

5/02



المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
Ecole Nationale Polytechnique

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Ecole Nationale
Polytechnique

المكتبة
BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Département
Génie Hydraulique

Projet de fin d'étude

Pour l'obtention d'un Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Génie Hydraulique

Thème

**ETUDE HYDROGEOLOGIQUE ET
MODÉLISATION MATHÉMATIQUE
DES ÉCOULEMENTS SOUTERRAINS DE LA
NAPPE ALLUVIALE DE LA BASSE
VALLÉE DE LA SOUMMAM**

Proposé & dirigé par :

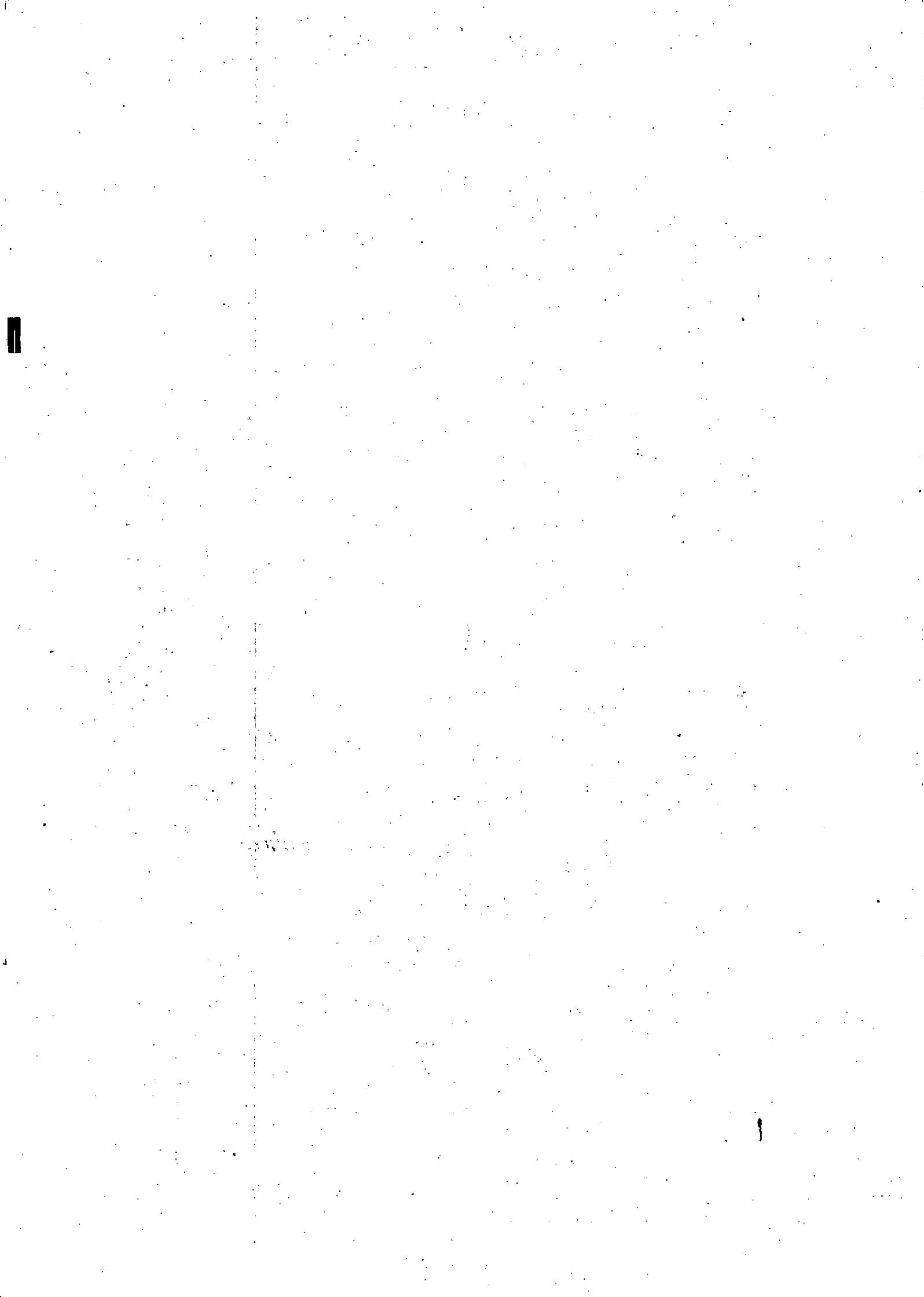
Mr. A. SEMAR

Réalisée par :

Mounia Djihad YOUNSI

Promotion 2002

E.N.P 10, Avenue Hassan Badi, EL HARRACH, ALGER
Tél. (021) 52.53.01/03 Fax. (021) 52.29.73 E-mail : ENP@IST.CERIST.DZ



Remerciements

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué, par leur précieuse collaboration ou leur soutien moral, au bon déroulement de ce travail.

Je tiens à remercier vivement mon promoteur Mrs AHICIN SEMAR pour son soutien moral, son aide et ses gracieux conseils.

Mes considérations pour tous mes enseignants du département hydraulique surtout Melle BENMAMMAR SAIDA et ceux du centre universitaire de Djelfa, je reste toute ma vie reconnaissante de leur patience et encouragement.

Un très grand merci à Mrs A. MESBAH, professeur hydrogéologique, pour sa présence et ses gracieux conseils.

Je tiens à témoigner de la grande qualité du travail des bibliothécaires, et plus précisément Krimo, Djamel, Toufik, Karim, Nawal ... sans oublier notre gracieuse secrétaire Noura.

Mes profondes gratitude pour ceux qui m'ont aidé de près ou de loin au niveau de la Cellule Informatique de Bab Ezzouar, merci beaucoup Abdou, de l'Agence de Bassin (Algerois-Hodna-Soummam), l'Agence National des Ressources Hydriques, l'Agence du Bassin et l'Office National Météorologique.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
-----------------------------	---

PARTIE I

PRÉSENTATION du Milieu

CHAPITRE I	PRÉSENTATION DE LA RÉGION DE LA BASSE SOUMMAM
I.1. Situation géographique.....	2
I.2. Situation administrative.....	3
I.3. Etude de la population.....	5
I.4. Condition socio-économique.....	7
I.4.1. Demande en eau.....	7
I.4.2. Potentialité en eau.....	10

CHAPITRE II

CADRE GÉOMORPHOLOGIQUE ET GÉOLOGIQUE

II.1 Cadre géomorphologique.....	12
II.1.1. Topographie.....	12
II.1.2. Couvert végétal.....	13
II.1.3. Hydrographie.....	14
II.2. Géologie de la Soummam.....	15
II.2. Conclusion.....	19

CHAPITRE III

ETUDE Hydroclimatique

III.1. Introduction.....	20
III.2. Présentation climatologique de la région d'étude.....	20
III.2.1. Principale station pluviométrique.....	20
III.2.2. Détermination de la lame d'eau précipitée.....	24
III.2.3. Analyse des paramètres hydrologiques.....	25
III.2.4. Calcul de l'évapotranspiration selon la méthode de Thornthwaite	30
III.3. Détermination de la lame d'eau ruissellée.....	32
III.4. Estimation de la lame infiltrée.....	32
III.5. Conclusion.....	33

CHAPITRE IV

ETUDE Hydrogéologique

IV.1. Structure et dimensions de l'aquifère.....	34
IV.2. Extension.....	34
IV.2.1. Extensions des alluvions.....	34
IV.2.2. Epaisseur des alluvions et du miocène grossier.....	34
IV.2.3. Volume du réservoir.....	35
IV.3. Hydrodynamique.....	36

IV.3.1. Surface piezométrique (AGB).....	36
IV.3.2. Conditions d'écoulement.....	36
IV.3.3 Régime de la Nappe aquifère.....	37
IV.3.4 Relation Nappe-Oued Soummam.....	38
IV.4 Détermination des caractéristiquement Hydrodynamiques.....	38
IV.5 Evaluation des besoins et des ressources en eau	40
IV.5.1 Réserves en eaux souterraines	40
IV.5.2 Les ressources d'exploitation potentielles	42
IV.5.3 L'évaluation des besoins en eau	42
IV.5.4 L'évaluation des débits sortants	43
IV.6 Bilan en eau de la basse Soummam	44

PARTIE II

PRÉSENTATION DES MODÈLES MATHÉMATIQUES

CHAPITRE V	Modélisation
V.1. Introduction.....	47
V.2. Définition, principes généraux	47
V.3. Les principaux typent de modèles (Opérationnels).....	48
V.3.1 Les modèles analytiques	48
V.3.2 Les modèles analogiques.....	48
V.3.3 Les modèles numériques.....	49
V.4 Principes des modèles mathématiques	49
V.4.1 Régime permanent.....	50
V.4.2 Régime transitoire.....	52
V.5 Conditions aux limites	53
V.6 Maillage	55
V.7 Données nécessaires à la mobilisation.....	55
V.8 Conclusion	56

PARTIE III Application à la Nappe alluviale de la Basse Vallée de la Soummam

CHAPITRE VI	FONCTION DU PROGRAMME
VI.1 Maillage du modèle.....	60
VI.1.1 Découpage et numérotation des mailles utiles (schéma opérateur).....	60
VI.1.2 Repérage géographique (schéma type)	61
VI.1.3 Données de la phase géométrique	61
VI.2 Conditions aux limites	61
VI.3 Paramètres hydrauliques	62
VI.4 Paramètres numériques	63
VI.5 Edition des cartes sur imprimante	63

VI.6 Arrêt du programme	63
VI.7 Application du modèle	64
VI.7.1 Géométrie du modèle	64
VI.7.2 Paramètres hydrauliques	64
VI.7.3 Simulation de la nappe en régime permanent.....	68
<hr/>	
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	74
Bibliographie	

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Au cours de ces dernières années, l'Algérie a rencontré de nombreuses difficultés économiques particulièrement celle liée à la ressource en eau.

En effet, cette situation de manque d'eau est liée d'une part à la sécheresse climatique et à une mauvaise gestion de la ressource en eau d'autre part.

Toute étude hydrogéologique nécessite la connaissance de la ressource souterraine, l'évaluation de leur réserve, leur exploitation rationnelle ainsi que leur conservation. Mais il faut savoir que l'étude piézométrique et les paramètres hydrodynamiques et la traduction des différentes informations sous forme de cartes constituent les documents de base pour l'hydrogéologue.

Partant de ce point de vu, nous avons réalisé une approche méthodologique basée sur une étude hydrogéologique avec modélisation mathématique des écoulements souterrains de la nappe alluviale de la basse vallée de la Soummam. Cette méthodologie pourra être adaptée aux différents réservoirs hydrauliques de l'Algérie.

A cet effet, nous avons présenté ce modeste étude en trois parties, disposées comme suit :

En première partie, nous présenterons la région d'étude, en décrivant la situation, géographique, la géomorphologie, la géologie, l'étude hydroclimatique et hydrogéologique de la Basse vallée de la Soummam ;

La deuxième partie, nous exposerons le contenu théorique et le formalisme de l'approche de modélisation en hydrogéologie ;

En dernière partie, nous ferons l'application à la Basse vallée de la Soummam et nous exposerons les différents résultats obtenus avec leurs interprétations.

PARTIE I

PRÉSENTATION du Milieu

CHAPITRE I

PRÉSENTATION de LA RÉGION de LA BASSE SOUMMAM

CHAPITRE I

PRÉSENTATION DE LA RÉGION DE LA BASSE SOUMMAM

I-1 SITUATION GEOGRAPHIQUE

La vallée de la Soummam est le prolongement oriental de la grande vallée de la Soummam. C'est une vallée intramontaineuse, située à la limite entre (FigI-1):

- le massif de la grande Kabylie au nord.
- les monts des Bibans et des Barbors au sud.

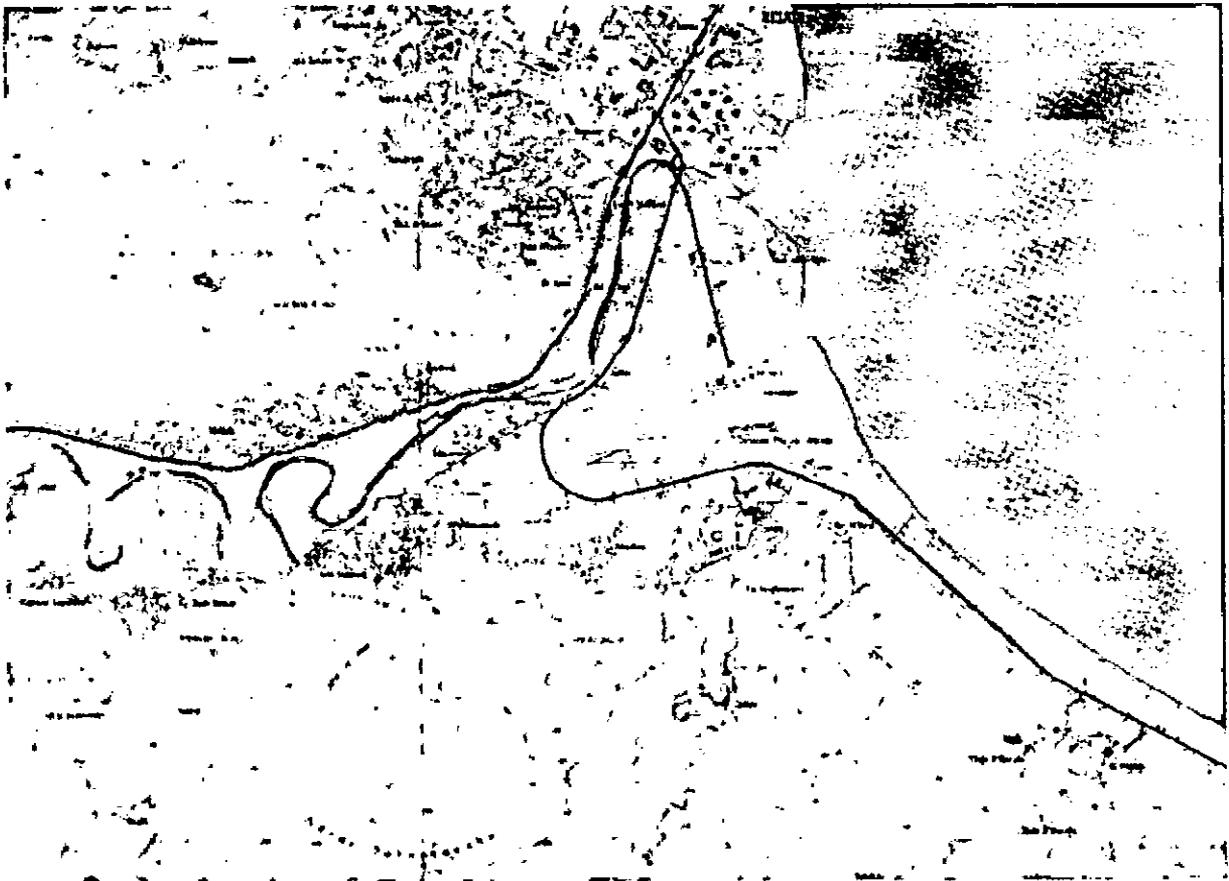


Fig I-1: La situation géographique de la basse vallée de la Soummam

I-2 SITUATION ADMINISTRATIVE

Administrativement, la basse Soummam appartient à la wilaya de Bejaia, née du découpage de 1974. Elle s'étend de Sidi-Aich jusqu'à la mer, sur une distance de 45 km, couvrant une superficie de **808 km²**, et couvre les territoires de 5 communes :

- ✓ La commune de Sidi-Aich à l'Ouest ;
- ✓ La commune d'Adakar au Nord ;
- ✓ Les communes d'Amizour et de Souk-El Thenine au Sud et au Sud-Est ;
- ✓ La commune de Bejaia à l'Est.

La principale ville de la basse Soummam est la ville de Bejaia (Bougie), fort connu par son intense activité commerciale.

