

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
DEPARTEMENT HYDRAULIQUE

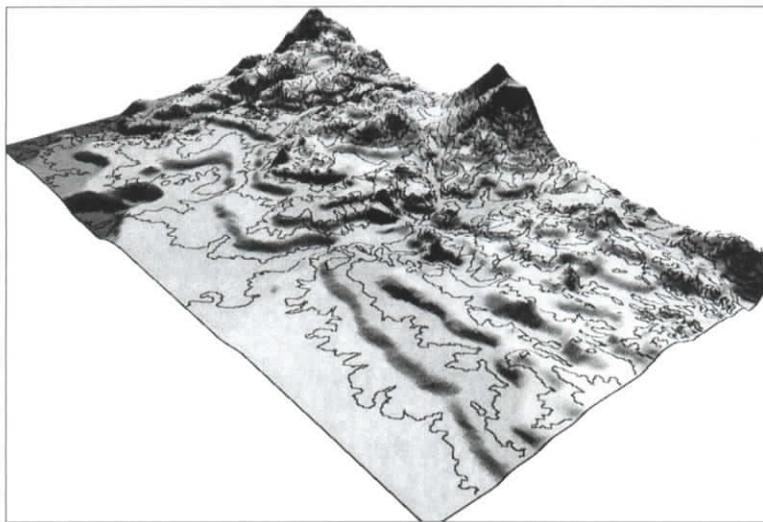


Mémoire de fin d'études  
en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état  
en hydraulique

THEME

## DISTRIBUTION SPATIALE DES PRECIPITATIONS PAR LE SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

APPLICATION A LA REGION DE SETIF  
( SOUMMAM )



Proposé par :

M<sup>R</sup> A. SEMAR

Dirigé par :

M<sup>R</sup> A. SEMAR

M<sup>R</sup> N. NEBBACHE

PRÉSENTÉ PAR :

KAMED AMINA

Promotion : 2002

10, Avenue Hassen Badi, El Harrach, Alger.



## Dédicaces

A.....

*mon très cher père qui m'a toujours poussée vers l'avant,  
ma tendre mère qui a toujours cru en moi,  
mon frère Sofiane qui m'a été d'une aide précieuse,  
ma douce sœur Mounia qui m'a toujours épaulée,  
mon adorable sœur Aida Sihem ,  
mon petit frère Youcef Mahmoud,  
ma ravissante belle-soeur Djamila,  
mon gentil beau-frère Khaled,  
tous ceux que j'aime et qui m'aiment ...*

*\* je dédie ce modeste travail \**



## Remerciements

*Au terme de ce travail, je tiens à présenter mes plus vifs remerciements à mes deux promoteurs M.Semar et M.Nebbache, pour leurs précieux conseils tout au long de ce travail.*

*Mes remerciements vont également à l'ensemble des enseignants du département Hydraulique, en particulier M<sup>lle</sup>Benmamar pour son aide.*

*Je remercie les membres du jury qui m'ont honorée de leur présence .*

*Je remercie par la même occasion le personnel de la bibliothèque centrale pour leurs patiences et leur tolérance, sans oublier bien sur « Aami Salah » de la bibliothèque du fondamental, et le responsable de la formation « Mapinfo » qui m'a énormément aidé, ainsi que M<sup>r</sup> Hamid Ali, et M<sup>r</sup> Bay de l'ANRH.*

*Enfin je remercie tous mes amis pour leur soutien moral, je cite : Mehdi, Nassima, Djihed, Sarah, Fériel, Hamim, L'Aid.*

*A tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'aboutissement de mon projet, je dis :*

**MERCI.**

LES ABREVIATIONS

A.N.R.H : AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRIQUES ;

B.V : BASSIN VERSANT ;

C.A.O : CONCEPTION ASSISTEE PAR ORDINATEUR ;

D.A.O : DESSIN ASSISTE PAR ORDINATEUR ;

DJ : (DJEBEL) MONTAGNE ;

I.D.W : INVERSE DISTANCE WEIGHTING ;

O.M.M :ORGANISATION MONDIALE DE METEOROLOGIE ;

R.T.I :RESEAUX TRIANGULAIRES IRREGULIERS ;

S.G.B.D : SYSTEME DE GESTION DE BASES DE DONNEES ;

S.I.G :SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE ;

T.I.N : TRIANGULAR INTERPOLATION NETWORK .

## Résumé

Le présent travail s'inscrit dans le cadre de l'étude des problèmes de variabilité des précipitations du bassin versant de la Soummam. Compte tenu des limites et des difficultés d'acquisition de données rencontrée pendant le travail, nous avons été amenés à extraire du bassin versant une zone « Sétif » et à partir du modèle numérique de terrain de celle-ci, nous avons pu obtenir, par superposition des couches de données, la carte des précipitations de cette zone.

L'objectif de ce mémoire est de proposer de nouvelles méthodes d'élaboration de cartes pluviométriques autres que des procédés classiques longs.

Cette étude est, bien sur, à étendre non seulement sur la totalité du bassin versant de la Soummam mais sur tout le territoire algérien et pour les différents paramètres climatologiques.

## Mots clés:

Cartographie, MNT, SIG, Précipitation, Sétif, Soummam, interpolation, régression,

## Summarized

The present work is registered in the bounds of problems concerning the variability of precipitations in the basin pouring of the "Soummam". Seen limits and the difficulty of data acquirement met during work, we have been brought to extract from the basin pouring a zone "Sétif", and from the numeric model of land of this zone we could have, by superposition of data layers, the map of precipitations of this zone.

The objective of this memory is therefore to propose of new methods of map precipitation development another one that by the long classic processes.

This survey is, well on, to not only spread on the totality of basin pouring the but on all the Algerian territory, and for the different parameter climatologique.

## Key words:

Cartography, MNT, GIS, Precipitation, Sétif, Soummam, interpolation, regression....

## الملخص

هذا العمل يسجل في إطار دراسة مشاكل تغيرات تساقط الأمطار في الأحواض الخاصة بمنطقة الصومام. نظرا للعواقب والصعوبات الملقاة أثناء الحصول على عن الحوض. وانطلاقا من المثال الحسابي للميدان، استطعنا الحصول، بشيّد طبقات "سّطيف" المعطيات عند إنجاز العمل، اضطررنا إلى أن نقوم بفصل منطقة المعطيات على خريطة التساقط في هذه المنطقة.

الهدف من المذكورة إذن، هو اقتراح طرق جديدة لإجاز هذه الخرائط لتساقط الأمطار، ومغايرة للطرق الكلاسيكية الطويلة. هذا العمل هو من المؤكّد قابل للتوسيع سواء على كل الحوض المنبعث من الصومام أو حتى على كل القطر الجزائري بشيّد العوامل المناجية.

## الكلمات المفتاحية:

علم الخرائط SIG نظام المعلومات، MNT المثال الحسابي للميدان، تساقط الأمطار، سّطيف، الصومام، استكمال، تناقص.

**INTRODUCTION GENERALE****PARTIE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE****CHAPITRE 1 : PRESENTATION DU S.I.G**

1.1.1	INTRODUCTION.....	1
1.1.2	RAPPEL HISTORIQUE DU S.I.G.....	1
1.1.3	LES PRINCIPALES COMPOSANTES D'UN S.I.G.....	2
1.1.3.1	LE MATERIEL INFORMATIQUE DU S.I.G.....	2
1.1.3.2	LE LOGICIEL DU S.I.G.....	2
1.1.3.3	RESSOURCES HUMAINES ET ORGANISATION.....	2
1.1.4	DOMAINE D'APPLICATIONS DU S.I.G.....	3
1.1.5	LES FONCTIONS D'UN S.I.G.....	3
1.1.6	MODE DE REPRESENTATION DES DONNEES SPATIALISEES.....	5
1.1.6.1	TYPES DE REPRESENTATION.....	5
1.1.6.2	INTERETS ET INCONVENIENTS DES REPRESENTATIONS RASTER ET VECTEUR.....	6
1.1.6.3	LES CONVERSIONS VECTEUR – RASTER.....	7
1.1.6.4	COUCHES D'INFORMATION.....	8
1.1.7	ACQUISITION DES DONNEES.....	8
1.1.7.1	ENTREE DES DONNEES SPATIALEMENT REFERENCEES.....	8
1.1.7.2	PRE-TRAITEMENT.....	9
1.1.7.3	ENTREE DES DONNEES DESCRIPTIVES.....	9
1.1.8	STOCKAGE ET GESTION DES DONNEES.....	9
1.1.9	RESTITUTION DES DONNEES.....	10
1.1.10	AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU S.I.G.....	10
1.1.10.1	LES AVANTAGES DU S.I.G.....	10
1.1.10.2	LES INCONVENIENTS DU S.I.G.....	11
1.1.11	L'AVENIR DU S.I.G.....	11
	<b>CHAPITRE 2 : PRESENTATION DES PRECIPITATIONS</b>	
1.2.1	GENERALITES.....	13
1.2.1.1	L'EAU SUR LA PLANETE.....	13
1.2.1.2	LE CYCLE DE L'EAU.....	14
1.2.2	LES PRECIPITATIONS.....	15
1.2.2.1	LES TYPES DE PRECIPITATIONS.....	15
1.2.2.2	LES LOIS DE LA PLUVIOSITE.....	16
1.2.2.3	LA MOYENNE DE LA PLUIE TOMBEE SUR UNE REGION DETERMINEE.....	18
1.2.2.4	RESEAU PLUVIOMETRIQUE.....	20
1.2.2.5	APPORT DE L'ANALYSE STATIQUE.....	21

**PARTIE II : MATERIELS ET METHODES****CHAPITRE 1 : CADRE DE L'ETUDE**

2.1.1	SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	27
2.1.2	GRANDS TRAITES MORPHOLOGIQUES.....	28
2.1.2.1	LA CHAINE DE DJURDJURA.....	28
2.1.2.2	LA VALLEE DE LA SOUMMAM.....	28
2.1.2.3	LA CHAINE DES BIBANS.....	28
2.1.2.4	LA CHAINE DU SUD.....	28
2.1.2.5	LA CHAINE DE LA PETITE KABYLIE.....	28
2.1.3	GEOMORPHOLOGIE DU BASSIN VERSANT DE LA SOUMMAM.....	28
2.1.3.1	PARAMETRES GEOMETRIQUES.....	29
2.1.3.2	PARAMETRES DE RELIEF.....	29
	<b>CHAPITRE 2 : ANALYSE DES PRECIPITATIONS</b>	
2.2.1	LE RESEAU PLUVIOMETRIQUE.....	32

2.2.1.1	SITUATION DES STATIONS PLUVIOMETRIQUES.....	32
2.2.1.2	CARACTERISTIQUES DES DONNEES.....	33
2.2.2	CONSTRUCTION DE LA BASE DE DONNEES.....	33
2.2.2.1	CHOIX DE LA ZONE D'ETUDE.....	34
2.2.2.2	CHOIX DE LA PERIODE ET DES STATIONS.....	35
2.2.3	CRITIQUES DES DONNEES.....	36
2.2.3.1	MATERIEL.....	36
2.2.3.2	COMPLEMENT DES LACUNES PAR LA REGRESSION LINEAIRE SIMPLE.....	36
2.2.3.3	TESTS D'HOMOGENEITE DES DONNEES.....	37
2.2.3.4	ANALYSES STATISTIQUES DES SERIES. (TEST D'AJUSTEMENT) .....	41
	<b>CHAPITRE 3 : LA REPRESENTATION NUMERIQUE DU RELIEF</b>	
2.3.1	INTRODUCTION.....	44
2.3.2	LA REPRESENTATION DU RELIEF.....	44
2.3.2.1	LES DIVERSES MANIERES D'ASSURES LA REPRESENTATION NUMERIQUE DU RELIEF.....	44
2.3.3	MATERIEL ET METHODE.....	47
2.3.3.1	MATERIEL.....	47
2.3.3.2	CHOIX DE LA METHODE.....	48
	<b><u>PARTIE 3 : ANALYSES ET INTERPRETATIONS</u></b>	
3.1	INTRODUCTION.....	52
3.2	LE MODELE NUMERIQUE DU TERRAIN.....	52
3.2.1	LES TIN (RESEAUX TRIANGULAIRES IRREGULIERS.....	52
3.2.2	ANALYSES ET INTERPRETATIONS.....	52
3.3	REGRESSION LINEAIRE.....	53
3.4	INTERPOLATION SPATIALE : METHODE D'INTERPOLATION.....	60
3.4.1	METHODE D'INTERPOLATION SPATIALE.....	60
	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>62</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	
	<b>ANNEXES</b>	

## Annexes

### **Annexe 1 : Matrices de corrélation interstations.**

Tableau 1 : Coefficients de corrélation interstations (septembre).	1
Tableau 2 : Coefficients de corrélation interstations (octobre).	1
Tableau 3 : Coefficients de corrélation interstations (novembre).	2
Tableau 4 : Coefficients de corrélation interstations (décembre).	2
Tableau 5 : Coefficients de corrélation interstations (janvier).	3
Tableau 6 : Coefficients de corrélation interstations (février).	3
Tableau 7 : Coefficients de corrélation interstations (mars).	4
Tableau 8 : Coefficients de corrélation interstations (avril).	4
Tableau 9 : Coefficients de corrélation interstations (mai).	5
Tableau 10 : Coefficients de corrélation interstations (juin).	5
Tableau 11 : Coefficients de corrélation interstations (juillet).	6
Tableau 12 : Coefficients de corrélation interstations (août).	6

### **Annexe 2 : Analyse d'homogénéité.**

Méthode : Double masse.	1
Méthode : Test de cumul des résidus.	4

### **Annexe 3 : Analyse statistique.**

#### **Annexe 4 : Modèle numérique du terrain.**

Carte 4.1 : Analyse thématique du relief.	1
Carte 4.2 : Le MNT de la région de Sétif.	1

#### **Annexe 5 : Cartes pluviométriques. Méthode : « Régression linéaire ».**

Carte 5.1 : Précipitation du mois de septembre.	1
Carte 5.2 : Précipitation du mois d'octobre.	1
Carte 5.3 : Précipitation du mois de novembre.	2
Carte 5.4 : Précipitation du mois de décembre.	2
Carte 5.5 : Précipitation du mois de janvier.	3
Carte 5.6 : Précipitation du mois de février.	3
Carte 5.7 : Précipitation du mois de mars.	4
Carte 5.8 : Précipitation du mois d'avril.	4
Carte 5.9 : Précipitation du mois de mai.	5
Carte 5.10 : Précipitation du mois de juin.	5
Carte 5.11 : Précipitation du mois de juillet.	6
Carte 5.12 : Précipitation du mois d'août.	6

#### **Annexe 6 : Cartes pluviométriques. Méthode : « Interpolation spatiale ».**

Carte 6.1 : Précipitation du mois de septembre.	1
Carte 6.2 : Précipitation du mois d'octobre.	1
Carte 6.3 : Précipitation du mois de novembre.	2
Carte 6.4 : Précipitation du mois de décembre.	2
Carte 6.5 : Précipitation du mois de janvier.	3

Carte 6.6 : Précipitation du mois de février.	3
Carte 6.7 : Précipitation du mois de mars.	4
Carte 6.8 : Précipitation du mois d'avril.	4
Carte 6.9 : Précipitation du mois de mai.	5
Carte 6.10 : Précipitation du mois de juin.	5
Carte 6.11 : Précipitation du mois de juillet.	6
Carte 6.12 : Précipitation du mois d'août.	6

La disponibilité géographique et saisonnière des ressources en eau est une préoccupation commune à tous les pays du bassin méditerranéen. Source potentielle de conflits entre les usagers, voire entre les États, la gestion de l'approvisionnement en eau constitue un enjeu majeur.

Les recherches et les études concernant les précipitations, source principale d'eau, butent sur une difficulté fondamentale : l'extrême variabilité des champs sur de grandes gammes d'échelle d'espace et de temps.

Cette lacune, qui constitue un handicap majeur pour la planification du développement, affecte sensiblement la gestion et la conservation durable des ressources.

L'évolution technologique, la facilité de manipulation, de comparaison et d'analyse des informations obligent un recours à un système dit d'information géographique pour établir un référentiel géographique, stable à une échelle à déterminer, qui sera homogène et compatible du point de vue thématique et entre les différents éléments. [1]

Le but de ce travail est d'intégrer le SIG pour la détermination de la répartition spatiale des précipitations au niveau du B.V de la Soummam.

Il n'existe pas une méthode standard d'intégration et d'analyse des données mais des règles de bons sens à respecter. Chaque projet nécessite une approche spécifique en fonction des besoins et des objectifs. Mais il est à considérer que l'approche à adopter passe par l'utilisation d'une série d'outils qui fasse appel à des techniques pluridisciplinaires.

La première partie de cette étude est une synthèse bibliographique qui, en premier lieu, nous donne une idée générale sur les SIG et, en second lieu, s'intéresse à la précipitation et les différentes méthodes de mesure de cet élément climatique très variable dans l'espace et dans le temps.

En deuxième partie, nous nous sommes d'abord attachés à caractériser le cadre de notre étude, qui consiste à présenter le B.V de la Soummam, puis à l'analyse statistique des précipitations, par la suite, et grâce au S.I.G, nous avons pu obtenir le MNT de la zone choisie pour l'étude.

En dernière partie, nous avons expliqué et analysé les différentes méthodes employées pour intégrer les données pluviométriques au travers des couches d'information ce qui a permis d'effectuer une analyse spatiale rigoureuse.

Il sera alors restitué les cartes des précipitations élaborées par les deux méthodes . Ces cartes sont éventuellement à analyser et à comparer .

# CHAPITRE 1 : PRESENTATION DU S.I.G

## 1.1.1 INTRODUCTION

Les cartes sur support papier présentent un certain nombre d'inconvénients : une fois éditées, elles restent un document figé, dont la mise à jour est une lourde opération ; d'autre part, la comparaison d'informations issues de différentes origines lorsqu'il s'agit d'élaborer une nouvelle carte thématique, est souvent difficile.

Avec l'essor de l'informatique est apparu le besoin de numériser l'information géographique et d'en confier la gestion à l'ordinateur. Ainsi sont nés les systèmes d'information géographiques (S.I.G.).

## 1.1.2 RAPPEL HISTORIQUE DU S.I.G [2]

Pendant les années 60 et les années 70, de nouvelles pratiques accordèrent une importance croissante à l'utilisation des cartes pour la gestion des ressources naturelles.

A l'époque la seule manière de confronter des informations issues de différentes cartes consistait à tracer des calques et d'essayer d'identifier les zones les plus favorables, en tenant compte de l'ensemble des informations de base. Cette technique a été alors adaptée au système informatique.

A la fin des années 70, la technologie de C.A.O avait fait de grands progrès. En parallèle, de nouvelles techniques se développaient dans des domaines : pédologie, hydrographie, topographie et télédétection. C'est ainsi que naissait un nouveau domaine: celui des systèmes d'information géographique, universellement utilisé de nos jours.

Le S.I.G n'est pas un SGBD, ni un système infographique, ni un système de cartographie automatisé; en réalité, c'est tout à la fois car il permet d'intégrer tous ces autres systèmes en un seul.

### **1.1.3 LES PRINCIPALES COMPOSANTES D'UN S.I.G**

Les systèmes d'information géographique sont composés de trois éléments:

#### **1.1.3.1 Le matériel informatique du S.I.G**

Le matériel informatique nécessaire pour faire fonctionner un S.I.G se compose d'un ordinateur central et plusieurs unités de disques pour enregistrer des données et des programmes, un système de bandes magnétiques pour la sauvegarde de données, des unités de visualisation de graphique en couleur, et autres éléments périphériques communs aux ordinateurs.

Un S.I.G possède en outre plusieurs composantes spécifiques, incluant: un convertisseur analogique/numérique ou un scanner, qui est employé pour convertir l'information géographique des cartes sous forme numérique; un traceur, qui imprime les cartes et d'autres sorties graphiques du système, et pour finir, une table à digitaliser à option.

#### **1.1.3.2 Les logiciels du S.I.G**

Les logiciels assurent les fonctions principales suivantes:

- entrée de données: numérisation ou scannérisation et enregistrement de données attributaires à partir du clavier ;
- gestion de base de données ;
- analyse et traitement de données ;
- interaction avec l'utilisateur (correction cartographique) ;
- sortie de données et présentation (traçage).

#### **1.1.3.3 Ressources humaines et organisation**

Comme pour tout travail cartographique, la collecte de données et la création de nouvelles bases de données géoréférencées exigent, des niveaux de compétence pointus, une formation adaptée des personnels chargés de cette collecte et de la saisie, et un contrôle qualité à toutes les étapes. En d'autres termes, outre la qualité du matériel et des logiciels acquis, l'utilisation pertinente d'un S.I.G requiert un effort en matière de formation, de planification, d'organisation et de suivi afin d'assurer une bonne qualité et l'intégrité du produit final.

### 1.1.4 DOMAINE D'APPLICATIONS DU S.I.G [3]

Elles couvrent des domaines nombreux et variés. Selon les usages, les données spatiales utilisées, et la précision requise pour ces données.

**Services publics** : Aménagement du territoire, Cadastre, Collectivités locales, Découpage électoral, Démographie, Equipement, Enseignement, Protection civile, Services d'urgence ;

**Logistique** : Gestion de flotte, Epidémiologie, Ingénierie, Optimisation de parcours ;

**Environnement/ Ressources naturelles** : Agriculture, Contrôle de l'environnement, Géologie, Gestion des sols, Industrie forestière, Pêche ,Prévention de la pollution ;

**Immobilier** : Architecture, Bâtiment et travaux publics, Gestion de patrimoine ;

**Infrastructures** : Aéronautique, Eau et assainissement, Electricité, Gestion de réseaux, Pétrole et gaz, Télécommunications ;

**Géomarketing** : Assurance, Automobile, Banque, Implantation de commerces ;

**Société ou consommation** : Publicité, Santé, Tourisme.

### 1.1.5 LES FONCTIONS D'UN S.I.G. [4]

Le S.I.G est essentiellement un outil qui facilite l'intégration de données diverses, et qui permet de les transformer selon des formats compatibles, de les croiser, de les analyser et enfin d'afficher le résultat de ces analyses sous forme cartographique. Les fonctionnalités de base des S.I.G sont les suivantes:

- acquisitions de données,
- stockage et gestion de données,
- manipulation et analyse de données,
- restitution des données.

D'autre part, on demandera souvent à un S.I.G. de répondre aux exigences suivantes :

- capacité à manipuler des bases de données géographiques complexes, comprenant des informations nombreuses et hétérogènes,
- possibilité de répondre à toutes les requêtes de l'utilisateur, combinant la localisation et les propriétés d'un grand nombre d'objets spatialement référencés,
- capacité à mémoriser les résultats de requêtes ou d'analyser pour en tirer les enseignements nécessaires à des développements ultérieurs,
- souplesse suffisante pour s'adapter à un grand nombre d'utilisateurs et d'utilisations spécifiques.

Parmi les requêtes demandées par les utilisateurs on cite :

- production de cartes synthétiques, à différentes échelles, et selon différents systèmes de projections.
- changement d'échelle, de projections, de légendes, d'annotations, etc.
- extraction de cartes issues du croisement de plusieurs informations et qui représente l'ensemble des attributs issus des cartes de base. Cette fonction est illustrée par la (Figure I-1-1), ci-dessous.
- création de zones tampon ou de proximité, correspondant à la distance par rapport à des objets graphiques de type linéaire ou surfacique. Cette technique est utilisée notamment pour la recherche de zones favorables à une distance donnée de réseaux de communication (voies ferrées, autoroutes, routes, etc.) ou de ressources hydriques (fleuves, canaux d'irrigation). Ces zones tampons peuvent alors être utilisées dans de nouveaux croisements.
- requête de type spatiale ou attributaire, ou conjointe (quelles sont les parcelles présentant une aptitude au développement d'une culture X, qui sont situées à moins de Y kilomètres d'une ressource en eau, et qui possèdent un ensoleillement supérieur à Z heures par jour en moyenne ?).

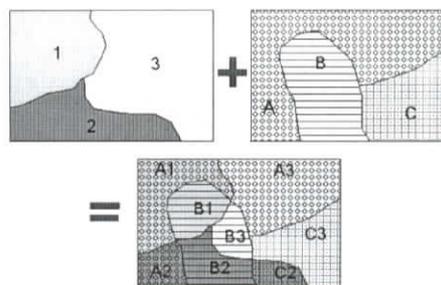


Figure I.1.1 : Illustration simple de la fonction de croisement

## 1.1.6 MODÈS DE REPRÉSENTATION DES DONNÉES SPATIALISÉES

### 1.1.6.1 Types de représentation .

Au sein d'un S.I.G, le monde réel est représenté généralement à partir de l'un des deux grands modèles de données suivants: le modèle raster ou le modèle vecteur.

Le premier correspond à la notion d'image (images bit map) : l'espace est divisé régulièrement en cellules de forme identique, le plus souvent des carrés. A chaque cellule, sont affectées, les valeurs correspondant à des grandeurs descriptives.(Figure :I.1.2)

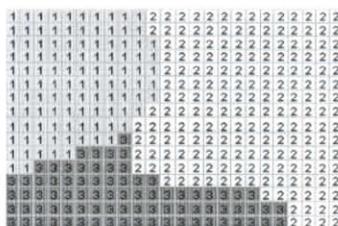


Figure I.1.2 :Présentation en mode raster

Le second mode correspond à la notion de carte : l'ensemble des objets sont représentés à partir de points, lignes ou surfaces, définies en coordonnées réelles (X,Y). Chaque ligne étant définie par une succession de points appelés vecteurs, et chaque surface étant définie par les arcs qui tracent ses limites.

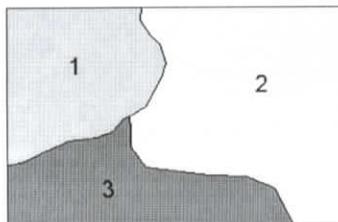


Figure I.1.3 Présentation en mode vecteur

### 1.1.6.2 Intérêts et inconvénients des représentations raster et vecteur

Chaque modèle a ses propres avantages et inconvénients ( Voir tableau I -1-1 ci-après).

(Tableau I-1-1)

	Avantages	Inconvénients
Raster	<p>Il est plus facile d'écrire des programmes pour traiter les données</p> <p>Modèle assurant une meilleure compatibilité avec les données maillées telles que images satellitaires numériques</p> <p>Meilleure compatibilité avec certaines sorties du type traceurs à jet d'encre ou terminaux graphiques</p>	<p>Requiert beaucoup de mémoire pour des bases de données contenant beaucoup d'attributs</p> <p>Difficultés à représenter exactement les lignes (lignes topographiques, route, chemins de fer, etc.) à moins que la taille de la cellule soit petite.</p> <p>Nécessité de disposer d'un dispositif de conversion vecteur raster pour intégrer des données vecteur (ex: banque de données topographique nationale</p>

Vecteur	<p>Beaucoup moins de mémoire requise</p> <p>Possibilité de représenter la carte dans sa résolution initiale</p> <p>Possibilité de représentation d'attributs multiples</p>	<p>Les fonctions spatiales d'analyse sont beaucoup plus complexes</p> <p>Certaines données de variable continues (ex: altitude, images satellitaires) ne peuvent être représentées sans traitement préalable (classification ou discrétisation)</p>
---------	--	---

### 1.1.6.3 Les conversions vecteur – raster

La plupart des S.I.G ont la capacité de transformer les données d'un format à l'autre. La Figure I.1.4 illustre le passage d'une représentation selon le modèle vecteur, vers le modèle raster:

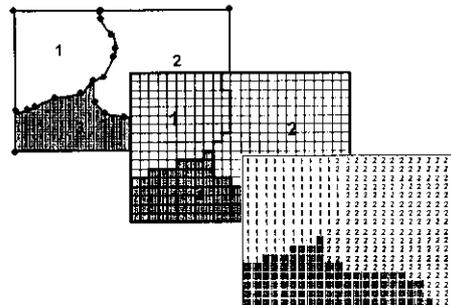


Figure I.1.4 :Conversion vecteur-raster

La conversion de vecteur à raster est très facile et fait appel à des algorithmes simples. Il en résulte une modification des contours des polygones qui peut conduire à une perte d'information.

La conversion de raster à vecteur est beaucoup plus délicate, complexe et coûteuse en temps de calcul. Il existe des algorithmes permettant de lisser les contours obtenus après vectorisation .

L'intégration raster/vecteur est une fonction particulière de transformation d'une distribution dans une couche raster en une variable descriptive d'objets vecteurs décrivant la même zone géographique.

#### 1.1.6.4 Couches d'information

Dans la plupart des S.I.G., l'information géographique relative à la même étendue spatiale sera séparée en différents thèmes (ou couches d'information) indépendants, qui pourront par la suite être recombinaés pour analyse, ou simplement superposés pour visualisation. Ces couches sont souvent nommées couvertures. La séparation en couvertures permet d'améliorer la gestion de la base de données et l'efficacité des requêtes (Figure 1.1.5).

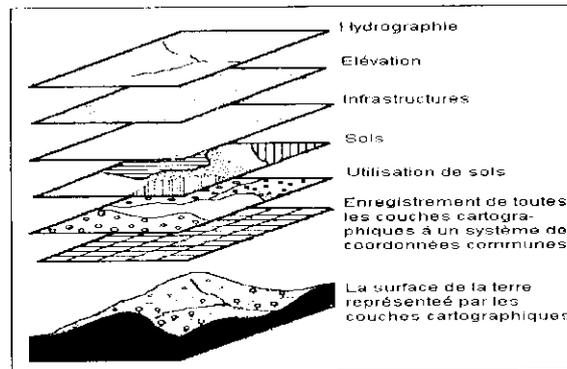


Figure 1.1.5 Couches d'information

### 1.1.7 ACQUISITION DES DONNÉES

La création d'une base de données géographiques nécessite les quatre phases suivantes :

#### 1.1.7.1 Entrée des données spatialement référencées

Différents modes d'entrées sont envisageables :

- mode manuel : entrée au clavier des coordonnées des points (mode vecteur) ou des valeurs cellules (modes raster),
- récupération de fichiers en mode vecteur sous différents formats d'échange,
- récupération de données en mode raster (image satellitaires brutes),
- scannérisation : un scanner lit un document sur un support papier (ou film) et le transforme en fichier numérique raster,
- digitalisation : on utilise une table à numériser pour transférer dans un fichier les coordonnées des points désignés ; on peut également digitaliser à l'écran à l'aide de la souris en s'appuyant sur un fond scannérisé.

Quel que soit le mode d'entrée des données spatiales, celles-ci sont entachées d'erreurs ou d'imprécisions d'où la nécessité de traitements de mise au point.

#### 1.1.7.2 Pré-traitements

Avant de stocker définitivement les données spatiales dans la base, un certain nombre d'opérations sont nécessaires :

- conversion de format : passage d'un format d'échange au format propre au logiciel, conversion vecteur/raster ou raster/vecteur,
- changement d'échelle, de repère ou de système de projection,
- corrections géométriques : modification de la géométrie par étirement élastique pour éliminer des distorsions, ajuster des photographies aériennes à un repère cartographique,

#### 1.1.7.3 Entrée des données descriptives

L'entrée des données descriptives peut se faire de deux manières :

- de manière interactive : l'utilisateur choisit une entité spatiale et y affecte directement des attributs descriptifs,
- par l'intermédiaire de fichiers de données créés par ailleurs, en particulier au moyen d'un S.G.B.D.

Il faut ensuite réaliser le lien entre données spatiales et données descriptives, et s'assurer que toutes les entités spatiales sont correctement renseignées.

### 1.1.8 STOCKAGE ET GESTION DES DONNÉES

Un S.I.G. répond aux mêmes besoins d'archivage et de gestion des données que tout S.G.B.D. Il doit en particulier :

- ne pas présenter de redondance des données,
- pouvoir accéder à des bases de données constituées par ailleurs et indépendantes de sa base,
- assurer l'indépendance, la cohérence, l'intégrité et la sécurité des données.

Il doit de plus :

- permettre une mise à jour rapide et aisée des données spatiales,

- permettre des requêtes faisant intervenir soit la localisation géographique des entités soit leurs attributs descriptifs.

Il existe deux principaux types de requêtes : identifier un objet dont on connaît la localisation, localiser des objets ayant certaines propriétés.

### **1.1.9 RESTITUTION DES DONNEES**

Les produits qu'un S.I.G. est capable de fournir sont :

- des tableaux,
- des graphiques, figures, histogrammes,
- des cartes,
- des images, en particulier des visualisations en trois dimensions, voire des images animées.

Pour élaborer des documents cartographiques, le S.I.G. doit permettre à l'utilisateur de :

- choisir la zone à représenter,
- ajuster l'échelle,
- choisir les couleurs et les symboles de représentation,
- placer du texte, des annotations,
- créer une légende,
- compléter l'habillage de la carte par des cadres, logos, orientations, règlette d'échelle,...

