

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY  
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة  
Année 2007

Faculté des Sciences de la Terre  
Département de géologie

## MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de

## MAGISTER

## THEME

Détermination des paramètres hydrodispersifs de la basse vallée de l'Oued  
Saf-Saf (W.Skikda)

Option : Hydrochimie

Présenté par : SAADALI RIAD

DEVANT LE JURY :

Directeur de mémoire : KHERICI NACER

Président : CHOUABBI ABD EL MADJID

Examineurs : CHAAB SALAH

SAIDIA BACHIR

Pr. Univ. Badji Mokhtar-Annaba

M.C. Univ. Badji Mokhtar-Annaba

M.C. Univ. Badji Mokhtar-Annaba

M.C. Univ. Badji Mokhtar-Annaba

# **Introduction générale**

# **CHAPITRE I**

## **Situation géographique**

**CHAPITRE II**  
**APPERCU GEOLOGIQUE**

**CHAPITRE III**  
**LES CARACTERISTIQUES**  
**CLIMATIQUES**

**CHAPITRE IV**  
**APERCU GEOPHYSIQUE**

# **CHAPITRE V**

# **HYDROGEOLOGIE**

# **CHAPITRE VI**

# **HYDROCHIMIE**

**CHAPITRE VII**  
**ANALYSE HYDRODISPERSIVE**

# **Conclusion générale**

# **Bibliographie**

# **Annexe**

## REMERCIEMENT

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude avant tout à dieu tout puissant qui m'a aidé donné le courage pour mener à bien ce modeste travail.

Ma gratitude et mes vifs remerciements vont directement à Mr :Kheric nacer (directeur de mémoire ) pour assistance , sa patience, ses conseils, ses encouragements et son soutien constant.

Je remercie tout particulièrement messieurs les membres de jury :

- Mr CHOUABBI.A.maître de conférence de l'université de Annaba qui a accepté de présider le jury.
- Mr CHAAB.S. maître de conférence de l'université de Annaba d'avoir bien voulu assister au jury et critiquer ce mémoire.
- Mr SAIDIA.B. maître de conférence de l'université de Annaba d'avoir bien voulu assister au jury et critiquer ce mémoire.

Mes remerciements vont à tous les enseignants du département de géologie de l'université de Annaba, je tiens tout spécialement remercie monsieur le professeur DJABRI.L et BELOULOU.L

Je tiens également à remercier les responsables de la bibliothèque de l'institut des sciences de la terre de l'université de Annaba. Sans oublier Mme Djamila technicienne au laboratoire de département de géologie, Mlle Dalila technicienne au laboratoire de département de géologie.

Enfin, je tiens à remercier Mr BRAHIM SAADALI et tous les amis et les collègues qui m'ont aidés et encouragés pour réaliser ce mémoire.

## **Dédicace**

Je dédie ce mémoire à :

- Mes parents, surtout à ma mère pour leur soutien moral et leur sacrifice dans la réussite de mes études.
- Ma fiancée.
- Mes frères et sœurs et à toute ma famille.
- Mes amis.

## RESUME

La compréhension des mécanismes de transport de solutés dans un milieu poreux non saturé, est essentielle de répondre aux interrogations concernant l'impact de ces mécanismes sur la qualité des eaux souterraine.

L'approche choisie repose sur des expériences de traçage réalisé en régime permanent sur modèle physique de sol au laboratoire. La première partie bibliographique représente une étude générale des caractéristiques géologiques, hydrodynamiques et géophysiques afin de déterminer la nature de l'aquifère et sa géométrie, et les principales caractéristiques climatologiques. La deuxième partie du travail traite le cas des écoulements monodimensionnels. Afin de caractériser la zone non saturée du sol. Nous avons utilisé une colonne de sol, remplis d'un sol (sables, sables-argileux, limons). Les traceurs utilisés représentent des courbes de restitution de concentration ( $C_{20}H_{10}O_5Na_2$ ), de conductivité (NaCl) et de pH (NaOH). L'analyse des courbes obtenues a permis l'identification des mécanismes de transport des solutés et la détermination des paramètres hydrodispersifs des terrains étudiés (porosité cinématique, coefficient de dispersion longitudinale...etc.) .

**Mots-clés :** modèle physique de laboratoire, courbes de restitution, les paramètres hydrodispersifs, zone non saturée .

**Table de matière** **page**

**Introduction générale**..... 1

**CHAPITRE I :Situation géographique**

I.1.Situation régionale.....3

I.2.Situation du bassin versant de l’oued Saf-Saf .....4

**CHAPITRE II : APPERCU GEOLOGIQUE**

II. Cadre morpho-structural.....5

II.1. les terrains anté-Miocène.....5

II.2. La Dorsale Kabyle ou chaîne calcaire (Cénomanién-Lutétien)..... 6

II.3. Le socle Kabyle (Paléozoïque).....6

II.4. La Nappe Numidienne (Oligocène moyen–Burdigalien inférieur).....6

II.5. Les terrains post-Miocène .....8

II.6.la basse vallée de l’oued Saf-Saf .....8

**CHAPITRE III : LES CARACTERISTIQUES**

**CLIMATIQUES**

III.1.Introduction ..... 11

III.2. la température..... 11

III.3. Précipitations.....12

III.3.1.Répartition des précipitations mensuelles .....13

III.3.2. Courbes ombro-thermiques.....13

III.3.3.Analyse statistique descriptive des pluies annuelles.....15

III.3.Le vent,l’humidité relative de l’air, l’enseillement et l’évaporation... 17

III.4.Le bilan hydrique.....19

III.4.1.Notion du bilan d’eau.....19

III.4.1.1.Étude de l’évapotranspiration .....19

III.4.1.2.Estimation de l’évapotranspiration réelle ( ETR).....20

A- Formule de Turc .....	20
B. Formule de Coutagne.....	21
III.4.1.3.Estimation de l'évapotranspiration potentielle ( ETP).....	21
III.5.Interprétation du bilan hydrique.....	24
III.6.Calcul le ruissellement .....	26
III.7.Estimation de l'infiltration I (mm) .....	27
III.8.Conclusion.....	29

## **CHAPITRE IV : APERCU GEOPHYSIQUE**

IV.1. La zone de Ramdane Djamel.....	30
IV.1.1. Substratum.....	31
IV.1.2. Recouvrement alluvionnaire .....	31
IV.1.3. Examen des coupes.....	32
IV.2. La zone de Hammadi Krouma .....	34
IV.2.1. Nature du substratum .....	35
IV.2.2. Nature des alluvions .....	36
IV.2.3. Forages de reconnaissance.....	36

## **CHAPITRE V :HYDROGEOLOGIE**

V.1.Introduction .....	37
V.2.Inventaire des forages et des puits .....	37
V.3.Coupes hydrogéologiques .....	39
V.3.1. Coupe hydrogéologique. FS 7 – Ali Abdennour .....	40
V.3.2.Coupe hydrogéologique FS 4 – FS 5.....	40
V.3.3. Coupe hydrogéologique FS 1 – FS 3 – FS 6 .....	42
V.4.Piézométrie.....	44

V.4.1. Interprétation de la carte piézométrique .....	44
V.5.Détermination des caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère.....	46
V.5.1. La transmissivité (tableau14 ) .....	47
V.5.2. La perméabilité (tableau14) .....	47
V.6.Estimation des réserves souterraines .....	48
V.7. Conclusion.....	49

## **CHAPITRE VI : HYDROCHIMIE**

VI.1. Les eaux souterraines .....	50
VI.2. Les eaux superficielles .....	51
VI.3. Pollution.....	53
VI.4. Conclusion .....	54

## **CHAPITRE VII : ANALYSE HYDRODISPERSIVE**

VII.1.Analyse théorique .....	56
VII.1.1. Notions concernant le milieu poreux .....	56
VII.1.2 physique des transferts .....	56
VII.1.2.1. la convection.....	56
VII.1.2.2. La Loi de darcy.....	56
VII.1.2.3. Porosité cinématique.....	56
VII.1.2.4. Vitesse effective .....	57
VII.1.2.5. Dispersion.....	57
VII.1.2.6. Dispersion longitudinale.....	58
VII.1.2.7. Dispersion transversale.....	58
VII.1.3. Echanges .....	58
VII.1.3.1. Adsorption-Désorption .....	58
VII.1.3.2. Echanges eau libre-eau liée.....	58
VII.2.Dispositifs expérimentaux.....	59

VII.2.1. La manipulation .....	59
VII.2.2. Théorie de la dispersion.....	62
VII.2.3. Détermination de $K_L$ .....	64
VII.2.4. Méthode de travail .....	65
VII.2.5. Détermination des paramètres physiques .....	66
VII.2.5.1.Ecoulement monodimensionnel uniforme.....	66
❖ cas d'un terrain sable-argileux(exemple).....	66
VII.2.5.2.Discussions des résultats .....	69
VII.2.5.3.a. La perméabilité moyenne expérimentale.....	70
VII.2.5.4.Courbes de restitution.....	71
• Courbes de restitution par la fluorescéine .....	71
A-Temps maximale de l'écoulement.....	72
B- Temps moyenne de l'écoulement.....	72
C-Coefficient de dispersion longitudinale.....	73
D-Détermination du temps d'écoulement réel à partir des courbes de conductivité et de concentration relative et de $P^H$ .....	75
VII.2.5.5.Courbes de restitution par la conductivité et le $P^H$ .....	76
VII.3.Conclusion.....	78
Conclusion générale.....	79
Bibliographie.....	81
Annexe.....	85



<b>Liste des figures</b>	<b>Page</b>
FigN=°01. Situation géographique de la zone d'étude.....	4
FigN=°02 carte structurale dans la région de l'oued Saf-Saf(J.M.vila 1977).....	7
FigN=°03.Températures moyennes mensuelles à la station de Skikda(1970-2000).....	12
FigN=°04.Histogramme des précipitation moyenne mensuelles à la station de Skikda(1977/2005),et de R.Djamel(1966/1990).....	14
FigN=°05. Courbe ombro-thermique de la station de Skikda(1976/2005).....	14
FigN=°06.Courbe ombro-thermique de la station de Ramdane Djamel(1966/90).....	15
Fig =°07 : Bilan hydrique effectué sur la base des moyennes mensuelles des précipitations ,ETP et ETR (Skikda1976-2006).....	24
Fig N=°08 : Bilan hydrique effectué sur la base des moyennes mensuelles des récipitations ,ETP et ETR (R.Djamel1965-1990).....	25
FigN=°09. Coupe géoélectrique R.Djamel.....	32
FigN=°10. Coupe géoélectrique R.Djamel.....	33
FigN=°11. Coupe géoélectrique R.Djamel.....	34
FigN=°12. Coupe géoélectrique Hammâdi -Croûma(Damrémont).....	35
FigN=°13. Carte d'inventaire des points d'eau de la basse vallée du Saf-Saf.....	39
FigN=°14.Coupe hyrogéologique. FS 7 – Ali Abdenmour.....	41
FigN=°15.Coupe hydrogéologique FS 4 – FS 5.....	41
FigN=°16.Coupe hydrogéologique FS 1 – FS 3 – FS 6 .....	43

FigN=°17. Carte piézométrique de la basse vallée du Saf-Saf (periode avril2006).....	45
FigN=°18. Dispositif expérimentale.....	59
FigN=°19. carte lithologique de la basse vallée de l'oued saf-saf(raoult 1977).....	60
FigN=°20. Observation de la propagation d'un traceur dans un aquifère-courbes théoriques(A : $C/C_0=f(t)$ ;B : $\Sigma P_i=f(t)$ ).....	61
FigN=°21. Evolution de l'échelon unité de concentration.....	63
FigN=°22. courbe $\lambda=f(c)$ sur diagramme gauss-arithmetique.....	65
FigN=°23. schéma représentatif montre le développement d'un traceur.....	66
Fig N=°24:Représentation graphique de $c/c_0=f(t)$ .....	68
Fig N=°25. Représentation graphique sur papier gauss-arithmitique.....	68
FigN=°26. La situation des régions principales étudiée.....	69
FigN=°27. courbe de restitution par la fluorescéine.....	71
FigN=°28. La relation entre le temps maximale de l'écoulement et la longueur de la colonne.....	72
FigN=°29. La relation entre le temps moyenne de l'écoulement et la texture des terrains Par la fluorescéine.....	73
FigN=°30.La dispersivité longitudinale avec la texture du terrain et la longueur parcourir Par la fluorescéine.....	73
FigN=°31.Répartition spatiale du coefficient de dispersion longitudinale .....	74
FigN=°32. détermination le temps moyenne réel (cas d'un échantillon de sable,L=60cm).....	75
FigN=°33. courbe de restitution par le potentiel hydrique.....	77
FigN=°34. courbe de restitution par la conductivité.....	77

<b>Liste des tableaux</b>	<b>Page</b>
Tableau N=°01. Intérêt hydrogéologique des formations géologique.....	10
Tableau N=°02. Situation des stations climatiques.....	11
Tableau N=°03. Températures moyennes mensuelles en °C à la station de Skikda-Port (série : 1970-2000).....	12
Tableau N=°04.a. Variations mensuelles de précipitations dans la région de Skikda (mm).....	13
Tableau N=°04.b. Résultats de l'analyse Fréquentielle des pluies annuelles aux Station de Skikda et R.Dsjamel.....	17
Tableau N=°05. Variations mensuelles des paramètres météorologiques à la station de Skikda.....	18
Tableau N=°06. Evapotranspiration réelle annuelle selon la méthode de turc.....	20
Tableau N=°07. Evapotranspiration réelle selon la méthode de Coutagne....	21
Tableau N=°08. Bilan hydrique de la station de Skikda sur une période de 30ans ( 1976-2006) .....	22
Tableau N=°09: Bilan hydrique de la station de R.Djamel sur une période de 25 ans( 1965-1990).....	23
Tableau N=°10. Les valeurs de l'Evapotranspiration réelle estimées par les différentes méthodes.....	24
Tableau N=°11. Estimation du ruissellement dans la basse vallée du Saf-Saf.....	27
Tableau N=°12. Calcul de l'infiltration dans la basse vallée du Saf-Saf....	28
Tableau N=°13. Relevés des niveau piézométrique dans les puits (période avril 2006).....	38
Tableau N=°14. Inventaire des transmissivités et des perméabilités.....	46
Tableau N=°15. Données hydrochimiques (Basse vallée de l'oued Saf-Saf) Sources : variées.....	51
Tableau N=°16. f-L=45 cm(sable-argile).....	67

Tableau N=°17. Valeurs des perméabilités.....	70
TableauN=°18. Les résultats expérimentale de l'analyse hydrodispersif par la fluoréscine.....	71
TableauN=°19. Les résultats expérimentale de l'analyse hydrodispersif parla conductivité et le P <sup>H</sup> .....	76

## **Introduction générale**

De toute l'eau présente sur terre, seulement 2.6% est de l'eau douce. Sur ce pourcentage environ 2% sont bloqués dans les calottes glacières et les glaciers. Le reste de l'eau douce se trouve dans le sol (0.568%) ou est accessible directement : lacs, rivières, fleuves, etc. (0.014%). Ainsi, moins de 1% de l'approvisionnement en eau douce sur terre peut être utilisé comme eau potable.

La problématique de l'eau est un problème de quantité et de qualité, c'est à dire de ressources et de pollution. Du point de vue ressource, on distinguera d'un coté les eaux de surface qui ont un taux de renouvellement très rapide, et de l'autre les eaux souterraines qui s'écoulent beaucoup plus lentement.

Les pollutions d'origine agricole sont majoritairement dues à l'application de fertilisants et de pesticides en surface du sol, qui sont ruisselés soit infiltrés dans le sol. Une fois infiltrés, il se trouvent dans la zone non saturée et migrent vers les nappes.

Le mouvement de l'eau dans un milieu poreux (transfert ou déplacement de l'eau) est régi par des phénomènes de convection et de dispersion, indépendant de tout transport de matière par l'eau (par exemple, migration de solutés), Convection et dispersion de l'eau entraînent la migration et la dispersion des matières transportées.

Parmi les cas de pollution figure la nappe de la basse vallée de l'Oued Saf-Saf (NE Algérien), connue par une pollution multiple, due à des rejets industriels(SIJICO), l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture.

Dans cette étude, nous allons essayer d'utiliser les différentes méthodes (analyse par la fluorescéine, analyse par le pH, analyse par la conductivité électrique) , pour confirmer les résultats obtenus .

L'étude comprend deux parties essentielles :

- La première partie bibliographique représente une étude générale des caractéristiques géologiques, hydrodynamiques et géophysiques afin de déterminer la nature de l'aquifère, sa géométrie, et les principales caractéristiques climatologiques.
- Dans la deuxième partie, nous rappelons succinctement les notions classiques en hydrodynamique, les théories d'écoulement d'eau et la théorie sur le transfert de solutés. Nous présentons ensuite le matériel et les méthodes utilisées expérimentalement : description du sol, des propriétés hydrodynamiques, les dispositifs expérimentaux, et enfin déterminer les paramètres hydrodispersifs (paramètres physiques de terrain, dispersion longitudinale...etc.).

## **Situation géographique**

### **I.1.Situation régionale**

La région de Skikda est située au Nord-Est algérien sur la totalité de la frange tellienne entre la longitude 6°50' E et la latitude 36°35' N. Elle occupe une position stratégique sur le littoral septentrional de la Méditerranée. Elle s'étend sur une superficie de 5582 km<sup>2</sup>, et sa population est de 800.000 habitants environ, soit une densité de 192 ha/km<sup>2</sup>. Elle est limitée par la mer Méditerranée au Nord, la wilaya de Mila, de Constantine et de Guelma au Sud, la wilaya de Annaba à l'Est et la wilaya de Jijel à l'Ouest.

La région se caractérise par deux importantes chaînes de montagnes : la succession de montagnes littorales et la chaîne numidique. Les montagnes littorales correspondent à des crêtes souvent allongées et arrondies dont les altitudes varient entre 400 et 600m (DJEBEL EL-ALIA et FILFILA, respectivement). La chaîne numidique (dorsale de l'atlas tellien) constitue une barrière physique d'une orientation E-W. Elle est formée d'une suite de massifs dont la ligne de crête principale atteint 1364 m à Kef Sidi Driss. La partie septentrionale de cette chaîne prend une orientation SW-NE. Les altitudes sont relativement de moindre importance (620 m à Kef Mouma et 600 m à Sebargoud) .

Le climat est de type méditerranéen caractérisé par deux étages bio-climatiques. L' étage bio-climatique humide et doux, au Nord, se démarque par des précipitations dépassant les 1200 mm/an avec un maximum à El Gouhdi , point culminant du massif de Collo (plus de 2000 mm/an). Le Sud se caractérise par un étage bio-climatique sub-humide et frais où la moyenne des précipitations atteint les 700 mm/an. Les enneigements sont relativement fréquents, notamment au niveau de M'cid Aicha , Sidi Driss et Bousnib.

---

## I.2. Situation du bassin versant de l'oued Saf-Saf

Le bassin versant de l'oued Saf-Saf fait partie de la wilaya de Skikda. Il se situe au Nord-Est de l'Algérie. Faisant partie des bassins côtiers constantinois, il est limité au Sud par le cl d'El Kentour, à l'Est par le cl de Bissy, au Nord par la mer méditerranéenne et enfin par le cl de Staiha à l'Ouest. Il s'étend sur une superficie d'environ 1200 Km<sup>2</sup> drainée par l'oued Saf-Saf d'une longueur d'environ 50 Km.



**FigN.01. Situation géographique de la zone d'étude (sans échelle)**

## **APPERCU GEOLOGIQUE**

Le bassin versant de l'oued Saf-Saf fait partie de la chaîne des maghrébides. Le môle néritique constantinois limitant la partie sud du bassin versant (Kef Toumiette, Kef Hahouner) est représenté par la chaîne de calcaire massif du Crétacé dirigé d'Est en Ouest. Les flancs Ouest et Nord-Est du bassin présentent des terrains anciens métamorphiques. Le cadre structural, étant très complexe, peut être défini par la superposition de plusieurs unités structurales. Ces unités sont brièvement décrites dans ce qui suit.

### **II. Cadre morpho-structural (Fig N° 02) :**

#### **II.1. les terrains anté-Miocène :**

Les terrains anté-Miocène comprennent, du Sud vers le Nord, le Néritique Constantinois (Jurassique-Crétacé supérieur), les séries telliennes (Néocomien-Lutétien) et le domaine des flyschs (Barremien – Lutétien supérieur).

Le Néritique Constantinois, constitué essentiellement par des formations calcaires épais, affleure au Sud-Est de la région étudiée et s'étend au Kef Hahouner dont la base est dolomitique. Selon Raoult (1974), cette unité correspond à un ensemble monoclinal dirigé vers le Nord-Ouest.

Le domaine Télien est considéré comme étant une zone de subsidence d'orientation Est-Ouest. Dominées par des marnes et des marno-calcaires, les séries ultratelliennes affleurent au Sud-Ouest de Kef Toumiette et Djebel Bou Abed. L'affleurement de la série ultratélienne se poursuit au Nord de Kef Hahouner qui comporte des marno-calcaires à ammonites pyriteuses et des marno-calcaires microbréchiques.

Le domaine des flyschs comporte les flyschs massyliens et mauritaniens. Le flysch massylien est représenté de bas en haut par des flyschs argilo-

quartzitiques de l'Albo-Aptien, des brèches, des phtanites et des flyschs à microbrèches du Sénonien. Il affleure sur de faibles étendues au Sud-Ouest de Kef Toumiette et au Sud du barrage de Zardézas.

Le flysch maurétanien, étant le plus répandu, est dominé par des calcaires microbréchiques renfermant parfois des bancs de grès et des couches d'argiles. D'âge Néocomien-Lutétien, il affleure au niveau du cône des oliviers (actuellement Aïn Bouziane) et au Nord de Kef Hahouner.

## **II.2. La Dorsale Kabyle ou chaîne calcaire (Cénomaniens-Lutétien) :**

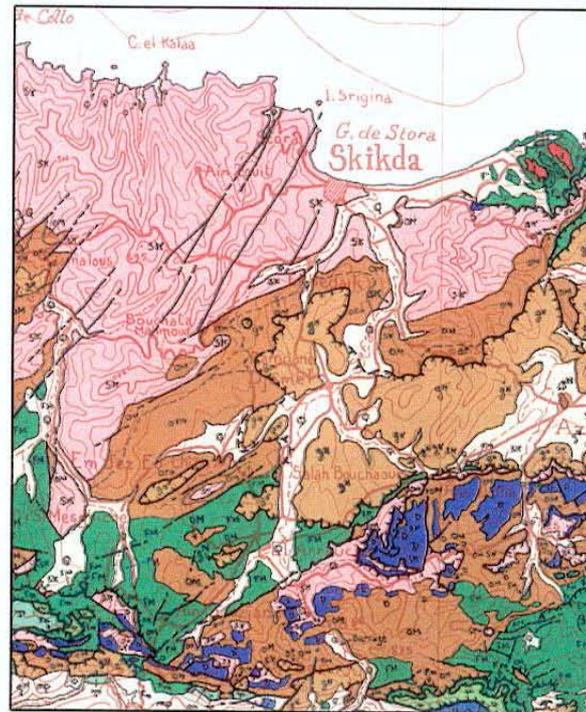
Comme son nom l'indique, la dorsale kabyle est constituée essentiellement par des formations épaisses de calcaires. Elle marque la majeure partie du Sud-Ouest du bassin versant de l'Oued Saf-Saf (Dj. Rhedir, Kef Sebergoud et Kef Toumiette).

## **II.3. Le socle Kabyle (Paléozoïque) :**

Les massifs anciens métamorphiques occupent une grande partie du bassin du Saf-Saf. Du côté Ouest, ils s'étendent de Stora jusqu'au cône de Staïha. Ils affleurent également au Sud d'El-Harrouch et au Nord-Est de Aïn-Bouziane. Ils sont formés de phyllades, de micaschistes et de porphyroïdes. Dans la partie Nord-Est du bassin (Dj. Filfila), ils sont essentiellement dominés par des schistes et des marbres.

## **II.4. La Nappe Numidienne (Oligocène moyen–Burdigalien inférieur) :**

La nappe numidienne occupe les sommets des unités structurales sus-citées. Elle affleure au niveau de Zerdézas, Kef Toumiette et Dj Bou Abed, ainsi qu'au niveau de la plupart des Koudiets du centre du bassin. Elle est caractérisée par des séries gréseuses et des argiles sous numidiennes.



Source de la carte à  
L'Echelle : 1/500000

Légende :

**ROCHES ERUPTIVES RECENTES**

 Granites, grano-diorites, microgranites, dolérites et rhyolites.

**SOCLE KABYLE, CHAÎNE CALCAIRE**

 Oligo-Miocène Kabyle, olistostromes à flyschs résédimentés (y compris le Numédien) et flyschs en position nord-kabyle (F').

 CHAÎNE CALCAIRE : Paléozoïque à Lutétien supérieur des zones internes, médiane et externe.

 SK-Socle métamorphique de petite kabylie et du Bou Hatem (phyllades micaschistes, porphyroïdes, gneiss et marbres.

**NAPPES TELLIENNES**

**NAPPES TELLIENNES S.S.**

 T. UNITES TELLIENNES NON DIFFERENCIEES PARFOIS REDUITES A LEUR EOCENE DE COLLE.

**NAPPE NUMIDIENNE**

 Grès numédiens et séries mixtes.

**ROCHES RECENTES ET CYCLES POSTERIEURS AU BURDIGALIEN INFERIEUR.**

 Quaternaire indifférencié ( Villafranchien à actuel ).

**NAPPES DE FLYSCHS KABYLIES.**

**FLYSCHS MAURETANIENS**

 Séries internes d'Aïn Naceur, de Sidi Rhiat, de Sidi Ahmed, de Settiter, de Bou Taleb, de la Robertseau (Souk es Sebt) et de la Marsa.  
Séries médianes de Guerrouch, d'El Kam, de Khorchef, de Ghezala et du Sud d'Aïn Berda (Penthièvre)  
Séries externes (ex-"Medjan") et séries atypiques de Tamalous, du Kef Mezzouch et de Ziane.

**FigN.02. carte structurale dans la région de l'oued Saf-Saf**

(J.M.vila 1977)

## **II.5. Les terrains post-Miocène :**

Le Mio-Pliocène dans la région étudiée provient des dépôts continentaux ou lagunaires. Le quaternaire couvre la majeure partie du bassin versant. Il est formé par une série de terrasses alluviales constituées de graviers, de sables et de galets noyés quelques fois dans un limon-argileux. D'après les coupes lithologiques de forage, on constate que le quaternaire est d'une épaisseur moyenne de 10 à 40 m avec un substratum généralement argileux. Dans la région d'El Hadaïk, cette épaisseur diminue de plus en plus pour atteindre une dizaine de mètres. Les coupes lithostratigraphiques des forages montrent que les formations quaternaires sont constituées de bas en haut par des argiles constituant le substratum de la nappe aquifère des basses vallées de l'oued Saf-Saf et des sables. Les couches superficielles d'épaisseur faible sont à dominance argilo-limoneuse. Dans l'ensemble, la granulométrie devient beaucoup plus fine au fur et à mesure que l'on s'éloigne des cours d'eau.

Les coupes géoélectriques montrent que dans le bassin de l'oued Ghbel caractérisé par de faibles pentes, l'épaisseur des alluvions dominées par des argiles et des limons argileux atteint les 100 m.

## **II.6.la basse vallée de l'oued Saf-Saf :**

Dans la région de Hammadi Kroûma , plusieurs petits ravins comme la chabat el Mélah qui descendent du socle kabyle, montrent des coupes sur lesquelles on peut observer de bas en haut :

-reposent sur le socle, des débris centimétriques de roches cristallines, souvent bien roulés, pris dans une argile très rouge ; ce matériel présente déjà une altération notable et, seuls, les quartz gardent un aspect frais ; ces dépôts ne donnent plus de forme caractéristique, mais ils plongent sous les formations plus récentes qui les ravinent.

-Des glacis-cônes de limons argileux rouges contenant des débris de roches du socle, centimétriques et non émoussés ; ces glacis-cônes, en pente forte, plongent sous la plaine actuelle.

-une plaine alluviale constituée de sables et limons beiges ; des cônes très aplatifs et constitués de fragments anguleux ou mal roulés viennent se poser sur cette terrasse comme au débouché du Chabet Ben Akala .

