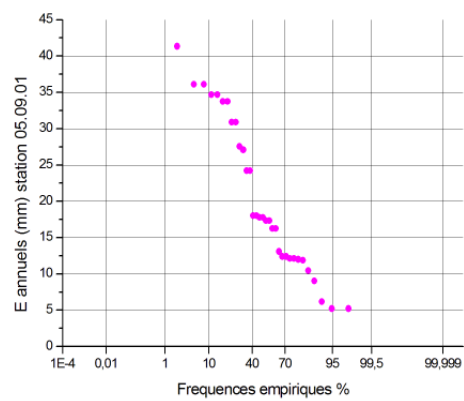
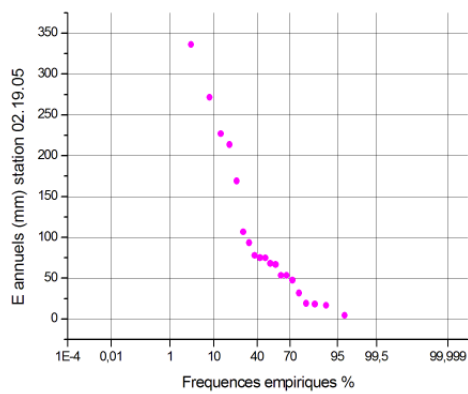
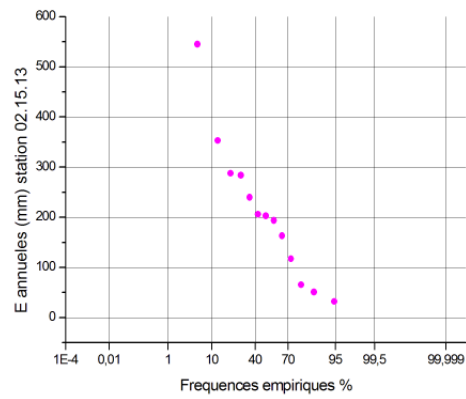
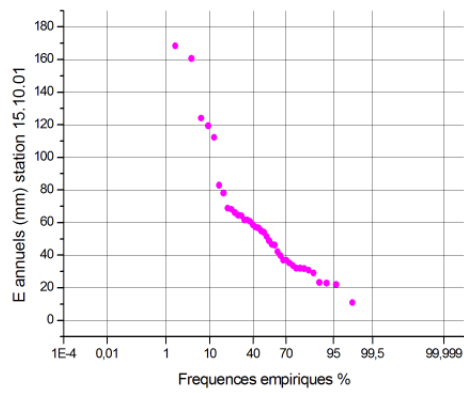
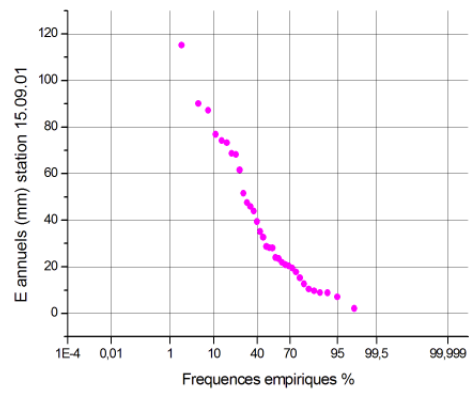
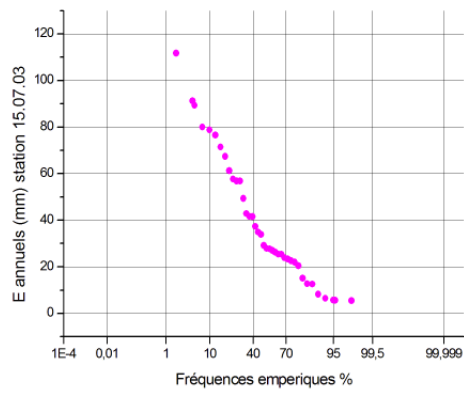