### **1.1.10 AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU S.I.G**

#### **1.1.10.1 Avantages du S.I.G.**

- Les données sont stockées sous forme informatique, donc condensées ; elles peuvent être extraites très rapidement et à faible coût.
- L'outil informatique permet d'exécuter aisément des opérations qui, manuellement, sont longues, difficilement réalisables, voire impossibles : mesures, transformations géométriques, visualisations ; certaines analyses peuvent être effectuées à faible coût : extraction des pentes, valeurs d'ensoleillement, bassins versants à partir de modèles numériques de terrain, croisement de couvertures.
- Une mise à jour rapide ; elle permet de faire du S.I.G. un outil de suivi.

- L'efficacité de la conception et de la production de cartes est améliorée par l'automatisation des tâches.
- Les S.I.G. peuvent être couplés à des bases de données déjà existantes.

#### **1.1.10.2 Les inconvénients du S.I.G.**

- l'acquisition de données numériques est très coûteuse,
- les formats d'échange sont encore insuffisamment standardisés,
- la création de vastes bases de données géographiques suppose une organisation importante, dans laquelle différents partenaires (administrations, collectivités, sociétés privées, établissements d'enseignement et de recherche) sont impliqués,
- l'accès à l'information pose le problème de la disponibilité et de la confidentialité des données,
- un personnel qualifié est nécessaire : pour cela, les besoins de formation sont importants; de même, un gros effort est à fournir en matière de recherche et de développement.

#### **1.1.11 L'AVENIR DU S.I.G.**

Les besoins exprimés d'information géographique numérisée et d'outils permettant de manipuler cette information augmentent à un rythme croissant. Les S.I.G. sont appelés à gérer des bases de données de plus en plus volumineuses. Une amélioration continue des matériels et des logiciels rend les S.I.G. de plus en plus performants.

Parmi les axes de recherche et de développement, trois sont importants à mentionner :

- l'amélioration des interfaces homme/machine,
- la mise au point de logiciels intégrés manipulant des données aussi bien mode raster qu'en mode vecteur et associant les fonctionnalités d'un logiciel de traitement d'images à celles d'un S.I.G.,
- enfin, l'introduction au sein de S.I.G. de systèmes de gestion de bases de connaissances (intelligence artificielle).

La dominante de la tendance actuelle reste cependant le développement d'une offre de plus en plus ouverte qui va au devant des besoins d'utilisateurs plus nombreux et en particulier :

- des solutions moins coûteuses en moyens financiers et en temps / homme,

- des solutions plus souples pour gérer de petits systèmes d'information ciblés sur un problème (gestion d'une zone vulnérable, d'un massif forestier, etc...),
- des systèmes plus ouverts avec des perspectives d'échanges de données et de partenariat autour de données et de systèmes d'information à partager.

## CHAPITRE 2 : PRÉSENTATION DES PRÉCIPITATIONS

### 1.2.1 GÉNÉRALITÉS

#### 1.2.1.1 L'eau sur la planète [5]

L'eau est indispensable à toute forme de vie terrestre. Elle occupe près des 3/4 de la surface de notre planète. Elle est également présente dans l'atmosphère et en profondeur puisqu'elle entre dans la composition du magma terrestre.

L'eau existe dans la nature sous les trois états de la matière : l'état solide (glaciers, neige et grêle), l'état liquide (mers, lacs, fleuves et rivières, nuages, sols) et l'état gazeux (vapeur dans l'atmosphère).

Composante principale de notre environnement, elle subit des successions de transformations d'états : (Figure : I-2-1)

- vaporisation/condensation entre l'état liquide et l'état gazeux ;
- sublimation/cristallisation entre l'état solide et l'état gazeux ;
- fusion/ solidification entre l'état solide et l'état liquide.

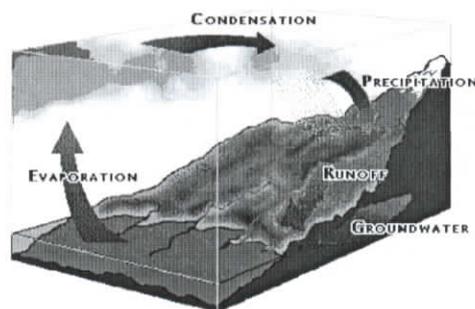


Figure I.2.1 : Transformation d'état de l'eau

La réserve totale d'eau est de 1 342 409 250 km<sup>3</sup>. 97% de l'eau présente dans notre système climatique est contenue dans les océans ; reste 3% d'eau douce.

L'eau douce se répartit dans les glaces (77,2%), le sol et le sous-sol (22,5%), les lacs, rivières et fleuves (0,3%) et l'atmosphère (0,03%).

Les volumes (en km<sup>3</sup>) de l'eau dans ses différents états s'établissent ainsi :

- eaux salées : mers, océans, lacs : 1 304 000 000
- eau douce utilisable : glaciers et calotte polaire : 29 500 000
- eaux souterraines                    4 000 000 (jusqu'à 800 m de profondeur)  
    4 600 000 (de 800 à 6000 m de profondeur)
- humidité du sol                        66 000
- fleuves et rivières                    1 250 (35 000 par an)
- lacs                                        124 000
- humidité atmosphérique            13 000

Les précipitations annuelles moyennes sont estimées sur les océans à **870 mm** pour **970 mm** d'évaporation et sur les continents à 670 mm pour une évaporation de **420 mm** et un écoulement de **250 mm**.

### 1.2.1.2 Le cycle de l'eau [ 6 ]

Les transformations de l'eau sous ses différents états sont organisées dans le cycle de l'eau qui comprend différents processus : (Figure I-2-2).

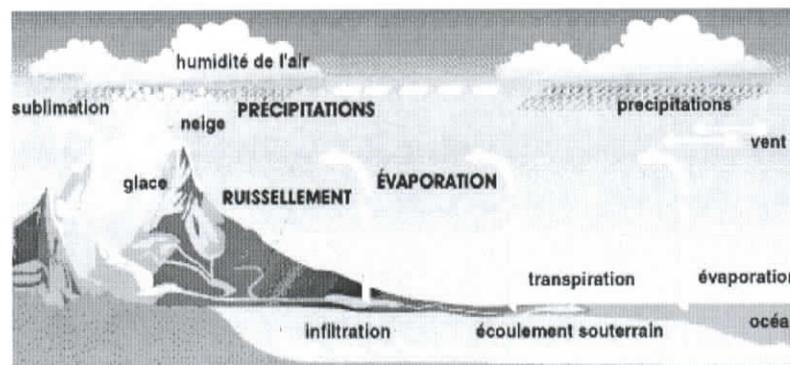


Figure I.2.2 : Le cycle de l'eau

Le bassin versant d'une rivière est la zone à l'intérieure de laquelle l'eau précipitée s'écoule et converge vers la rivière. L'exutoire d'un bassin versant est l'endroit de la rivière vers lequel s'écoule l'eau en provenance du bassin.

Le bilan hydrologique d'un bassin versant peut s'exprimer schématiquement par l'équation suivante :

$$P = E + R + I$$

dans laquelle P, E, R, I, et U sont des volumes d'eau correspondant à :

- P : eau précipitée ;
- E : évapotranspiration réelle ;
- R : ruissellement ;
- I : pertes par infiltration profonde ;

Chacun des termes du bilan hydrologique est naturellement pondéré par divers paramètres climatiques et géographiques et aura donc une importance variable selon la région considérée comme le relief qui conditionne le pouvoir précipitant des masses nuageuses.

## 1.2.2 LES PRÉCIPITATIONS

Les précipitations constituent la principale « entrée » des principaux systèmes hydrologiques continentaux que sont les bassins versants. Ce sont l'ensemble des eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle) et les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,...). Elles sont provoquées par un changement de température ou de pression. Les précipitations sont un des processus hydrologiques les plus variables. D'une part, elles sont caractérisées par une grande variabilité dans l'espace et ceci quelle que soit l'échelle spatiale prise en compte (régionale, locale, etc.).

### 1.2.2.1 Les types de précipitations [7]

Les précipitations peuvent être classées en trois principaux types :

- Précipitations cycloniques :

Ce type de précipitation est associé aux surfaces de contacts entre les masses d'air de température et d'humidité différente. A l'endroit où ces masses d'air se rencontrent (régions de convergences), de gigantesques tourbillons se produisent et les masses les plus chaudes et les plus humides, donc les plus légères, sont énergiquement poussées en altitude.

Il en résulte un refroidissement adiabatique et une condensation. Généralement, le phénomène cyclonique produit des précipitations importantes et prolongées. Les étapes de formation d'un cyclone peuvent être visualisées à la figure I-2-3

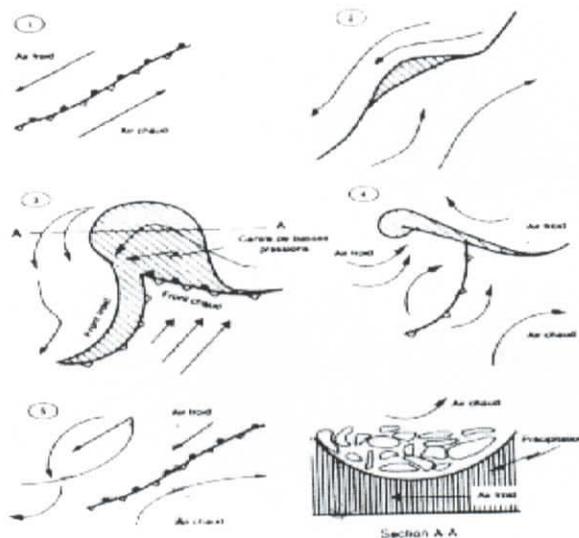


Figure I-2-3 : Précipitations cycloniques

- Précipitation de convection :

Par temps calme, lorsque l'air (saturé ou non) au voisinage du sol est chauffé par la radiation solaire, des masses d'air se dilatent et s'élèvent. Au cours de leur ascension, elle se refroidisse adiabatiquement et atteignent leur point de condensation. La durée de ce type de précipitation est assez courte, moins d'une heure, mais son intensité est très grande ; elle peut atteindre facilement 8 à 10 cm/h.

- Précipitation orographique :

Lorsque les vents chargés d'humidité, soufflant ordinairement des océans vers la terre, abordent une zone montagneuse, les masses d'air humide ont la tendance à s'élever, et la détente qui en résulte produit un refroidissement adiabatique.

### 1.2.2.2 Les lois de la pluviosité

L'expérience a montré qu'il était acceptable d'utiliser quelques lois empiriques résumant les tendances générales tirées de l'analyse de nombreux relevés pluviométriques.

#### □ **Relation entre les précipitations et le relief: [7]**

Les précipitations augmentent en général avec l'altitude. L'augmentation de précipitations pour un mètre d'élévation s'appelle gradient hypsométrique de précipitations.

L'avantage de cette méthode par rapport à la méthode précédente est qu'elle prend en considération la distribution géographique des stations, mais elle est assez difficile à appliquer.

◆ La méthode de Thiessen

La méthode des polygones de Thiessen (Figure : I-2-5) évalue la hauteur moyenne des précipitations sur un bassin d'après la moyenne pondérée des enregistrements pris dans plusieurs stations. Le facteur de pondération d'une station est la superficie du polygone formé par des médiatrices des segments d'union entre cette station et les stations avoisinantes. Le polygone peut aussi être limité par les frontières physiques du bassin. La hauteur moyenne des précipitations est :

$$P = \frac{\sum s_i h_i}{A}$$



Figure : I-2-5 les polygones de Thiessen

Où :

$A$  : superficie totale du bassin,

$s_i$  : superficie du polygone de la station  $i$ ,

$h_i$  : hauteur enregistrée sur cette station.

C'est une méthode facile à appliquer comparée à la méthode des isohyètes.

◆ Méthode des deux axes

Cette méthode repose sur l'hypothèse que l'importance relative d'une station dans l'évaluation de la hauteur moyenne de pluie dépend de la proximité de la station par rapport au centre géographique du bassin. Ce centre géographique est défini par l'intersection de deux axes obtenus de la façon suivante :

On trace une ligne droite allant du point le plus bas du bassin (embouchure) jusqu'au point le plus éloigné suivant le cours d'eau principal et sa prolongation virtuelle (ligne AB). Par la suite, on trace la médiatrice CD de ce segment ; la partie de médiatrice comprise entre les

limites du bassin est l'axe mineur. Finalement, le segment de médiatrice de cet axe, à l'intérieur du bassin, est l'axe majeur EF (Figure I-2-6).

Soit M une station pluviométrique ; son coefficient de pondération, d'après cette méthode, est proportionnel à  $\alpha_i$  formé par le point M et les extrêmes les plus éloignés des axes.

$$\omega_i = \alpha_i \left( \sum_{k=1}^N \alpha_k \right)^{-1}$$

$\omega_i$  = coefficient de pondération pour une station pluviométrique i ;

N = nombre total de stations.

Les précipitations moyennes sur le bassin seront :

$$P = \sum_{k=1}^N \omega_k P_k$$

$P_k$  étant les précipitations enregistrées sur la station k.

On voit donc que l'application de la méthode requiert uniquement les mesures des distances entre chaque station et les extrémités les plus éloignées des axes, ainsi que les distances entre les extrémités de ces axes. Les résultats de cette méthode sont très comparables à ceux des méthodes précédentes ; toutefois, elle est plus facilement utilisable que les méthodes des isohyètes et de Thiessen, et peut même tenir compte de stations très éloignées du bassin. De plus, elle peut être programmée sur ordinateur.

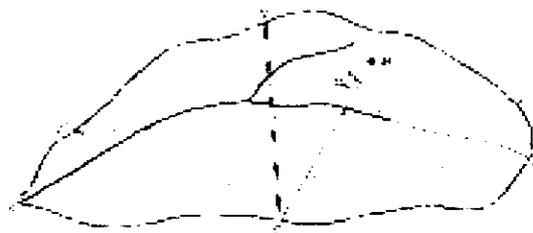


Figure : I-2-6 : Méthode des deux axes

#### 1.2.2.4 Réseau pluviométrique [7]

La densité du réseau pluviométrique dans un bassin versant est primordiale pour l'analyse des précipitations

Il existe quatre méthodes principales pour définir le réseau pluviométrique optimal dans une région. Elles sont appuyées sur les concepts suivants :

- ▶ L'expérience internationale ;
- ▶ Les objectifs principaux de l'information obtenue ;
- ▶ Les caractéristiques hydro-météorologiques dominants dans la région couverte par le réseau ;
- ▶ L'information précise fournie par chacune des stations.

Un réseau pluviométrique de densité raisonnable l'OMM le préconise pour les régions montagneuses méditerranéennes de 100 à 200 km<sup>2</sup> par station.

### 1.2.2.5 Apport de l'analyse statistique [9]

Pour caractériser un régime de pluie, on utilise quelques outils statistiques dont :

- ▶ Moyenne arithmétique

Caractéristique centrale la plus utilisée, la moyenne arithmétique d'une série de valeurs numériques  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , de la variable  $X$  est, par définition : le quotient de la somme de ces valeurs par leur nombre ( $N$ ) ; on la note habituellement par le symbole  $\bar{x}$ .

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N}$$

- ▶ Les quantiles

Soit la variable aléatoire  $X$ , qui suit une loi de probabilité donnée. La probabilité  $p$  que cette variable  $X$  prenne une valeur inférieure ou égale à la valeur numérique  $x_p$  s'écrit :

$$F(x_p) = \text{Prob}(X \leq x_p) = p$$

On définit le quantile  $x_p$  comme la valeur numérique prise par la variable  $X$  pour la probabilité de non dépassement  $p$ .

La médiane est le quantile  $x_{0.5}$  : 50% des réalisations de la variable sont inférieurs à la valeur médiane.

Les quantiles  $x_{0.25}$  et  $x_{0.75}$  sont des quantiles : un Quart de l'effectif de la variable est inférieur à  $x_{0.25}$ , trois quarts sont inférieurs à  $x_{0.75}$ .

► L'écart- type

L'écart- type mesure la dispersion des données par rapport à la moyenne :c'est la racine carrée de la somme du carré des écarts ou encore, la racine carrée de la variance, qui est donnée par la formule suivante :

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2$$

avec :

$\sigma$  : l'écart- type

$n$  : le nombre d'observations.

$x_i$  : les valeurs observées

$\bar{x}$  : la moyenne arithmétique

► Le coefficient de variation(Cv)

C'est le rapport entre l'écart –type et la moyenne ;il permet de comparer la dispersion des séries statistiques autour de la moyenne, relevée dans des conditions différentes.

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}}$$

► La moyenne mobile

« Une série chronologique étant donnée, celle–ci présente des irrégularités qu'il faut faire disparaître si l'on veut mieux voir l'allure générale des faits. Le procédé des moyennes mobiles consiste à remplacer chaque terme de la série donnée par la moyenne arithmétique d'un certain nombre d'entre eux. Par exemple, le chiffre brut relatif à une année est remplacé par la moyenne arithmétique des données relatives à un nombre impair d'années consécutives, celles-ci étant choisies de sorte que l'année correspondant au chiffre remplace occupe le milieu de l'intervalle formé par ces années consécutives ; nous avons ainsi une nouvelle série qui exprime la tendance débarrassée des variations cycliques ».

► Régression linéaire

La régression linéaire simple est une analyse de la régression où la variable dépendante Y dépend linéairement d'une seule variable indépendante X.

La régression linéaire simple à pour objet, non seulement d'estimer la fonction de régression relative au modèle choisi, mais également de tester la fiabilité des estimations obtenues.

Si la représentation graphique des valeurs  $(X_i, Y_i)$  de ces deux variables montre une concentration de points autour d'une droite, on peut en déduire qu'il existe une corrélation linéaire simple entre ces variables. Cette droite est appelée la droite de régression.

En se basant sur les données d'un échantillon, l'analyse de la régression cherche à déterminer une estimation d'une relation mathématique entre deux variables ou plus.

Le but est d'estimer les valeurs d'une des variables à l'aide des valeurs de l'autre (ou des autres). L'équation de la droite de régression s'écrit comme suit (pour une seule variable explicative et une variable à expliquer) :

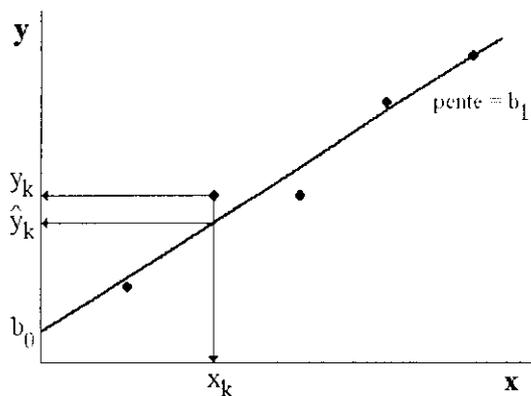
$$Y = b_1 X + b_0 \dots \dots \dots (1.2.1)$$

«  $b_1$  » est le coefficient de régression de Y en x et «  $b_0$  » l'ordonnée à l'origine. Pour calculer le coefficient  $b_1$ , on peut utiliser, notamment la méthode des moindres carrés, qui consiste à rendre minimale la somme des carrés des distances des points à la droite de régression. Les formules qui donnent les coefficients  $b$  et  $a$  sont présentées ci-dessous :

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2} \dots \dots \dots (1.2.2)$$

$$b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x} \dots \dots \dots (1.2.3)$$

$\bar{x}$  et  $\bar{y}$  sont les moyennes arithmétiques des variables x et y pour chaque échantillon de taille n.



- Le coefficient de corrélation

Le coefficient de corrélation est une estimation numérique de la liaison linéaire qui existe entre deux ou plusieurs variables aléatoires. Le coefficient peut être compris entre +1 et -1 .

+1 = corrélation positive parfaite( les variables varient dans le même sens) ;

0 = corrélation nulle ;

-1= corrélation négative ou indirecte parfaite(les variables varient en sens opposé).

Soit deux variables aléatoires x et y, leur coefficient de corrélation est donné par la formule suivante :

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n\bar{x}\bar{y}}{nS_x S_y} \dots\dots\dots(1.2.4)$$

où  $S_x$ ,  $S_y$ ,  $\bar{x}$  et  $\bar{y}$  sont respectivement : Les écart type de x et de y, et leurs moyennes.

Interprétation générale :

$R \leq 0.20$  : corrélation trop basse, en pratique considérée comme nulle ;

$R = 0.20 \text{ à } 0.40$  Corrélation basse ;

$R = 0.40 \text{ à } 0.60$  : corrélation plus marquée, mais elle ne permet pas encore de conclusion solide ;

$R = 0.60 \text{ à } 0.80$  : bonne corrélation ;

$R \geq 0.80$  : corrélation élevée.

Ces indications ne constituent que des points de repère grossiers et, utilisés telles quelles, elles peuvent conduire à des interprétations erronées. Une corrélation basse peut revêtir une signification statistique que des tables permettent d'établir aisément.

La signification d'une corrélation varie d'ailleurs considérablement selon le nombre de variables considérées.

- Signification du coefficient de corrélation

Pour apprécier la signification d'un coefficient de corrélation, on peut utiliser, notamment le test de Student-Fisher en calculant le coefficient de corrélation théorique :

$$R_{1-\frac{\alpha}{2}} = \frac{t_{1-\frac{\alpha}{2}}}{\sqrt{n-2+t_{1-\frac{\alpha}{2}}^2}} \dots\dots\dots(1.2.5)$$

avec :

$n$  : La taille de l'échantillon.

$n-2$  : Le nombre de degré de liberté.

$t_{1-\frac{\alpha}{2}}$ : La variable t de Student, calculée pour un seuil de probabilité  $\alpha$ .

$R_{1-\frac{\alpha}{2}}$  :Le coefficient de corrélation, calculée pour un seuil de probabilité  $\alpha$ .

Les tables de Student donnent la variable t en fonction du nombre de degré de liberté et de la

Probabilité ( $1-\frac{\alpha}{2}$ ) ceci permet d'obtenir un coefficient de corrélation supérieur au coefficient effectivement trouvé. En considérant comme hypothèse nulle une absence totale de corrélation entre les deux variables, ainsi, nous accepterons le coefficient de corrélation calculé si la probabilité qu'il soit atteint par le seul fait du hasard est faible.

## CHAPITRE 1 : CADRE DE L'ETUDE

### 2.1.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le bassin versant de la Soummam, porte le N°15 selon la codification de l'ANRH. Il se situe dans la partie Nord-Est de l'Algérie, entre les méridiens 3°38' et 5°38', et les parallèles de 35°45' et 36°45' (Figure II-1-1).

Le bassin couvre une superficie de 9100 Km<sup>2</sup> de forme irrégulièrement étirée dans la direction Est-Ouest est accède à la méditerranée par le golf de Bejaia.

Dans la partie Nord, le bassin est délimité par la chaîne du Djurjura et ses contreforts qui s'étendent jusqu'à la mer.

La limite Est, pour sa plus grande part est constituée par des élévations de faible altitude qui séparent le bassin du plateau de Constantine.

La limite Sud-ouest est constituée d'une succession de petites crêtes :

- Dj Dira(1810 mètres)
- Dj Choukchot(1832 mètres)
- Dj Mansoura(1882 mètres)



FIGURE : II-1-1 : SITUATION GEOGRAPHIQUE DU B.V DE LA SOUMMAM ECHELLE : 1/1.000.000

### 2.1.3.1 Paramètres géométriques

D'après l'A.N.R.H la superficie et le périmètre du bassin versant sont respectivement déterminés sur cartes topographiques qu 1/500.000 en utilisant le planimètre et le curvimètre :

- La superficie : 9100 Km<sup>2</sup>
- Le périmètre : 554 Km

### 2.1.3.2 Paramètres de relief

L'influence orographique à l'échelle d'un bassin versant est généralement appréciée par l'établissement de la courbe hypsométrique.

#### A. Etablissement de la courbe hypsométrique. [10]

Elle se définit comme étant la courbe donnant la répartition des altitudes en fonction des pourcentage cumulés des superficies (Figure II-1-2). Celle ci permet de calculer :

- L'altitude moyenne et l'altitude la plus fréquente
- L'indice de pente globale.

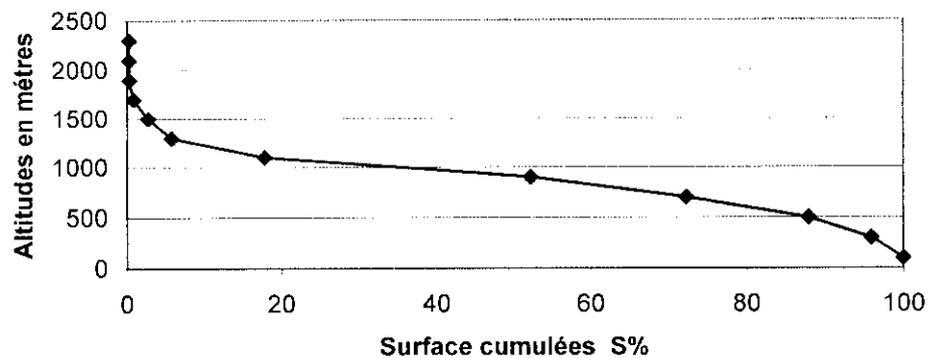
Les surfaces  $S_i$  sont obtenues par carroyage Lambert.

$S_i$  : maille carrée de 1 cm<sup>2</sup> de surface soit 25 km<sup>2</sup> à une échelle au 1/500.000

CLASSE DES ALTITUDES	$s_i$ CM <sup>2</sup>	$H_i$	$s_i H_i$	$S_c\%$	$s_c$ KM <sup>2</sup>
2-200	15	100	1500	100	9100
200-400	29	300	8700	95.88	8725.08
400-600	57	500	25800	87.91	7999.81
600-800	73	700	55100	72.25	6574.75
800-1000	125	900	112500	52.19	4749.29
1000-1200	44	1100	48400	17.86	1625.26
1200-1400	11	1300	14300	5.77	525.07
1400-1600	7	1500	10500	2.73	248.43
1600-1800	2	1700	3400	0.82	74.62
1800-2000	0	1900	0	0.27	24.57
2000-2200	0	2100	0	0.27	24.57
2200-2400	1	2300	2300	0.27	27.57
<b>Somme</b>	364		285200		

Tableau N° II-1-1 : Répartition hypsométrique du bassin versant de la Soummam

Figure 2-1-2: Courbe hypsométrique du bassin versant de la Soummam



### B. Altitude moyenne

Cette altitude peut être obtenue de deux manières :

1) **Graphiquement** : cette méthode consiste à :

- planimétrer la surface AOB comprise entre les axes X,Y et la courbe hypsométrique.
- diviser la surface AOB par le segment OB.
- déterminer la valeur du rapport  $\frac{AOB}{OB}$  qui reportée sur l'axe des ordonnées donne la valeur de l'altitude moyenne.

$$AOB=64 \text{ cm}^2$$

$$OB=22.6 \text{ cm}$$

$$Y = \frac{AOB}{OB} = 2.84$$

L'altitude moyenne est alors égale à 708m.

2) **Par calcul** :

L'altitude moyenne est obtenue par la relation suivante :  $\overline{HI} = \frac{\sum s_i h_i}{\sum s_i}$

$$\overline{HI} = 783.52 \text{ m}$$

### ***C. Altitude la plus fréquente***

Le tableau II-1-1 montre que l'altitude la plus fréquente est comprise entre 800 et 1000 mètres. Elle est en moyenne d'environ 900mètres.

### ***D. Altitude de fréquence 1/2***

Elle correspond à la médiane de la courbe hypsométrique, et permet d'avoir une idée sur l'asymétrie du relief.

$$H_{1/2} = 725\text{m}$$

### ***E. Altitude maximale et altitude minimale***

Elles sont directement obtenues sur cartes topographiques.

$$H_{\max} = 2308\text{m}$$

$$H_{\min} = 2\text{m}$$

### **Remarque**

l'altitude de fréquence  $\frac{1}{2}$  est inférieur à l'altitude moyenne, le bassin présente donc une légère dissymétrie vers les faibles altitudes.

### ***F. Indice de pente globale***

Il est obtenu grâce à la relation suivante :  $I_g = D / L_{r.e}$

Où : D représente la dénivelée ou la différence H5% - H95%.

$L_{r.e}$  est la longueur du rectangle équivalent en kilomètre.

$$I_g = 4,6 \cdot 10^{-3} = 0.46\%$$

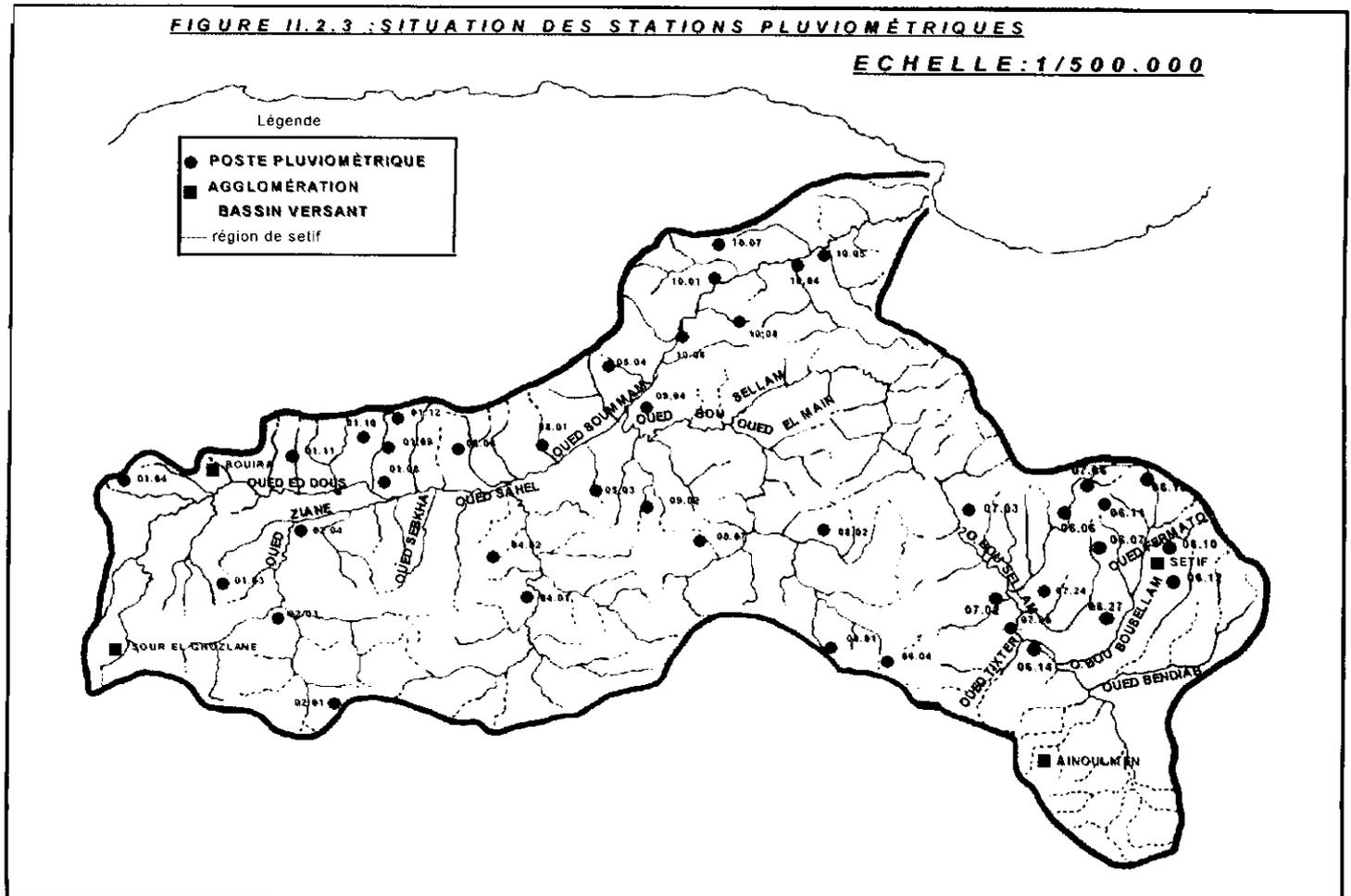
Le bassin versant de la soummam présente une pente relativement faible.

Les observations doivent être aussi exactes que comparables les unes avec les autres; donc synchrones et faites dans les mêmes conditions.

### 2.2.2.1 Choix de la zone d'étude

Pour effectuer une bonne analyse des précipitations, nous avons opté pour la zone qui contient un nombre important de stations comportant le moins de lacunes.

D'après la carte de situation des stations pluviométriques du B.V de la Soummam, fournie par l'A.N.R.H, (Figure : II.2.3), on peut constater que la zone qui répond a ces critères est la région de Sétif, où le réseau pluviométrique est dense.



