

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique
Ecole nationale Polytechnique



وزارة التعليم العالي
و البحث العلمي
المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات

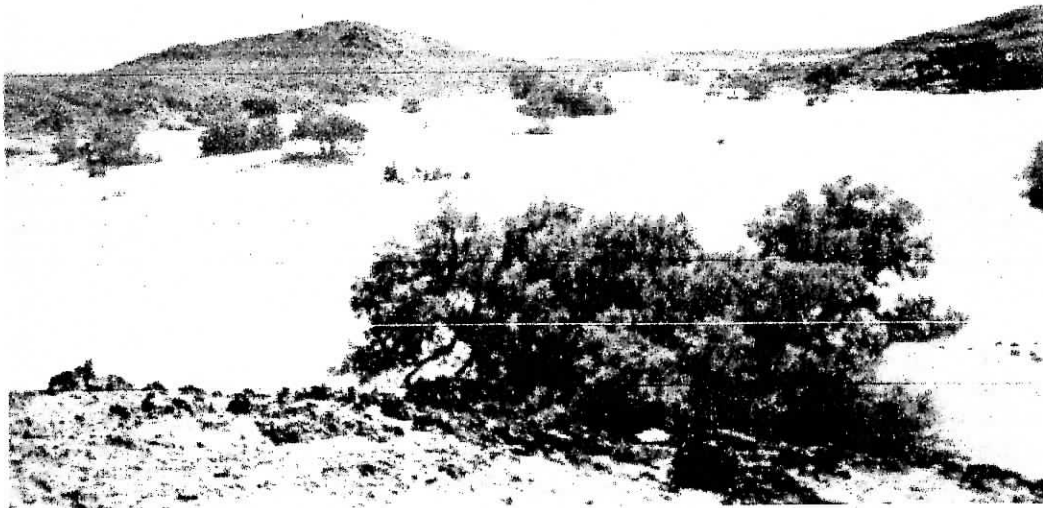
Département De Génie Hydraulique

Projet de fin d'étude

Thème :

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Modélisation hydrodynamique de l'inféroflux d'ABALESSA (HOGGAR central)



Proposé et dirigé par :
A.SEMAR

Réalisé par:
LARAS azzedine

Promotion 2003

Ecole Nationale Polytechnique : 10 Avenue Hassen Badi, El Harrach . ALGER

Dédicaces :

Je dédie ce travail à :



*A mes parents, pour toute leur aide, et
auxquels je dois tout*

A mon "unique" sœur FAZILA

A tous mes amis

*A Mr RAHMANI dont l'ombre aura plané
tout au long de mon travail*

Remerciements :

Je tiens à remercier tout d'abord mon promoteur Mr Ahcène SEMAR, pour tout ce que j'ai appris à ses cotés, pour sa rigueur scientifique, pour sa disponibilité, et sa patience, il est, et sera pour moi un exemple à suivre.

Mes profonds remerciements vont à tous mes professeurs de l'école nationale polytechnique, et plus précisément ceux du département hydraulique, ils ont laissé en moi une empreinte que je garderai à vie.

Ma profonde gratitude va vers Mr BERMAD qui m'a honoré en présidant mon jury, ainsi que Mme BENMAMAR mon chef de département, et Mr NEBBACHE qui ont bien voulu s'intéresser à mon travail.

A Mr DERIAS tarek pour toute son aide, et ses précieux conseils.

A mes amis Kamel, Ferial, Wissem, et Youcef qui m'ont épaulé dans les moments difficiles, je ne leur dirai jamais assez merci.

A tout ceux qui ont contribué de près ou de loin à ce travail, un grand merci.

Sommaire



Introduction Générale

Partie I

Présentation de la région d'ABALESSA

Chapitre I :

Caractéristiques générales de la région d'étude

I.1 Situation géographique et économique de la région.....	1
I.1.1 Situation géographique.....	1
I.1.2 Situation administrative.....	1
I.1.3 Situation économique.....	2
I.2 Climatologie.....	3

Chapitre II :

Géomorphologie de la région d'étude

II.1 Morphologie générales du massif du Hoggar.....	9
II.1.1 Introduction.....	9
II.1.2 Les zones morphologiques.....	9
II.2 Présentation de la zone d'ABALESSA.....	9

Chapitre III

Hydrographie de la région

III.1 Introduction.....	12
III.2 L'oued de la région d'étude.....	12
III.3 Formation de l'oued ABALESSA	12
III.4 Allure du réseau hydrographique.....	13
III.5 Ruissellement et écoulement	13
III.6 Etude du bassin versant d'ABALESSA.....	14
III.6.1 Introduction	14
III.6.2 Caractéristiques morphométriques.....	14
III.7. Conclusion.....	18

Chapitre IV

Géologie et fracturation

IV.1 Introduction.....	19
IV.2 Géologie du secteur d'étude.....	20
IV.3 fracturation.....	22

Chapitre 5

Hydrogéologie de la région d'étude

V.1 Présentation des formations aquifères.....	24
V.1.1 Les alluvions d'oued.....	24
V.1.2 Les arènes granitiques.....	24
V.1.3 Les épanchement basaltiques.....	25
V.1.4 le socle cristallin.....	25
V.2 Etude de la nappe.....	26
V.2.1 Définitions.....	26
V.2.2 Caractéristiques générales	26
V.2.3 Géométrie.....	26
V.3 Estimation des débits.....	26
V.4 Mode d'exploitation de la nappe.....	27
V.5 Conditions d'infiltration.....	28

	V.6 La carte piézométrique.....	30
V.7 Hydrochimie.....		31
<hr/>		
Partie2	Les principes de la modélisation	
<hr/>		
Chapitre VI	Rappels d'hydrogéologie	
<hr/>		
VI.1 introduction.....		33
VI.2 terminologie et grandeurs aquifères.....		35
VI.3 lois de l'hydrodynamique.....		36
VI.4 Equation de continuité.....		37
<hr/>		
Chapitre VII	Notions de modélisation	
<hr/>		
VII.1 Première approche		39
VII.2 Seconde approche.....		40
VII.3 Prise en compte des conditions aux limites.....		42
VII.4 Calcul des transmissivités		42
VII.5 Cas de régime permanent		43
VII.6 Cas du régime transitoire.....		45
VII.7 Maillage.....		47
<hr/>		
Partie 3	Application à l'inféoflux d'ABALESSA	
<hr/>		
Chapitre VIII	Présentation des programmes utilisés	
<hr/>		
VIII.1 Le programme GEOHYD.....		49
VIII.2 Le programme ASM.....		52
VIII.3 Applications.....		53
<hr/>		
Chapitre IX	résultats analyses et commentaires	
<hr/>		
IX.1 GEOHYD.....		54
IX.2 ASM.....		55
IX.3 Résultats obtenus		60
IX.4 Calage des transmissivité.....		61
IX.5 Calage des recharges.....		61
<hr/>		
Conclusion générale et perspectives futures		

INTRODUCTION GÉNÉRALE :

Les eaux souterraines représentent environ 30 % des ressources en eau douce de la planète, la proportion étant de moins de 1 % pour les lacs et les cours d'eau, alors que la majeure partie (69 %) se trouve dans les glaciers.

Les eaux souterraines sont l'une des composantes du cycle hydrologique; elles s'accumulent dans les couches géologiques souterraines nommées aquifères et sont constituées par les infiltrations d'eau de pluie et des eaux de surface (cours d'eau) avec lesquelles elles sont en relation étroite. Les aquifères ont l'avantage de posséder des capacités de stockage importantes, voire immenses, et un écoulement très faible; on peut en outre y accéder par les puits ordinaires ou trous de sonde, soit par pompage ou écoulement (puits artésiens), soit par les sources. L'importance des aquifères dépend de la nature géologique des couches; par exemple, les formations sédimentaires sont de bons aquifères alors que les roches dures ont des capacités de stockage limitées.

Les eaux souterraines sont distribuées inégalement sur la planète, en raison des différences de conditions climatiques qui y règnent : dans les *zones tempérées*, l'abondance des précipitations fournit une alimentation renouvelable qui joue un rôle important également avec les eaux de surface, assurant ainsi une bonne régulation d'une année à l'autre, en cas de sécheresse; les *zones arides*, dans lesquelles les précipitations sont faibles et les cours d'eau, de ce fait, intermittents, ont une alimentation renouvelable moins importante, **mais les eaux souterraines sont la principale ou même parfois l'unique ressource hydrique dans les zones désertiques**

L'infiltration des précipitations et des eaux de surface à travers des couches poreuses donne généralement des eaux souterraines salubres de bonne qualité, ce qui, ajouté à un accès facile aux eaux souterraines dans plusieurs régions du globe, explique la forte exploitation des eaux souterraines pour l'approvisionnement en eau des populations; elles couvrent en effet près de 60 % des besoins humains. Les eaux souterraines satisfont entre 20 et 40 % des besoins industriels en eau dans les pays industrialisés. **Dans les zones arides, elles représentent souvent la principale source d'eau pour l'agriculture**

Les eaux souterraines sont toutefois menacées par plusieurs facteurs liés à une mauvaise gestion. Elles sont souvent surexploitées, surtout dans les zones arides, ce qui provoque un abaissement de la nappe phréatique, entraînant à son tour une augmentation du coût du pompage et une possibilité de contamination par l'eau salée, en particulier dans les zones côtières, où les aquifères sont menacés par les invasions d'eau de mer. Les eaux

souterraines peuvent également être polluées par le rejet d'eaux usées dans les cours d'eau ou par les pratiques agricoles; il est très difficile et coûteux de retrouver les caractéristiques initiales des eaux souterraines lorsqu'elles sont polluées.

Etant une ressource précieuse pour l'humanité, les eaux souterraines devraient être bien gérées et protégées pour garantir une utilisation durable de l'eau approvisionnant les populations, les industries et l'agriculture. **L'évaluation des ressources aquifères disponibles est une condition préalable à une gestion rationnelle des eaux souterraines.** Une gestion rationnelle est indispensable à une utilisation durable des eaux souterraines; elle devrait être intégrée, dans la mesure du possible, à la gestion des eaux de surface au niveau des bassins versants, des régions et des pays. L'exploitation des aquifères fossiles ressemble à une exploitation minière et devrait être planifiée soigneusement pour garantir une longue vie à ces aquifères. Il faut protéger les eaux souterraines contre la pollution en surveillant la qualité de l'eau des cours d'eau et les dépôts polluants. Pour que tous les facteurs énumérés ci-dessus soient réunis, il convient de définir un cadre afin d'établir des règles régissant la prospection et l'utilisation des eaux souterraines, ainsi que pour les protéger contre la pollution.

Notre modeste travail sur la région d'ABALESSA entre dans ce contexte général de mise en valeur des eaux souterraines, et de leur **exploitation durable**. La modélisation offre des possibilités de gestion rationnelle de la ressource hydrique, car bien menée, elle permet de **prévoir** son évolution future, et ainsi d'**anticiper** avant qu'il ne soit trop tard..

PARTIE 1:

Présentation **de la région** **d'ABALESSA**

Chapitre I: Caractéristiques générales de la région d'étude

I. 1 Situation géographique et économique de la région :

I.1 .1.Situation géographique :

Le secteur étudié fait partie du Hoggar central, situé dans le sud-est Algérien, au nord-ouest du continent Africain. Il est situé entre 4°45'et 5° de longitude Est, et entre 22°50' et 23° de latitude Nord de la feuille de silet au 1/200.000. L'altitude moyenne de la région est de l'ordre de 800 à 900m



Figure n°1: situation géographique de la région

I.1 .2 .Situation administrative :

Située à 100 km à l'Ouest de Tamanrasset (chef lieu de la wilaya) ; le village de Abalessa couvre une superficie de 18.7 ha pour une population de 8013 habitants en Février 2002. « 0.N.S ».

Notons la présence à proximité du village d'ABALESSA (le plus ancien du Hoggar), d'un site historique : le tombeau de la reine TIN HINAN (Ancêtres mythique des touaregs).