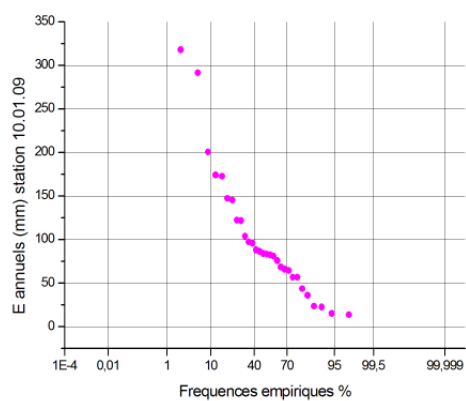
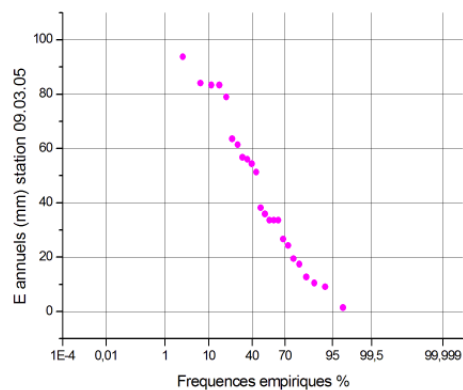
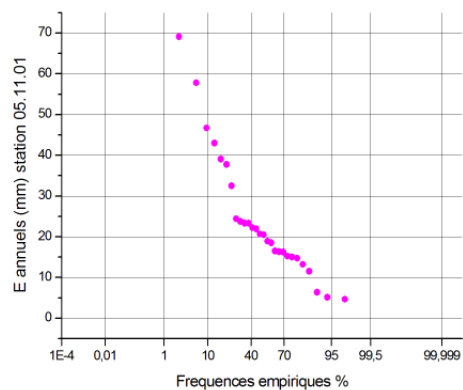




Annexe 08 : Courbes des fréquences empiriques des écoulements annuels







## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---





- [1] HUBERT. P, l'hydrologie et le cycle de l'eau, le grand livre de l'eau, édité sous la direction de M.A. Bernadis et A. Nesteroff, la villette et la manufacture, Paris, 1990, 409p.  
-Le Monde Diplomatique « La Ruée vers l'eau, manière de voir », Septembre-Octobre 2002, N°65.
- [2] MOUELHI SAFOUANE, Vers une chaîne cohérente de modèles pluie-débit conceptuels globaux aux pas de temps pluriannuel, annuel, mensuel et journalier, thèse Doctorat, Université Paris VI, ENGREF, Ecole des Mines de Paris En association avec l'IFP, 2010, 314p.
- [3] P. BRABANT, le sol des forets claires du Cameroun, exemple d'étude d'un site représentatif en vue de la cartographie des sols et de l'évaluation des terres, tome1, 1<sup>ère</sup> édition, 1988, 527p.
- [4] Organisation des nations unies pour l'éducation la science et la culture, organisation météorologique mondiale, glossaire international d'hydrologie, 2<sup>ème</sup> édition, 1992.
- [5] Organisation des nations unies pour l'éducation la science et la culture, organisation météorologique mondiale, évaluation des ressources en eau, manuel pour examen des capacités nationales, juin 1997, 177p.
- [6] SHIKLOMANOV.A., climate and water, Hydrological Sciences-journal des sciences hydrologique, Octobre 1989, 34.5, state hydrological Institute, 2 Linija 23 Leningrad 199053 USSR, pp 495-529.
- [7] M.KABOUYA et C.MICHE, Estimation des Ressources en Eau Superficielle aux pas de temps mensuel et annuel, application à un pays semi aride, Revue des sciences de l'eau, 4(1991), publié le 09/07/1991, 569-587.
- [8] DUBREUIL.P, initiation à l'analyse hydrologique, Masson et Cie éditeur, dépôt légal : 3<sup>ème</sup> trimestre 1974, p216.
- [9] SIRCOULON JACQUES, Institut Français de Recherche Scientifique pour le développement en Coopération, Impact des changements climatiques sur les ressources en eau de surface en Afrique de l'Ouest et Centrale, l'expérience de l'ORSTOM, Juin 1994, pp 965-975.
- [10] SALAH AIDAOUI, ressource en eau et aménagement hydro-agricole dans la région de biskra ziban (algerie), université de nancy II, laboratoire de géographie physique, thèse doctorat eau et aménagement, soutenu en 1994, p353.
- [11] G. MAHE & J.C. OLIVRY, changements climatiques et variations des écoulements en afrique occidentale et centrale, du mensuel a l'interannuel, Hydrology for the Water Management of Large River Basins (Proceedings of the Vienna Symposium, August 1991). IAHS Publ. no. 201,1991.
- [12] FICHEUR M.E, « les terrains éocènes de la Kabylie de Djurdjura », thèse Doctorat, Faculté Des Sciences De Paris, 1890, p489.