Les différentes stations pluviométriques, leur coordonnées géographiques et leurs altitudes sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau II.2.1 Stations retenues pour l'étude

N°	CODE	NOM DE LA STATION	NOM DE L'OUED	COORDONNEES		ALTITUDE (M)
				X(KM)	Y(KM)	
1	15.05.01	TAZMALT	SAHEL	652,75	344,25	350
2	15.05.03	IGHIL ALI	SAHEL	658,9	338,95	650
3	15.06.02	AIN OULMENE	EL MALAH	734,3	294,8	960
4	15.06.03	GULLAL	GULLAL	737,1	308,15	908
5	15.06.06	SETIF PC	BOU SELLAM	743,6	323,8	1081
6	15.06.07	AIN ARNAT	BOU SELLAM	734,9	323,55	1100
7	15.06.08	BOUIRA	EL MALAH	732	326,65	1017
8	15.06.09	EL-OURICIA	BOU SELLAM	743,55	334,9	1089
9	15.06.10	FERMATOO	BOU SELLAM	742	328,6	1043
10	15.06.11	MAHOUANE	BOU SELLAM	737,75	332,95	1178
11	15.06.12	SETIF INRA	BOU SELLAM	740,1	321,85	970
12	15.06.13	<i>Zeiri</i>	<i>Bou Sellam</i>	745,7	337,5	1130
13	15.06.14	<i>Tixter</i>	<i>Tixter</i>	715	308,25	956
14	15.06.17	El Hassi	Bou Sellam	747,9	323	1059
15	15.06.19	Setif Marie	Bou Sellam	744,1	324,4	1081
16	15.07.02	<i>Magroua</i>	<i>Bou Sellam</i>	721,05	320,8	740
17	15.07.03	<i>BouBirek</i>	<i>Bou Sellam</i>	689,6	354,5	400
18	15.07.04	Bougaa	Bou Sellam	714,65	339,6	886
19	15.07.06	<i>Ain Abessa</i>	<i>Kraoua</i>	733,1	336,4	1070
20	15.07.07	<i>Bir kasdali</i>	<i>Khellil</i>	709,5	318,4	980
21	15.07.08	<i>Beni Ourtilane</i>	<i>Bou Sellam</i>	693,05	351,45	1020
22	15.07.20	Titest	Sabah	700,2	332,5	1120

### 2.2.2.2 Choix de la période et des stations

Notre objective est donc d'avoir une période significative ,qui comprend le plus de stations possible, et il est nécessaire de disposer des séries d'observation prolongés de 20 a 30 ans pour les précipitations, pour pouvoir en tirer des résultats climatiques valables.

Dans un premier temps nous avons décidé de supprimer les stations qui avaient moins de 10 ans. Dans un deuxième temps celles qui comprennent plusieurs lacunes.

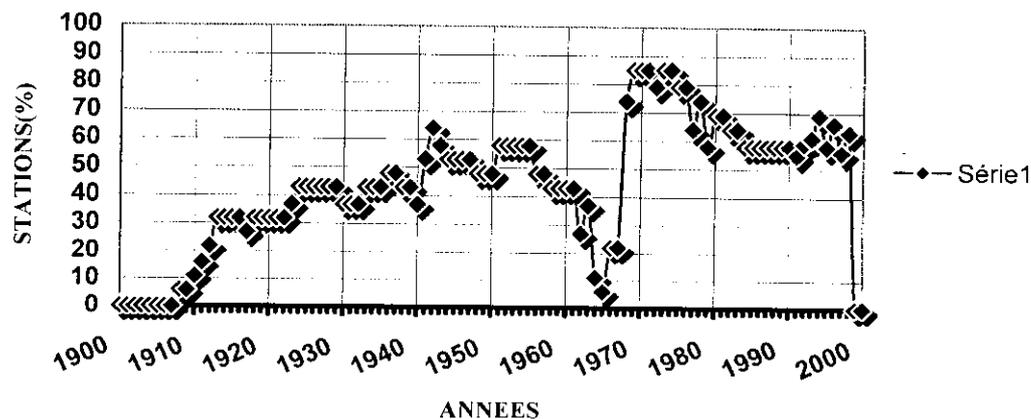
Nous avons ensuite tracé le graphe du pourcentage des stations disponibles de 1990 à 2000 pour déterminer l'intervalle de temps le plus riche en observation (graphe II.2.1).

La figure ci dessus illustre très clairement le manque d'information durant la période 1900-1967 où moins de 60% des stations disposent d'information. ainsi que la période 1999-2000 où moins de 10% des stations disposent d'information.

Nous nous sommes alors résolu à adopter une période de référence trentenaire 1968-1998 (recommandations de l'OMM), ce qui fait un fichier de 16 stations qui ont une bonne répartition spatiale.

La période de référence retenue va alors du 1er septembre 1968 jusqu'au 31 Août 1998.

**Graphique II.2.1: PERIODE DE REFERENCE**



### 2.2.3 CRITIQUE DES DONNEES [10]

#### 2.2.3.1 Matériel

- STATISTICA : Un logiciel de statistique qui nous a permis d'obtenir les matrices de corrélation entre les différentes stations de l'étude.
- HYDROLAB : Un ensemble de macro commande ,de feuilles de calcul et de graphiques du tableur EXCEL qui permettent de réaliser les analyses statistiques élémentaires les plus courantes en hydrologie comme les régressions.

#### 2.2.3.2 Comblement des lacunes par la régression linéaire simple

C'est une méthode souvent appliquée lorsque le nombre de valeurs manquantes est important.

Elle a été appliquée sur toutes les stations pour calculer les coefficients de corrélation interstations, et après nous avons déterminé les équations de régression linéaires qui

correspondent aux plus grands coefficients de corrélation et ça pour chaque mois présentant des lacunes (Annexe1).

D'après Dubreuil, les critères du choix de la série de comblement sont les suivants :

- La série de comblement la plus longue et la plus corrélée avec la série à combler.
- La distance des postes deux à deux (ou en cas d'égalité, leur différence d'altitude, ou de situation géographique).
- la réduction du volume des calculs, si elle peut être consentie sans s'écarter sensiblement du choix dicté par les autres critères.

Il nous reste donc une question: les stations que nous allons étudier sont-elles homogènes ?

### **2.2.3.3 Testes d'homogénéité des Données**

Deux tests sont utilisés pour l'analyse d'homogénéité de séries pluviométriques.

#### ***A. Test des doubles cumuls ou test de double masse. « Double mass curve »***

Le test des doubles cumuls est employé pour évaluer s'il y a lieu de corriger les erreurs symétriques qui auraient pu être introduites à une station par suite d'un mauvais fonctionnement de l'appareil ou d'un changement dans la méthode de mesure.

La courbe des doubles cumuls permet de comparer la tendance des stations voisines par rapport à la station visée. Elle se constitue en traçant le graphe des données des précipitations totales cumulées à la station étudiée par rapport à la moyenne des données cumulées aux stations témoins.

Le test repose sur le principe qu'un changement dû à des causes météorologiques ne changera pas la pente de la courbe, puisque les stations voisines seront affectées de la même façon; ainsi seuls les changements occasionnés par les erreurs systématiques à la station étudiée conduiraient à une variation significative de la pente.

Afin de minimiser l'influence des erreurs systématiques qui existeraient dans l'une ou l'autre des stations témoins, il est préférable d'utiliser au moins 5 stations témoins. Si la courbe présente une cassure, il faut déterminer avant de corriger les données, quelle portion de la courbe est la meilleure d'après l'historique de la station.

Les autres valeurs sont corrigées en prolongeant la courbe la plus fiable selon la formule :

$$P_a = \frac{m_a}{m_o} * P_o$$

Avec :

$P_a$  : précipitation ajustée.

$P_o$  : précipitation observée.

$M_a$  : la pente de la courbe dans la meilleure portion.

$M_o$  : la pente dans la portion à corriger.

#### Analyse des résultats [12]

L'annexe 2 : Montre une bonne linéarité pour la plupart des stations, par contre pour les autres, (par exemple la stations et C15.06.11) on constate des cassures qui impliquent deux hypothèses :

Les totaux annuels de cette station étaient soit surestimés antérieurement à la cassure, soit sous-estimés postérieurement à la cassure. Selon la première hypothèse ,il faut multiplier les hauteurs annuelles d'avant la cassure par le rapport  $m'/m$ , alors que selon la deuxième ,il faut leur affecter l'inverse de ce rapport. L'absence d'archives ne permet de tirer aucune conclusion précise sur les causes d'anomalie, alors dans la mesure où la période antérieure à la cassure est la plus longue, on a jugé plus raisonnable de corriger la période postérieure à la cassure .

De la même façon ,les autre série comportant des anomalies ont été homogénéisées

#### ***B. Test du cumul des résidus.***

Par hypothèse la distribution des deux variables  $x$  station à étudier et  $y$  station témoin est normale.

Sept paramètres caractérisent cette loi

- Moyenne

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i \dots\dots (II.2.1)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum y_i \dots\dots (II.2.2)$$

$x_i$  : série d'observation de la station à étudier ;

$y_i$  : série d'observation de la station témoin ;

$n$  : taille de l'échantillon.

- Ecart type

$$\sigma_x = \left[ \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2} \dots\dots II.2.3$$

$$\sigma_y = \left[ \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]^{1/2} \dots\dots II.2.4$$

- Coefficient de corrélation :

$$r = \frac{\sum x_i y_i - n\bar{x}\bar{y}}{n\sigma_x\sigma_y} \dots\dots II.2.5$$

Une estimation de la régression de la station témoin est donnée par l'expression :

$$\bar{y}_x = a\bar{x} + b \dots\dots II.2.6$$

$\bar{y}_x$  : moyenne conditionnelle des  $y$  liées par  $x$  ;

$a$  et  $b$  : constantes de régression.

$$\varepsilon = y - \bar{y}_x \dots\dots II.2.7$$

$\varepsilon$  : erreur résiduelle devant être distribuée selon une loi normale de moyenne nulle et d'écart type :

$$\sigma_{yx} = \sigma_y(1-r^2)^{1/2} \dots \text{II.2.8}$$

$\sigma_{yx}$  : écart type conditionnel des Y liées par x

Soit  $Z_i$ , le cumul des résidus de régression donné selon une loi de Gauss de moyenne nulle et d'écart type :

$$\sigma_z = \sigma_{yx} \left( \frac{i(n-i)}{n-1} \right)^{1/2} \dots \text{II.2.9}$$

tel que :

$$z_i = \sum_{j=1}^i \varepsilon_j \dots \text{II.2.10}$$

n : taille de l'échantillon ;

$Z_i$  : cumul des résidus de régression ;

$\varepsilon_i$  : résidu de régression.

Si nous calculons tous les  $Z_i$  dès que  $|z_i \sigma_z \geq 2.33|$  cela signifie qu'il y a moins de 2% de chance que le cumul des  $i$  premiers résidus soit du hasard.

Il est donc judicieux de vérifier qu'une erreur systématique n'existe pas sur ces valeurs  $|z_i \sigma_z \geq 2.33|$  (variable réduite de  $Z_i$ .)

Un intervalle de confiance fixé à 98 %, est représenté par une ellipse de grand axe n et de petit axe  $2u.n\sigma_\varepsilon/(n-1)^{1/2}$  appelée ellipse de bois.

#### Analyse des résultats :

Grâce au logiciel HYDROLAB nous avons pu obtenir les ellipse de bois (Annexe2). On remarque que les séries ne représentent pas d'anomalies, du fait que les valeurs se trouvent à l'intérieur de l'ellipse.

**2.2.3.4 Analyse statistique des séries. (Test d'ajustement) :[11]**

L'analyse statistique d'un échantillon consiste à déterminer la fonction de distribution de la variable qu'il représente.

La plupart des variables hydrologiques sont d'une dimension infinie. Pour calculer leur fonction de distribution correspondante, on dispose uniquement d'une série d'observation (échantillon) limitée dans le temps ou dans l'espace. Il faut donc faire particulièrement attention, afin de minimiser le risque d'une extrapolation optimiste ou inappropriée.

le test comprend deux étapes : d'une part l'ajustement c.à.d la recherche de la distribution de probabilité s'ajustant le mieux à une distribution observée, d'autre part la critique de l'ajustement ou le test proprement dit, c'est à dire, la comparaison de la distribution théorique et de la distribution observée.

□ **Choix de la loi d'ajustement :**

**A - LOI NORMALE**

La loi normale est une distribution continue qui admet pour fonction :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{u} e^{-\frac{1}{2}u^2} du \dots \text{II.2.11}$$

$$u = \frac{x - \bar{x}}{\sigma_x} \dots \text{II.2.12}$$

$u$  : variable réduite de Gausse

$x$  : variable expérimentale

$\bar{x}$  : moyenne de la série expérimentale

$\sigma_x$  : écart type de la série expérimentale

$F(x)$  : fonction de répartition donnée les tables de l'intégrale de Gausse

Cette loi est symétrique donc moyenne, médiane et mode sont confondus et présente un aplatissement moyen pour  $u=0$ .

Sa densité de probabilité est donnée par :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}u^2} \dots\dots \text{II.2.13}$$

Elle est représentée par une courbe en cloche symétrique par rapport à  $u=0$  avec un point d'inflexion pour  $u=\pm 1$

### Ajustement graphique

- ✓ Calcul des paramètres empiriques

$$1\text{-moyenne} : x = \sum xi/n \dots\dots \text{II.2.14}$$

$x_i$  : totaux annuels des précipitations

$n$  : nombres d'années d'observation

$$2\text{-Ecart type} : \sigma^2 = \sqrt{\frac{\sum (xi - \bar{x}_i)^2}{n-1}} \dots\dots \text{II.2.15}$$

$$3\text{-Variance} : \sigma^2 = \frac{\sum (xi - \bar{x}_i)^2}{n-1} \dots\dots \text{II.2.16}$$

- ✓ Calcul des pluies annuelles par ordre croissant, en leur attribuant des numéros d'ordre compté à partir de 1.
- ✓ calcul de la fréquence expérimentale donnée par :

$$F(x) = (n-0.5)/N \dots\dots \text{II.2.17}$$

$n$  : rang

$N$  : taille de l'échantillon

- ✓ Sur un papier semi-log, reporter  $F(x)$  en abscisses et les valeurs de la précipitation en ordonnées.
- ✓ La droite d'Henry est tracée pour  $F(x)$  en abscisses et les valeurs de la précipitation en ordonnées.

- ✓ La droite d'Henry est tracée pour  $F(x) = 0.5$  et pour deux autres valeurs arbitraires. Elle est donnée par :

$$X = \bar{x} + \sigma \cdot u$$

$\bar{x}$  : moyenne de la série pluviométrique

$\sigma$  : écart type de la série pluviométrique

$u$  : variable réduite de Gauss donnée par les tables

- ✓ Calcul de l'intervalle de confiance qui permet d'explicitier l'importance des erreurs d'échantillonnage (P. Dubreuil). il est donnée par l'expression

$$Ic = \pm 1.64 \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}} \left(1 + \frac{u^2}{2}\right)^2$$

$Ic$  : intervalle de confiance

$N$  : taille de l'échantillon

$\sigma$  : écart type de l'échantillon

$u$  : valeur de la variable centrée réduite de Gauss

## B - LOI NORMALE EN RACINE

L'A.N.R.H préconise deux modèles de distribution : une distribution normale en régime « méditerranéen », une distribution normale racine en régime sub-tropical.

Des études antérieures concernant l'ajustement des séries pluviométrique de la région ( par l'A.N.R.H ) montrent que celles ci s'ajustent mieux à la loi normal en racine. Celle ci n'étant rien d'autre qu'un changement de variable de la loi normale.

Les moyens de calcul à notre disposition maintenant, nous permettent de tester ces deux types de loi sur un très grand nombre de stations. Effectivement ,il nous est apparu, pour notre cas de pluies mensuelles du bassin de la Soummam, que la loi racine-normale apparaissait la plus convenable par apport à la loi normale car elle permettait de rendre compte de la quasi-totalité des séries les plus longues et les plus fiables. (annexe 3)

## CHAPITRE 3 : LA REPRESENTATION NUMERIQUE DU RELIEF

### 2.3.1 INTRODUCTION

Pour réaliser un S.I.G, il faut d'abord un "fond de plan" topographique, sous forme numérique, permettant de situer les données dans l'espace.

### 2.3.2 LA REPRESENTATION DU RELIEF

Une description idéale du relief serait une fonction numérique, qui associerait à chaque point de la surface terrestre une altitude. Cela est actuellement impossible ; en pratique, on cherche à définir une modélisation numérique d'une telle fonction. Classiquement, le relief est représenté grâce à des courbes de niveau (Figure II.3.1), en définissant une équidistance en altitude ;

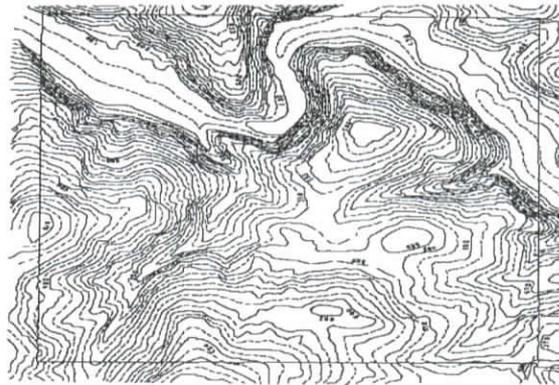
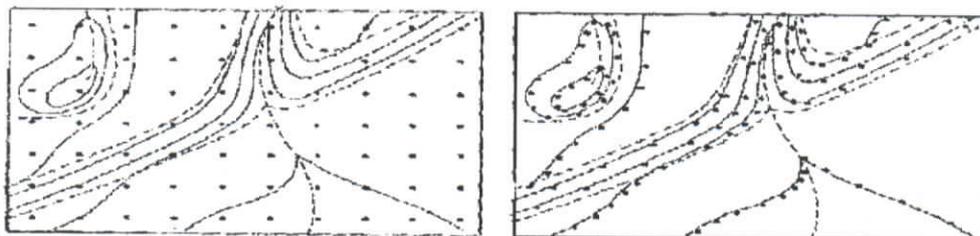


Figure :II.3.1 :Exemple de terrain matérialisé par un fichier de courbes de niveau.

#### 2.3.1.1 LES DIVERSES MANIERES D'ASSURER LA REPRESENTATION NUMERIQUE DU RELIEF

Dans les systèmes informatiques, le relief est représenté par la figure(II.3.2) :



a) Mode raster

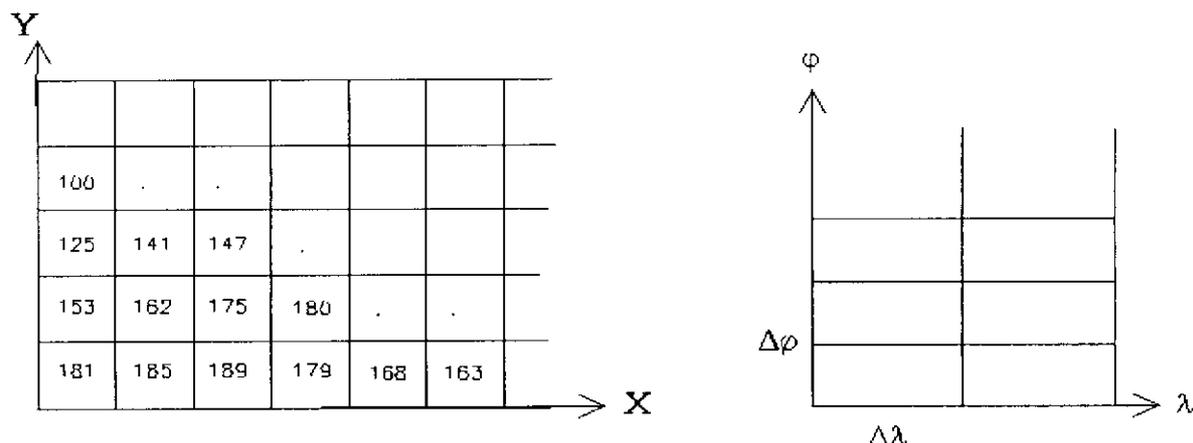
b) Mode vecteur

Figure II.3.2 : Comparaison des modes de représentation du relief

**A. En mode maillé :**

Le mode maillé est représenté par les nœuds d'un réseau. Chaque nœud représente ainsi soit un point physique, soit une certaine surface autour du nœud (Figure II.3.4).

La densité des points enregistrés doit évidemment être adaptée au modèle du terrain pour que le modèle obtenu soit fidèle. Les divers types de paysage et de terrain doivent donc faire l'objet d'une classification (ou plutôt d'une segmentation régionale), avec attribution à chaque région d'une densité de points adéquate. Dans ce cas, les étapes à suivre sont :



**Figure 4 : Représentation en mode maillé (format raster) du modèle numérique de terrain.**

A gauche : système de coordonnées cartographiques ; en général  $Dx = Dy$

A droite : système de coordonnées géographiques ; au fur et à mesure que l'on monte en latitude  $Dl$  change

On divise la représentation cartographique de la surface du terrain en petits carrés en lui superposant une grille régulière ;

Lorsque le pas est défini, chaque nœud de la grille peut être localisé par ses coordonnées en ligne/colonne, en prenant comme origine le coin supérieur gauche de la grille (par exemple) ;

Connaissant le pas de la grille, le nombre de lignes et de colonnes, on range les nœuds par ordre croissant de lignes et en général de colonnes (parfois le sens d'une ligne sur deux est inversé), et on inscrit en mémoire pour chacun d'eux leur altitude.

Une carte maillée à pas très fin est l'une des méthodes qui permet de rendre compte correctement des inégalités du relief .

**B. En mode vecteur :**

Les courbes de niveau numérisées sont représentées par une succession de points à altitude constante, repérés par leurs coordonnées planimétriques (Figure II.3.3) ;

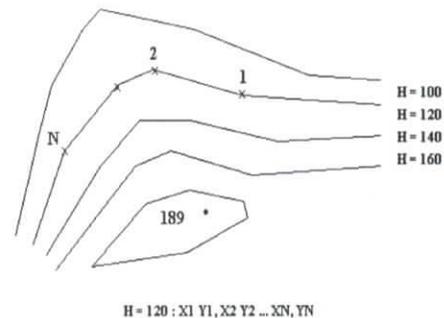


Figure II.3.3 : Représentation en mode vecteur des courbes de niveau avec leur équidistance et des points cotés

La représentation numérique des courbes de niveau en mode vecteur s'effectue de la manière suivante :

Chaque courbe est d'abord saisie grâce à des outils plus ou moins complexes : ligne brisée (seule option possible sur table à numériser) ;

Elle est ensuite discrétisée, c'est-à-dire modélisée par un ensemble de points suffisamment rapprochés les uns des autres pour que la courbe puisse être reconstituée sans trop d'imprécision en joignant deux points contigus par un segment de droite. A l'issue de cette opération, chaque courbe C est représentée par un nombre  $N_c$  de points.

Numériquement, une courbe de niveau C est définie (Figure II.3.3) par :

Son altitude H

- les coordonnées planimétriques de tous ses points :  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_i, y_i), \dots, (x_{nc}, y_{nc})$ .
- Grâce à ces données, un traceur automatique permettra de dessiner la courbe en se déplaçant par tronçons rectilignes d'un point  $(x_i, y_i)$  à son suivant immédiat  $(x_{i+1}, y_{i+1})$ .

Il est évident que la courbe numérique ne peut être parfaitement fidèle à la courbe réelle filée sur le terrain, à cause de la discrétisation.

En fonction de l'échelle de représentation de la carte à produire, il sera souvent nécessaire d'utiliser des techniques de lissage, de généralisation ou de densification cartographique pour améliorer le rendu graphique.

### 2.3.3 MATERIEL ET METHODE

#### 2-3-3-1 MATERIEL :

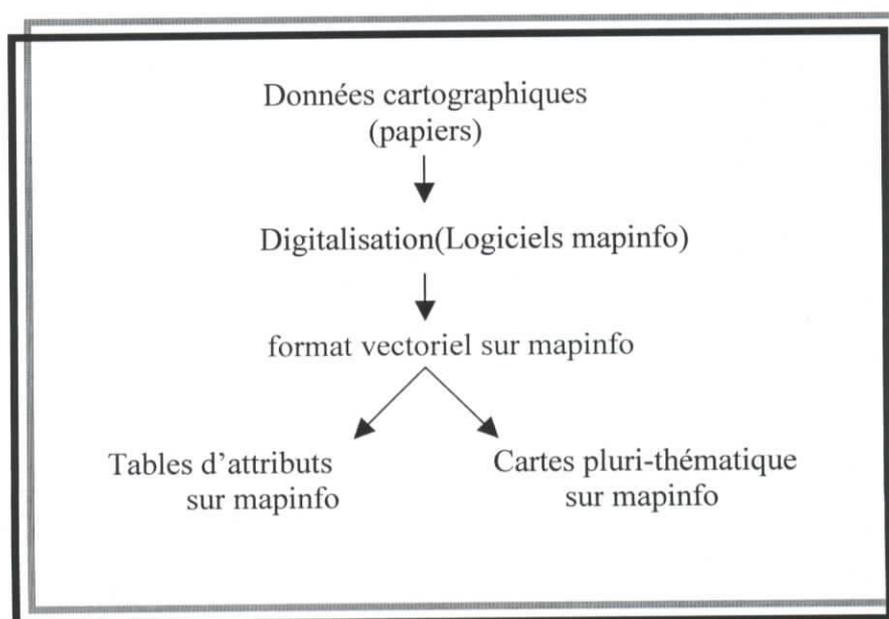
- LA CARTE (VOIR LA CARTE TOPOGRAPHIQUE « SETIF »)

Echelle : 1/50 000 ( l'échelle de référence pour les travaux d'aménagement et de prospection 2 cm sur la carte = 1 km sur le terrain) .

La version calquée est scannée à 100 dpi (dot per inch) pour servir de fond d'écran aux outils SIG.

- LE LOGICIEL

Pour notre étude nous avons utilisé le système d'information géographique qui est le « mapinfo » qui nous a permis de digitaliser la carte et de traiter notre information de manière à restituer une carte de précipitations.



**MapInfo  
Professional**



**MapInfo Professional** est un puissant outil de représentation et d'analyse géographique, MapInfo Professional comporte sa propre base de données. Il peut également interopérer avec les bases de données Access, Oracle ou d'autres. Il vous permet d'effectuer des analyses détaillées et sophistiquées des données, pour mieux comprendre le marché grâce à l'éclairage géographique.

Vous découvrirez les tendances et les modèles qui se cachent derrière ces données.

L'information localisée est essentielle à l'aide à la décision. Elle illustre brillamment vos documents et vos rapports.

Une série de nouvelles fonctions et d'extensions fournies avec la version 6.5 de MapInfo Professional facilitent la cartographie et l'analyse des données à l'échelle du PC ainsi que pour l'ensemble de l'entreprise.

### **Caractéristiques**

- Données géographiques en couches et attribut liés aux objets de la carte
- Cartes thématiques et modèles d'analyses thématiques
- Support d'Internet par des Hotlinks inclus dans la carte pour l'accès direct à des sites web; diffusion de cartes en HTML (ImageMap)
- Légendes cartographiques et thématiques basées sur les données
- Support des images raster y compris les formats BMP, JPG, PCX, TIFF, MrSID, ECW (ER Mapping)
- Outils de géocodage
- Création et sauvegarde de requêtes SQL
- Support de Access 2000, 97 et 95 y compris en multi-utilisateurs
- Recherches géographiques
- Seagate Crystal Reports intégré
- Accès en ligne aux bases de données spatiales
- Gestion des conflits en mode multi utilisateurs
- Enregistrement et gestion des données en local ou sur serveur
- Traducteur universel pour les formats Autodesk, Esri, Intergraph, VPF et SDTS

■

**MapInfo Professional 6.5** : La nouvelle version est déjà disponible en français, en anglais, en allemand et dans plus de 15 autres langues. De nouvelles fonctionnalités rendent MapInfo Professional encore plus performant et convivial : Intégration à Internet, puissantes représentations d'objets composés, compatibilité avec Oracle 8i et 9i Spatial, vues spectaculaires en trois dimensions, gestion avancée de la topologie, etc.

**Les nouveautés de la version 6.5 :**

- ✧ Cartes prismatiques mettant une région de la carte en relief.
- ✧ Support de Oracle 8i et 9i Spatial.
- ✧ Vues stéréoscopiques 3D.
- ✧ Interpolation des grilles.
- ✧ Fonctions topologiques avancées.
- ✧ Création de symboles personnalisés proportionnels à l'échelle.
- ✧ Images raster translucides permettant de les superposer.
- ✧ Objets composés de points multiples ou de polygones et polylignes.
- ✧ Inversion des sélections.

### 2-3-3-2 CHOIX DE LA METHODE

#### A . Méthodologie adoptée

Les courbes de niveau peuvent être numérisées à partir d'une carte papier ou mieux à partir d'une planche-mère orographique ne contenant que la représentation du relief (lignes de courbes de niveau, points cotés...).

Si l'on ne dispose que de la carte imprimée, il sera souvent nécessaire de sélectionner les courbes et de les redessiner sur un calque avant de les numériser.

Pour l'étude, nous avons opté pour une méthode manuelle qui consiste à scanner le document (carte topographique ou planche-mère) qui apparaîtra sur l'écran de l'ordinateur. Lorsque l'on place le curseur de la souris sur un point donné, ses coordonnées sont automatiquement enregistrées et envoyées à l'ordinateur. Elles sont ensuite transformées en coordonnées géographiques ou cartographiques dans la projection voulue, puis stockées en format vecteur sur mémoire magnétique. Il en résulte un fichier en mode vecteur qui, à partir d'un programme d'interpolation, permettra de calculer une grille régulière en mode maillé.

En pratique, plusieurs étapes sont nécessaires :

- "Calage" de la carte : numérisation d'au moins quatre points de référence pour calculer le passage des coordonnées de la carte scannée aux coordonnées réelles avec une transformation affine (translation, rotation, facteur d'échelle) ;
- suivi point à point de chaque courbe identifiée ;
- éventuellement suivi point à point de lignes caractéristiques du relief ;
- vérification du rendu des courbes vectorisées et reprise éventuelle des erreurs ou omissions constatées sur un dessin de contrôle.

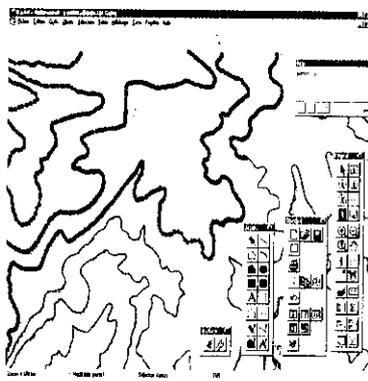


Figure II.3.4 : Numérisation de la région de Sétif

## B . Autres méthodes

Deux types de procédures sont envisageables :

- soit manuellement avec une table à numériser ;

C'est le même principe que précédemment, mais ici la carte est disposée sur une table, reliée à un ordinateur et muni d'un curseur magnétique, comportant une loupe avec mire graduée. Lorsque l'on place le curseur sur un point donné, ses coordonnées-table sont automatiquement enregistrées et envoyées à l'ordinateur (Figure II.3.5).

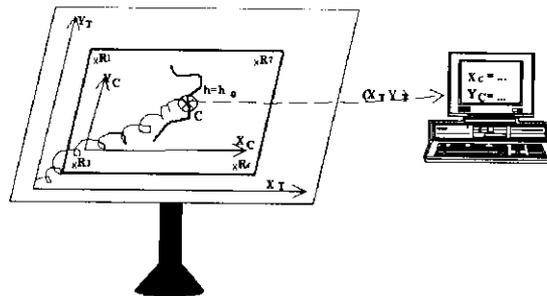


Figure II.3.5 : Numérisation manuelle avec une table à digitaliser

- soit semi-automatiquement par passage sous scanner.

Grâce à un scanner, un document cartographique épuré peut aboutir, après des opérations de labélisation et d'interpolation plus ou moins automatiques, au calcul d'une grille régulière du relief (Figure II.3.6).

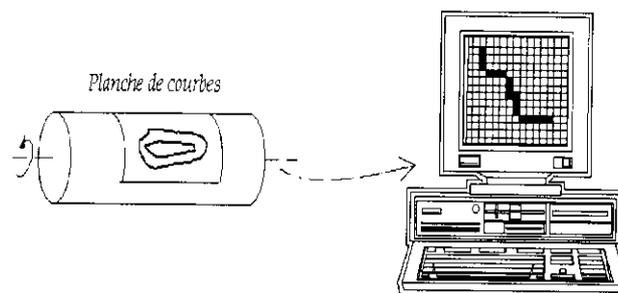


Figure II.3.6 : Fonctionnement d'un scanner à tambour

Pour une plus grande automatisation, le balayage ne se fait qu'à partir d'un document où seules les courbes sont dessinées (par exemple une planche-mère) ; au besoin, elles devront être décalquées sur un film à partir de la carte.