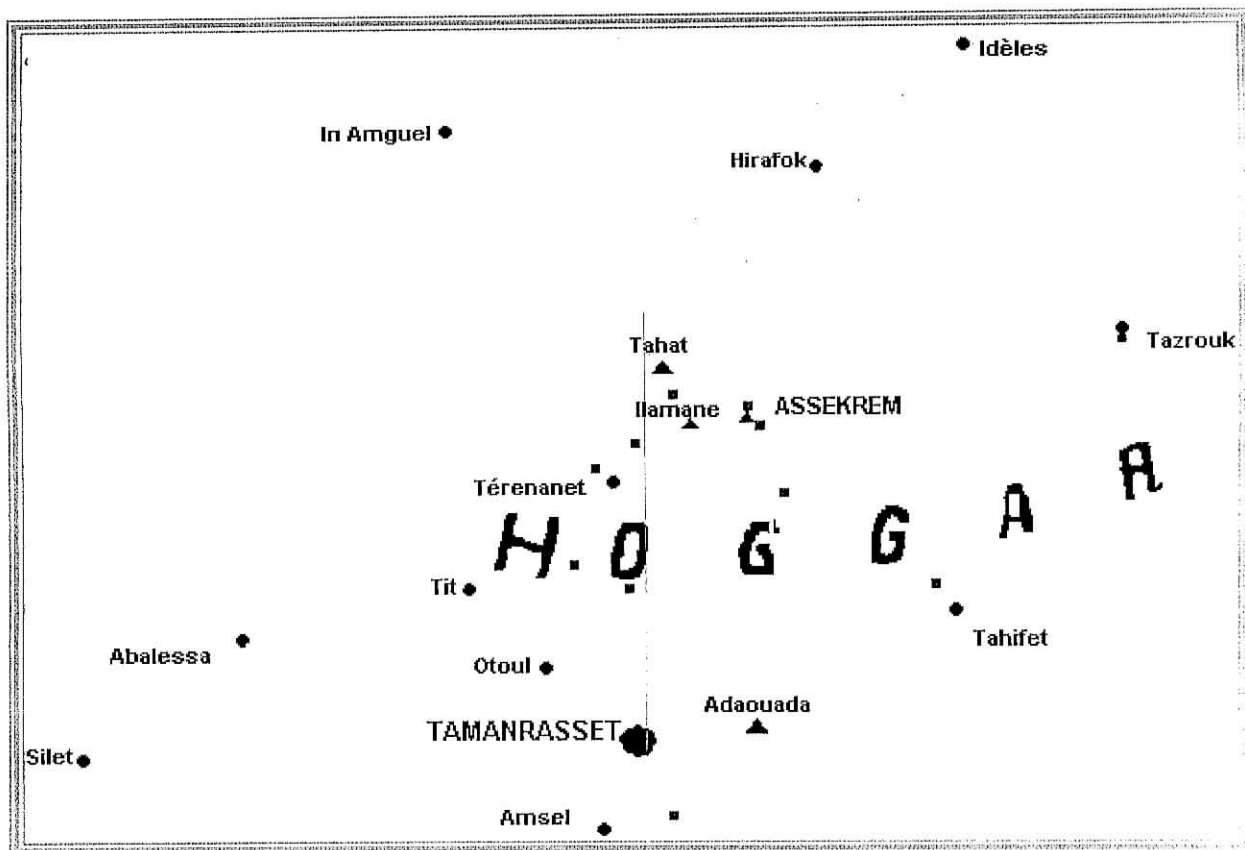


Figure n° 2 : Situation d'ABALESSA par rapport au chef lieu (Tamanrasset)

I.1.3 . Situation économique :

- **Agriculture :**

La culture dominante est celle des céréales (blé, orge, avoine...) et des arbres fruitiers adaptés au climat de la région, tel que le grenadier, le figuier, et la vigne.

L'agriculture est de type vivandière, les parcelles sont situées le long des oueds ABALESSA, et TAFFIRT, et sont estimées à deux cents (200) hectares, pour les deux localités citées.

L'irrigation reste assez archaïque, avec l'utilisation de quelques puits paysans, elle est limitée à certaines parcelles, et dure à longueur d'année .

- **Elevage :**

Nous avons noté la présence de quelques troupeaux de camelins et de caprins, mais leur nombre est assez peu significatif, ils appartiennent généralement à des nomades qui se déplacent à la recherche de fourrages, ils ne sont pas sédentaires dans la région .

- **Tourisme :**

La région offre des potentialités touristiques assez intéressantes, avec ses paysages lunaires typiques de la région du Hoggar. Elle offre des possibilités de développement d'un tourisme culturel, avec le tombeau, tout proche, de la reine TIN HINAN, de l'architecture caractérisée des maisons du village, ainsi que les traditions qu'ont su conserver les habitants de la région depuis la nuit des temps.

- **Les ressources souterraines :**

La région du Hoggar est connu pour la richesse de son sous-sol, notamment la présence de gisements aurifères, ainsi que des traces d'uranium. Néanmoins le développement de ce secteur reste relié à celui de la disponibilité de la ressource hydraulique.

I.2 LA CLIMATOLOGIE :

I.2.1 .Introduction :

Le Hoggar est situé dans la zone tropicale caractérisée par ses hautes pressions et ses faibles précipitations (tropic du cancer).

Selon C.BLANGUERNON (1976) le climat de la zone d'étude est divisée en 3 zones climatiques :

1. Une zone centrale au climat relativement doux et arrosé grâce aux effets de l'altitude (2916 m au mont TAHAT)
2. Des basses plaines périphériques à climat chaud et précipitations rares.
3. Des reliefs de bordure à climat également chaud et qui enregistrent quelquefois de faibles précipitations.

I. 2..2 .Climat de la zone d'étude :

Nous allons à travers ce qui suit donner un aperçu général du climat qui règne dans la région d'ABALESSA, à travers les différents paramètres climatiques d'intérêt hydrogéologique.

a) Pluviométrie :

Les pluies ont en général lieu en été, et proviennent essentiellement des avancées extrêmes de la mousson Ouest-Africaine qui est un vent humide qui souffle sur l'Afrique de l'ouest depuis le Golfe de Guinée. D'autres pluies ont lieu en hiver et au printemps, mais elles ont un caractère sporadique, et proviennent du nord.

D'après les données de l'O.N.M la moyenne inter-annuelles des précipitation à ABALESSA de la période allant de 1946 à 1983 est évaluée à 22.4 mm/an, cette série parait assez longue, néanmoins il a été constaté que pendant quelques années il n'y avait pas de mesures réellement fiables, ceci est du en partie à des défaillances humaines ou matérielles, nous devons donc rendre à ce chiffre sa véritable signification .

A Abalessa, il existe une nouvelle station météorologique relativement bien équipée, située dans le village. Pour l'année 2001, on a enregistré les précipitations suivantes :

- A Abalessa : 19 mm/an .
- A Tamanrasset : 43 mm/an.
- A l'Assekrem : 119 mm/an.

Le résultat de la pluviométrie est à peu près en accord avec le tracé des isohyètes moyennes de la carte de DUBIEF (1963) (fig 3)

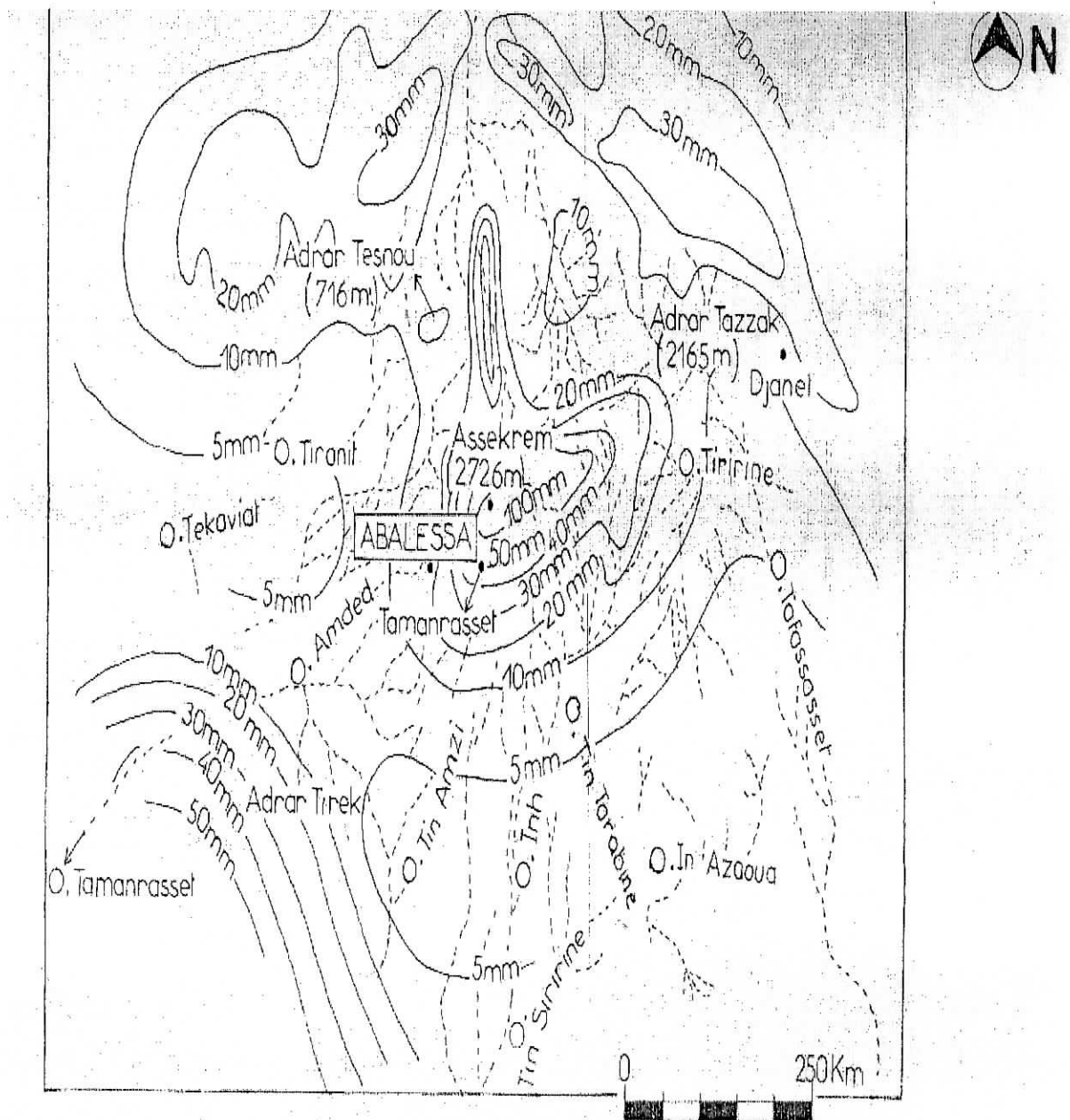


Figure n°3 : Représentation des isohyètes moyennes dans la région du Hoggar par DUBIEF (1963)

b) Températures :

Nous avons pu nous procurer les températures moyennes mensuelles et annuelles, pour la période allant de 1926 à 1976, relevées dans la station de l'aéroport de Tamanrasset.

Nous les avons représenté dans le tableau suivant :

Tableau n°1 : Représentation des valeurs moyennes des températures au cours de 50 années
(1926-1976)

Source :(O.N.M Tam)

Mois	Moyennes de T (C°)
Septembre	26.2
Octobre	28.4
Novembre	18.1
Décembre	13.7
Janvier	12.5
Février	14.7
Mars	17.8
Avril	21.7
Mai	25.3
Juin	28.3
Juillet	28.3
Août	27.8
Moyenne Annuelle	21.9

Etant donné que ces températures ne représentent que des moyennes mensuelles inter-annuelles, elles ne permettent que d'avoir une idée globale sur la température sévissant dans la région. Ici on ne prend en compte ni la différence de température d'une année à une autre, ni de celle des températures diurnes et nocturnes , ou celles existantes au sein d'une même journée.

c) .Evaporation :

L'évaporation (ETP) à Abalessa est de 3.8m/an, elle est de 3.7m/an à Tamanrasset et de 3.2 m/an à Assekrem (O.N.M. de Tamanrasset).

d) I.Humidité relative:

Elle est égale au rapport (e / E) de la tension réelle à la tension de vapeur dans les mêmes conditions de température.

L'humidité de la région oscille entre 25 % et 29 % en hiver ,et 18% et 20 % en été (O.N.M Tamanrasset)

e) Les vents :

Les vents jouent un rôle important dans le climat du HOGGAR. Au printemps (Avril - Mai) les vents occidentaux apportent les pluies printanières atlantiques ou méditerranéennes, en été (juin à octobre) des vents d'intensités régulières de direction sud-ouest prédominant (mousson soudanaise) , ils coïncident avec la période pluvieuse de l'ATAKOR, en hiver les vent faiblissent et sont de direction variable.

A noter l'existence de vents de sable assez forts qui soufflent principalement en février et mars.

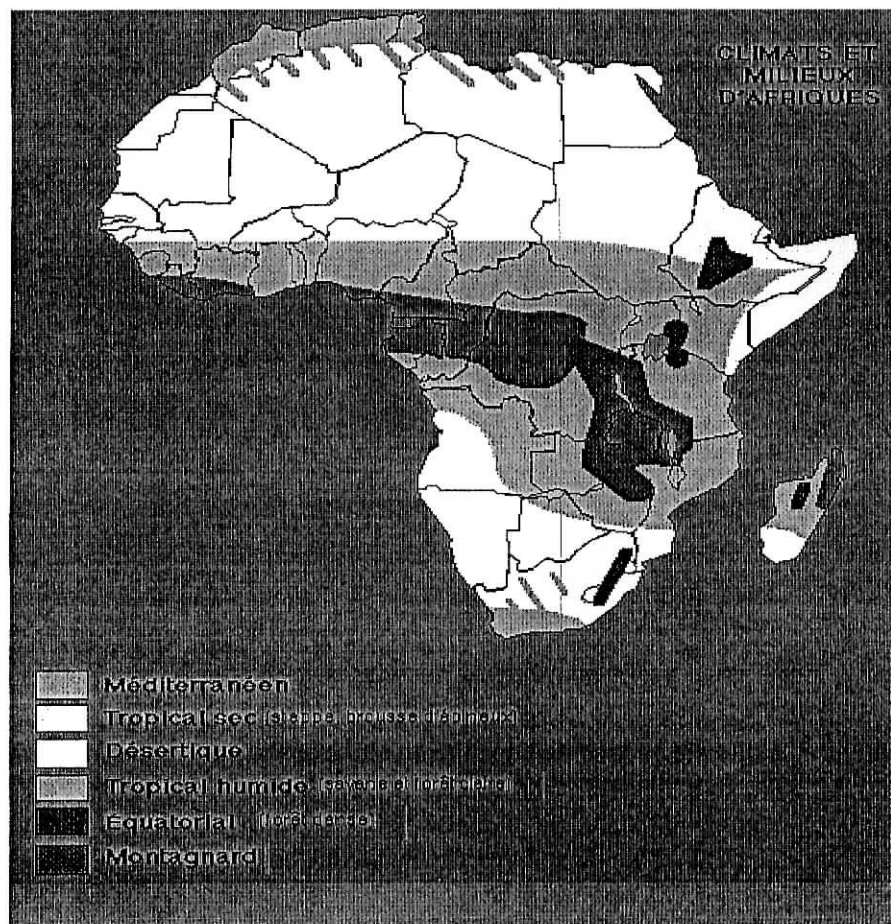


Figure n°4 : Carte des climats sévissant en Afrique

I. 3. Conclusion :

Le manque de disponibilité des données climatiques constitue une contrainte majeure pour une bonne connaissance du climat de la région.