[13] M. ROCHE, « Hydrologie de surface », ORSTOM et GAUTHIER-VILLARDS, N°Edition : 1097 Paris 4eme trimestre 1962 N°6332 (Cf : chapitre III : le complexe physique du bassin versant).

[14] AMOUR Abdellah, « caractérisation des crues pluviales des sous bassins versants de la Soummam », mémoire Magister, Université A/Mira de Bejaia, 2010, p150.

[15] MARC MORELL, « Acquisition et constitution d'une information hydrologique de base »/ BERNARD THEBE – YANN L'HOTE, Office fédéral de l'éducation et de la science/Suisse (N°96.01), Editions H\*G\*A, Bucarest 1999, p203.

-ABDELAZIZ LOUAMRI, Cartographie des pluies annuelles dans le bassin de l'oued Seybousse (nord est algerien), sciences et technologie D-N°30, décembre 2009, pp43-52.

-ANDRE MUSY, CHRISTOPHE HIGY « Hydrologie », collection gérer l'environnement, une science de la nature, première édition ISBN 2-88074-546-2, 2004 presse polytechnique et universitaires romandes (Cf : comportement hydrologique, le bassin versant et son complexe).

-A.KADI, La gestion de l'eau en Algérie, Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques, 42(2) April 1997, pp191-197.

-BENTOUATI LATIFA, BOUZIDI ABDELOUAHAB, « Etude de l'impact de la pollution sur Oued Bousselem (W. Sétif Nord-Est de l'Algérie »Université Badji Mokhtar Annaba, Université Ferhat Abbas Sétif. (Article)

-CARREGA PIERRE. L'évapotranspiration potentielle et réelle dans le Midi méditerranéen. Son originalité par rapport au reste de la France. In: Méditerranée, Troisième série, Tome 66, 4-1988. Recherches climatiques en régions méditerranéennes II. pp. 3-8. doi : 10.3406/medit.1988.2575

-D. SEMPERE TORRES & CH. OBLED, Modélisation pluie-débit de bassins à relief accidenté: le rôle de la variabilité spatiale de la pluie, Hydrology in Mountainous Regions. I - Hydrological Measurements; the Water Cycle (Proceedings of two Lausanne Symposia, August 1990). IAHS Publ. no. 193, 1990, pp645-654.

-DUBREUIL. P, « Les caractéristiques physiques et morphologiques des bassins versants », Office de la Recherche Scientifique et Technique, Outre-mer, service Hydrologique, Paris Mars 1966, 3 (5), p. 13-29. ISSN 0008-038.

-FRANCOIS ANCTIL, JEAN ROUSSELLE, NICOLAS LAUZON « Hydrologie, cheminement de l'eau », Montréal Presses Internationales Polytechnique, N°Edition : 01, 2005 (Cf : chapitre III : territoire et information spatiale).

-GILLES GUERRIER, synthèse de données climatologiques (thermométrie et pluviométrie) par l'analyse en composantes principales.

-Hidrología, para estudiante de ingeniera civil, obsa auspiciada por CONCYTEC, Pontifica Universidad Católica Del Perú, Wender Chereque Moran, segunda impresión.

-HOCINE BENDJOUDI, PIERRE HUBERT Le coefficient de compacité de Gravelius: analyse critique d'un indice de forme des bassins versants, *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*, 47(6) décembre, pp921-930.

-JEAN DENIS TAUPIN, caractérisation de la variabilité spatiale des pluies aux échelles inférieures au kilomètre en région semi-aride (région Niamey, Niger), fond documentaire ORSTOM, code B\*11832 ex1.