Les agglomérations secondaires sont très nombreuses, mais les plus importantes sont :

Sidi-Aich (11373 hab),
El-kseur (26886 hab),
Amizour (34218 hab) (**AGB**).

La répartition des agglomérations par commune est représentée dans le tableau suivant :

Tableau I-1: Agglomération dans la basse Soummam.

<i>Commune</i>	<i>Agglomération</i>	<i>Commune</i>	<i>Agglomération</i>
Bejaia	Bejaia	Aksadou	Imaghdacen
	Boukhiama		A.Amara
	Oussaourou		Aourir
	Ighil geratou		A.Allouane
	Oued Sabet		Taourirt
	Amitik tafat		Zioui
Amizour	Amizour	Oued Ghir	Oued Ghir
	Boukhalfa		Mellala
	Ighil halouanene	Tifra	Ibourassen
	Merdj ouamene		H.Sillal
	Lakhmis		Tifra
Sidi-Aich	Sidi Aich	Taurirt ou aissa	
El Kseur	El Kseur	Tizi Tifra	
Timezrit	Timezrit	Tinabder	Ibouraine
	Djemaa		Thinabder
	Tasga		Birmatou
	I.El.Kebila	Ifenain Ilmathen	Tala Tazer
	Abainou		Il Matten
	Ideraken		VSA
			Takhlicht
	Amsiouene	Semaoun	Timri
	El Kelaa		Semaoun
	Imezouagh		Tighramt
			Takorabt

Source AGB

I-3 ETUDE DE LA POPULATION

Selon le recensement effectué par l'office nationale des statistiques **1998**, la population de la basse de la Soummam est passée de **1054344** habitants en **1987** à **1930121** habitants en **1998**, soit un taux d'accroissement moyen de **2.05%**. Ce fort taux d'accroissement est très proche du taux d'accroissement moyen annuel national qui est de **2.15%**.

La projection de la population par commune pour différents horizons est donnée dans le tableau I-2 suivant :

Tableau I-2: Projection de la population dans le bassin.

<i>Commune</i>	<i>Population Projection de la population</i>		
	<i>1998</i>	<i>2002</i>	<i>2005</i>
<i>Bejaia</i>	150 196	160 736	169 123
<i>Amizour</i>	34 218	36 619	38 530
<i>Tifra</i>	8 547	9 147	9 624
<i>Akfadou</i>	7 502	8 028	8 447
<i>Sidi Aich</i>	11 373	12 171	12 806
<i>El-Kseur</i>	26 886	28 773	30 274
<i>Oued Ghir</i>	15 728	16 832	17 710
<i>Temezrit</i>	22 391	23 962	25 213
<i>Tinebdar</i>	6 083	6 510	6 850
<i>Semaoun</i>	13 157	14 080	14 815
<i>Ifelain</i> <i>Ilmathen</i>	11 995	12 837	13 507
<i>Tala Hamza</i>	10 252	10 971	11 544
<i>Total</i>	318328	340666	358443

On constate que la répartition de la population est concentrée au niveau de la vallée de la Soummam où la densité moyenne atteint les **404 hab. / Km²** de la population totale du bassin.

En effet, la figure I-2 montre que la densité de population par hectare est relativement importante au niveau des localités situées le long de l’oued Soummam.

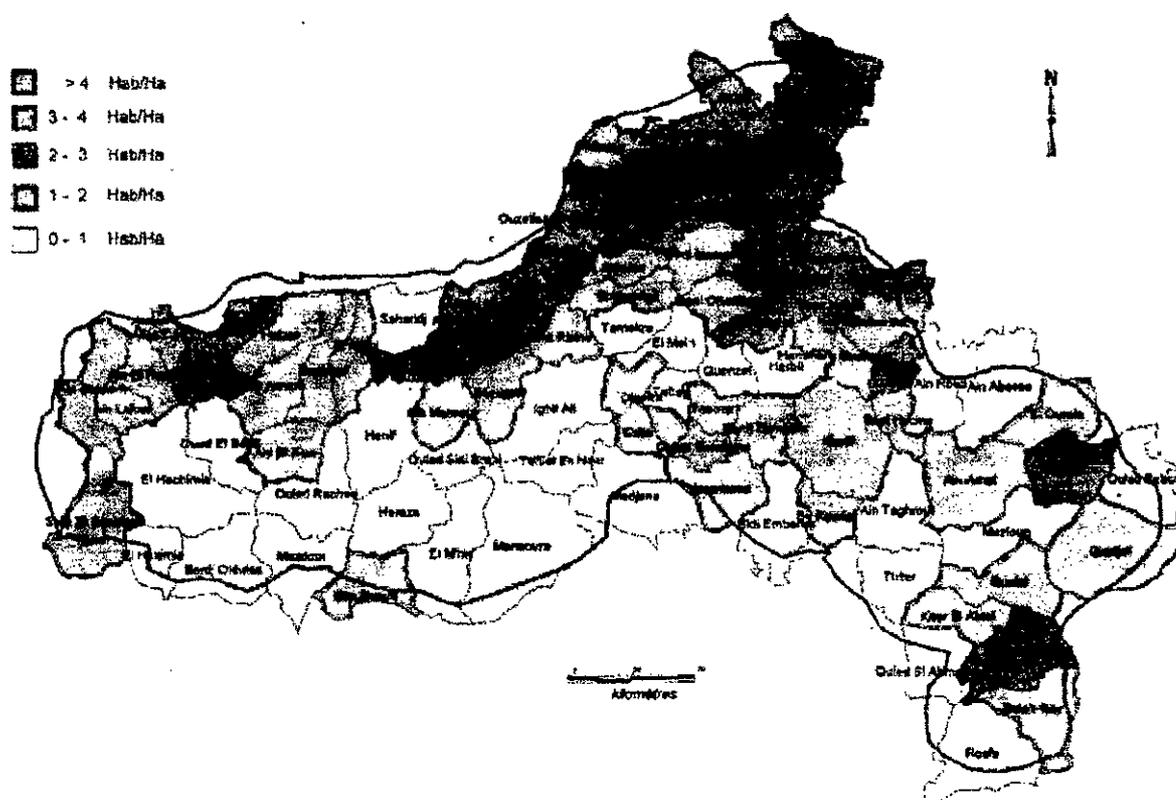


Fig I-2: La Densité de la Population par Hectare

I-4 CONDITION SOCIO-ECONOMIQUE

I-4.1 DEMANDE EN EAU

a) DEMANDE AEP ET AEI

i. DOTATIONS :

Les dotations sont calculées sur la base de l'enquête réalisé à Alger et Boumerdes, lors de l'étude d'avant projet détaillé du transfert Taksebt - Souk Tleta - Alger.

Les différentes dotations pour les différents horizons sont représentées dans le tableau I-3.

Tableau I-3: Dotations pour les différents horizons.

Commune	Dotations (l / j / habt)		
	1998	2002	2005
<i>Bejaia</i>	250	326	384
<i>Amizour</i>	256	335	394
<i>Tifra</i>	252	330	388
<i>Sidi Aich</i>	217	284	334
<i>El Kseur</i>	252	330	388
<i>Akfadou</i>	254	332	390
<i>Oued Ghir</i>	192	252	296
<i>Timezrit</i>	294	384	452
<i>Tinebdar</i>	252	330	388
<i>Semaoun</i>	248	325	382
<i>Ifelain</i>	294	384	452
<i>Ilmathen</i>			
<i>Tala Hamza</i>	229	299	352

Source AGB

ii. BESOINS :

La demande en eau journalière nette à chaque horizon, est le produit de la dotation unitaire par la population de la commune (tableau I-4).

Tableau I-4: Besoins nets annuelles à différents horizons.

<i>Commune</i>	<i>Besoins net en eau potable et industrielle (Hm³/an)</i>		
	<i>1998</i>	<i>2002</i>	<i>2005</i>
<i>Bejaia</i>	13,7	19,1	23,7
<i>Amizour</i>	3,2	4,5	5,5
<i>Tifra</i>	0,8	1,1	1,4
<i>Sidi Aich</i>	0,9	1,3	1,6
<i>El Kseur</i>	2,5	3,5	4,3
<i>Akfadou</i>	0,7	1	1,2
<i>Oued Ghir</i>	1,1	1,5	1,9
<i>Timezrit</i>	2,4	3,4	4,2
<i>Tinebdar</i>	0,6	0,8	1
<i>Semaoun</i>	1,2	1,7	2,1
<i>Ifelain</i> <i>Ilmathen</i>	1,3	1,8	2,2
<i>Tala Hamza</i>	0,9	1,5	1,5
<i>Total</i>	<i>29,3</i>	<i>41,2</i>	<i>50,6</i>

b) DEMANDE DE L'IRRIGATION :

L'irrigation est basée sur les forages, puits, sources et les fils d'eau sur une superficie total de la vallée de la Soummam évaluée à **4725 ha**.

Les besoins de quelques communes sont représentés dans le tableau I-5 suivant :

Tableau I-5 : Besoins en eau de l'irrigation

Commune	Superficie totale irriguée (Ha)	Superficie irriguée par ouvrage de Mobilisation (Ha)				Besoins en eau(Hm ³)
		forages	Puits	Sources	Fil d'eau	
<i>Bejaia</i>	716	195	240	7	275	5,01
<i>Oued Ghir</i>						
<i>Amizour</i>	1233	445	526	25	236	8,63
<i>Semaoune</i>	263	263	-	-	-	1,84
<i>Tifra</i>	12	-	6	-	-	0,08
<i>Ifelain Ilmaten</i>	145	-	16	-	129	1,01
<i>Sidi Aich</i>	13	-	10	-	3	0,09
<i>El Kseur</i>	485	170	184	18	113	3,40
<i>Timezrit</i>	295	234	20	5	36	2,07
<i>Thinbdar</i>	7	1	6	-	-	0,05
Total	3169	1308	1008	55	792	22,18

Source DSA in AGB:2000

C) CONCLUSION :

La DHW a évalué les besoins en eau de la Basse Soummam (quelques communes) comme suit :

- ✓ Besoins en eau potable et industrie est de **29.3 Hm³**
- ✓ Besoins pour l'agriculture pour une superficie de 3169 ha pour une période d'irrigation de six mois est de **22.18 Hm³**.

I-4.2 POTENTIALITE EN EAU :**□ SITUATION ECONOMIQUE ET PROBLEME DE L'EAU (DHW IN AGB) :**

La position géographique privilégiée de la ville de Bejaia et la disponibilité d'importantes ressources naturelles et humaines, font de la basse Soummam une région très appropriée au développement économique accéléré.

La basse Soummam est une région économiquement très viable, elle renferme d'énormes richesses naturelles et humaines, les richesses naturelles sont représentées par :

- Les terres fertiles de la plaine de la Soummam dont la superficie totale est de 129.210 ha ;
- Les vastes forêts de chênes lièges et de chênes zeen d'Akfadou et du littoral dont la superficie totale est de 141.96 ha ;
- Les ressources minières, notamment le fer et les substances utiles ;
- Les potentialités touristiques inestimables par la diversité et la richesse des paysages de la Kabylie des Babors.

Les principales activités économiques de la région sont : l'agriculture, l'industrie, le trafic portuaire, la pêche et le tourisme.

Durant la dernière décennie, l'intensification de l'activité industrielle par l'implantation de nombreuses unités de production, s'est accompagnée d'un exode massif de la population rural vers les principaux centres urbaines en voir l'industrialisation. Le développement accéléré de l'industrie au détriment des autres activités est à l'origine des nombreuses difficultés économiques que connaît actuellement la région.

Parmi les nombreuses difficultés, soulignons celle liée à la satisfaction des besoins en eau indispensables à l'alimentation en eau potable de la population dont la

démographie est de 45% par an et à l'accroissement de la surface des périmètres d'irrigation.

A court terme, les objectifs à atteindre dans le domaine de l'hydraulique sont :

- Satisfaire à l'ensemble du besoin en eau potable des 4 principales agglomérations : Béjaïa, El-Kseur, Amizour et Sidi-Aich ;
- Assurer les besoins en eau de l'industrie, dont 36 opérateurs économiques du secteur public et 247 petites et moyennes industries du secteur privé ;
- Irriguer une superficie totale de 6.800 ha de terres de la plaine de la Soummam dont 4725 ha sont situés dans la basse soummam.

CHAPITRE II

CADRE GÉOMORPHOLOGIQUE ET GÉOLOGIQUE

CHAPITRE II

CADRE GÉOMORPHOLOGIQUE ET GÉOLOGIQUE

Ce chapitre portant sur le cadre géomorphologique et géologique de la région de la Soummam, représente une synthèse de données d'étude déjà réalisées (apports de l'agence de Bassin 2001, F. Bouchaala 2001, K. Ider 1998, M.Zerourou 1991, N.Henidi 1993).

II-1 CADRE GEOMORPHOLOGIQUE

II-1.1 TOPOGRAPHIE

La vallée de l'oued Soummam est une région très accidentée, elle est caractérisée par trois grands ensembles géomorphologiques :

- L'ensemble géomorphologique septentrional, constitué par des formations compétentes, d'âge secondaire et tertiaire, formant des escarpements inaccessibles dont les sommets culminent à plus de 1600m dans l'Akfadou. La terminaison orientale de cet ensemble est caractérisée par les crêtes calcaires de l'Arbalou et du Gouraya, dont les sommets culminent respectivement à 1313m (djamaa N^oTecheriat) et à 672m (Pied la Dent) ;
- L'ensemble géomorphologique méridional, constitué essentiellement par des formations tendres au sein des quelles percent des « lames calcaires » .

Les formations sont d'âge secondaire, seules les lames calcaires forment les sommets culminants à plus de 1657m, très caractéristiques des Babors ;

- Le troisième ensemble géomorphologique comprend, la plaine de l'oued Soummam, les vallées des principaux affluents de ce dernier et les reliefs intermédiaires bordant la plaine.
- La plaine forme une bande très étroite et allongée, suivant la direction Nord-Est, Sud-Ouest. Elle est caractérisée par une altitude relativement faible (inférieure à 100m) et une inclinaison de l'ordre de 2% vers l'Est. elle est constituée par des alluvions d'âge quaternaire ;
- Les vallées secondaires sont très étroites profondément encassées elles présentent une direction normale à l'axe de la vallée de l'oued Soummam ;
- Les reliefs intermédiaires sont constitués de formation tendre, d'âge récent sur le versant Nord et d'âge secondaire à récent sur le versant Sud. Ils sont représentés par des collines marneuses, d'altitude relativement élevée, atteignant par endroits (400 à 500m) et surplombant généralement la plaine, sur le versant Sud, ces collines passent latéralement à l'Est aux massifs volcaniques d'Amizour et de Bejaia.

II-1.2 COUVERT VEGETAL

Le couvert végétal est dense et varié, sur les hauts reliefs de l'Akfadou et de Tourirt Ighil, ainsi que les sommets du massif de Timzrit et des Babors. Il est moins dense et localisé sur les reliefs intermédiaires, par endroits les collines marneuses sont dénudées de couvert végétal. Tandis que dans la plaine, il est très dense, mais essentiellement temporaire.

Dans l'ensemble le couvert végétal de la Soummam appartient à trois étages bioclimatiques de type méditerranéen :

- Un étage supérieur représenté par les vastes forêts de chênes Zeen, de chênes lièges et de pins d'Alep, couvrant les sommets des versants ;
- Un étage intermédiaire représenté essentiellement par les vastes maquis de chêne nain et d'olivier lentisque, ces maquis sont très développés sur les massifs d'Amizour et sur les pentes abruptes du versant Nord ;
- Un étage inférieur représenté par les superbes champs de cultures composés, d'oliveraies, d'orangées, de vignobles et de cultures maraîchères diverses, qui sont largement développés dans la plaine.