Le scanneur analyse le film "point par point" (en le découpant en petits pavés) ; chaque point selon son ton de gris est codé en "fond" ou "courbe".

L'analyse se fait à une résolution 3 à 4 fois inférieure à la largeur du trait dessiné. Ainsi chaque trait numérisé a une épaisseur. A la fin du balayage, on obtient une image numérique de la planche de courbes en mode maillé.

Les opérations suivantes sont :

- · "nettoyage" du fichier et squelletisation des courbes épaisses (chaque courbe est réduite à sa ligne centrale d'épaisseur 1 pixel) ;
- · "vectorisation" par approximation d'une ligne polygonale ;
- · reconnaissance et cotation des courbes (le scanneur ne peut deviner leur altitude) par méthode semi-automatique et intervention interactive.

La scannérisation est a priori séduisante car la phase de numérisation se fait automatiquement. Cependant les opérations interactives postérieures sont souvent très lourdes

## ANALYSE DE ET INTERPRETATION

### 3.1 INTRODUCTION

Dans cette partie nous avons produit les images de synthèse illustrant les champs pluviométriques sur fond géographique (MNT) à partir des données mesurées par les stations du réseau pluviométrique.

Pour cela nous avons utilisé deux méthodes : Dans un premier temps nous nous sommes intéressé à la « Régression linéaire » ensuite à l'interpolateur linéaire ( Distance inverse).

### 3.2 LE MODELE NUMERIQUE DU TERRAIN

Dans le chapitre précédent nous avons montré les démarches à suivre pour la réalisation d'un MNT.

Pour se faire les S.I.G font appel à une interpolation dite : Triangulaire Interpolation Network (TIN) ou Réseaux triangulaires irréguliers (RTI).

#### 3.2.1 LES TIN (RESEAUX TRIANGULAIRES IRREGULIERS)

Développés par Peucker au début des années 70, ils prennent en compte la variabilité des phénomènes, notamment l'altitude, avec un nombre minimal de points, densifié aux endroits nécessaires. L'objectif initial consistait à construire une surface à partir de points répartis de façon irrégulière. Ils reproduisent au mieux les ruptures de pente, et les talwegs. Les points utilisés dans les RTI doivent caractériser l'aspect du terrain. On doit retirer des points dans les secteurs plats et en ajouter dans les secteurs accidentés. Ces points cotés sont connectés par des segments de droite de manière à former des triangles, formant une surface continue puisque chaque triangle définit une facette adjacente avec celle des triangles voisins.

#### 3.2.2 ANALYSE ET INTERPRETATION

A travers l'analyse du relief (Annexe 4.1,4.2) qui représente l'étape d'interpolation des lignes maîtresses de la carte topographique, on remarque que le relief est constitué de bandes orientées d'Est en Ouest, ce qui est une des caractéristiques de la région Tellienne.

La zone des basses altitudes est située dans la bande inférieure (Sud Est- Sud Ouest), et la zone des hautes altitudes est située dans la bande supérieure (Nord Est- Nord Ouest) ou se situe le bord « en rouge » qui indique le relief le plus élevé (1681 m), dans le même alignement, on trouve les deux monticules, plus ou moins importants par rapport au premier au Nord Est et le Nord Ouest, et au milieu on distingue la bande ou la couleur jaune est prédominante (>1192 m)

### 3.3 REGRESSION LINEAIRE

Lorsqu'un phénomène s'étend sur une vaste surface, de manière apparemment régulière, une méthode consiste à appliquer une équation de régression polynomiale aux observations mesurées de manière à établir un lien mathématique entre les valeurs mesurées et leur localisation spatiale.

Par la suite, en fonction de la position de tout point de la surface, l'équation de régression donne la valeur théorique correspondante.

On applique alors une ligne de régression dont la formule est de la forme

$P(Z) = b_0 + b_1Z$  pour une droite de régression ou :

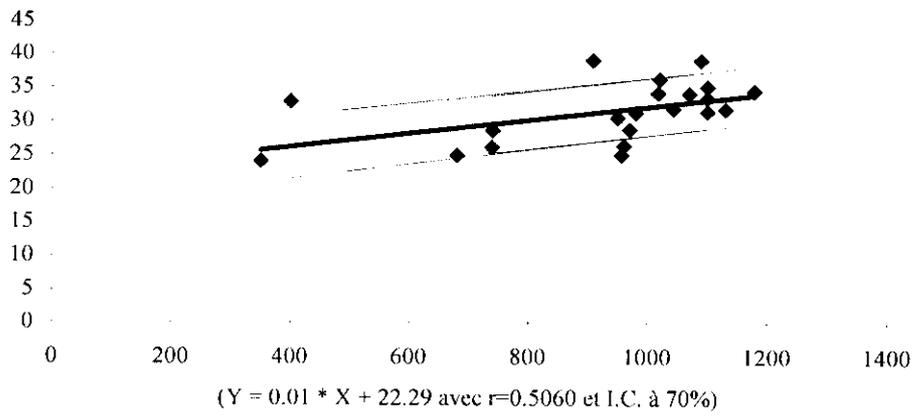
P :précipitation(mm)

z : altitude(m)

Dans notre cas, nous avons appliqué cette méthode pour la restitution des cartes pluviométrique de chaque mois de l'année pour une durée de 30 ans .

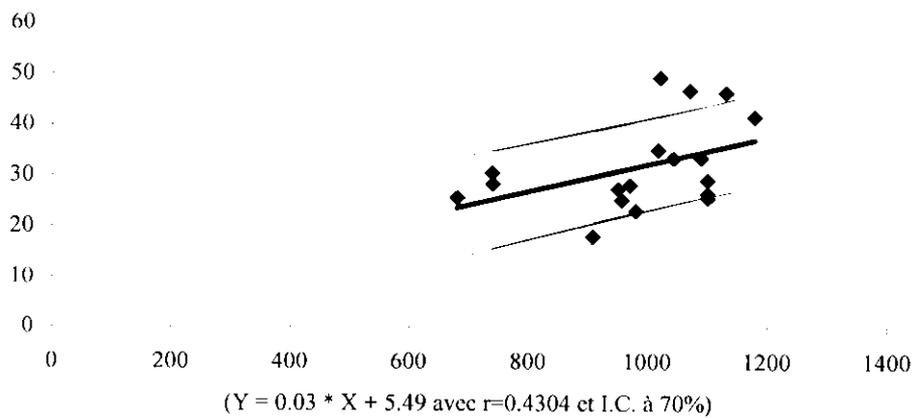
- Mois de septembre

Regression linéaire simple



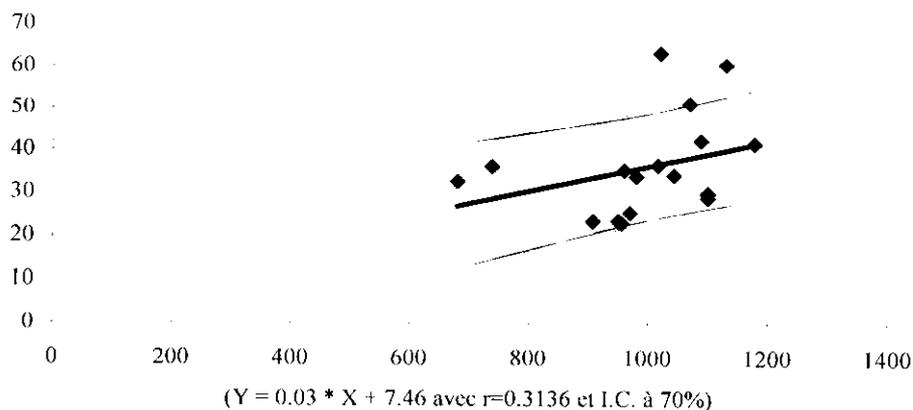
Mois d'octobre

Regression linéaire simple



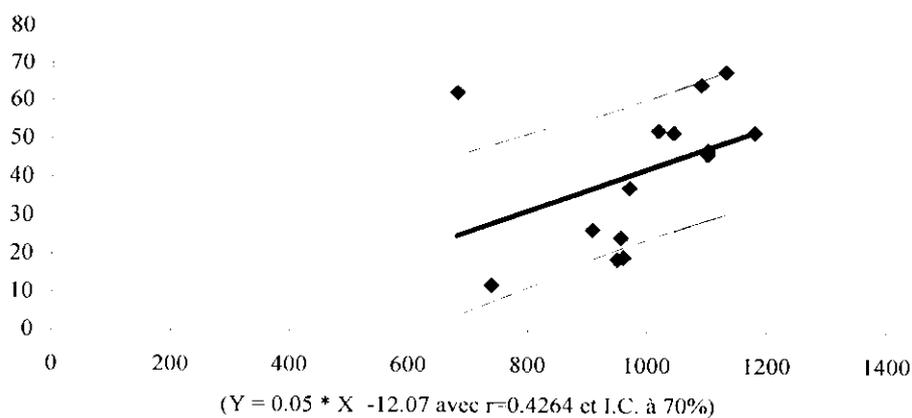
Mois de novembre

Regression linéaire simple



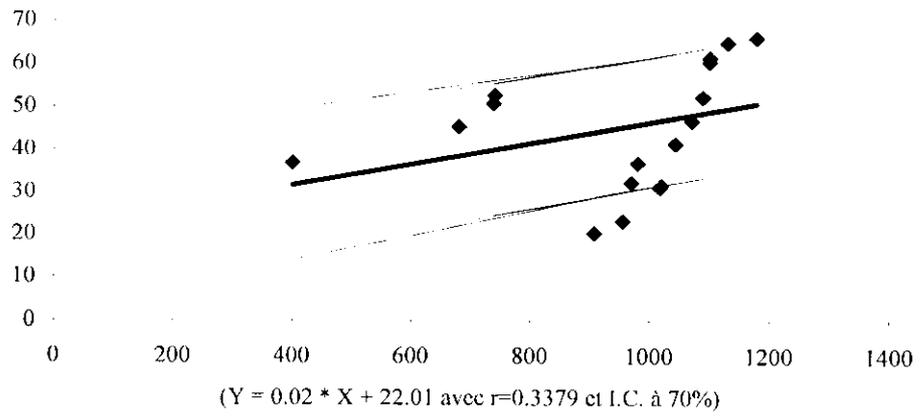
- Mois de décembre

Regression linéaire simple



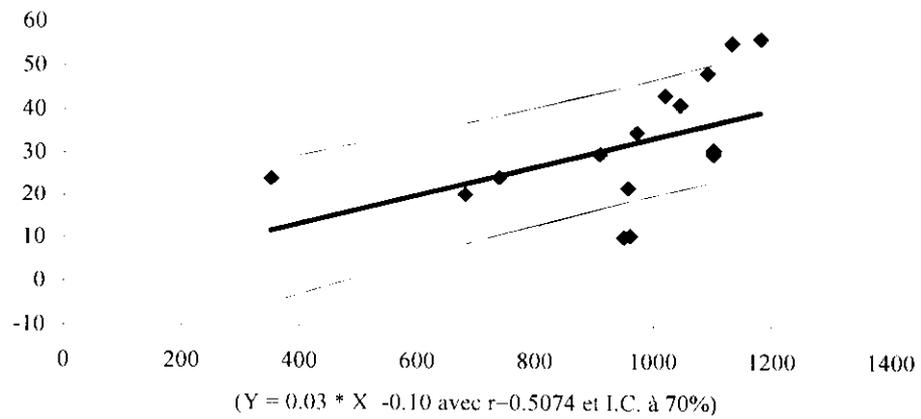
- Mois de janvier

Regression linéaire simple



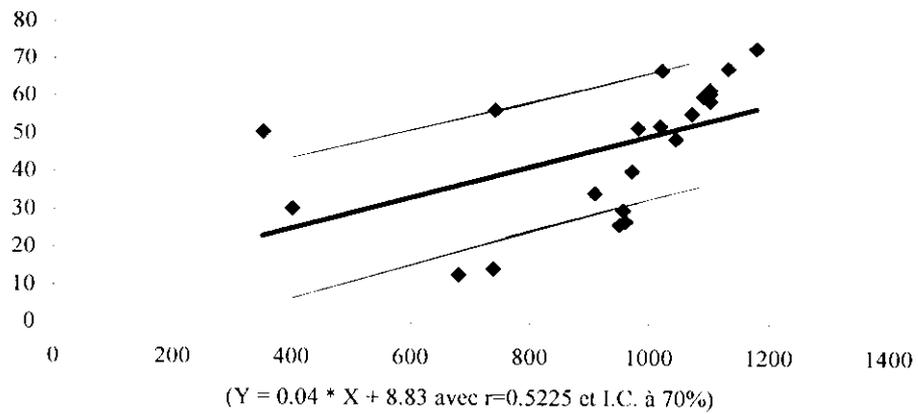
Mois de février

Regression linéaire simple



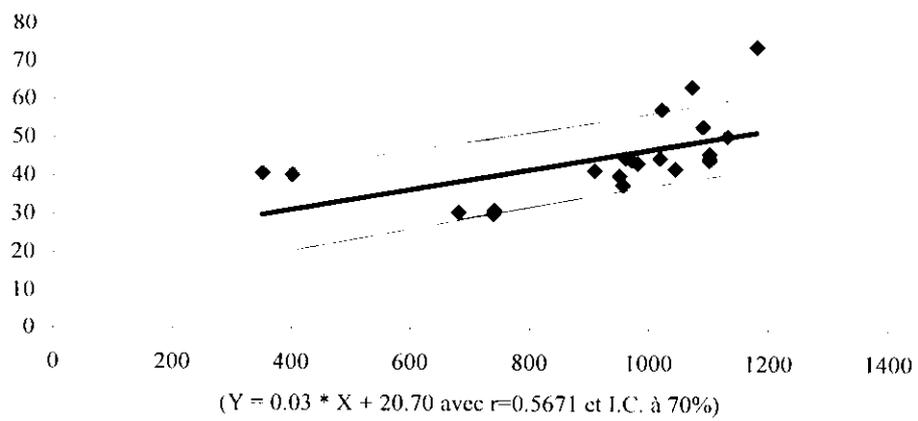
Mois de mars

## Regression linéaire simple



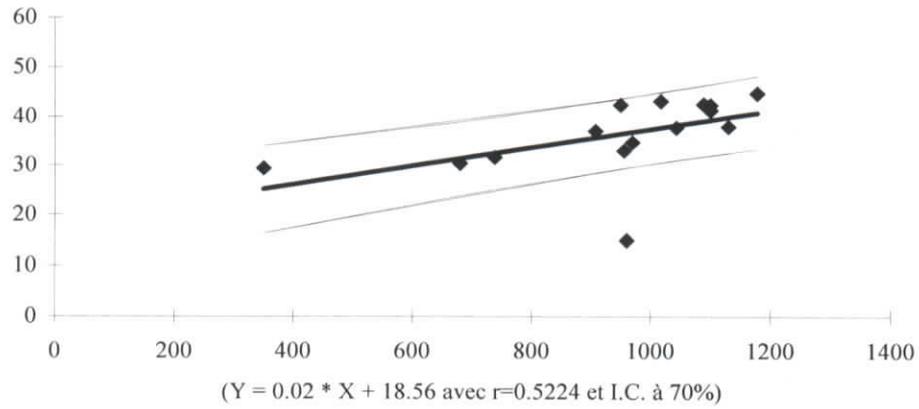
## ▪ Mois de avril

## Regression linéaire simple



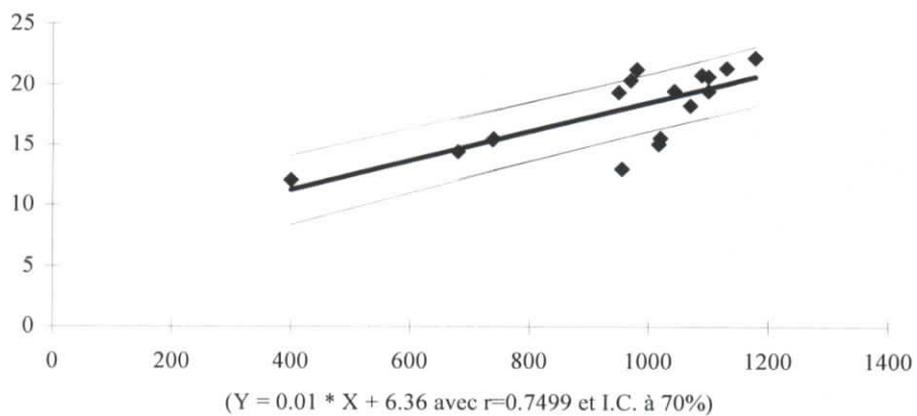
## ▪ Mois de mai

## Regression linéaire simple



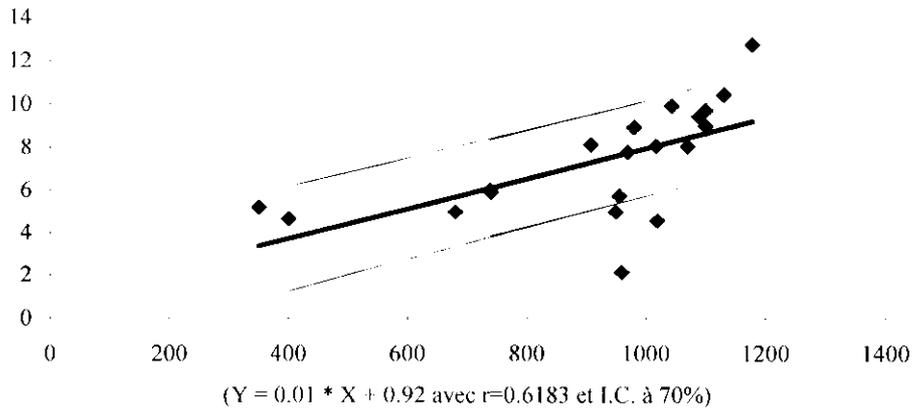
- Mois de juin

## Regression linéaire simple



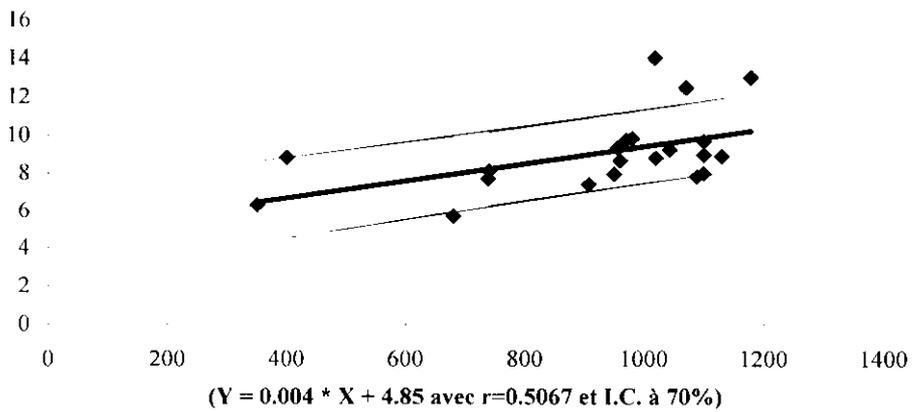
- Mois de juillet

Regression linéaire simple



Mois de août

Regression linéaire simple



### ANALYSE DE LA PREMIERE METHODE : (ANNEXE 5)

Cette méthode tient compte des altitudes ou ces dernières sont intimement liées aux précipitations. L'inconvénient de l'utilisation du « MAPINFO » réside dans le fait qu'il ne peut ajuster la légende à notre goût pour pouvoir comparer entre les différentes cartes obtenues.

On remarque que les reliefs sont proportionnels aux précipitations, mais cette similitude a une intensité qui varie de moins en moins.

Par cette méthode, le partage de l'année en quatre saisons est bien vérifié à travers le comportement pluviométrique durant les différents mois.

Les coefficients de corrélation annuelle ne sont pas toujours représentatifs des conditions pluviométriques réelles du B.V du fait que les régimes climatiques sont très nuancés. Le degré de corrélation est différent d'un mois ou d'une saison à l'autre comme le montrent les graphes. La meilleure corrélation se situe en été (août, juin, juillet) et à la fin du printemps (mai) et la corrélation la moins élevée concerne les mois d'hiver.

#### **3.4 INTERPOLATION SPATIALE.**

Selon les phénomènes étudiés, les méthodes de généralisation des valeurs échantillonnées à des surfaces continues sont variées et plus ou moins complexes. Ce processus est appelé interpolation.

Pour généraliser les valeurs ponctuelles, il faut calculer des valeurs théoriques pour tous les secteurs non échantillonnés: il faut interpoler ces valeurs afin de pouvoir les estimer en tout point de la surface représentée.

##### **3.4.1 METHODE D'INTERPOLATION SPATIALE**

Les méthodes d'interpolation sont nombreuses et diversement complexes parmi elles :

##### **INTERPOLATEURS LINEAIRES. DISTANCE INVERSE**

On calcule pour l'ensemble de la région à l'étude des valeurs réparties sur une grille régulière. Chacune des valeurs est calculée à l'aide d'une fonction d'interpolation linéaire

prenant en compte les valeurs mesurées en fonction de l'inverse de leur distance, avec un facteur de pondération pouvant être ajusté de manière à faire décroître plus ou moins vite la pondération des points en fonction de la distance.

On voit que ce genre d'interpolation est relativement facile à établir mais qu'il est très mal adapté à des phénomènes un tant soit peu irrégulier.

#### ANALYSE DE LA METHODE (ANNEXE 6)

Nous avons tenté d'adopter une deuxième méthode, basée sur la distance, autre que la régression linéaire, à titre de comparaison, mais cette dernière ne tiens pas compte ni de l'altitude ni d'aucun autre facteur influençant la précipitation.

Contrairement à la première méthode, les différentes couleurs qui représentent les altitudes sont beaucoup plus importantes que celles de la régression car elles sont plus étendues par rapport aux limites de l'MNT du fait qu'elles embrassent tout types d'altitudes en le décentrant sans aucune règle.

La comparaison entre la méthode de la régression linéaire et l'interpolation à prouvé que la première est plus fiable par rapport à la deuxième, qui ne tient compte que de la distance. Il serait intéressant d'associer aux cartes de la première méthodes d'autres paramètres régissant la loi de la pluviosité, on cite à titre d'exemple, le facteur d'éloignement de la mer, végétation, exposition des versants,...

## CONCLUSION

Tout au long de ce travail , nous avons tenté une nouvelle approche, afin de déterminer la répartition spatiale au niveau du bassin versant de la Soummam.

Après avoir bien défini les outils de travail : le système d'information géographique , le cadre de notre étude, nous nous sommes intéressés au paramètre « précipitation » et à la relation qui le relie au relief.

Afin d'exploiter les données pluviométriques lacunaires, on a fait appel aux méthodes statistiques, qui nous ont permis d'interpréter et d'analyser les résultats. Enfin, pour mettre en évidence ces résultats, l'élaboration d'un MNT était indispensable.

Les deux approches adoptées (régression et interpolation) ont donné des résultats différents.

Les résultats obtenus, par la méthode d'interpolation se sont avérés peu convainquant par rapport a la méthode de la régression linéaire, cela est du au fait que les autres paramètres qui agissent sur les précipitations n'ont pas été pris en considération.

L'idéal serait d'associer aux cartes obtenues par la méthode de la régression, d'autres paramètres régissant la loi de la pluviosité, par exemple le facteur d'éloignement de la mer, la végétation, l'exposition des versants...etc.



## **Bibliographie :**

- [1] TAPIAU, M, « **L'eau une préoccupation partagée** ». Sciences au sud-  
N° 7, (1 décembre 2000).
- [2] <http://www.uottawa.ca/library/map/gis-f.html>
- [3] <http://www.cnerta.educagri.fr/infogeo/sigcarto/cours/courprot/courfr1.htm>
- [4] OZENDA, P, **La cartographie écologique et ses applications**. Paris :  
**édition Masson**, (1986), p. 159
- [5] <http://inspire.ospi.wednet.edu:8001/curric/weather/adptcty/watrcycl.html>
- [6] <http://www.ac.ucl.ac.be/hydr/cycle.html>
- [7] LIAMAS, **Hydrologie générale : Principes et applications**. 2<sup>ème</sup> édition.
- [8] REMEIERAS, G, **L'hydrologie de l'ingénieur**. Paris : **Editions Eyrolles**,  
(1980), p.465
- [9] Dagnelie, P, **Analyse statistique à plusieurs variables. Applications  
agronomiques**, **Les presses agronomiques de Gembloux**. (1982). p.362
- [10] BELGAID, N, **Approche des paramètres hydroclimatologiques.  
Application au bassin versant de la Soummam**. Ingéniorat. USTHB,  
Institut des Sciences de la Terre, (30 avril 1997).
- [11] TRIPLET, J, P, ROCHE, G, **Météorologie générale**. Ecole Nationale de  
la Météorologie, **troisième édition**, (1986).
- [12] MEBARKI, A, **Le B.V du Kebir rhumel (Algérie). Hydrologie de  
surface et aménagement des ressources en eau**. Doctorat de troisième  
cycle, (1982).
- [13] DUBREUIL, P, **Initiation à l'analyse hydrologie**. Paris : **ORSTOM,  
Masson & C<sup>ie</sup>**, (1974), p.216

**ANNEXE 1 : MATRICES DE  
CORRELATION INTERSTATIONS.**

	150501	150602	150603	150607	150608	150609	150610	150611	150612	150613	150614	150702	150703	150706	150707	150708
150501	1,000	0,659	0,302	0,396	0,516	0,571	0,472	0,562	0,612	0,305	0,604	0,446	0,583	0,631	0,541	0,570
150602		1,000	0,760	0,237	0,539	0,532	0,538	0,350	0,619	0,507	0,327	-0,180	0,927	0,300	0,426	0,859
150603			1,000	0,763	0,659	0,786	0,580	0,114	0,816	0,758	0,768	0,202	0,372	0,472	0,768	0,237
150607				1,000	0,761	0,839	0,521	0,341	0,833	0,616	0,572	0,795	0,355	0,472	0,827	0,348
150608					1,000	0,922	0,475	0,360	0,822	0,648	0,601	0,730	0,360	0,684	0,646	0,342
150609						1,000	0,543	0,559	0,964	0,772	0,853	0,853	0,528	0,541	0,761	0,568
150610							1,000	0,760	0,626	0,816	0,447	0,518	0,423	0,330	0,560	0,388
150611								1,000	0,500	0,292	0,390	0,403	0,367	0,326	0,289	0,264
150612									1,000	0,790	0,732	0,364	0,390	0,594	0,717	0,340
150613										1,000	0,545	0,683	0,477	0,415	0,729	0,384
150614											1,000	0,767	0,289	0,664	0,796	0,252
150702												1,000	0,480	0,677	0,600	0,487
150703													1,000	0,329	0,345	0,943
150706														1,000	0,359	0,181
150707															1,000	0,429
150708																1,000

**TABLEAU 1 : COEFFICIENTS DE CORRELATION INTERSTATIONS  
(SEPTEMBRE)**

	150501	150602	150603	150607	150608	150609	150610	150611	150612	150613	150614	150702	150703	150706	150707	150708
150501	1,000	-0,338	0,875	0,553	0,721	0,794	0,691	0,476	0,641	0,698	0,787	0,654	0,652	0,759	0,433	0,677
150602		1,000	-0,222	0,916	-0,384	-0,203	-0,247	-0,550	-0,100	-0,399	-0,447	-0,278	-0,062	-0,420	-0,123	-0,194
150603			1,000	0,347	0,845	0,728	0,882	0,179	0,903	0,574	0,789	0,681	0,466	0,797	0,309	0,515
150607				1,000	0,782	0,597	0,700	0,546	0,755	0,443	0,351	0,569	0,483	0,667	0,589	0,607
150608					1,000	0,900	0,861	0,521	0,945	0,795	0,657	0,817	0,457	0,935	0,599	0,565
150609						1,000	0,764	0,431	0,932	0,852	0,807	0,924	0,838	0,906	0,454	0,774
150610							1,000	0,372	0,891	0,595	0,672	0,730	0,408	0,848	0,391	0,374
150611								1,000	0,465	0,267	0,426	0,559	0,350	0,434	0,387	0,431
150612									1,000	0,737	0,658	0,837	0,525	0,907	0,662	0,470
150613										1,000	0,742	0,745	0,549	0,869	0,402	0,629
150614											1,000	0,760	0,760	0,770	0,537	0,640
150702												1,000	0,769	0,869	0,579	0,704
150703													1,000	0,618	0,551	0,921
150706														1,000	0,547	0,684
150707															1,000	0,424
150708																1,000

**TABLEAU 2 : COEFFICIENTS DE CORRELATION INTERSTATIONS  
(OCTOBRE)**

	150501	150602	150603	150607	150608	150609	150610	150611	150612	150613	150614	150702	150703	150706	150707	150708
150501	1,000	0,100	0,635	0,474	0,344	0,599	0,484	0,597	0,712	0,193	0,487	0,647	0,724	0,427	0,597	0,778
150602		1,000	0,907	0,061	0,842	0,650	0,392	0,504	0,329	0,900	0,432	0,529	0,158	0,442	0,648	0,958
150603			1,000	0,599	0,821	0,765	0,732	0,743	0,778	0,564	0,680	0,767	0,545	0,536	0,847	0,824
150607				1,000	0,824	0,789	0,902	0,780	0,604	0,540	0,759	0,780	0,530	0,731	0,708	0,856
150608					1,000	0,839	0,918	0,599	0,391	0,783	0,690	0,746	0,492	0,812	0,575	0,797
150609						1,000	0,857	0,937	0,902	0,840	0,793	0,957	0,761	0,690	0,650	0,904
150610							1,000	0,800	0,408	0,694	0,703	0,747	0,583	0,830	0,625	0,885
150611								1,000	0,814	0,858	0,614	0,860	0,721	0,521	0,707	0,743
150612									1,000	0,626	0,494	0,814	0,743	0,538	0,632	0,847
150613										1,000	0,574	0,757	0,532	0,577	0,422	0,685
150614											1,000	0,800	0,581	0,632	0,648	0,777
150702												1,000	0,827	0,818	0,691	0,892
150703													1,000	0,739	0,697	0,939
150706														1,000	0,484	0,823
150707															1,000	0,837
150708																1,000

**TABLEAU 3 : COEFFICIENTS DE CORRELATION INTERSTATIONS  
(NOVEMBRE)**

	150501	150602	150603	150607	150608	150609	150610	150611	150612	150613	150614	150702	150703	150706	150707	150708
150501	1,000	0,643	0,927	0,837	0,666	0,932	0,711	0,617	0,696	0,494	0,517	0,805	0,811	0,728	0,497	0,883
150602		1,000	0,501	0,852	0,240	0,513	0,395	-0,095	0,772	0,773	0,757	0,426	0,934	0,385	0,874	0,921
150603			1,000	0,894	0,855	0,950	0,713	0,707	0,444	0,646	0,633	0,950	0,910	0,935	0,532	0,845
150607				1,000	0,842	0,905	0,774	0,469	0,838	0,792	0,617	0,930	0,646	0,919	0,699	0,849
150608					1,000	0,878	0,834	0,480	0,699	0,784	0,691	0,899	0,571	0,895	0,420	0,726
150609						1,000	0,730	0,819	0,638	0,728	0,626	0,966	0,919	0,937	0,529	0,969
150610							1,000	0,605	0,794	0,668	0,583	0,861	0,411	0,821	0,330	0,641
150611								1,000	0,372	0,027	0,479	0,569	0,252	0,491	-0,106	0,452
150612									1,000	0,771	0,512	0,749	0,494	0,713	0,532	0,765
150613										1,000	0,348	0,779	0,522	0,842	0,633	0,743
150614											1,000	0,588	0,304	0,603	0,367	0,409
150702												1,000	0,554	0,960	0,480	0,810
150703													1,000	0,538	0,758	0,848
150706														1,000	0,483	0,761
150707															1,000	0,771
150708																1,000

**TABLEAU 4 : COEFFICIENTS DE CORRELATION INTERSTATIONS  
(DECEMBRE)**

	150501	150602	150603	150607	150608	150609	150610	150611	150612	150613	150614	150702	150703	150706	150707	150708
150501	1,000	0,742	0,909	0,641	0,754	0,849	0,807	0,438	0,872	0,651	0,277	0,828	0,539	-0,029	0,868	0,878
150602		1,000	0,587	0,448	0,625	0,704	0,760	0,410	0,768	0,105	-0,015	0,676	0,687	0,115	0,716	0,470
150603			1,000	0,675	0,957	0,840	0,885	0,565	0,946	0,709	0,130	0,925	0,474	-0,190	0,889	0,940
150607				1,000	0,785	0,611	0,749	0,476	0,676	0,748	0,532	0,684	0,317	-0,204	0,796	0,741
150608					1,000	0,870	0,914	0,534	0,909	0,665	0,371	0,832	0,420	-0,224	0,882	0,870
150609						1,000	0,971	0,773	0,963	0,605	0,414	0,889	0,421	-0,038	0,862	0,902
150610							1,000	0,635	0,962	0,666	0,343	0,828	0,430	-0,163	0,906	0,877
150611								1,000	0,627	0,544	0,499	0,405	0,010	0,003	0,434	0,656
150612									1,000	0,664	0,352	0,912	0,456	-0,183	0,897	0,910
150613										1,000	0,354	0,758	0,130	-0,351	0,654	0,822
150614											1,000	0,227	0,215	0,056	0,423	0,244
150702												1,000	0,254	-0,285	0,840	0,895
150703													1,000	0,451	0,515	0,485
150706														1,000	-0,167	-0,010
150707															1,000	0,887
150708																1,000