-L'oued Saf-Saf est encaissé de 7 à 8 m dans cette plaine alluviale, avec des berges verticales ; par endroits, notamment dans les méandres, une très basse sablo-limoneuse grise domine le fleuve de quelques 2 à 3 m.

On retrouve donc, dans la région de Hammadi Kroûma , trois niveaux quaternaires. Le plus ancien, reste probablement d'une vieille terrasse de niveau III , est aujourd'hui très dégradé et ne donne plus aucune forme nette. Le second correspond à petits glacis-cônes de niveau II. Le plus récent , constitué de dépôts fins, se divise en deux et constitue la plaine alluviale et la très basse terrasse. Tous ces niveaux sont emboîtés. les plus anciens ont une pente plus forte et plongent très nettement sous la plaine alluviale sur laquelle les petits cônes de déjection très récents viennent se poser. Il ya donc peut-être eu une subsidence permanente de la basse vallée de Skikda, qui permet de comprendre la disparition des anciens niveaux de terrasses sur le littoral .

**Conclusion :** la conclusion de l'aperçu géologique se résume par l'élaboration du tableau N=°01.

Age		localisation	formation	Epaisseur	Intérêt hydrogéologie
<b>les terrains anté-Miocène</b>	Jurassique-Crétacé supérieur	Kef Hahouner	calcaires épais	/	<b>Intérêt hydrogéologie faible</b>
	Néocomien-Lutétien	Sud-Ouest de Kef Toumiette et Djebel Bou Abed	Marnes et marno-calcaires	/	<b>Intérêt hydrogéologie faible</b>
	Barremien – Lutétien supérieur	Sud-Ouest de Kef Toumiette	flyschs argilo-quartzitiques	/	<b>Substratum imperméable des formations aquifères</b>
<b>Cénomaniens-Lutétien</b>		Dj. Rhedir, Kef Sebargoud et Kef Toumiette.	calcaire	/	<b>Intérêt hydrogéologie faible</b>
<b>Paléozoïque</b>		Nord-Est du bassin (Dj. Filfila)	micaschistes	/	<b>Intérêt hydrogéologie faible</b>
<b>Oligocène moyen-Burdigalien inférieur</b>		Kef Toumiette et Dj Bou Abed	argiles sous numidiennes	/	<b>Substratum imperméable des formations aquifères</b>
<b>Mio-Pliocène</b>		Centre de terrain	gravier, de sable et de galets noyés	10 à 40 m	<b>Réservoir d'eau souterraine important</b>

**Tableau.01.Intérêt hydrogéologique des formations géologique**

## LES CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES

### III.1.Introduction :

Toute étude hydrogéologique passe principalement par un traitement détaillé des mesures hydroclimatiques permettant d'établir le bilan hydrique et par conséquent de comprendre les mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux de surface et souterraines, le climat de la région d'étude ; de type méditerranéen ; se caractérise par un hiver humide et doux et un été chaud et sec.

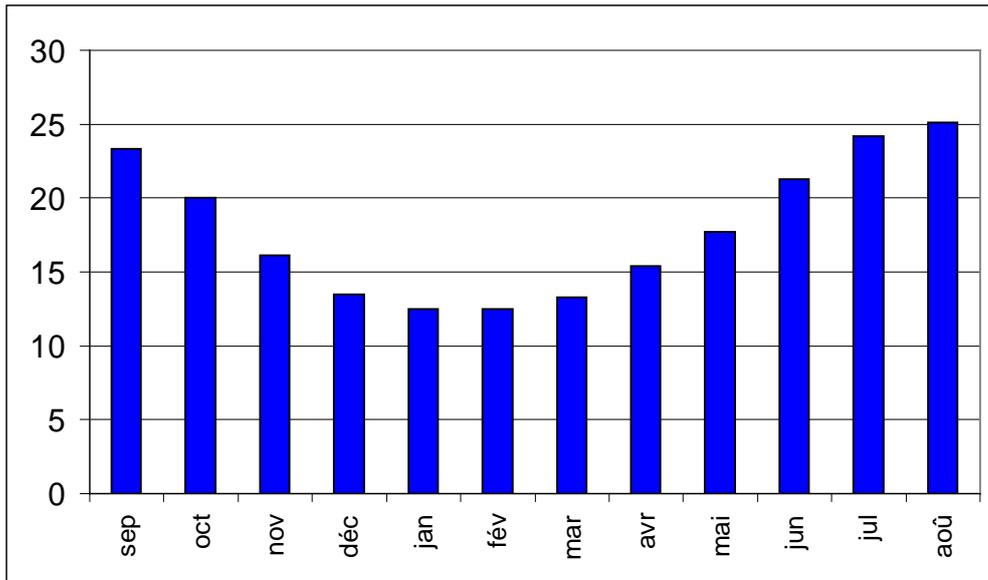
Dans la présente étude, les observations enregistrées aux stations de Skikda et de Ramdane Djamel, les coordonnées étant représentées au tableau N=°02, constituent les données de base pour cerner les critères définissant le climat dans la basse vallée du Saf-Saf.

Station	Longitude	Latitude	Altitude (m)
Skikda	06° 54' E	36° 53' N	1
R. Djamel	6° 54' 1'' E	36° 44' 17'' N	45

**Tableau.02. Situation des stations climatiques**

### III.2. la température :

C'est un facteur très important régissant les phénomènes climatiques et par la même occasion intervient dans de nombreux calculs d'évapotranspiration. Les données des températures observées pendant 30 années (1970-2000) à la station de Skikda (tableau N=°02,fig N=°03) font ressortir que les températures moyennes minimales (12.5 °C) sont enregistrées au mois de Janvier, tandis que les températures moyennes maximales s'observent au mois d'Août (25.1 °C). La température moyenne annuelle est de l'ordre de 18 °C.



**Fig.03. Températures moyennes mensuelles à la station de Skikda(1970-2000).**

sep	oct	Nov	déc	jan	fév	mar	avr	mai	jun	juil	aoû	Année
23.3	20.0	16.1	13.5	12.5	12.5	13.3	15.4	17.7	21.3	24.2	25.1	17.7

**Tableau.03. Températures moyennes mensuelles en °C à la station de Skikda-Port (série : 1970-2000)**

### III.3. Précipitations :

Les précipitations, facteur important du climat, conditionnent le comportement hydraulique des cours d'eaux et les variations des niveaux des nappes souterraines. La pluviométrie est la principale source d'alimentation du bassin étudié; elle constitue donc l'élément fondamental du bilan hydrologique. Dans cette optique, les caractéristiques pluviométriques de la zone d'étude sont tirées d'une

chronique de 29 et 25 années d'observations aux stations de Skikda et de Ramdane Djamel, respectivement.

### III.3.1. Répartition des précipitations mensuelles :

La répartition mensuelle des précipitations dans l'année et ses variations conditionnent, en relation avec les facteurs thermiques, l'écoulement saisonnier ou le régime des cours d'eau. Les valeurs des précipitations mensuelles sont représentées au (tableau N°04.a.)

sep	oct	Nov	Déc	jan	fév	Mar	avr	Mai	jun	jul	août	Année
<b>Skikda (1976/77 – 2005/06)</b>												
41.4	63.6	97.7	132.7	111.1	92.8	70.8	65.9	37.5	13.2	3.5	9.1	738.3
<b>Ramdane Djamel (1965/66– 1989/90)</b>												
31.2	63.1	68.3	97.6	79.8	71.0	66.4	52.2	29.5	17.3	3.1	5.3	590

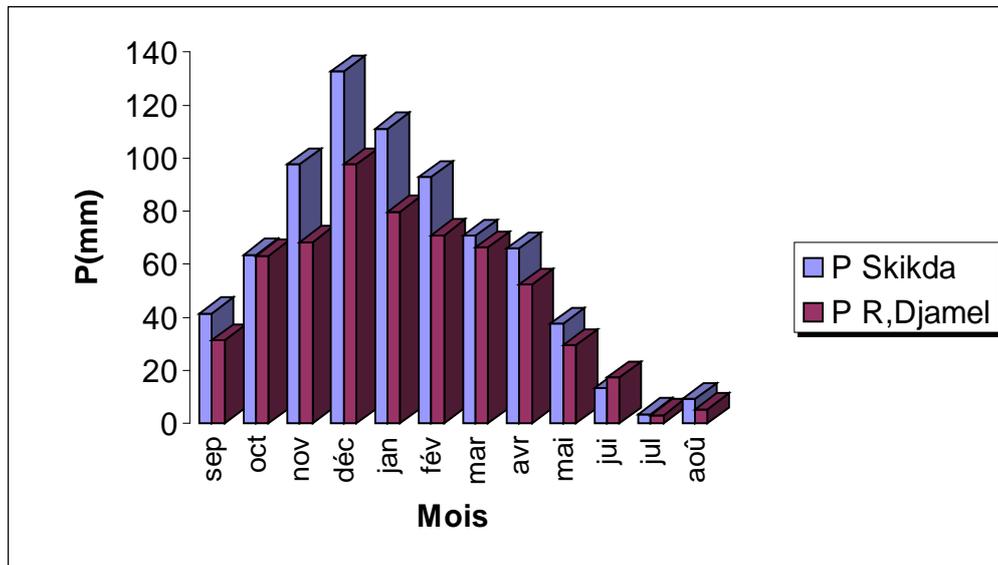
**Tableau.04.a. Variations mensuelles de précipitations (mm)**

#### **dans la région de Skikda**

D'après le( tableau N°04.a, et la Fig N°04), les précipitations mensuelles des quatre saisons se répartissent irrégulièrement et reflètent un maximum au mois de Décembre de l'ordre de 133 et 98 mm au niveau des stations de Skikda et de Ramdane Djamel, respectivement. Les pluies mensuelles minimales s'observent aux mois de Juillet (Skikda :3.5 mm ; R.Djamel : 3.1 mm).. Ces valeurs, en accord avec les données thermiques, font que ce mois est l'un des plus secs et des plus chauds (Fig. 05 et06).

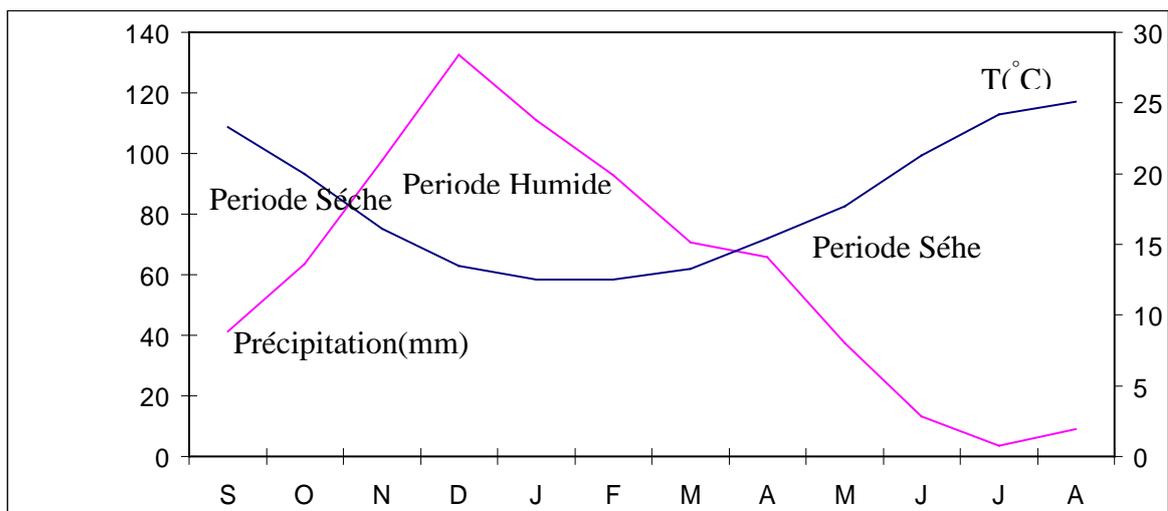
**III.3.2. Courbes pluviomthermiques :**La combinaison des deux facteurs climatiques : précipitation-températures, nous a permis d'établir

les courbes pluviothermiques et déterminer ainsi les saisons sèches et humides pour les stations considérées.

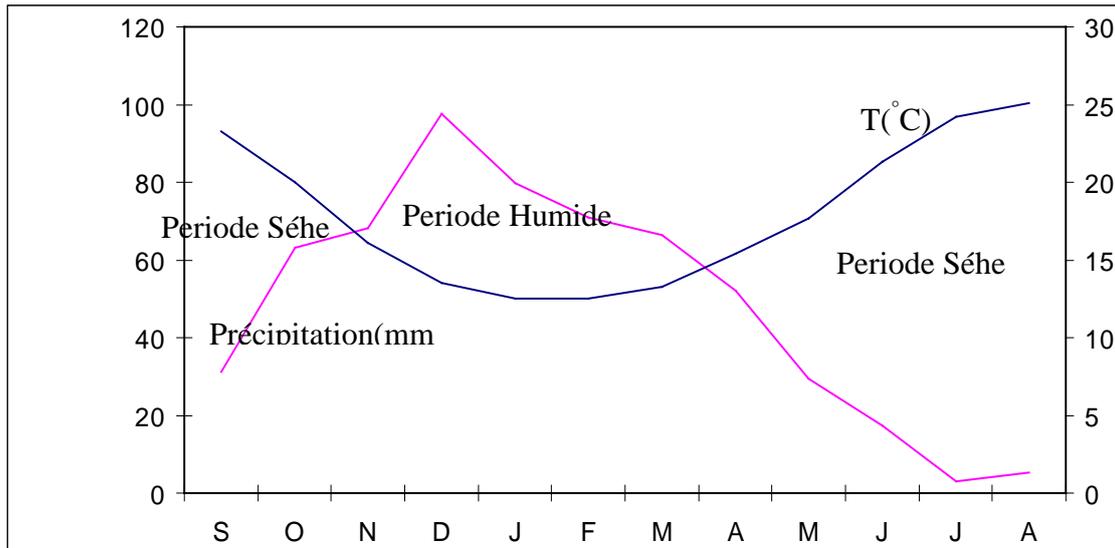


**Fig.04. Histogramme des précipitation moyenne mensuelles à la station de Skikda(1977/2005),et de R.Djamel(1966/1990)**

Ainsi, on remarque que la saison sèche s’étend de la fin du mois de Mai jusqu’à la fin du mois d’Octobre pour la station de Skikda et de la fin Mai jusqu’au début de Novembre pour la station de R.Djamel.



**Fig.05. Courbe pluviomthermique de la station de Skikda(1976/2005)**



**Fig.06. Courbe pluviothermique de la station de Ramdane  
Djamel(1966/90)**

La saison humide s'étale à partir du début de Novembre jusqu'à Mai pour la station de R.Djamel et de la fin d'Octobre jusqu'à la fin du mois de Mai pour la station de Skikda.

### III.3.3. Analyse statistique descriptive des pluies annuelles :

Les données pluviométriques sont souvent disponibles sous forme d'échantillons très longs qui ne sont pas convenables à une interprétation immédiate. Il est par conséquent nécessaire de caractériser les informations collectées par un certain nombre de paramètres, notamment : la moyenne arithmétique ( $m$ ), l'écart type ( $s$ ), le coefficient d'asymétrie ( $\gamma_1$ ) et les valeurs extrêmes.

L'examen des résultats de la statistique descriptive, consignés au tableau N°04, montre des fluctuations modérées des pluies annuelles dans la région étudiée (coefficient de variation de l'ordre de 18.7 % et 26.5 % à Skikda et à Ramdane Djamel, respectivement). Il ressort de ce tableau que les pluies annuelles subissent un gradient pluviométrique

décroissant entre le Nord et le Sud de la zone d'étude (738 mm à Skikda et 590 mm à Ramdane Djamel) .

Après avoir procéder au calcul des paramètres statistiques décrivant les diverses lois de probabilités appliquées, les pluies annuelles espérées en moyenne au moins une fois tous les 2, 5, 10, 20, 25, 50 et 100 ans ont été calculées pour les stations étudiées par les lois de Gauss, Galton et Gamma. Le test de Kolmogorov-Smirnov a été appliqué pour tester l'adéquation des différents ajustements au seuil de signification de 10 %. Ainsi, les résultats de l'analyse fréquentielle sont consignés au tableau N° 04.b.

L'examen des séries observées montre qu'au cours des 30 dernières années, les pluviomètres ont enregistré au moins une pluie centennale humide à Ramdane Djamel (1028 mm en 1984) et une pluie cinquantennale humide à Skikda (1024 en 1987). Les années extrêmement sèches sont moins marquées. A Ramdane Djamel, l'année la plus sèche (380 mm en 1974) correspond à une période de récurrence de 10 ans, tandis qu'à Skikda, elle n'est que de 5 ans (580 mm en 1980).

Il ressort de cette analyse que les pluies annuelles se répartissent de façon irrégulière aussi bien dans le temps que dans l'espace.

T en années	Gauss		Galton		Gamma	
	Année humide	Année sèche	Année humide	Année sèche	Année humide	Année sèche
Skikda						
Dmax	0.2081		0.1798		0.1845	
2	732	732	720	720	723	723
5	849	615	839	619	846	614
10	910	554	908	572	915	561
20	960	504	969	536	976	520
25	975	490	988	525	994	508
50	1017	447	1043	497	1048	476
100	1055	410	1096	473	1098	448
Ramdane Djamel						
Dmax :	0.1242		0.1984		0.1052	
2	590	590	571	571	576	576
5	722	458	708	461	716	456
10	790	390	792	412	798	400
20	847	332	869	376	870	358
25	864	316	892	366	890	346
50	911	269	964	339	953	315
100	953	226	1033	316	1014	288
Paramètres statistiques						
N	moyenne	éc-type	CV (%)	min	max	Coef.As
Skikda						
30	738.3	138.6	18.7	578.7	1024	0.85
Ramdane Djamel						
25	590.0	156.3	26.5	378.8	1028	0.92

**Tableau.04.b.Résultats de l'analyse fréquentielle des pluies annuelles aux Station de Skikda et R.Djamel**

### III.3.Le vent,l'humidité relative de l'air, l'ensoleillement et l'évaporation :

Le vent assure le remplacement de l'air plus ou moins saturé au contact de la surface évaporante par des nouvelles couches ayant une température et une humidité généralement plus faibles. Il favorise donc l'évaporation, d'autant plus que sa vitesse et sa turbulence sont grandes.

Dans la zone d'étude, seule la station de Skikda-Port dispose d'observations sur le vent. Les vitesses moyennes d'une série de 10 années d'observations (1974/75-1984/85) sont consignés au tableau ci-dessous (Tableau N= 05 )

S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	Août	Année
Vitesse moyenne du vent (m/s) série 1974/75-1984/85												
3.2	2.7	2.9	2.7	2.7	2.8	2.8	2.7	2.7	2.7	3.1	3.4	2.9
Vitesse maximale moyenne du vent (m/s) série 1974/75-1984/85												
9.8	8.2	8.7	8.4	8.1	8.2	8.3	8.2	8.1	7.9	8.2	9.0	8.4
Humidité relative de l'air (%) série 1974/75-1984/85												
77.4	77.7	76.5	77.7	77.5	76.5	72.7	78.2	77.5	77.6	78.0	76.7	77.0
Durée d'ensoleillement (heures) série 1970/71-1999/00												
245.4	202.5	162.4	139.5	144.8	164.1	198.3	216.9	273.8	294.9	345.5	312.2	2700
Evaporation-Piche (mm) série 1970/71-1999/00												
108.1	108.4	88.3	91.5	88.8	81.9	88.8	92.4	90.2	102.5	146.9	133.9	1222

**Tableau N.05. Variations mensuelles des paramètres météorologiques à la station de Skikda**

S'inspirant des données du tableau N= 05, il ressort que les vents soufflent à une vitesse relativement plus rapide (supérieure à 3 m/s) durant la période estivale (juillet-septembre). La moyenne des maxima étant de l'ordre de de 10 m/s en septembre.

Enfin, comme toutes les régions méditerranéennes, le vent le plus dominant est celui du Nord-Ouest. Il s'agit d'un vent chargé en humidité (humidité moyenne de l'air supérieure à 75 % durant toute l'année).

Les phénomènes d'évaporation interviennent dans le cycle hydrologique dès le moment où les précipitations, sous forme liquide ou

solide, atteignent la surface du sol. De plus l'humidité du sol, soit qu'elle provienne des pluies récentes infiltrées à faible profondeur, soit qu'elle remonte par capillarité de la nappe superficielle, constitue directement ou par l'intermédiaire de la couverture végétale un élément important pour l'évaporation.

En hydrologie, on désigne sous le terme « évaporation » l'ensemble des phénomènes ; qui par un processus spécifiquement physique ; transforment l'eau en vapeur.

L'action combinée des phénomènes éoliens, de l'humidité de l'air et de l'ensoleillement influe directement sur le phénomène d'évaporation. Dans la région de Skikda, l'évaporation annuelle est de l'ordre de 1220 mm. Elle atteint son paroxysme durant la période, chaude et à forte ensoleillement, allant de Juin à septembre (100 à 147 mm/mois) ; le maximum étant observé au mois de juillet (147 mm). Le pouvoir évaporant de l'atmosphère marque son minimum au mois de février (82 mm).

### **III.4.Le bilan hydrique :**

#### **III.4.1.Notion du bilan d'eau :**

Le bilan de l'eau global correspondant à une équation d'équilibre entre les apports et les pertes qui influent directement sur la variation des réserves. Ainsi pour déterminer le bilan de la zone d'étude, il est indispensable d'évaluer ses composantes (infiltration, ruissellement et évapotranspiration), pour cela, on va se baser sur les données des stations de Skikda et de R.Djamel.

##### **III.4.1.1.Étude de l'évapotranspiration :**

L'évapotranspiration constitue l'élément le plus important du bilan hydrologique après les précipitations, représenté par une quantité d'eau et restituée à l'atmosphère sous forme de vapeur.

L'évapotranspiration englobe l'ensemble des phénomènes d'évaporation (physique) et transpiration (biologique).

Le phénomène d'évapotranspiration réelle et potentielle peut être mesurer directement sur le terrain à partir d'un bac d'évaporation ou d'un évaporomètre, grâce également à des lysimètres, ou calculer par des formules empiriques telles que celle de Turc ou de Thornthwaite ...etc..

#### III.4.1.2. Estimation de l'évapotranspiration réelle ( ETR) :

L'évapotranspiration réelle s'identifie au déficit d'écoulement et peut se calculer à partir de nombreuses formules qui induisent l'utilisation de deux paramètres climatiques à savoir : la pluviométrie et la température. L'évapotranspiration réelle est liée à la quantité de pluie tombée dans le bassin et de la réserve maximale en eau du sol.

##### A- Formule de Turc :

$$ETR = P / (0.9 + P^2/L^2)^{1/2} \quad \text{où} \quad L = 300 + 25t + 0.05t^3$$

**Avec :**

**ETR :** Evapotranspiration réelle annuelle en mm.

**P :** Précipitation annuelle en mm.

**T :** Température moyenne annuelle en °C.

**L :** Pouvoir évaporant.

Les résultats sont portés dans le Tableau N° 06.

Paramètre Station	P (mm)	T (°C)	L	ETR ( mm/ an)
Skikda	<b>738.3</b>	<b>17.7</b>	<b>1019.76</b>	<b>618.66</b>
R.Djamel	<b>590</b>	<b>17.7</b>	<b>1019.76</b>	<b>530.69</b>

**Tableau .06. Evapotranspiration réelle annuelle selon la méthode de Turc .**

**B. Formule de Coutagne :**

$$ETR = P - \lambda p^2$$

Cette formule n'est valable que si la quantité des précipitations répond aux conditions suivantes :

$$1/8\lambda < P < 1/2\lambda \quad \text{Pour} \quad \lambda = 1/(0.8 + 0.14 T)$$

Avec :

**ETR** : Evapotranspiration réelle en mm.

**P** : Précipitation moyenne annuelle en m.

**T** : Température moyenne annuelle en °C.

Ces paramètres permettent de déterminer les valeurs de l'ETR pour les deux stations comme indiquées au tableau ci-après :

Paramètre Station	P (mm)	T (°C)	$\lambda$	ETR ( mm/ an)
Skikda	<b>738.3</b>	<b>17.7</b>	<b>0.3</b>	<b>570.13</b>
R.Djamel	<b>590</b>	<b>17.7</b>	<b>0.3</b>	<b>455.57</b>

**Tableau.07.Evapotranspiration réelle selon la méthode de Coutagne .**

**III.4.1.3.Estimation de l'évapotranspiration potentielle ( ETP) :**

L'évapotranspiration potentielle est la quantité d'eau qui serait évaporée et transpirée si les réserves en eau étaient suffisantes pour compenser les pertes maximales.Pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle nous avons appliqué la formule de Thornthwaite .

$$ETP = 16 (10 T/ I)^a . K$$

$$\text{Avec : } i = (T/5)^{1.514} \quad I = \sum_1^{12} i \quad , \quad a = (1.6/100)I + 0.5$$

**ETP** : Evapotranspiration potentielle du mois considéré en mm

**T** : Température moyenne du mois considéré en °C .

**K** : Coefficient d'ajustement mensuel (donné en fonction de la latitude et du mois considéré) .

**I** : indice thermique annuelle.

Les résultats obtenus sont portés dans les tableaux.  $N=^{\circ}08$ ,  $N=^{\circ}09$ .

Mois	sep	oct	nov	déc	jan	fév	mar	avr	mai	jun	juil	aoû	total
<b>P(mm)</b>	41,40	63,60	97,70	132,70	111,10	92,80	70,80	65,90	37,50	13,20	3,50	9,10	738,30
<b>T(°c)</b>	23,30	20,00	16,10	13,50	12,50	12,50	13,30	15,40	17,70	21,30	24,20	25,10	17,70
<b>K</b>	1,05	0,91	0,75	0,70	0,73	0,78	1,02	1,15	1,32	1,33	1,33	1,24	-
<b>I</b>	10,28	8,16	5,87	4,50	4,00	4,00	4,40	5,49	6,78	8,97	10,89	11,50	84,85
<b>ETP(mm)</b>	65,70	46,33	28,49	20,97	19,71	21,06	29,94	41,14	56,99	73,73	87,59	85,79	577,44
<b>RFU(mm)</b>	0,00	17,27	86,48	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	80,51	19,98	0,00	0,00	-
<b>ETR(mm)</b>	41,40	46,33	28,49	20,96	19,71	21,06	29,94	41,14	56,99	73,73	23,48	9,10	412,33
<b>EXC(mm)</b>	0,00	17,27	69,21	111,73	91,39	71,74	40,86	24,76	0,00	0,00	0,00	0,00	426,96
<b>DA(mm)</b>	24,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	64,11	76,69	165,11

**Tableau.08. Bilan hydrique de la station de Skikda sur une période de 30ans ( 1976-2006) .**

Mois	sep	oct	nov	déc	jan	fév	mar	avr	mai	jun	juil	août	total
P(mm)	31,20	63,10	68,30	97,60	79,80	71,00	66,40	52,20	29,50	17,30	3,10	5,30	590
T(°c)	23,30	20,00	16,10	13,50	12,50	12,50	13,30	15,40	17,70	21,30	24,20	25,10	17,70
K	1,05	0,91	0,75	0,70	0,73	0,78	1,02	1,15	1,32	1,33	1,33	1,24	-
I	10,28	8,16	5,87	4,50	4,00	4,00	4,40	5,49	6,78	8,97	10,89	11,50	84,85
ETP(mm)	65,70	46,33	28,49	20,97	19,71	21,06	29,94	41,14	56,99	73,73	87,59	85,79	577,44
RFU(mm)	0,00	16,77	56,58	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	72,60	16,17	0,00	0,00	-
ETR(mm)	31,20	46,33	28,49	20,96	19,71	21,06	29,94	41,14	56,99	73,73	19,27	5,30	394,12
EXC(mm)	0,00	16,77	39,81	76,63	60,09	49,94	36,46	11,06	0,00	0,00	0,00	0,00	290,76
DA(mm)	34,50	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	68,32	80,49	183,32

**Tableau.09. Bilan hydrique de la station de R.Djamel sur une période de 25 ans( 1965-1990).**

D'après le bilan hydrique dans les deux stations ,calculé par la méthode de Thornthwaite , nous constatons que la RFU ( réserve facilement utilisable) commence à se reconstituer à partir du mois d'Octobre pour atteindre son maximum ( 100 mm) de Décembre à Avril pour les deux station étudiées, période pendant laquelle il y a un surplus d'eau se manifestant par un écoulement .