II-1.3 HYDROGRAPHIE

Le bassin hydrologique de la basse Soummam est moins étendu dans la partie orientale que le bassin hydrogéologique. C'est un bassin exarciques, dont le réseau hydrographique est composé :

D'une rivière principale à écoulement permanent, appelée Acif Sumam ou Oued Soummam. Et de six principaux affluents, qui se répartissent comme suit :

- En rive gauche : l'Oued Remila, l'Oued El-Kseur, l'Oued Ghir.
- En rive droite : l'Oued Amissine, l'Oued Amizour, l'Oued Tiachich.

Ces principaux affluents sont caractérisés par un écoulement intermittent.

Outre ces affluents de l'Oued Soummam, deux oueds importants drainant les plaines côtières de Bejaia ce sont : l'Oued Sghir et l'Oued Djebira.

A son embouchure dans la mer Méditerranée, l'Oued Soummam draine un bassin versant d'une superficie totale de l'Oued de 9200 km², se répartissant comme suite :

- Bassin de l'Oued Sahel, qui s'étend de Sour El-Ghozlane jusqu'à Akbou, couvrent une superficie de 3750 km² ;

- Bassin de l'oued Bou Sallam, qui s'étend de Ain Oulmène jusqu'à Akbou couvrant une superficie de 4500 km² ;
- Bassin de l'oued Soummam (sens stricte), qui s'étend d'Akbou jusqu'à la mer, couvrant une superficie de 950 km² ;

Dans la basse Soummam, le chevelu hydrographique est très dense et très hiérarchisé, il est caractérisé, par deux types de réseaux :

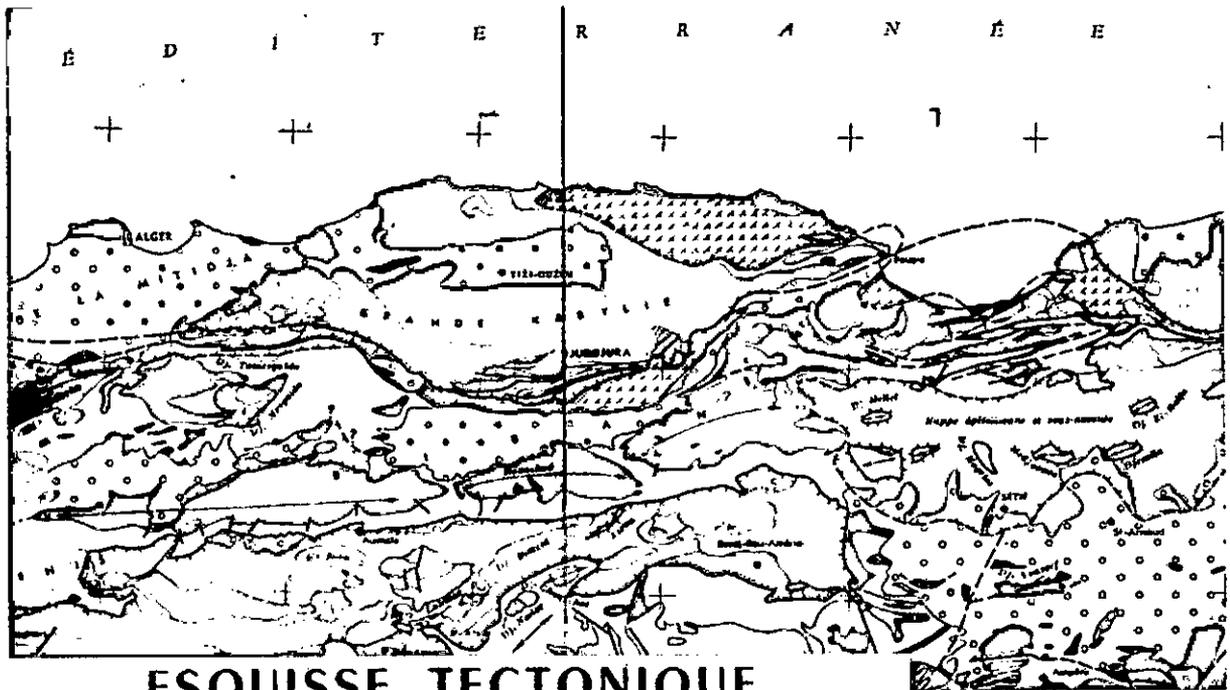
- un réseau digité, formant le cours supérieur des principaux affluents ;
- un réseau penné constitué de torrents, se raccordant directement à l'oued soummam.

II-2 GEOLOGIE DE LA SOUMMAM :

La vallée de la Soummam proprement dite dessine un étroit sillon orienté sud-Ouest et Nord-Est.

La vallée est représentée par des formations post Miocène. Au nord, elle est caractérisée par des formations géologiques Allochtones (nappe de Flysch) et vers le Sud, par des formations Autochtones (Crétacé inférieur)

L'étude géologique porte sur la description des séries stratigraphiques suivantes :



ESQUISSE TECTONIQUE DE L'ALGÉRIE

LÉGENDE



FigII-1: Esquisse Tectonique de l'Algérie (M.Kieken)

- **LE TRIAS**

Il n'est présent que par des pointements locaux dans la région de Sidi Aich et d'Il - Maten où il présente un faciès gypse - salin à argile versicolore.

- **LE JURASSIQUE**

Il affleure à la limite Nord du bassin versant au djebel Arbalou et djebel Gouraya ainsi qu'au Sud Est de Sidi Aich (massif de Timezrit). Il est constitué de calcaires

dolomitiques, de dolomies calcaires massif à la base et de calcaires marno-calcaires au sommet.

- **LE CRÉTACE**

1. Le crétacé autochtone affleure en rive droite de la Soummam de Sidi Aich à Poud Amizour. Il est essentiellement formé de schistes noirs, de marnes et marno-calcaires.
2. Le crétacé allochtone (ou nappé) affleure au nord et au sud de la Soummam et présente un faciès flysch caractéristique. On distingue 2 types de flysch suivant l'origine des matériaux qui les constituent :

- ***Flysch externe :***

Situé au nord de la chaîne calcaire DJ. Arbalou et Gouraya constitués de marnes de quartzites grises, de grès fins de pélites, de conglomérats.

- ***Flysch interne :***

S'étend en rive gauche et en rive droite de la Soummam. Il est composé de termes allant de Cénomaniens au nummulitique, formés de marnes, phanites, microbrèches, grès et quartzites.

- **L'OLIGOCENE**

S'étend au nord de Sidi Aich et El Kseur, il présente un faciès flysch gréseux composé de grès quartziteux, de marnes schisteuses avec à la base des barres de grès plus grossiers et lenticulaires.

- **LE MIOCENE**

1. ***Le miocène inférieur***

Il se trouve en rive gauche de la Soummam de Sidi Aich à la réunion et en rive droite au Sud d'El-Maten constitué de marnes gréseuses, conglomérats, grès fins et grossiers.

II-3 CONCLUSION

Les formations géologiques susceptibles d'être aquifères dans notre région d'étude sont :

- ✓ **Le Jurassique** : calcaire liasique du Gouraya Aghbalou et de Barbacha ;
- ✓ **Le Crétacé** : faciès tellien et flyschs Massyliens grésocalcaire de Gouraya Aghbalou et de Barbacha ;
- ✓ **Le Numidien** : flyschs Numidiens à grés grossiers ;
- ✓ **Le Miocène** : comprenant ses formations sédimentaires et magmatiques, ces dernières étant fortement altérées et fracturées ;
- ✓ **Le Pliocène** : faciès continental ;
- ✓ **Le Remplissage alluvial quaternaire.**

CHAPITRE III

ETUDE

Hydroclimatique

CHAPITRE III

ETUDE HYDROCLIMATOLOGIQUE

III-1 INTRODUCTION

L'hydroclimatologie a été établie dans le but de dégager certaines caractéristiques climatiques qui conditionnent l'écoulement superficiel et souterrain, afin d'approcher le bilan hydrique, ainsi que la détermination du coefficient d'infiltration, qui représente l'un des paramètres essentiels pour la réalisation du modèle.

III-2 PRESENTATION CLIMATOLOGIQUE DE LA REGION D'ETUDE

L'altitude et l'éloignement de la mer sont les principaux facteurs qui régissent la précipitation d'une région donnée.

Dans notre cas d'étude, la basse Soummam est une région intra-montagneuse subissant l'influence proche de la mer, à climat méditerranéen, assez doux.

III-2.1 PRINCIPALES STATIONS PLUVIOMETRIQUES

Il existe plus de dix stations pluviométriques sur toute la région de la Basse Soummam, parmi ces stations on a retenu cinq, leurs principales caractéristiques sont mentionnées dans le tableau III-1 suivant :

Tableau III-1 : Caractéristiques des stations hydroclimatologiques.

Stations	Code ANRH	X	Y	Altitude (m)	paramètres	Périodes
Sidi Aich	151001	14°4'E	36° 37'N	95	Pluie	1967-1990
Dne Maouchi	151004	4° 5'E	36° 43'N	50	Pluie	1968-1997
Dne Rouha	151005	4° 5'E	36° 42'N	25	Pluie	1968-1990
Tifra	151007	4° 4'E	36° 40'N	450	Pluie	1922-1997
Bejaia soum		5° 4'E	36° 43'N	1.76	Pluie-Temp	1980-1990

1) ANALYSE DES DONNEES

Pour toutes les stations, l'absence d'observation pendant quelques mois (plus de trois mois manquants), fait que le total annuel réel soit inconnu, on procèdera, dans ce cas, à l'homogénéisation des données par régression linéaire.

Tableau III-2 : Précipitations moyennes annuelles (1980-1990)

	Sidi Aich	Dne Maouchi	Dne Rouha	Tifra	Bejaia
1980-1981	558	506,8	316,8	777,8	922,2
1981-1982	649,4	512,2	-	-	562,5
1982-1983	538,06	-	-	650,4	1100,9
1983-1984	-	-	746	697,7	320,6
1984-1985	-	601,4	419,5	838	1100,6
1985-1986	-	435,7	-	738,1	819
1986-1987	-	570,2	-	-	926
1987-1988	-	333,9	499,3	525,9	737,3
1988-1989	-	-	-	878	767,3
1989-1990	-	-	-	508,9	481,11
1990-1991	-	-	-	661,8	752,4

2) REGRESSION LINEAIRE

Cette méthode permet d'établir une relation mathématique pouvant exister entre deux séries de mesure aux stations.

La méthode de régression est convenable pour combler les lacunes des observations insuffisantes de certaines stations, à partir des observations d'autres stations voisines, et caractérisées par des séries de longue durée, dépourvues de lacunes.

Pour que la méthode puisse être applicable, il faudrait que la régression soit linéaire, que le coefficient rapport de corrélation soit significatif et que les deux stations soient soumises au même régime pluviométrique.

Le principe de la méthode des moindres carrées permettra de déterminer l'équation de la droite de régression, qui est de la forme suivante : $y = ax + b$

Avec :

a : Pente de la droite de régression ;

b : Ordonnée à l'origine de la droite de régression.

$$a = [K \Sigma xy - \Sigma x \Sigma y] / [K \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2]$$

$$b = [\Sigma y \Sigma x^2 - \Sigma x \Sigma xy] / [K \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2]$$

Le rapport de corrélation R est obtenu à l'aide de la relation suivante :

$$R^2 = a [K \Sigma xy - \Sigma x \Sigma y] / [K \Sigma y^2 - (\Sigma y)^2] ;$$

$$-1 < R < 1$$

avec ;

K : Nombre de mesures communes aux deux stations (x et y) ;

x : Précipitation moyenne annuelle à la station de base (x) à partir de K valeurs;

y : Précipitation moyenne annuelle à la station y .

Les résultats obtenus sont portés dans le Tableau III-3.

Tableau III-3 : Résultats des corrélations par régression linéaire

Station X	Corrélées Y	R	a (mm)	b (mm)	Equation de la droite de régression
Bejaia	Sidi Aich	0,98	-0,21	765,93	$Y = -0,21x + 765,93$
Bejaia	Dne Maouchi	0,29	0,28	253,67	$Y = 0,28x + 253,67$
Bejaia	Dne Rouha	0,91	-0,49	879,14	$Y = -0,49x + 879,14$
Bejaia	Tifra	0,4	0,19	543,42	$Y = 0,19x + 543,42$

3) CONCLUSION

La méthode de régression linéaire, nous a permis de combler les lacunes et d'étendre les séries concernant les quatre stations choisies. Les résultats finaux sont portés dans le tableau III-4.

Tableau III-4 : Précipitations moyennes annuelles après reconstitution des données (mm)

	Sidi Aich	Dne Maouchi	Dne Rouha	Tifra	Bejaia
1980-1981	558	506,8	316,8	777,8	922,2
1981-1982	649,4	512,2	603,51	650,29	562,5
1982-1983	538,06	561,92	339,69	650,4	1100,9
1983-1984	698,6	343,44	746	697,7	320,6
1984-1985	534,8	601,4	419,5	838	1100,6
1985-1986	593,94	435,7	477,83	738,1	819
1986-1987	571,47	570,2	425,4	719,36	926
1987-1988	611,09	333,9	517,86	525,9	737,3
1988-1989	604,79	468,51	499,3	878	767,3
1989-1990	664,89	388,38	643,39	508,9	481,11
1990-1991	607,92	464,34	510,46	661,8	752,4
Σ	603	471,53	499,98	695,11	771,81

III-2.2 DETERMINATION DE LA LAME D'EAU PRECIPITEE

Il s'agit de calculer, pour l'ensemble du secteur d'étude, la lame d'eau précipitée, pour cela, on utilisera les méthodes suivantes :

- La méthode arithmétique ;
- La méthode de Thiessen ;
- La méthode des isoyètes ;

La méthode détermination de la lame d'eau moyenne au niveau d'une bassin versant donnée, est basée sur l'utilisation de différentes méthodes (méthode arithmétique, méthode de Thiessen, méthode des isoyètes...) (Liamas).

METHODE ARITHMETIQUE :

C'est une méthode qui donne une grande importance aux valeurs extrêmes. Elle consiste à déterminer la moyenne arithmétique des précipitations mesurées à chaque station.

Nous pouvons la qualifier comme étant la méthode la plus simple, calculée d'après l'expression suivante :

$$P = \Sigma P_i / N$$

avec ;

P_i : Précipitation moyenne à chaque station (mm) ;

N : Nombre d'années.

TableauIII-5 : Précipitation moyenne annuelle observées à chaque station

Station	Sidi Aich	D ^{ne} Maouch	D ^{ne} Rouba	Tifra	Bejaia Soummam
Pmoy annuelle (mm)	602,99	471,53	499,97	695,11	771,81

III-2.3 ANALYSE DES PARAMETRES HYDROLOGIQUES

III-2.3.1 TEMPERATURE

La température constitue avec les précipitations les éléments majeurs qui régissent le climat d'une région.

Par manque des données, seule la station de Bejaia qui a des données disponibles représentée dans le tableau III-6.

Tableau III-6 : Température mensuelles et annuelles au station de Bejaia(1980-1990)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Jul	Août
T(°C)	23,6	20,45	16,45	12,65	11,6	12,2	13,4	15,15	17,85	21,4	24,7	25,15

La moyenne annuelle de la température est de **17,88 (°C)**.

III-2.3.2 DEFICIT D'ECOULEMENT

A. EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE

L'évapotranspiration potentielle correspond à l'évaporation est la transpiration d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour évaporer la quantité d'eau maximale permise par les conditions climatiques.

METHODE DE THORNTHWAITE :

$$ETP = 1,6 (10T / I) a ;$$

Avec: $I = \sum i_n$; $i = (T / 5) 1,514$

$$a = 0,492 + 1,79 \cdot 10^{-2} I - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 6,75 \cdot 10^{-7} I^3.$$

ETP: Evapotranspiration potentielle non corrigée en (mm);

I: Indice thermique annuel;

i: Indice thermique mensuel;

T: Température moyenne mensuelle du mois considéré.

$$ETP_c = ETP \text{ corrigée} = K ETP ; \quad K \text{ est un paramètre de correction.}$$

Les résultats de l'ETP mensuelle et annuel obtenu par la méthode de *Thornthwaite* sont portés dans le tableau III-7.