Néanmoins on peut en avoir une vision globale, et dire que la zone d'étude subit donc un climat de type hyper-aride, en concordance avec la classification de D. MARTONNE (1923) ; elle est caractérisée par de très faibles hauteurs pluviométriques, des températures diurnes élevées, des écarts thermiques importants mais aussi par des vents fréquents et un fort pouvoir évaporant.

En réalité, la donnée qui nous intéresse le plus c'est la précipitation, car c'est le paramètre prédominant pour la recharge de la nappe d'eau souterraine, et ceci à travers l'infiltration.

Il n'est pas concevable dans une région qui subit un climat aride, de faire un bilan hydrologique, il est tout à fait claire que ce bilan ne peut être que déficitaire, et pourtant il existe une recharge de l'inféroflux qui est essentiellement due aux crues que connaît l'oued durant le violents orages. Il serait intéressant de connaître l'évolution de la piézométrie en fonction des intensités de crue que connaît l'oued.

Chapitre II : Géomorphologie de la région

d'ABALESSA

II.1 .Morphologie générales du massif du Hoggar :

II. 1 . 1 .Introduction :

Sur le plan morphologique, le Hoggar est le résultat d'un soulèvement local du socle. Ce soulèvement commence au mésozoïque, il devient sensible au miocène et va se poursuivre durant tout le quaternaire

II. 1 . 2 Les zones morphologiques :

On peut diviser le Hoggar en trois zones morphologiques concentriques, qui coïncident sensiblement avec les zones climatiques de BLANGUERNON (1976):

1. Le noyau central avec des altitudes de 1500 à 3000m, représenté par le massif de l'ATAKOR.
2. Les plaines entourant ce noyau avec des altitudes de 500 à 1200 m on y distingue par endroits des pitons granitiques isolés.
3. Les TASSILI formant une chaîne montagneuse discontinue, marquant les limites du Hoggar. Les altitudes y varient entre 500 et 2000m.

II .2 .Présentation de la zone d'ABALESSA :

Elle se situe dans la partie inférieure de la première zone morphologique, on remarquera la présence de basaltes sur les deux rives de l'oued, mais ils sont plus prédominants sur la rive sud .

Un réseau hydrographique assez dense a raviné intensément ces bassins donnant naissance à des oueds très étroits.

En bordure nord de l'oued, s'étendent de petites plaines interrompues par des « adrars » (lignes de crêtes) s'étirant du nord au sud .

Des oueds importants tels que : ABALESSA et TAFFIRT renferment de ressources en eau conséquentes, et permettent ainsi le développement d'oasis comme celle d'ABALESSA.

ABALESSA est un centre agricole composé de plusieurs terrains, tous situés sur des terrasses aménagées du lit majeur de l'oued.

C'est une gouttière topographique quasi - rectiligne qui prend naissance avec la réunion des oueds TIT et OUTOUL, et se termine avec un étranglement de la vallée située à environs 1km en aval de confluence de oueds EHEGHEN et ABALESSA .

Une importante barrière rocheuse passe à ce niveau (ADRAR IBERGHATEN). Il y a rétrécissement de la vallée créant ainsi un verrou topographique, d'où constitution d'un seuil naturel qui fait obstacle à l'écoulement souterrain, et aide ainsi à l'accumulation des eaux.

Cette gouttière présente très grossièrement une direction Est – Ouest.



Figure n°4 : Esquisse morphologique du Hoggar central

Chapitre III : Hydrographie de la région

III.1 .Introduction :

Dans les régions de hautes altitudes du HOGGAR, prennent naissance de nombreux oueds, qui vont se perdre après un parcours de plusieurs centaines de kilomètres, dans les bassins situés à la périphérie du massif. Le réseau hydrographique présente donc une disposition rayonnante (tentaculaire) très caractéristique.

Par conséquent le ruissellement des précipitations sera réparti sur tout le pourtour du HOGGAR.

Le réseau hydrographique se compose de nombreux oueds secs, se transformant en cours d'eau temporaires pendant les averses. Sur le flanc sud-ouest du massif qui nous intéresse dans cette étude, la plupart des oueds ont une orientation N.E-S.W.

III.2 L'oued de la région d'étude :

La réunion de l'oued TIT et OUTOUL donne naissance à l'oued ABALESSA qui reçoit un peu plus en aval d'autres affluents que sont les oueds TAFFIRT, EHEGHEN, TIMENTOURINE et TAFLET. (Fig 5).

III.3 Formation de l'oued ABALESSA :

L'oued ABALESSA s'est formé à la faveur d'effondrement tectonique, il s'agit en fait d'un graben qui a été comblé par des alluvions fluviales. Il souligne par conséquent le tracé d'une grande faille de direction 70° est.

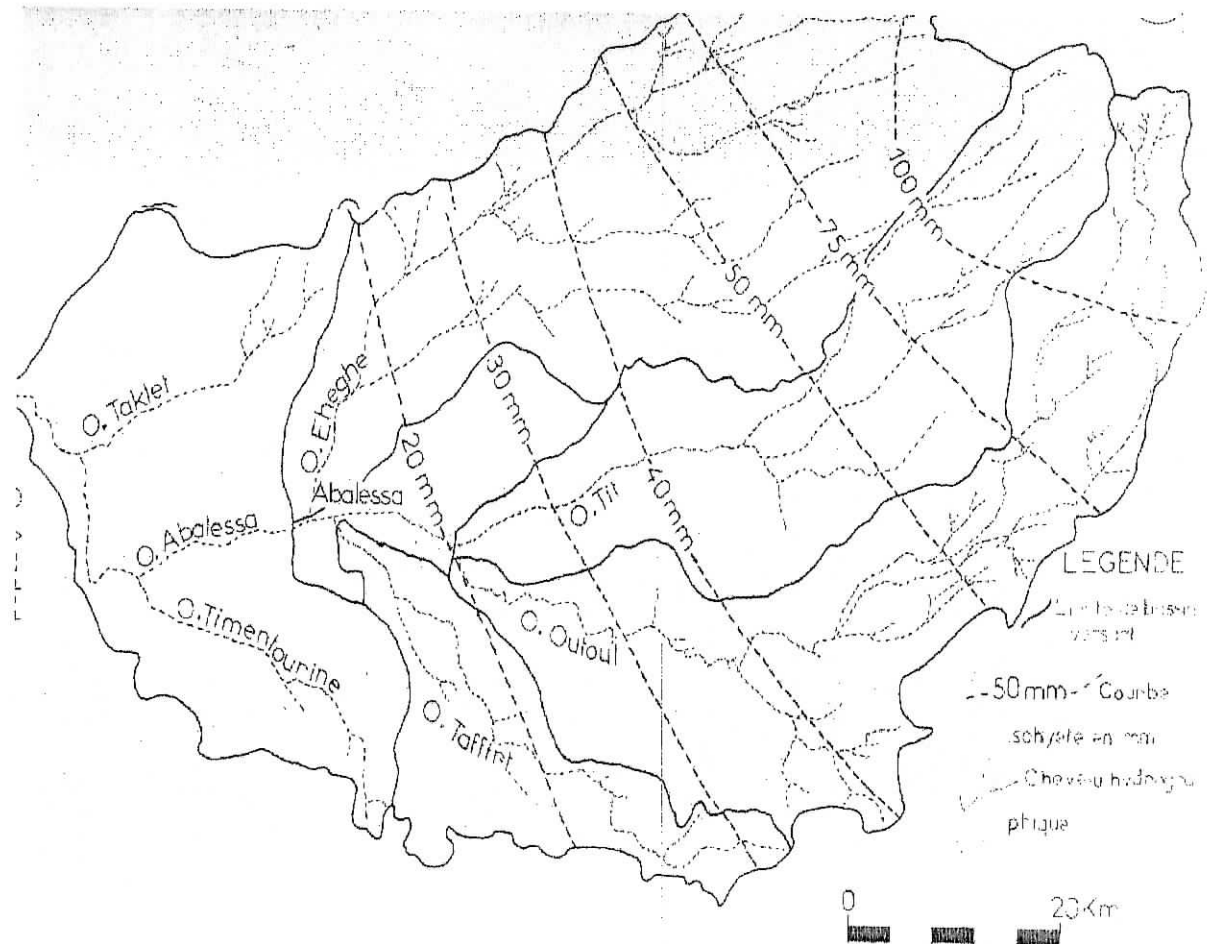


Figure n°5 : Représentation des différents bassins versants de l'oued ABALESSA

III.4 Allure du réseau hydrographique :

L'allure et la forme de réseau hydrographique sont étroitement liés à la fracturation et à la nature géologique des affleurements.

Dans les basaltes, le réseau est ramifié et anguleux avec d'étroites vallées, sur le socle le réseau suit les directions des failles " conductrices "

L'oued ABALESSA présente un alluvionnement important en amont au niveau du village, celui-ci va en diminuant plus on va vers l'aval.

III.5 Ruissellement et écoulement :

Les pluies qui tombent avec une forte intensité, et une durée suffisante occasionnent sur les reliefs des ruissellements importants qui se traduisent dans les oueds par des crues de fréquence et d'intensité variable.

III.6. Etude du bassin versant d'ABALESSA :

III.6.1 Introduction :

Le bassin versant d'ABALESSA est en fait un sous bassin de l'oued AMDED, lequel est un " affluent " de rive gauche de l'oued TAMANRASSET. L'oued ABALESSA rejoint l'oued AMDED après une quarantaine (40) de kilomètres en aval du village.

Le bassin versant de l'oued ABALESSA se compose en réalité de quatre (4) parties :

- a) Unité de l'oued EHEGHEN.
- b) Unité de l'oued TIT.
- c) Unité de l'oued OUTOUL.
- d) Unité de l'oued TAFFIRT.

Les trois premières unités drainent le flanc sud-ouest de l'ATAKOR où les précipitations sont relativement importantes, la quatrième unité, celle de TAFFIRT, draine un petit massif adjacent celui de la TAHALRA.

III. 6.3 Les caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'oued ABALESSA :

Il s'agit de calculer des coefficients à partir de données telles que la superficie et le périmètre du bassin versant. Ces coefficients seront à même de nous renseigner sur l'écoulement de l'eau dans le bassin versant.

Nous allons déterminer dans ce qui suit : l'indice de compacité de GRAVELIUS et la longueur de rectangle équivalent. Ces deux paramètres influent sur la forme de l'hydrogramme de crue.

III.6.3.1 .L'indice de compacité de GRAVELIUS :

L'indice $K = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$ exprime le rapport du périmètre (P) d'un bassin

quelconque à celui d'un cercle ayant la même surface (A).

Cette valeur de K nous donne une idée sur la vitesse d'arrivée à l'exutoire du bassin des eaux de ruissellement..

Quand K augmente cela traduit l'allongement du bassin.

III.6.3.2 .Longueur du rectangle équivalent :

On calcule dans ce cas les dimensions d'un bassin fictif de forme rectangulaire ayant une même surface, un même périmètre et un même indice de compacité

Pour $K > 1.12$

$$\text{On aura : } L = \frac{K\sqrt{A}}{4 * 0.28} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{0.28}{K} \right)^2} \right]$$

Tableau n°2: représentation des différentes caractéristiques morphométriques des bassins versants de la région.

Bassin versant	Superficie (km ²)	Périmètre (km)	Indice de compacité	Longueur du rectangle équivalent (km)
OUED EHEGHEN	1488	185	1.35	91.9
OUED TIT	980	164	1.46	80.8

OUED OUTOUL	1202	223	1.80	110.7
OUED TAFFIRT	408	126	1.74	62.3
OUED ABALESSA	5024	376	1.49	186.3

Le calcul des différents coefficients permet de constater que les sous-bassins sont généralement étirés.

Ceci est intéressant pour la recharge des nappes d'eau souterraines (inféoflux), car le débit de crue, est échelonné dans le temps.

III . 6. 4 .Les caractéristiques orographiques :

Il est clair que plus la pente sera forte, plus le ruissellement est rapide. De même, plus le temps de concentration sera court, plus la montée des crues sera rapide. Nous avons pour cela étudié la courbe hypsométrique du bassin versant.

Cette dernière donne la répartition des altitudes en fonction de la superficie, elle nous permet de calculer l'altitude moyenne du bassin, celle ci étant l'ordonnée moyenne de la courbe hypsométrique.

La courbe hypsométrique de bassin s'établit en planimétrant les surfaces comprises entre deux courbes de niveau, les surfaces sont représentées en pourcentage de la surface totale.

L'altitude moyenne du bassin d'ABALESSA est de 1440m, l'indice de pente globale est lui calculé:

$$I_g = (H_{5\%} - H_{95\%}) / L$$

Tableau n°3: représentation de la répartition altimétrique au sein du bassin versant

Classes d'altitude	Surfaces Partielles (km ²)	Surfaces cumulées (km ²)	Pourcentage de la surface totale (%)
745 – 1000	995	4989	100
1000 –1200	1910	3994	90
1200 – 1400	940	2084	41
1400 –1600	372	1144	22
1600-1800	364	772	15.4
1800-2000	136	408	8.1
2000-2200	156	272	5.4
2200-2752	116	116	2.3

On trouvera que : $I_g = 0.69\% = 6,9 \text{ m/Km}$.