La RFU diminue à partir du mois de Mai pour les deux stations, jusqu'à ce qu'elle soit totalement épuisée au mois de Juillel., où on observe l'apparition de déficit agricole (DA) qui se poursuit jusqu'à Octobre.

Des précédents résultats, nous proposons une comparaison, l'utilité de cette dernière réside dans les écarts décelés lors de l'application des trois méthodes ( tableau N= 10) pour aboutir à une meilleure approche de l'ETR ,ce qui par la suite fera ressortir la formule la mieux appropriée à notre région d'étude .

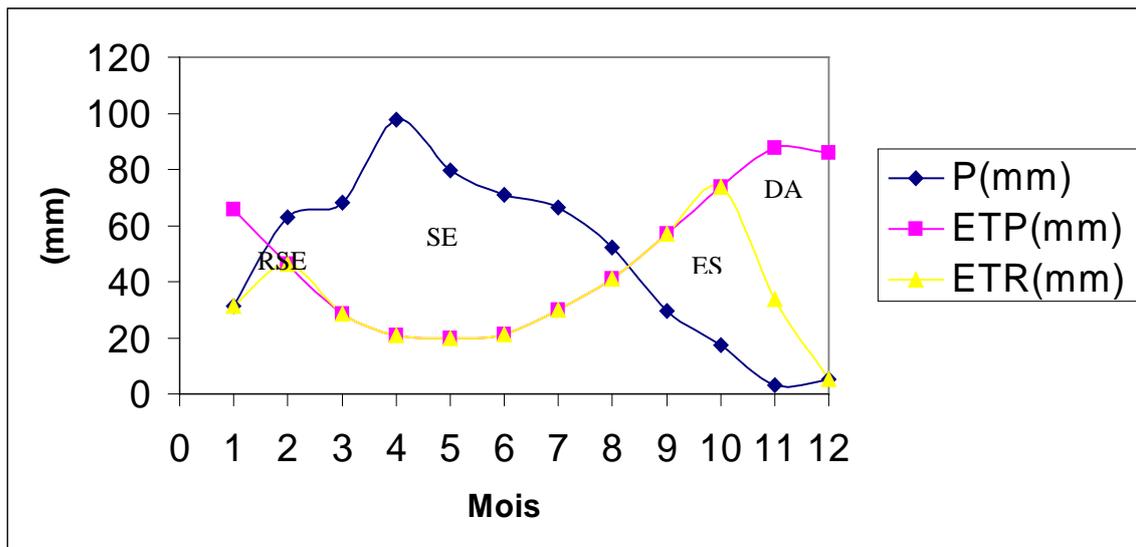
Les résultats représentés par le tableau ci-dessous montrent une différence entre les résultats des différentes stations de mesure, mais la méthode de Thornthwaite est la plus appropriée pour de tels calculs car elle fait intervenir un facteur de correction K qui intègre la durée d'insolation.

-Reste toujours que les valeurs de l'ETR de la station de Skikda sont supérieures à celle de la station de R.Djamel.

Méthode \ Station	ETR ( mm/an)	ETR ( mm/an)
	Skikda	R.Djamel
Thornthwaite	412.33	394.12
Coutagne	570.13	455.57
Turc	618.66	530.69

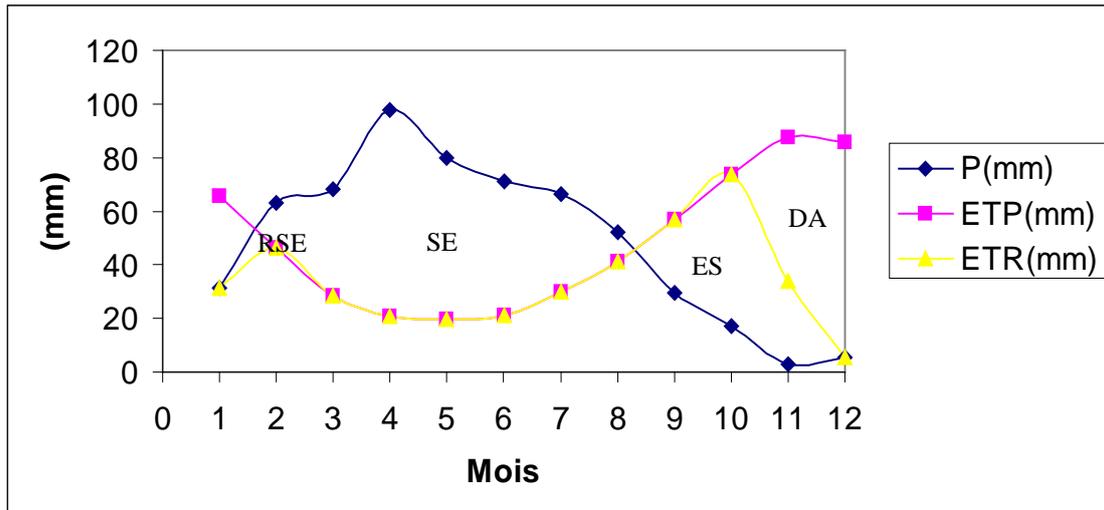
**Tableau.10. Les valeurs de l'Evapotranspiration réelle estimées par les différentes méthodes.**

**III.5. Interprétation du bilan hydrique :**



RSE :Recharge du sol SE :Surplus d'eau ES :Epuisement du stock DA :Déficit agricole

**Fig .07. Bilan hydrique effectué sur la base des moyennes mensuelles des précipitations ,ETP et ETR (Skikda1976-2005).**



RSE :Recharge du sol    SE :Surplus d'eau    ES :Épuisement du stock    DA :Déficit agricole

**Fig .08. Bilan hydrique effectué sur la base des moyennes mensuelles des précipitations ,ETP et ETR (R.Djamel1965-1990).**

L'établissement du bilan hydrique a pour but de connaître les différents paramètres (ETP, ETR, RFU, DA, EXC) , qui nous aident à comprendre le fonctionnement des systèmes hydrologiques ( Laborde , 1982) .

Lorsque la réserve facilement utilisable (RFU) est totale, il y a un surplus d'eau accompagné généralement par un écoulement et dès que la RFU diminue, il y a un épuisement du stock au point où la RFU sera complètement vide, il y aura un déficit agricole ( DA) .

L'observation de l'allure des deux stations (fig N=°08 et N=°09 )montre que :

L'ETP atteint son maximum au mois de juillet (87.59 mm) pour les deux stations, et son minimum au mois de Janvier pour les deux stations( 19.71 mm) ; l'excédent à partir du mois d'Octobre et s'étale jusqu'au mois d'Avril avec un maximum au mois de décembre (111.73 mm au Skikda et 76.63 mm à R.Djamel) , l'épuisement du stock commence au mois d'Avril

et se termine au mois de août avec un déficit agricole maximum au mois de Juillet imposant une irrigation .

### III.6.Calcul du ruissellement :

Pour déterminé le bilan hydrologique. Il est nécessaire d'évaluer le ruissellement dans le but d'apprécier l'importance de l'érosion mécanique et chimique qui affecte la surface de la terre.

Le ruissellement est un paramètre fondamental du bilan hydrologique, ne peut être déterminé avec précision faute de moyens de mesure de l'écoulement de surface à l'amont et à l'aval de la basse vallée de l'oued Saf-Saf. La seule station de mesure sur l'oued Saf-Saf se trouve à une quarantaine de km à l'amont de la zone d'étude, plus précisément au niveau du barrage de Zardezas. Ceci dit que les observations de cette station de jaugeage ne peuvent pas être extrapolées à la zone d'étude suite aux disparités morphométriques entre les deux zones. Mais, elles peuvent tout de même être utilisées pour guider les calculs empiriques du ruissellement.

A l'échelle annuelle, le ruissellement (R) peut être approximé par les relations de TIXERONT-BERKOLOFF suivantes :

$$R = \frac{P^3}{3} ; \text{ si } P > 600\text{mm.}$$

$$R = \frac{P^3}{3ETP} ; \text{ si } P < 600\text{mm.}$$

où R, P et ETP sont exprimées en mètres.

Les résultats obtenus sont reportés dans le tableau ci-dessous.

Paramètre	Skikda	Ramdane Djamel	Moyenne
P (mm)	738.3	590	664
ETP (mm)	577.4	577.4	577.4
<b>R (mm)</b>	<b>134.1</b>	<b>118.5</b>	<b>126.3</b>
C = R/P : (%)	18	20	19

**Tableau .11. Estimation du ruissellement dans la basse vallée du Saf-Saf**

D'après le tableau, on remarque que le ruissellement dans le bassin de la basse vallée du Saf-Saf représente en moyenne 19 % des précipitations moyennes tombées sur la zone d'étude. L'étude des écoulements de l'oued Saf-Saf à Zardezas (Attallah, 1998) a montré que le coefficient de ruissellement dans le haut saf-Saf (à Zardezas) est de l'ordre de 23 %. Ainsi, pour la basse vallée du saf-Saf, un coefficeint de 19 % paraît correcte si on tient compte des disparités topographiques entre les deux zones ; la zone d'étude étant caractérisée par un relief de terrasse à pentes faibles.

### **III.7.Estimation de l'infiltration I (mm) :**

Du point de vue hydrogéologique, l'infiltration est le paramètre de première importance car elle représente le taux de renouvellement des

réserves souterraines d'une nappe. Pour déterminer l'infiltration  $I$  (mm), on utilise l'équation du bilan hydrologique qui s'écrit ; les autres éléments étant connus:

$$P = ETR + I + R \quad \text{d'où} \quad I = P - ETR - R$$

avec :

$P$  : précipitation annuelle en (mm).

$ETR$  : Evapotranspiration réelle (mm).

$I$  : Infiltration en (mm).

$R$  : Ruissellement en (mm).

Les résultats obtenus sont consignés au tableau ci dessous. .

Station	$P$ (mm)	$ETR$ (mm)	$R$ (mm)	$I$ (mm)	$I/P$ (%)
Skikda	738.3	412.33	134.1	191.87	25
Ramdane Djamel	590	394.12	118.5	77.38	13
Moyenne	664	403.22	126.3	134.62	17

**Tableau .12. Calcul de l'infiltration dans la basse vallée du Saf-Saf.**

Selon le tableau ci-dessus, on constate que la quantité infiltrée à Skikda (près de 191.87 mm) est deux fois supérieure à celle infiltré plus au sud de la zone étudiée.(77.38 mm).

En définitif, les résultats retenus sont :

$$P = 664 \text{ mm/an}$$

$$ETR = 403.22 \text{ mm/an}$$

$$R = 126 \text{ mm/an}$$

$$I = 134.62 \text{ mm/an}$$

### **III.8.Conclusion:**

La région d'étude est caractérisée par un climat méditerranéen appartenant au domaine humide et subhumide, caractérisé par deux périodes :

- Une froide et humide avec des précipitations dominantes qui s'étale du mois d'Octobre jusqu'au mois d'Avril.
- Une chaude et sèche qui débute au mois de Mai et s'achève au mois d'Août.

La région d'étude présente des précipitations moyennes de l'ordre de 664 mm/an. L'évapotranspiration réelle est de l'ordre de 423mm/an Le déficit agricole est important et est de l'ordre de 160mm/an représente 24%des précipitations. le ruissellement calculé est de 126.3 mm/an, ce qui représente plus de 19%des précipitations. par contre, le reste de la hauteur des pluies , va partir sous forme d'infiltration, qui correspond à 134.62 mm/an .

La réserve facilement utilisable (RFU) n'est pleine que de Décembre à Avril. Quant à son épuisement, il dure sept mois.

La répartition graphique du bilan hydrique nous laisse dire que la recharge de la nappe débute a mi-October jusqu'à la mi-Avril avec un maximum durant le mois Décembre. Concernant l'épuisement du stock, il débute à la mi-avril jusqu'à la fin Septembre.

## APERCU GEOPHYSIQUE

Pour définir les potentialités réelles des ressources en eaux souterraines d'une région, il est indispensable de bien identifier les formations susceptibles de présenter un intérêt aquifère et de connaître leurs caractéristiques hydrogéologiques. Dans cette optique, la présente étude porte un intérêt particulier à l'analyse des données de l'étude géophysique par sondage électrique entreprise dans la plaine alluviale du Saf-Saf par la Compagnie Générale de Géophysique (CGG) dans le but de :

- dégager les formations aquifères
- définir la structure et la géométrie des aquifères.
- préciser la position des accidents affectant la région.
- localiser les zones favorables à l'exploitation.

Dans la zone d'étude, l'investigation géophysique par prospection électrique effectuée par la CGG avait pour but de définir la structure et la géométrie des nappes aquifères du système hydrogéologique de la zone Ramdane Djamel-Hamadi Krouma (Fig 09).

### **IV.1. La zone de Ramdane Djamel :**

Dans la zone de Ramdane Djamel, le terrain étudié se situe à 3 km NE du chef lieu de la commune. La superficie prospectée est d'environ 8 km<sup>2</sup> répartie, selon les possibilités d'accès et de déroulage, suivant un maillage de 250 par 250 m. La prospection géophysique devrait mettre en évidence; au sein du recouvrement alluvial, les zones les plus favorables à l'implantation de forages; C'est à dire les lentilles d'alluvions grossiers. Pour ce faire, soixante sondages électriques, répartis sur 9 profils orientés sensiblement E-W, ont été réalisés et comportent :

- 9 SEV avec AB = 400 m.

- 31 SEV avec AB = 600 m.
- 19 SEV avec AB = 800m.
- 1 SEV avec AB = 1000 m.

#### **IV.1.1. Substratum :**

Plusieurs SEV paramétriques ont été effectués sur différents affleurements de la rive droite de l'oued Saf-Saf, au Sud de Ramdane Djamel lors de l'étude 1960. D'autres ont été réalisés aux cours de la précédente étude au Nord. Ces investigations ont permis de fournir les valeurs de résistivité suivantes pour le substratum :

- Argiles Numédiennes : 8 – 30 ohm.m
- Sables Argileux : 12 - 15 ohm.m
- Argiles et grés : 15 - 20 ohm.m
- Grés : 50 - 400 ohm.m

#### **IV.1.2. Recouvrement alluvionnaire :**

L'examen de l'ensemble des diagrammes a permis l'adoption des fourchettes pour les valeurs de résistivités des différentes formations du recouvrement suivantes :

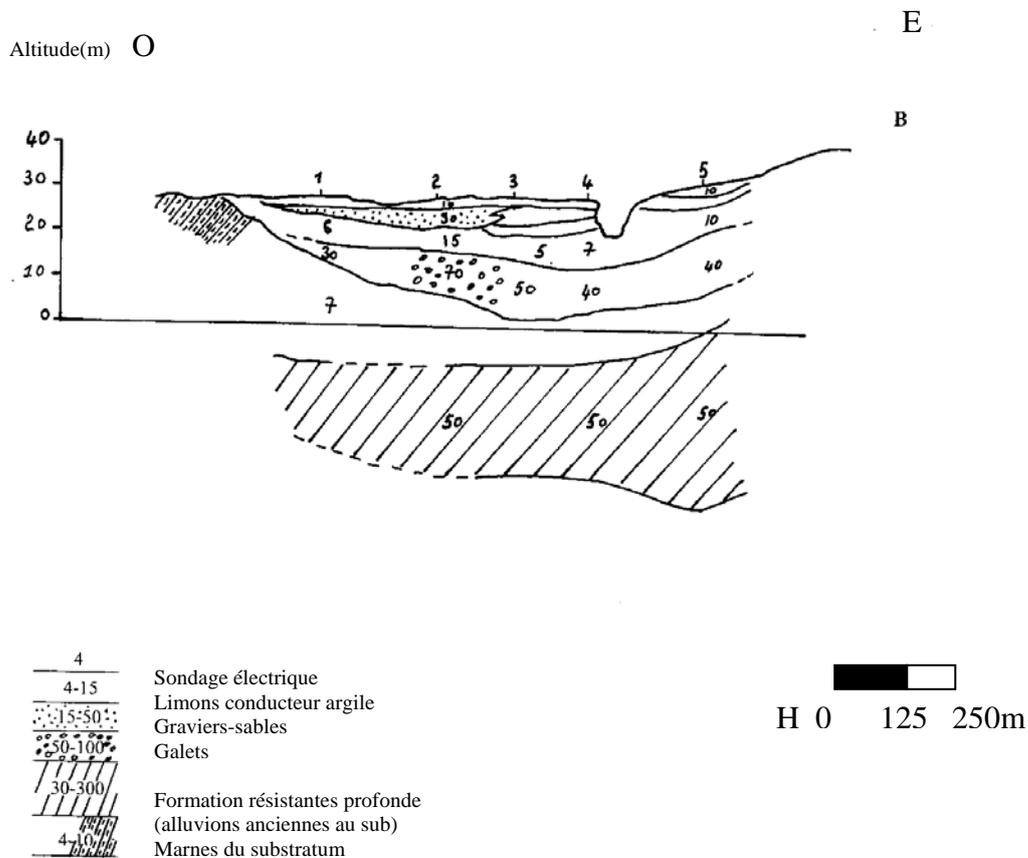
- Limons argileux de surface : 10 ohm.m.
- Alluvions grossières sèches : 80 à 150 ohm.m.

Par contre on ne peut connaître la résistivité vraie des alluvions humides. Si on admet que les renseignements fournis par les puits voisins sont valables, on peut attribuer aux alluvions humides des résistivités de l'ordre de 30 ohm.m.

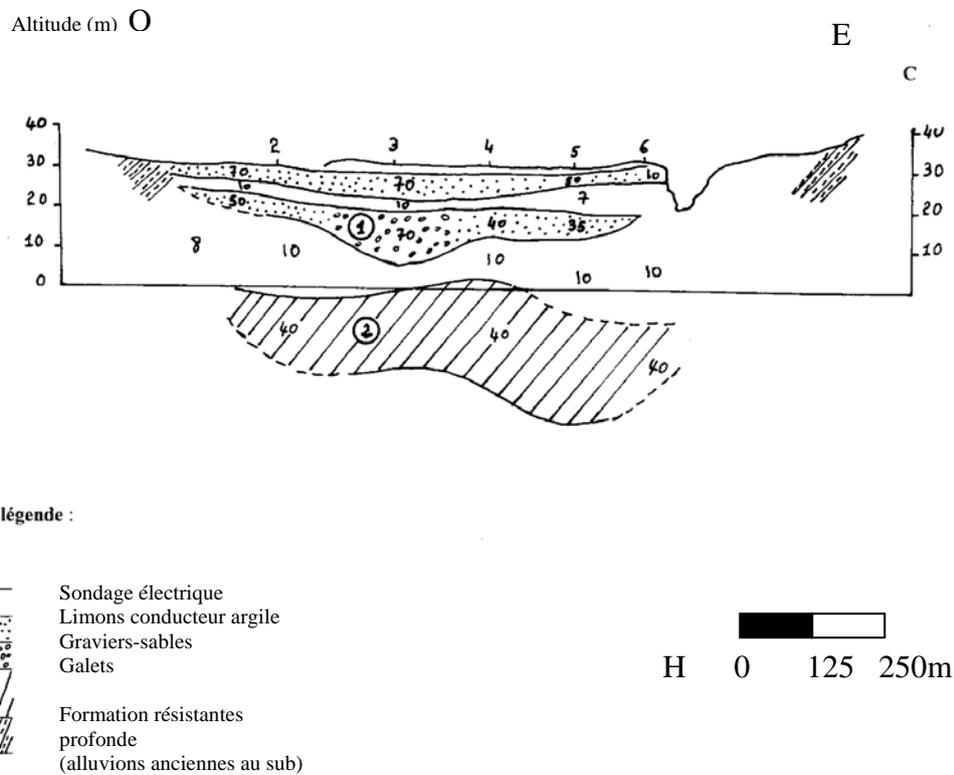
Cependant, il est probable que ces résistivités peuvent être plus élevées lorsque les alluvions sont plus grossières.

**IV.1.3. Examen des coupes :**

Hormis la difficulté signalée, ci-dessus qui se limite à la bordure de Koudiet El Gabaich, une autre difficulté d'interprétation qualitative et quantitative de SEV se trouve d'une façon plus générale sur la plupart des coupes. En effet, si l'on regarde les sondages électriques verticaux B<sub>4</sub>, C<sub>4</sub>, D<sub>3</sub> (fig N=°07 à N=°09) par exemple, on voit que la cloche résistante finale se décompose en deux parties séparées par un conducteur et dont la première peut être attribuée avec une quasi-certitude aux alluvions aquifères (niveau 1) et dont la seconde peut être assimilée soit à des alluvions anciennes plus profondes, soit à un banc de grés ou de poudings, soit à l'un et l'autre à la fois (niveau 2 : Fig. 10)



**FigN.09. Coupe géoélectrique R.Djamel**



**Fig.10. Coupe géoélectrique R.Djamel**

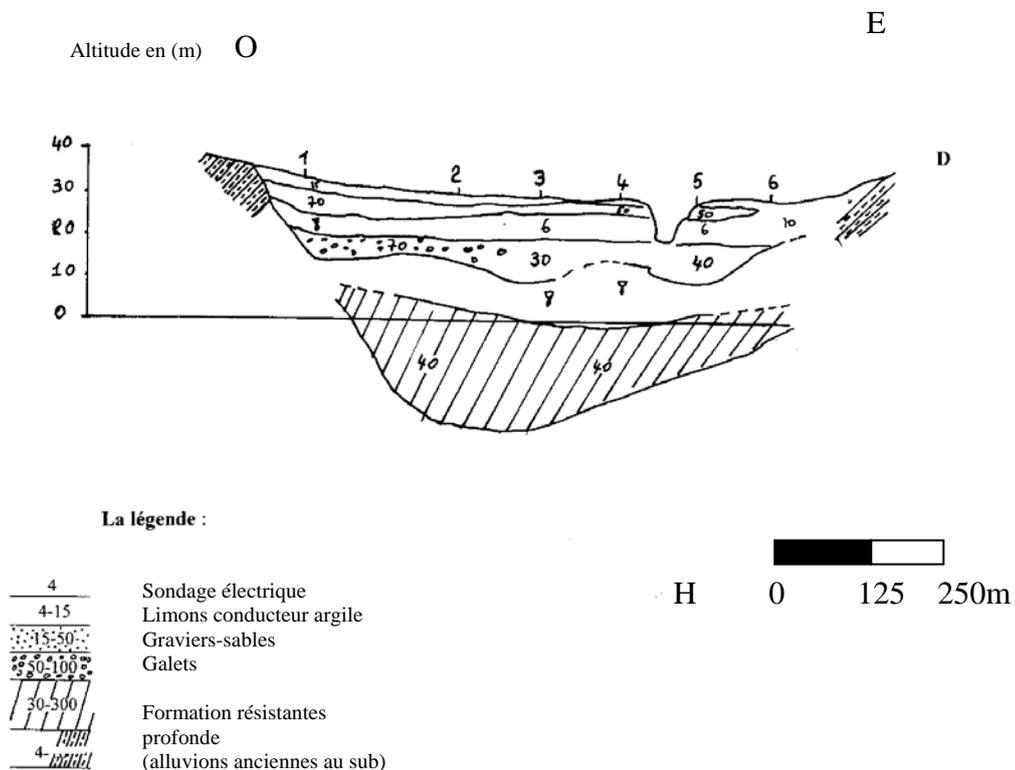
l'allure du niveau profond 2 est telle qu'on peut se demander s'il ne correspond pas à un remplissage ancien. La coupe D est caractéristique à cet égard. Si l'on admettait que la totalité du niveau 2 correspond à des alluvions, il faudrait alors admettre une épaisseur totale de remplissage alluvial de l'ordre 50 à 60 m. Cette épaisseur pourrait paraître trop importante, mais d'autres oueds côtiers, par exemple, comportent des épaisseurs assez voisines.

En réalité, ce niveau profond constitue un remplissage alluvial qui se réduit au niveau 1, c'est à dire à une épaisseur totale de l'ordre de 20-30m dans lequel il n'y'a aurait que 10-15m d'éléments grossiers. Dans la partie ouest, le niveau 1 est plus réduit et son épaisseur dépasse rarement 10m .

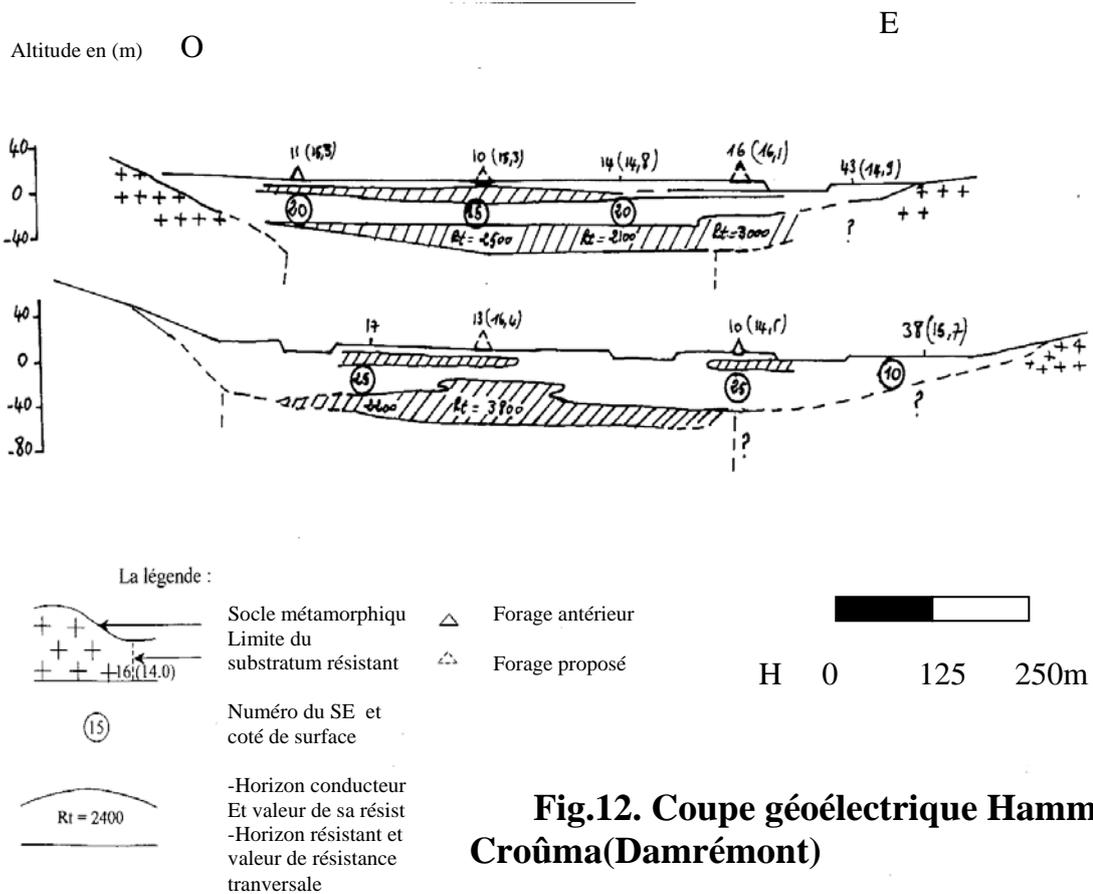
**IV.2. La zone de Hammadi Krouma :**

Les SEV, situés sur les plages résistantes de la cartes des résistivités en AB = 400m, l'interprétation des diagrammes se limite à la détermination du contact entre la tranche conductrice du recouvrement et un ensemble résistant englobant les niveaux d'alluvions grossiers et le socle schisteux sous-jacent.

L'examen des coupes géoélectriques montre que la résistivité de la couverture conductrice varie de 8 à 25 ohm.m. Son épaisseur maximum est estimée à 40 à 48 m. Celle des différents horizons résistants est difficile. Elle a été déduite de la résistance transversale en choisissant une résistivité de 100 ohm.m ( $h = R/100$ ). En fin, les limites approximatives entre



**Fig.11. Coupe géoélectrique R.Djamel**



**Fig.12. Coupe géoélectrique Hammâdi - Croûma(Damrémont)**

substratum résistant et conducteur sont tirées de l'interprétation de la carte des résistivités. Elles suivent la courbe d'égalité de résistivités 40 ohm.m.

**IV.2.1. Nature du substratum :**

Le substratum résistant correspond sans aucun doute aux schistes métamorphiques affleurant de part et d'autre de la vallée. Par contre, on ne connaît pas l'âge du remplissage conducteur occupant la partie médiane de la vallée et formant le substratum imperméable de celle-ci. Sa résistivité varie du Sud vers le Nord de 2 à 30 ohm.m. Ce qui indique une nature essentiellement marneuse avec des intercalations détritiques surtout vers le Nord. Il s'agit soit

d'argiles et grés numidiens ou d'argiles et sables argileux du Pliocène, soit d'un petit golf Miocène.