Tableau III-7 : Calcul de ETP par la formule de C.W Thornthwaite.

	T (°C)	I	ETP	K	ETP _c
Janvier	11,6	3,58	28,64	0,87	24,92
Février	12,2	3,86	31,47	0,85	26,75
Mars	13,4	4,45	37,51	1,03	38,64
Avril	15,15	5,36	45,49	1,1	50,04
Mai	17,85	6,87	64,13	1,21	77,6
Juin	21,4	9,04	90,03	1,22	109,85
Juillet	24,7	11,23	117,74	1,24	145,99
Août	25,15	11,54	121,78	1,16	141,27
Septembre	23,6	10,48	108,12	1,03	111,37
Octobre	20,45	8,44	82,71	0,97	80,22
Novembre	16,45	6,07	55,05	0,86	47,34
Décembre	12,65	4,08	33,68	0,84	28,29
Σ		84,97	816,37	-	882,28

B. EVAPOTRANSPIRATION REELLE (ETR)

L'Evapotranspiration Potentielle Réelle correspond à l'évaporation est la transpiration qui se produit dans les conditions réelles (naturelles) de teneur en eau du sol. (G.Castany 1985).

L'ETR annuelle moyenne est déterminée par les équations de *L.Turc* et de *Coutagne*.

a\ - La formule de *Turc* :

$$ETR = P / (0,9 + P^2/L^2)^{1/2} ;$$

$$\text{Avec : } L = 300 + 25 T + 0,05 T^3.$$

ETR : Evapotranspiration réelle en (mm/an) ;

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm/an) ;

T : Température moyenne annuelle en (°C) ;

L : Pouvoir évaporant fonction de la température.

L'application de la relation de *Turc* donne les résultats résumés dans le tableau III-8

Tableau III-8 : Calcul de l'ETR par la méthode de *Turc* à la station de Bejaia

Période	P(mm)	T°	ETR
1980-1990	772,8	17,88	639,6

Au défaut de la disponibilité des données portant sur la température au niveau des stations Sidi Aich, D^{ne} Rouha, D^{ne} Maouchi, et Tifra, nous avons pris en considération la température relevée au niveau de la station de Bejaia.

Tableau III-9 : Calcul de l'ETR par la méthode de Turc (1980-1990)

Stations	P(mm)	T°	ETR
Sidi Aich	602,99	17,88	541,31
D ^{ne} Maouchi	471,53	17,88	447,87
D ^{ne} Rouha	499,97	17,88	532,49
Tifra	695,11	17,88	597,59

b\ - La méthode de Coutagne :

Cette formule tient compte également de la température et des précipitations.

$$D = P - \lambda P^2$$

Avec $\lambda = 1 / (0,8 + 0,14 T)$;

D : Déficit d'écoulement (m) ;

P : Précipitation moyenne (m) ;

T : Température moyenne annuelle (°C).

La méthode n'est applicable que pour P comprise entre $1 / 8 \lambda$ et $1 / 2 \lambda$.

Les résultats sont récapitulés dans le tableau III (10-11).

Tableau III-10 : Calcul de l'ETR par la méthode de Coutagne à la station de Bejaia

Période	P(mm)	T°	λ	ETR
1980-1990	772,8	17,88	0,303	591,99

Tableau III-11 : Calcul de l'ETR par la méthode de Coutagne (1980 - 1990)

Stations	P(mm)	T°	λ	ETR
Sidi Aich	602,99	17,88	0,303	492,82
D ^{ne} Maouchi	471,53	17,88	0,303	404,16
D ^{ne} Rouha	499,97	17,88	0,303	424,23
Tifra	695,11	17,88	0,303	548,7

c) La méthode de Wundt

C'est une méthode graphique qui donne le déficit d'écoulement en fonction de la température et des précipitations

Pour $P_n = 772.8 \text{ mm}$ reportés en ordonnée et $T = 17,88 \text{ }^\circ\text{C}$ en abscisse, on obtient un déficit d'écoulement $D = ETR = 680 \text{ mm}$.

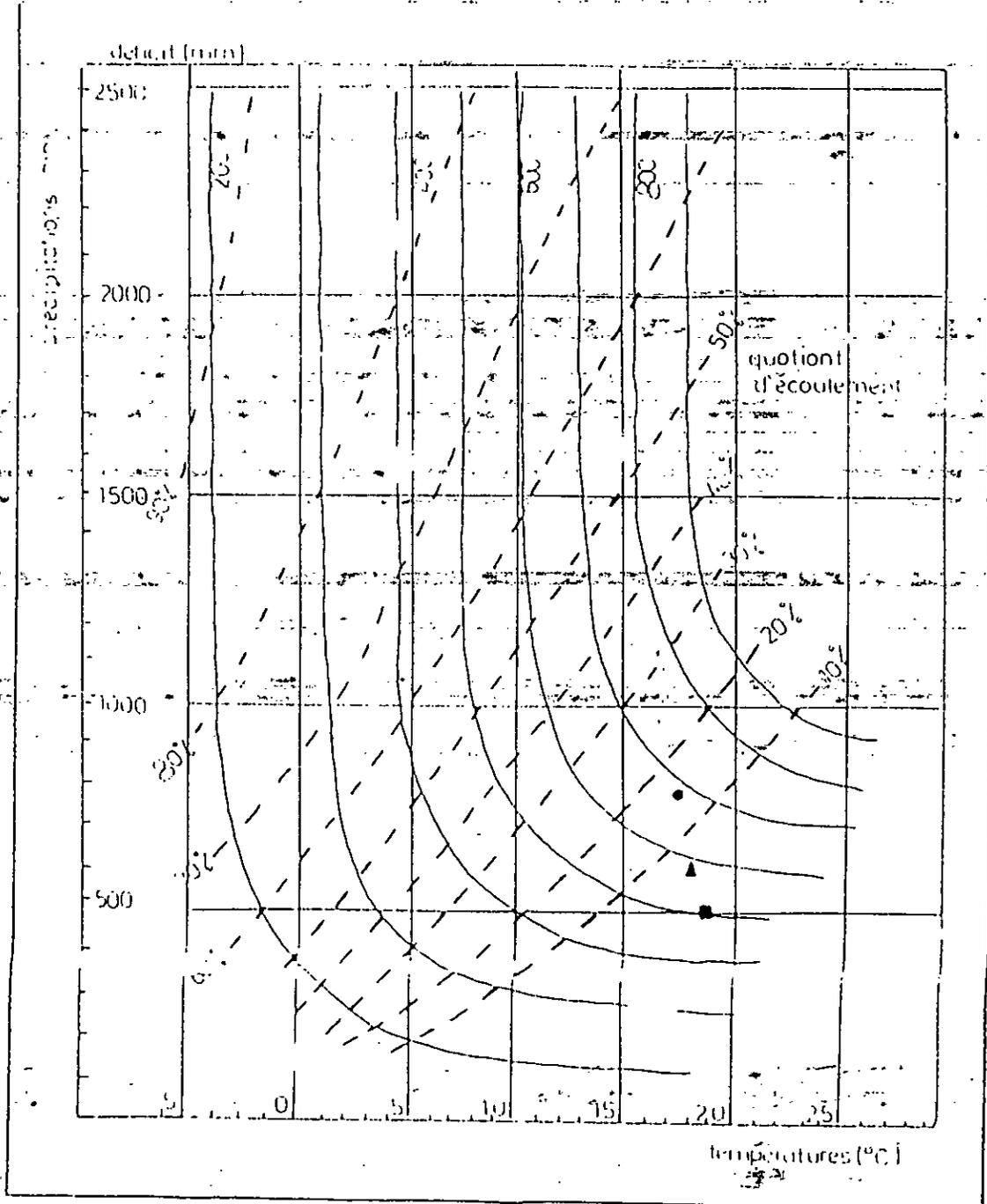


Fig III-1 : Abaque de Wundt modifié par Coullagne.

Les résultats par ces trois méthodes sont consignés dans le tableau III-12

Tableau III-12 : Valeurs de l'ETR calculées par les trois méthodes.

<i>ETR (mm)</i>	<i>ETR</i>	<i>ETR</i>	<i>ETR</i>
<i>Région</i>	<i>Turc</i>	<i>Coutagne</i>	<i>Wundt</i>
<i>Bejaia</i>	<i>639,6</i>	<i>591,99</i>	<i>680</i>
<i>Sidi Aich</i>	<i>541,31</i>	<i>404,16</i>	<i>575</i>
<i>Dne Maouchi</i>	<i>532,49</i>	<i>404,16</i>	<i>450</i>
<i>Dne Rouba</i>	<i>532,49</i>	<i>424,23</i>	<i>485,7</i>
<i>Tifra</i>	<i>597,59</i>	<i>548,71</i>	<i>650</i>

III-2.4 CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION SELON LA METHODE DU BILAN DE

THORNTHWAITE :

Pour le calcul de l'ETR, selon cette méthode, nous prendrons pour le sol une valeur de la réserve utile de *100mm*, qui correspond à la quantité maximale d'eau que peut retenir ou soustraire à l'écoulement tableau III-13.

Tableau III-13: Bilan hydrologique d'après C. W. Thornthwaite station de Bejaia (1980-1990).

Mois	Précipitation moyenne (mm)	ETPc (mm)	Réserve d'eau utile (mm)	ETR (mm)	Excédent (mm)	Déficit (mm)
Septembre	28	111,37	0	28	0	
Octobre	75,3	80,22	0	75,3	0	55,58
Novembre	103	47,34	55,66	47,34	0	0
Décembre	167,7	28,29	100	28,29	95,07	0
Janvier	106,4	24,92	100	24,92	81,48	0
Février	76,6	26,75	100	26,75	49,85	0
Mars	96,1	38,64	100	38,64	57,46	0
Avril	51,7	50,04	100	50,04	1,66	0
Mai	41,7	77,6	64,1	43,36	0	0
Juin	13,5	109,85	0	13,5	0	32,19
Juillet	2,3	145,99	0	2,3	0	139,38
Août	10,5	141,27	0	10,5	0	140,63
	772,8	882,28		285,4	285,52	-

Nous pouvons distinguer trois cas :

- $P < ETP$: La lame précipitée sera entièrement reprise par l'ETR et les réserves du sol partiellement ou totalement utilisées, jusqu'à épuisement de celle-ci ;
- $P = ETP$: La lame précipitée sera entièrement reprise par l'ETR, mais les réserves du sol seront conservées ;
- $P > ETP$: L'évapotranspiration potentielle est égale à l'évapotranspiration réelle.

L'évapotranspiration va se dérouler normalement, mais il reste une certaine quantité d'eau disponible.

$(P - ETP)$ cet excédent d'eau emmagasiné dans le sol jusqu'à saturation, permet de reconstituer la réserve du sol.

En finalité l'*ETR* retenue sera la moyenne entre l'*ETR* calculée par la méthode de *Wundt* et celle calculée par la méthode de *Turc*.

D'ou la résultat suivante : *ETR* = 653,57 mm.

III-3 DETERMINATION DE LA LAME D'EAU RUISSELLEE

Pour le calcul de la lame d'eau ruisselle, on a utilisé la formule de *Tixeront-Berkaloff*:

$$R = P^3 / 3 (ETP)^2 ;$$

Avec :

R : Ruissellement moyen annuel (mm) ;

P : Précipitation moyenne annuelle (mm) ;

ETP : Evapotranspiration potentielle annuelle (mm).

Application :

$$P = 772,8 \text{ mm} ;$$

$$ETP = 882,28 \text{ mm} ;$$

$$R = 197,63 \text{ mm} ; \text{ soit } 25,57\% \text{ des précipitations.}$$

III-4 ESTIMATION DE LAME INFILTREE

Elle sera déterminée grâce à la formule du bilan hydrologique suivante :

$$P = E + R + I$$

CHAPITRE IV

ETUDE

Hydrogéologique

CHAPITRE IV

ETUDE HYDROGÉOLOGIQUE

IV-1 STRUCTURE ET DIMENSIONS DE L'AQUIFERE

La structure du réservoir a été mise en évidence par la prospection géophysique réalisée par la *CGG* en 1970 et complétée par les sondages effectués dans la plaine alluviale.

Ils ont montré la présence, sous les alluvions, d'une formation grossière constituée de galets, de graviers (le plus souvent gréseux) et de sables attribuée au miocène. Ces deux formations étant parfois séparées par un niveau argileux.

IV-2 EXTENSION

IV-2.1 EXTENSION DES ALLUVIONS

De Sidi-Aich à la mer, les alluvions forment une bande continue de 37,5 km de long et de largeur très variable. Elle est minimum aux environs de Sidi-Aich 200 m, environs, et maximum vers Il-Maten et El-Kseur 2,5 à 3 km la superficie couverte par les alluvions est d'environ 75 km².

IV-2.2 EPAISSEUR DES ALLUVIONS ET DU MIOCENE GROSSIER

A l'aide des données fournies par la campagne géophysique et les sondages, Agence de Bassin a procédé aux traces de cartes des alluvions (qu'elles ne sont pas à notre disposition).

Ils ont également porté, au niveau des sondages mécaniques la profondeur de la base du Miocène grossier reconnu.

Selon l'étude réalisée par F.Boucheaala (2001), l'épaisseur de remplissage alluvionnaire est varié, ou la moyenne est de l'ordre de **27,78 m**, avec un épaisseur minimal de **8 m** et maximal de **60 m**.

▪ **Le Miocène grossier :**

Il a été atteint :

- Dans la région d'Il-Maten ou son épaisseur est de 10 à 15 m, on le rencontre d'ailleurs à l'affleurement en rive gauche et droite de la Soummam ;
- Dans la région d'El-Kseur où son épaisseur varie de 10 à 25 m mais la différenciation Miocène, Alluvions est ici très difficile, vers l'aval le Miocène semble uniquement argileux.

▪ **Les alluvions**

Dans l'axe de la vallée, de la confluence de l'oued Roumila à Aguellal l'épaisseur des alluvions varie de 35 à 40 m, elle augmente très progressivement de 35 à plus 70m.

IV-2.3 VOLUME DU RESERVOIR

Se supposons que le Miocène grossier et les alluvions constituent un aquifère unique, à partir des courbes géo-électriques réalisées par la CGG et modifiées à l'aide des coupes de forages, par planimétrage des différents éléments et en prenant un niveau statique moyen, l'Agence de Bassin a évalué le volume du Miocène grossier et des alluvions grossiers aquifères, à **$V = 997 \text{ Hm}^3$**

IV-3 HYDRODYNAMIQUE

IV-3.1 SURFACE PIEZOMETRIQUE (AGB)

Les fluctuations du niveau piézométrique de la nappe alluviale ont été suivies sur 120 puits d'eau (AGB) formant un réseau sur l'ensemble de la plaine alluviale les mesures étaient effectuées en période de hautes et basses eaux (à partir de mai 1972).

IV-3.2 CONDITIONS D'ECOULEMENT

« L'analyse des documents consultés (M.Zerourou 1991, N.Henidi 1993) ».

L'examen de plusieurs cartes piézométriques montre que l'allure générale des courbes ne varie pratiquement pas d'une époque à l'autre de l'année. L'axe de drainage mis en évidence, recoupe les méandres actuels de l'oued Soummam et correspond à l'axe de l'ancienne vallée.

IV-3.2.1 ALIMENTATION DE LA NAPPE

Il a été constaté que l'oued alimente la nappe dans la région d'Il-Mathen et à l'aval d' Aguellal (confluent de l'oued Amassin). L'alimentation de la nappe par les affluents de la Soummam est également très marquée, en particulier sur :

- La rive droite : Oueds Ghir, El-Kseur et Roumila ;
- La rive gauche : Oueds Amizour et Amassin.