**TABLEAU 5 : COEFFICIENTS DE CORRELATION INTERSTATIONS  
(JANVIER)**

	150501	150602	150603	150607	150608	150609	150610	150611	150612	150613	150614	150702	150703	150706	150707	150708
150501	1,000	0,623	0,359	0,572	0,814	0,727	0,704	0,618	0,652	0,857	0,607	0,784	0,320	-0,105	0,824	0,696
150602		1,000	0,543	-0,383	0,705	0,849	0,431	0,120	0,833	0,896	0,825	0,806	-0,063	-0,113	0,862	0,636
150603			1,000	-0,059	0,792	0,631	0,569	-0,097	0,891	0,408	0,852	0,790	-0,203	-0,284	0,786	0,308
150607				1,000	0,537	0,073	0,519	0,682	0,119	0,439	0,198	0,438	0,137	-0,142	0,460	0,380
150608					1,000	0,912	0,915	0,324	0,775	0,759	0,768	0,893	0,163	-0,198	0,869	0,520
150609						1,000	0,822	0,322	0,816	0,766	0,824	0,878	-0,020	0,097	0,896	0,770
150610							1,000	0,629	0,653	0,673	0,579	0,608	0,119	-0,088	0,775	0,613
150611								1,000	0,330	0,601	0,398	0,457	0,264	0,157	0,579	0,660
150612									1,000	0,693	0,911	0,880	0,056	0,035	0,758	0,629
150613										1,000	0,755	0,820	0,335	0,030	0,807	0,681
150614											1,000	0,834	0,030	-0,074	0,744	0,672
150702												1,000	0,262	-0,110	0,859	0,650
150703													1,000	0,002	0,280	0,050
150706														1,000	-0,079	0,454
150707															1,000	0,805
150708																1,000

**TABLEAU 6 : COEFFICIENTS DE CORRELATION INTERSTATIONS  
(FEVRIER)**

	150501	150602	150603	150607	150608	150609	150610	150611	150612	150613	150614	150702	150703	150706	150707	150708
150501	1,000	-0,027	0,600	0,475	0,665	0,769	0,547	0,501	0,594	0,693	0,393	0,819	-0,046	0,334	0,415	0,874
150602		1,000	0,713	0,512	0,473	0,439	0,777	0,050	0,238	-0,194	0,550	0,341	0,954	0,726	-0,060	-0,492
150603			1,000	0,520	0,758	0,838	0,481	0,625	0,865	0,457	0,617	0,843	0,585	0,405	0,356	0,716
150607				1,000	0,702	0,503	0,674	0,457	0,601	0,480	0,440	0,466	0,089	0,331	0,487	0,648
150608					1,000	0,921	0,707	0,555	0,771	0,729	0,683	0,768	0,182	0,638	0,497	0,740
150609						1,000	0,456	0,493	0,809	0,774	0,608	0,959	0,432	0,522	0,351	0,778
150610							1,000	0,682	0,750	0,517	0,270	0,619	0,008	0,480	0,419	0,462
150611								1,000	0,696	0,561	0,575	0,571	0,076	0,289	0,849	0,709
150612									1,000	0,722	0,471	0,793	0,244	0,449	0,441	0,765
150613										1,000	0,326	0,782	-0,138	0,526	0,449	0,696
150614											1,000	0,311	0,274	0,327	0,297	0,411
150702												1,000	0,332	0,679	0,469	0,894
150703													1,000	0,486	0,076	0,160
150706														1,000	0,291	0,519
150707															1,000	0,853
150708																1,000

**TABLEAU 7 : COEFFICIENTS DE CORRELATION INTERSTATIONS  
(MARS)**

	150501	150602	150603	150607	150608	150609	150610	150611	150612	150613	150614	150702	150703	150706	150707	150708
150501	1,000	0,250	0,304	0,578	0,600	0,668	0,493	0,574	0,410	0,733	0,367	0,748	-0,269	-0,191	0,453	0,597
150602		1,000	0,804	0,208	0,528	0,801	0,824	0,634	0,781	0,769	0,830	0,581	-0,137	-0,069	0,870	0,999
150603			1,000	0,597	0,635	0,461	0,571	0,380	0,379	0,564	0,557	0,548	0,182	0,315	0,594	-0,014
150607				1,000	0,767	0,606	0,590	0,479	0,583	0,751	0,542	0,745	-0,178	0,012	0,757	0,432
150608					1,000	0,718	0,721	0,312	0,601	0,644	0,699	0,628	-0,312	-0,105	0,738	0,313
150609						1,000	0,513	0,449	0,870	0,836	0,778	0,877	-0,082	-0,033	0,498	0,491
150610							1,000	0,561	0,615	0,497	0,705	0,565	-0,339	0,065	0,618	-0,072
150611								1,000	0,555	0,618	0,396	0,705	0,216	-0,195	0,502	0,271
150612									1,000	0,566	0,835	0,604	-0,202	-0,141	0,591	0,469
150613										1,000	0,531	0,893	-0,001	-0,178	0,600	0,548
150614											1,000	0,641	-0,165	-0,019	0,697	-0,067
150702												1,000	-0,010	-0,099	0,607	0,310
150703													1,000	0,030	-0,131	-0,101
150706														1,000	0,077	-0,066
150707															1,000	0,342
150708																1,000

**TABLEAU 8 : COEFFICIENTS DE CORRELATION INTERSTATIONS  
(AVRIL)**

	150501	150602	150603	150607	150608	150609	150610	150611	150612	150613	150614	150702	150703	150706	150707	150708
150501	1,000	0,040	0,725	0,591	0,498	0,701	0,658	0,616	0,524	0,464	0,573	0,595	-0,102	0,244	0,708	0,612
150602		1,000	0,595	0,562	0,564	0,613	0,451	0,692	0,433	0,643	0,736	0,306	0,517	-0,305	0,656	0,461
150603			1,000	0,725	0,677	0,886	0,697	0,539	0,729	0,777	0,595	0,820	0,088	-0,240	0,835	0,790
150607				1,000	0,806	0,855	0,839	0,733	0,787	0,813	0,818	0,817	0,047	-0,170	0,956	0,731
150608					1,000	0,810	0,852	0,778	0,779	0,643	0,749	0,760	-0,201	-0,093	0,751	0,620
150609						1,000	0,807	0,827	0,931	0,936	0,832	0,828	0,057	-0,080	0,934	0,846
150610							1,000	0,818	0,729	0,670	0,696	0,786	-0,244	-0,123	0,818	0,491
150611								1,000	0,838	0,783	0,838	0,713	0,036	-0,137	0,798	0,465
150612									1,000	0,796	0,702	0,687	-0,013	-0,030	0,819	0,506
150613										1,000	0,744	0,711	0,178	-0,289	0,841	0,605
150614											1,000	0,745	0,099	-0,018	0,864	0,564
150702												1,000	0,214	-0,265	0,824	0,401
150703													1,000	-0,181	0,151	0,103
150706														1,000	-0,165	0,157
150707															1,000	0,603
150708																1,000

**TABLEAU 9 : COEFFICIENTS DE CORRELATION INTERSTATIONS  
(MAI)**

	150501	150602	150603	150607	150608	150609	150610	150611	150612	150613	150614	150702	150703	150706	150707	150708
150501	1,000	0,329	0,560	0,726	0,483	0,576	0,472	0,563	0,406	0,523	0,460	0,502	0,801	0,737	0,392	0,656
150602		1,000	0,529	0,447	0,831	0,869	0,833	0,570	0,363	0,829	0,730	0,801	0,178	0,081	0,758	0,383
150603			1,000	0,747	0,654	0,721	0,676	0,753	0,705	0,763	0,722	0,433	0,616	0,694	0,596	0,657
150607				1,000	0,723	0,800	0,768	0,863	0,757	0,845	0,803	0,612	0,732	0,686	0,574	0,742
150608					1,000	0,928	0,888	0,653	0,683	0,748	0,787	0,792	0,428	0,647	0,759	0,502
150609						1,000	0,782	0,712	0,572	0,784	0,920	0,774	0,481	0,598	0,853	0,748
150610							1,000	0,802	0,663	0,823	0,777	0,611	0,454	0,641	0,587	0,471
150611								1,000	0,655	0,896	0,799	0,389	0,642	0,572	0,589	0,457
150612									1,000	0,578	0,611	0,383	0,566	0,718	0,397	0,585
150613										1,000	0,847	0,623	0,544	0,473	0,624	0,543
150614											1,000	0,639	0,595	0,491	0,738	0,713
150702												1,000	0,517	0,376	0,623	0,632
150703													1,000	0,656	0,490	0,952
150706														1,000	0,385	0,623
150707															1,000	0,554
150708																1,000

**TABLEAU 10 : COEFFICIENTS DE CORRELATION INTERSTATIONS  
(JUN)**

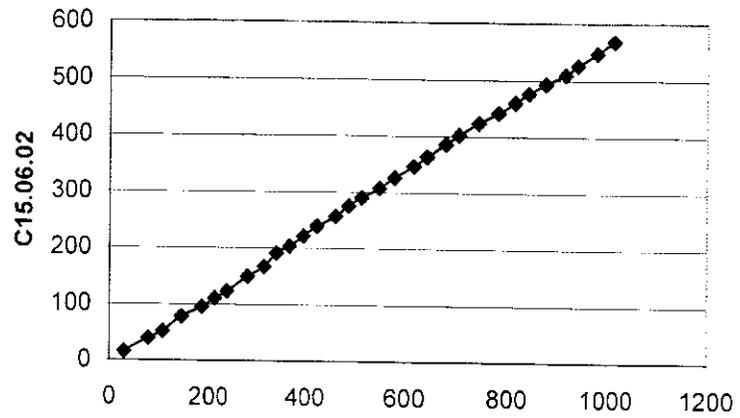
	150501	150602	150603	150607	150608	150609	150610	150611	150612	150613	150614	150702	150703	150706	150707	150708
150501	1,000	0,192	0,902	0,360	0,419	0,863	0,353	0,569	0,457	-0,069	0,559	0,872	0,742	0,324	0,576	0,615
150602		1,000	0,392	0,976	-0,131	0,180	-0,030	0,720	-0,236	0,298	0,840	0,592	0,836	-0,064	0,794	0,850
150603			1,000	0,804	0,563	0,737	0,208	0,817	0,380	-0,125	0,430	0,782	0,439	0,497	0,836	0,929
150607				1,000	0,874	0,965	0,613	0,673	0,834	-0,115	0,581	0,439	0,644	0,835	0,554	0,656
150608					1,000	0,870	0,685	0,409	0,897	0,075	0,483	0,387	0,547	0,689	0,534	0,699
150609						1,000	0,575	0,867	0,656	0,073	0,426	0,933	0,688	0,843	0,591	0,946
150610							1,000	0,595	0,748	0,387	0,633	0,436	0,360	0,711	0,584	0,289
150611								1,000	0,533	0,063	0,738	0,727	0,705	0,609	0,860	0,271
150612									1,000	-0,026	0,624	0,449	0,524	0,674	0,674	0,346
150613										1,000	-0,008	0,181	0,234	0,218	0,034	-0,020
150614											1,000	0,573	0,699	0,359	0,872	-0,031
150702												1,000	0,811	0,500	0,640	0,533
150703													1,000	0,706	0,475	0,836
150706														1,000	0,494	0,599
150707															1,000	0,106
150708																1,000

**TABLEAU 11 : COEFFICIENTS DE CORRELATION INTERSTATIONS  
(JUILLET)**

	150501	150602	150603	150607	150608	150609	150610	150611	150612	150613	150614	150702	150703	150706	150707	150708
150501	1,000	0,865	0,818	0,714	0,545	0,425	0,710	0,596	0,853	0,484	0,430	0,340	0,869	0,341	0,178	0,869
150602		1,000	0,189	-0,497	0,500	0,763	0,820	0,929	0,455	0,832	0,839	0,471	-0,233	0,854	0,758	-0,307
150603			1,000	0,911	0,637	0,438	0,831	0,394	0,841	0,489	0,054	0,068	0,809	0,217	0,432	0,792
150607				1,000	0,806	0,389	0,920	0,371	0,736	0,773	0,443	0,217	0,549	0,821	0,425	0,537
150608					1,000	0,282	0,797	0,225	0,609	0,384	0,120	0,421	0,498	0,354	0,257	0,443
150609						1,000	0,386	0,434	0,699	0,725	0,641	0,342	0,312	0,660	0,771	0,522
150610							1,000	0,473	0,835	0,579	0,426	0,342	0,740	0,502	0,341	0,722
150611								1,000	0,489	0,751	0,702	0,680	0,644	0,592	0,312	0,591
150612									1,000	0,521	0,348	0,559	0,796	0,418	0,195	0,863
150613										1,000	0,837	0,513	0,701	0,870	0,814	0,704
150614											1,000	0,610	0,506	0,868	0,429	0,448
150702												1,000	0,707	0,386	0,188	0,607
150703													1,000	0,441	0,099	0,961
150706														1,000	0,226	0,521
150707															1,000	0,082
150708																1,000

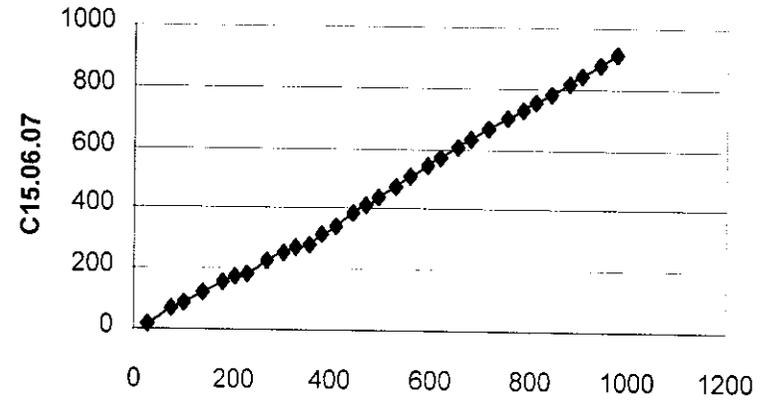
**TABLEAU 12 : COEFFICIENTS DE CORRELATION INTERSTATIONS  
(AOUT)**

DOUBLE MASSE



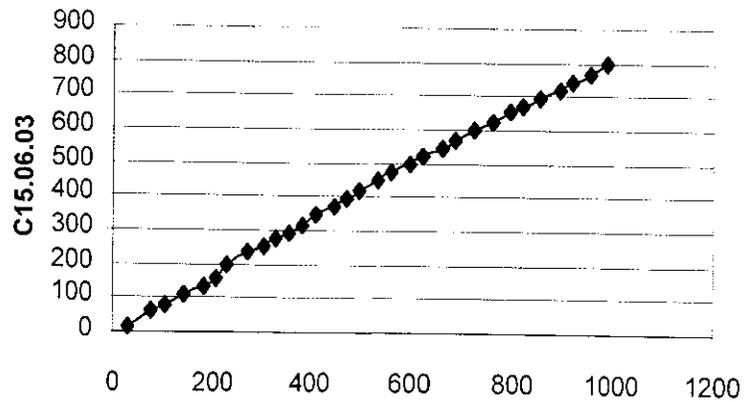
—◆— Série1

DOUBLE MASSE



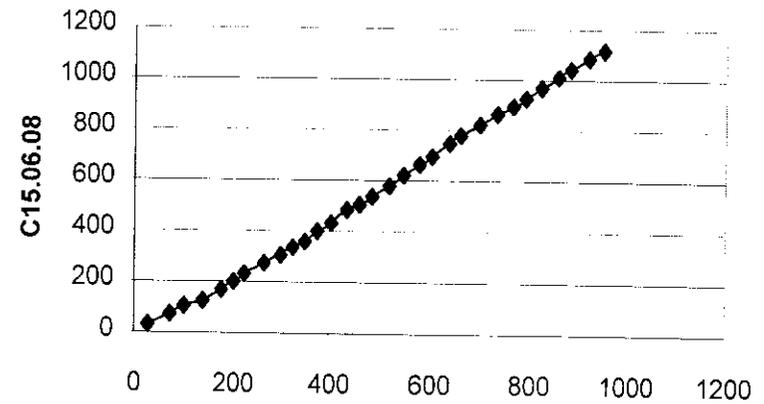
—◆— Série1

DOUBLE MASSE

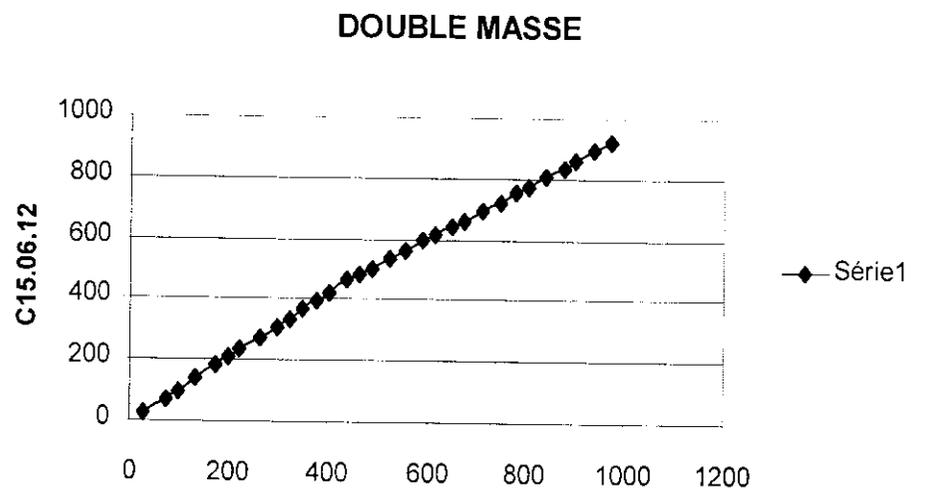
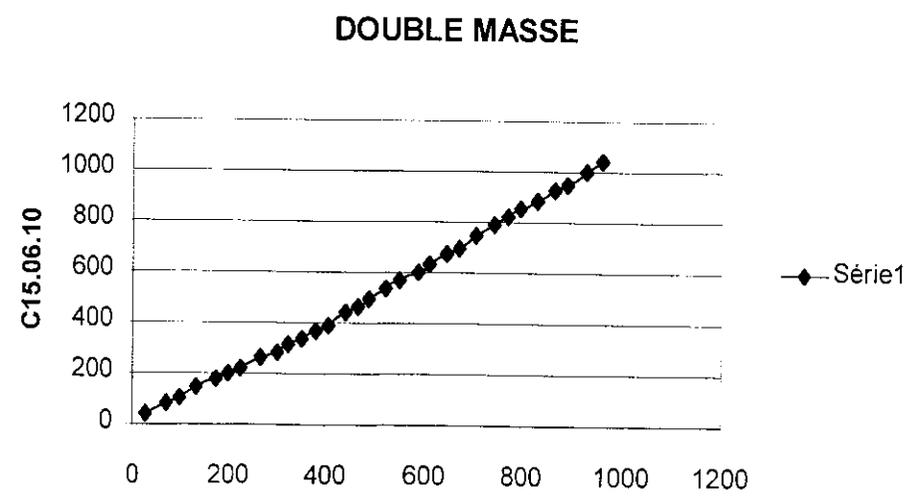
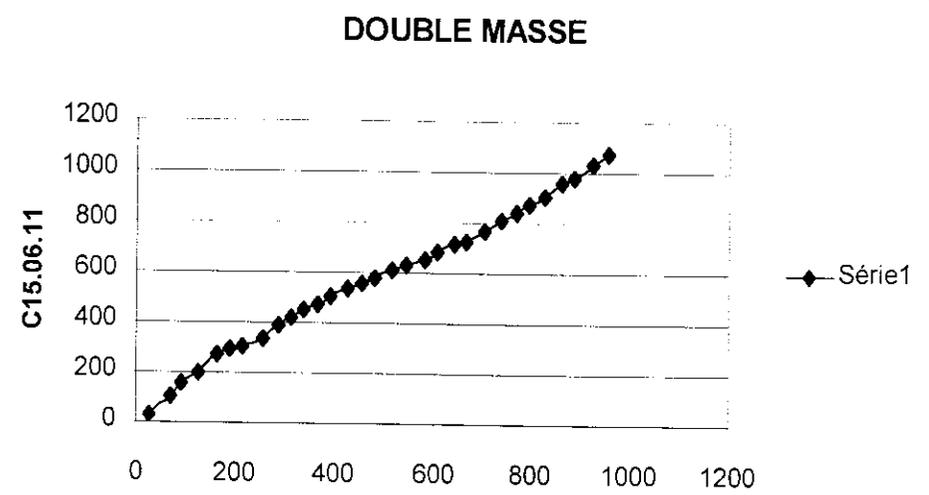
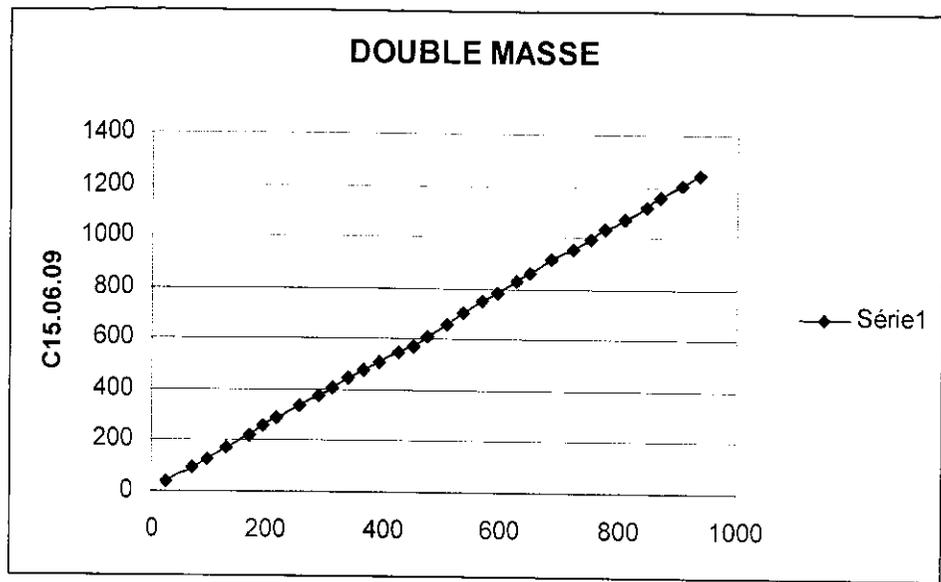