#### **IV.2.2. Nature des alluvions :**

La partie supérieure de la couverture alluviale conductrice est formée essentiellement d'argiles à passés sableux ou de sables et graviers très argileux. Les horizons résistants correspondent à des alluvions plus grossières parmi lesquelles des niveaux de graviers et galets (Fig N=° 11).

#### **IV.2.3. Forages de reconnaissance :**

Dans la majeure partie de la zone étudiée, l'épaisseur des alluvions graviers ne paraît guère plus importante que dans la zone des forages existants. Pour orienter une nouvelle reconnaissance, on peut suggérer d'implanter des forages au droit des sondages 10 et surtout du sondage 13 où les niveaux résistants les plus importants ont été mis en évidence (Fig N=° 11).

## **HYDROGEOLOGIE**

### **V.1.Introduction :**

Le but de l'aperçu hydrogéologique est d'identifier la géométrie, les paramètres hydrodynamiques, la nature lithologique et les conditions aux limites du système aquifère. L'étude hydrogéologique est menée dans le but de comprendre les processus d'alimentation des aquifères, de connaître les sens d'écoulement, la variation du gradient hydraulique et les autres caractéristiques hydrodynamiques (transmissivité, perméabilité, coefficient d'emménagement). Ce qui permettra de mieux visualiser la répartition horizontale et l'évolution verticale des systèmes hydrogéologiques (Nappes).

### **V.2.Inventaire des forages et des puits :**

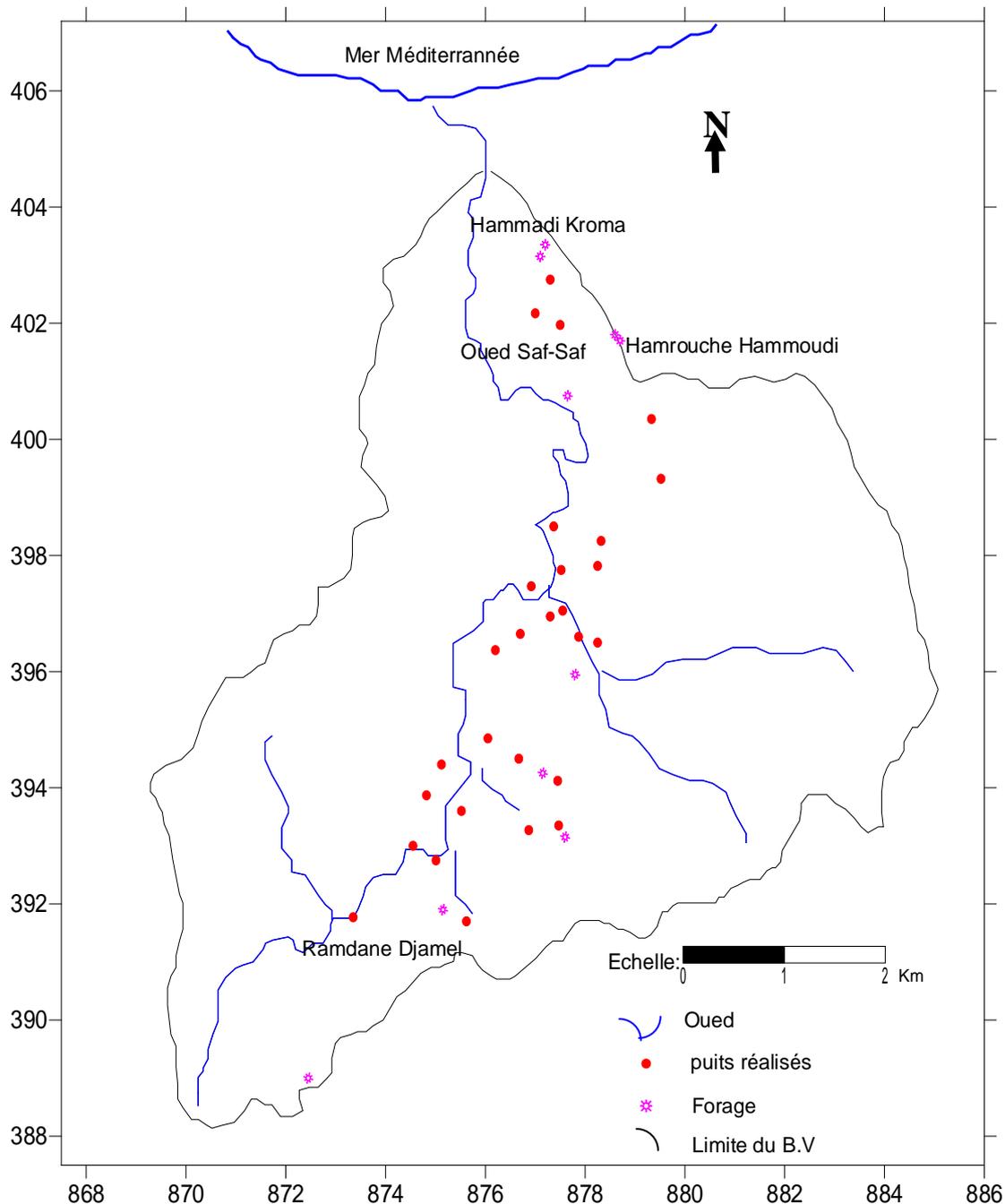
Les forages existants dans la zone d'étude totalisent 31 ouvrages réalisés le long de la basse vallée de l'Oued Saf-Saf. Parmi ces forages il y a 10 possédant les caractéristiques hydrodynamiques. Ces forages utilisés, sont à l'exploitation A.E.P, soit à l'exploitation industrielle, soit à l'irrigation.

On dénombre 28 puits au total répartis entre les particuliers, la commune et les domaines agricoles. De part leur appartenance, leur fonction se résume aux besoins en eau potable (alimentation des propriétés individuelles) et en eau d'irrigation des terres cultivées.

N de puits	x	y	z	profondeur de l'eau	niveau piézométrique
1	873,35	391,77	30	8,25	21,75
2	875,01	392,75	30	11,5	18,5
3	874,82	393,87	25	4,3	20,7
4	875,12	394,4	25	6,5	18,5
5	874,55	393	45	1,2	43,8
6	876,92	397,47	20	8,2	11,8
7	877,52	397,75	23	10,3	12,7
8	877,37	398,5	23	7,2	15,8
9	879,52	399,32	16	8,25	7,75
10	879,33	400,35	18	4,2	13,8
11	877,3	402,75	8	6,4	1,6
12	875,52	393,6	50	3,2	46,8
13	875,62	391,7	57	3,1	53,9
14	876,87	393,27	30	1,62	28,38
15	877,45	394,12	90	2,9	87,1
16	877,47	393,35	40	1,6	38,4
17	876,67	394,5	45	4,2	40,8
18	876,05	394,85	35	2,5	32,5
19	876,2	396,37	25	9,5	15,5
20	876,7	396,65	15	6,1	8,9
21	877,3	396,95	50	6,9	43,1
22	877,55	397,05	25	2,75	22,25
23	877,87	396,6	25	2,6	22,4
24	878,25	396,5	30	2,3	27,7
25	878,25	397,82	20	5,2	14,8
26	878,32	398,25	20	3,9	16,1
27	877	402,17	20	3,6	16,4
28	877,5	401,97	25	2,8	22,2

**Tableau.13. Relevées des niveau piézométrique dans les puits**

**(période avril2006)**



**Fig.13. Carte d'inventaire des points d'eau de la basse vallée du Saf-Saf**

### **V.3.Coupes hydrogéologiques :**

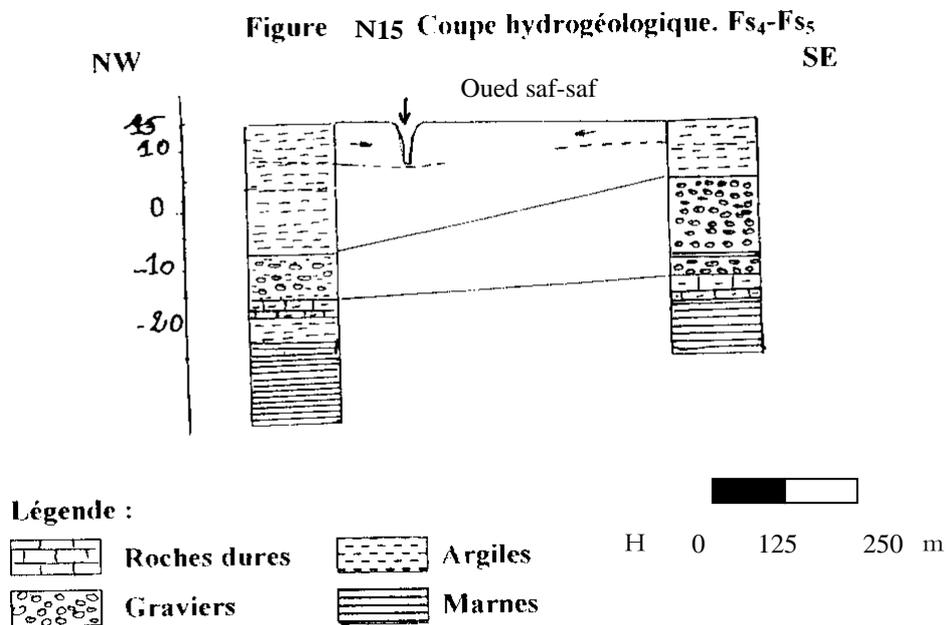
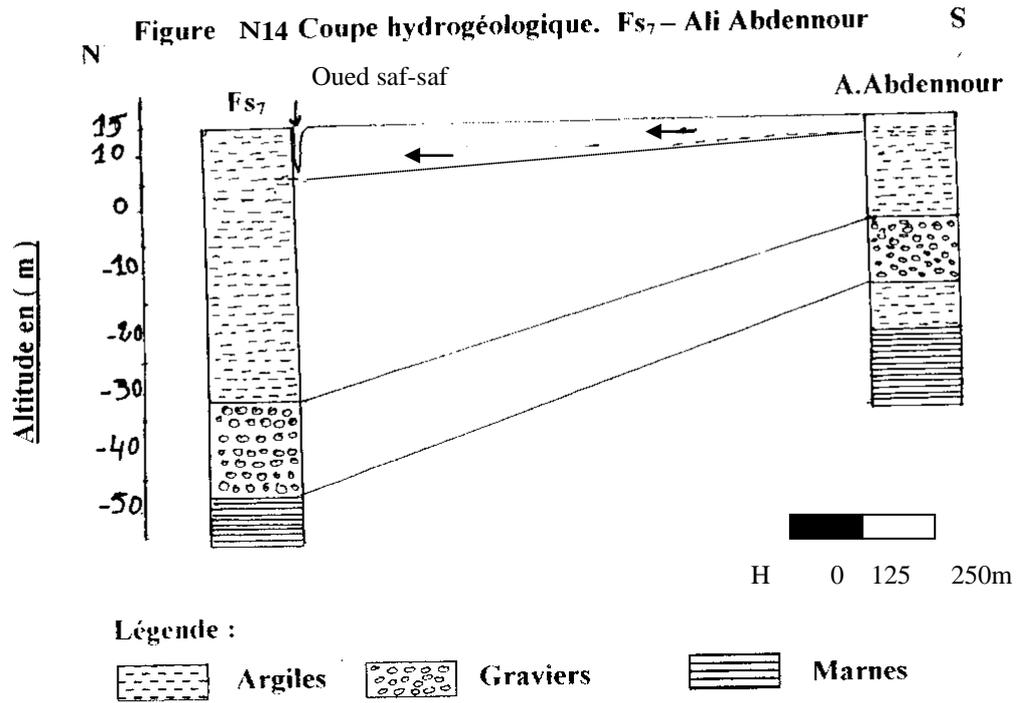
L'étude de la nature de l'aquifère nécessite l'établissement des coupes hydrogéologiques afin de représenter toutes les couches traversées par les forages et connaître la géométrie de l'aquifère et son évolution spatiale (latérale et verticale).

**V.3.1. Coupe hydrogéologique. FS 7 – Ali Abdennour :**

Cette coupe, ayant une orientation N-S, a été établie à partir d'un profil qui passe par les 2 forages existants aux abords de l'oued Saf-Saf. Nous remarquons une couche aquifère principale composée par des graviers recouverte par un toit argileux. L'ensemble repose sur un substratum marneux et argileux. L'épaisseur du toit augmente du S au N entre les forages FS 7 et Ali Abdennour. L'épaisseur de la nappe des graviers varie entre 16 m au niveau du forage FS 7 et 11 m au niveau du forage Ali Abdennour.

**V.3.2. Coupe hydrogéologique FS 4 – FS 5 :**

Cette coupe, dressée à partir des 2 forages FS 4 et FS 5 au niveau de Soltane Azouz, a une orientation NW-SE. Elle montre une couche aquifère (graviers) limitée en haut par un toit argileux et en bas par un substratum composé de marnes, d'argiles et de roches dures (probablement les grés du numidien). L'épaisseur du toit augmente légèrement du NW vers le SE.

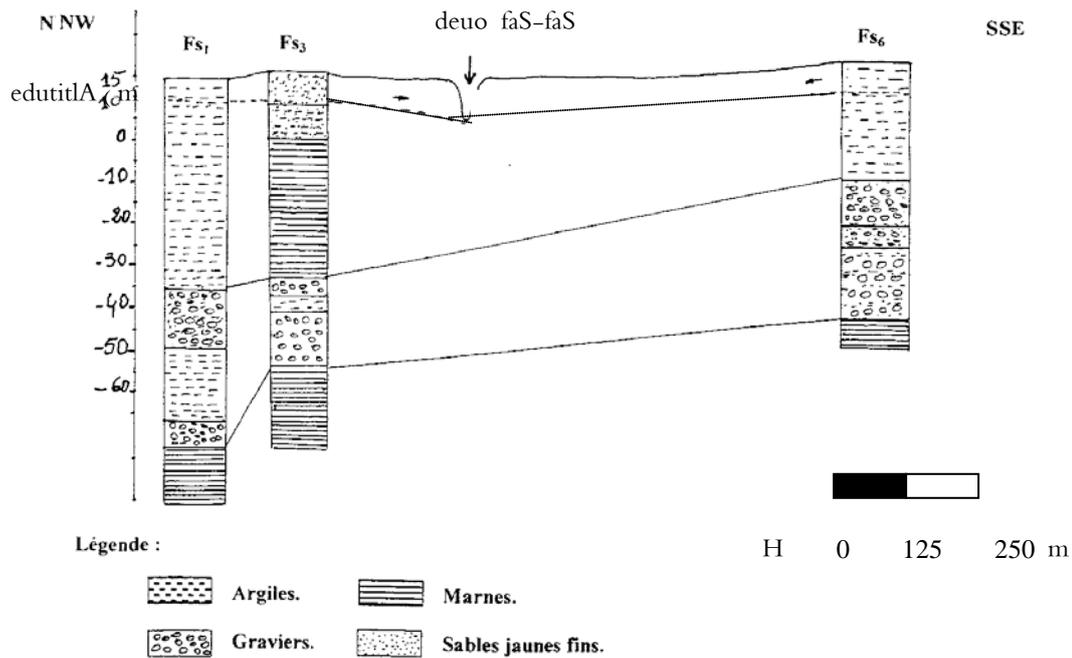


**V.3.3. Coupe hydrogéologique FS 1 – FS 3 – FS 6 :**

Le profil, orienté du NNW vers le SSE, a été établi à partir des forages FS 1 – FS 3 – FS 6, situés entre Soltane Azouz et Hamrouche Hammoudi, la couche aquifère est composée de graviers. La continuité verticale des graviers s'interrompt par un lit argileux dont l'épaisseur devient de plus en plus importante (15 m environ) au niveau du forage FS1 au NNW. L'épaisseur du toit augmente légèrement du SSE vers le NNW.

A partir de l'interprétation des coupes on constate que les formations aquifères sont en générale des galets, graviers et sables. L'épaisseur diminue en allant de l'Est vers l'Ouest (tous les forages sont situés en rive droite de l'oued Saf-Saf) et du Nord vers le Sud.

En comparant les résultats des coupes réalisées à partir des forages et les coupes géoélectriques, on retient que cette partie de la vallée du Saf-Saf se caractérise par la superposition de deux nappes d'importance inégale. La nappe des graviers (ou nappe captive) et la nappe superficielle, constituée essentiellement d'élément plus fin formant, par le toit de la première nappe. Ces deux nappes sont séparées par un horizon résistant plus ou moins argileux. L'ensemble repose sur un substratum à dominance marneuse.



**Fig.16. coupe hydrogéologique : F<sub>s1</sub>, F<sub>s3</sub>, F<sub>s6</sub> :**

L'épaisseur de la nappe libre est détectée par une batterie de puits creusés, par les particuliers, de part et d'autre de l'oued Saf-Saf. Cette épaisseur, relativement plus importante aux abords de l'oued, diminue progressivement au fur et à mesure que l'on s'y éloigne (zones de Koudiet Gbaich, Mechtet Kef El Mefrouch au Sud-Ouest et zone de Mechtet Gourbedj, au Nord-Ouest). La majorité des puits creusés sont moins profonds que ceux situés à proximité de l'oued.

La nappe captive, ou nappe des graviers, beaucoup plus profonde n'est atteinte que par les forages. Elle constitue le plus grand réservoir d'eau souterraine de la basse vallée du Saf-Saf. L'épaisseur des formations perméables (galets, graviers et sables) varie de 10 à 40 m. La puissance de cette nappe est remarquablement intéressante en rive gauche de l'oued Saf-Saf ; ce qui explique la forte densité des forages d'exploitation dans cette partie de la vallée.

#### **V.4.PIEZOMETRIE :**

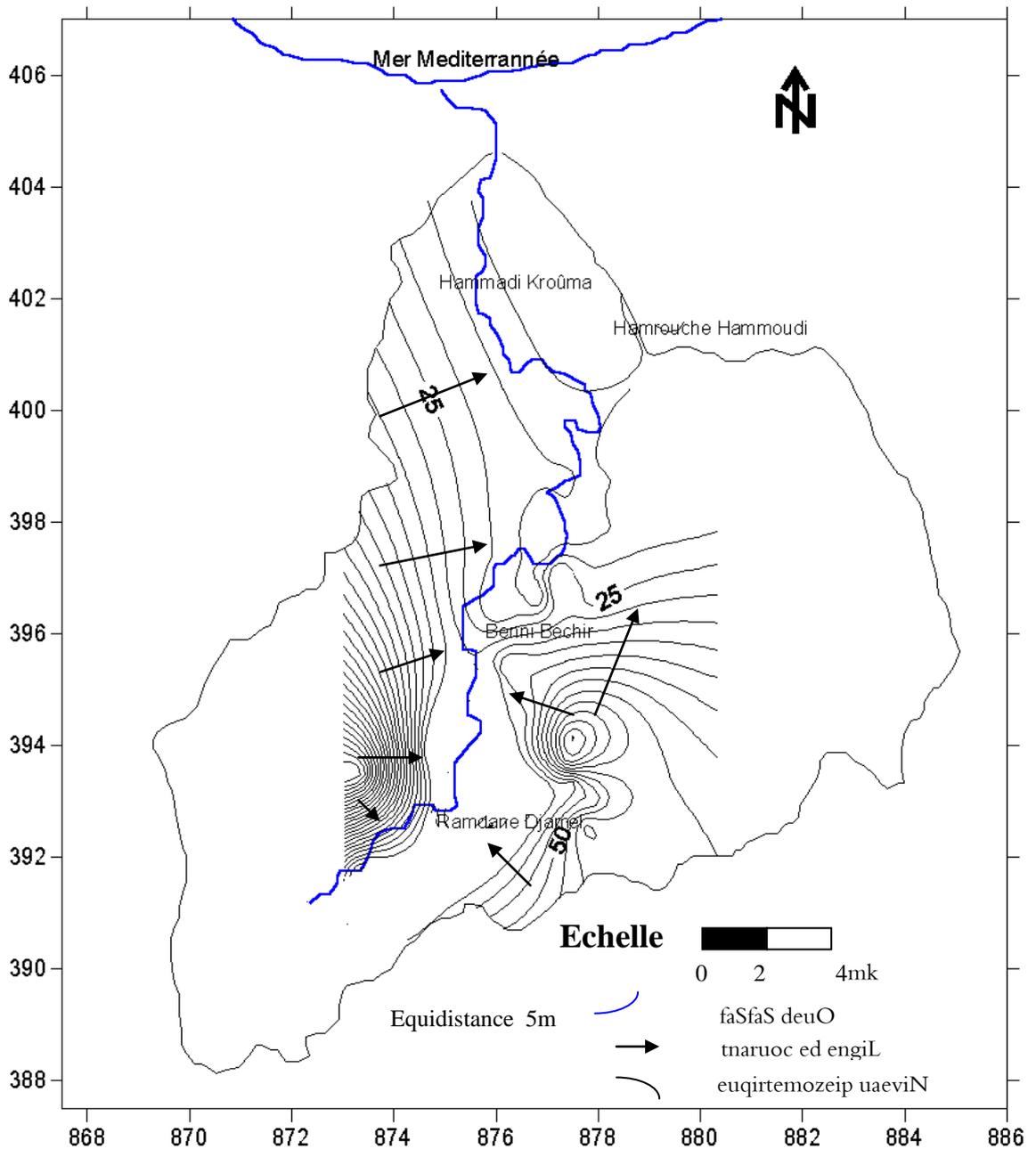
La carte piézométrique a pour but de représenter la configuration de l'aquifère et de schématiser la morphologie du réservoir. Elle permet de vérifier certains paramètres hydrodynamiques (gradient hydraulique, perméabilité etc..). Elle traduit la morphologie de la surface de l'eau de la nappe à une époque déterminée. Dans cette optique, une campagne piézométrique a été élaborée au cours de la présente étude (plus précisément au mois d'avril 2006). Cette campagne ne concerne fort malheureusement que la nappe superficielle ; les forages profonds étant en exploitation ou fermés. Les données de la campagne piézométrique sont consignées au (tableau N° 13) .

##### **V.4.1. Interprétation de la carte piézométrique :**

La carte piézométrique a été établie pour l'ensemble du bassin versant de la basse vallée de l'oued Saf-Saf en tenant compte du niveau piézométrique de tous les puits. L'interprétation de cette dernière montre deux zones principales : une au Sud et l'autre au Nord.

La partie Sud montre des isopièzes concentriques limitée au Sud-Ouest par Koudiet El Gabaich et au Sud-Est par Kef el Mefrouch. Toutes les lignes de courant tendent vers l'oued où ce dernier draine la nappe avec un gradient hydraulique fort au Sud-Ouest du bassin où les courbes isopièzes sont trop serrées. La partie Sud-Est se démarque par des courbes plus ou moins espacées indiquant des gradients hydraulique plus faibles et un domaine relativement plus perméable et transmissif caractérisant la région de Beni Béchir.

Au Nord, les courbes apparaissent trop espacées et montrent un gradient très faible d'où une perméabilité élevée avec un sens d'écoulement toujours vers l'oued.



**Fig.17. Carte piézométrique de la basse vallée du Saf-Saf  
(periode avril2006)**

On doit enfin signaler qu’au niveau de la basse vallée, l’oued Saf-Saf draine la nappe superficielle en tout point pendant la période des hautes eaux.

### V.5.Détermination des caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère :

L'estimation des caractéristiques hydrodynamiques est nécessaire pour évaluer l'hydrodynamisme de l'aquifère. Donc, il est nécessaire d'évaluer les paramètres importants tels que la transmissibilité et la perméabilité.

Par manque de piézomètres, on n'a pas pu avoir les données de mesure pour calculer le coefficient d'emménagement.

Forage	x	y	T(m <sup>2</sup> /s)	E(m)	K(m/s)
Skikda F5	872.450	387.250	$3.8 \cdot 10^{-2}$		
R.djamel N° 2	875.150	391.900	$2.3 \cdot 10^{-3}$		
Sogédia N° 2	877.600	393.150	$4.2 \cdot 10^{-4}$	18	$2.3 \cdot 10^{-4}$
Beni-Bechir N°1	877.150	394.250	$5.5 \cdot 10^{-3}$	20	$2.7 \cdot 10^{-4}$
Beni-Bechir N°2	877.800	395.950	$2.37 \cdot 10^{-3}$	12	$1.97 \cdot 10^{-4}$
H.Hamrouche	878.400	403.350	$3.7 \cdot 10^{-3}$	45	$8.2 \cdot 10^{-5}$
U.T.E	878.200	403.150	$3.8 \cdot 10^{-4}$	31	$1.2 \cdot 10^{-5}$
F.S.2	878.600	401.800	$1.8 \cdot 10^{-3}$	20	$9 \cdot 10^{-5}$
F.S.3	878.700	401.700	$1.27 \cdot 10^{-3}$	21	$6.04 \cdot 10^{-5}$
F.S.4	877.650	400.750	$4.5 \cdot 10^{-3}$	32	$1.68 \cdot 10^{-5}$
Moyenne géométrique			$2.4 \cdot 10^{-3}$		$7.5 \cdot 10^{-5}$

**Tableau.14. Inventaire des transmissivités et des perméabilités**

**V.5.1. La transmissivité (tableau N° 14) :**

En dépit des conditions d'essai pas toujours satisfaisantes, les valeurs de transmissivité obtenues par la méthode de Jacob sont relativement proches et traduisent une certaine homogénéité et cela au niveau de tous les forages. Les valeurs de la transmissivité varient de  $3,8 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$  au forage F5 (Skikda) et  $3,8 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  au forage FS2 (à Hamrouche Hamoudi). Moyennant une valeur de l'ordre de  $2,4 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ , la transmissivité décroît de Ramdane-Djamel vers Skikda suite à l'accumulation d'alluvions de plus en plus fines au fur et à mesure que l'on se rapproche de la plus grande zone d'accumulation, plus précisément, la partie de la vallée située entre Bountous et la zone industrielle.

**V.5.2. La perméabilité (tableau N° 14) :**

Définie par le rapport de la transmissivité à l'épaisseur de l'aquifère, les valeurs de la perméabilité s'échelonnent entre  $1,97 \times 10^{-4} \text{ m/s}$  et  $1,2 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ ; les plus élevées se concentrant au Sud de la zone étudiée (secteur Ramdane Djamel-Béni Béchir :  $1,97$  à  $3 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ ). Plus au Nord, la valeur moyenne de  $3,8 \times 10^{-5} \text{ m/s}$  traduit l'existence de formations moyennement perméables zone de Hamrouche Hammoudi).

Les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère (transmissivité et porosité efficace ou le coefficient d'emménagement) sont les facteurs les plus importants dans la localisation et l'estimation des réserves en eaux souterraines. On constate que la plupart des valeurs des transmissivités entre  $5,4 \times 10^{-4}$  et  $3,8 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$  (voir tableau N° 14) traduisant aussi des zones peu perméables. L'épaisseur moyenne de l'aquifère est de l'ordre de 16 m.

## V.6. Estimation des réserves souterraines :

Une fois les caractéristiques géométriques, lithologiques et hydrodynamiques de réservoir souterrain sont plus ou moins connues, il devient facile de donner une estimation des réserves en eau souterraines. Ces réserves peuvent être classées-en :

- réserves permanentes-réserves totales
- réserves régulatrices-réserves exploitables

Pour la nappe libre les réserves ( $W_{NL}$ ) sont estimées à partir de l'épaisseur moyenne de l'horizon aquifère ( $E_m$ ) et de la porosité efficace ( $n_e$ ) par :

$$W_{NL} = V \cdot n_e = E_m \cdot A \cdot n_e$$

où  $V$  dénote le volume de l'horizon saturé et  $A$  est son extension.

Pour la basse vallée de l'oued Saf-Saf, la superficie planimétrée des alluvions formant la nappe superficielle est de l'ordre de 65.5 km<sup>2</sup> et l'épaisseur moyenne, estimée à partir des coupes géoélectriques et des log-statigraphiques des forages, de l'horizon aquifère est de l'ordre de 23 m. Si on admet une porosité efficace de 10 % pour les alluvions fines (Castany, 1962), alors la réserve totale s'estime à 150 hm<sup>3</sup>.