Les terrains affleurants sur le versant sud de la Soummam semblent avoir peu d'influence sur l'alimentation, par contre sur le versant Nord, une influence sur l'alimentation est nettement marquée au niveau du cône de déjection de l'oued Roumila

dans la région d'El-Kseur affleurement du Miocène et au niveau de Bejaia : Jurassique du Aghbalou où les karst joueraient un rôle important.

IV-3.2.2 GRADIENT HYDRAULIQUE

En période de hautes eaux, les gradients hydrauliques sont de 10‰ à l'Ouest d'Il-Mathen (cône de déjection de l'oued Roumila), ensuite ils diminuent pour atteindre 2,5‰ vers l'aval par suite de l'élargissement de la vallée. Au niveau du seuil d'Aguellal, il y a resserrement des isopièzes où le gradient est de 4‰. Vers l'aval, au droit de l'oued Amassin, le gradient augmente encore pour atteindre 5‰ soit par suite d'une diminution de la perméabilité ou plutôt par augmentation du débit de la nappe (par suite d'infiltration des méandres de l'oued. Au niveau d'El-Kseur, la vallée s'élargit, le gradient passe à 2,5‰ enfin vers l'aval et ce jusqu'à l'embouchure, des variations irrégulières du gradient sont observées.

Remarque : Sur le versant Nord et aux débouchés des principaux affluents, on notera de forts gradients (10 à 12 ‰).

IV-3.3 REGIME DE LA NAPPE AQUIFERE

L'étude des deux cartes piézométriques, période 1971 (Septembre) et 1972 (Mars), permis de constater une hausse du plan d'eau due à la recharge de la nappe.

Les variations du niveau statique sont maximales sur les versants : bordures de la vallée, et en particulier au niveau d'El-Kseur/Amiseur.

Au centre et jusqu'à l'oued Ghir, le plan d'eau varie en moyenne de 1,5 à 2 m, vers l'embouchure, ces variations s'atténuent au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'axe de drainage et de la mer.

IV-3.4 RELATION NAPPE-OUED SOUMMAM

Afin d'étudier les relations entre la nappe aquifère et l'oued Soummam, deux séries de jaugeages différentiels ont été exécutés, en période d'étiage, par la DEMRH. Les résultats sont les suivants :

- Diminution systématique du débit entre Sidi-Aich et El-Kseur qui peut être attribuée à l'infiltration, l'évaporation et au prélèvement direct au niveau de nappe ;
- Augmentation systématique du débit, entre El-Kseur et l'embouchure probablement due au drainage de la nappe par oued Ghir et au faible coefficient d'infiltration de cette région qui est de l'ordre de 1% ;
- De Juin à mi-Juillet, les débits entre Sidi-Aich et Bejaia sont pratiquement identiques : équilibre entre infiltration et prélèvements ;
- D'août à Septembre, on observe, une diminution constante du débit qui est probablement due à l'infiltration : entre Sidi-Aich et El-Kseur, au drainage : entre El-Kseur et l'embouchure, et au prélèvement direct de la nappe.

IV-4 DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

La détermination de la transmissivité (T) et du coefficient d'emmagasinement (S) est faite grâce à la méthode d'approximation logarithmique ou méthode de Jacob.

1) Méthode de Jacob (descente) :

Elle a pour équation

$$\Delta = \frac{0.183Q}{T} \log \frac{2.25Tt}{r^2S}$$

Δ : Rabattement en m ;

Q : Débit de pompage constant dans l'ouvrage en m^3/s ;

T : Transmissivité en m^2/s ;

t : Temps de pompage en secondes ;

r : Distance entre le piézomètre et l'axe du puits de pompage en m ;

S : Coefficient d'emmagasinement.

Mode opératoire : on porte sur un diagramme semi-logarithmique les temps de pompages en abscisses et les rabattements en ordonnées. La droite obtenue de la forme $y = a + bx$ a pour équation :

$$\Delta = \frac{0.183}{T} Q \left(\log \frac{2.25T}{r^2 S} + \log t \right)$$

Les valeurs de T et S sont données par l'accroissement du rabattement dans un cycle logarithmique, on obtient alors :

$$T = \frac{0.183}{C} Q \quad \text{et} \quad S = \frac{2.25 T t_0}{r^2}$$

avec : C : Cycle logarithmique ;

t_0 : Temps de pompage pour un rabattement nul.

2) Méthode de remontée de Theis-Jacob :

Après arrêt du pompage, le niveau d'eau remonte très vite (période post-production) ainsi nous mesurons le rabattement résiduel qui représente la différence entre le niveau statique et le niveau mesuré à l'instant t' (temps écoulé depuis l'arrêt du pompage).

Le rabattement résiduel s'exprime comme suit :

$$\Delta = \frac{0.183}{T} Q \log \frac{t+t'}{t}$$

Δ : Rabattement résiduel en mètre ;

t' : Temps écoulé depuis l'arrêt de pompage en secondes ;

t : Temps écoulé depuis le pompage en secondes.

Mode opératoire : on porte sur un diagramme semi-logarithmique, les rabattements résiduels (Δ) en ordonnée et $\frac{t+t'}{t}$ en abscisse. Les points devraient s'aligner selon une droite moyenne qui pour un cycle logarithmique aura une pente égale à :

$$C = 0.183 \frac{Q}{T} \quad \text{d'où} \quad T = \frac{0.183 Q}{C}$$

IV-5 EVALUATION DES BESOINS ET DES RESSOURCES EN EAU

IV-5.1 RESERVES EN EAUX SOUTERRAINES

a) Réserves géologique ou réserves permanents :

Elles représentent le volume total d'eau que pourrait obtenir si on vidangeait complètement l'aquifère. Elles sont calculées grâce à la formule suivante :

$$V_p = A \cdot H_p = V_{aq} \cdot S$$

Avec : V_p : Volume ou réserve permanent en m^3 ;

A : Aire de la zone considérée en km^2 ;

H_p : Variation moyenne du niveau de la nappe en m ;

V_{aq} : Volume de l'aquifère en m^3 ;

S : Coefficient d'emménagement.

C.Clincks (1973) (in Agence de Bassin 2001) a évalué cette réserve : $V_p = 69,8 \text{ Hm}^3$ avec un coefficient d'emménagement moyen pour toute la nappe de 7% pour un volume de l'aquifère mouillé de 997 Hm^3 .

b) Réserves régulatrices

C'est le volume d'eau contenu dans la zone de fluctuation de la surface piézométrique moyenne entre la fin de l'étiage et le début de l'étiage suivant.

Elles représentent le volume d'eau qui peut être exploité sans atteindre les réserves géologiques.

Les réserves régulatrices ont été estimées à $4,06 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, ce par l'utilisation des cartes piézométriques successives de *Septembre 1971 – Mai / juin 1972* établies par C.Clincks. (in *ADB 2001*).

c) Apport annuel de Oued Soummam et de ses principaux affluents

L'utilisation des jaugeages différentiels réalisés au niveau de Basse Soummam (N.Henidi 1993) ont donnés les résultats suivants tableau IV-1.

Tableau IV-1: Débit d'apport de Oued Soummam

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
Q	5,52	6,9	8,2	26,15	37,04	40,22	43,10	30,04	15,72	6,73	3,63	2,25

Ces débits sont exprimés en m^3/s , ils ont été calculés grâce aux moyennes mensuelles et annuelles de 30 ans d'observations période 1953-1987.

Tableau IV-2: Débit d'apports par les oueds majeurs de la Basse Soummam

Nom de l'Oued	Q (m^3/s)	Apport annuel (m^3)	Durée d'apport
<i>Soummam</i>	18,82	$594 \cdot 10^6$	12 mois
<i>Ghir</i>	0,93	$24 \cdot 10^6$	10 mois
<i>El-Kseur</i>	0,16	$3 \cdot 10^6$	6 mois
<i>Rmila</i>	1,06	$22 \cdot 10^6$	8 mois
<i>Amassin</i>	0,95	$25 \cdot 10^6$	10 mois
<i>Amizour</i>	0,09	$1 \cdot 10^6$	6 mois
Total = $669 \cdot 10^6$			

<i>Ensemble Géomorphologique</i>		<i>L'Age</i>	<i>Altitude</i>
<i>Septentional</i>		<i>Secondaire et tertiaire</i>	1600m (Aksfadou) 1313m (Djemaa, N'Techriat) 672m (Pied la Dent)
<i>Méridional</i>		<i>Secondaire</i>	Plus de 1657m (Babors)
<i>Plaine</i>		<i>Quaternaire</i>	< 100m
<i>Reliefs Intermédiaires</i>	<i>Versant Nord</i>	<i>Récent</i>	400m à 500m
	<i>Versant Sud</i>	<i>Secondaire récent</i>	

IV-5.2 LES RESSOURCES D'EXPLOITATION POTENTIELLES

Elles ont été estimées par C.Clincks(1973) à $28,7 \text{ Hm}^3 < V_{ep} > 22,1 \text{ Hm}^3$
C.Clincks a tenu compte des réserves permanentes et de la fraction du volume écoule à Sidi-Aich qui s'infiltré.

IV-5.3 L'EVALUATION DES BESOINS EN EAU

La *DHW* de Bejaia en collaboration avec d'autres organismes d'état ont évalué les besoins en eau de la basse Soummam comme suit :

- **Besoins pour l'agriculture** : pour une superficie de **4725 ha** et une période d'irrigation de six mois, les besoins sont compris entre **28,4 Hm³** et **33 Hm³**.
- **Besoins en eau potable** : Ils sont estimés suivant la demande journalière en eau par habitant. Pour la basse Soummam ils sont de **20,5 Hm³** soit un débit de **974 l/s**.

- **Besoins pour l'industrie** : la *DHW* de Bejaia a menée une enquête auprès des zones industrielles de la basse Soummam. Elle est arrivée au résultat suivant : **11,8 Hm^3/an** soit un débit de **375 l/s** .

IV-5.4 EVALUATION DES DEBITS SORTANTS

IV-5.4.1 LES DEBIT EXTRAITS DE LA NAPPE

1) Débits extraits pour l'alimentation en eau potable (*AEP*)

D'après les relevés de la *DHW* de Bejaia, près de 18 forages permettent l'alimentation en eau potable de la basse Soummam, ce sont les daïras de Bejaia, Amizour, El-Kseur et Sidi-Aich. La consommation annuelle en eau potable a été évaluée à **16,2 Hm^3** correspondent à un débit de 513 l/s pour une moyenne de 16 heures par jour.

2) Débits extraits pour l'agriculture (*AEA*)

Plusieurs forages ont été réalisés par l'*OPI* (Office des Périmètres Irrigués) de Bejaia, nous en avons recensé 50 dont 9 non équipés. Les forages équipés de pompes fonctionnent comme suit :

- 8 h par jour et 6 jours par semaine, pendant les trois mois d'Avril et Mai ;
- 12 h par jour et 7 jours par semaine pendant les mois de Juin, Juillet, Août et septembre ;
- 4 h par jour et 3 jours par semaine pour les 6 mois restants.

Le volume annuel consommé pour une moyenne de 16 h par jour pendant 180 jours a été estimé à **18,1 Hm^3** soit un débit moyen de 596 l/s .

3) Débits extraits pour l'industrie (AEI)

D'après les renseignements de la *DHW* de Bejaia, le débit total extrait pour l'AEI est de 364 l/s correspondant à une moyenne de 16 heures par jour de pompage soit un volume total en eau de **7,6 Hm³** correspondant à 8 forages fonctionnels.

IV-5.4.2 LE DEBIT DE FUITE VERS LA MER

Pour estimer le débit de fuite vers la mer on a utilisé la piézométrie de la période Mars / Avril 1983. Nous avons calculés le débit au niveau de l'embouchure, en utilisant la loi de Darcy :

$$Q = K S i = T L I ;$$

Ou Q : Débit en m^3/s ;

i : Gradient hydraulique ($i = h_1 - h_2 / l$) ;

T : Transmissivité de la zone considérée en m^2/s ;

h : Charge hydraulique en m ;

L : Longueur moyenne du front de la nappe en m .

Application numérique a donné les résultats suivants :

$$\text{Avec : } i = 4 - 2 / 333,33 = 5,7 \% ;$$

$$L = 10.666,67 m = 6666,7m ;$$

$$T = 5, 10^{-3} m^2/s.$$

$$\text{On aura : } Q = 0,199 m^3/s$$

$$Q = 200 l/s.$$

Le volume total annuel transitant vers la mer est d'environ **6,3 Hm³**.

IV-6 BILAN EN EAU DE LA BASSE SOUMMAM

Ce bilan sera établi en tenant compte des entrées et des sorties.

LES ENTREES

- Les précipitations efficaces ou l'infiltration efficace ;

L'infiltration est calculée par la méthode de *Thorntbwaite* (tableau III-3), car le calcul de l'infiltration par la méthode de bilan hydrique est non recommandé

(G.Castany 1985) , donc nous avons pris en considération la couche non saturé dont nous avons estimé l'infiltration efficace à 50% de l'excédent soit: **144mm**

▪ Selon les travaux de Henidi (1993), l'infiltration des apports suivants sont estimés à:

- Les apports de l'oued Soummam avec une infiltration moyenne de 2,5% ;
- Les apports des autres oueds avec une infiltration de 5% ;
- Le retour d'irrigation des pompages de l'oued Soummam

Infiltration des eaux d'irrigation (saturation du sol), et les eaux des fuites par pompages (avec un coefficient d'infiltration moyen de 5%).

LES SORTIES

- Prélèvement au niveau des forages par pompage (AEP, AEI et AEA) ;
- Prélèvements de puits paysans ;
- Débit de fuite vers la mer.

Tableau IV-3: Bilan d'eau Entrées – Sorties de la Basse Soummam

ENTREES (Hm³)		SORTIES (Hm³)	
<i>Mode d'entrées</i>	<i>Volume</i>	<i>Modes de sorties</i>	<i>Volume</i>
Pluies efficaces	12,8	Pompages	41,9
Apports O.Soummam	14,85	Fuite vers la mer	4,8
Apports autres oueds	3,75	Exploitation puits	4,60
Retour d'irrigation	1,12	Total: 51,03 Hm³	
Total: 32,52			
ENTREES – SORTIES = - 17,51			

Souligner que le bilan d'eau doit porter sur une période bien déterminée et tous les éléments doivent obligatoirement se rapporter à la même durée (G.Castany 1968).

CONCLUSION

Souligner l'actualisation des données portant sur l'infiltration, apports des oueds ainsi que les surfaces irrigués accompagne des quantités d'eau apportées.

Concernant les sorties est également souhaitable d'actualisé l'inventaire des points d'eau (forages, puits) sollicité par les pompages. Les quantités d'eau prélevés accompagner le leur durée égalet doivent être également connu.

PARTIE II

**PRÉSENTATION
des Modèles
MATHÉMATIQUES**

CHAPITRE V

Modélisation

CHAPITRE V

Modélisation

V-1 INTRODUCTION

- I. En hydrogéologie l'objet principale des études « les nappes », présente des aspects très variés résumés par un grand nombre de données : certaines, de nature géologiques, sont malaisément quantifiables, les autres de nature physique (mesurables), sont diverses et très abondantes, le besoin d'un modèle de connaissance qui puisse résumer ces informations auxquelles on peut trouver une représentation mathématique, donc un moyen de calcul pour effectuer des prévisions fiables.

- II. La simulation numérique en hydrogéologie consiste à représenter mathématiquement le fonctionnement de la nappe par un système d'équation régissant sur l'écoulement en fonction des conditions d'exploitation et d'alimentation de notre aquifère. Cette simulation nous permettra de prévoir l'évolution future de notre nappe aussi bien le temps que dans l'espace.

V-2 DEFINITION, PRINCIPE GENERAUX

Les *modèles de nappes* définis comme des représentations u mouvement en masse de l'eau dans un milieu poreux saturé (dit aussi aquifère) comme tout les lois de la physique des milieux poreux continue *les modèles d'écoulement en milieu poreux* expriment des relations valables pour un certain volume de milieu repéré dans un espace euclidien(orthonormé) que l'on suppose de taille infinitésimale ce qui veut dire en fait un volume présentant les dimensions les plus petits possibles pour que la validité de la loi soit encore garantie. Ce volume est dénommé le plus souvent : volume élémentaire de référence.