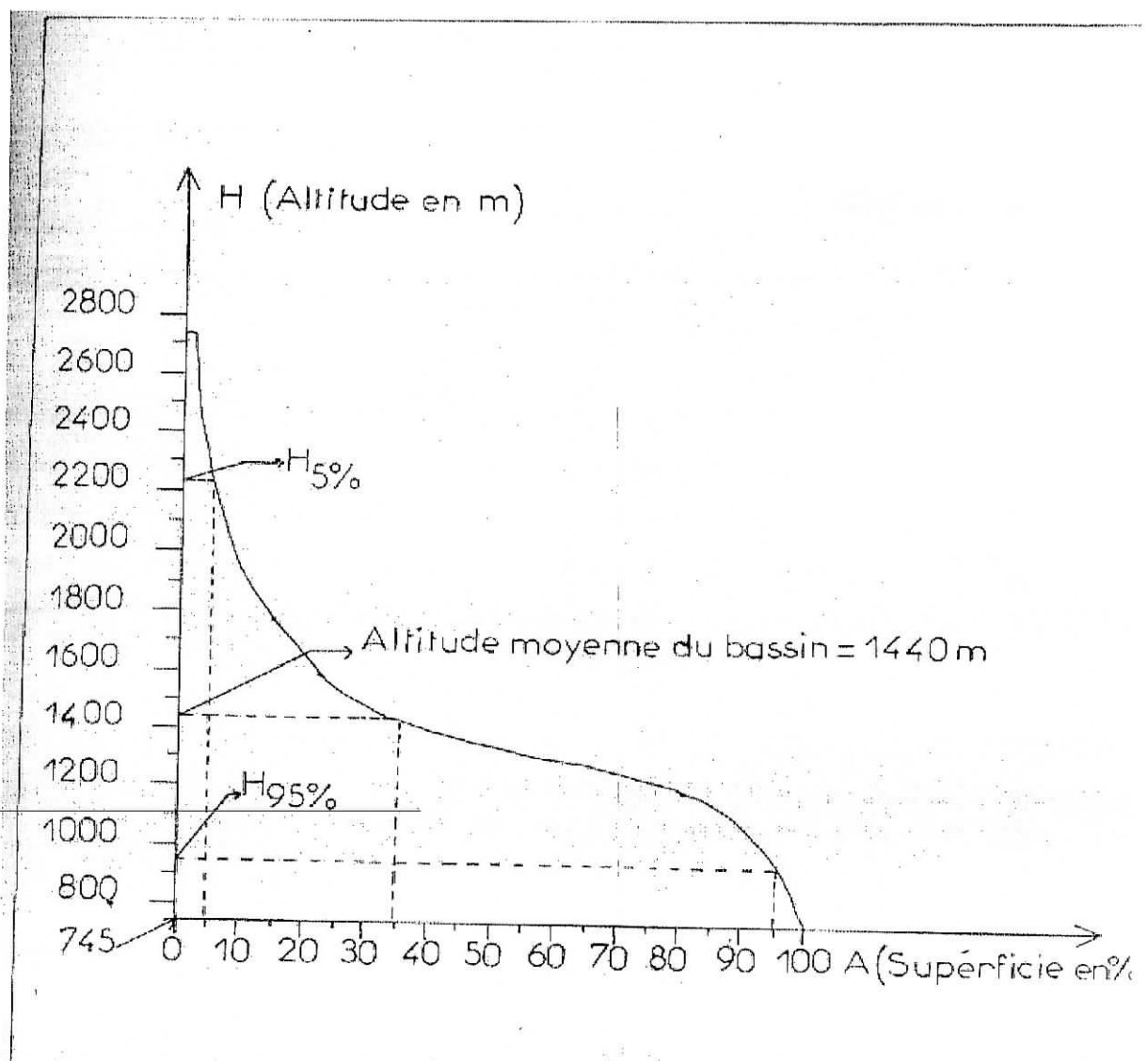


figure n°6: Courbe hypsométrique du bassin versant d'ABALESSA

III. 7 Conclusion :

Le réseau hydrographique est conditionné par la tectonique, la nature géologique des affleurements.

Les unités du bassin versant d'ABALESSA, ont une forme étirée et permettent un échelonnement des débits des crues dans le temps. L'altitude moyenne du bassin versant d'ABALESSA est de 1410m, et l'indice de pente globale est assez faible.

Chapitre IV : Géologie et fracturation

IV. 1. Introduction et contexte géologique d'ensemble :

Le HOGGAR appartient au bouclier Targui, c'est un vaste ensemble cristallophylien et magmatique avec quelques bassins molassiques affleurant sous forme de boutonnière et recouvert de discordance par les formations paléozoïques : Les Tassilis qui les ceignent au nord et au sud ; le HOGGAR occupe une superficie de 480.000 km².

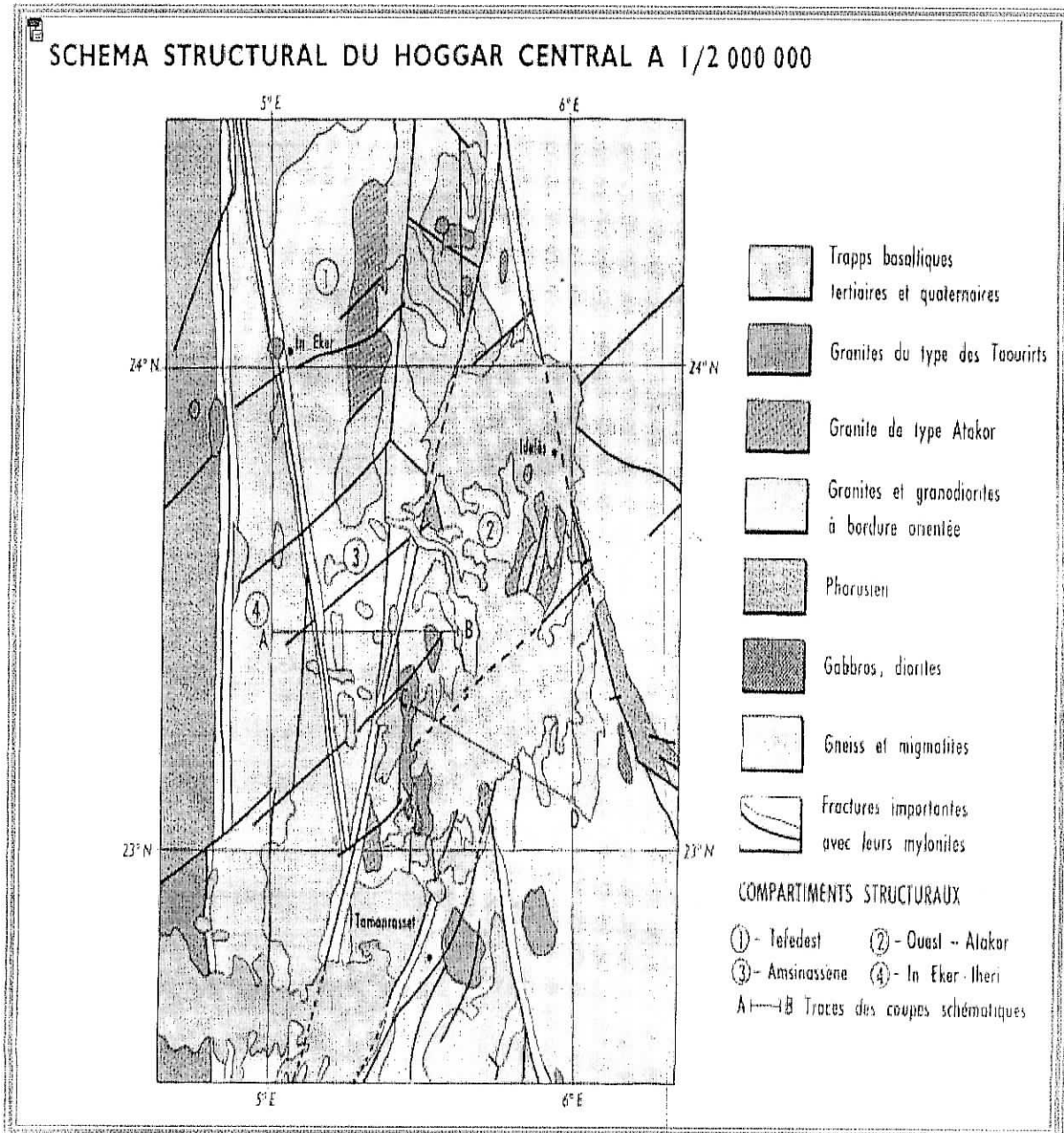


Figure n°7 : Schéma structural du HOGGAR central

IV. 2 .Géologie du secteur d'étude :

Le secteur étudié traversé par la faille du 4°50 présente des ensembles géologiques de nature, de lithologie et d'extension très différentes.

a) Le socle précambrien :

Il est composé de formations stratifiées de lithologie et d'origine variées, on y trouve des roches métamorphiques ; ainsi que de roches volcaniques.

D'après le rapport de l'E.RE.M 3 groupes sont individualisé, en fonction de leurs lithologies et de leurs degrés de métamorphisme à savoir, le protérozoïque inférieur, moyen et terminal.



**Photographie n°1 : Vue d'ensemble sur le massif mylonitique de la rive gauche de l'oued
ABALESSA**

Le volcanisme acide s'est développé au nord de l'oued ABALESSA, il s'agit de coulées rhyolitiques dacitiques.

Parmi les formations magmatiques, on peut citer les granites calco-alcalin localisés à l'ouest de la faille du 4°50.

Les granites synorogéniques forment de gros massifs dans la partie orientale de la région et un petit massif à l'ouest du village d'ABALESSA.

b) Les épanchements volcaniques :

Des pointements basaltiques sont présents un peu partout de part et d'autre de l'oued, mais ils sont plus abondants sur la rive gauche.

Ces épanchements coiffent par endroits des arènes granitiques, les alluvions d'oueds ou bien reposent directement sur la surface érodée du socle précambrien.



Photo n°2: Aspect mylonitique des accidents développés sur le gneiss

c) Les alluvions :

Nous allons nous y intéresser plus particulièrement, car ils constituent l'élément le plus important de notre étude, ils sont les constituants du réservoir aquifère.

Les alluvions remplissent le lit des oueds, couvrent les versants des vallées, et composent le fond de cuvettes dans le socle.

Les lits des petites oueds sont constitués de sable argileux hétérogène, de limon et d'argiles.

Les lits des oueds importants, l'oued ABALESSA notamment, sont tapissés de sable moyen, grossier et de gravier.

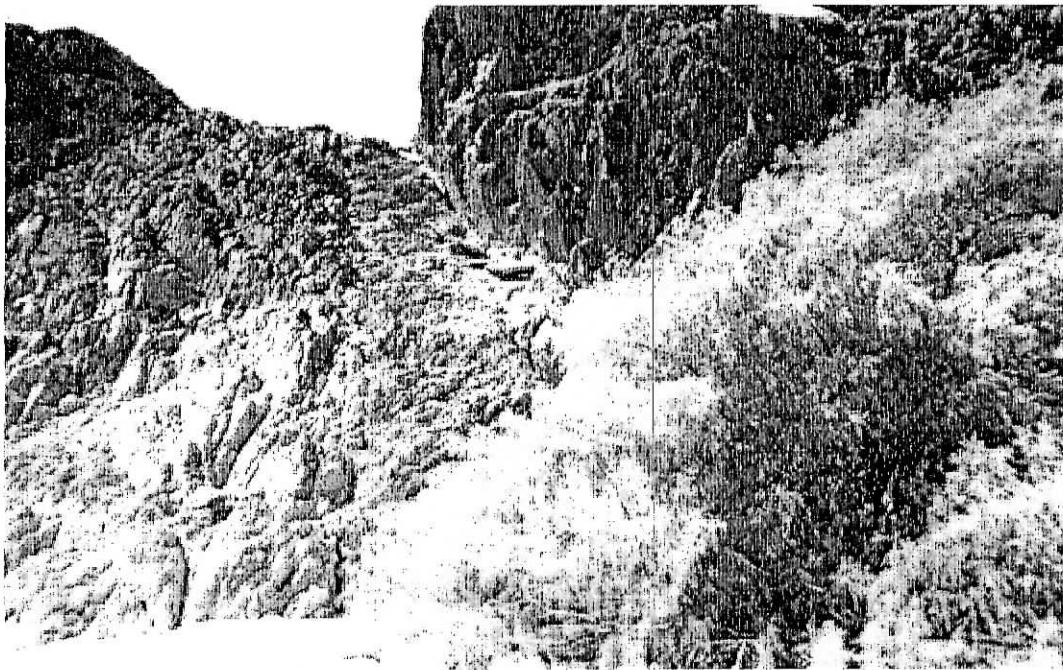
Dans les plaines inondables des oueds actuels, la matière détritique est mal classée et subit après chaque crue un déplacement chaotique, la conséquence est qu'il n'y pas de classement cohérent.

L'épaisseur de ces alluvions s'en va en décroissant d'amont en aval, elle est de 25m au maximum (niveau du village). L'épaisseur moyenne d'après les forages réalisés par la DHW est de 15m environs.

V. 3 Fracturation :

La structure tectonique de la zone d'étude est complexe ; elle est conditionnée par la faille 4°50' formant une zone large d'une vingtaine de Km.

La fracturation dans les terrains consolidés représente une donnée importante pour l'étude hydrogéologie. En effet, la circulation des eaux souterraines dans ces formations se fait principalement à la faveur de ces fractures (l'aspect mylonitisé de la formation gneissique en est témoin).



Photographie n°3 : aspect mylonitique des accidents sub-méridien découpant notre région d'étude

L'observation sur terrain de la fracturation révèle que la zone d'étude est affectée d'un réseau dense de fractures à dominante NS. Ces accidents parfois silicifiés forment des seuils imperméables en relevant le niveau piézométrique.

La présence de fractures de directions NE_SW, empruntées par des oueds jouent un rôle important car elles conditionnent la formation du réseau hydrographique. Ces fractures dont le remplissage non silicifiés se comportent comme des drains pour les eaux souterraines.

Chapitre V – Hydrogéologie de la région d'étude

V.1- Présentation des formations aquifères :

V.1.1 les alluvions d'oued :

Ils sont répandus dans toutes les vallées des oueds de la région étudiée : ABALESSA, TAFFIRT, EHEGHE et TIMENTOURINE.