La réserve régulatrice, représentant le volume d'eau contenue dans la zone de fluctuation de la surface piézométrique, ne peut être estimée avec précision car on manque d'observations continues sur une période assez longue du niveau piézométrique aussi bien pour la nappe libre que pour le réservoir semi-captif. Néanmoins, pour des fins d'exploitation, il est possible de donner une idée sur les volumes exploitables. Si on admet qu'on peut limiter l'exploitation ( $V_{exp}$ ) à la quantité d'eau infiltrée annuellement ( $I$ ), alors ce volume vaut :

$$V_{exp} = A \cdot I$$

Soit : 5.24 hm<sup>3</sup>/an.

En ce qui concerne la nappe captive, ou plus exactement semi-captive, il est difficile de donner une estimation de ses réserves. Toutefois, si l'on considère que l'alimentation de cette nappe se fait par percolation à partir de la nappe superficielle et fonctionne donc comme un système libre, les réserves totales de ce complexe de graviers et galets s'estiment à  $260 \text{ hm}^3$  compte tenu des données suivantes :

- $n_e = (17-18 \%)$  pour les galets et les graviers (Castany 1962 )
- $A = 65.5 \text{ km}^2$
- $E_m = 16 \text{ m.}$

### **V.7. Conclusion:**

On doit enfin noter que la nappe des graviers est actuellement exploitée par des forages débitant au total  $375 \text{ l/s}$  mais le rythme de pompage n'est pas connu. Ce qui empêche de se prononcer sur le rythme d'exploitation réelle de la nappe. De même la nappe superficielle est exploitée par des puits domestiques appartenant à des particuliers qui ignorent totalement le rythme d'exploitation et par conséquent le débit sortant de l'aquifère.

## HYDROCHIMIE

L'analyse hydrochimique est indispensable pour compléter toute étude hydrogéologique. Elle a pour but principal la connaissance des faciès chimiques, des origines, de la potabilité, du degré de pollution et de l'utilisation des eaux.

Parmi les paramètres physico-chimiques généralement étudiés pour les eaux souterraines on peut citer les paramètres physiques (température, pH, conductivité...etc.) et les paramètres chimiques (éléments majeurs :cations et anions et éléments en traces ou indicateurs de pollution)

### **VI.1. Les eaux souterraines :**

Les résultats des analyses des échantillons prélevés durant la période des basses eaux (Août-Octobre, 1990) indiquent que les eaux de la basse vallée du Saf-Saf sont à dominance Chlorurées-Sodiques (tableau N° 15). Ces eaux sont fortement minéralisées (minéralisation globale moyenne de l'ordre de 1350 mg/l). Cette forte minéralisation, liée à la teneur élevée en chlorures (545 mg/l) entraîne une salinité relativement élevée (conductivité électrique : 1475  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). De plus, les eaux souterraines se démarquent par une dureté trop élevée (TH : 567 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ ).

Du point de vue potabilité, les eaux souterraines sont généralement acceptées selon les normes de l'OMS (minéralisation globale inférieure à 1500 mg/l).

SiO <sub>2</sub>	Ca	Mg	Na+K	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	pH	CE	M	Durété mg/l CaCO <sub>3</sub>	
mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	-	µS/cm	mg/l	TH	DNC
Basse vallée du Saf-Saf : Valeurs moyennes (Période : Août-Octobre 1991) Source : Mehalli et al, 1991											
10.3	85.0	84	<b>312</b>	281	165	<b>545</b>	8	1450	1345	<b>567</b>	504
Oued Saf-Saf: : Valeurs moyennes (Période : Juin-Août 1984) Source : Archives de l'ANRH de Constantine											
-	<b>100</b>	36	62	-	<b>290</b>	89	-	-	-	-	-
Oued Saf-Saf: : Valeurs moyennes (Période : Décembre - Février 1985/1986) Source : Archives de l'ANRH de Constantine											
-	<b>80</b>	24	42	-	<b>145</b>	64	-	-	-	-	-

**Tableau .15. Données hydrochimiques (Basse vallée de l'oued**

**Saf-Saf)Sources : variées**

## **VI.2. Les eaux superficielles :**

D'après l'étude de Mehalli et al, 1991, les eaux de l'oued Saf-Saf sont généralement Sulfatées-Calciques. Les concentrations élevées (Ca : 100 mg/l et SO<sub>4</sub> : 290 mg/l) durant l'été (Juin-Août) décroissent progressivement pour atteindre les minima en hiver (Ca : 80 mg/l et SO<sub>4</sub> : 145 mg/l). Cette diminution est due essentiellement à une dilution par les eaux de pluies.

Les résultats des analyses des eaux de l'oued effectuées au niveau du barrage de Zardézas par l'ANRH de Constantine ont mis en évidence les fortes teneurs en sulfates au point de présenter parfois des effets laxatifs (concentration en  $\text{SO}_4$  supérieure à 600 mg/l dans moins de 2 % des cas). Ces fortes teneurs en  $\text{SO}_4$  pourraient provenir de l'oxydation en contact de l'eau du soufre de la pyrite contenue dans les roches sédimentaires.

Enfin, on note que la salinité moyenne des eaux de l'oued Saf-Saf, exprimée en minéralisation (1200 mg/l), est étroitement liée aux teneurs en sels de Chlorure de Sodium ( $\text{Cl}^-$  : 64 mg/l et  $\text{Na}^+$  : 42 mg/l).

Du point de vue agricole, les différents critères d'aptitude de la qualité de l'eau à l'irrigation, les paramètres indiquent que les eaux de l'oued Saf-Saf peuvent être considérée comme bonnes pour l'irrigation. Néanmoins, les valeurs de la salinité potentielle (SP), définie par la somme, exprimée en mé/l, des ions  $\text{Cl}^-$  et la moitié des ions  $\text{SO}_4$ , limitent l'utilisation de ces eaux aux sols à moyennes et bonne intensité de percolation (Doneen, 1961). Les valeurs de la SP varient entre 4.64 et 4.75 mé/l durant la période des basses eaux (Juillet-Septembre) sont inférieures à la valeur limite de 10 mé/l.

Contrairement aux eaux superficielles, l'étude statistique de plus de 100 analyses (Mehalli et al., 1991) indique que les eaux souterraines, fortement chargées (minéralisation globale de l'ordre de 1345 mg/l en basses eaux), peuvent être généralement classées comme bonnes à admissibles pour l'irrigation.

Du point de vue Sodicit , le pourcentage de l'élément  $\text{Na}^+$ , ne représentant généralement pas l'effet du Sodium sur les sols, ne peut être utilisé comme un critère de classification des eaux pour l'irrigation. Par conséquent, le taux d'adsorption du sodium (SAR) et le pourcentage d'échanges de  $\text{Na}^+$  (ESP) constituent les paramètres les mieux appropriés. Les anciens résultats (Mehalli et al., 1991) montrent que dans 90 % des cas, le SAR et l'ESP sont respectivement inférieurs ou égaux à 11.5 et 15. De telles valeurs indiquent que les eaux souterraines dans le bassin du Saf-Saf sont de bonnes qualités pour l'agriculture.

### **VI.3. Pollution :**

L'analyse des résultats montre que seul le plomb constitue un indice de pollution potentielle dans les puits analysés au cours des basses eaux 1990 (Mehalli, 1991). La concentration de ce dernier, variant entre 0.3 et 0.6 mg/l, dépasse les normes de l'OMS (le maximum admissible est de 0.1 mg/l). De plus les fortes teneurs en  $\text{NH}_4$  dans les eaux superficielles indiquent que l'oued Saf-Saf est fortement pollué par les eaux résiduaires.

On note que parmi les éléments indicateurs de pollution, à défaut de données, les nitrates, présente à faible quantité, se manifestent par des teneurs dépassant les normes de l'OMS dans seulement 2 % des cas observés.

Enfin une autre source de pollution pourrait être l'invasion marine à l'aval de Hammadi Krouma et Hamrouche Hammoudi. Pour cela, des échantillons pris dans des puits et au niveau de l'oued, endroits suspectés d'être pollués par la mer, ont été analysés. A défaut d'autres indices,

l'examen des résultats montre que ce phénomène se fait sentir à partir de Hammadi Kroûma où le rapport Chlorure-Bicarbonate est nettement supérieur à 1. De plus les valeurs de la conductivité électrique confirme cette hypothèse (Mehalli,1991). Des études beaucoup plus approfondies permettraient d'élucider le problème du biseau salé dans cette partie de l'aquifère

#### **VI.4. Conclusion :**

La composition physico-chimique est influencée par les précipitations et l'évapotranspiration d'une part, et les formations géologiques encaissantes, d'autres part.

Les eaux dans la basse vallée du Saf-Saf peuvent être qualifiées de potables selon les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé. Cependant l'étude des éléments toxiques a révélé des teneurs en Plomb beaucoup plus élevées en période de basses eaux. Ces concentrations pourraient indiquer une source de pollution d'origine industrielle qui mérite d'être suivie.

Vers le Nord de la basse vallée, le problème du biseau salé demeure posée. A cet effet, des études complémentaires s'imposent. L'installation d'une batterie de piézomètres à des profondeurs variables le long de la côte, allant de paire avec des analyses chimiques périodiques permettent de mieux cerner ce problème.

## **ANALYSE HYDRODISPERSIVE**

Les eaux souterraines constituent une ressource de qualité généralement meilleure a celle des eaux de surface grâce à la protection naturelle des couches de sol sous jacentes et aux propriétés filtrantes des terrains. Cependant, l'accroissement des causes de pollution (rejets d'usines, excès d'engrais ou de pesticides, ...etc.) est tel que l'enfouissement de l'eau dans le sous-sol n'est plus un gage suffisant de pureté.

La migration des produits nocifs, matières organiques et sels dissous , entraînés par l'eau en mouvement, est régie par la convection, la dispersion (diffusion moléculaire et dispersion mécanique), par les échanges physiques avec le milieu et les réactions chimiques et biologiques. Les deux premiers phénomènes sont la cause du déplacement des produits dans la nappe, les suivants sont plutôt une cause de destruction, ou au moins de retard , mais leur influence relative tend à s'atténuer avec l'accroissement des quantités de polluants déversés dans les aquifères.

Le mouvement de l'eau dans un milieu poreux (transfert ou déplacement de l'eau) est régi par des phénomènes de convection et de dispersion, indépendant de tout transport de matière par l'eau (par exemple, migration de solutés), convection et dispersion de l'eau entraînent la migration et la dispersion des matières transportées.

La connaissance de la vitesse effective de l'eau et de la dispersivité du milieu sur l'eau est le préalable nécessaire à l'évaluation de sa porosité effective et de sa dispersivité (qui pourraient éventuellement différer alors quelque peu) sur des substances transportées .

Le travail présenté dans ce chapitre se divise en deux grandes parties :

-Analyse théorique.

-Dispositifs expérimentaux.

### **VII.1. Analyse théorique :**

L'objectif de ce chapitre est de rappeler les bases théoriques de l'écoulement d'eau et du transport de solutés dans les milieux poreux variablement saturés.

#### **VII.1.1. NOTIONS CONCERNANT LE MILIEU POREUX :**

Le milieu poreux est l'ensemble de grains solides ou d'agrégats autour desquels existent des espaces vides appelés pores, qui peuvent être interconnectés ou non.

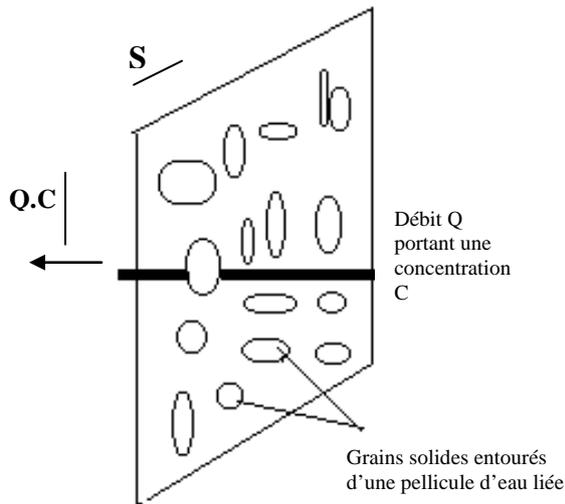
#### **VII.1.2. physique des transferts :**

**VII.1.2.1. la convection :** la convection représente l'entraînement des éléments en solution dans le mouvement du fluide qui se déplace. Le soluté est transporté par le mouvement général de l'eau, à la vitesse définie par la loi de Darcy.

**VII.1.2.2. La Loi de Darcy :** la loi de Darcy indique que l'écoulement d'un liquide (débit) à travers d'un milieu poreux se fait dans la direction de la force motrice : le gradient de charge hydraulique agissant sur le liquide. Le débit dépend aussi d'une caractéristique fondamentale du sol : la conductivité hydraulique.

#### **VII.1.2.3. Porosité cinématique :**

La section réelle  $S_r$  au travers de laquelle le flux d'éléments dissous passe est inférieure à la section géométrique  $S$  car il faut tenir compte de l'existence des grains solides et d'une fraction d'eau dite « immobile » qui ne participe pas à l'écoulement. On définit donc une porosité dite cinématique qui correspond à la fraction d'eau mobile dans le milieu poreux, et qui est bien sûr inférieure à la porosité totale ; c'est le rapport de la section réelle d'écoulement à la section totale :



**Flux de convection en kg/unité de temps**

$$\Phi_{\text{conv}} = Q.C = (\omega_c \cdot S)u . C$$

$\Phi$  est le flux d'eau traversant la section  $S$   
(en  $\text{m}^3/\text{unité de temps}$ ).

$C$  est la concentration (en  $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

$\omega_c$  est la porosité cinématique.

$U$  est la vitesse de l'eau (en  $\text{m}/\text{s}$ )

**VII.1.2.4. Vitesse effective :** la vitesse moyenne  $u$  du fluide participant à l'écoulement (moyenne effectuée sur la portion  $\omega\Delta s$  de la section totale  $\Delta s$ ) est appelée vitesse effective ou encore vitesse moyenne de pore .

Elle diffère fondamentalement de la vitesse apparente de darcy qui est une vitesse fictive ramenée à la section totale  $\Delta s$ , et conduisant au même débit.

Entre ces deux vitesses, existe la relation :

$$u . (\omega\Delta s) = q = v\Delta s \text{ où } q \text{ est le débit transitant par le tube de courant, d'où :}$$

$$u = v/\omega$$

$v$  : vitesse de darcy

$\omega$  : porosité cinématique

$u$  : vitesse effective.

**VII.1.2.5. Dispersion :** la notion de dispersion a été introduite par Bear (1972).

La dispersion hydrodynamique est un phénomène par lequel une substance migre dans le sol . En se déplaçant, l'espèce chimique se dilue (effet de mélange) et s'étale pour occuper un volume plus grand avec une concentration corrélativement décroissante (effet de dilution).

Cette propagation est provoquée, d'une part, par le déplacement des molécules et, d'autre part, par la dispersion cinématique.

La dispersion hydrodynamique est en fonction de la nature du sol et des caractéristiques du transport du soluté.

#### **VII.1.2.6. Dispersion longitudinale :**

L'étalement du pic au sein du tube de courant est causé par la dispersion longitudinale

#### **VII.1.2.7. Dispersion transversale :**

Les échanges latéraux entre filets liquides voisins sont dus à la dispersion transversale (plus particulièrement sous l'effet de la tortuosité, et quelquefois, en cas de faible vitesse, de la diffusion moléculaire).

La diffusion moléculaire contribue à la mise en œuvre de la dispersion cinématique par échange de particules entre filets de courant voisins, dont les trajectoires et vitesses sont différents.

#### **VII.1.3. Echanges :**

##### **VII.1.3.1. Adsorption-Désorption :**

Des échanges de soluté peuvent s'effectuer entre le liquide et les grains solides sous l'effet de différences de concentration.

Une solution à forte concentration va perdre une partie de son soluté qui sera fixé par les grains solides (adsorption). En contrepartie, si ultérieurement la concentration du fluide diminue, l'eau plus pure qui arrivera au contact des grains risque de récupérer une partie de traceur (désorption)

##### **VII.1.3.2. Echanges eau libre-eau liée :**

A cette adsorption-désorption classiquement envisagée peut se superposer un phénomène de même type et dont l'ampleur dans bien des cas peut prendre le pas sur la fixation par les grains. La diffusion moléculaire est la cause

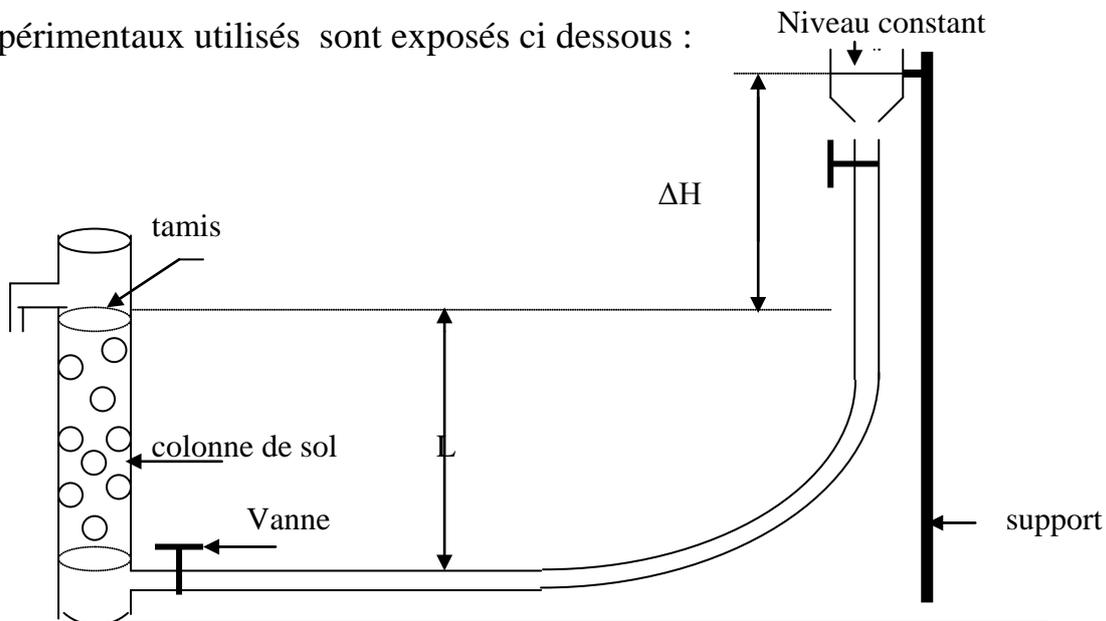
d'échanges de soluté entre l'eau mobile, vecteur du polluant ou de la substance traçante, et l'eau plus ou moins immobile au voisinage des grains.

## VII.2. Dispositifs expérimentaux :

### VII.2.1. La manipulation :

Il s'agit de mettre en évidence qualitativement et caractériser quantitativement le comportement différent des traceurs introduits dans un écoulement unidimensionnel dans un milieu poreux homogène

Les expériences réalisées dans le cadre de ce mémoire sur colonne de sol (sable, limon, sable argileux) ont commencé en décembre 2005. Nous avons réalisé au total huit expériences en conditions non saturées. Les dispositifs expérimentaux utilisés sont exposés ci dessous :



**Fig.18. Dispositif expérimental.**

On suppose que le terrain est homogène.

On utilisant comme traceurs :

1-fluorésceine sodique (ou uramine)  $C_{20}H_{10}O_5Na_2$ . pour mesurer la fluorescence.

2-chlorure de sodium  $NaCl$  .pour mesurer la conductivité électrique.

3- $NaOH$  pour mesurer le potentiel hydrogène.

Le pH et la conductivité sont utilisés pour confirmer les résultats avec la fluorescence.

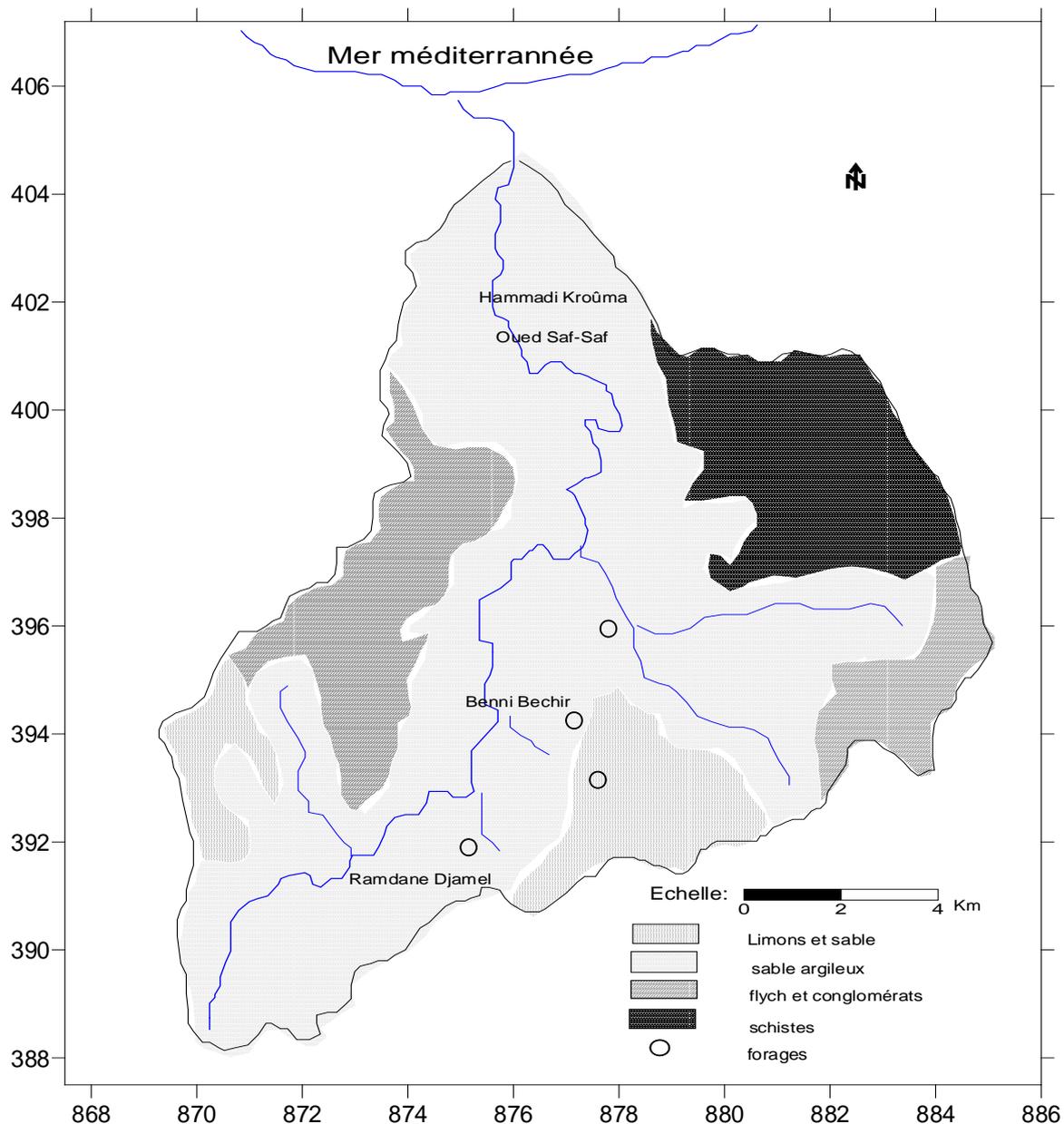
Leur utilisation a pour but essentiellement:

-de rechercher la direction d'écoulement souterrain ;

-d'évaluer les vitesses de circulation ;

l'injection d'un tampon de traceur dans un aquifère donne naissance à un nuage. L'observation de l'évolution de la concentration en un point fournit en général une courbe sinusoïdal à dissymétrie positive.

Cette courbe  $C/C_0=f(t)$ (Fig20) fait apparaître quelques points particuliers relatifs au transfert du traceur :- $t_1$  : temps d'arrivée des particules les plus rapides ;



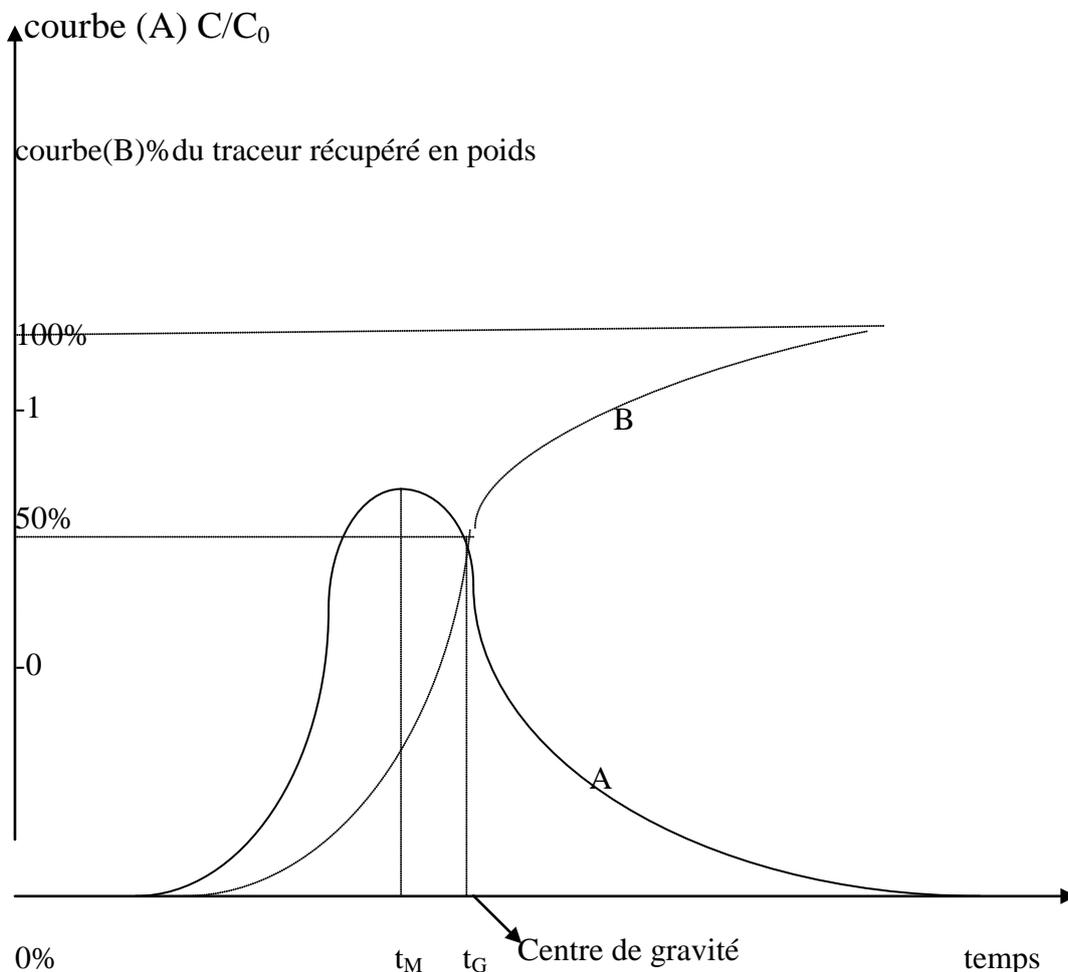
**Fig.19. carte lithologique de la basse vallée  
de l'oued saf-saf(raoult 1977)**

$-t_2$  : temps au maximum de concentration ;

On détermine également à partir de la courbe de concentration cumulée  $\Sigma P_i=f(t)$ (Fig20), le temps  $t_G$  correspondant au centre de gravité du nuage (temps au bout duquel 50% du poids de traceur injecté sont passés au point d'observation)

A ces temps correspondant différents vitesses :

- $V_d$  :vitesse des particules les plus rapides(premières apparition du traceur)
- $V_m$  :vitesse moyenne de transfert du traceur
- $V_G$  :vitesse au centre de gravité.



**Fig.20. Observation de la propagation d'un traceur dans un aquifère-  
courbes théoriques(A : $C/C_0=f(t)$  ;B : $\Sigma P_i=f(t)$  )**

$t_D$  :temps d'arrivée des particules les plus rapides

$t_M$  : temps au maximum de concentration

$t_G$  : temps au centre de gravité du nuage

Rappelons qu'en hydrogéologie, on appelle :

-  $V_A = Q/S$  : vitesse apparente (ou vitesse de filtration de darcy)

-  $V_E = Q/m_e \cdot S$  : vitesse effective

Avec  $Q$  : débit ;  $S$  : section de l'écoulement souterrain ;  $m_e$  : porosité efficace du milieu poreux

**VII.2.2. Théorie de la dispersion :** cas du traceur où fluides déplaçant et déplacé ont même masse volumique et même viscosité.