V-3 LES PRINCIPAUX TYPES DE MODELES (OPERATIONNELS)

L'assurance d'être en présence d'un phénomène conceptuellement modélisable, c'est à dire susceptible d'une représentation sous une forme mathématique ne suffit pas. Il faut d'abord, en présence d'un cas réel, choisir le bon modèle, mais il faut que la formulation à laquelle on aboutit se prête aisément au calcul.

V-3.1 LES MODELES ANALYTIQUES

Ils sont basés sur l'emploi des méthodes *classiques* de l'analyse pour trouver *par intégration* une solution particulière de l'équation de différentiel partiel qui constitue le modèle conceptuel.

Ces méthodes ne sont applicables que pour certaines formes d'équations et pour certaines conditions particulières simples en ce qui concerne géométrie, répartition des paramètres, condition au limites quand leur mise en œuvre s'avère possible elles conduisent à une solution qui s'exprime sous forme $y = f(x,y,p,p_2)$ constituée par une combinaison de fonctions algébriques élémentaires aisément calculables au déjà tabléées.

V-3.2 LES MODELES ANALOGIQUES

Les techniques *analogiques* reposent sur deux constatations :

- **Une constatation théorique** : tous transferts en milieu continu, fait l'objet d'une représentation mathématique identique.

Exp. Transferts thermiques, transferts électriques, transferts (en masse) de fluides en milieu poreux, ou de fluides (visqueux) entre plaques, etc..

- **Une constatation pratique** : certains de ces phénomènes se prêtent beaucoup plus facilement à l'expérimentation en laboratoire. On les choisira de référence pour réaliser une analogie, c'est à dire une représentation au modèle réduit des

autres. L'analogie sera désignée du nom du phénomène retenu pour la représentation.

V-3.3 LES MODELES NUMERIQUES

Dans le cas où les écoulements se produisent dans des milieux hétérogènes, de géométrie compliquée et pour des conditions aux limites variées, il est pratiquement impossible d'exprimer la solution particulière de l'équation fondamentale sous une forme analytique paramétrée. Il faut calculer dans chaque cas la solution correspondant à la géométrie.

Il est théoriquement toujours possible, d'obtenir cette solution particulière à une certaine approximation près, en procédant par différences finies dans un espace discrétisé (c'est à dire découpé en mailles).

V-4 PRINCIPE DES MODELES MATHEMATIQUE

L'opération aux dérivées partielles de l'écoulement souterrain dans un aquifère en charge ramenée à deux dimensions s'écrit :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t} + q(x, y, t) \quad (1)$$

Avec :

T_x, T_y : Composantes de la transmissivité dans les directions x et y ($L^2 T^{-1}$) ;

b : Charge hydraulique (L) ;

S : Coefficient d'emménagement (sans dimension) ;

$q(x, y, t)$: Débit volumique (pompage ou injection) par unité de surface (LT^{-1}).

Afin de résoudre l'équation (1) dans le cas d'un aquifère hétérogène procédant des limites irrégulières, on découpe le domaine à étudier en blocs homogènes ou en mailles, à l'intérieur desquels les propriétés de l'aquifère sont supposées uniformes.

Nous considérons le cas de mailles carrées. Une maille est un élément d'aquifère, qui est caractérisé par une valeur moyenne de :

- Transmissivité T .
- Coefficient d'emménagement S .
- Débit prélevé ou injecté Q .
- Infiltration par la pluie efficace Inf .
- Charge la valeur moyenne dans la maille H .

V-4.1 REGIME PERMANENT

Un régime rigoureusement permanent est exceptionnel dans la nature car il exige la stabilité dans le temps de toutes les conditions aux limites du système.

On obtient pour un écoulement bidimensionnel permanent, un système de la forme :

$$||T|| |H| = |A|.$$

T : Matrice des transmissivités de passage ;

H : vecteur colonne « piézomètre » contenant les charges inconnues ;

A : vecteur contenant toutes les valeurs imposées aux limites en charges et débits.

Pour la réalisation de ce système d'équation, deux méthodes peuvent être utilisées.

- ◀ Méthode directe ;
- ◀ Méthode itérative.

1. Méthodes directes

Elles consistent à inverser la matrice $|| T ||$ de telle sorte que l'on ait :

$$| H | = | A | || T ||^{-1}$$

Ces méthodes sont intéressantes quand :

- ◀ La matrice T n'est pas trop importante $N < 200$.
- ◀ On a plusieurs résolutions à envisager avec le même domaine et les mêmes paramètres (même matrice T) mais des conditions (A) différentes (régime transitoire).

Mais dans le domaine de la géologie, c'est rarement le cas, les modèles de ressources en eau à l'échelle régionale dépassent largement les 1000 mailles, on a alors recourt aux méthodes itératives de Gauss-Seidel permettant une surrelaxation vers une convergence rapide.

2. Méthodes itératives

Elles consistent à déterminer chaque valeur du vecteur $| H |$ par une formule itérative à partir d'une approximation initiale H^0 . La méthode est convergente si $H^n \rightarrow H_N$ quand n , numéro de l'itération croît. La vitesse de convergence dépend : de la formule d'itération, des coefficients de H dans la formule, du choix de l'approximation initiale.

Nous citons la méthode de **Gauss-Seidel** :

$$H_i^n = \frac{1}{\sum T} [T_{i+1} H_{i+1}^{n-1} + T_{i-NC} H_{i-NC}^{n-1} + T_{i-1} H_{i-1}^{n-1} + T_{i+NC} H_{i+NC}^{n-1}] + \frac{1}{\sum T} A$$

et la méthode de Gauss-seidel avec surrelaxation par points ou encore en accroissant le poids de la n^{eme} itération par rapport à la précédente.

$$| H | = W [H \text{ Gauss - Siedel }] + (1 - W) H^{n-1}$$

W : coefficient de surrelaxation $1 < W < 2$

W : proche d'un coefficient optimal (qui dépend de la structure de $| T |$ est que l'on peut dans certain cas évaluer).

V-4.2 REGIME TRANSITOIRE

Il est à l'inverse caractérisé par un état du système, et en particulier des niveaux piézométriques, variable dans le temps, il y a déséquilibre à chaque instant entre les entrées et les sorties qui se traduit par les sorties qui se traduit par une variation de la réserve emmagasinée. L'équation de continuité discrétisée devient :

$$\left[\sum T_{oi}(H_i - H_o) \right] = S\Delta x^2 \frac{\Delta H_o}{\Delta t} + Q(t + \theta\Delta t)$$

où, H et Q sont des variables fonction du temps.

Posons :

$$H(t) = H^* \text{ (initial} \rightarrow \text{connu) ;}$$

$$H(t + \Delta t) = H \text{ (final} \rightarrow \text{inconnu);}$$

$(t + \theta\Delta t)$ = instant moyen ou est calculé le bilan.

Par linéarisation au premier ordre des variations dans le temps on peut écrire :

$$H(t + \theta\Delta t) = \theta H(t + \Delta t) + (1 - \theta)H(t) + \varepsilon_{(\theta)}$$

$\varepsilon_{(\theta)}$: erreur de troncature dans le temps.

Soit pour l'équation du bilan

$$(1 - \theta)\sum T_{oi}(H_i^* - H_o^*) + \theta\sum T_{oi}(H_i - H_o) = \frac{S\Delta x^2}{\Delta t}(H_o - H_o^*) + Q_o$$

Ou en regroupant en 1^{er} membre les termes inconnus

$$\theta\sum T_{oi}(H_i - H_o) - \frac{S\Delta x^2}{\Delta t}H_o = -\frac{S\Delta x^2}{\Delta t}H_o^* + Q_o + (1 - \theta)\sum(H_i^* - H_o^*)$$

du choix de l'instant moyen, donc de θ ($0 < \theta < 1$), dépend le système numérique obtenu et la méthode de résolution.

1. Méthodes explicites

Pour $\theta = 0$, la méthode est dite explicite, on aura pour chaque point :

$$H_o = \text{second membre connu.}$$

La méthode de calcul est donc très simple : La valeur de H en chaque point se calcul explicitement en fonction des valeur H^* (connues) au pas de temps précédent.

Mais pour des pas de temps trop grands il y a risque d'instabilité :

C'est à dire que l'influence de l'erreur de troncature se propage d'un pas de temps sur l'autre sans s'atténuer.

Pour que la méthode soit sûrement stable, il faut :

$$\Delta t < \frac{1}{2} \frac{S}{I} \Delta x^2$$

2. Méthode implicite

Pour $\theta \neq 0$, la méthode est dite implicite. La valeur en chaque point s'exprime en fonction des valeurs, également inconnues, de H aux points adjacents.

Pour les méthodes implicites, les erreurs de troncature n'entraînent pas un risque d'instabilité mais un risque de non convergence : La solution H_N de système numérique s'écarte progressivement à chaque pas de temps de la solution exacte H_S de l'équation aux dérivées partielles.

On démontre :

Les méthodes implicites sont convergentes si $1/2 < \theta < 1$.

Pour $\theta = 1$ la méthode est dite totalement implicite.

$\theta = 1/2$ la méthode est dite de Crank-Nicholson.

V-5 CONDITIONS AUX LIMITES

La connaissance des valeurs des paramètres et de la géométrie n'est pas encore suffisante pour résoudre l'équation (1). Le système admet une infinité de solutions possibles, si on ne connaît pas les conditions aux limites.

On distingue principalement trois types de limites :

a. Limites étanches

Ce sont les contacts entre corps aquifère et corps imperméables. Une limite au travers de laquelle ne transitent que des débits négligeables, en regard des transferts mis en jeu à l'intérieur du système peut être traitée comme une limite étanche. Dans la formule du bilan discrétisé, le terme de débit :

$$Q_{ui} = T_{oi} (H_i - H_o) \text{ à travers cette facette est nul.}$$

b. Limites à niveau imposé

Appelées encore limites de Dirichlet, les plus caractéristiques correspondant à des plans : rivière, lacs ou échanges. Faut-il s'assurer que le niveau de ces plans d'eau est dépendant (ou à peu près) du fonctionnement de système qu'ils limitent.

Les sources peuvent être considérées comme des points limitent à niveau imposé. Faut-il être assuré de leur pérennité au moins durant la période à représenter.

Elles sont de la forme $h = h_o$.

c. Limites à flux imposé

La charge n'y pas directement imposée mais résulte plutôt d'un échange de débit entre le système et l'extérieur, ce débit n'est pas négligeable.

- Cours d'eau perche a perte par infiltration (en domaine karstique ou non) perte permanent ou temporaire.
- Limite d'alimentation continue et permanente, d'un aquifère libre au travers d'une éponte supérieure semi-perméable.
- Limite d'alimentation continue ou discontinue, d'un aquifère libre par un corps semi-perméable continu, à charge supérieur (limite semi-étanche).
- Limite d'alimentation continue ou discontinue, d'un aquifère libre par un aquifère libre continu affluent.

V-6 MAILLAGE

La zone à l'intérieur des limites latérales sera alors décomposée en mailles égales ou non, carrées ou rectangulaires.

Le maillage doit d'abord être assez fin pour que l'erreur de discrétisation (ou erreur numérique) due à la méthode par différence finie soit largement inférieure à l'incertitude.

Il est dépendra de plusieurs facteurs :

- De la précision souhaitée sur les calculs ;
- Des contours plus ou moins sinueux des limites ;
- Du nombre et de l'éloignement des singularités (puits) ;
- De la capacité de l'ordinateur.

V-7 DONNEES NECESSAIRES A LA MODELISATION

a) Perméabilité (Darcy)

C'est un paramètre de conductivité (hydraulique) que exprime la perte d'énergie de l'écoulement à la traversée du matériau.

Donc, il faudrait connaître la perméabilité en tout points (tous les mailles). En fait, la perméabilité n'est généralement connue qu'en quelques points, par interprétation de pompages d'essais.

b) Coefficient Emmagasinement :

C'est un terme dimension qui exprime la capacité du milieu à stocker et restituer de l'eau.

▪ *En écoulement captif monophasique* : l'Emmagasinement est fonction uniquement des propriétés de compressibilité de l'eau et du milieu poreux.

▪ *En écoulement à surface libre* : c'est principalement une fonction des propriétés capillaires du milieu qui se rapporte à tout instant à la frange balayé par la surface libre.

c) Niveau piézométrique (ou charge)

La mesure des niveaux piézométrique, est l'opération principale des inventaires des ressources en eau.

Le niveau piézométrique peut varier suivant la saison et les sollicitations, c'est la carte piézométrique qui permettra de déterminer les zones peu perméables (équipotentiels resserrés) ou très perméables (équipotentiels espacés).

d) Pluie

Etant donné qu'on étudie le bilan de la nappe, il ne faut pas oublier la recharge de la nappe dans les zones où la nappe est libre.

Il faut considérer la pluie efficace (la pluie à laquelle on soustrait l'évaporation et le ruissellement et éventuellement l'infiltration).

CONCLUSION

Théoriquement, on peut proposer à la représentation des écoulements souterrains naturels, un modèle conceptuel universel c'est à dire apte à représenter la totalité des comportements hydrodynamiques et des systèmes hydrogéologiques réels.

La forme mathématique de ce modèle conceptuel peut se simplifier plus ou moins selon les valeurs prises par certains paramètres.

APPLICATION À
LA NAPPE
ALLUVIALE DE LA
BASSE VALLÉE DE
LA SOUMMAM

CHAPITRE VI

FONCTION du PROGRAMME

CHAPITRE VI

FONCTION DU PROGRAMME

Le programme **GEOHYD** permet la simulation des transferts de pression en régime permanent ou transitoire dans un aquifère mono couche par la méthode des différences finies appliquées à un réseau de mailles carrées régulières. Le programme intègre l'équation aux dérivées partielles décrivent les écoulements en milieux poreux saturés, suivent deux types de conditions aux limites : charge imposé et flux imposé.

La première version du programme **GEOHYD** a été établi sur **VAX 750** par **M.Besbes 1987**. Elle fut modifiée par **B.Khammari 1990** pour une application sur support **IBMPC**.