V.1.1.1 Lithologie :

Les alluvions d'oued sont formés essentiellement de sables fins, moyens et grossiers et présentent un classement plus ou moins hétérogène.

Les graviers sont généralement situés à la base de l'aquifère alluvial.

Les galets, argiles et autres limons sont rares sauf en quelques points particuliers, tel que dans le sud de l'aquifère.

Le sable est composé essentiellement d'éléments feldspathiques, de grains de quartz et autres débris de roches cristallines (granite, gneiss, schiste.....).

V.1.1.2 Caractéristiques :

L'épaisseur moyenne de ces alluvions est de 19m, et elle diminue d'amont en aval. Ces alluvions contiennent une nappe appelée nappe d'inféoflux, l'épaisseur de la zone saturée varie également d'amont en aval.

VI.1.2 Les arènes granitiques :

Ce sont de vastes zones ensablées situées dans des cuvettes résultant de la décomposition superficielle de granites et sont donc constitués de débris provenant de ces roches. Leur importance est relativement faibles (1 à 10m) , et sont donc relativement peu aquifères.

VI.1.3 les épanchements basaltiques :

Ils occupent de grandes surfaces du nord au sud de notre zone d'étude, ceux qui sont situés à proximité d'ABALESSA sont représentés essentiellement par des coulées basaltiques dont l'épaisseur n'est pas très importante. Vers le nord ils sont dispersés de part et d'autres de l'oued ABALESSA.

Au niveau de la confluence des oueds EHEGHE et ABALESSA, ces épanchements basaltiques se présentent en bandes discontinues parce qu'elles sont masquées par les alluvions.

D'un point de vue hydrogéologique, précisons que seuls les niveaux inférieurs des coulées seraient aquifères (Rapport E.R.E.M. 1980). les niveau inférieurs sont généralement représentés par des basaltes fracturés et altérés et des tufs basaltiques.

Cet aquifère basaltique est en relation hydraulique d'une part avec la nappe du socle, d'autre part avec celles de alluvions. A titre d'exemple le massif de la TAHALRA, l'alimentation de cette nappe des basaltes se fait par l'infiltration directe des précipitations, mais également lors du ruissellement .

V.1.4 le socle cristallin :

Dans ce cas précis, le terme socle désignera une grandes variété de roches cristallines de nature pétrographique et génétique variées, regroupant des roches métamorphiques (mica schistes, gneiss), et volcaniques (rhyolites, dacites).

Ces roches ne peuvent constituer un réservoir aquifère que si elles sont fissurées et altérées, ce qui est le cas précisément de la région d'ABALESSA.

Dans les zones d'habitation (ABALESSA, IGUELEN, TAFFIRT), des puits à usage domestique creusés dans le socle donnent généralement des débits médiocres, et ne sont pas pour cette raison équipés de moto pompes. Il peut cependant arriver que les débits soient relativement importants (3 l/s), cela est dû au fait que ces puits recoupent des failles drainantes du type 70° E.

V.2 Etude de la nappe de l'inféroflux de l'oued ABALESSA :

V.2.1. Définitions :

On appelle inféroflux : " une nappe comprise dans un aquifère alluvial de fond de vallée, en liaison hydraulique ou non avec un cours d'eau , et dont l'écoulement à une composante horizontale principale " (G.CASTANY et J. MARGAT . 1977)

V.2.2. Caractéristiques générales de la nappe :

C'est une nappe de terrain mixte composée par des alluvions d'oued qui reposent sur des altérites provenant du socle fissuré et qui passent progressivement (sur une dizaine de mètres d'épaisseur) au rocher sain. Cette nappe est alimentée par sa surface libre, en période de crue des oueds.

V.2.3 Géométrie de l'aquifère :

Il s'agit d'une gouttière topographique (32 km de longueur, 500m de largeur en moyenne, et de 20 m de profondeur). Elle commence à la confluence de l'oued TIT et OUTOUL et finit 32 km plus en aval.

Cette gouttière est comblée d'alluvions fluviales provenant de la désagrégation des roches cristallines et basaltiques constituant les reliefs environnants. Un verrou topographique apparaît à la confluence de l'oued EHEGHE, ce qui ouvre la perspective de la construction d'un barrage souterrain.

V.3 L'estimation des débits d'eau :

La nappe des alluvions étant supposée libre et, le milieu physique est de type poreux caractérisé par un écoulement continu. La surface saturée d'eau représentée à l'axe du futur barrage une surface d'environ 500 m² (mesurée par planimétrie). Elle est d'ailleurs plus importante en allant vers l'amont

L'alimentation de la nappe de l'oued d'ABALESSA s'effectue par les modes suivants :

- ♦ .les précipitations directes sur la surface de la cuvette ;
- ♦ .l'infiltration des eaux lors d'une crue ;
- ♦ .l'apport probable à la faveur des fissures existantes au niveau du substratum (hypothèse étayée par les axes de drainages qui convergent vers le verrou topographique représentant l'endroit choisi pour le site) . Ce qui représente un apport vers le réservoir.

On tente d'estimer le débit du sous écoulement de l'inféoflux à l'exutoire (correspondant à l'axe du barrage) et ce en utilisant la loi de *DARCY* :

$$Q = K S i$$

avec,

S : comme section de la surface saturée estimée à 500 m²

K: la perméabilité moyenne des alluvions égale à 5.10⁻³ m/s

i: le gradient hydraulique calculé et égal à 10⁻³

On obtient alors : $Q = 2,5 \text{ l/s}$

Remarque : - Le gradient hydraulique a été établi par la carte piézométrique et vérifié en lecture bibliographique. Nous avons trouvé que le niveau d'eau à En lecture bibliographique le niveau d'eau à Abalessa n'était qu'à 3m du niveau du sol en 1950, à 8m en 1984 et actuellement il est d'environ 16m.

V.4. Le mode d'exploitation de la nappe :

A ABALESSA, les eaux contenues dans les alluvions ont été pendant longtemps exploitées par le système de foggara (les vestiges sont encore visibles au sud du village.

Nous avons remarqué que les terminaisons de ces foggaras se situaient à des points où existaient des émergences naturelles en relation avec les failles (par exemple, dans les zones mylonitiques rencontrées à ABALESSA).

Il existe actuellement sur le lit de l'oued ABALESSA une série de 12 puits paysans, ainsi que trois forages, dont deux gérés ar la DHW de TAMANRASSET.

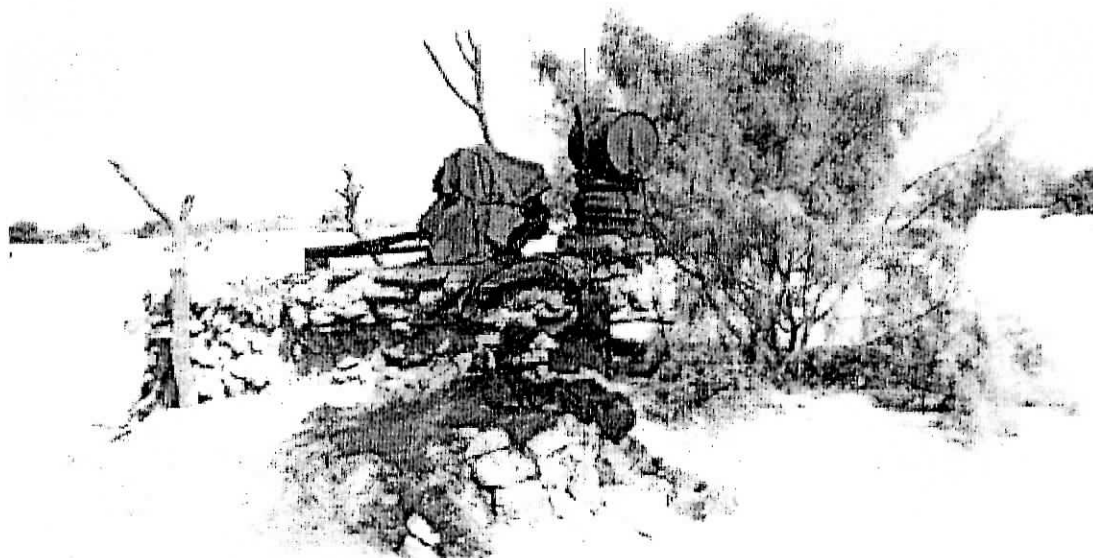


Photo n°4 : Puit paysan équipé d'une moto-pompe

V.5. Les conditions d'infiltration

Les eaux de pluie réceptionnées par les bassins versants des oueds OUTOUL - TIT-TAFFIRT-TIMENTOURINE et EHEGHEN arrivent dans l'oued ABALESSA où une partie s'infiltré efficacement. Un certain pourcentage de ces eaux de ruissellement est absorbé par les failles ouvertes voisines de 70'E ; la quantité d'eau infiltrée dépendra de la perméabilité des alluvions et du taux d'humidité de la zone non saturée.

V.5.1 Les paramètres hydrodynamiques des alluvions :

L'écoulement de l'eau souterraine est déterminé par trois groupes de paramètres hydrodynamiques : coefficient de perméabilité

et transmissivité, gradient et charge hydraulique, et, débit d'une nappe et vitesses de l'écoulement des eaux souterraines.

L'interprétation des données des essais de pompage de longue durée de trois(03) forages réalisés dans les années 1980, et, captant un remplissage d'alluvions, à l'aval du champ de captage, nous conduit au résultat suivant :

1. La courbe de descente: $\Delta H = f(\lg(t))$

ΔH :étant le rabattement en mètre.

Le début de pompage se traduit par une droite(C), la suite montre un palier subhorizontal indiquant une stabilité du cône de dépression.

on a trouvé : $T = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$

2.La courbe de remontée : $H = f[\lg(t/t')]$

On distingue en général une seule droite de pente, $C = 0,033$

.on a: $T = 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$

La transmissivité obtenue à partir de la courbe de remontée (il s'agit de la remontée naturelle de l'eau) est plus faible.

3. L'estimation du coefficient d'emménagement (S) :

Sur la courbe de descente à $t = t_0$; $A=0$ avec la formule :

$$S = 2,25 T t_0 / r^2$$

Et les valeurs suivantes :

Et les valeurs suivantes

$$\left\{ \begin{array}{l} r = 25\text{m}, \\ t_0 = 6' \\ T = 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} \end{array} \right.$$

On obtient :

$$S = 6\%.$$

Remarque :

En considérant les valeurs (T,S) des essais de pompage, nous pouvons dire que les potentialités hydriques de l'inféroflux de l'oued d'ABALESSA constituent un horizon intéressant que l'on doit aménager pour préserver son réservoir.

Néanmoins, nous suggérons les essais de longue durée en utilisant les piézomètres implantés récemment ce qui permettrait de tester efficacement l'aquifère.

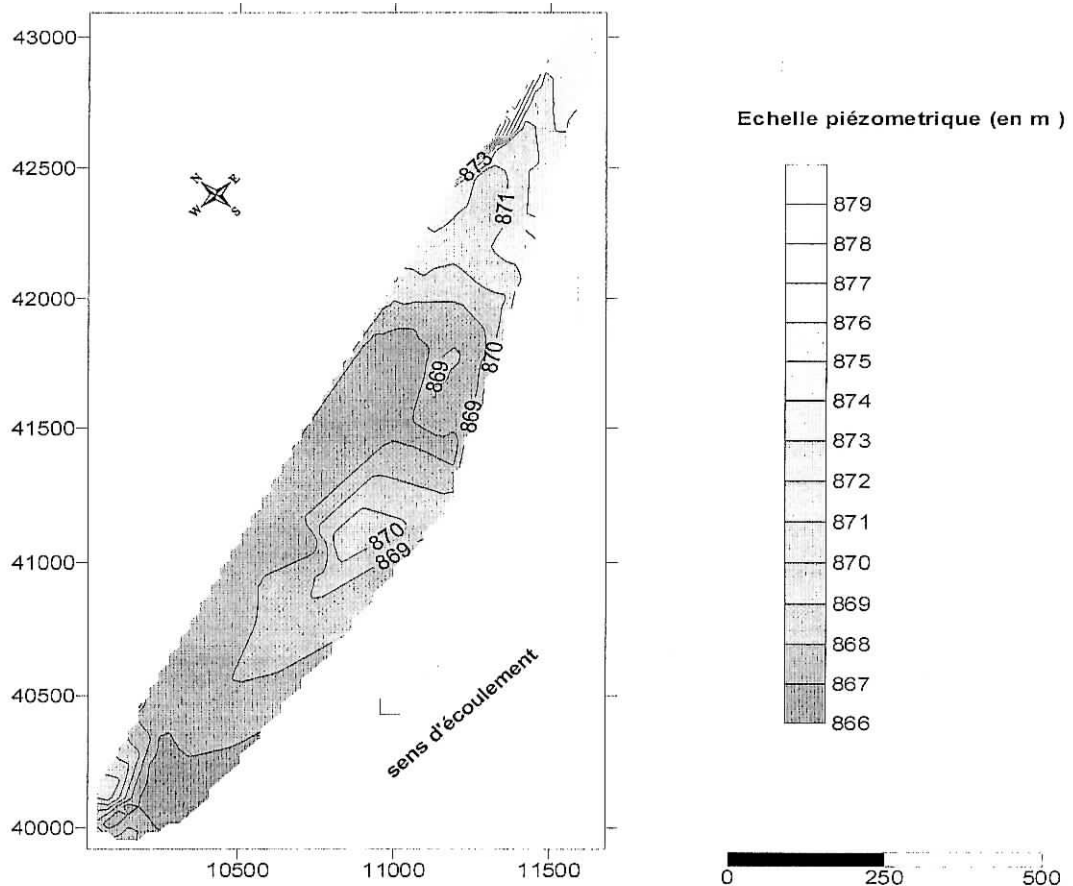
V.6 La carte piézométrique :

La Carte piézométrique est le document de base de l'analyse et de la schématisation des fonctions capacitive, et, conductrice du réservoir ainsi de son comportement hydrodynamique. C'est la synthèse la plus importante d'une étude hydrogéologique.