—◆— Série1

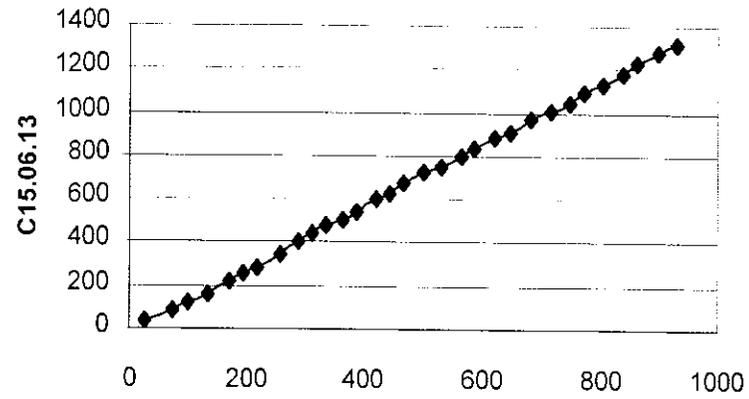
DOUBLE MASSE



—◆— Série1

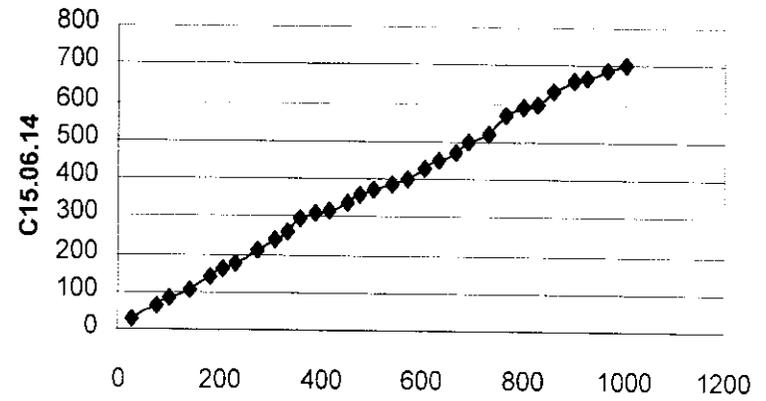


DOUBLE MASSE



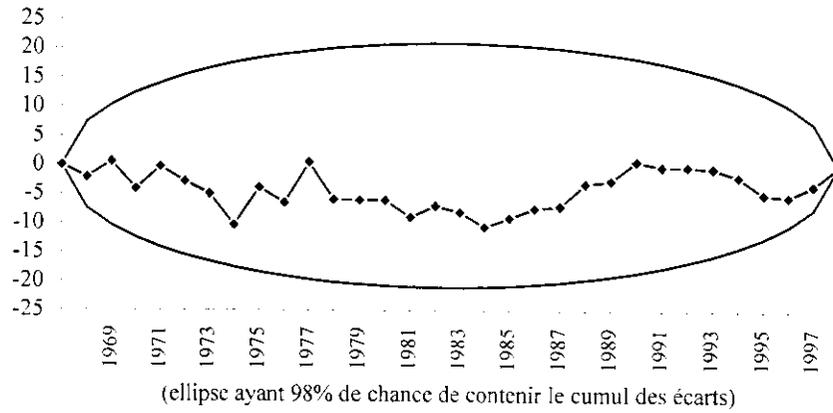
◆ Série1

DOUBLE MASSE



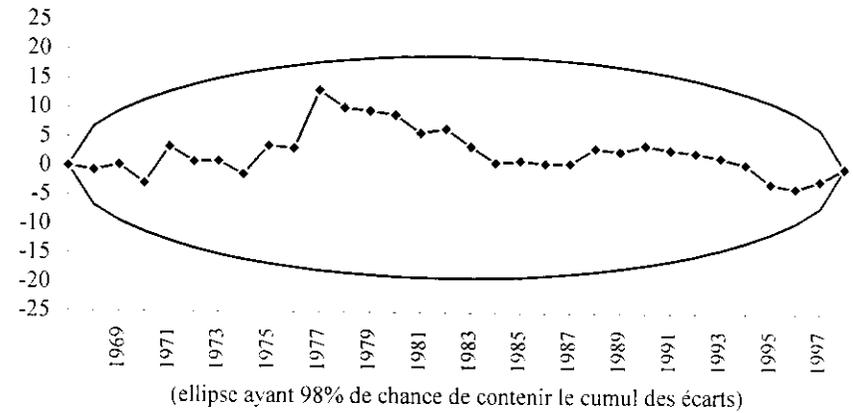
◆ Série1

Détection des anomalies systématiques de VT par rapport à VR



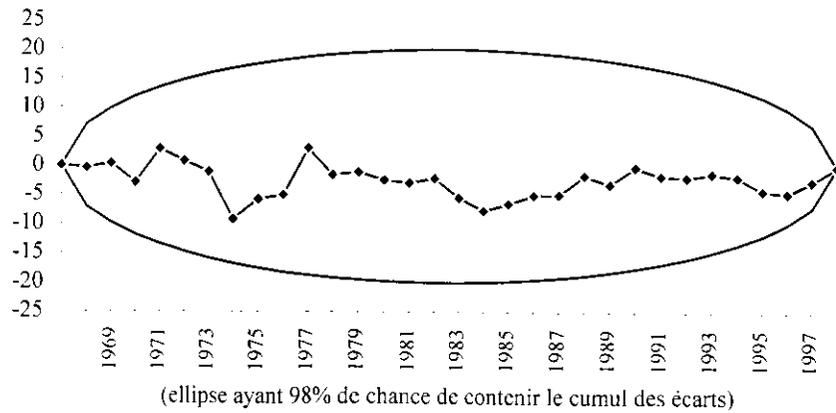
C15.06.02

Détection des anomalies systématiques de VT par rapport à VR



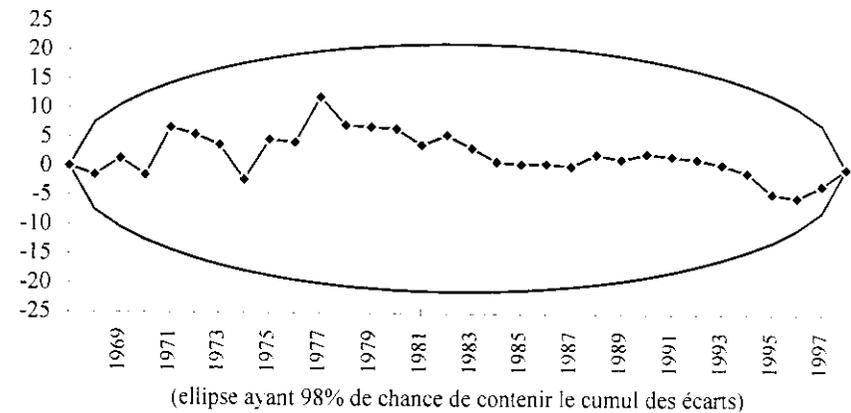
C15.06.07

Détection des anomalies systématiques de VT par rapport à VR



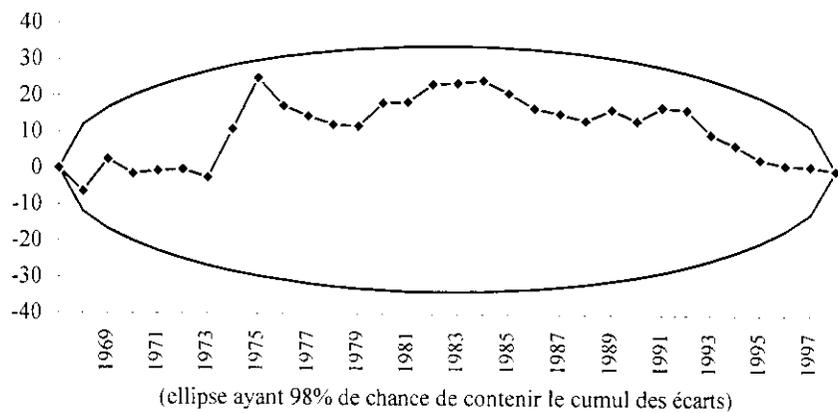
C15.06.03

Détection des anomalies systématiques de VT par rapport à VR



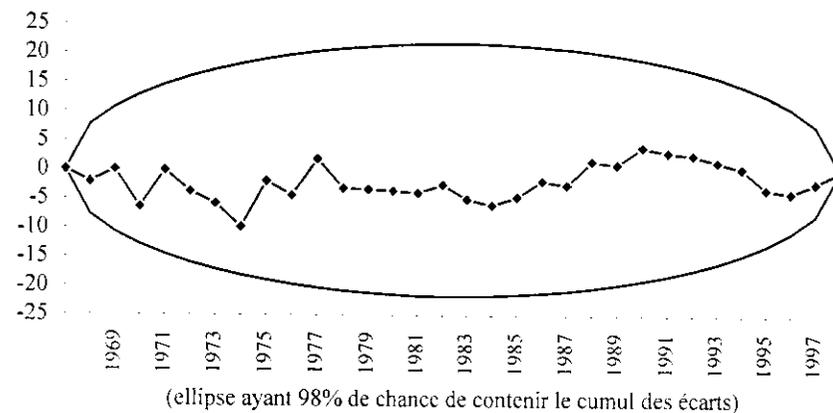
C15.06.08

Détection des anomalies systématiques de VT par rapport à VR



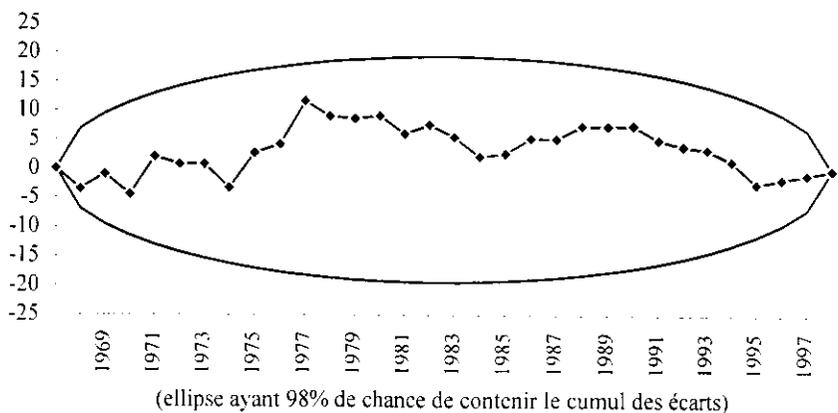
C15.06.09

Détection des anomalies systématiques de VT par rapport à VR



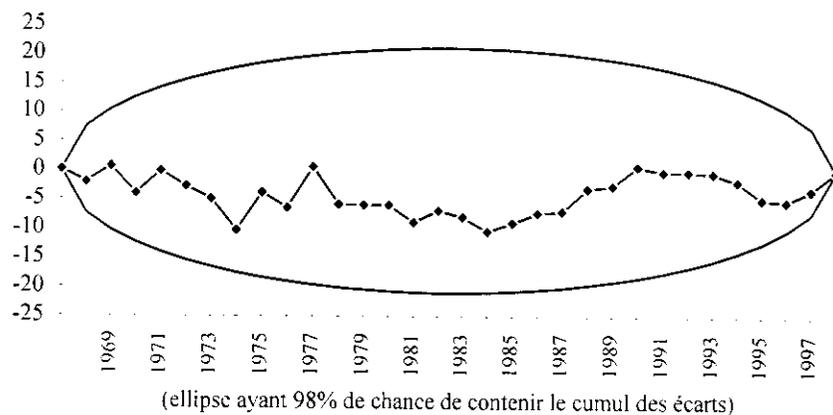
C15.06.11

Détection des anomalies systématiques de VT par rapport à VR



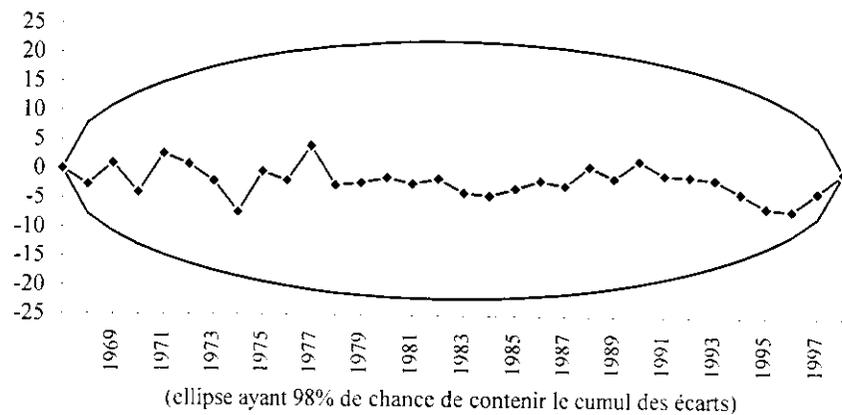
C15.06.10

Détection des anomalies systématiques de VT par rapport à VR

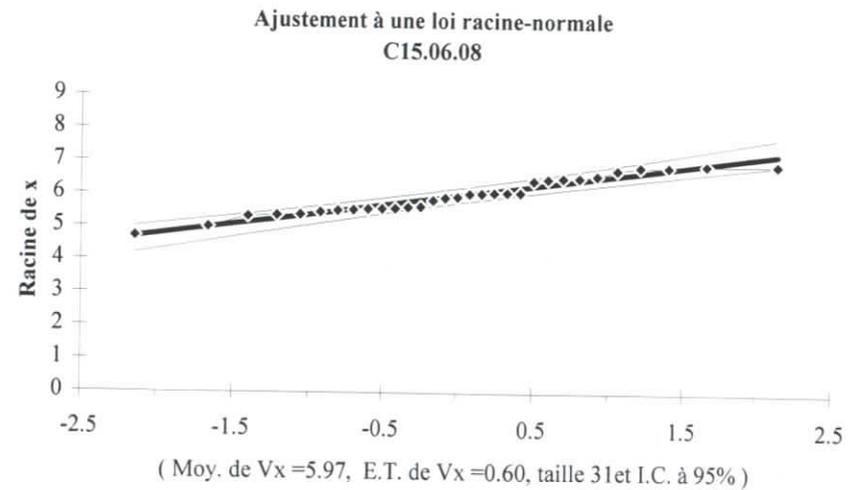
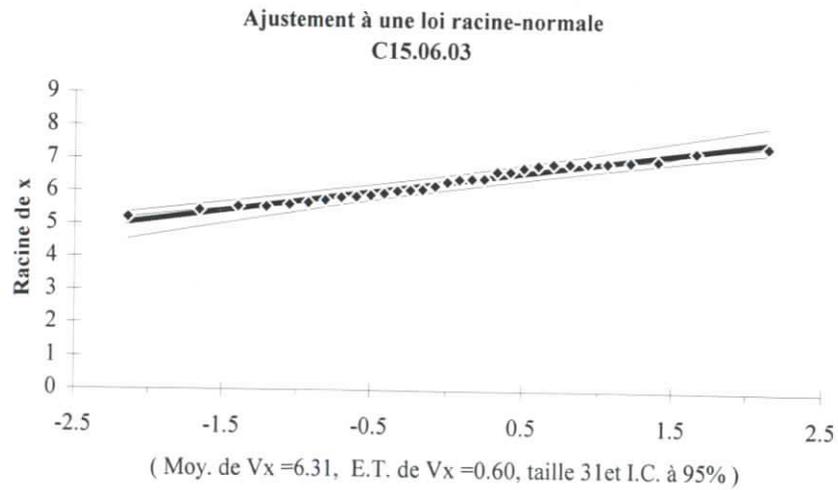
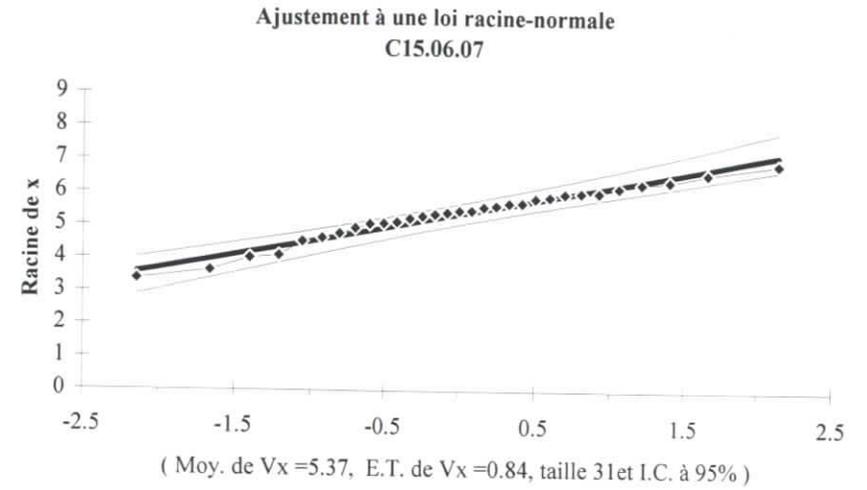
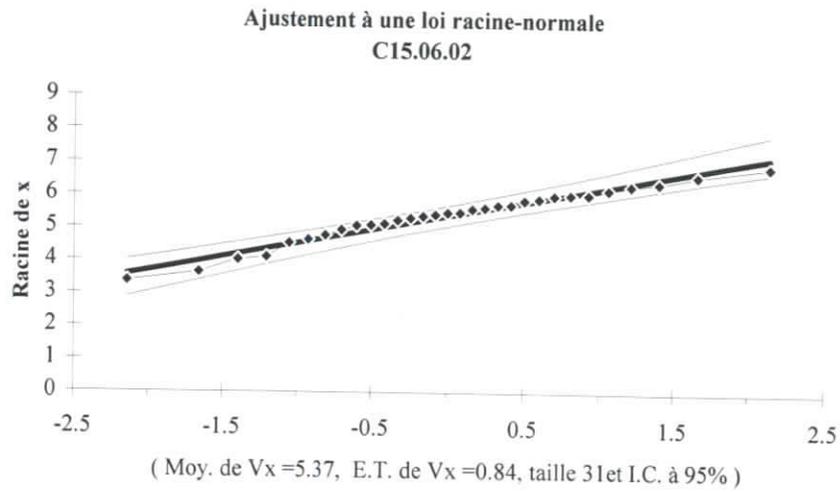


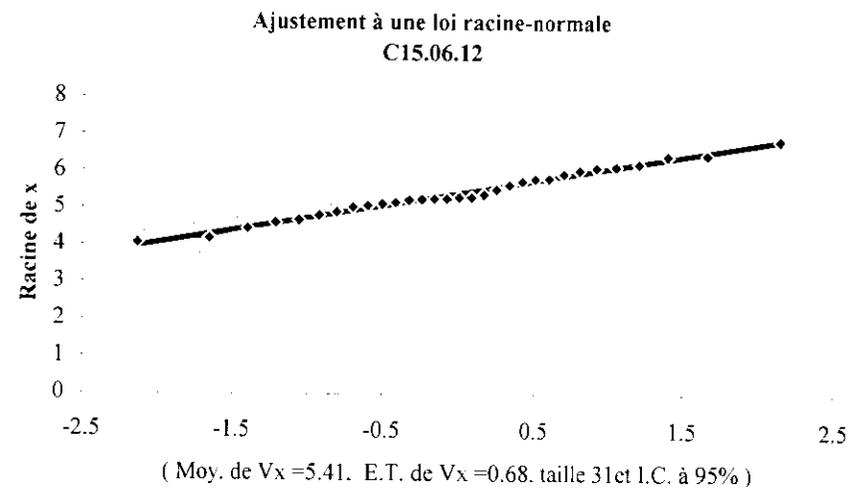
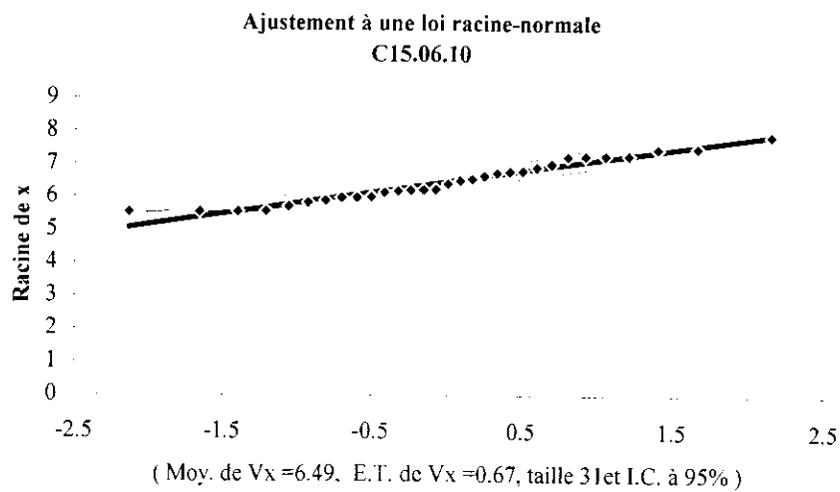
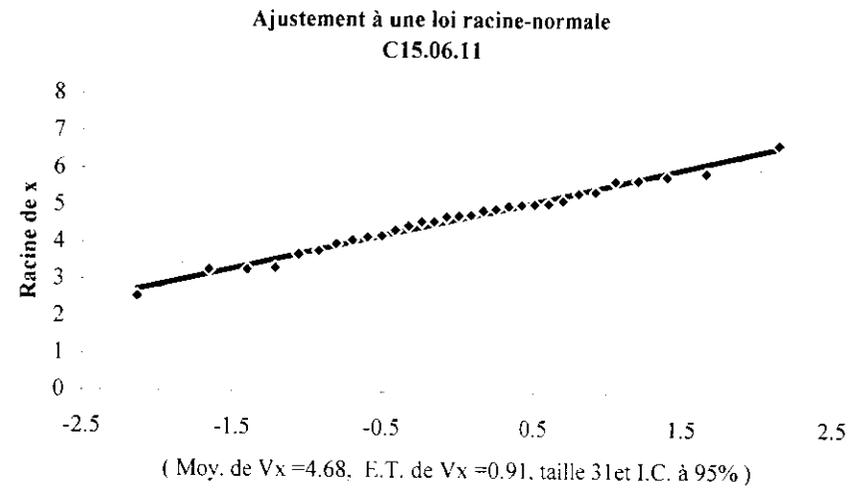
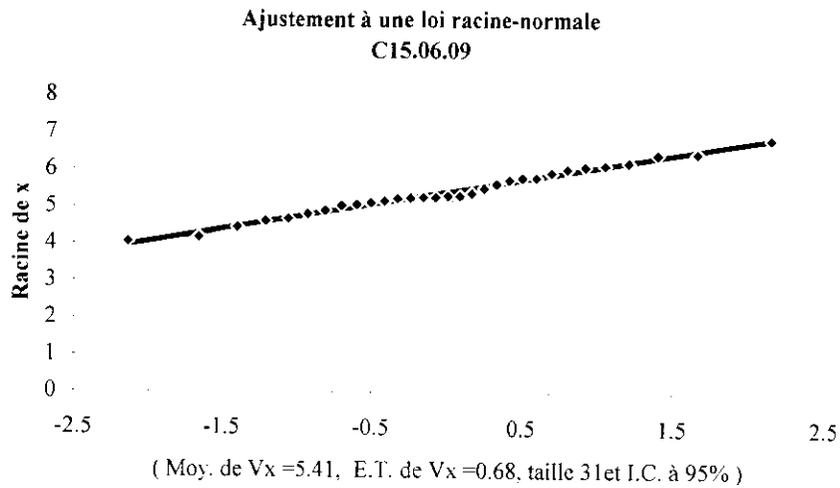
C15.06.13

### Détection des anomalies systématiques de VT par rapport à VR

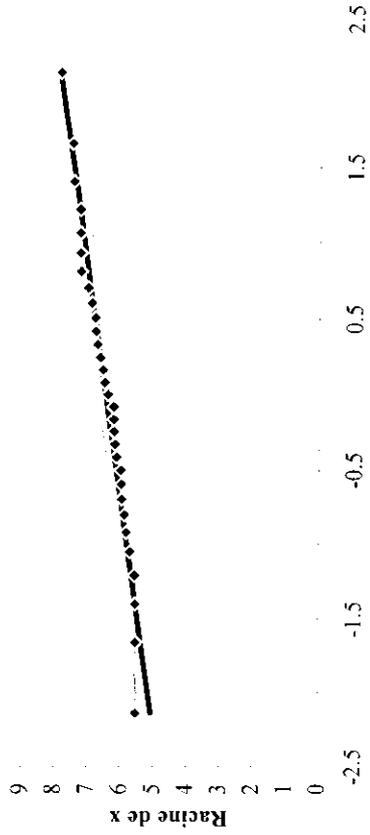


C15.06.14



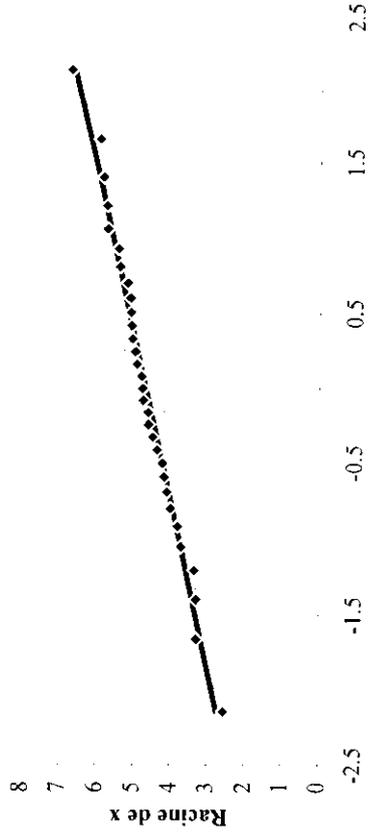


Ajustement à une loi racine-normale  
C15.06.13



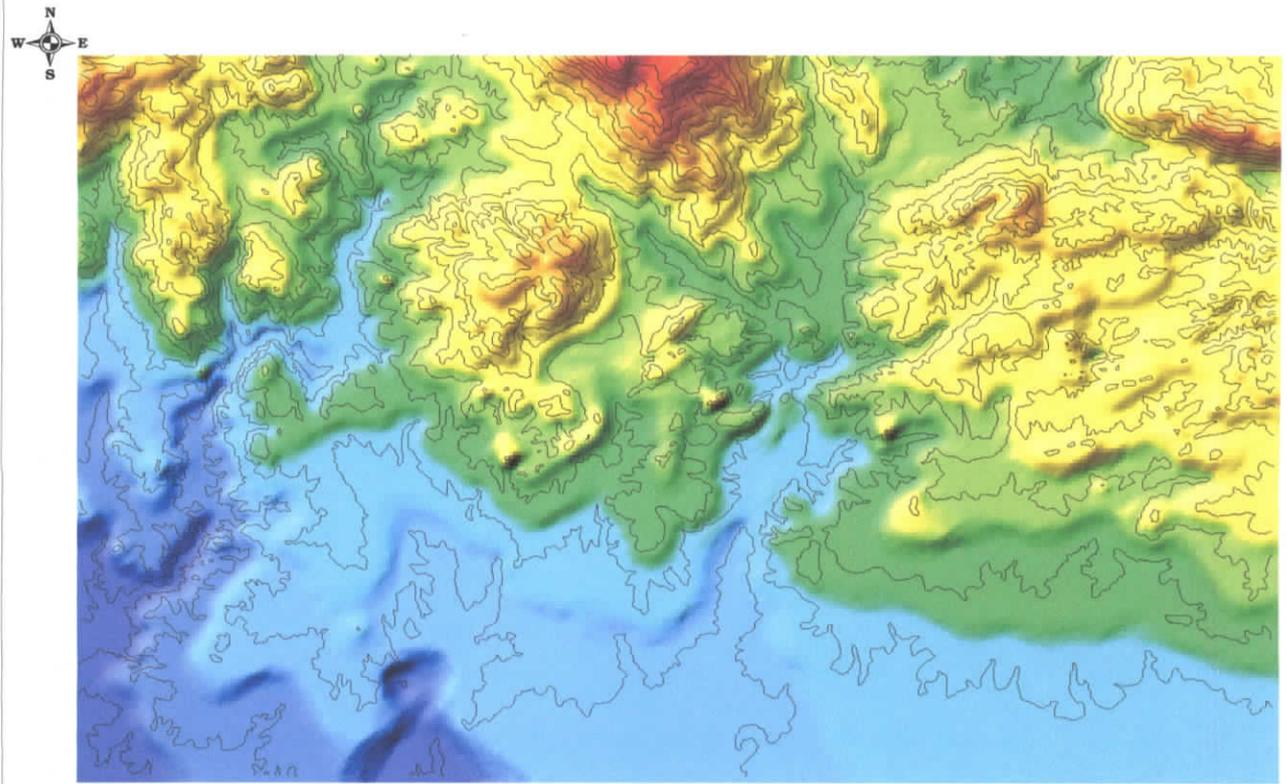
( Moy. de  $V_x = 6.49$ , E.T. de  $V_x = 0.67$ , taille 31 et I.C. à 95% )

Ajustement à une loi racine-normale  
C15.06.14

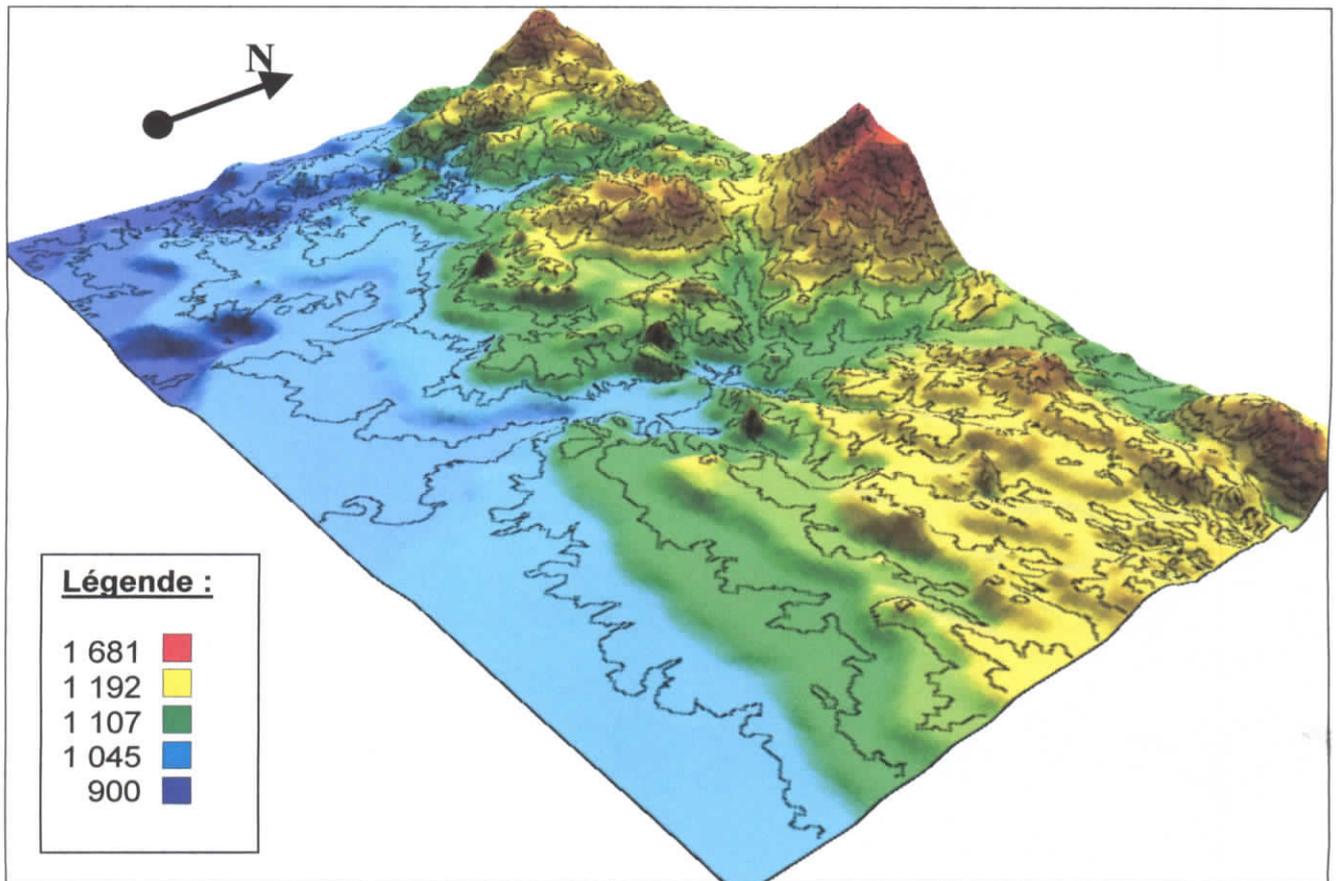


( Moy. de  $V_x = 4.68$ , E.T. de  $V_x = 0.91$ , taille 31 et I.C. à 95% )

**Carte 4.1 : Analyse thématique du relief.**

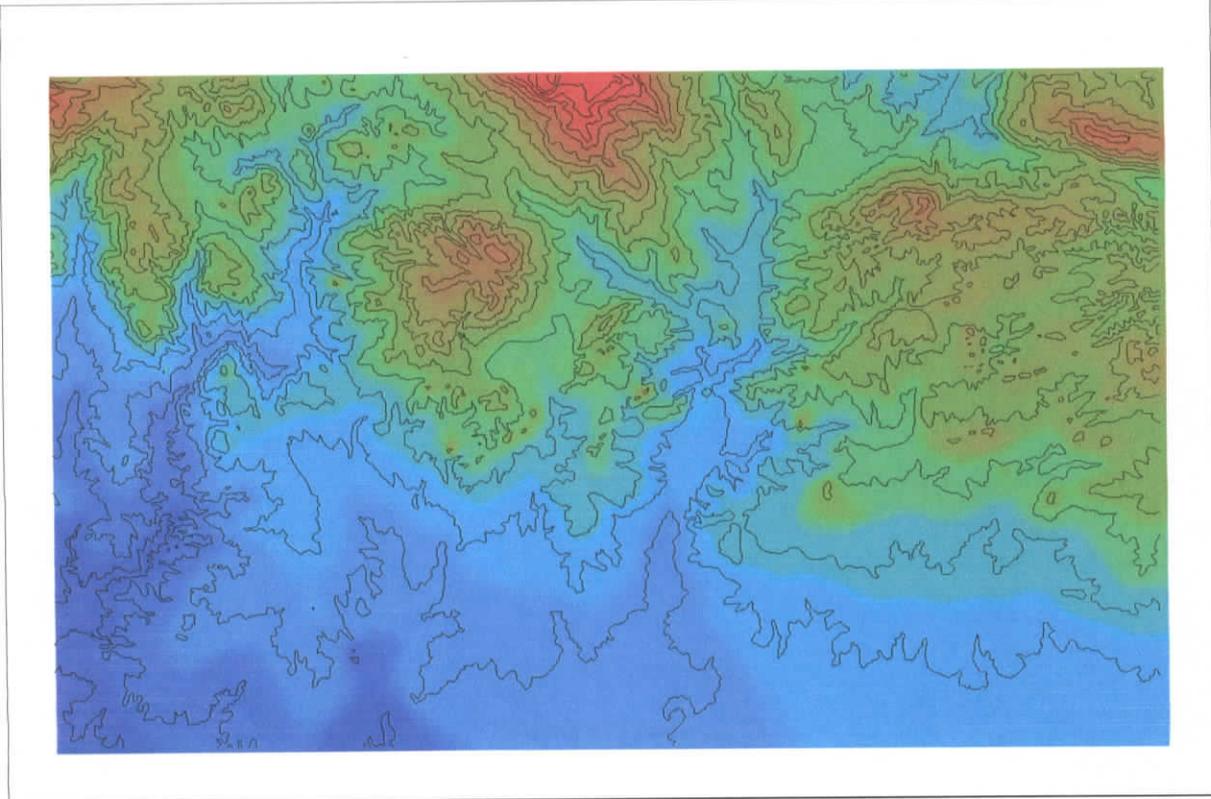


**Carte 4.2 : Le MNT de la région de Sétif.**

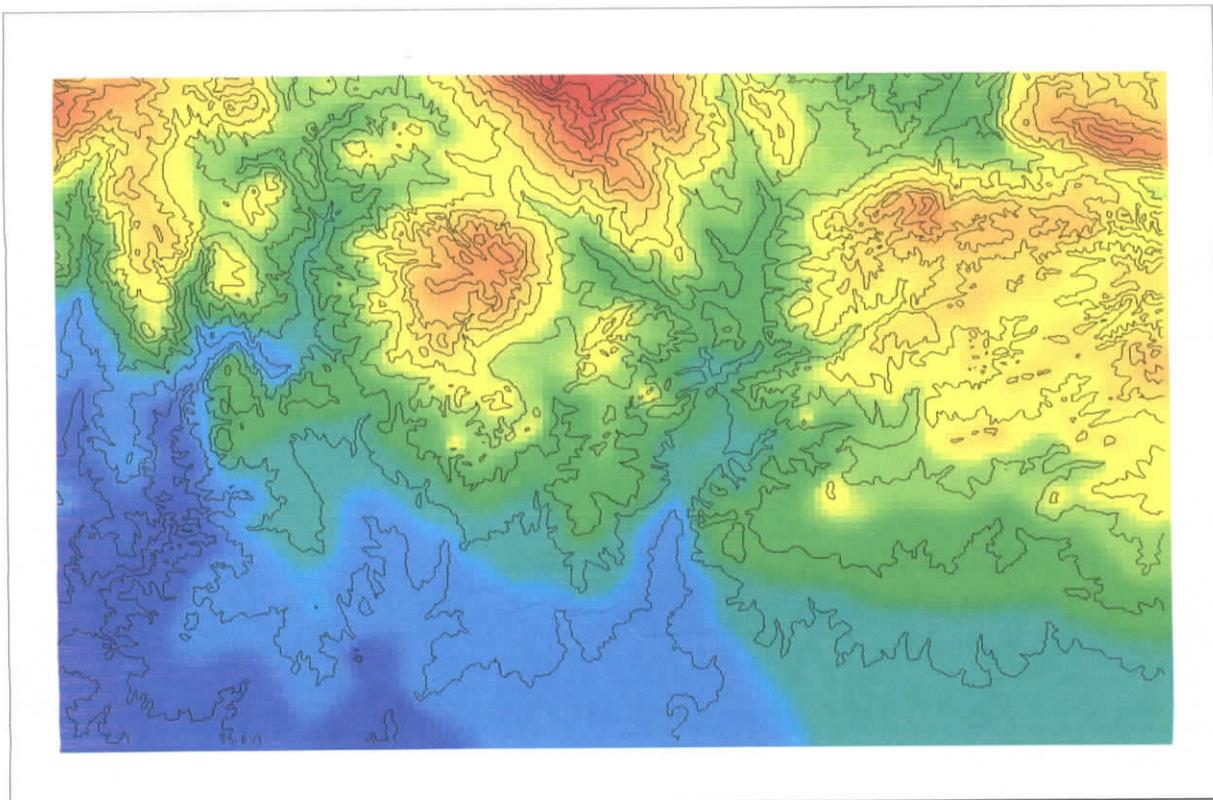


**ANNEXE 5 : CARTES  
PLUVIOMETRIQUES.  
METHODE : « REGRESSION  
LINEAIRE ».**

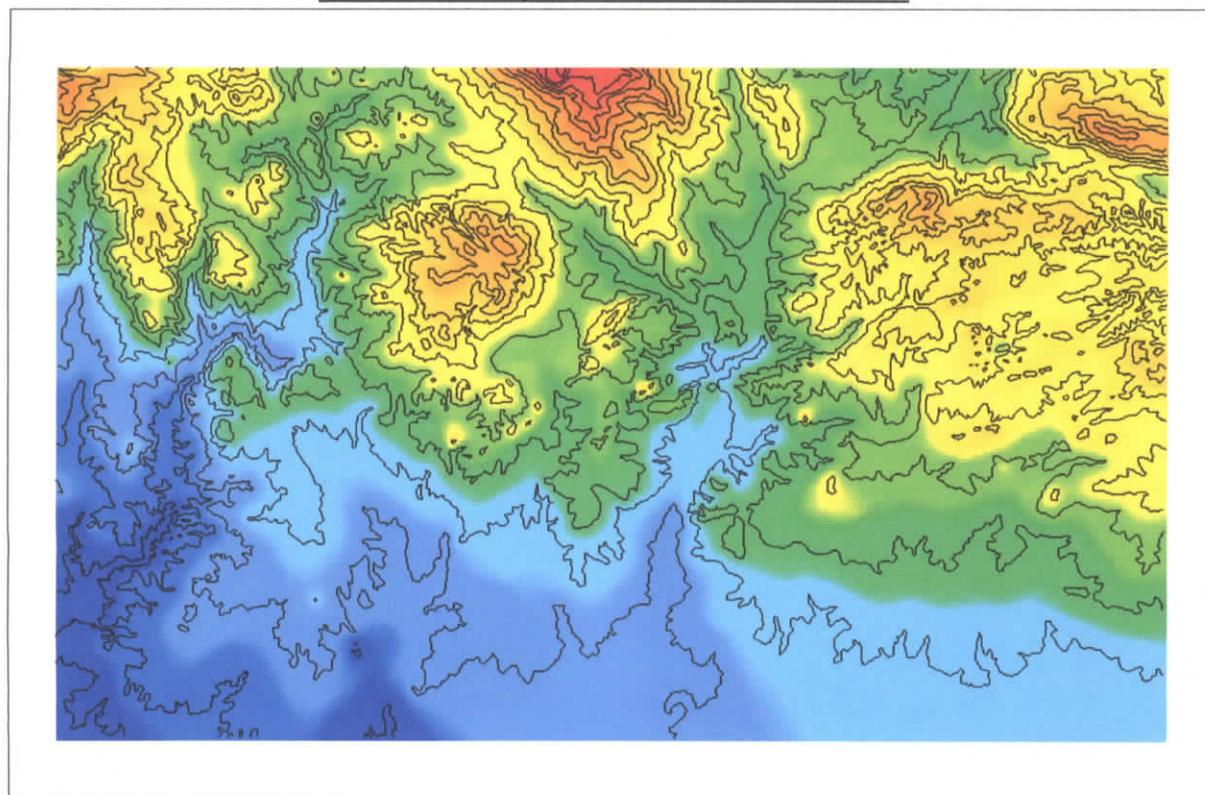
**Carte 5.1 : Précipitation du mois de septembre.**