-JEAN-EMMANUEL PATUREL, MAHAMAN OUEDRAOGO, GIL MAHE, ERIC SERVAT, ALAIN DEZETTER, Utilisation de modèles hydrologiques pour évaluer les ressources en eau de surface et leur évolution spatio-temporelle—application à l'Afrique de l'Ouest, *Water Resources Systems—Water availability and global change (Proceedings of symposium 11S02a held during IUGG2003 at Sapporo. July 2003)*. I À I IS Publ. no. 2SU2003, pp117-123.

-J.C. OLIVRY, Possibilités d'allégement des réseaux hydrométriques dans les pays en voie de développement après réalisation de synthèses hydrologiques régionales, ORSTOM, 213 Rue Lafayette, 75010 Paris, France. *Integrated Design of Hydrological Networks (Proceedings of the Budapest Symposium- July 1986)*. IAHS Publ. no. 158, 1986, pp329-342

-J.P.LABORDE, « Éléments d'hydrologie de surface », édition 2007.

-JEAN-MARIE MASSON, GUY BEDIOT, Valorisation de brèves durées d'observations de débits au moyen de longues séries limnimétriques et pluviométriques, *Hydrological Sciences - Bulletin - des Sciences Hydrologiques*, 26, 1, 3/1981.

-JOSE LLAMAS, « Hydrologie générale, principes et applications », éditeur GAËTAN MORIN. 12/1998, 552p.

-JUAN J. BURGOS, elementos del balance hidrológico y los tipos de clima de Venezuela estimados por el método de Thornthwaite (1948 - 1955),

-LECARPENTIER CLAUDE. L'évapotranspiration potentielle et ses implications géographiques. In: *Annales de Géographie*. 1975, t.84, n°464. pp. 385-414. doi : 10.3406/geo.1975.18972.

-MESSAOUDA KABOUYA, modélisation pluie-débit aux pas de temps mensuel et annuel en Algérie septentrionale, université Paris Sud, laboratoire d'hydrologie et de géochimie isotopique Orsay, thèse doctorat en sciences, soutenu le 19/12/1990, p353.

-M. Albinet, G. Castany, Mme O. Delarozière-bouillin, R. Jonac et J. Margat, évaluation et répartition des ressources en eaux d'une grande région par les paramètres hydro climatiques et hydrogéologiques

-MORAL PAUL. Essai sur les régions pluviothermiques de l'Afrique de l'Ouest. In: *Annales de Géographie*. 1964, t. 73, n°400. pp.660-686. doi : 10.3406/geo.1964.16735

-Organisation Météorologique Mondiale, « guide des pratiques hydrologiques », ISBN 92-63-25168-1, 5<sup>ème</sup> édition, 1994, p793.



## Résumé :

Le bilan hydrique est le résultat d'une succession de phase ou l'eau passe de l'atmosphère vers la terre et de la terre vers l'atmosphère, de l'évaporation des mers ou des nappes d'eau vers une condensation en nuage puis précipitation et accumulation dans le sol ou à la surface puis ré- évaporation, c'est un cycle continu dans le temps, formé par quatre paramètres qui sont : les précipitations, l'évaporation, écoulement et la réserve en eau dans le sol, ces grandeurs sont souvent exprimées en lame d'eau c'est-à-dire en millimètre. Ainsi, les ressources en eau sont engendrées principalement par les précipitations. Elles sont exprimées par l'écoulement moyen interannuel (EMI). L'écoulement est le surplus des eaux pluviales, une que fois les besoins d'évapotranspiration sont satisfaits. L'E.M.I. superficiel représente les réserves en eau d'une région donnée et sont conditionnées par les facteurs climatiques et physico-géographiques. Il est relativement stable au niveau d'une région donnée où les conditions du paysage géographique et l'intervention anthropique sont considérées comme constantes.

La valeur moyenne de l'écoulement annuel pour une durée, comprenant un nombre entier de cycles hydro-climatiques, est appelée EMI. La détermination de l'EMI est d'une grande importance surtout dans la gestion économique des ressources en eau, tout particulièrement dans les calculs des capacités de stockage des barrages, qui expriment les potentialités hydriques exploitables d'une région donnée.