Le programme **GEOHYD** est entièrement commandé par un fichier de données comportant :

◀ Les paramètres hydrauliques :

- Les charges initiales et imposées ;
- La distribution de la transmissivité ;
- Les débits échangés aux limites du domaine d'étude ;
- Les niveaux de référence (piézomètre initiale) ;
- Les coefficients d'Emmagasinement ;

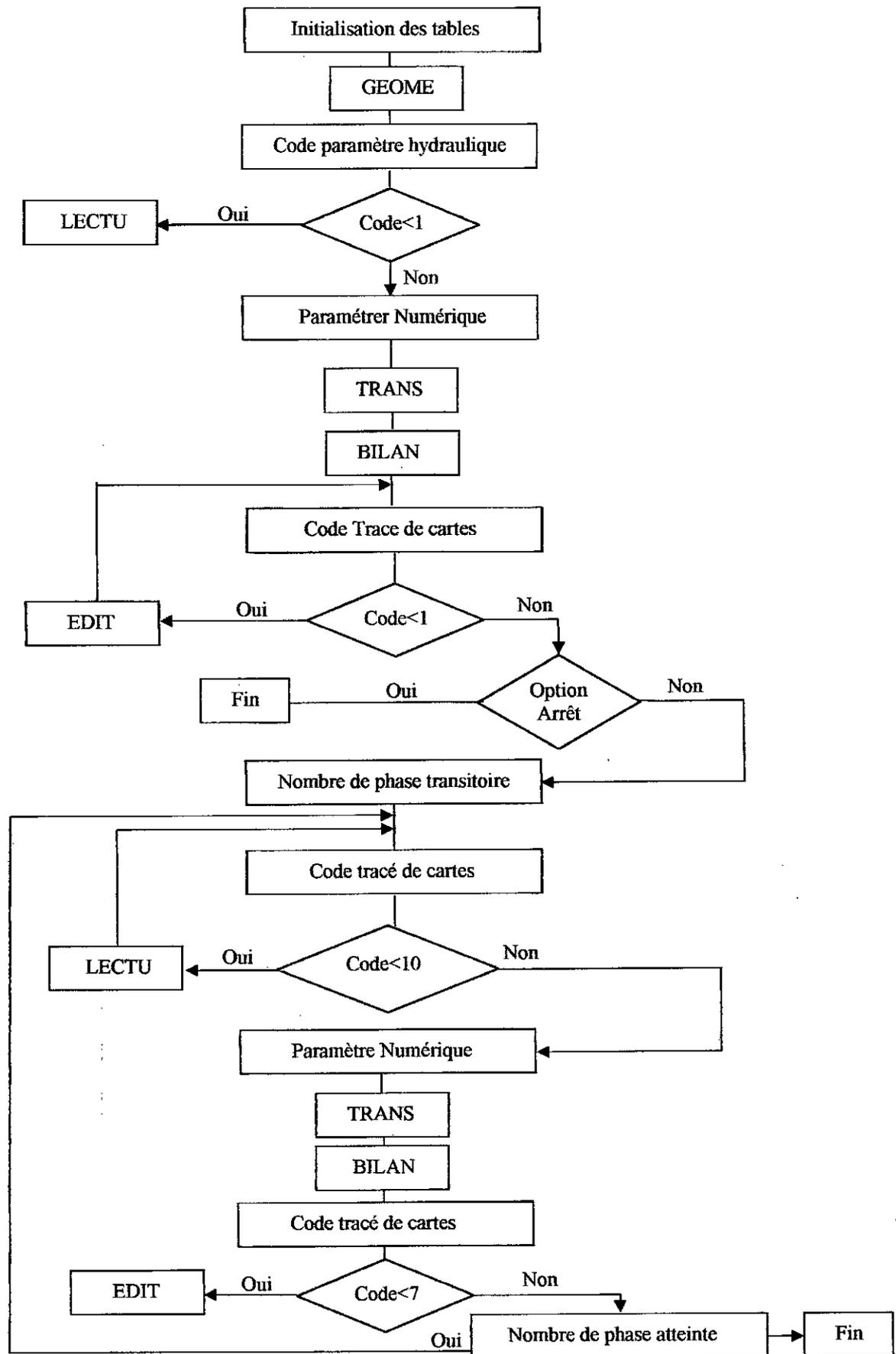
◀ Les paramètres numériques de la simulation :

- Le nombre d'itérations ;
- Le coefficient de relaxation ;
- La précision.

Les paramètres d'édition des tables et cartes sur imprimantes : le programme **GEOHYD** comporte une subroger (**GEOHYD**) sur laquelle sont articulées les six subroger suivantes (FigVI-1) , **GEOME -- LECTU -- BILAN -- EDIT -- TRANS**.

Après modification par **B.khammari (1990)**, le nombre maximum admissible passe de 425 à 900.

Fig. VI-1: Organigramme de calcul :



La mise en œuvre du programme passe par six étapes successives qui sont :

- ✓ Maillage du modèle ;
- ✓ Conditions aux limites ;
- ✓ Paramètres hydrauliques ;
- ✓ Edition des cartes et résultats marqués sur imprimante ;
- ✓ Arrêt du programme.

VI-1 MAILLAGE DU MODELE

Le maillage du modèle consiste à la subdivision du schéma de l'aquifère en maille numérotée de gauche à droite et de haut en bas.

Il est constitué d'une grille régulière de mailles carrées en définissant :

- Le nombre total de mailles et leurs numéros respectifs ;
- La dimension du côté de la maille ;
- Les positions géographiques des mailles dans un système de coordonnées appelé *schéma-type* (Fig VI-2).

VI-1.1 DECOUPAGE ET NUMEROTATION DES MAILLES UTILES :

(SCHEMA OPERATEUR)

Le domaine étudié (aquifère) est découpé en maille régulière. La numérotation obtenue est appelée : *numérotation opérateur* (Fig. VI-3), elle permet d'identifier chacune des mailles réelles du modèle par rapport à un découpage : *le schéma type*.

VI-1.2 REPERAGE GEOGRAPHIQUE « SCHEMA TYPE »

On utilise le schéma type pour repérer la position relative (géographique) des mailles. Le schéma type a deux fonction essentielles :

- Pour chaque maille, le repérage de ses voisines N, S, E, W ;
- La possibilité édition de cartes de paramètres hydrauliques.

La méthode consiste à superposer le maillage du modèle à une grille de mailles de même taille entourant complètement le domaine modélisé d'au moins une rangée de mailles.

VI-1.3 DONNEES DE LA PHASE GEOMETRIQUE

La géométrie de l'aquifère simulée est réalisée par des variables, écrites suivant des formats donnés :

- I TITRE** : Titre de l'aquifère;
- I NUM** : Edition éventuelle du maillage ;
- I TAB** : Edition éventuelle de la table **NMAI (H, T, Q, S, HR)** ;
- I CAR** : Stockage ou non de la charge calculée ;
- I NITH** : Calcul du régime permanent et/ou du régime transitoire ;
- NMAI** : Nombre total de maille du modèle ;
- I COL** : Nombre de colonnes du schéma-type ;
- I LIN** : Nombre de ligne du schéma-type ;
- A** : Dimension de la maille.

VI-2 CONDITION AUX LIMITES

Les flux sont implicitement imposés à zéro sur toutes les bordures du modèle. Cette représentation est obtenue en affichant une valeur de transmissivité nulle dans les

mailles extérieures à la zone modélisée. Ainsi tout échange de flux avec l'extérieur est considéré comme nul.

Les conditions de flux non nul, ainsi que de potentiel imposé, sont introduites à l'intérieur de la limite du domaine, le programme permet de faire varier la nature et la position des conditions de niveau de flux non nul au cours de temps. Pour ces derniers, la convention suivante est adoptée :

- Débit positif (+Q) pour un prélèvement sur la nappe (sortie);
- Débit négatif (-Q) pour un apport à la nappe (entrée).

VI-3 PARAMETRES HYDRAULIQUES

Six types de paramètres sont introduits et identifiés chacun selon un code (*I CODE*) que l'introduit de la manière suivante :

<i>ICODE</i>	<i>PARAMETRE</i>
<i>1</i>	<i>H</i> Potentiels hydraulique
<i>2</i>	<i>T</i> Transmissivités
<i>3</i>	<i>Q</i> Débit
<i>4</i>	<i>HR</i> Niveau de référence
<i>5</i>	<i>S</i> Coefficients d'emmagasinement
<i>6</i>	<i>XH</i> Indicateur de niveau imposé (potentiel impose)

Tous ces paramètres sont dimensionnés à *NMAI*. Concernant le code 6, l'affectation d'une valeur positive à *XH* dans une maille donnée indique, l'imposition du potentiel dans la maille.

En régime transitoire deux types de paramètres peuvent varier :

- Les débits qui prennent le code 8 ;
- Les niveaux de référence le code 9.

VI-4 PARAMETRES NUMERIQUES

Trois paramètres intervenant dans le calcul numérique, peuvent être introduits selon des formats donnés :

- L MAX*** : Nombre maximum d'itération ;
R : Coefficient de surrelaxation ;
EPS : Tolérance sur le résidu (seuil de convergence).

VI-5 EDITION DE CARTES SUR IMPRIMANTE

L'édition se fait comme suit :

- a. Numéro opérateur des mailles dans leurs positions géographiques.
- b. Numéro l'itération effectuée pour calculer le régime permanent et valeur du résidu sur H ;
- c. Tableau des paramètres hydrauliques ;
- d. Bilan en eau de système en régime permanent
- e. Cartes de paramètres après calcul en régime permanent (sur option) ;
- f. Pour chaque phase transitoire :
 - Tableau indicatif du déroulement des calculs ;
 - Cartes de paramètres (sur option) ;
 - Bilan en eau.

VI-6 ARRET DU PROGRAMME

Si ***IOPT = 0***, il y a arrêt du programme ;

Si ***IOPT = 1***, on continue pour calculer le régime transitoire.

VI-7 APPLICATION DU MODELE

VI-7.1 GEOMETRIE DU MODELE

La vallée de la Basse Soummam a été découpée suivant une grille de mailles carrées (*FigVI-2*). La morphométrie est la suivante :

- Nombre de mailles du schéma type : **612**
- Nombre de mailles utiles : **200**
- Nombre de colonnes : **12**
- Nombre de lignes : **51**
- Dimension du côté de la maille : **666.67 m**

3

VI-7.2 PARAMETRES HYDRAULIQUES

Les paramètres hydrauliques introduits dans le modèle sont :

- ✓ La charge initiale, qui reflète l'état piézométrique moyen de l'aquifère, elle est fixée à **35 m** ;
- ✓ Les transmissivités réparties au niveau de l'aquifère, avant le calage, varient de $7 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ à l'amont et de $5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ à l'aval de la vallée caractérisant ainsi l'hétérogénéité du réservoir hydraulique ;
- ✓ Les débits entrant vers la nappe, constituent les différents paramètres de recharge de la nappe en m^3/s ;
- ✓ Les débits prélevés de l'aquifère, caractérisent la charge de la nappe sur les points de références fixées à 39
Le débit de fuite vers la mer est évalué environ $2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$;
- ✓ Les charges de référence sont introduites sur **46** mailles (par séquence) ;
- ✓ Le coefficient d'emménagement est fixé environ **7%** ;
- ✓ Le potentiel imposé en aval reparti sur sept mailles est fixé à **0 m** .

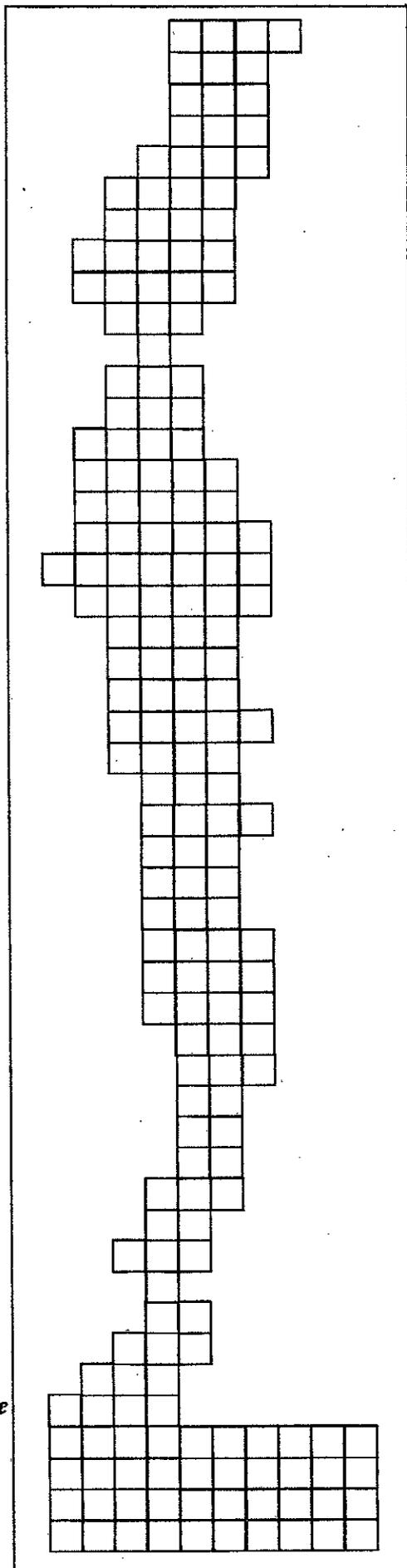


Fig. VI-2 Schéma de maillage

"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	1	2	3	4	"	"	"
"	"	"	"	"	5	6	7	"	"	"	"
"	"	"	"	"	8	9	10	"	"	"	"
"	"	"	"	"	11	12	13	"	"	"	"
"	"	"	"	14	15	16	17	"	"	"	"
"	"	"	18	19	20	21	"	"	"	"	"
"	"	"	22	23	24	25	"	"	"	"	"
"	"	26	27	28	29	30	"	"	"	"	"
"	"	31	32	33	34	35	"	"	"	"	"
"	"	"	36	37	38	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	39	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	40	41	42	"	"	"	"	"	"
"	"	"	43	44	45	"	"	"	"	"	"
"	"	46	47	48	49	"	"	"	"	"	"
"	"	50	51	52	53	54	"	"	"	"	"
"	"	55	56	57	58	59	"	"	"	"	"
"	"	60	61	62	63	64	65	"	"	"	"
"	66	67	68	69	70	71	72	"	"	"	"
"	"	73	74	75	76	77	78	"	"	"	"
"	"	"	79	80	81	82	"	"	"	"	"
"	"	"	83	84	85	86	"	"	"	"	"
"	"	"	87	88	89	90	"	"	"	"	"
"	"	"	91	92	93	94	95	"	"	"	"
"	"	"	96	97	98	99	"	"	"	"	"
"	"	"	"	100	101	102	"	"	"	"	"
"	"	"	"	103	104	105	106	"	"	"	"
"	"	"	"	107	108	109	"	"	"	"	"
"	"	"	"	110	111	112	"	"	"	"	"
"	"	"	"	113	114	115	"	"	"	"	"
"	"	"	"	116	117	118	119	"	"	"	"
"	"	"	"	120	121	122	123	"	"	"	"
"	"	"	"	124	125	126	127	"	"	"	"
"	"	"	"	"	128	129	130	"	"	"	"
"	"	"	"	"	131	132	133	"	"	"	"
"	"	"	"	"	134	135	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	136	137	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	138	139	"	"	"	"	"
"	"	"	"	140	141	142	"	"	"	"	"
"	"	"	"	143	144	"	"	"	"	"	"
"	"	"	145	146	147	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	148	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	149	150	"	"	"	"	"	"
"	"	"	151	152	153	"	"	"	"	"	"
"	"	154	155	156	"	"	"	"	"	"	"
"	157	158	159	160	"	"	"	"	"	"	"
"	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	"
"	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	"
"	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	"
"	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"

Fig. VI-3: Numérotation des mailles utiles (schéma opérateur)