Nous avons tout de même tenté l'ébauche d'une carte piézométrique en la comparant avec celles de 1979 et de 1984, il en ressort de leur interprétation les indications suivantes

- ◆ Un sens d'écoulement général ENE vers WSW concordant d'ailleurs avec le sens amont aval de l'oued
- ◆ La présence de quelques cônes de dépressions causés probablement par les pompages intensifs.
- ◆ Deux (02) grands axes d'écoulement (le premier de direction Est-Ouest parallèle à l'oued et le second sud Est-Nord ouest drainant les eaux contenues dans les frange altérée du socle gneissique vers la nappe de l'inféroflux) ;
- ◆ Le gradient hydraulique (i) est légèrement plus élevé en 'amont qu'en l'aval.

Par ailleurs, les niveaux piézométriques semblent évoluer régulièrement entre le socle et les alluvions, ce qui nous conduit à admettre l'existence d'un niveau continu entre les différents niveaux hydrogéologiques.



CARTE PIEZOMETRIQUE DE L' OUED ABALESSA

(novembre 2002)

V.7 – Hydrochimie :

Pour l'étude hydrochimique, quelques échantillons d'eau ont été prélevés pendant la campagne de terrain (du 1 au 11 mars 2002) , et, analysés au laboratoire .

Il en ressort de l'interprétation que les eaux de la région d'abalessa:

- 1 - sont d'excellente potabilité (conformément aux normes de l'O.M.S) ;
- 2- sont douces en majeure partie, peu minéralisée au niveau des alluvions de l'oued, mais augmentent en teneur minérale dès que l'on quitte le lit de l'oued vers les berges.
- 3- ont une minéralisation qui augmente avec la profondeur et cela pour un même type de formation ;
- 4- montre un faciès hydrogénéocarbonaté;
- 5- sont relativement récentes et renouvelées.

PARTIE 2:

Les principes **de la** **modélisation**

CHAPITRE VI : Rappels d'hydrogéologie

VI.I- Introduction :

Différentes approches du milieu poreux sont envisageables, qui dépendent de l'objet poursuivi et, par là, de l'échelle assignée au domaine de référence, définissant autant de points de point de vue ou de *modèle* du milieu poreux : moléculaire, microscopique, macroscopique.

L'approche moléculaire, qui permet d'expliquer le comportement des molécules d'eau, est utilisée pour décrire le mécanisme des réactions chimiques liées à la présence de l'eau dans le sol.

A l'échelle macroscopique, les écoulements à l'intérieur des pores peuvent être, en théorie, entièrement expliqués à l'aide des lois de la mécanique des fluides. Cependant l'extrême complexité géométrique des surfaces solides limitant les pores naturels rend pratiquement impossible leur traduction en termes mathématiques, ce qui limite les écoulements pouvant être résolus à de rares cas où la géométrie est simplifiée. Tels les écoulements en tubes capillaires ou entre plaques parallèles.

L'hydrogéologie n'a ni les moyens d'observer et de mesurer les comportements moléculaires de l'eau, ni les distributions de vitesses ou des pressions à l'intérieur des pores. Qu'elles soient réalisées en laboratoire ou sur le terrain, la définition, l'observation, et la mesure des grandeurs, paramètres et divers concepts hydrogéologiques, s'effectuent sous un point de vue intégral qui constitue le modèle macroscopique du milieu poreux.

L'approche macroscopique assimile le milieu poreux à un milieu continu dont toutes les variables, qui peuvent être représentées par des fonctions continues dérivables, sont en chaque point définies sur un élément de volume ou échantillon représentatif, un tel échantillon doit être : suffisamment grand pour que la notion de propriété globale moyenne y ait un sens, et suffisamment petit, pour que les propriétés macroscopiques puissent y être considérées constantes. La taille ainsi définie est dénommé : Volume Élémentaire Représentatif.

Pour en saisir la signification, considérons l'une des propriétés du milieu : la densité. Partant d'un point de mesure quelconque, il est clair qu'en considérant des

volumes de plus en plus grands, et selon que le point de départ se situe sur un pore ou sur un grain, on observera des fluctuations qui iront en diminuant jusqu'à un volume V_1 (figure 1.), puis un palier de V_1 à V_2 , enfin un variation continue due à l'intégration d'un milieu de densité différente (effet d'hétérogénéité). Le Volume Élémentaire représentatif (V . E . R) qui se trouve compris entre V_1 et V_2 , constitue le domaine de référence du modèle macroscopique du milieu poreux.

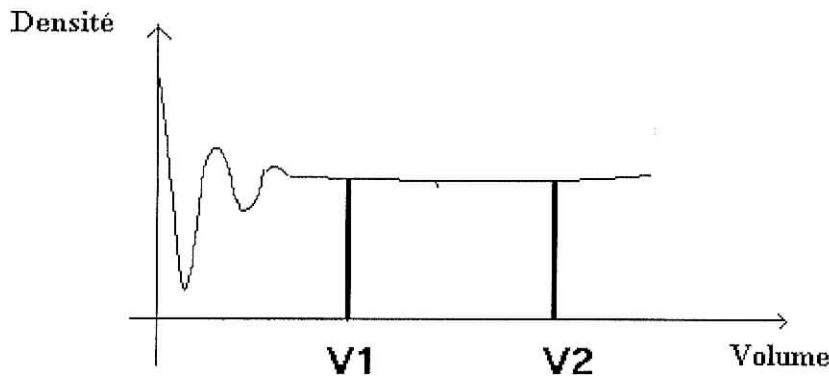


Figure 1 : Densité de l'échantillon en fonction du volume .

Au delà de V_2 se situent des domaines pour lesquels le concept d'homogénéité n'as plus cours, domaines propices à un approche globale. Ce n'est plus ici l'échantillon de roche qui constitue le volume de référence, mais le bassin hydrogéologique.

Le modèle macroscopique du milieu poreux définit notre domaine de référence, sur lequel sont validées et établies les lois phénoménologiques régissant les écoulements souterrains. Quant à la nature de ces écoulements, il convient d'en fixer le cadre, celui-ci s'inscrit dans les limites d'un certain nombre d'hypothèses concernant le fluide et la roche en présence : milieu saturé, écoulements monophasiques isothermes, eau de salinité négligeable.

VI.2 - Terminologie et grandeurs fondamentales :**a) aquifère :**

Un *aquifère* est une formation géologique où l'eau est abondante, et facile à extraire. Abondance et facilité d'extraction constituent des concepts descriptifs, on peut les quantifier au moyen de paramètres mesurables.

L'abondance est caractérisée par la *porosité* de la roche (\mathcal{E}), et sa *saturation* en eau (s).

Pour les échantillons de volume V_T , où l'espace poreux occupe un volume V_P , et refferment un quantité d'eau V_E , on a :

$$\mathcal{E} = \frac{V_P}{V_T} \quad \text{et} \quad s = \frac{V_E}{V_P}, \quad 0 < s < 1$$

La facilité d'extraction de l'eau d'une formation saturée est caractérisée par la *perméabilité* de la roche. Ce paramètre, permet par des applications pratiques, de définir trois classes de formations géologiques :

- Les roches *perméables* (perméabilité élevée) : elles constituent les aquifères.
- Les roches *semi-perméable* (faible perméabilité) : la circulation de l'eau y est possible à petite vitesses. Intrinsèquement inintéressantes, elles peuvent jouer un rôle important si elles se trouvent intercalées entre deux couches entre deux couches perméables dont elles déterminent les communications.
- Les roches *imperméables* (perméabilité nulle).

L'appellation des limites inférieure et supérieure, d'un aquifère est empruntée à la terminologie minière :

- Le *mur* ou *substratum* est la limite inférieure d'un aquifère.
- Le *toit* d'un aquifère est sa limite supérieure.

b) nappes souterraines :

Une *nappe* est la partie saturée en eau d'une couche aquifère. Le concept de nappe implique deux notions : volume et continuité. Pour les eaux de surface on parle de ruissellement en nappe, ou de nappe d'eau pour un lac. On peut imaginer une

nappe souterraine comme une couche d'eau imprégnant un aquifère, en pensant à une « nappe de brouillard » (G. de Marsily, 1980).

Une nappe est dite : *captive*, si l'aquifère qui la contient est saturé sur toute son épaisseur. Le toit de l'aquifère constitue la limite supérieure d'une telle nappe, où la pression de l'eau est supérieure à la pression atmosphérique.

Une nappe est dite : *libre*, si l'aquifère qui la contient n'est pas saturé sur toute son épaisseur ; le toit de l'aquifère se trouve au dessus de la surface libre de la nappe, laquelle est à la pression atmosphérique.

On appelle *côte piézométrique*, ou niveau piézométrique, la cote de l'eau dans un piézomètre ou un forage. L'enveloppe de ces points constitue la surface piézométrique. Dans une *nappe captive* la cote piézométrique est une abstraction. Une nappe captive est dite *artésienne* si sa surface piézométrique se trouve au dessus de la surface topographique. Dans une nappe libre, la surface piézométrique n'est autre que la surface libre de la nappe.

Un pompage dans un forage provoque un abaissement régional du niveau piézométrique, appelé *rabattement* de la nappe.

Dans une nappe captive, la baisse de pression due au pompage entraîne une décompression de l'eau, et une compression de la matrice poreuse. La conjugaison de ces phénomènes fournit la quantité d'eau prélevée, et le milieu poreux demeure entièrement saturé. Dans une nappe libre, l'eau pompée provient de la désaturation de l'aquifère.

Une nappe limitée en haut et en bas par deux couches imperméables forme un système hydrogéologique *monocouche*. Un système *multicouche* est constitué par la superposition de plusieurs couches aquifères perméables entre lesquelles s'intercalent des couches semi-perméables. Entre deux nappes superposées, des écoulements peuvent prendre naissance à travers la couche semi-perméable qui les sépare : de tels écoulements sont appelés écoulements de *drainance*.

VI.3 Les lois de l'hydrodynamique en milieu poreux saturé :

Elles résultent de l'application des principes fondamentaux de la mécanique à la masse fluide en mouvement dans le sous-sol :

- Principe d'équilibre des forces ou de conservation de la quantité de mouvement, qui traduit la loi de Darcy;
- Principes de la conservation de la masse qui traduit l'équation de continuité.

IV.3.1 La loi de Darcy : Forme générale de la loi de Darcy :

Deux propriétés décrivent la structure des perméabilité dans un formation : hétérogénéité et anisotropie.

- Une formation est homogène si : $K(x, y, z) = \text{constante}$.
- Une formation est isotrope si : $K_x = K_y = K_z$.

Où : $K_{x,y,z}$:représentent les perméabilités dans les trois direction de l'espace.

Le cas général peut s'écarter des conditions des conditions de l'expression de la loi de Darcy (milieu homogène, isotrope, écoulement à une seule dimension) , pour considérer des milieux anisotropes, et des écoulements à trois dimensions.

Dans le cas ou les trois directions principales d'anisotropie correspondent au trois axes de coordonnées, le tenseur des perméabilités se réduit à ses trois composantes K_x, K_y, K_z .

La vitesse de filtration V est alors un vecteur de composantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} V_x = -K_x \frac{\partial h}{\partial x} \\ V_y = -K_y \frac{\partial h}{\partial y} \\ V_z = -K_z \frac{\partial h}{\partial z} \end{array} \right. \quad \text{qui s'écrit : } V = -K \text{ grad } h$$

V1.3.2– Signification physique de la loi de Darcy :

L'écoulement d'un fluide à travers un milieu poreux met en jeu les forces de frottement dont le travail correspond à une déperdition irréversible d'énergie mécanique. La charge hydraulique d'un fluide ne peut donc que décroître au cours de son mouvement de percolation. La loi de Darcy indique comment cette décroissance, ou perte d'énergie, est liée à la vitesse de filtration.

VI.4 -Equation de continuité :

Cette équation traduit la conservation de la masse à l'intérieur d'un volume fermé. En cas d'échange avec l'extérieur, il faudra ajouter un terme source exprimant une injection ou un pompage. Si cet échange s'effectue au débit volumique (ω) par unité de volume par unité de temps, l'équation de continuité s'écrira :

$$\text{Div}(\rho * V) + \frac{\partial}{\partial t}(\rho * \varepsilon) + \rho * \omega = 0$$

VI. 5 – l'équation de diffusivité :

Elle résulte de la combinaison des deux lois précédemment citées.

L'équation aux dérivées partielles de l'écoulement souterrain dans un aquifère en charge (équation de diffusivité), ramenée à deux dimensions s'écrit :

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

avec :

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

h : charge hydraulique.

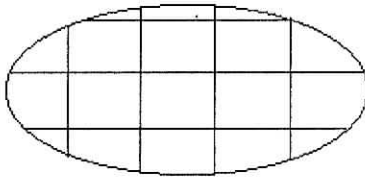
S : coefficient d'emmagasinement (sans dimension).

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

Chapitre VII : Notions de modélisation

VII. 1- Première approche « Approximation aux différences finies » :

Afin de résoudre l'équation de diffusivité dans le cas d'un aquifère hétérogène possédant des limites irrégulières, on découpe le domaine à étudier.