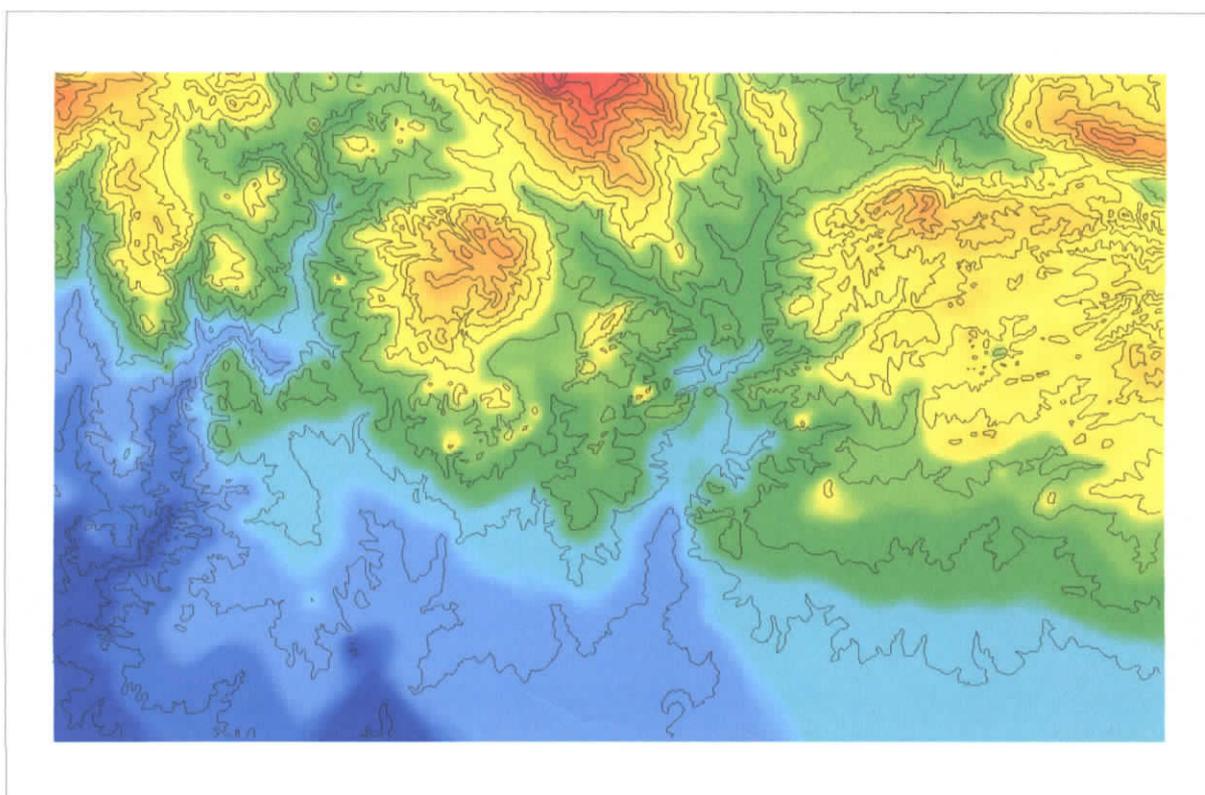
**Carte 5.2 : Précipitation du mois de octobre.**



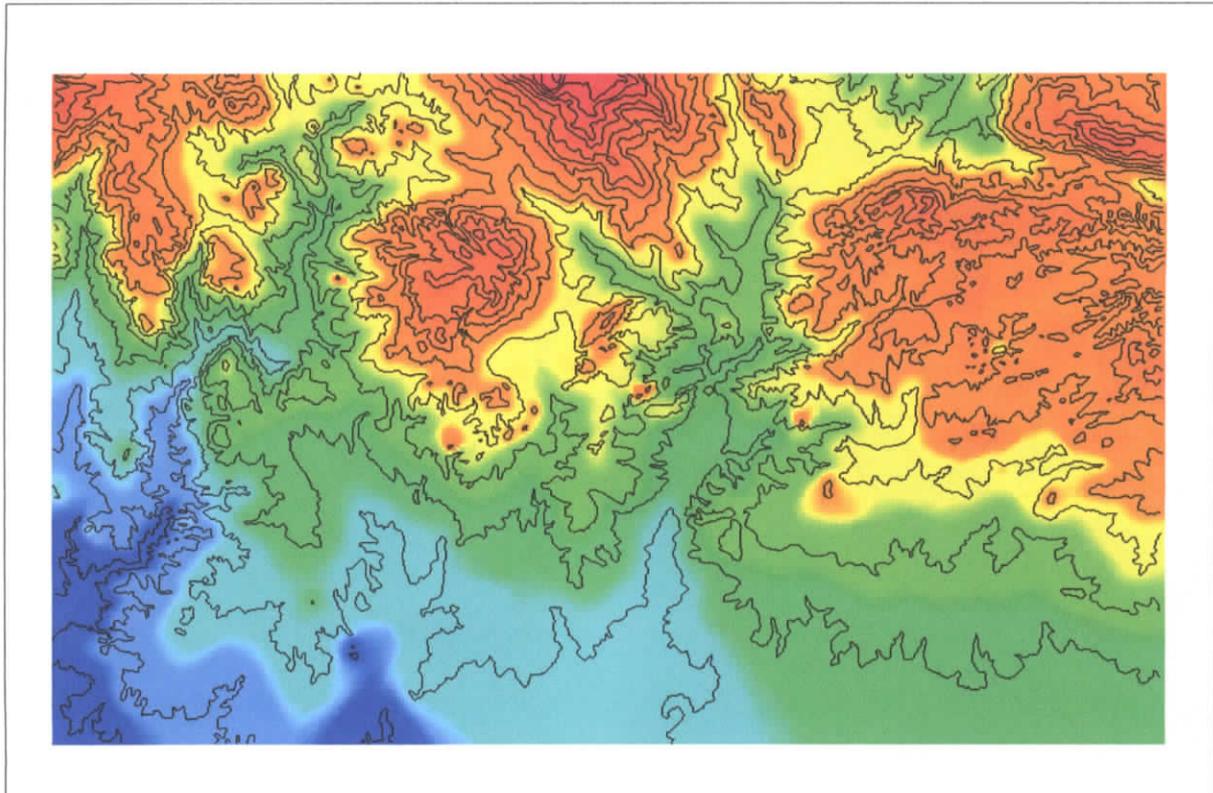
**Carte 5.3 : Précipitation du mois de novembre.**



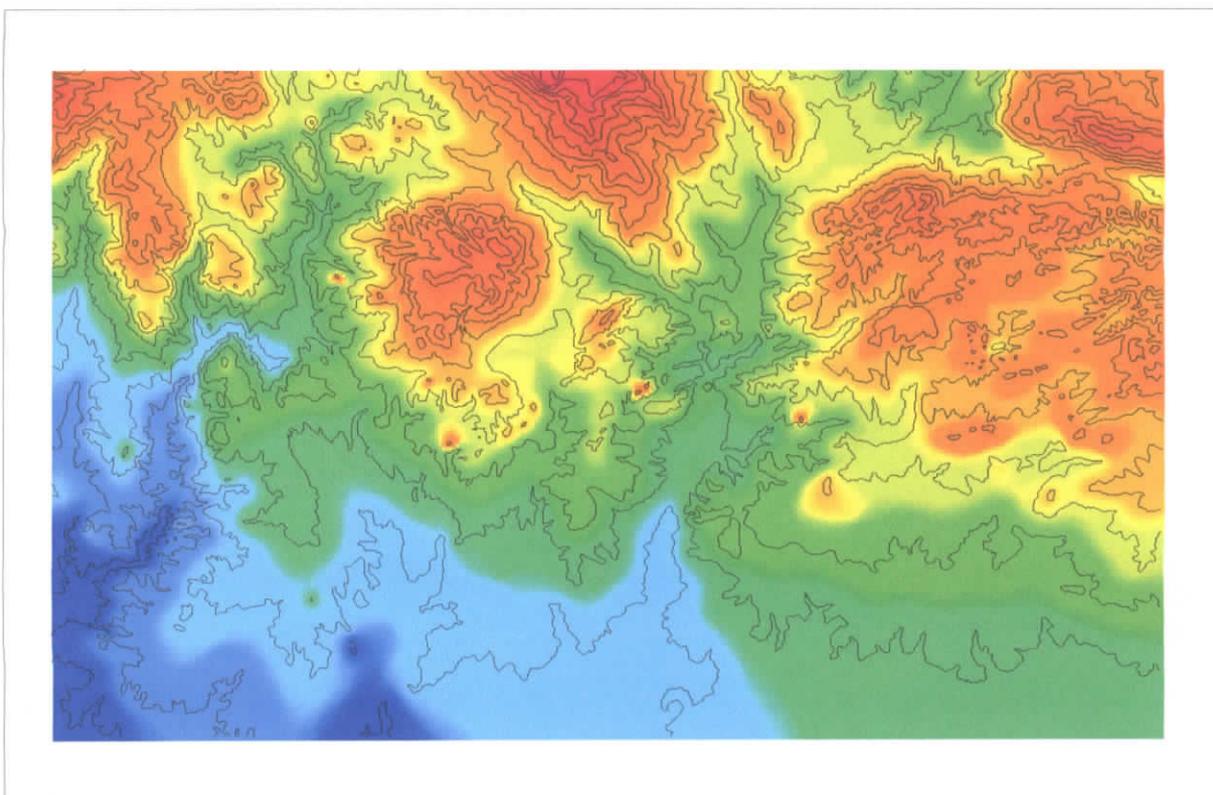
**Carte 5.4 : Précipitation du mois de décembre.**



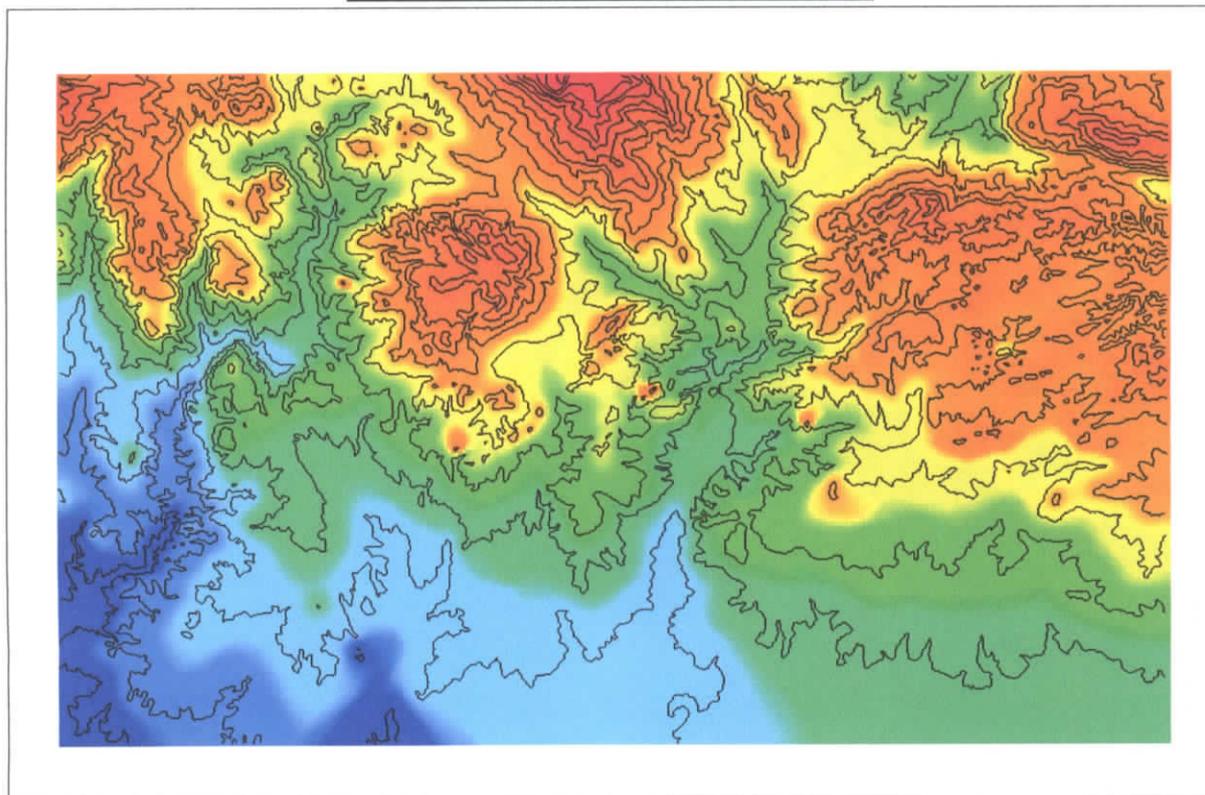
**Carte 5.5 : Précipitation du mois de janvier.**



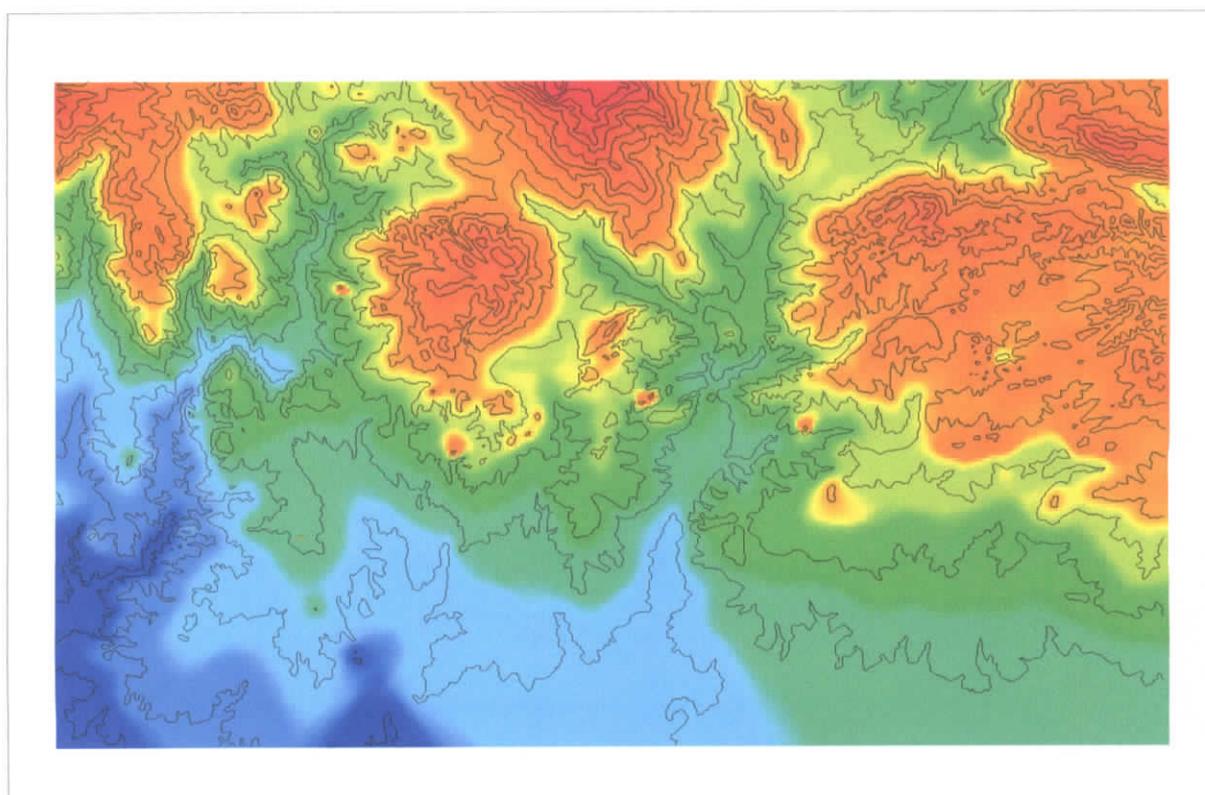
**Carte 5.6 : Précipitation du mois de février.**



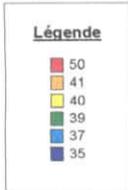
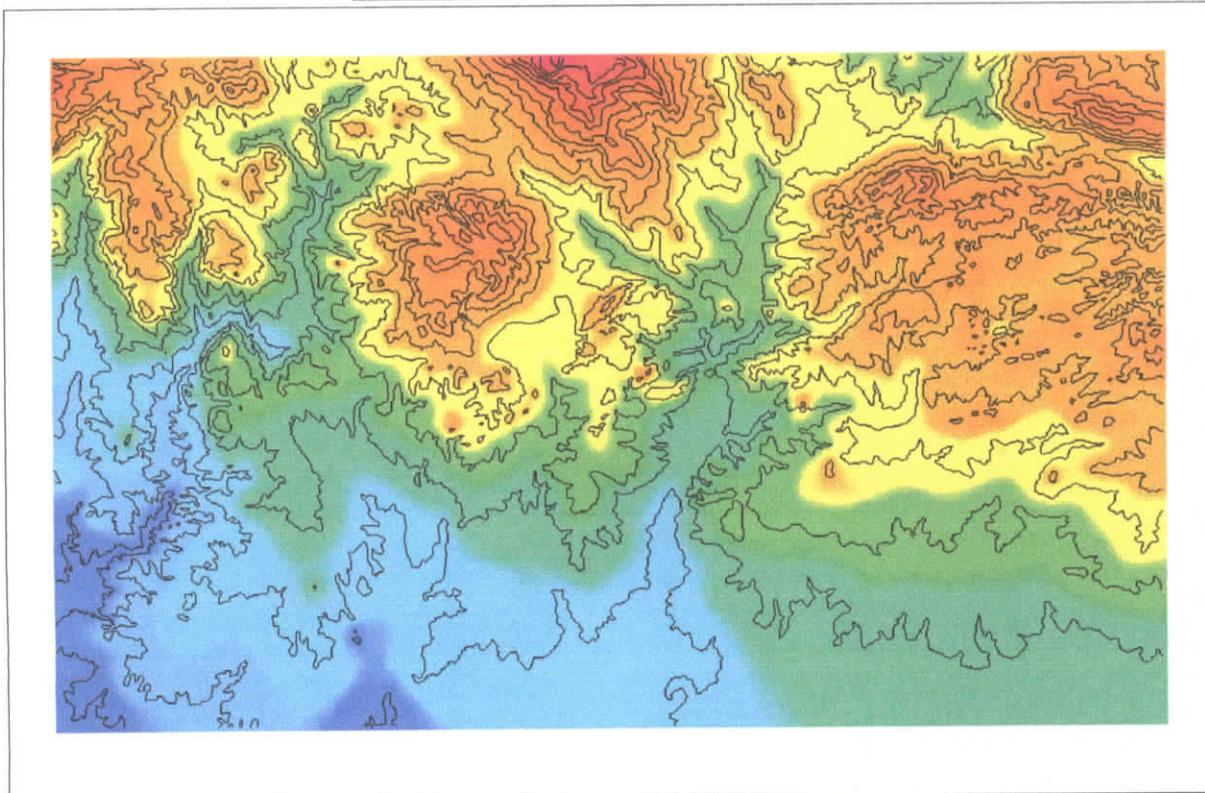
**Carte 5.7 : Précipitation du mois de mars.**



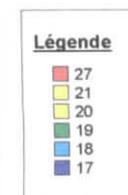
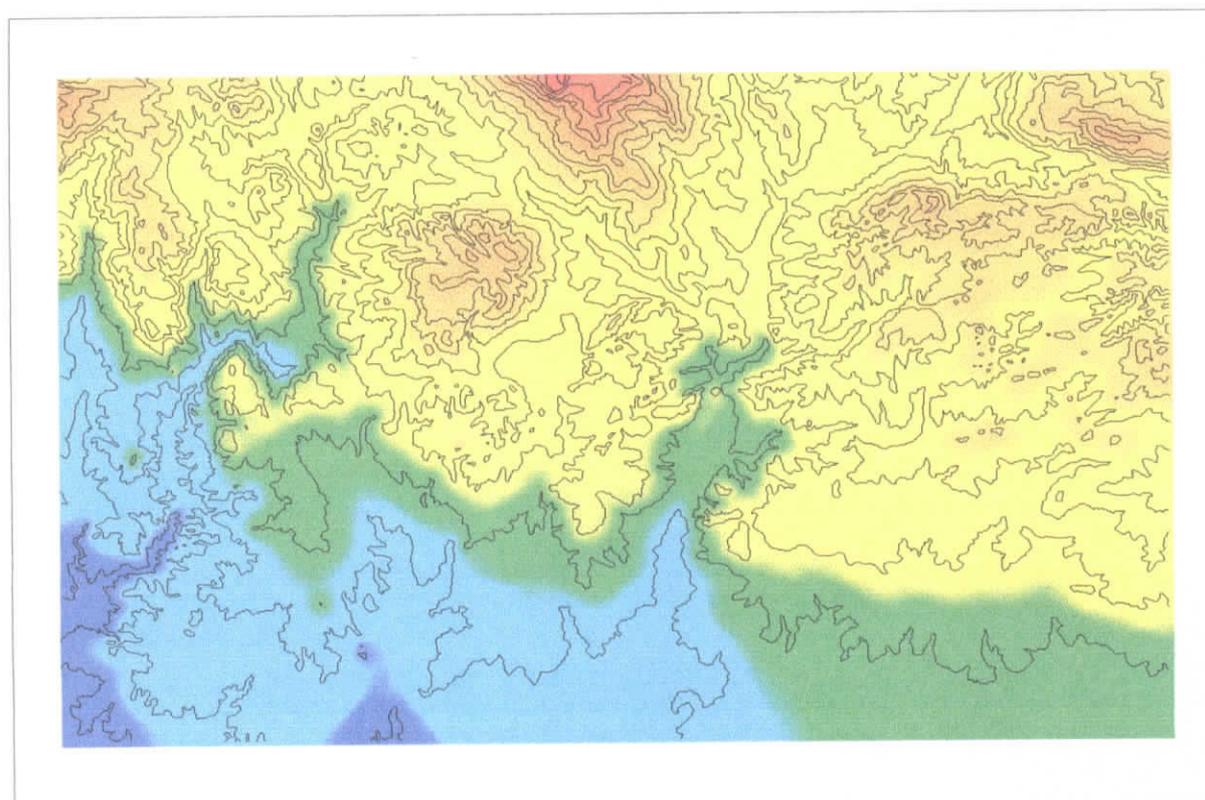
**Carte 5.8 : Précipitation du mois de avril.**



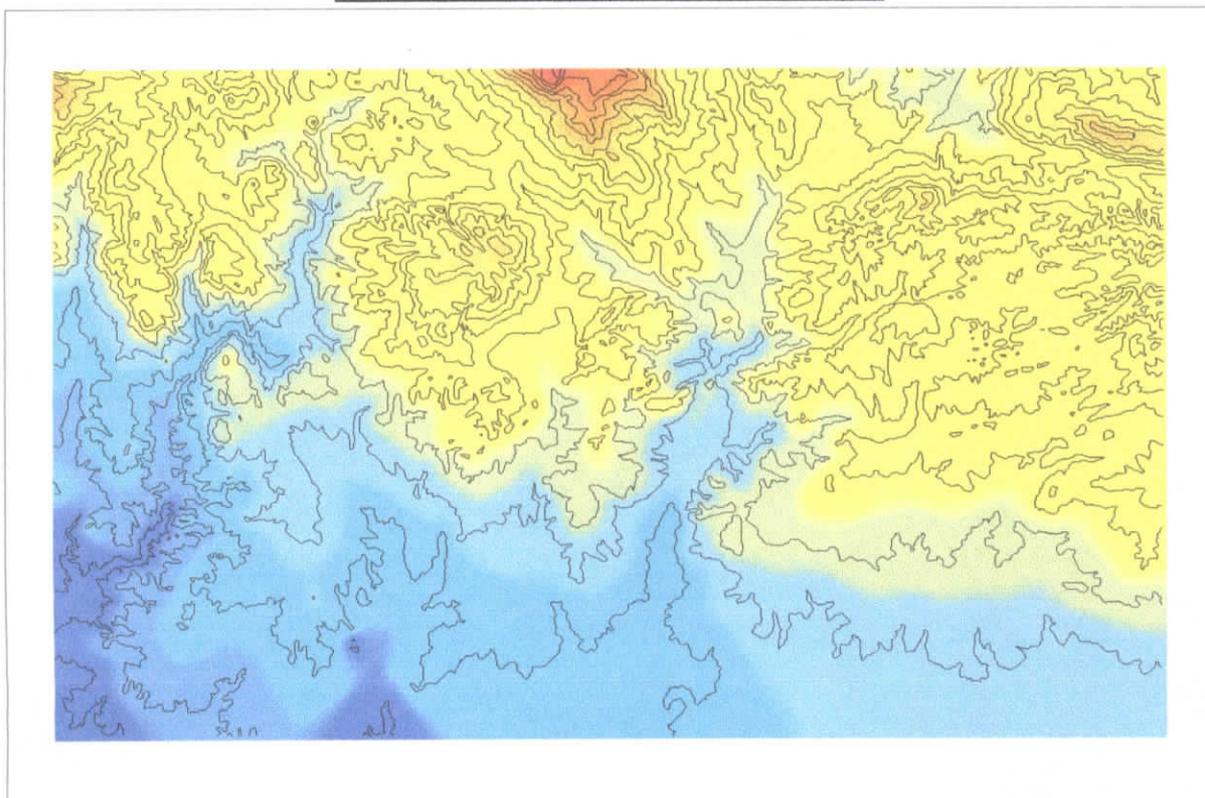
**Carte 5.9 : Précipitation du mois de mai.**



**Carte 5.10 : Précipitation du mois de juin.**



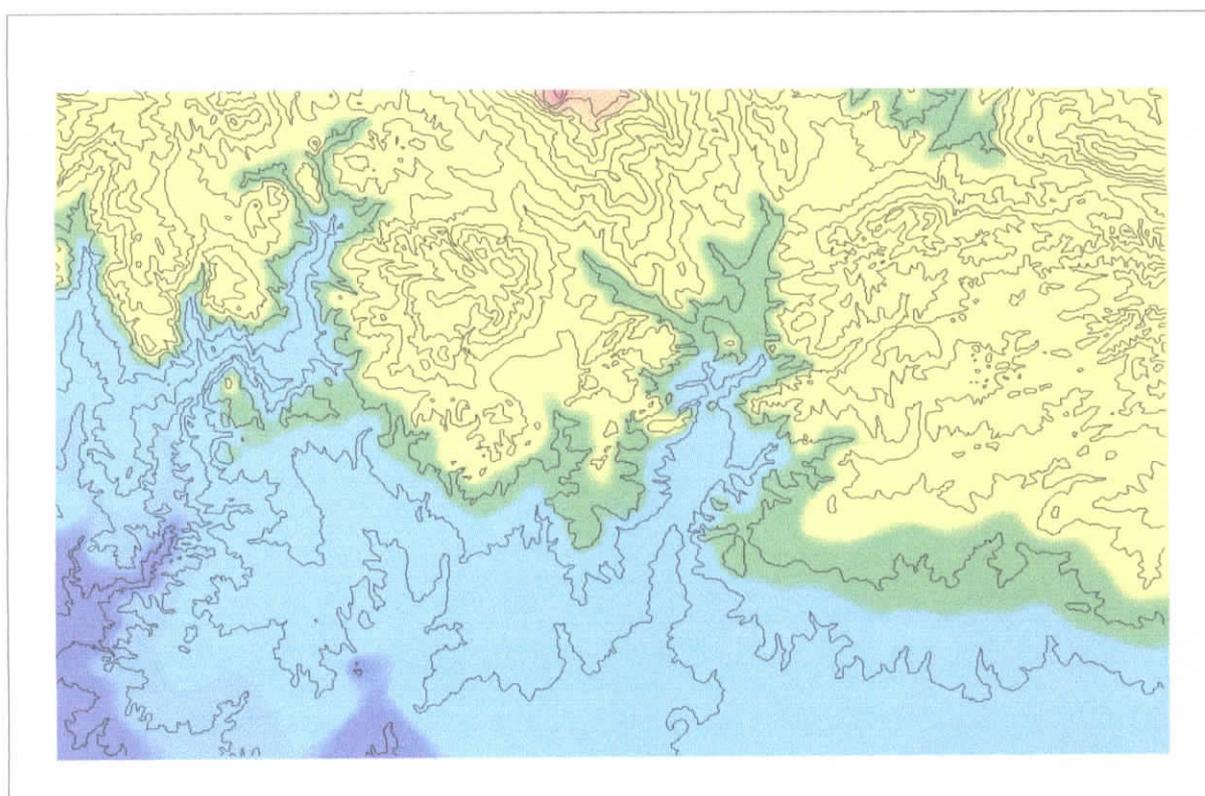
**Carte 5.1 1: Précipitation du mois de juillet.**



**Légende**



**Carte 5.12 : Précipitation du mois de août.**

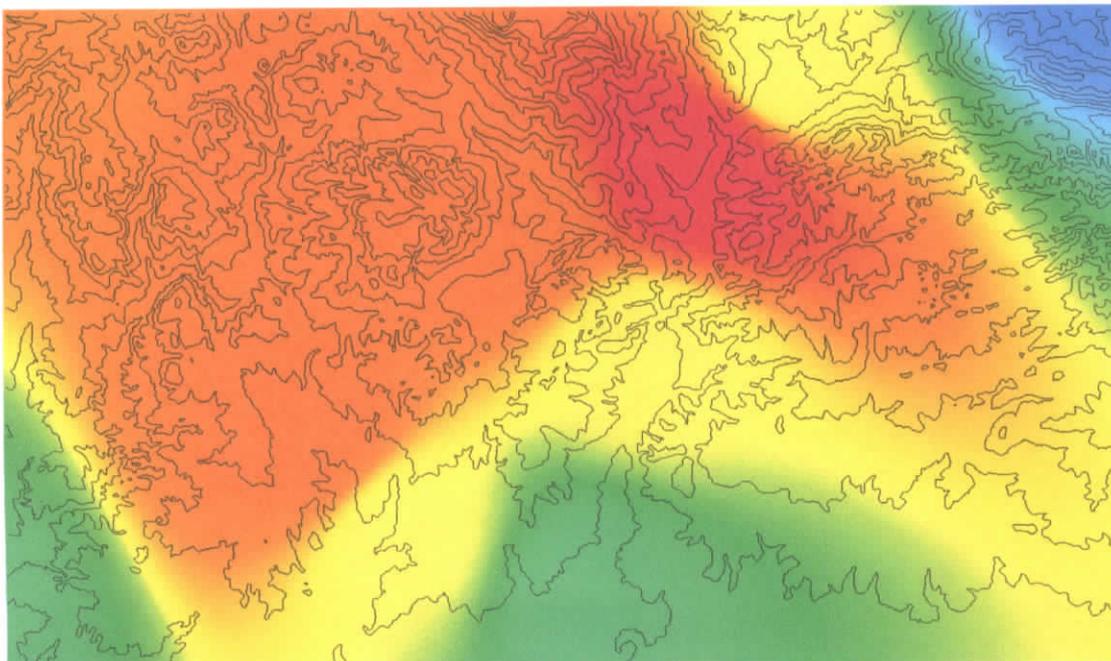


**Légende**

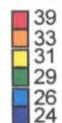


**ANNEXE 6 : CARTES  
PLUVIOMETRIQUES.  
METHODE : « INTERPOLATION  
SPATIALE ».**

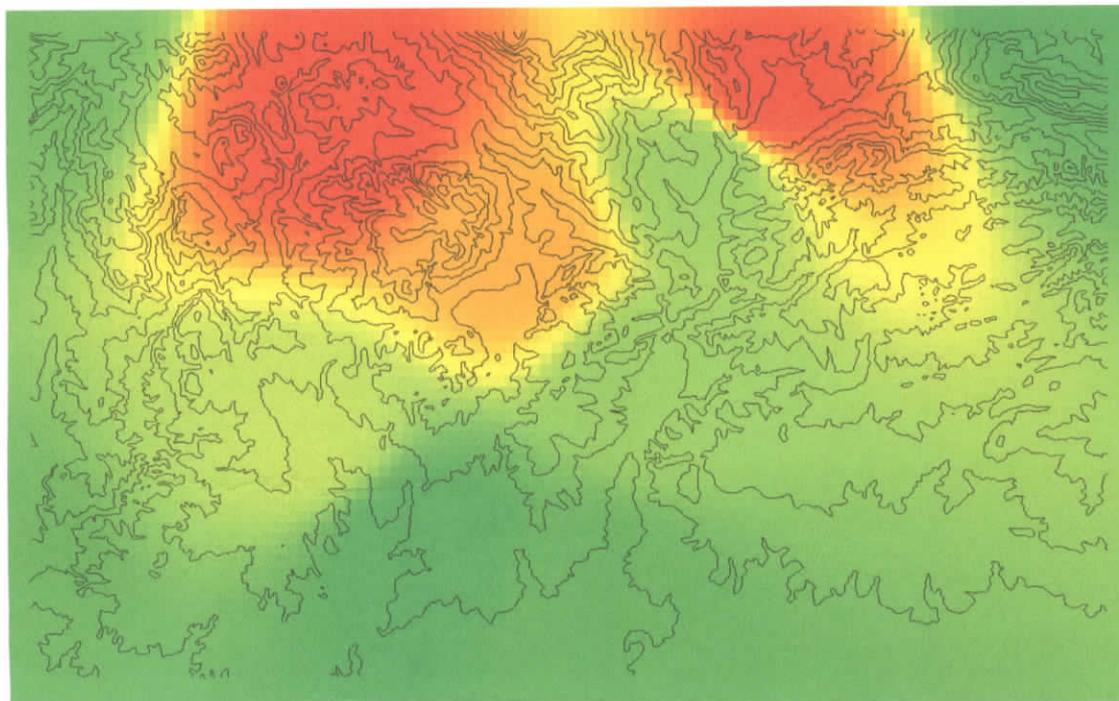
**Carte 6.1 : Précipitation du mois de septembre.**