La présente recherche porte sur le bassin versant de la Soummam, pour qui l'évaluation des ressources en eau est d'une grande importance, car ce bassin connaît une croissance que ce soit démographique, industrielle....

Notre objectif est de parvenir à établir analytiquement des relations génétiques entre l'écoulement moyen interannuel et les principaux facteurs. Sachant à priori, la complexité du phénomène ne permet pas d'établir une relation analytique générale, qui tient compte de l'influence de tous facteurs non quantifiés. D'où, nous sommes contraints de faire appel à la cartographie.

## ملخص

التوازن المائي هو نتيجة لسلسلة من المراحل التي يمر بها الماء من الجو الى الارض و من الارض الى الجو من تبخر البحار او المسطحات المائية الى التكثف ثم هطول الامطار و تراكم داخل الارض او على سطحها ثم اعادة التبخر. انها دورة مستمرة في الزمن تتكون من اربعة عوامل و هم هطول الامطار التبخر الجريان السطحي و احتياطي المياه في التربة. هذه العناصر عادة ما تكون معبر عليها بالمليمتر. و بالتالي فان الموارد المائية تتشكل عن طريق هطول الامطار و يتم التعبير عنها بواسطة التدفق المتوسط السنوي. التدفق هو الفائض الناتج عن هطول الامطار عندما يتم استيفاء احتياجات التبخر. التدفق المتوسط السنوي السطحي هو احتياطي المياه في منطقة معينة و هو مقيد بالعوامل المناخية و فيزيوجغرافية. انه مستقر نسبيا في منطقة اين المشهد الجغرافي و العمل الانساني ثابت.

القيمة المتوسطة للجريان السنوي لفترة معينة يحتوي على عدد من الدورات المائية المناخية يسمى بالتدفق المتوسط السنوي. تحديده له اهمية كبيرة خصوصا في الإدارة الاقتصادية للموارد المائية و بالخصوص حسابات السعة التخزينية للسدود و التي تعبر عن امكانية استغلال المياه في منطقة معينة.

يتركز بحثنا على حوض الصومام الذي تقييم موارده المائية تعتبر ذات اهمية لان هذه المنطقة تعرف تطورا سواء على الصعيد الديموغرافي او الصناعي.

هدفنا هو الوصول الى تحديد و تحليل العلاقات الموجودة بين التدفق المتوسط السنوي و العوامل الرئيسية. علما بان الامر معقد فانه لا يسمح لنا بالحصول على علاقة تحليلية عامة التي تاخذ بعين الاعتبار تأثير جميع العوامل الغير محددة و عليه نصبح مجبرين الى اللجوء لاستخدام رسم الخرائط.

## Abstract:

The water balance is the result of a succession of phase or the water passes from the atmosphere to the earth and the earth to the atmosphere, evaporation of the seas or bodies of water to a condensation cloud then precipitation and accumulation in soil or on the surface then re-evaporation, it is a continuous cycle in time, formed by four parameters that are: rainfall, evaporation, runoff and water reserve in the soil these quantities are often expressed as a sheet of water that is to say in mm. Thus, water resources are generated primarily by precipitation. They are expressed by the average inter-annual flow (EMI). The flow is the excess rainwater, a time that the evapotranspiration needs are met. The E.M.I. surface is water reserves in a given area and is conditioned by climatic and physical-geographical factors. It is relatively stable at a given that the conditions of geographical landscape and human action are considered constant region. The mean annual runoff for a period including a whole number of hydro-climatic cycles is called EMI. The determination of the EMI is of great importance especially in the economic management of water resources, especially in the calculations of storage capacity of the dams, which express a given region exploitable water potential.

This research focuses on watershed Soummam for which the evaluation of water resources is of great importance because this basin has been growing whether demographic, industrial ....

Our aim is to establish analytically genetic relationships between interannual mean flow and the main factors. Knowing a priori the complexity of the phenomenon does not establish a general analytic relationship, which takes into account the influence of all unquantified factors. Hence, we are forced to use the mapping.