Lorsque deux fluides ,au contact l'un de l'autre ,sont en écoulement ils subissent des échanges

-par diffusion moléculaire ;

-par convection

Si l'écoulement a lieu au sein d'un milieu poreux, le mélange des deux fluides est accentué par divers mécanismes :

-changement de direction du vecteur vitesse, dû à la tortuosité des cheminements ;

-différences de vitesses d'écoulement dans les pores de tailles différents ;...etc..

La somme des deux phénomènes ,diffusion et mélange convectif est appelée dispersion.

Dans un espace poreux tridimensionnelle la dispersion a une forme tensorielle, sa mise en compte est cependant simplifiée si l'on distingue :

-une dispersion longitudinale qui se développe dans le sens de l'écoulement, caractérisée par un coefficient  $K_L$

-une dispersion transversale qui se développe normalement au vecteur vitesse moyen, caractérisée par un coefficient  $K_T$ . On ne prendra en compte dans ce mémoire que la dispersion longitudinale ,pour laquelle l'expression de l'évolution de la concentration en fluide déplaçant s'écrit :

$$K_L \left( \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right) - (U \frac{\partial C}{\partial x}) \left( \frac{\partial C}{\partial t} \right) \quad (1)$$

Avec  $K_L$  : coefficient de dispersion longitudinale

C :concentration en fluide déplaçant

U :vitesse moyenne apparente de l'écoulement

$U=Q/mS$  Q :debit

$m_e$ :porosité efficace

S :section d'écoulement

X,t :variable distance et temps ,avec les hypothèses suivants :

-milieu poreux infini

-t=0

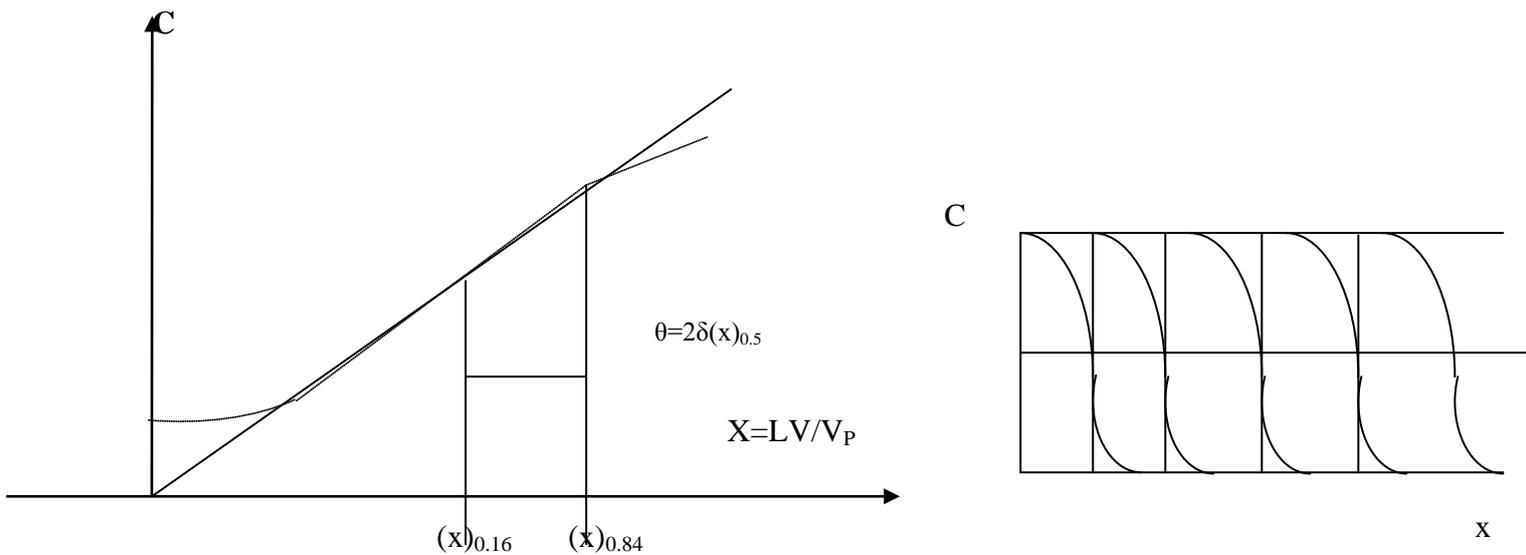
$x \leq 0 ; C=1$

$x > 0 ; C=0$

la solution de l'équation différentielle (1)est :

$$C=1/2[1-\text{erf} \left| \frac{x-Ut}{2\sqrt{K_Lt}} \right| ] \quad (2) \quad \text{Avec } \text{erf } u=2/\sqrt{\pi} \int_0^u e^{-x^2} dx : \text{fonction d'erreur}$$

L'expression (2)représente la déformation au cours de déplacement de l'échelon unité de concentration. Elle correspond à des concentration prenant la forme classique des courbe en « S ».Le report des points sur un papier gaussio-arithmétique donne des droites (Fig 21)



**Fig.21. Evolution de l'échelon unité de concentration.**

L'importance du mélange liquide déplaçant-liquide déplacé est exprimée à l'aide d'un paramètre  $\delta$  qui s'écrit :

$$\delta = \frac{x(c=0.84) - x(c=0.16)}{2x(c=0.50)} \quad (3)$$

on appelle  $\delta$  : écart type réduit de la répartition des concentration

$\delta$  est relié au coefficient de dispersion  $k_L$  par :

$$k_L = 1/2 \delta^2 L U \dots \dots \dots (4)$$

avec  $L = Ut$  : distance moyenne parcourue par le traceur

l'épaisseur  $e$  du mélange croit donc comme le racine carré

$$e = x(c=0.84) - x(c=0.16) = 2L \sqrt{\frac{2k_L}{LU}} \quad (5)$$

### VII.2.3. Détermination de $K_L$ :

La solution (2) de l'équation de la dispersion (1) par des conditions initiales et aux limites finies ne dépend que de  $U$  et de  $K_L$  peut être déterminée par les conditions expérimentales (colonne) ; il reste donc à évaluer  $K_L$

Cette méthode consiste à tracer dans un diagramme gaucco-arithmétique la courbe  $\lambda = f(c)$  (fig 21)

$\lambda$  est un paramètre défini ci-dessous

$$\lambda = (v/v_p - 1) / \sqrt{\frac{v}{v_p}} \quad (6)$$

avec  $v$  : volume déplacé

$v_p$  : volume poreux de la colonne (on admet que  $v_p$  est égal au volume déplacé quand  $C = 0.5C_0$ )

$C$  : est la concentration en fluide déplaçant

Où en déduit  $\delta$  (épaisseur réduite du mélange) par :

$$\delta = \lambda_{(c=0.84)} - \lambda_{(c=0.16)} / 2 \quad (7)$$

### VII.2.4. Méthode de travail :

Injecter un volume de 200 cm<sup>3</sup> de solution de fluorescéine à une concentration de 10mg/l dans la colonne.

**NB :** l'injection devra être réalisée avec une attention particulière.

Il importe en effet de réaliser un signal d'injection parfaitement rectangulaire ; utiliser pour ceci le système de purge aménagé à la base de la colonne .

A la sortie de la colonne :

-compter les volumes déplacés  $V$  à partir du temps  $t_0$  début de l'injection ( $V$  : volume des effluents ; volume mort compris entre le taux du massif et le recueil des effluents)

-reporter les échantillons de façon à obtenir une bonne définition de mélange dans les fronts eau-solution et solution-eau.

-doser les échantillons au fluorescimètre et définir la concentration en mg/l à partir de la courbe d'étalonnage.

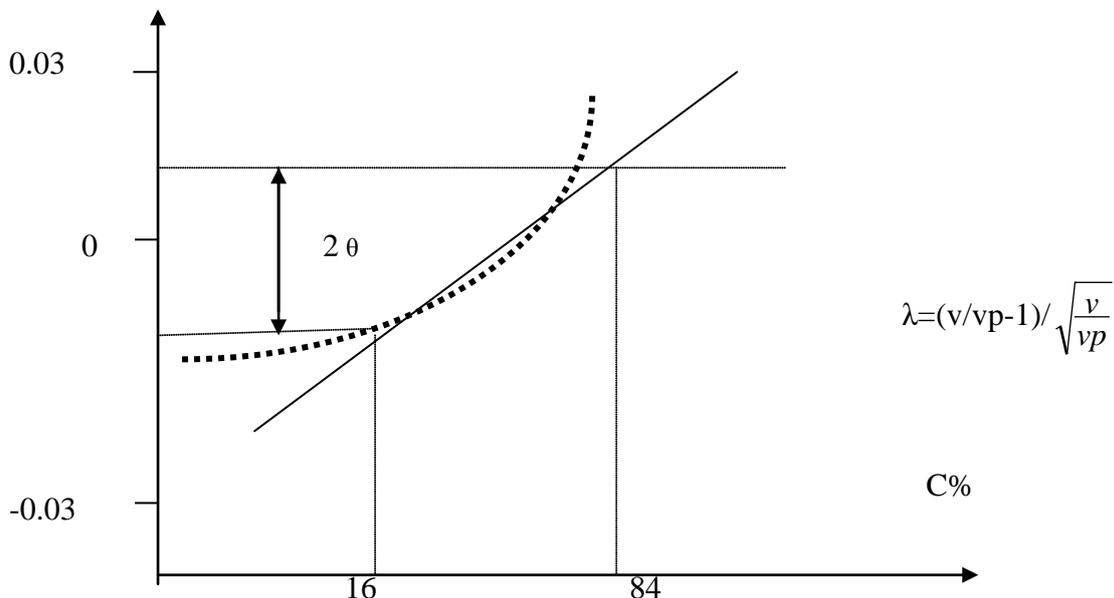


Fig.22. courbe  $\lambda=f(c)$  sur diagramme gausso-arithmétique

**NB** : la normalité de la courbe  $\lambda=f(c)$  est en général bien vérifiée dans l'intervalle  $0.16 \leq c \leq 0.85$  avec des déformations aux extrémités dont l'importance dépend de la structure des pores.

### VII.2.5. Détermination des paramètres physiques :

#### VII.2.5.1. Ecoulement monodimensionnel uniforme :

##### ❖ cas d'un terrain sable-argileux (exemple) :

$L=45$  cm (longueur de la colonne)

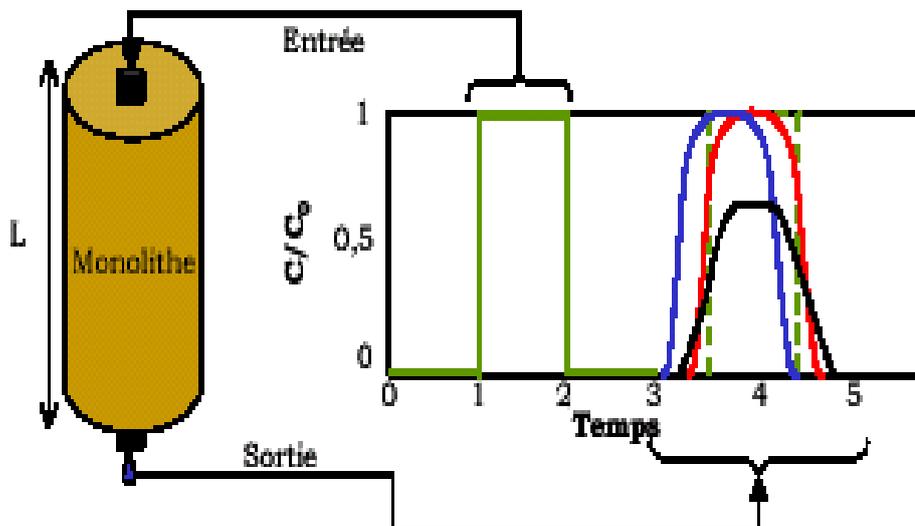
$\Phi=2r=10.4$  cm (diamètre de la colonne)

$C_0=10$  mg/l (concentration initiale)

$V_T=\pi r^2 L=5094.33$  cm<sup>3</sup>

$\Delta H=29$  cm (différence de charge)

$V=200$  cm<sup>3</sup> (volume de la fluorescéine)



**Fig.23.** schéma représentatif montrant le développement d'un traceur

$N=0$	Echantillon	Temps (mn)	Concentration Fluorés en (mg/l)	Concentration $C/C_0$	Concentration $C$ en (%)	$C$ (%) cumulé	$V=Q_{moy} \cdot t$ En ( $Cm^3$ )	$V/V_p$	$\lambda=(v/vp-1)/\sqrt{\frac{v}{vp}}$
1	16,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	0,224	0,560	-0,588
2	16,500	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	0,231	0,578	-0,556
3	17,000	0,012	0,012	0,001	0,01	0,015	0,238	0,595	-0,525
4	17,500	0,120	0,123	0,012	0,14	0,161	0,245	0,613	-0,495
5	18,000	0,250	0,256	0,026	0,30	0,465	0,252	0,630	-0,466
6	18,500	0,264	0,271	0,027	0,32	0,787	0,259	0,648	-0,438
7	19,000	0,300	0,308	0,031	0,36	1,153	0,266	0,665	-0,411
8	19,500	0,700	0,718	0,072	0,85	2,005	0,273	0,683	-0,384
9	20,000	0,700	0,718	0,072	0,85	2,858	0,280	0,700	-0,359
10	20,500	0,836	0,857	0,086	0,85	3,877	0,287	0,718	-0,334
11	21,000	0,952	0,976	0,098	1,160	5,037	0,294	0,735	-0,309
12	21,500	0,953	0,977	0,098	1,161	6,198	0,301	0,753	-0,285
13	22,000	0,953	0,977	0,098	1,161	7,359	0,308	0,770	-0,262
14	22,500	1,010	1,036	0,104	1,231	8,589	0,315	0,788	-0,239
15	23,000	1,026	1,052	0,105	1,250	9,839	0,322	0,805	-0,217
16	23,500	1,380	1,415	0,142	1,681	11,520	0,329	0,823	-0,196
17	24,000	1,900	1,949	0,195	2,315	13,835	0,336	0,840	-0,175
18	24,500	2,020	2,072	0,207	2,46	16,296	0,343	0,858	-0,154
19	25,000	2,030	2,082	0,208	2,47	18,769	0,350	0,875	-0,134

	0				3				
	25,50				2,92				
20	0	2,400	2,461	0,246	4	21,693	0,357	0,893	-0,114
	26,00				3,53				
21	0	2,900	2,974	0,297	3	25,227	0,364	0,910	-0,094
	26,50				3,66				
22	0	3,010	3,087	0,309	7	28,894	0,371	0,928	-0,075
	27,00				3,82				
23	0	3,140	3,220	0,322	6	32,719	0,378	0,945	-0,057
	27,50				4,26				
24	0	3,500	3,590	0,359	4	36,983	0,385	0,963	-0,038
	28,00				5,60				
25	0	4,600	4,718	0,472	4	42,588	0,392	0,980	-0,020
	28,50				6,72				
26	0	5,520	5,661	0,566	5	49,313	0,399	0,998	-0,003
	29,00				6,39				
27	0	5,250	5,384	0,538	6	55,709	0,406	1,015	0,015
	29,50				5,05				
28	0	4,150	4,256	0,426	6	60,765	0,413	1,033	0,032
	30,00				4,92				
29	0	4,040	4,143	0,414	2	65,687	0,420	1,050	0,049
	30,50				4,92				
30	0	4,040	4,143	0,414	2	70,609	0,427	1,068	0,065
	31,00				4,92				
31	31,000	4,040	4,143	0,414	2	75,531	0,434	1,085	0,082
	31,50			0,40	4,75				
32	31,500	3,900	4,000	0	1	80,283	0,441	1,103	0,098
	32,00				4,36				
33	0	3,580	3,672	0,367	2	84,644	0,448	1,120	0,113
	32,50				4,14				
34	0	3,400	3,487	0,349	2	88,787	0,455	1,138	0,129
	33,00				2,74				
35	0	2,254	2,312	0,231	6	91,533	0,462	1,155	0,144
	33,50				2,64				
36	0	2,169	2,225	0,222	3	94,175	0,469	1,173	0,159
	34,00				2,60				
37	0	2,140	2,195	0,219	7	96,782	0,476	1,190	0,174
	34,50				1,46				
38	0	1,200	1,231	0,123	2	98,244	0,483	1,208	0,189
	35,00				0,87				
39	0	0,670	0,687	0,069	6	99,061	0,490	1,225	0,203
40	35,50	0,300	0,308	0,031	0,36	99,426	0,497	1,243	0,218

	0				5				
	36,00				0,24				
41	0	0,200	0,205	0,021	4	99,670	0,504	1,260	0,232
	36,50				0,18				
42	0	0,150	0,154	0,015	3	99,853	0,511	1,278	0,246
	37,00				0,119				
43	0	0,098	0,101	0,010	2	99,972	0,518	1,295	0,259
	37,50				0,07				
44	0	0,012	0,012	0,007	1	99,987	0,525	1,313	0,273
	38,00				0,07				
45	0	0,011	0,011	0,007	1	100,000	0,532	1,330	0,286
			84,181						

Tableau.16. f-L=45 cm(sable-argileux)

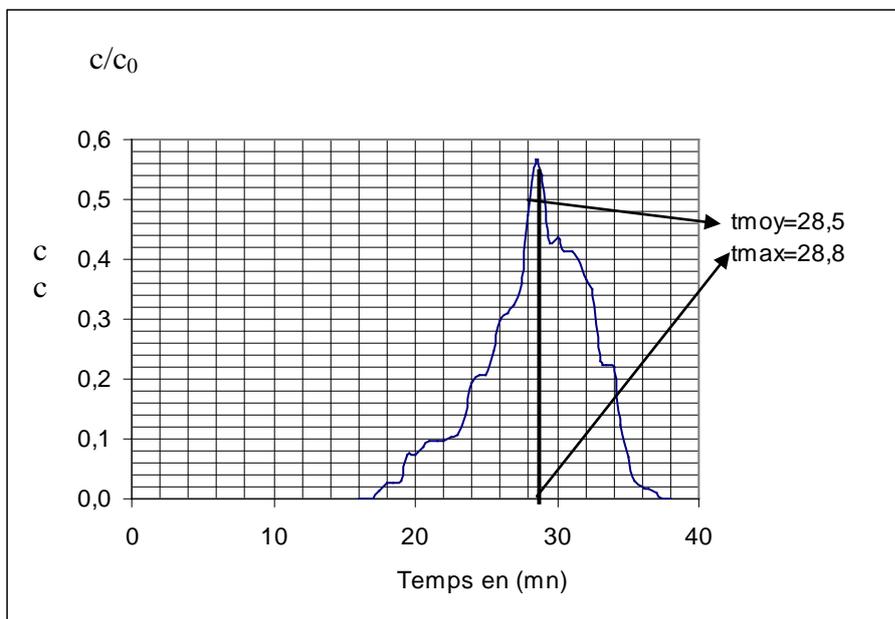
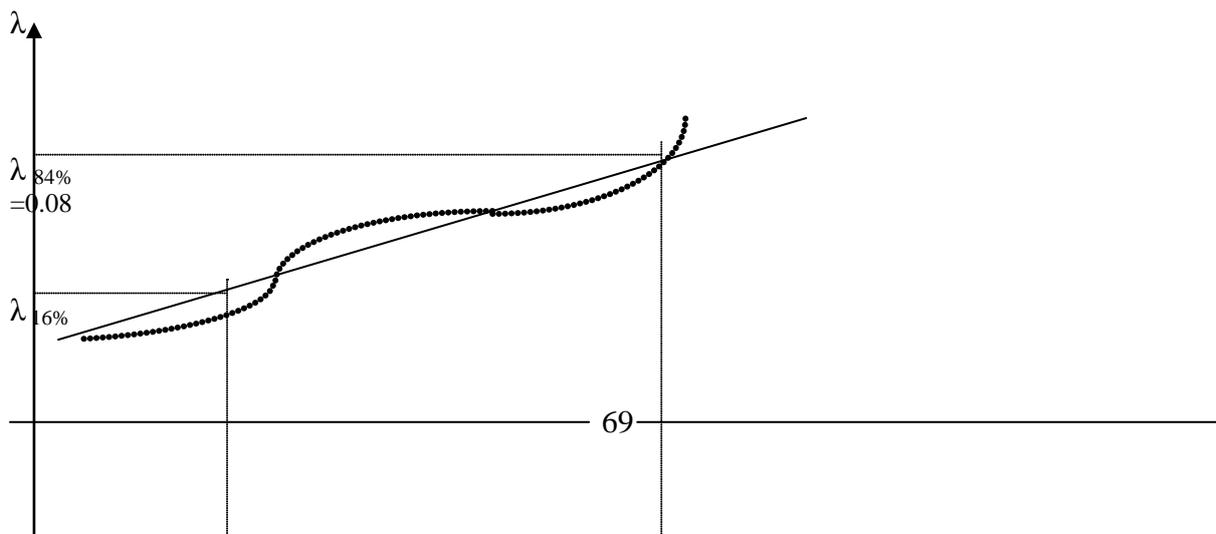
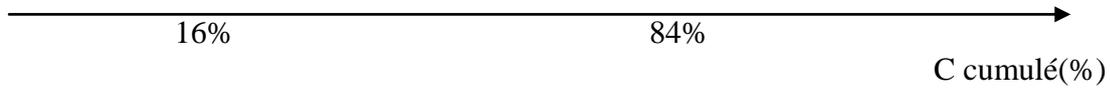


Fig .24. Représentation graphique de  $c/c_0=f(t)$



=-0.32

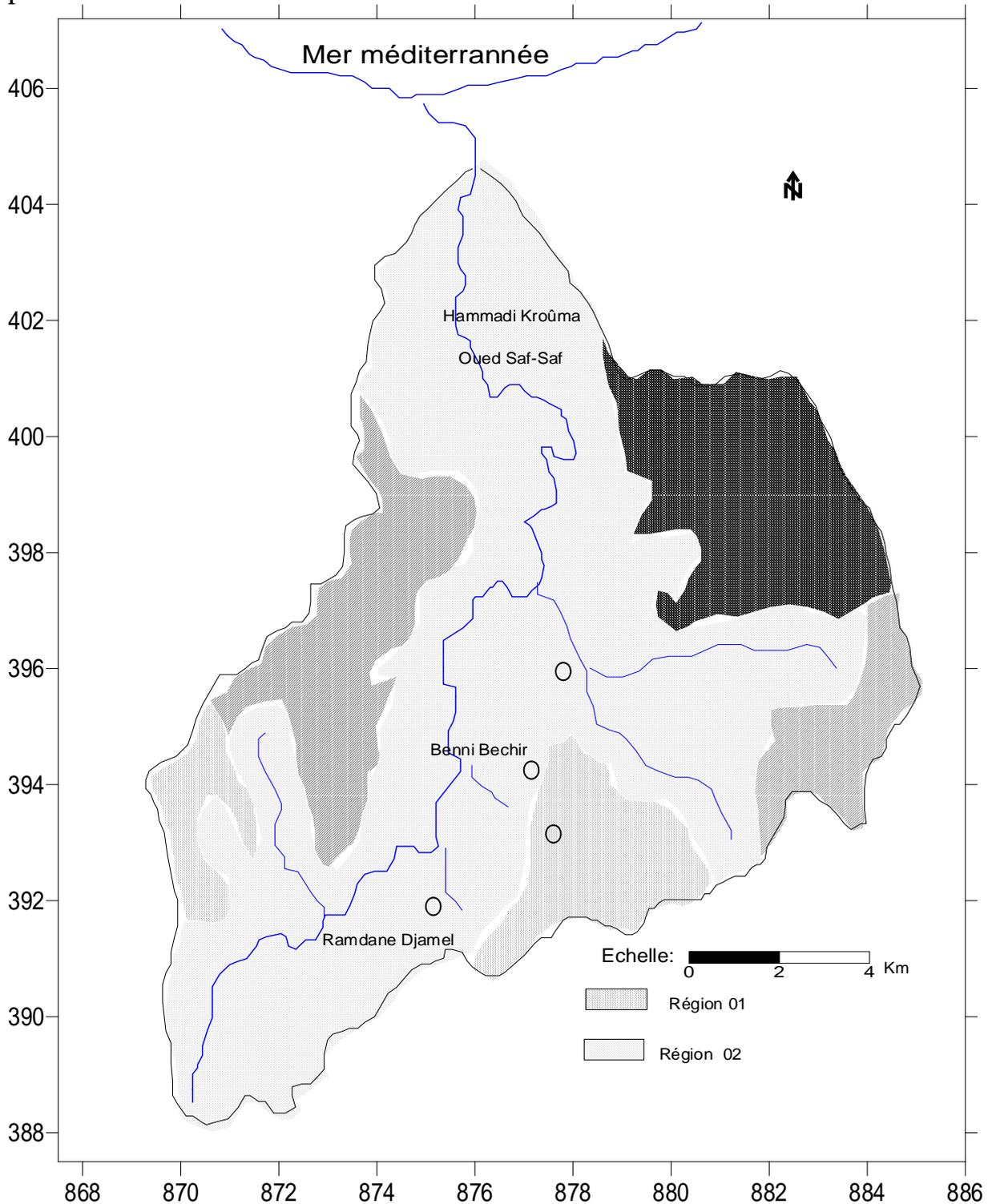


**Fig N<sup>0</sup>(25). Représentation graphique sur papier gaussio-arithmétique de  $\lambda=f(c\% \text{ cumulé})$**

Les autres résultats qui sont obtenues par les différents types de sol, longueur parcourue sont portés en l'annexe.

**VII.2.5.2. Discussions des résultats :** Le but de notre travail est double :  
-déterminations des paramètres hydrodispersifs.

-interprétation de Chaque paramètre, et trouver la relation entre ces paramètres



**Fig.26. La situation des régions principales étudiée.**

Pour localiser les paramètres hydrodispersifs sur la région d'étude, on a deux zones principales (Fig N=°26), les autres zones n'ont aucun intérêt hydrogéologique.

-zone 01 :se situé à l'Est et à L'Ouest de Ramdane Djamel, cette région représente le terrain (Sable argileux).

- zone 02 :se situé au centre de la zone d'étude, cette région représente le terrain (Sables et Limons).

**VII.2.5.3. La perméabilité moyenne expérimentale :** à partir de plusieurs expériences réalisées sur les différents types de sol, on calcule le débit sortant, et par la loi de Darcy, on détermine la perméabilité moyenne de chaque type de sol.

Il y a une erreur entre la perméabilité (déterminée à partir des caractéristiques hydrodynamiques des forages déterminée par les essais par pompage), et la perméabilité expérimentale.

Cette erreur appelée l'erreur relative.

Les valeurs de la perméabilité, sont exprimées en (m/s)(Tab N=°17)

Nature du sol	sable -argileux	Sables	Limons
L :Longueur de la colonne en (cm)	45	50	60
$K_r$ :Perméabilité moyenne du terrain en (m/s)	$2.3 \cdot 10^{-4}$	$1.45 \cdot 10^{-1}$	$2.4 \cdot 10^{-4}$
$K_{ex}$ :Perméabilité moyenne expérimentale	$2.16 \cdot 10^{-3}$	$2.13 \cdot 10^{-1}$	$2.30 \cdot 10^{-3}$
$\Delta K/K$ en (%)	8	7	15

**Tableau .17. Valeurs des perméabilités.**

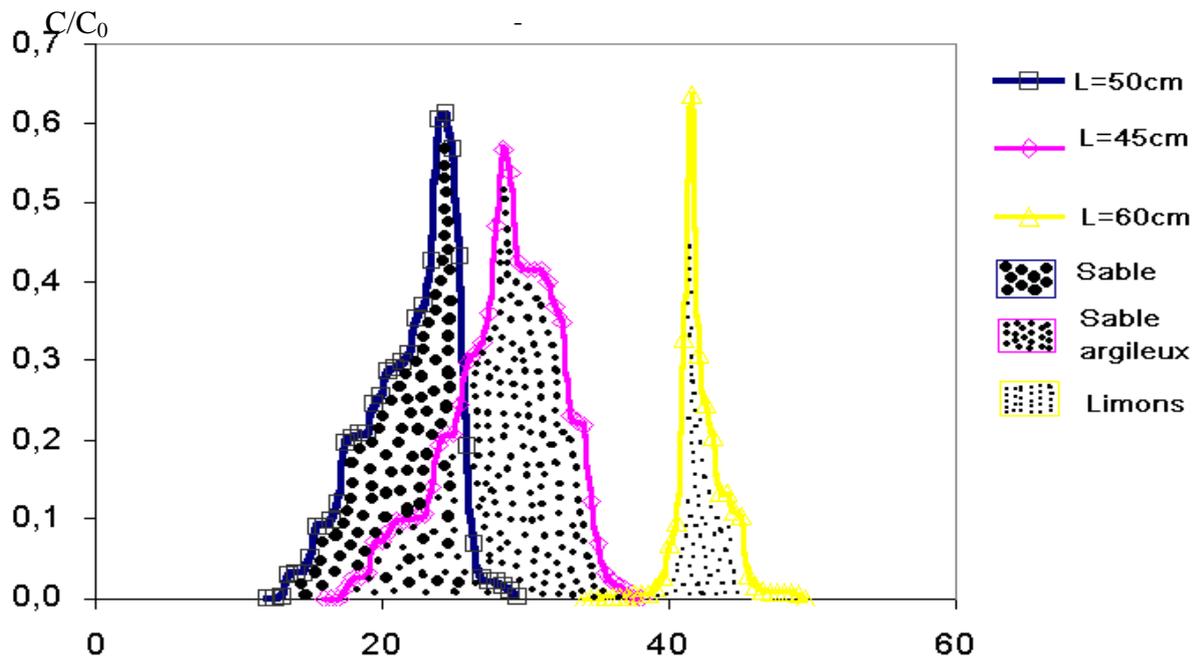
D'après le tableau N=°17, on constate que les deux perméabilités (expérimentales et réelle) presque elle est même dans le sable, ce qui explique l'homogénéité du terrain dans la zone 02, tenant compte des pourcentages d'erreur mentionnés au tableau N=°17, il est donc indispensables de faire les corrections nécessaires pour tous les paramètres hydrodispersifs .