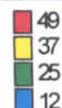
**Légende**



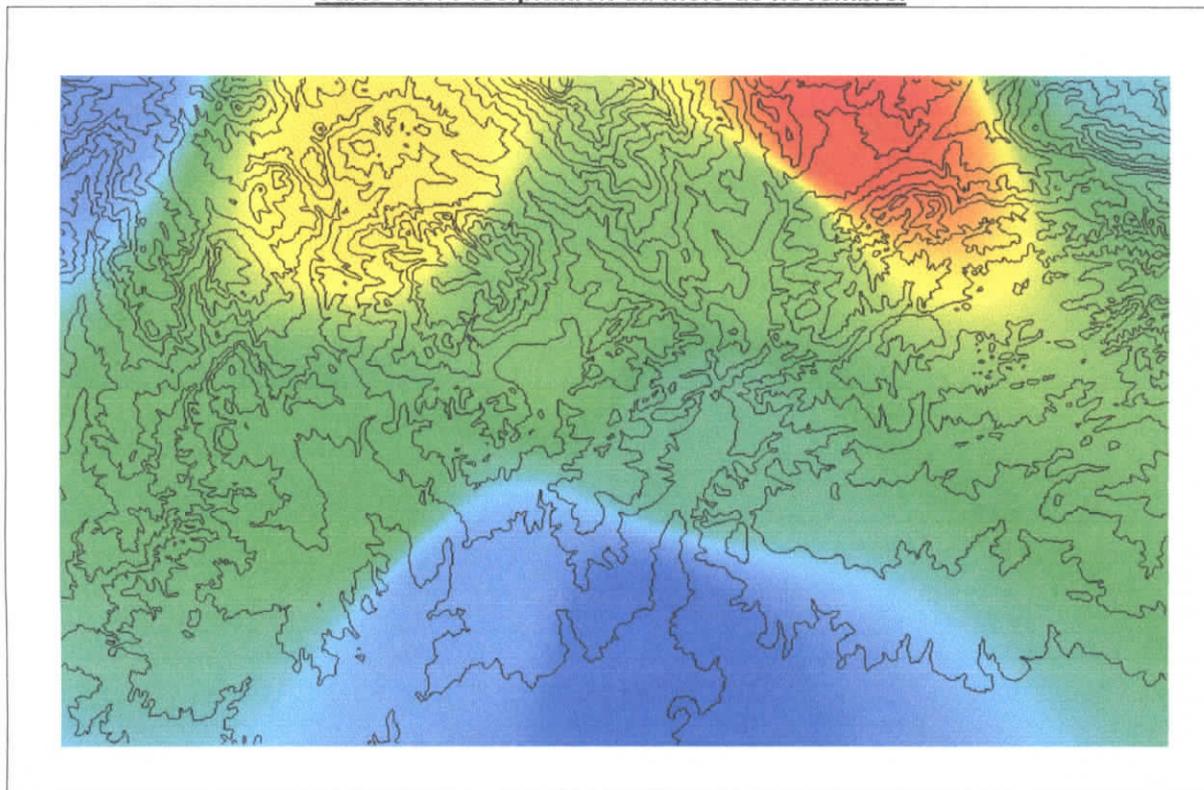
**Carte 6.2 : Précipitation du mois d'octobre.**



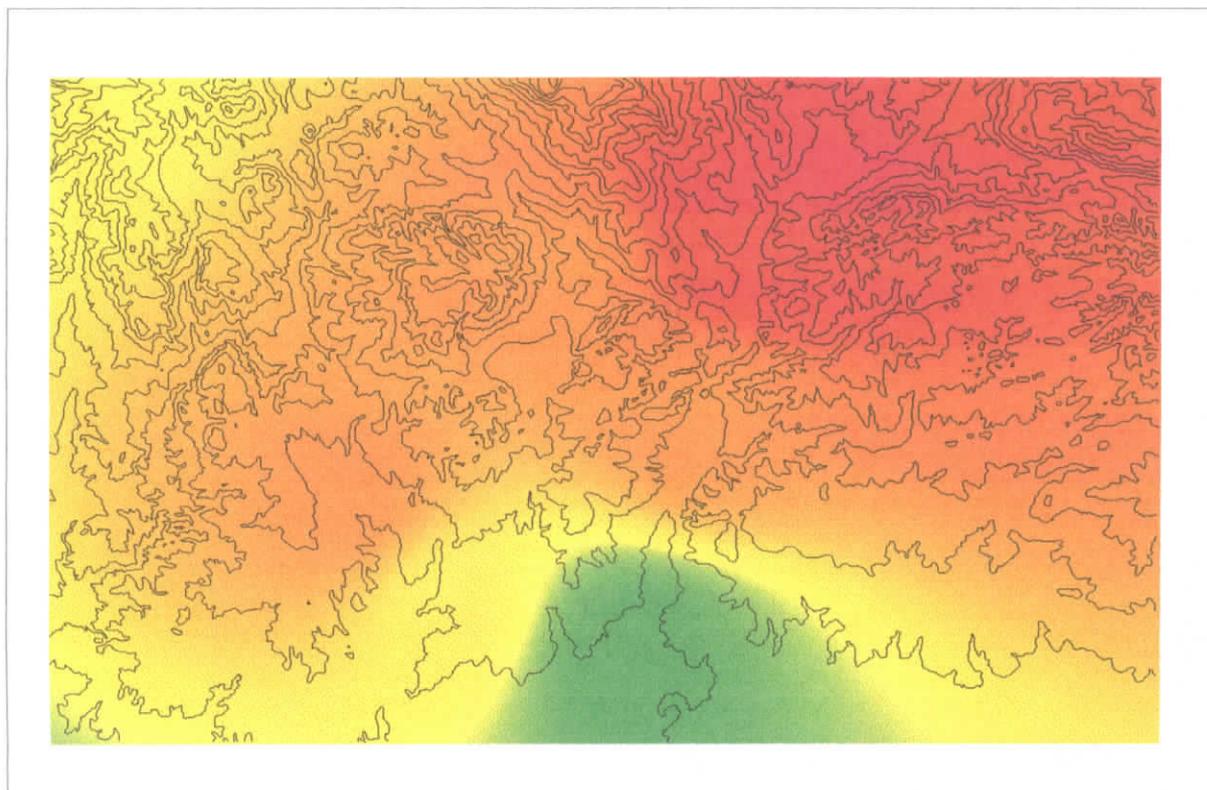
**Légende**



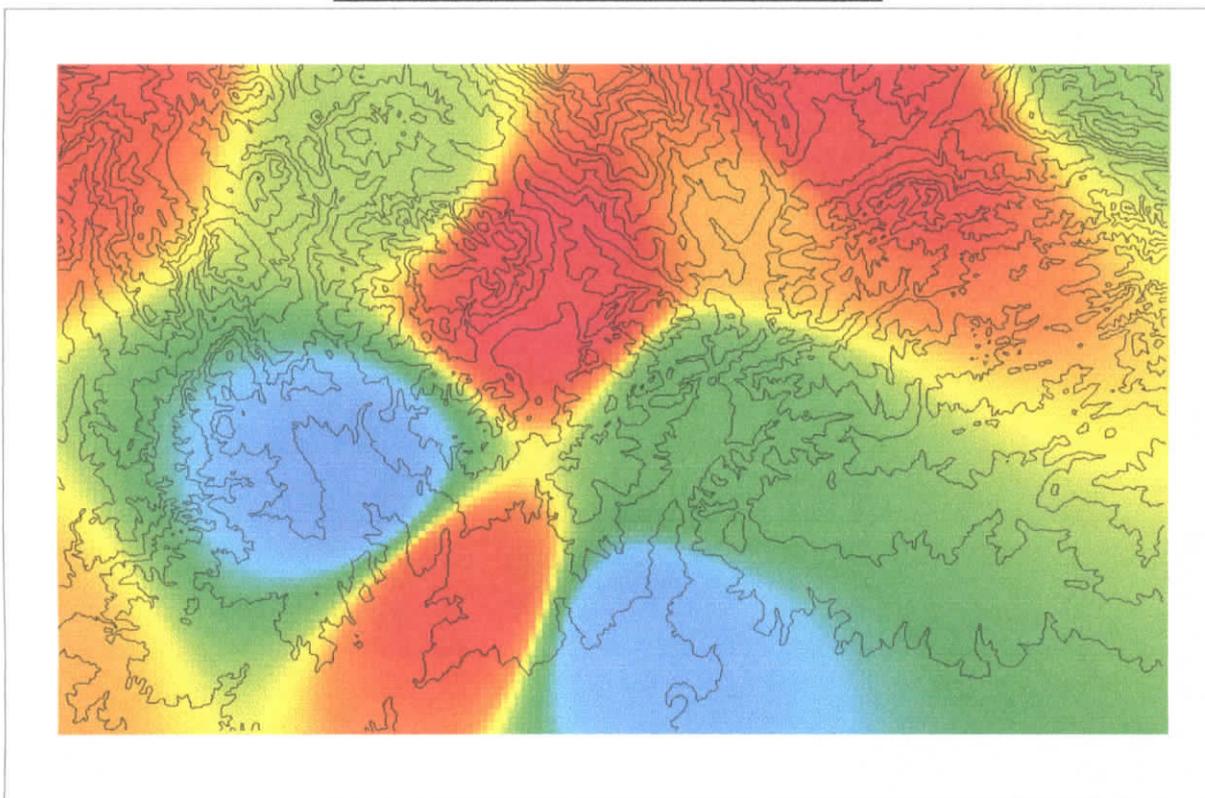
**Carte 6.3 : Précipitation du mois de novembre.**



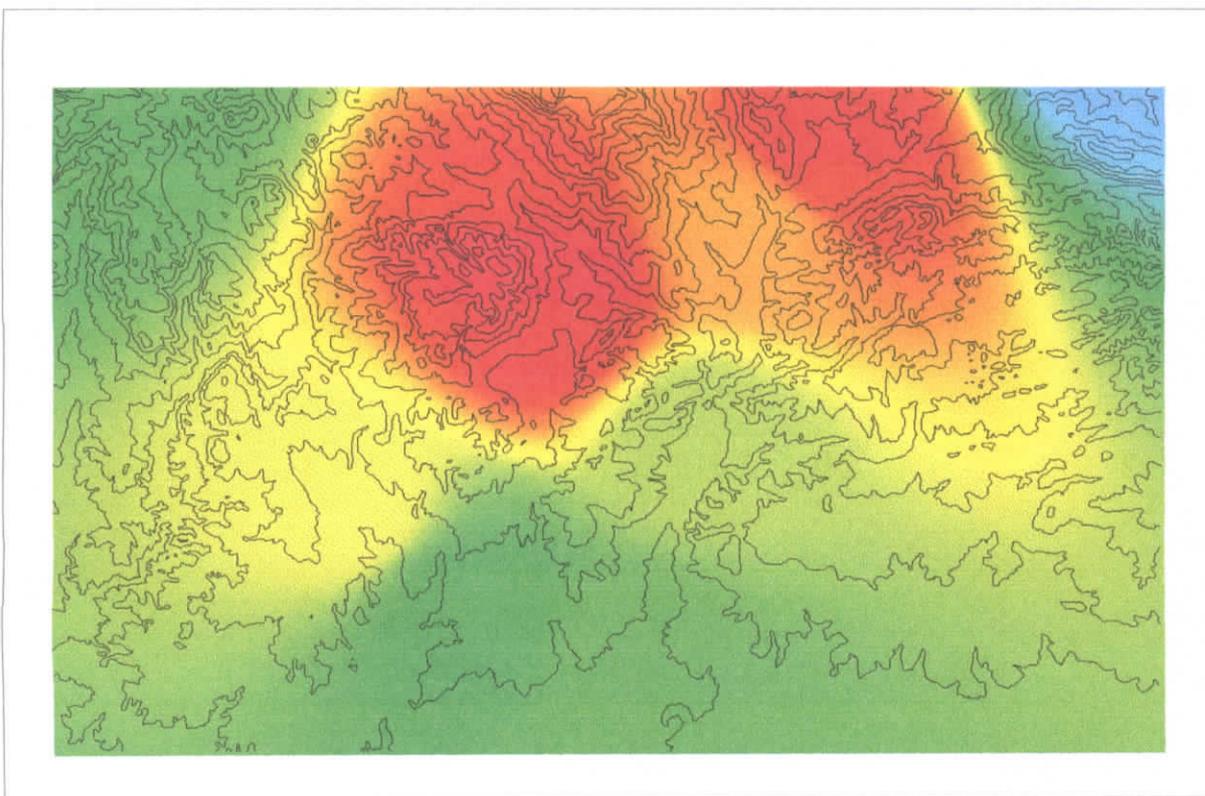
**Carte 6.4 : Précipitation du mois de décembre.**



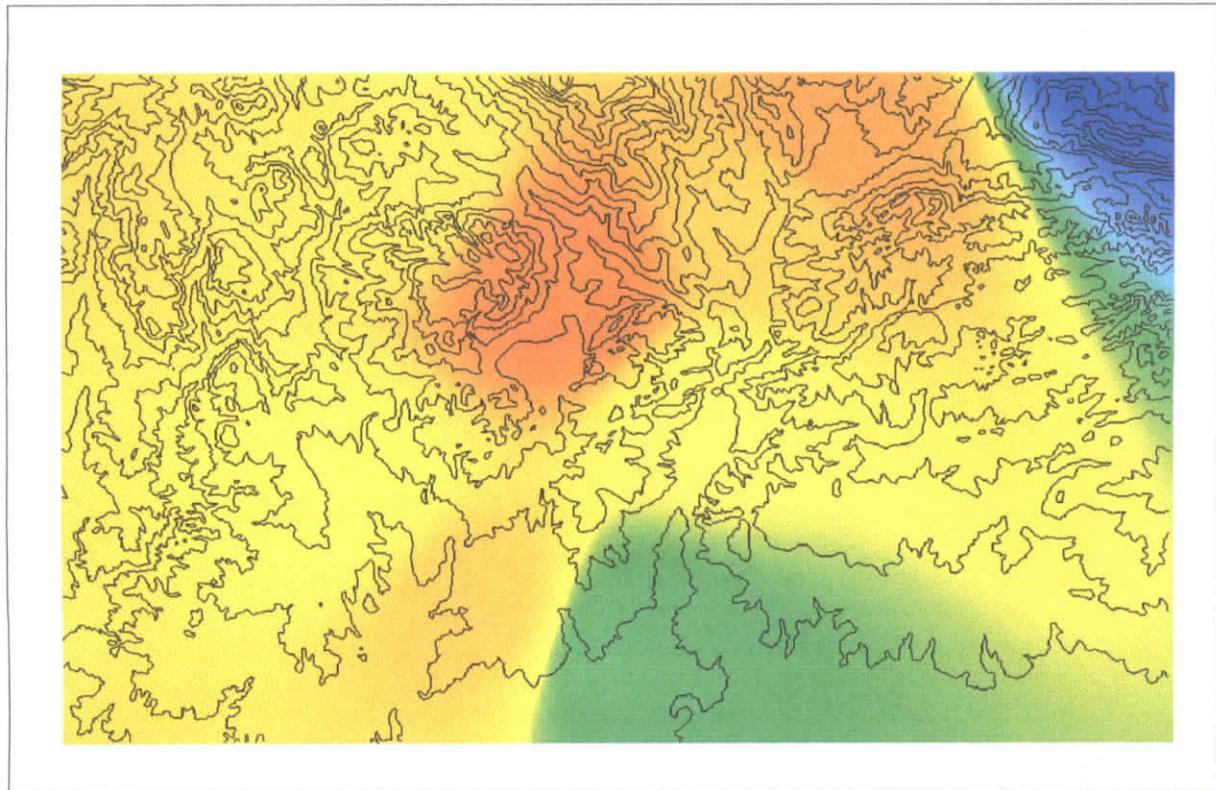
**Carte 5.5 : Précipitation du mois de janvier.**



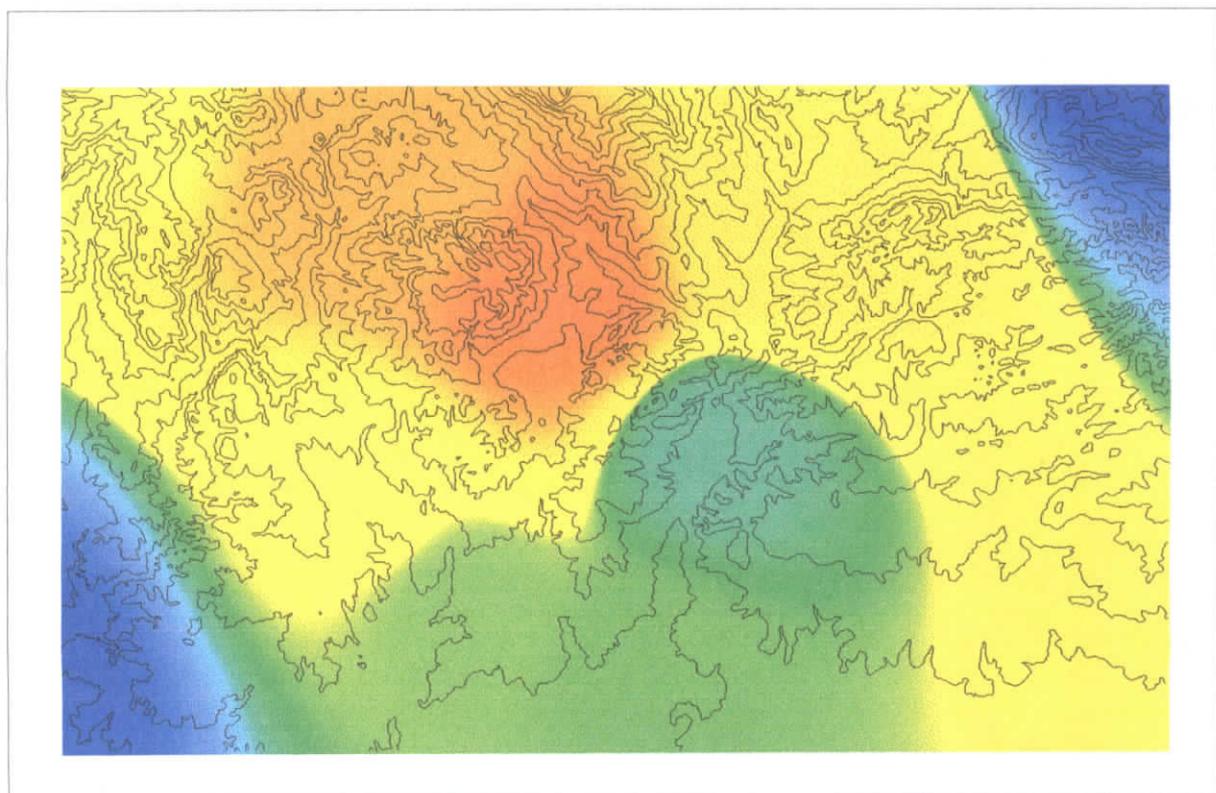
**Carte 5.6 : Précipitation du mois de février.**



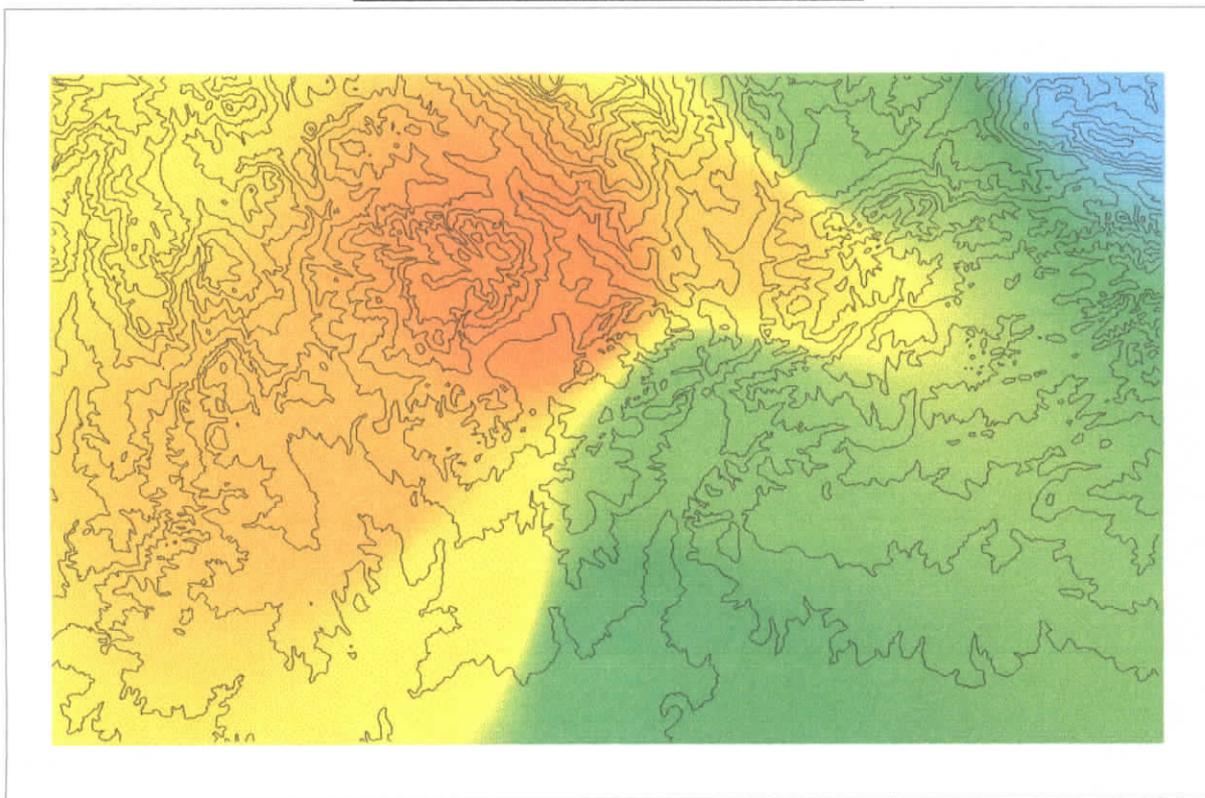
**Carte 6.7 : Précipitation du mois de mars.**



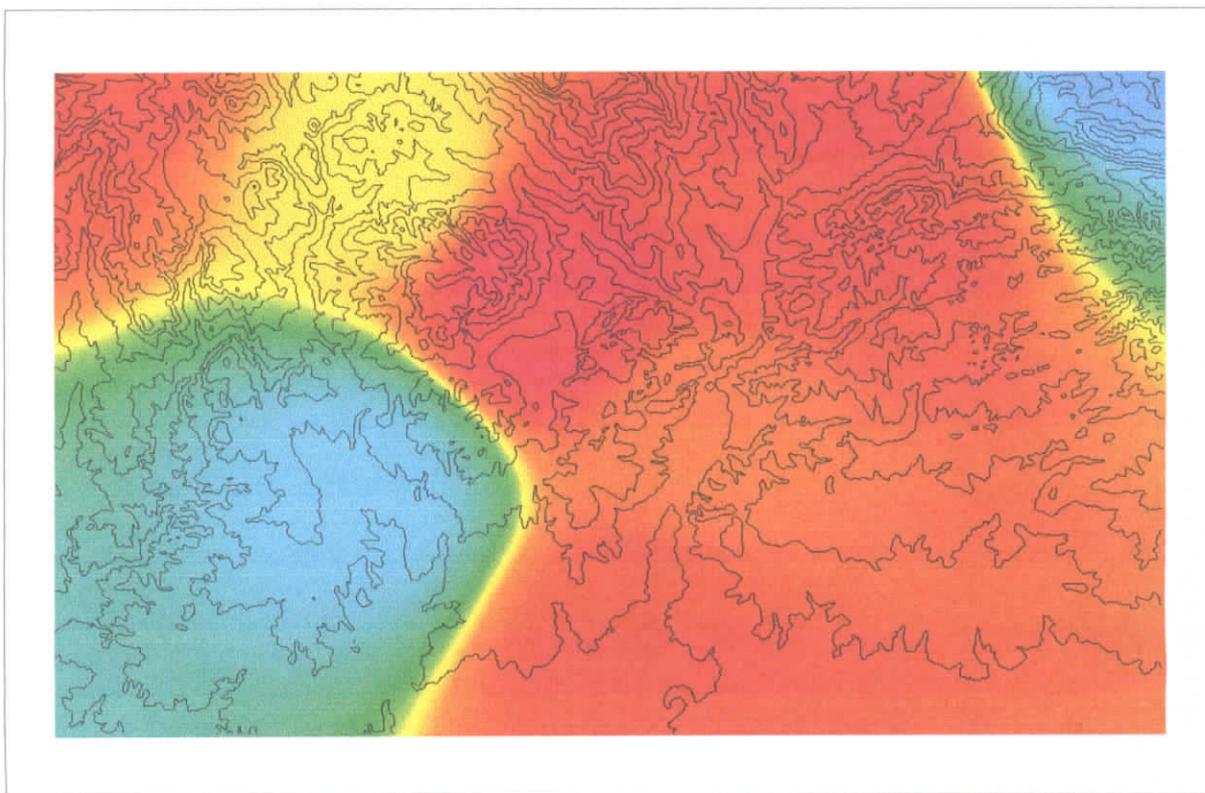
**Carte 6.8 : Précipitation du mois d'avril.**



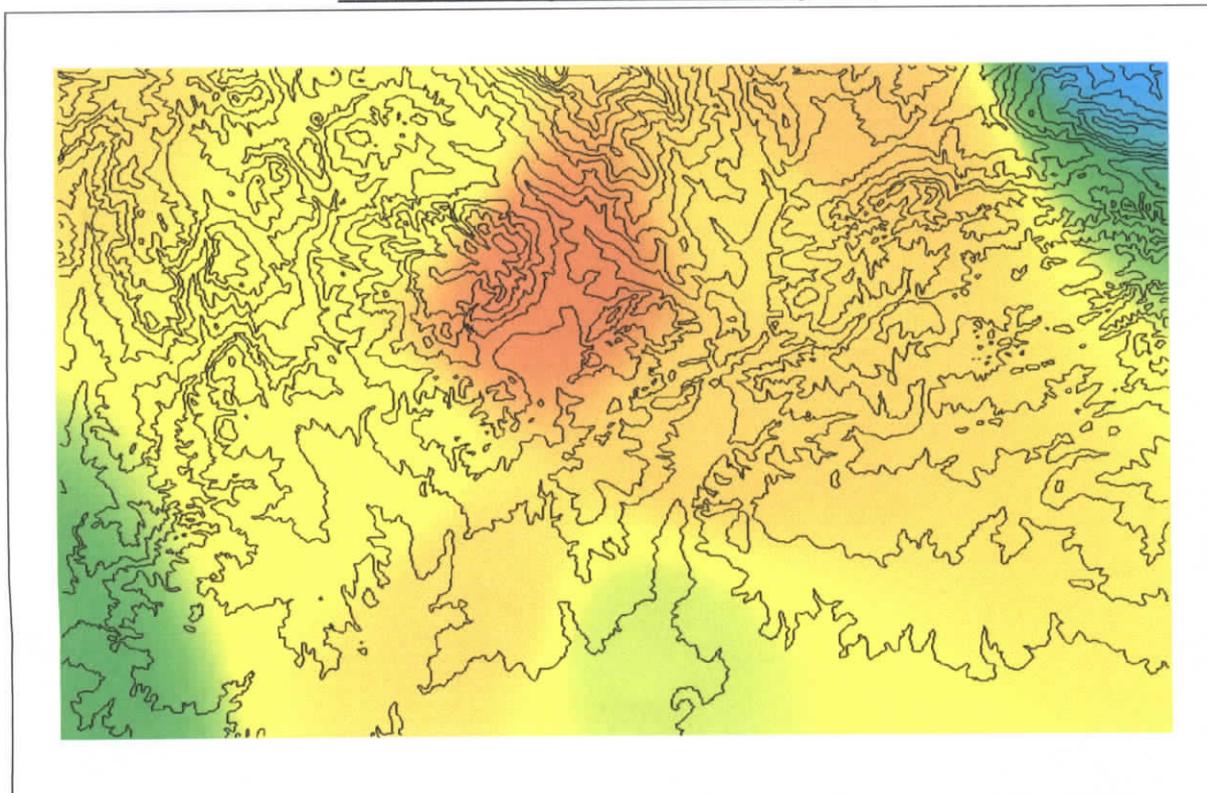
**Carte 6.9 : Précipitation du mois de mai.**



**Carte 6.10 : Précipitation du mois de juin.**



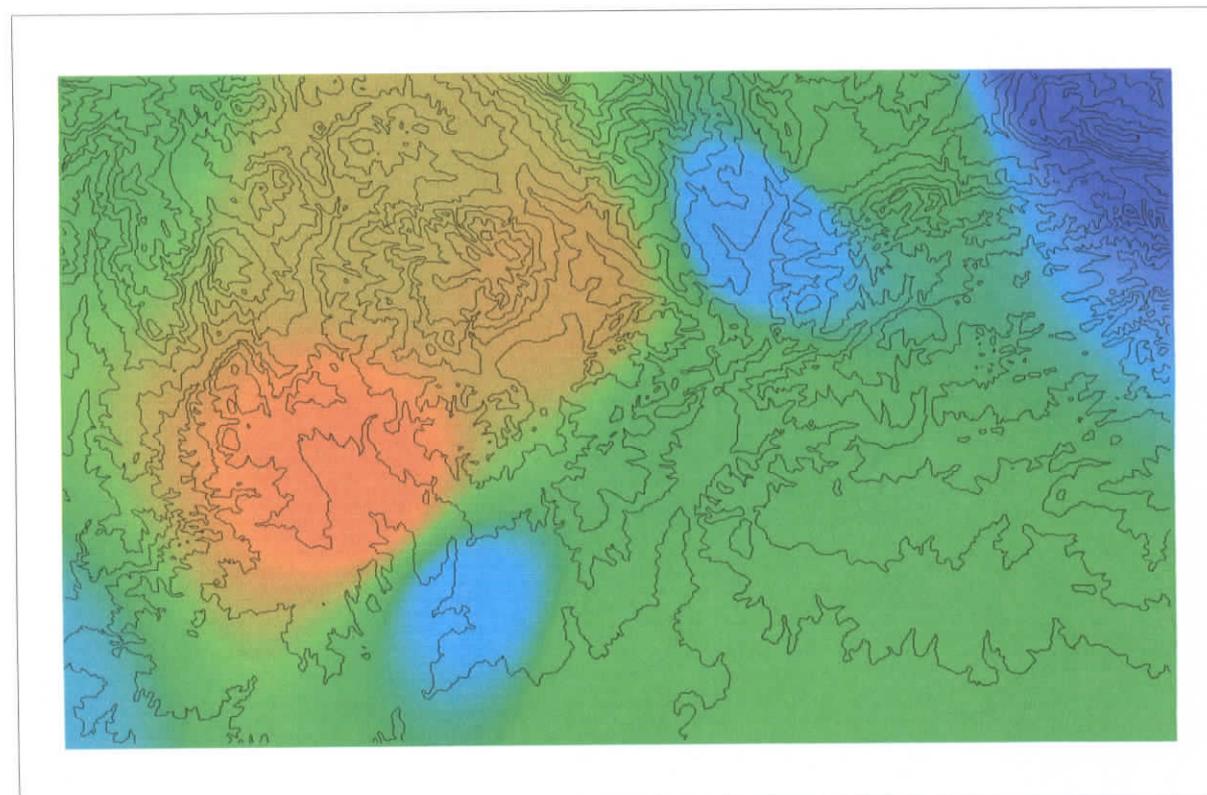
**Carte 6.11: Précipitation du mois de juillet.**



**Légende**



**Carte 6.12 : Précipitation du mois d'août.**



**Légend**