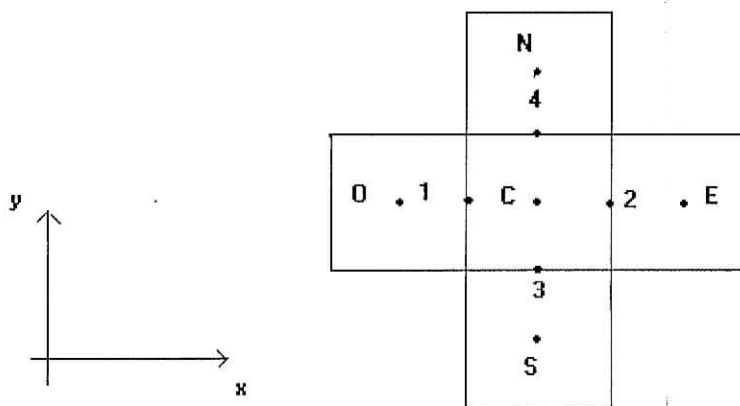


En blocs homogènes ou mailles à l'intérieur desquels les propriétés de l'aquifère sont supposées uniformes.

Nous considérons le cas des mailles carrées

Les dérivées de l'équation de diffusivité sont remplacées par leurs approximations aux différences finies exprimées au centre des mailles. Si N est le nombre des mailles qui décrivent l'aquifère, il en résultera N équations comportant N inconnues représentant les charges hydrauliques H au centre des mailles. H représente les valeurs « discrètes » de la fonction continue h, résultant du découpage adopté.

Sur un maillage carré régulier de côté "a", et conformément aux notations du schéma, l'équation peut s'écrire :



$$\frac{1}{\Delta x} \left[\left(T_x \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \right)_2 - \left(T_x \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \right)_1 \right] + \frac{1}{\Delta y} \left[\left(T_y \cdot \frac{\partial h}{\partial y} \right)_4 - \left(T_y \cdot \frac{\partial h}{\partial y} \right)_3 \right] = S \frac{\partial h}{\partial t} + q$$

Soit :

$$\frac{1}{a} \left[\left(T_E \cdot \frac{H_E - H_C}{a} \right) - \left(T_O \cdot \frac{H_C - H_O}{a} \right) \right] + \frac{1}{a} \left[\left(T_N \cdot \frac{H_N - H_C}{a} \right) - \left(T_S \cdot \frac{H_C - H}{a} \right) \right]$$

$$= S_C \cdot \frac{dH_C}{dc} + q_C$$

Qui peut alors s'écrire sous la forme :

$$T_N (H_N - H_C) + T_E (H_E - H_C) + T_S (H_S - H_C) + T_O (H_O - H_C)$$

$$= a^2 S_C \cdot \frac{dH_C}{dt} + Q_C$$

Où :

T_N : est la transmissivité sur la face nord de la face centrale C, ou transmissivité de passage entre les mailles N et C. c'est une transmissivité moyenne, déterminant les flux de transit entre les 2 mailles.

a : côte de la maille.

Q_C : c'est le débit apporté, ou fourni à l'extérieur de l'aquifère

La dernière équation représente la forme discrétisée de l'équation de la diffusivité.

En écrivant cette équation autant de fois qu'il y a de mailles dans le modèle on obtient un système d'équations différentielles linéaires à coefficients constants. Un tel système possède une solution moyennant des conditions initiales et aux limites.

VII.2 - Autre approche « le bilan de flux » :

Nous allons rétablir la forme discrète de l'équation de diffusivité en écrivant le bilan des flux dans le schéma à 5 mailles carrées régulières, comme montrée dans la figure 2.

De la même manière que lorsqu'on établit l'équation sur un volume élémentaire de milieu poreux, on écrit la loi de Darcy et le principe de conservation de la masse.

On aura,

La loi de Darcy : qui s'écrira sous la forme :

$$V = K \cdot \text{grad } h.$$

Le flux entrant dans la maille C par sa face nord est alors :

$$Q_N = K_N \cdot \frac{H_N}{H_C} (E_N \cdot a)$$

Où :

K_N : perméabilité sur la face nord .

E_N : épaisseur de l'aquifère sur la face nord.

On aura d'ailleurs sur les quatre faces :

$$Q_N = T_N (H_N - H_C)$$

$$Q_S = T_S (H_S - H_C)$$

$$Q_E = T_E (H_E - H_C)$$

$$Q_O = T_O (H_O - H_C)$$

Principe de conservation :

Il s'énonce ainsi pour la maille centrale :

Ce qui rentre = ce qui y est stocké + ce qui est consommé

Autrement dit :

$$Q_N + Q_S + Q_O + Q_E = a^2 S_C \cdot \frac{dH_C}{dt} + Q_C .$$

En combinant, on retrouve bien la forme de l'équation :

$$\begin{aligned} T_N (H_N - H_C) + T_E (H_E - H_C) + T_S (H_S - H_C) + T_O (H_O - H_C) \\ = a^2 S_C \cdot \frac{dH_C}{dt} \cdot Q_C \end{aligned}$$

VII.3– Prise en compte des conditions aux limites :

Elle sont de deux types : flux et niveau imposé.

Niveau imposé :

Le niveau h peut être imposé

- a) sur la maille C elle même ; l'équation disparaît alors du système puisque H_C est connu. Cela fera une inconnue et une équations en moins.
- b) Sur une maille voisine : si H est connu au nord par exemple, on aura : $Q_N = T_N (H - H_C)$

Flux imposé :

Si c'est le flux entrant par l'est on aura :

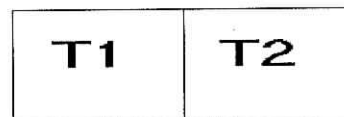
$$Q = T_E (H_E - H_C)$$

Ce terme passera alors dans le second membre de l'équation différentielle car il est connu.

Pour le cas particulier : $Q = 0$, condition de flux nul, on peut représenter cette condition soit en faisant $T_E = 0$, soit $H_E = H_C$.

VII.4 – calcul des transmissivité de passage entre deux mailles voisines :

Etant donné deux transmissivités T_1 et T_2 dans deux mailles voisines, il existe trois possibilités de calcul de la transmissivité de passage T .



La moyenne arithmétique : $T = \frac{T_1 + T_2}{2}$

La moyenne géométrique : $T = \sqrt{T_1 \cdot T_2}$

La moyenne harmonique : $T = \frac{2.T_1.T_2}{T_1 + T_2}$

Elles vérifient toutes que si :

- Si : $T_1 = T_2 \Rightarrow T = T_1 = T_2$.
- Si on permute T_1 et T_2 , T ne change pas (réciprocité des flux).

VII.5- Cas du régime permanent :

Dans ce cas, le terme $\frac{dh}{dt}$ est nul et l'on passe d'un système différentiel, à un système d'équation linéaire de la forme $T \cdot H = Q$.

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 :

$$||T|| \cdot |H| = |A|$$

T : Matrice des transmissivités de passage ;

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

A : Vecteur contenant toutes les valeurs imposées aux limites en charge et débits.

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

- Méthode directe .
- Méthode itérative.

VII.5 .1 Méthodes directes

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

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

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 10000 mailles, on a alors recourt aux méthodes itératives de Gauss-Seidel permettant une surrelaxation vers une convergence rapide.

VII.5.2 Méthodes itératives:

Elles consistent à déterminer chaque valeur du vecteur $| \mathbf{H} |$ par une formule itérative à partir d'une approximation initiale \mathbf{H}^0 . La méthode est convergente si $H^n \rightarrow H_N$ quand n , numéro de l'itération croit. 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 $n^{\text{ième}}$ itération par rapport à la précédente.

$$H_i^n = W [H_i^n \text{ Gauss - Seidel }] + (1-W) H_i^{n-1}$$

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

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

VII.6- Régime 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 :

$$\left[\sum T_{0i} (H_i - H_0) \right] = S \cdot \Delta x^2 \frac{\Delta H_0}{\Delta t} + Q(t' + \theta \Delta t)$$

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 :

$$H(t + \theta \Delta t) = \theta H(t + \Delta t) + (1 - \theta) H(t) + \varepsilon(t)$$

$\varepsilon(t)$: erreur de troncature dans le temps.

Soit pour l'équation du bilan

$$(1 - \theta) \sum T_{oi} (H_{i+1} - H_{0*}) + \theta \sum T_{oi} (H_i - H_0) = \frac{S \Delta x}{\Delta t} (H_0 - H_{0*}) + Q_0$$

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

$$\theta \sum T_{oi} (H_i - H_0) \frac{S \Delta x^2}{\Delta t} H_0 = \frac{S \Delta x^2}{\Delta t} H_{0*} + Q_0 + (1 - \theta) \sum (H_i - H_{0*})$$

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

A- Méthodes explicites

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

H_0 = second membre connu.

La méthode de calcul est donc très simple : la valeur de H en chaque point se calcul explicitement en fonction des valeurs 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 :

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

B- 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 point 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 dérivés partielles.

On démontre :

Les méthodes implicites sont convergentes si $\frac{1}{2} < \theta < 1$.

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

$\theta = \frac{1}{2}$ la méthode est dite de Crank-Nicholson.

VI.11; Conditions aux limites

La connaissance des valeurs des paramètres et de la géométrie n'est pas encore suffisant unique de 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 aquifères 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 :

$$Q_{ui} = T_{oi} (H_i - H_0) \text{ à travers cette facette est nul.}$$

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 $h = h_0$.

c- Limites à flux imposé

La charge n'y est 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 à perte par infiltration (en domaine karstique ou non) perte permanente 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.

VI.7Maillage :

La zone à l'intérieur des limites latérales sera décomposée en mailles égales ou on, 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 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) .

PARTIE 3:

Application à **l'inféroflux** **d'ABALESSA**

Chapitre VIII - Présentation des programmes utilisés

VIII.1. Le programme GEOHYD :

VIII. .1. 1 – fiche signalétique :

Le programme GEOHYD permet la simulation des transferts de pression en régime permanent ou transitoire dans un aquifère monocouche, par la méthode des différences finies appliquées à un réseau de mailles carrées régulières.

La première version de GEOHYD a été établie sur **VAX 750** par **M.BESBES** en 1987. Elle fut modifiée par **B.KHAMMARI** pour une application sur des machines plus puissantes en 1990.

Le programme intègre l'équation aux dérivées partielles décrivant les écoulements bidimensionnels en milieu poreux saturé, les conditions aux limites étant de deux types : charge imposé et flux imposé.

Le programme est entièrement commandé par cartes de données. Celles-ci sont :

- Le découpage du domaine et sa géométrie.
- En régime permanent : la transmissivité en chaque maille, l'emplacement et les valeurs des charges imposées, et les débits imposés.
- En régime transitoire : les charges initiales pour chaque phase transitoire, les coefficients d'emmagasinement, la dimension des mailles, les débits et charges imposés.

Les sorties du programme sont :

- Un schéma du maillage et sa numérotation
- Un tableau de l'ensemble des paramètres hydrogéologiques.
- Un bilan en eau du système

VII.1.2 – Conditions aux limites :

Elles sont de deux types : potentiel imposé et flux imposé. Le flux imposé peut être nul dans le cas d'une limite imperméable. 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 : par le biais des moyennes harmoniques, les transmissivités de passage aux limites du modèle sont alors nulles, interdisant tout échange de flux vers l'extérieur. Les conditions de flux non nul, ainsi que le potentiel imposé, sont introduites à l'intérieur de la limite ainsi décrite.

Les conditions de potentiels sont spécifiées à l'aide d'un indicateur de niveau imposé dont une valeur appropriée est affectée aux mailles concernées du modèle. Muni de cette indication, le programme évite de calculer la charge dans ces mailles.

Une fois le champ de potentiel calculé dans l'aquifère, le programme effectue le bilan en eau du système en imprimant :

- a) la somme des débits échangés entre l'aquifère et les mailles à potentiel imposé.
- b) La somme des débits imposés.

A l'intérieur de la bordure à flux nul du modèle, le programme permet de faire varier la nature et la positions des conditions de niveau et de flux non nul au cours du temps. Pour ces derniers, la convention suivante est adoptée :

- $Q > 0$ pour pompage ou débit sortant de la nappe.
- $Q < 0$ pour une injection ou débit entrant dans la nappe.

Dans le cas d'un pompage et d'une injection simultanée dans une même maille, c'est la somme algébrique des débits que l'on doit y afficher.

VIII.1.3 – Maillage du modèle :

Il est constitué d'une grille régulière de mailles carrées et se trouve défini lorsqu'on a précisé :

- Le nombre total des 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.

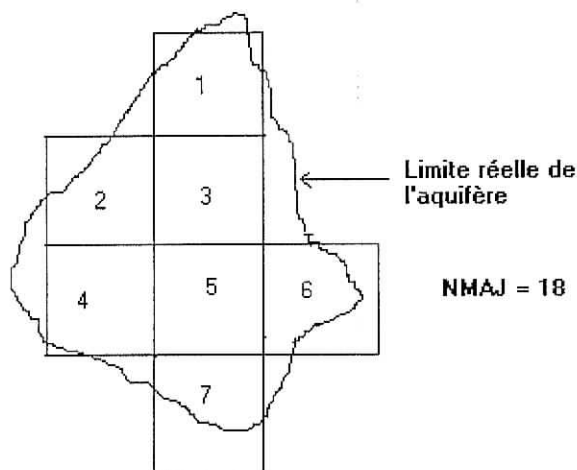
a) Découpage et numérotation des mailles :

L'espace est découpé selon le réseau le mieux adapté au problème. Le choix de la dimension des mailles dépend à la fois de la précision désirée sur les résultats et de la taille de mémoire de l'ordinateur.

Une fois le domaine maillé, l'utilisateur numérote les mailles du modèle de gauche à droite, de haut en bas, de 1 jusqu'au nombre total des mailles NMAI .

Exemple :

La numérotation obtenue est appelée numérotation-opérateur. Elle permet d'identifier chacune des mailles du modèle, que ce soit au niveau de l'introduction des données, à celui des calculs ou aux niveau des sorties du programme.



b) Repérage géométrique du schéma type :

Pour repérer la position relative des mailles les unes par rapport aux autres, on utilise le système de coordonnées dit : « schéma-type ». Cette méthode a deux fonctions essentielles :

- Pour chacune des mailles, le repérage de ses voisins N,S,E,O, nécessaires au calcul.
- La possibilité d'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 maille.