**VII.2.5.4. Courbes de restitution:**

- **Courbes de restitution par la fluorescéine :**

Nature du sol	sable -argile	Sable	Limons
L :Longueur de la colonne en (cm)	45	50	60
Φ :diamètre de la colonne en (cm)	10.4	10.4	10.4
$V_v=V_p$ :volume des vides en $cm^3$	400	800	320
Porosité cinématique en(%)	10	18	6
Fluorescéine=10mg/l			
U :vitesse effective en (m/s)	$2.6 \cdot 10^{-4}$	$3.4 \cdot 10^{-4}$	$2.4 \cdot 10^{-4}$
Q moyenne en ( $cm^3/min$ )	14.03	33.33	7.71
δ :épaisseur réduite du mélange	0.2	0.165	0.09
$K_{Lc}$ :dispersion longitudinale corrigé en ( $m^2/s$ )	$1.61 \cdot 10^{-7}$	$1.61 \cdot 10^{-7}$	$4.06 \cdot 10^{-6}$

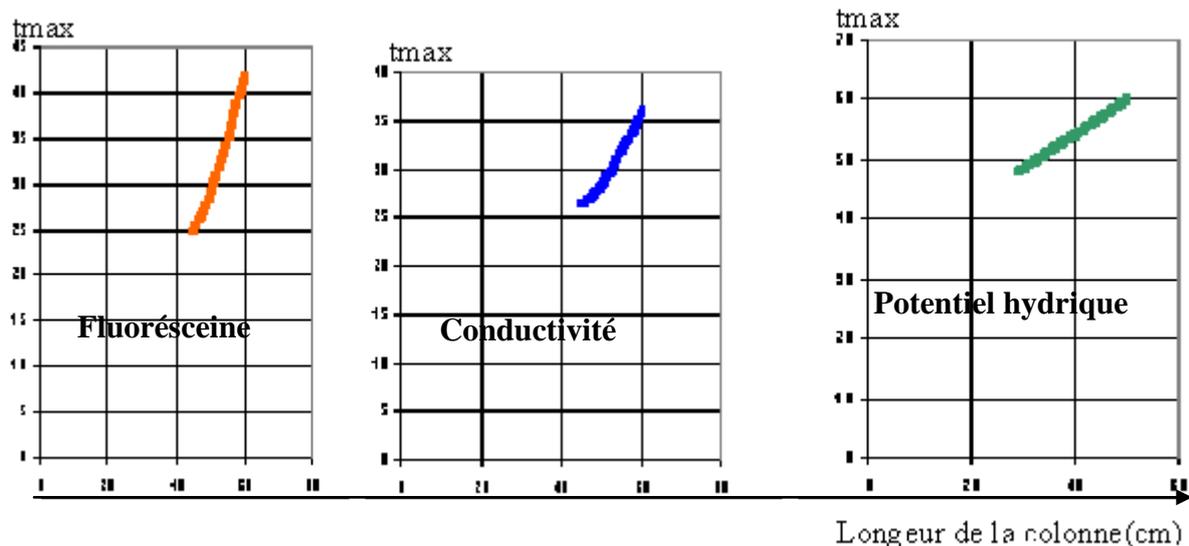
**Tableau.18. Les résultats expérimentale de l’analyse hydrodispersif par la fluoréscine**



**FigN<sup>0</sup>(27). courbes de restitution par la fluorescéine T(min)**

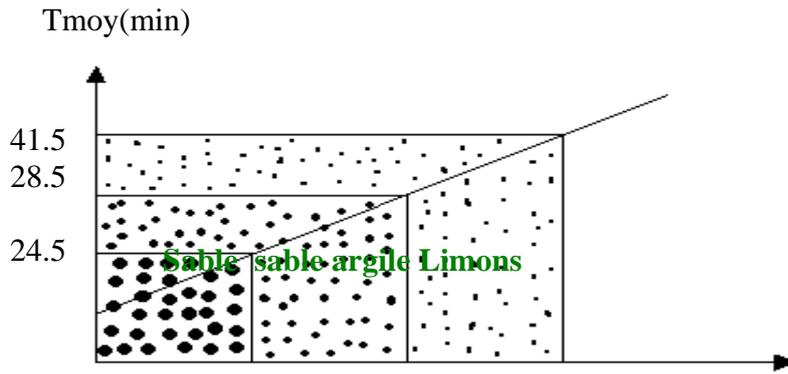
Les propriétés des courbes de restitution en écoulement monodimensionnel sont :

**A-Temps maximale de l'écoulement :**(Fig24)La représentation de la courbe de restitution de chaque type de sol, nous montre que le temps maximal (correspond  $C/C_0$ max,Cond/Cond<sub>0</sub>max,pH/pH<sub>0</sub>max)lié proportionnellement avec la longueur de la colonne. Ce qui indique que l'écoulement est uniforme (Fig28).



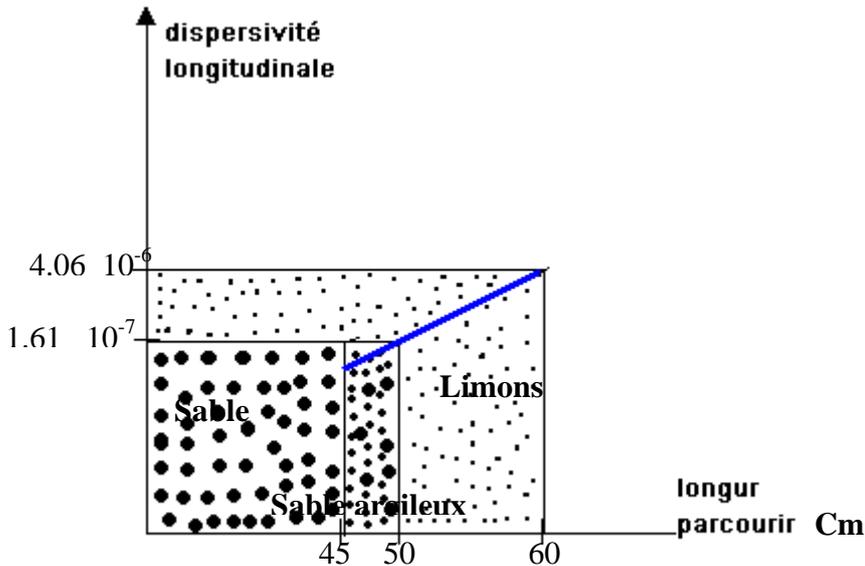
**Fig.28. La relation entre le temps maximale de l'écoulement et la longueur de la colonne**

**B- Temps moyen de l'écoulement :**(Fig N=°24)correspond à la fréquence 50% de la solution injectée. ce temps est lié directement avec la texture des terrains ( la composition granulométrique du sol définie par la proportion des éléments qui constituent le terrain).(Fig N=° 29)



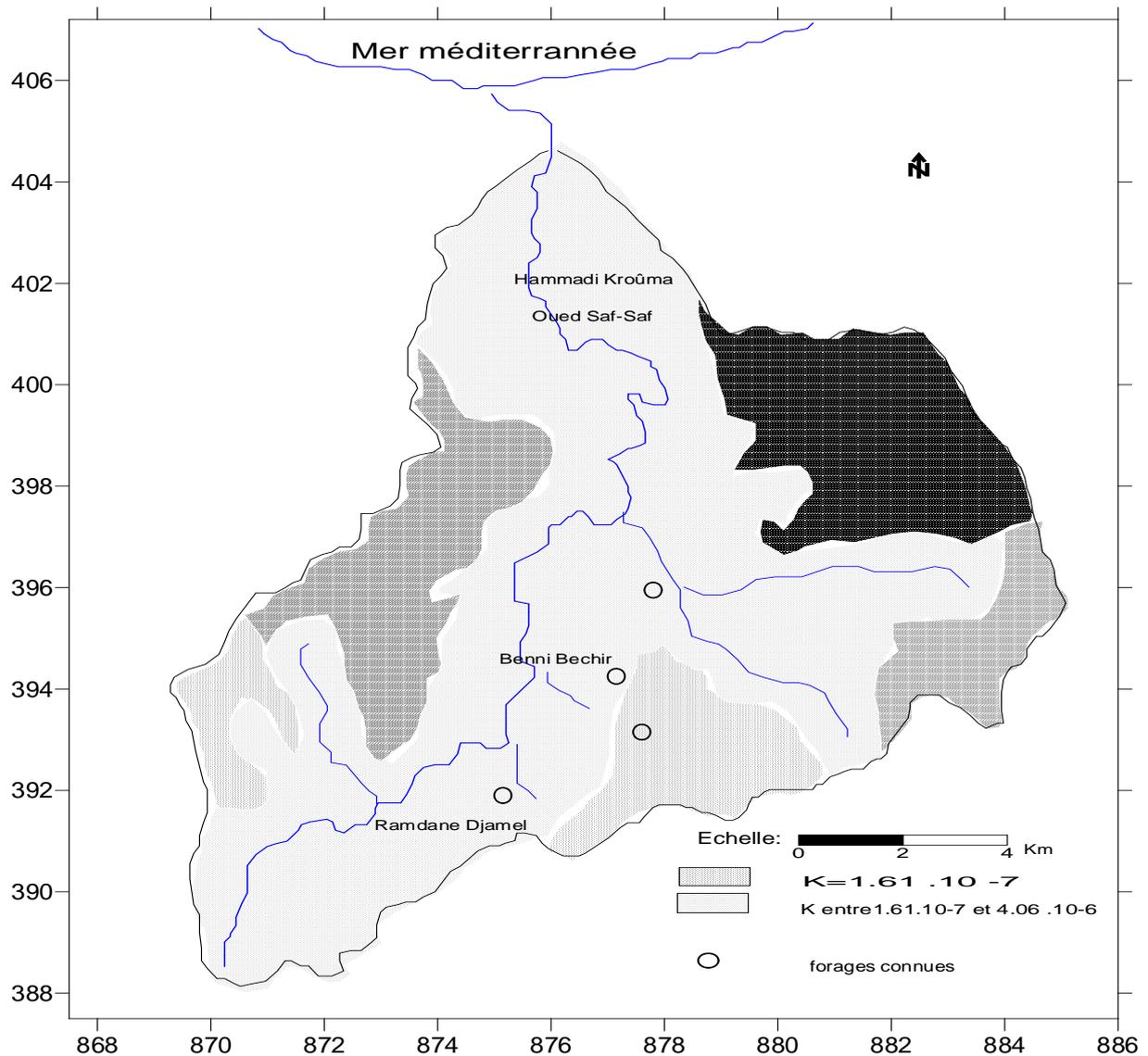
**Fig.29. La relation entre le temps moyen de l'écoulement et la texture des terrains par la fluorescéine**

**C-Coefficient de dispersion longitudinale :** L'étude montre que La dispersivité longitudinale augmente avec la distance parcourue, et diminue avec la nature du sol (granulométrie du terrain), la figure suivante montre ces deux résultats.



**Fig.30. La dispersivité longitudinale en fonction de la texture du terrain et la longueur parcourue par la fluorescéine**

D'après les études réalisées, nous pouvons conclure qu'il existe une variété de valeurs de dispersivité longitudinale utilisée (Tableau 18). Ces valeurs sont obtenues pour différents types de sol, dans la zone (01) le coefficient de dispersion longitudinale est de l'ordre de  $1.61 \cdot 10^{-7}$ , et dans la zone 02 ce coefficient varie entre  $1.61 \cdot 10^{-7}$  et  $4.06 \cdot 10^{-6}$ . La figure suivante montre la répartition spatiale de ce coefficient.

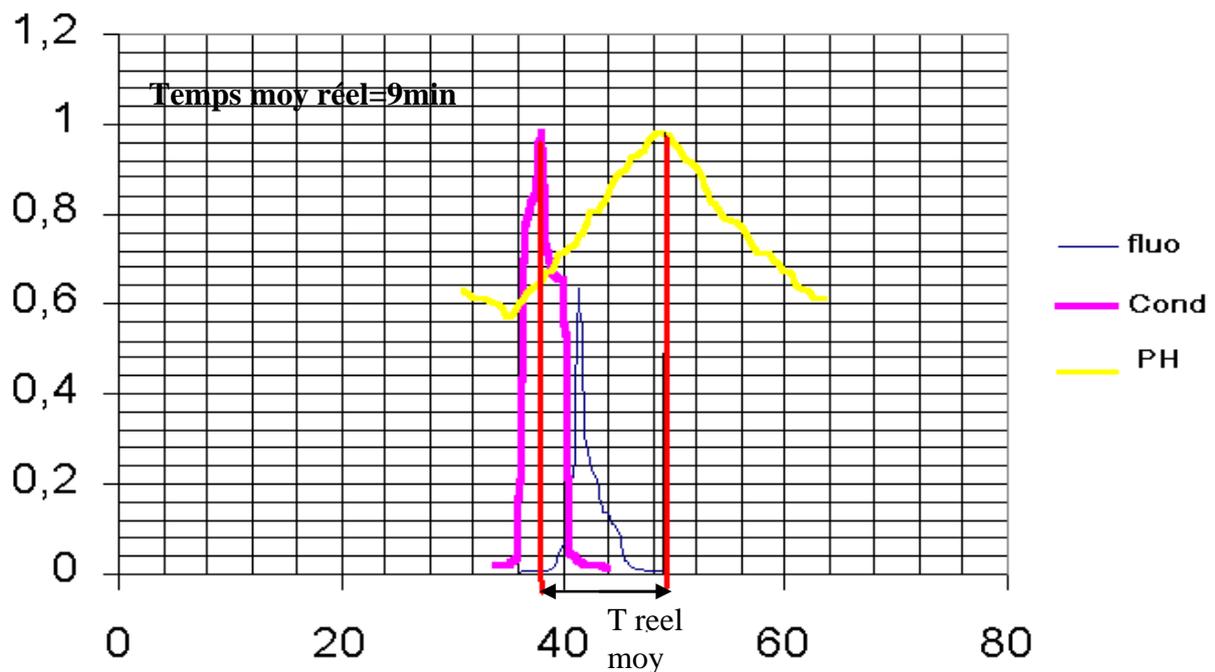


**Fig.31. Répartition spatiale du coefficient de dispersion longitudinale**

### D-Détermination du temps d'écoulement réel à partir des courbes de conductivité et de concentration relative et de pH :

La Détermination du temps d'écoulement réel à partir des courbes de conductivité et de concentration relative et de pH sur le même graphe .(Fig N=° 32).

A partir de la courbe ci dessous (fig N=°32), le temps moyen réel est égal à 9minutes.



**Fig.32. Détermination le temps moyen réel**

(cas d'un échantillon de sable, L=60cm)

**VII.2.5.5. Courbes de restitution par la conductivité et le pH :**

Nature du sol	sables -argileux	Sable	Limons
L :Longueur de la colonne en (cm)	45	50	60
Conductivité [Hcl]	5400 $\mu$ s/cm	5400 $\mu$ s/cm	19930 $\mu$ s/cm
U :vitesse effective en (m/s)	2.8 .10 <sup>-4</sup>	2.8 .10 <sup>-4</sup>	2.7 .10 <sup>-4</sup>
Q moyenne en (cm <sup>3</sup> /min)	15.68	28.07	9.14
$\delta$ :épaisseur réduite du mélange	0.28	0.48	-0.02
K <sub>Lc</sub> :dispersion longitudinale corrigé en (m <sup>2</sup> /s)	3.45 .10 <sup>-7</sup>	1.12 .10 <sup>-7</sup>	2.26 .10 <sup>-9</sup>
Potentiel hydrique[NaOH]=[2N]=11.8			
U :vitesse effective en (m/s)	/	2.8 .10 <sup>-4</sup>	2.08 .10 <sup>-4</sup>

**Tableau.19. Les résultats expérimentaux de l'analyse hydrodispersive par la conductivité et le pH.**

D'après les expériences réalisées par la conductivité, les valeurs de la dispersivité longitudinale varie entre 2.26 .10<sup>-9</sup> et 1.12 .10<sup>-7</sup> dans la région 02, et de 3.45 .10<sup>-7</sup> dans la zone 01 (Tableau N=°19 et Fig N=°34). Ces résultats sont comparables à ceux déterminés par la fluorescéine, la différence entre les deux résultats explique par la précision de la manipulation des concentrations de la fluorescéine, par contre le pH ne donne pas des résultats satisfaisants (Fig N=°33), car la solution initiale est basique.

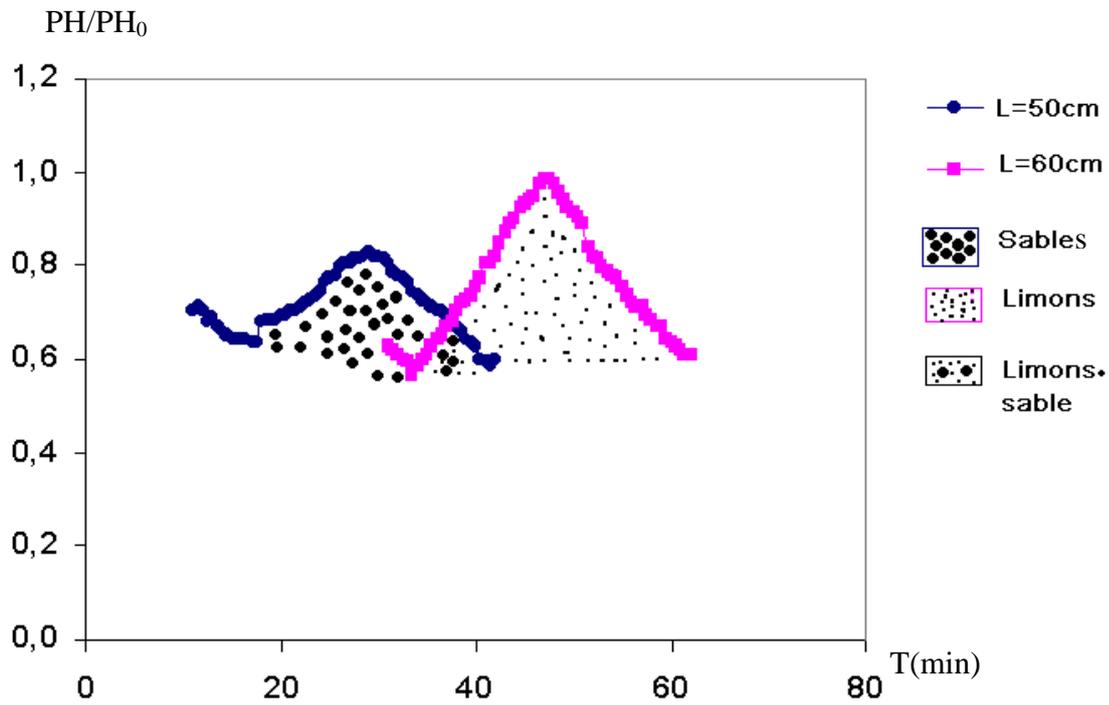
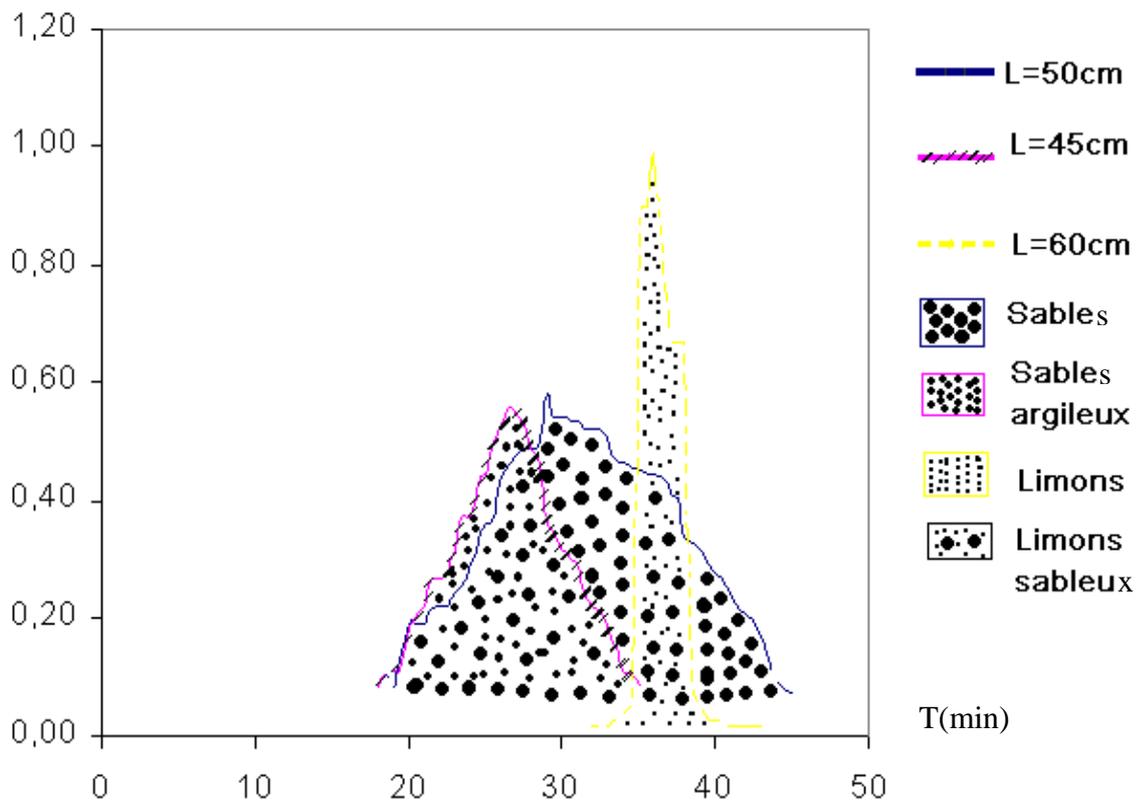


Fig.33. courbe de restitution par le potentiel d'hydrogène



FigN.34. courbe de restitution par la conductivité

**VII.3.Conclusion :**

La formation lithologique de la basse vallée de l'Oued Saf-Saf est constituée de :

Sables et limons dans les rives de l'Oued, et sable argileux a l'amont de l'Oued.

Dans l'intérêt hydrogéologique, les autres formations comme le schiste et les flysch dont l'intérêt hydrogéologique est faible et ne sont pas exploitées.

L'analyse hydrodispersive, et la détermination de ses paramètres, nous ont permis des ressortir les résultats suivants :

- une erreur relative de la perméabilité qui varie entre 7% et 15%.
- une porosité cinématique de l'ordre de 6% dans le limons , et de l'ordre de 10% dans les sables-argileux, et enfin 18% dans les sables.
- Un coefficient de dispersion longitudinale de l'ordre de  $1.61 \cdot 10^{-7}$  dans les sables-argileux ,et dans les sables et les limons il varie entre  $1.61 \cdot 10^{-7}$  et  $4.06 \cdot 10^{-6}$ .
- un temps moyen réel de l'ordre de 9minutes.

## **Conclusion générale**

Occupant la partie avale du bassin versant de l'oued Saf-Saf, la zone étudiée s'étend sur 140 km<sup>2</sup> environ et correspond à une zone d'accumulation à pentes faibles limitée par un relief modéré formé par les parties sommitales des grés numidiens. En effet, la basse vallée du Saf-Saf est soumise à l'influence d'un climat méditerranéen tempéré caractérisé par deux saisons, l'une pluvieuse et froide (Décembre-Avril), l'autre sèche et chaude (Mai - Novembre). Elle reçoit en moyenne une pluviométrie de l'ordre de 664 mm/an, répartie de façon irrégulière au cours de l'année. La température moyenne est de l'ordre de 18 °C.

L'analyse du bilan hydrologique fait ressortir que l'infiltration, paramètre le plus intéressant en hydrogéologie, représente près de 134 mm/an. L'évapotranspiration et le ruissellement en consomment 63 et 19 % , respectivement.

Les données géophysiques et hydrogéologiques ont mis en évidence l'existence d'un réservoir souterrain constitué par la superposition de deux nappes s'étendant sur une superficie de 65.5 km<sup>2</sup>. La nappe superficielle formée essentiellement d'alluvions récentes à granulométrie relativement fine (limons sableux, limons argileux... etc..), présente peu d'intérêt hydraulique. Elle n'est d'ailleurs exploitée que par les puits appartenant aux particuliers. Les réserves de cette nappe s'estiment à 150 hm<sup>3</sup>. La nappe profonde, constituée essentiellement de galets et de graviers, offre, au contraire, des possibilités aquifères très importantes. Les réserves sont estimées à 260 hm<sup>3</sup>.

La configuration géométrique et la composition lithologique laisse supposer que la réalimentation de la nappe profonde se fait par percolation à travers la nappe superficielle. Si le rythme de réalimentation du système hydrogéologique de la basse vallée du Saf-Saf s'estime à 5 Hm<sup>3</sup>/an, le taux de son exploitation demeure inconnu et mérite d'être investigué. Ce qui permettrait de dresser un bilan pour ce système aquifère.

L'étude piézométrique a mis en lumière que l'oued Saf-Saf draine la nappe superficielle en tout point, du moins en hautes eaux, suivant un gradient hydraulique qui décroît du Sud (0.04) vers le Nord (0.008). En effet, la zone favorable à l'implantation d'autres forages correspond à la partie de la vallée située entre Beni Bechir et Bountous où l'épaisseur des graviers est importante.

Les eaux souterraines dans la basse vallée du Saf-Saf se caractérisent par des faciès chlorués-sodiques. Ces eaux présentent une potabilité acceptable selon les normes de l'OMS et peuvent être utilisées pour l'irrigation sans risques notables. Toutefois, il est bon de rappeler que vers le Nord, la nappe pourrait être menacée par l'invasion marine. De ce fait, toute action dans cette partie de la nappe devrait être bien étudiée avant d'être entreprise.

On doit enfin signaler que La formation lithologique de la basse vallée de l'Oued Saf-Saf est constituée de :

Sables et limons dans les rives de l'Oued, et sable argileux a l'amont de l'Oued. Dans l'intérêt hydrogéologique, les autres formations comme le schiste et les flysch dont l'intérêt hydrogéologique est faible et ne sont pas exploitées.

L'analyse hydrodispersive, et la détermination de ses paramètres, nous ont permis de ressortir les résultats suivants :

- une erreur relative de la perméabilité qui varie entre 7% et 15%.
- une porosité cinématique de l'ordre de 6% dans le limons , et de l'ordre de 10% dans les sables-argileux, et enfin 18% dans les sables.
- Un coefficient de dispersion longitudinale de l'ordre de  $1.61 \cdot 10^{-7}$  dans les sables-argileux ,et dans les sables et les limons il varie entre  $1.61 \cdot 10^{-7}$  et  $4.06 \cdot 10^{-6}$ .
- un temps moyen réel de l'ordre de 9minutes.

On prévoit terminer cette étude ultérieurement.