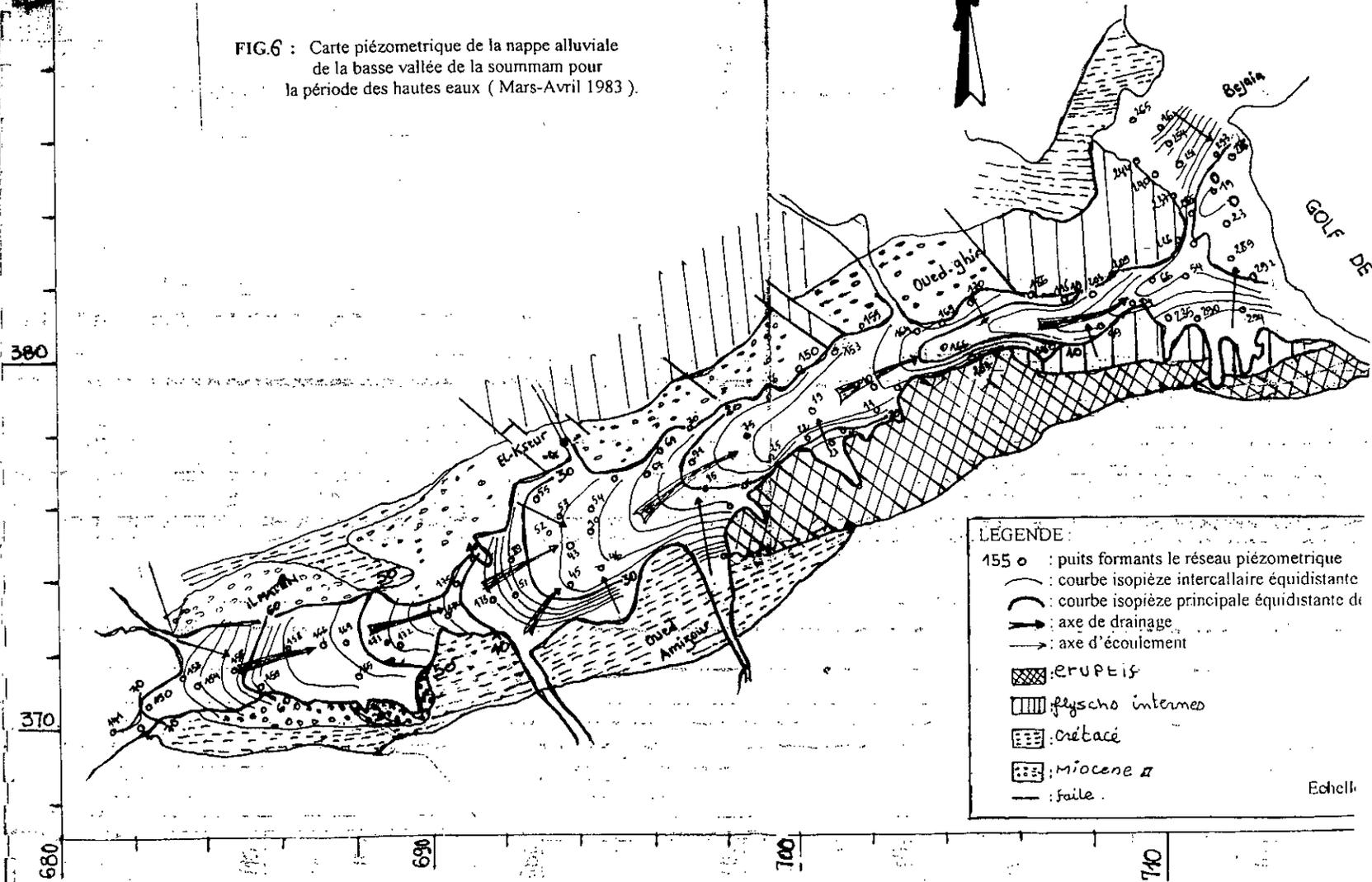
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	18	19	20	21	"	"	"
"	"	"	"	"	30	31	32	"	"	"	"
"	"	"	"	"	42	43	44	"	"	"	"
"	"	"	"	"	54	55	56	"	"	"	"
"	"	"	"	65	66	67	68	"	"	"	"
"	"	"	76	77	78	79	"	"	"	"	"
"	"	"	88	89	90	91	"	"	"	"	"
"	"	99	100	101	102	103	"	"	"	"	"
"	"	111	112	113	114	115	"	"	"	"	"
"	"	"	124	125	126	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	137	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	148	149	150	"	"	"	"	"	"
"	"	"	160	161	162	"	"	"	"	"	"
"	"	171	172	173	174	"	"	"	"	"	"
"	"	183	184	185	186	187	"	"	"	"	"
"	"	195	196	197	198	199	"	"	"	"	"
"	"	207	208	209	210	211	212	"	"	"	"
"	218	219	220	221	222	223	224	"	"	"	"
"	"	231	232	233	234	235	236	"	"	"	"
"	"	"	244	245	246	247	"	"	"	"	"
"	"	"	256	257	258	259	"	"	"	"	"
"	"	"	268	269	270	271	"	"	"	"	"
"	"	"	280	281	282	283	284	"	"	"	"
"	"	"	292	293	294	295	"	"	"	"	"
"	"	"	"	305	306	307	"	"	"	"	"
"	"	"	"	317	318	319	320	"	"	"	"
"	"	"	"	329	330	331	"	"	"	"	"
"	"	"	"	341	342	343	"	"	"	"	"
"	"	"	"	353	354	355	"	"	"	"	"
"	"	"	"	365	366	367	368	"	"	"	"
"	"	"	"	377	378	379	380	"	"	"	"
"	"	"	"	389	390	391	392	"	"	"	"
"	"	"	"	"	402	403	404	"	"	"	"
"	"	"	"	"	414	415	416	"	"	"	"
"	"	"	"	"	426	427	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	438	439	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	450	451	"	"	"	"	"
"	"	"	"	461	462	463	"	"	"	"	"
"	"	"	"	473	474	"	"	"	"	"	"
"	"	"	484	485	486	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	497	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	509	510	"	"	"	"	"	"
"	"	"	520	521	522	"	"	"	"	"	"
"	"	531	532	533	"	"	"	"	"	"	"
"	542	543	544	545	"	"	"	"	"	"	"
"	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	"
"	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	"
"	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	"
"	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"

Fig. VI-4: Repérage géographique (schéma type)

VI-7.3 SIMULATION DE LA NAPPE EN REGIME PERMANENT

En partant d'une piézométrie de référence observée sur **46** mailles assez bien réparties sur la vallée, le calage des résultats a été réalisé par apport à la carte piézométrique présentée (*FigVI-5*) portant sur la période Mars/Avril 1983

FIG.6 : Carte piézométrique de la nappe alluviale de la basse vallée de la soummam pour la période des hautes eaux (Mars-Avril 1983).



Concernant les calculs préliminaires du calage, nous nous sommes basés essentiellement sur les variations des débits sortants. En effet, nous sommes confrontés à la non disponibilité des informations portant sur le nombre de forages effectif de leur localisation dans l'espace, les débits soutirés ainsi que des durées des pompages.

Durant le calage, il a été ajusté une zone de transmissivité entre Sidi Aich et oued Ghir fixée à 3.10^{-2} m²/s.

Donc, après plusieurs ajustements de débits sortants, nous sommes arrivés à établir :

- ❖ Une carte piézométrique calculée (*FigVI-6*);
- ❖ Une carte de différence de charge ($HR - H$) (*FigVI-7*), indiquant le calage entre la carte mesurée et la carte calculée.

L'écart entre la carte calculée et celle mesurée est peu important, sauf au niveau de certaines zones, cela est dû, probablement, à la non fiabilité des données qui ne correspond pas la période d'étude, au mode d'écoulement de la nappe et aussi à la grande taille des mailles.

BILAN DU SYSTEME

Les résultats obtenus en régime permanent sont comme suit : (*FigVI-8*)

"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	69	69	70	73	"	"	"
"	"	"	"	"	66	66	67	"	"	"	"
"	"	"	"	"	63	64	64	"	"	"	"
"	"	"	"	"	60	61	61	"	"	"	"
"	"	"	"	54	56	58	60	"	"	"	"
"	"	"	51	53	54	55	"	"	"	"	"
"	"	"	50	51	52	52	"	"	"	"	"
"	"	48	49	49	50	50	"	"	"	"	"
"	"	48	47	47	48	49	"	"	"	"	"
"	"	"	46	45	46	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	40	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	34	35	34	"	"	"	"	"	"
"	"	"	33	33	33	"	"	"	"	"	"
"	"	31	31	31	31	"	"	"	"	"	"
"	"	30	30	30	30	29	"	"	"	"	"
"	"	29	29	29	29	29	"	"	"	"	"
"	"	29	28	28	28	28	27	"	"	"	"
"	28	28	28	27	27	27	27	"	"	"	"
"	"	27	27	26	26	26	27	"	"	"	"
"	"	"	26	25	25	25	"	"	"	"	"
"	"	"	25	25	25	25	"	"	"	"	"
"	"	"	25	25	25	25	"	"	"	"	"
"	"	"	25	25	25	25	25	"	"	"	"
"	"	"	25	24	24	24	"	"	"	"	"
"	"	"	"	24	24	24	"	"	"	"	"
"	"	"	"	22	21	21	22	"	"	"	"
"	"	"	"	21	21	21	"	"	"	"	"
"	"	"	"	20	20	19	"	"	"	"	"
"	"	"	"	19	19	19	"	"	"	"	"
"	"	"	"	18	17	17	16	"	"	"	"
"	"	"	"	18	17	16	16	"	"	"	"
"	"	"	"	17	15	14	14	"	"	"	"
"	"	"	"	"	13	13	13	"	"	"	"
"	"	"	"	"	10	10	11	"	"	"	"
"	"	"	"	"	8	8	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	5	5	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	3	3	"	"	"	"	"
"	"	"	"	2	2	2	"	"	"	"	"
"	"	"	"	2	3	"	"	"	"	"	"
"	"	"	1	2	2	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	2	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	2	3	"	"	"	"	"	"
"	"	"	3	3	3	"	"	"	"	"	"
"	"	1	2	2	"	"	"	"	"	"	"
"	1	1	2	3	"	"	"	"	"	"	"
"	1	1	2	2	4	5	7	8	9	9	"
"	1	1	1	2	4	5	6	7	8	9	"
"	1	1	1	2	2	3	4	6	7	8	"
"	0	0	0	0	0	0	0	4	6	6	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"

Fig. VI-6: Carte de la piezométrie calculée

"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	1	1	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	2	3	"	"	"
"	"	"	"	"	-3	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	-1	"	"	"	"
"	"	"	"	"	-2	-2	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	0	"	"	"	"	"
"	"	"	3	"	"	2	"	"	"	"
"	"	"	3	"	"	1	"	"	"	"
"	"	"	2	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	4	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	7	"	"	"	"	"
"	"	"	6	5	"	"	"	"	"	"
"	"	"	2	"	2	"	"	"	"	"
"	"	"	1	"	"	1	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	1	"	"	"	"
"	"	"	"	"	0	"	"	"	"	"
"	"	"	"	-1	"	1	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	-3	"	"	"	"	"	"
"	"	"	0	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	-4	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	-5	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	-5	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	-3	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	0	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	-1	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	0	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	5	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	5	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	4	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	-1	"	"	"	"	"	"
"	"	"	3	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	2	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	0	-2	"	"	"	"	"	"
"	"	1	"	"	-4	"	-4	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"

Fig. VI-7: Carte de différence de charge (HR - H)

REGIME PERMANENT

Nombre d'itérations L= 1201
 Résidu (somme du carré des écarts U= .00011

BILAN DU SYSTEME

MAILLE	DEBIT				
191	.00427				
192	.00478				
193	.00621				
194	.00880				
195	.01153				
196	.01473				
197	.03708				
DEBIT POT.IMPOS:		ENTREE	.00000	SORTIE	.08739
		TOTAL			.08739
DEBITS IMPOSES :		ENTREE	-.77300	SORTIE	.68800
		TOTAL			-.08500
BILAN		:	" m ³ /s "		.00239

Fig. VI-8 : Bilan du système

CONCLUSION

GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

Notre étude a consisté à faire une étude hydrogéologique ayant déterminé les paramètres utiles à une approche par modélisation mathématique en utilisant le programme **GEOHYD**.

Ainsi, les études portant sur le milieu (géomorphologiques et géologiques) ont permis de définir les éventuelles nappes aquifères (remplissage alluvion). Le versant Nord est caractérisé par une formation Allochtone et le versant sud par une formation Autochtone.

L'hydroclimatologie, nous a renseigné sur la lame d'eau infiltrée qui a été calculée par la méthode de Thornthwaite est évaluée à 144mm.

L'étude hydrogéologique a montré que la nappe alluviale de la basse vallée de la Soummam présente des transmissivités très variables de l'amont vers l'aval.

La réalimentation de la nappe se fait par le biais de l'infiltration des précipitations efficaces, des oueds et des formations géologiques y affleurant.

L'utilisation de logiciel **GEOHYD**, nous a permis d'une part d'initier a la technique de la modélisation et d'autre part d'évaluer le bilan de la nappe alluviale de la basse vallée de la Soummam.

Nous souhaitant que ce travail pourrait être poursuivi, en utilisant des données complètes, fiable portant sur les caractéristiques du milieu (la piézométrie, transmissivité, coefficient d'emmagasinement) et des entrées et sorties de système

Il faut cependant garder à l'esprit que l'efficacité des solutions dépend largement de la précision des données utilisées dans les modèles, or, ces données sont toujours attachées d'erreurs et d'imprécisions, il n'est malheureusement pas possible d'évaluer le résultat des combinaisons des intervalles à l'intérieur desquels varient ces paramètres puisqu'il s'agit d'imprécision des valeurs utilisés.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- [1] *Amghar. M (1991)*, " Synthèse hydrogéologique de la plaine alluviale de la Basse Soummam ". PFE, *USTHB*.
- [2] *Benmammar. N (1995)*, " Etude hydrogéologique et modélisation de la nappe du plateau de Mostaganem ". PFE, *ENP*.
- [3] *Besbes .M (1987-1989)*, " Simulation en hydrogéologie ". Cours organisé sous l'égide de l'*UNESCO* par *L'ENIT*, *Tunis*.
- [4] *Bonnet .M (1982)*, " Méthodologie des modèles de simulation en hydrogéologie ".
- [5] *Bouchaala. F (2001)*, " Variabilité spatiale des paramètres hydrogéologiques de la Basse vallée de la Soummam ". PFE, *ENP*.
- [6] *Boudedja. H (1993)*, " Analyse des données pluviométriques du bassin versant de la Soummam " . PFE, *USTHB*.
- [7] *Boumahrat. M et Gourdin. A (1983)*, " Méthodes numériques appliquées ".
- [8] *Castany. G (1977)*, " Dictionnaire français hydrogéologie ". *BRGH, Paris*.
- [9] *Castany. G (1985)*, Principes méthodes de l'hydrogéologie. *Dunod, Université Bordas, Paris*.
- [10] *Castany. G (1968)*, " Prospection et exploitation des eaux souterraines ". *Dunod, Paris*.
- [11] *Foucault. A (1995)*, " Dictionnaire de géologie ". *Masson, Paris*.

[12] *Halimi. A (1978), " L'Atlas Blideen "*.

OPU, Alger.

[13] *Henidi. N (1993), " Essai d'approche de la modélisation mathématique de la nappe alluviale de la Basse Soummam "*. PFE, *USTHB*.

[14] *Ider.K (1998), " Etude de la variabilité spatiale de la charge hydraulique de l'aquifère superficiel de la Basse Soummam "*. PFE, *ENP*.

[15] *Liamas , " Hydrologie générale "*.

[16] *Zerourou. M (1991), " Contribution à l'étude hydrogéologique de la vallée de la Basse Soummam "*. PFE, *USTHB*.

Autres bibliographiques :

- ❖ *Des apports réalisées par l'Agence de Bassin (Algérois – Hodna – Soummam) (2001-2002), sur le Bassin de la Soummam ;*
- ❖ *Etude la mise en valeur du Bassin de la Soummam (ANRH) ;*
- ❖ *Description du programme GEOHYD (Mesbah.M^{ed}) (1989) ;*
- ❖ *Nappe inféoflux de la vallée d'IN-Amguel (Khammari.B, Besbes.M, Latreche.D) (1992).*

ملخص

تمثل الدراسة التالية في تطبيق نموذج رياضي للتشابه الهيدروديناميكي , و ذلك في النظام المستقر في سطح جوفي أحادي الطبقة (الخاص بالجهة السفلى لجرى الصومام) , يمكننا من تعيين الخصائص الهيدروديناميكية لهذا الأخير و ذلك بعد دراسة هيدروجيولوجية شاملة للمنطقة.

Résumé

Le présent travail consiste à appliquer un modèle mathématique de simulation hydraulique, en régime permanent, dans un aquifère monocouche (la nappe alluviale de la Basse vallée de la Soummam) et ce, après une étude hydrogéologique, permettant la détermination des caractéristiques hydrodynamique de l'aquifère (transmissivité, coefficient d'emmaçasinement) .

Abstract

This present work consists to apply mathematical model of hydrodynamic simulation, in permanent regime, in monolayer aquiferous (of the low River of the Soummam), after the hydrological study, which permits the determination of hydrodynamical parameters.

Mots Clés : Hydrogéologie, Modélisation Mathématique, Basse vallée de la Soummam, GEOHYD, Méthode des éléments finis, Nappe alluviale , Ecoulements souterrains