Exemple :

1	2	3	4	5
6	7 1	8 2	09	10
11	12 3	13 4	14 5	15
16	17	18 6	19 7	20
21	22	23 8	24 9	25
26	27	28	29	30

VIII.2 Le programme ASM :

VII.2.1 fiche signalétique :

Le programme ASM (Aquifer Simulation Model) permet la simulation des transferts de pression en régime permanent ou transitoire dans un aquifère mono ou multicouches, par la méthode des différences finies appliquées à un réseau de mailles carrées ou rectangulaires régulières, il possède également un module qui permet de calculer le transport des polluants.

L'ASM a été conçu par W.KINZELBACH et R.RAUSCH, en 1995, à l'université de STUTTGART, où ils enseignent la simulation des aquifères.

Comme le GEOHYD, le programme intègre l'équation aux dérivées partielles décrivant les écoulements bidimensionnels en milieu poreux saturé, les conditions aux limites étant de deux types : charge imposé et flux imposé.

Le système d'équation peut être résolu par différentes méthodes, tel que :

- ❖ La méthode du gradient conjugué.
- ❖ La méthode alternative itérative.

Le présent programme offre les options de calcul suivantes :

- ◇ Régime permanent ou transitoire.
- ◇ Aquifère homogène ou hétérogène.
- ◇ Nappes libres ou captives.
- ◇ Aquifère isotrope ou anisotrope.
- ◇ Variation spatiale et temporelle de la recharge due à la précipitation.
- ◇ Un bilan hydrique de l'aquifère
- ◇ Comparaison des valeurs mesurée et calculé de la piézométrie.
- ◇ Traçage des lignes piézométrique.
- ◇ Traçage des directions d'écoulement.
- ◇ Traçage des courbes de diffusion des polluants.

Contrairement au GEOHYD, l'ASM possède une interface graphique conviviale, qui facilite l'introduction des données, et qui est à même de permettre une meilleure compréhension du phénomène. On n'est plus dans ce cas obligé de faire une numérotation du genre "schéma type", car ici le l'introduction des données se fait directement sur la maille.

Chapitre IX : Résultats, analyse et commentaires

IX.1. Application des modèles :

L'inféoflux d'ABALESSA a été découpé suivant une grille de mailles carrées selon la géométrie de l'aquifère, le maillage s'est fait sur une carte 1/5000°. La morphométrie est la suivante :

- Nombres de mailles totales:252
- Nombre de mailles utiles : 125
- Nombre de lignes :28.
- Nombre de colonnes: 9
- Dimension de la cote de la maille : 250 m
- La charge initiale qui donne un point de départ pour le calcul des charges, elle est de 465m.
- La transmissivité répartie sur tout l'aquifère qui est égale à $2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.
- Les débits entrants vers la nappe, que ce soit les conditions aux limites dus à la recharge horizontale qui est évalué à 2 l/s par maille, ou à l'infiltration verticale due à la pluviométrie.
- Les débits prélevés qui sont de l'ordre de 45l/s, répartis sur 13 puits et 3 forages.
- Les charges de référence pour calculer la différence entre la piézométrie calculée et mesurée.

Vu le manque de données, nous nous sommes contenté de faire tourner les modèles en **régime permanent** uniquement

IX.1. GEOHYD:

IX.1. schéma réel de l'aquifère:

"	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	"	"	"	"

Numéros des mailles dans le schéma de la limite réelle de l'aquifère □

{("numérotation opérateur")}

IX.2. schéma réel de l'aquifère:

"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	11	12	13	14	15	16	"	"	"
"	20	21	22	23	24	25	"	"	"
"	29	30	31	32	33	34	"	"	"
"	38	39	40	41	42	43	"	"	"
"	"	48	49	50	51	52	"	"	"
"	"	57	58	59	60	61	"	"	"
"	"	66	67	68	69	70	71	"	"
"	"	75	76	77	78	79	80	"	"
"	"	84	85	86	87	88	"	"	"
"	"	93	94	95	96	97	"	"	"
"	"	102	103	104	105	106	107	"	"
"	"	111	112	113	114	115	116	"	"
"	"	120	121	122	123	124	125	"	"
"	"	129	130	131	132	133	"	"	"
"	"	138	139	140	141	142	"	"	"
"	"	147	148	149	150	151	"	"	"
"	"	156	157	158	159	160	"	"	"
"	"	"	166	167	168	169	"	"	"
"	"	"	175	176	177	178	"	"	"
"	"	"	184	185	186	"	"	"	"
"	"	"	193	194	195	"	"	"	"
"	"	201	202	203	204	"	"	"	"
"	"	210	211	212	213	"	"	"	"
"	"	219	220	221	222	"	"	"	"
"	"	"	229	230	231	"	"	"	"
"	"	"	238	239	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"

Correspondance avec le schéma type dans
l'ordre de la "numérotation opérateur"

Après la simulation en **régime permanent**, et après *calage* des transmissivités, et des recharges, on obtiendra:

Les chiffres ci-dessous représentent la différence entre les valeurs mesurées (introduites) et celles calculées par le programme.

REGIME PERMANENT									
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	3.	"	"	"	"
"	"	"	"	3.	3.	3.	"	"	"
"	"	"	"	4.	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	2.	3.	"	"	"
"	"	"	"	3.	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	0.	"	3	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	3.	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	2.	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	1.	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	1.	"	"	"
"	"	"	2.	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	1.	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	2.	"	1.	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	2.	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	2.	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	2.	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"

DIFFERENCES (HR-H) entre la piézométrie calculée et mesurée

Bilan du système :

Nombre d'itérations L= 323

Résidu (somme du carré des écarts U= .00099

BILAN DU SYSTEME

MAILLE DEBIT

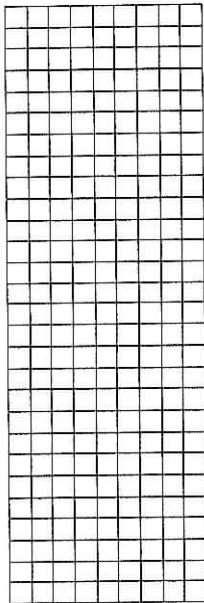
124 .00468

125 .00518

DEBIT POT.IMPOS: ENTREE .00000 SORTIE .00986 TOTAL .00986

DEBITS IMPOSES : ENTREE -.00126 SORTIE .00023 TOTAL -.00103

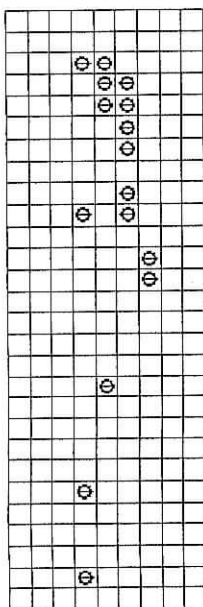
BILAN : " m³/s " .00884

IX.2 résultats de l'ASM :**Le maillage :**FINITE DIFFERENCE GRID: $N_x = 9$, $N_y = 28$ 

MODEL GRID CORRECT [Y/N] ?

disposition des puits et forages :

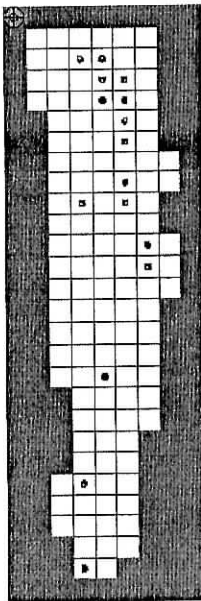
WELL POSITION



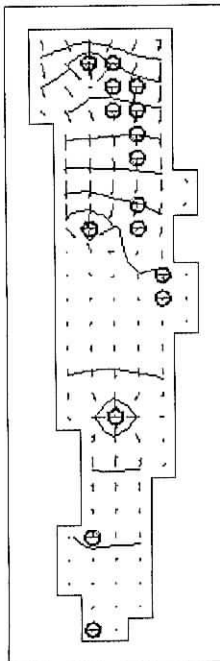
POSITION OF WELLS CORRECT [Y/N] ?

Mailles utiles:

HYDR. CONDUCTIVITY...[M/S] VALUE CELL [1, 1] = 0



↑↓↔, +-*/=Transform., Ins=Input, <↓=Change, Home=Dupli.on/off, C=Find/change
Pg↑↓=List/show matrix, Del=Delete, A=Aspect, M=Import matrix, End = End

Piézométrie calculée :

Hmin =459.36 Hmax=479,03 équidistance =1.036m

IX.3 Résultats obtenus :

Les deux modèles montrent que le bilan est excédentaire, ce qui est un peu paradoxal vu que la bibliographie affirme que le niveau de l'eau est en continuel baisse. A moins que les dernières années pluvieuses sur le HOGGAR aient pu inverser la tendance

Nous avons essayé de conduire le calage du modèle, en nous rapprochant le plus souvent possible des contraintes imposées déduites de la première partie de cette étude par les mesures sur le terrain.

IX.4 .Calage des transmissivités :

Vu l'écart assez important entre les valeurs trouvées entre les courbes de descente et de remontée, nous avons optée pour une valeur intermédiaire en nous rapprochant plus de la valeur donnée par la courbe de remontée, car cette dernière est plus fiable car elle se fait de façon naturelle.

Vu aussi la petite dimension de notre aquifère nous avons opté pour une seule valeur de transmissivité sur toutes les mailles; ceci est un peu utopiste, cela explique peut être en partie les décalages.

IX .5 Calage des recharges :

L'hypothèse d'une recharge verticale (due à la pluviométrie) uniforme sur toutes les mailles n'est pas très réaliste, sans compter que la valeur de la pluviométrie elle-même est sujette à discussion, faute d'un bon réseau de mesure.

De plus il est très difficile de déterminer la pluie efficace, vue le caractère sporadique et violents des orages, et l'hétérogénéité de la géologie d'ensemble

IX .6 Calage de la piézométrie:

C'est là le point le plus délicat de la modélisation, car par définition la piézométrie est une valeur moyenne (mensuelle ou annuelle), et ne peut être prise comme un valeur ponctuelle. De plus pour restituer une bonne piézométrie, il est primordiale que cette dernière soit contemporaine (même période) aux débits de pompage introduits, car ils sont interdépendants.

En résumé en remarque bien qu'il très difficile de modéliser un aquifère, car elle fait appel à de très nombreuses variables, difficilement mesurables ou

quantifiables, car même si on arrive à mesurer les paramètres naturels, la détermination des paramètres anthropiques reste dans le domaine de l'illusoire.

Conclusion générale et perspectives futures:

Notre travail, à travers ce projet de fin d'étude, a consisté à faire une recherche, pour déterminer les paramètres nécessaires pour modéliser un aquifère dans la région d'ABALESSA.

Les résultats trouvés ont plus ou moins approché la réalité du terrain, cela nous renvoie à l'obstacle essentiel pour faire de la modélisation, qui est la disponibilité de l'information. Même avec le plus puissant modèle au monde, en l'occurrence MODFLOW à l'heure actuelle, les résultats ne peuvent être au rendez vous, si les données introduites au départ ne sont pas de qualité.

Nous avons vu au cours de ce travail que la modélisation est une démarche complexe car faisant appel à un nombre important de paramètres difficile à quantifier, qu'ils soient naturels ou anthropiques.

Il aurait été intéressant pour notre travail de faire le terrain, pour déjà avoir nos propres données, mais aussi pour une meilleure compréhension des enjeux et de des répercussions possibles sur la région.

Nous n'avons pas eu la prétention au départ de simuler entièrement notre aquifère, ce travail s'inscrit dans une dynamique de familiarisation avec la simulation, et les différents paramètres que celle-ci requiert.

Bibliographie :

1. **Benmamar,N** (1995) ."Etude hydrogéologique et modélisation de la nappe du plateau de Mostganem" PFE, ENP.
2. **Besbes, M** (1987) "Simulation en hydrogéologie" cours organisé sous l'égide de l'UNESCO par l'E.N.I.T
3. **Castany,G** (1977) "Dictionnaire français d'hydrogéologie" éditions BRGH, paris.
4. **Castany,G** (1968) "Prospection et exploitation des eaux souterraines" éditions Dunod
5. **Foucault,A** (1995) " Dictionnaire de géologie" Masson, paris.
6. **Boumahrat, M** et **Gourdin,A** (1983) "méthodes numériques appliquées" O.PU.
7. **Blanguernon, C** (1976) " Le HOGGAR" éditions ARTAUD paris
8. **Rapport E.R.E.M** (1975) : "Etude hydrogéologique du Hoggar"
9. **DUBIEF, J** (1953) "Essai sur l'hydrologie superficielle du sahara" Dunond Paris
10. **DUBIEF, J** (1963) "Le climat du sahara" Dunond Paris
11. **SAIGHI, O** (1984) "Possibilités aquifères au Hoggar central" Thèse doctorat 3^e cycle. USTHB . Alger
12. **REMINERAS, G** (1960) "Hydrologie de l'ingénieur" Eyrolles Paris.
13. **CASTANY,G** (1982) " Principes et méthodes d'hydrogéologie" éditions Dunod Paris
14. **BONNET,M** "Méthodologie des modèles de simulation en hydrogéologie (1978) Thèse de doctorat. Institut polytechnique de toulouse

15. **RAYNAUD, G** (1981) Atlas général Larousse.
16. **KHEMMARI, B** (1986) "Contribution à l'identification des systèmes hydrologiques". Thèse de doctorat. INA ALGER
17. **YOUNSI, M** (2002) Etude hydrogéologique et modélisation des écoulements souterrain de la basse vallée de la Soummam