## **Bibliographie**

**ABDELLI H. et al., 1991**, "Contribution à l'Evaluation des ressources en eau dans le Bassin Versant de l'oued Saf-Saf, Première Partie", mémoire d'ingénieur,IST, Université de Annaba, 187 p.

**ABRAMOWITZ (M), STEGUN (I.A.), 1965**, "handbook of mathematical functions.New york, Dover publications",.

**ALAIN MARRE., 1977**, "le tel oriental algérien de collo a la frontière tunisienne ,étude géomorphologique "; volume 1.pp.247-261.

**ATTALAH S., 1998**, " Etude des écoulements de l'oued Saf-Saf à Khemakhem", mémoire d'ingénieur, IST, Université de Annaba, 33 pp.

**BENJAMIN J. R. & C. A. CORNEL, 1970**, "Probability, Statistics and Decision for Civil Engineers", Mc Graw Hill, USA, 684p.

**BOULAIBEIZ M., 2006**, "Evolution des éléments chimiques et évaluation de risque des eaux souterraines à la pollution : Cas de la nappe de collo, Nord-Est Algérien "mémoire de magister, IST, Université de Annaba, 108p.

**CASTANY G., 1988**, "Hydrogéologie : Principes et méthodes", Dunod, Paris, pp. 89-105.CCG.,

**CASTANY G., MARGAT J**, "Dictionnaire d'hydrogéologie. Orléans", B.R.G.M., 1977.

**DRE, 1987**, "Projet des Plans Annuels: Secteur AEP-Assainissement", vol 3, W.de Skikda.

**DRE, 1987**, "Projet des Plans Annuels: Secteur Agriculture-Génie Rural", vol 4, W.de Skikda.

**DONEEN L. D., 1962**, " The influence of crop and soil on percolating waters", Proc. 1961 Biennial Conf. On ground water recharge, p 10.

**GAILLARD B.**, "Etude méthodologique des caractéristiques de transfert des substances chimiques dans les nappes-4<sup>ème</sup> rapport –Interprétation des résultats expérimentaux" –Paris , Centre National de la Recherche Scientifique, action thématique programmée hydrogéologie, 1976.

**JEAN PIERRE SAUTY,1977**, "conibution à l'identification des paramètres de dispersion dans les aquifères par interprétation des expériences de traçage", 153 p

**MANSFIELD E., 1980**, "Statistics for Business and Economics: Problems, Exercises and Case Studies", W. W. Norton & Company, Inc., New York, pp 129-193.

**MEHALLI M. et al., 1991**, "Contribution à l'Evaluation des ressources en eau dans le Bassin Versant de l'oued Saf-Saf", Deuxième Partie, mémoire d'ingénieur, IST, Université de Annaba, 117 p.

**MEZIMEZ R. et BF. et BZ., 2002**, "Etude hudrogéologique de la basse vallée du Saf-Saf(W SKIKDA) ;Note synthétique sur les données acquises", mémoire d'ingénieur, IST, Université de Annaba, 52p.

**Paris, T., 2001**, "Détermination expérimentale des propriétés hydrodynamiques au voisinage de la saturation : incidence sur le fonctionnement hydrique d'un sol

à nappe superficielle" .DEA Hydrologie, Hydrogéologie, géostatistique et géochimie, 57pp.

**Paris, T., Chaumont, C., Kao, C, et Tourabize, J., 2003,** "Mise au point de sondes de mesure de conductivité électrique pour l'estimation des transferts de solutés en milieux poreux variablement saturés". Actes du 4<sup>ème</sup> colloque Géophysique des sols et des formations superficielles UPMC. VI, Paris, pp. 74-77.

**RAOULT J.F., 1974,** " Géologie du Centre de la Chaîne Nummidique (Nord du constantinois Algérien)", Société géologique de France, Paris.

**SAADALI R. et BN., 2003,** "Evaluation des ressources en eau dans la région de Tamalous ;Etude de faisabilité d'une retenue collinaire sur l'Oued El Ahrach", mémoire d'ingénieur, IST, Université de Annaba, 106p.

**THAIS PARIS ANGUELA,2004,** " Etude du transfert D'eau et de solutés dans un sol a nappe superficielle drainée artificiellement",thèse de doctorat ; l'Ecole nationale du génie rurale, des eaux et Forêts, paris , pp 33-61.

**VILA J.M., 1980,** "Carte structurale de la chaine alpine d'algerie orientale et des confins Algéro- Tunisiens " au 1:500 000 ème.

**VILA J.M., 1980,** "La chaine alpine d'algerie orientale et des confins algéro-tunisiens". Thèse de doctorat sciences. Université de Pierre et Marie Curie, Paris VI, 655p.

- ❖ Archives de la DHW de Skikda.
- ❖ Archives de l'ANRH de Constantine.
- ❖ Atlas Climatique de l'Algérie: Station de Skikda (série de données: 1974-1984).
- ❖ Cartes topographiques au 1/25 000 : Skikda-Azzaba-Ramdane Djamel.

### Conductivité électrique-L=45 cm(sable argileux)

T(min)	cond exp	con %	c%cum	Cn/Cn in	v=Qmoy*t	v/vp	$\lambda = (v/vp - 1) / \sqrt{\frac{v}{vp}}$
18,000	470,000	0,843	0,843	0,087	0,281	0,702	-0,356
18,500	590,000	1,058	1,900	0,109	0,289	0,722	-0,328
19,000	600,000	1,076	2,976	0,111	0,296	0,741	-0,301
19,500	620,000	1,112	4,088	0,115	0,304	0,761	-0,275
20,000	1020,000	1,829	5,917	0,189	0,312	0,780	-0,249
20,500	1120,000	2,008	7,925	0,207	0,320	0,800	-0,224
21,000	1200,000	2,152	10,076	0,222	0,328	0,819	-0,200
21,500	1425,000	2,555	12,631	0,264	0,335	0,839	-0,176
22,000	1450,000	2,600	15,231	0,269	0,343	0,858	-0,153
22,500	1500,000	2,689	17,920	0,278	0,351	0,878	-0,131
23,000	1720,000	3,084	21,004	0,319	0,359	0,897	-0,109
23,500	2010,000	3,604	24,608	0,372	0,367	0,917	-0,087
24,000	2030,000	3,640	28,247	0,376	0,374	0,936	-0,066
24,500	2340,000	4,195	32,443	0,433	0,382	0,956	-0,046
25,000	2420,000	4,339	36,782	0,448	0,390	0,975	-0,025
25,500	2640,000	4,733	41,515	0,489	0,398	0,995	-0,006
26,000	2840,000	5,092	46,607	0,526	0,406	1,014	0,014
26,500	3020,000	5,415	52,022	0,559	0,413	1,034	0,033
27,000	2960,000	5,307	57,329	0,548	0,421	1,053	0,052
27,500	2870,000	5,146	62,474	0,531	0,429	1,073	0,070
28,000	2650,000	4,751	67,225	0,491	0,437	1,092	0,088
28,500	2480,000	4,446	71,672	0,459	0,445	1,112	0,106
29,000	1960,000	3,514	75,186	0,363	0,452	1,131	0,123
29,500	1890,000	3,389	78,575	0,350	0,460	1,151	0,140
30,000	1720,000	3,084	81,658	0,319	0,468	1,170	0,157
30,500	1630,000	2,922	84,581	0,302	0,476	1,190	0,174
31,000	1540,000	2,761	87,342	0,285	0,484	1,209	0,190
31,500	1320,000	2,367	89,709	0,244	0,491	1,229	0,206
32,000	1200,000	2,152	91,860	0,222	0,499	1,248	0,222
32,500	1120,000	2,008	93,868	0,207	0,507	1,268	0,238
33,000	960,000	1,721	95,589	0,178	0,515	1,287	0,253
33,500	850,000	1,524	97,113	0,157	0,523	1,307	0,268
34,000	600,000	1,076	98,189	0,111	0,530	1,326	0,283
34,500	550,000	0,986	99,175	0,102	0,538	1,346	0,298
35,000	460,000	0,825	100,000	0,085	0,546	1,365	0,312
	55775,000						

## Conductivité électrique-L=50cm(sable )

temps	cond exp	con %	c%cum	Cn/Cn in	v=Qmoy*t	v/vp	$\lambda = (v/v_p - 1) / \sqrt{\frac{v}{v_p}}$
13,000	1430,000	1,287	1,287	0,265	0,364	0,455	-0,808
13,500	1230,000	1,107	2,394	0,228	0,378	0,473	-0,767
14,000	1160,000	1,044	3,438	0,215	0,392	0,490	-0,729
14,500	1160,000	1,044	4,481	0,215	0,406	0,508	-0,691
15,000	1110,000	0,999	5,480	0,206	0,420	0,525	-0,656
15,500	1090,000	0,981	6,461	0,202	0,434	0,543	-0,621
16,000	1070,000	0,963	7,424	0,198	0,448	0,560	-0,588
16,500	1060,000	0,954	8,378	0,196	0,462	0,578	-0,556
17,000	1040,000	0,936	9,314	0,193	0,476	0,595	-0,525
17,500	1020,000	0,918	10,232	0,189	0,490	0,613	-0,495
18,000	1020,000	0,918	11,150	0,189	0,504	0,630	-0,466
18,500	600,000	0,540	11,690	0,111	0,518	0,648	-0,438
19,000	450,000	0,405	12,095	0,083	0,532	0,665	-0,411
19,500	700,000	0,630	12,725	0,130	0,546	0,683	-0,384
20,000	1030,000	0,927	13,651	0,191	0,560	0,700	-0,359
20,500	1030,000	0,927	14,578	0,191	0,574	0,718	-0,334
21,000	1040,000	0,936	15,514	0,193	0,588	0,735	-0,309
21,500	1180,000	1,062	16,576	0,219	0,602	0,753	-0,285
22,000	1190,000	1,071	17,647	0,220	0,616	0,770	-0,262
22,500	1200,000	1,080	18,727	0,222	0,630	0,788	-0,239
23,000	1320,000	1,188	19,915	0,244	0,644	0,805	-0,217
23,500	1360,000	1,224	21,139	0,252	0,658	0,823	-0,196
24,000	1600,000	1,440	22,578	0,296	0,672	0,840	-0,175
24,500	1800,000	1,620	24,198	0,333	0,686	0,858	-0,154
25,000	1960,000	1,764	25,962	0,363	0,700	0,875	-0,134
25,500	1970,000	1,773	27,735	0,365	0,714	0,893	-0,114
26,000	2330,000	2,097	29,832	0,431	0,728	0,910	-0,094
26,500	2500,000	2,250	32,081	0,463	0,742	0,928	-0,075
27,000	2600,000	2,340	34,421	0,481	0,756	0,945	-0,057
27,500	2640,000	2,376	36,797	0,489	0,770	0,963	-0,038
28,000	2650,000	2,385	39,181	0,491	0,784	0,980	-0,020
28,500	2690,000	2,421	41,602	0,498	0,798	0,998	-0,003
29,000	3160,000	2,844	44,446	0,585	0,812	1,015	0,015
29,500	2910,000	2,619	47,065	0,539	0,826	1,033	0,032
30,000	2910,000	2,619	49,683	0,539	0,840	1,050	0,049
30,500	2905,000	2,614	52,297	0,538	0,854	1,068	0,065
31,000	2900,000	2,610	54,907	0,537	0,868	1,085	0,082
31,500	2830,000	2,547	57,454	0,524	0,882	1,103	0,098
32,000	2830,000	2,547	60,001	0,524	0,896	1,120	0,113
32,500	2800,000	2,520	62,520	0,519	0,910	1,138	0,129
33,000	2680,000	2,412	64,932	0,496	0,924	1,155	0,144

33,500	2550,000	2,295	67,227	0,472	0,938	1,173	0,159
34,000	2520,000	2,268	69,494	0,467	0,952	1,190	0,174
34,500	2470,000	2,223	71,717	0,457	0,966	1,208	0,189
35,000	2450,000	2,205	73,922	0,454	0,980	1,225	0,203
35,500	2420,000	2,178	76,100	0,448	0,994	1,243	0,218
36,000	2410,000	2,169	78,268	0,446	1,008	1,260	0,232
36,500	2360,000	2,124	80,392	0,437	1,022	1,278	0,246
37,000	2230,000	2,007	82,399	0,413	1,036	1,295	0,259
37,500	2190,000	1,971	84,370	0,406	1,050	1,313	0,273
38,000	1840,000	1,656	86,026	0,341	1,064	1,330	0,286
38,500	1790,000	1,611	87,636	0,331	1,078	1,348	0,299
39,000	1690,000	1,521	89,157	0,313	1,092	1,365	0,312
39,500	1570,000	1,413	90,570	0,291	1,106	1,383	0,325
40,000	1510,000	1,359	91,929	0,280	1,120	1,400	0,338
40,500	1440,000	1,296	93,225	0,267	1,134	1,418	0,351
41,000	1300,000	1,170	94,395	0,241	1,148	1,435	0,363
41,500	1160,000	1,044	95,438	0,215	1,162	1,453	0,375
42,000	1111,000	1,000	96,438	0,206	1,176	1,470	0,388
42,500	1060,000	0,954	97,392	0,196	1,190	1,488	0,400
43,000	879,000	0,791	98,183	0,163	1,204	1,505	0,412
43,500	654,000	0,589	98,772	0,121	1,218	1,523	0,423
44,000	532,000	0,479	99,250	0,099	1,232	1,540	0,435
44,500	423,000	0,381	99,631	0,078	1,246	1,558	0,447
45,000	410,000	0,369	100,000	0,076	1,260	1,575	0,458
	111124						

## Conductivité électrique-L=60 cm(Limons)

temps	cond exp	con %	c%cum	Cn/Cn in	v=Qmoy*t	v/vp	$\lambda = (v/vp - 1) / \sqrt{\frac{v}{vp}}$
32,000	400,000	0,585	0,585	0,020	0,292	0,914	-0,132
33,000	400,000	0,585	1,171	0,020	0,302	0,943	-0,087
34,000	800,000	1,171	2,342	0,040	0,311	0,971	-0,044
35,000	17730,000	25,948	28,289	0,890	0,320	1,000	0,000
36,000	19730,000	28,875	57,164	0,990	0,329	1,028	0,042
37,000	13400,000	19,611	76,774	0,672	0,338	1,057	0,084
38,000	13200,000	19,318	96,092	0,662	0,347	1,085	0,126
39,000	989,000	1,447	97,540	0,050	0,356	1,114	0,166
40,000	520,000	0,761	98,301	0,026	0,366	1,143	0,207
41,000	421,000	0,616	98,917	0,021	0,375	1,171	0,247
42,000	400,000	0,585	99,502	0,020	0,384	1,200	0,287
43,000	340,000	0,498	100,000	0,017	0,393	1,228	0,326
	68330,000						

## Potentiel hydrique-L=50 cm(Sable)

n°ech	t	ph	ph/ph in	ph%	ph cumu
1,000	11,000	8,300	0,703	1,566	1,566
2,000	11,500	8,400	0,712	1,585	3,151
3,000	12,000	8,300	0,703	1,566	4,718
4,000	12,500	8,000	0,678	1,510	6,227
5,000	13,000	8,120	0,688	1,532	7,760
6,000	13,500	7,900	0,669	1,491	9,250
7,000	14,000	7,800	0,661	1,472	10,722
8,000	14,500	7,700	0,653	1,453	12,175
9,000	15,000	7,600	0,644	1,434	13,610
10,000	15,500	7,600	0,644	1,434	15,044
11,000	16,000	7,600	0,644	1,434	16,478
12,000	16,500	7,600	0,644	1,434	17,912
13,000	17,000	7,500	0,636	1,415	19,327
14,000	17,500	7,500	0,636	1,415	20,743
15,000	18,000	8,000	0,678	1,510	22,252
16,000	18,500	8,100	0,686	1,529	23,781
17,000	19,000	8,100	0,686	1,529	25,309
18,000	19,500	8,100	0,686	1,529	26,838
19,000	20,000	8,200	0,695	1,547	28,385
20,000	20,500	8,200	0,695	1,547	29,933
21,000	21,000	8,300	0,703	1,566	31,499
22,000	21,500	8,300	0,703	1,566	33,065
23,000	22,000	8,400	0,712	1,585	34,651
24,000	22,500	8,500	0,720	1,604	36,255
25,000	23,000	8,600	0,729	1,623	37,877
26,000	23,500	8,700	0,737	1,642	39,519
27,000	24,000	8,800	0,746	1,661	41,180
28,000	24,500	9,000	0,763	1,698	42,878
29,000	25,000	9,100	0,771	1,717	44,595
30,000	25,500	9,200	0,780	1,736	46,332
31,000	26,000	9,400	0,797	1,774	48,105
32,000	26,500	9,500	0,805	1,793	49,898
33,000	27,000	9,500	0,805	1,793	51,691
34,000	27,500	9,600	0,814	1,812	53,502
35,000	28,000	9,600	0,814	1,812	55,314
36,000	28,500	9,700	0,822	1,830	57,144
37,000	29,000	9,800	0,831	1,849	58,994
38,000	29,500	9,700	0,822	1,830	60,824
39,000	30,000	9,700	0,822	1,830	62,655
40,000	30,500	9,600	0,814	1,812	64,466
41,000	31,000	9,500	0,805	1,793	66,259
42,000	31,500	9,300	0,788	1,755	68,014
43,000	32,000	9,200	0,780	1,736	69,750
44,000	32,500	9,100	0,771	1,717	71,467
45,000	33,000	9,000	0,763	1,698	73,166
46,000	33,500	8,800	0,746	1,661	74,826
47,000	34,000	8,700	0,737	1,642	76,468

48,000	34,500	8,600	0,729	1,623	78,091
49,000	35,000	8,500	0,720	1,604	79,695
50,000	35,500	8,400	0,712	1,585	81,280
51,000	36,000	8,300	0,703	1,566	82,846
52,000	36,500	8,300	0,703	1,566	84,413
53,000	37,000	8,200	0,695	1,547	85,960
54,000	37,500	8,100	0,686	1,529	87,489
55,000	38,000	7,900	0,669	1,491	88,979
56,000	38,500	7,800	0,661	1,472	90,451
57,000	39,000	7,600	0,644	1,434	91,886
58,000	39,500	7,500	0,636	1,415	93,301
59,000	40,000	7,400	0,627	1,396	94,697
60,000	40,500	7,100	0,602	1,340	96,037
61,000	41,000	7,000	0,593	1,321	97,358
62,000	41,500	6,900	0,585	1,302	98,660
63,000	42,000	7,100	0,602	1,340	100,000
		529,920			

## Potentiel hydrique-L=60 cm(Limons)

n°ech	t	ph	ph/ph in	ph%	ph cumu	
1,00	31,00	7,40	0,63	1,31	1,31	
2,00	31,50	7,30	0,62	1,29	2,60	
3,00	32,00	7,20	0,61	1,27	3,87	
4,00	32,50	7,10	0,60	1,25	5,13	
5,00	33,00	7,00	0,59	1,24	6,36	
6,00	33,50	6,70	0,57	1,18	7,55	
7,00	34,00	6,90	0,58	1,22	8,77	
8,00	34,50	7,10	0,60	1,25	10,02	
9,00	35,00	7,20	0,61	1,27	11,29	
10,00	35,50	7,40	0,63	1,31	12,60	
11,00	36,00	7,60	0,64	1,34	13,94	
12,00	36,50	7,70	0,65	1,36	15,31	
13,00	37,00	7,90	0,67	1,40	16,70	
14,00	37,50	8,00	0,68	1,41	18,12	
15,00	38,00	8,30	0,70	1,47	19,58	
16,00	38,50	8,50	0,72	1,50	21,09	
17,00	39,00	8,60	0,73	1,52	22,61	
18,00	39,50	8,70	0,74	1,54	24,14	
19,00	40,00	8,90	0,75	1,57	25,72	
20,00	40,50	9,10	0,77	1,61	27,32	
21,00	41,00	9,50	0,81	1,68	29,00	
22,00	41,50	9,50	0,81	1,68	30,68	
23,00	42,00	9,70	0,82	1,71	32,40	
24,00	42,50	10,00	0,85	1,77	34,16	
25,00	43,00	10,30	0,87	1,82	35,98	
26,00	43,50	10,50	0,89	1,86	37,84	
27,00	44,00	10,60	0,90	1,87	39,71	
28,00	44,50	10,90	0,92	1,93	41,64	
29,00	45,00	11,00	0,93	1,94	43,58	
30,00	45,50	11,10	0,94	1,96	45,55	
31,00	46,00	11,20	0,95	1,98	47,53	
32,00	46,50	11,50	0,97	2,03	49,56	
33,00	47,00	11,60	0,98	2,05	51,61	
34,00	47,50	11,60	0,98	2,05	53,66	
35,00	48,00	11,50	0,97	2,03	55,69	
36,00	48,50	11,30	0,96	2,00	57,69	
37,00	49,00	11,10	0,94	1,96	59,65	
38,00	49,50	10,90	0,92	1,93	61,58	
39,00	50,00	10,80	0,92	1,91	63,49	
40,00	50,50	10,70	0,91	1,89	65,38	
41,00	51,00	10,50	0,89	1,86	67,23	
42,00	51,50	9,90	0,84	1,75	68,98	
43,00	52,00	9,70	0,82	1,71	70,70	
44,00	52,50	9,60	0,81	1,70	72,39	
45,00	53,00	9,40	0,80	1,66	74,05	
46,00	53,50	9,30	0,79	1,64	75,70	

47,00	54,00	9,20	0,78	1,63	77,32	
48,00	54,50	9,10	0,77	1,61	78,93	
49,00	55,00	8,90	0,75	1,57	80,51	
50,00	55,50	8,70	0,74	1,54	82,04	
51,00	56,00	8,50	0,72	1,50	83,55	
52,00	56,50	8,40	0,71	1,48	85,03	
53,00	57,00	8,40	0,71	1,48	86,51	
54,00	57,50	8,20	0,69	1,45	87,96	
55,00	58,00	8,10	0,69	1,43	89,40	
56,00	58,50	7,90	0,67	1,40	90,79	
57,00	59,00	7,90	0,67	1,40	92,19	
58,00	59,50	7,60	0,64	1,34	93,53	
59,00	60,00	7,50	0,64	1,33	94,86	
60,00	60,50	7,40	0,63	1,31	96,16	
61,00	61,00	7,30	0,62	1,29	97,45	
62,00	61,50	7,20	0,61	1,27	98,73	
63,00	62,00	7,20	0,61	1,27	100,00	
		565,80				

## Fluoresceine-L=60 cm(Limons)

n=echant	t(min)	fluorescence	conc	C/C0	C%	C%cum	v=Qm*t	V/Vp	$\lambda = \frac{(v/vp - 1)}{\sqrt{\frac{v}{vp}}}$
1,000	34,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	262,140	0,819	-0,200
2,000	34,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	265,995	0,831	-0,185
3,000	35,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,004	269,850	0,843	-0,171
4,000	35,500	0,020	0,021	0,002	0,001	0,085	273,705	0,855	-0,156
5,000	36,000	0,020	0,021	0,002	0,002	0,167	277,560	0,867	-0,142
6,000	36,500	0,030	0,031	0,003	0,003	0,288	281,415	0,879	-0,129
7,000	37,000	0,030	0,031	0,003	0,004	0,410	285,270	0,891	-0,115
8,000	37,500	0,040	0,041	0,004	0,006	0,573	289,125	0,904	-0,102
9,000	38,000	0,050	0,051	0,005	0,008	0,776	292,980	0,916	-0,088
10,000	38,500	0,050	0,051	0,005	0,010	0,979	296,835	0,928	-0,075
11,000	39,000	0,120	0,123	0,012	0,015	1,466	300,690	0,940	-0,062
12,000	39,500	0,260	0,267	0,027	0,025	2,523	304,545	0,952	-0,050
13,000	40,000	0,680	0,697	0,070	0,053	5,285	308,400	0,964	-0,037
14,000	40,500	0,930	0,954	0,095	0,091	9,062	312,255	0,976	-0,025
15,000	41,000	3,200	3,282	0,328	0,221	22,061	316,110	0,988	-0,012
16,000	41,500	6,200	6,359	0,636	0,472	47,246	319,965	1,000	0,000
17,000	42,000	3,000	3,077	0,308	0,594	59,432	323,820	1,012	0,012
18,000	42,500	2,400	2,461	0,246	0,692	69,181	327,675	1,024	0,024
19,000	43,000	2,000	2,051	0,205	0,773	77,305	331,530	1,036	0,035
20,000	43,500	1,307	1,340	0,134	0,826	82,614	335,385	1,048	0,047
21,000	44,000	1,307	1,340	0,134	0,879	87,923	339,240	1,060	0,058
22,000	44,500	1,076	1,104	0,110	0,923	92,294	343,095	1,072	0,070
23,000	45,000	1,000	1,026	0,103	0,964	96,356	346,950	1,084	0,081
24,000	45,500	0,286	0,293	0,029	0,975	97,518	350,805	1,096	0,092
25,000	46,000	0,150	0,154	0,015	0,981	98,127	354,660	1,108	0,103
26,000	46,500	0,100	0,103	0,010	0,985	98,534	358,515	1,120	0,114
27,000	47,000	0,090	0,092	0,009	0,989	98,899	362,370	1,132	0,124
28,000	47,500	0,080	0,082	0,008	0,992	99,224	366,225	1,144	0,135
29,000	48,000	0,080	0,082	0,008	0,995	99,549	370,080	1,157	0,146
30,000	48,500	0,070	0,072	0,007	0,998	99,833	373,935	1,169	0,156
31,000	49,000	0,040	0,041	0,004	1,000	99,996	377,790	1,181	0,166
32,000	49,500	0,001	0,001	0,000	1,000	100,000	381,645	1,193	0,176
			25,248						

## Fluoresceine-L=50 cm(Sable)

n=echant	t(min)	fluoriscence	conc	C/C0	C%	C%cum	V=Qm*t	V/Vp	$\lambda = (v/vp - 1) / \sqrt{\frac{v}{vp}}$
1,000	12,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,396	0,495	-0,718
2,000	12,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,413	0,516	-0,675
3,000	13,000	0,016	0,016	0,002	0,024	0,024	0,429	0,536	-0,633
4,000	13,500	0,274	0,281	0,028	0,415	0,439	0,446	0,557	-0,594
5,000	14,000	0,301	0,309	0,031	0,456	0,895	0,462	0,578	-0,556
6,000	14,500	0,320	0,328	0,033	0,485	1,380	0,479	0,598	-0,520
7,000	15,000	0,500	0,513	0,051	0,757	2,138	0,495	0,619	-0,485
8,000	15,500	0,875	0,897	0,090	1,326	3,463	0,512	0,639	-0,451
9,000	16,000	0,875	0,897	0,090	1,326	4,789	0,528	0,660	-0,419
10,000	16,500	0,970	0,995	0,099	1,469	6,258	0,545	0,681	-0,387
11,000	17,000	1,170	1,200	0,120	1,772	8,030	0,561	0,701	-0,357
12,000	17,500	1,920	1,969	0,197	2,909	10,939	0,578	0,722	-0,327
13,000	18,000	1,980	2,031	0,203	3,000	13,939	0,594	0,743	-0,299
14,000	18,500	2,020	2,072	0,207	3,060	16,999	0,611	0,763	-0,271
15,000	19,000	2,030	2,082	0,208	3,075	20,074	0,627	0,784	-0,244
16,000	19,500	2,400	2,461	0,246	3,636	23,710	0,644	0,804	-0,218
17,000	20,000	2,500	2,564	0,256	3,787	27,497	0,660	0,825	-0,193
18,000	20,500	2,800	2,872	0,287	4,242	31,739	0,677	0,846	-0,168
19,000	21,000	2,820	2,892	0,289	4,272	36,011	0,693	0,866	-0,144
20,000	21,500	2,900	2,974	0,297	4,393	40,404	0,710	0,887	-0,120
21,000	22,000	3,010	3,087	0,309	4,560	44,964	0,726	0,908	-0,097
22,000	22,500	3,450	3,538	0,354	5,226	50,190	0,743	0,928	-0,075
23,000	23,000	3,600	3,692	0,369	5,454	55,644	0,759	0,949	-0,053
24,000	23,500	4,150	4,256	0,426	6,287	61,931	0,776	0,969	-0,031
25,000	24,000	5,900	6,051	0,605	8,938	70,868	0,792	0,990	-0,010
26,000	24,500	5,970	6,123	0,612	9,044	79,912	0,809	1,011	0,011
27,000	25,000	5,540	5,682	0,568	8,393	88,305	0,825	1,031	0,031
28,000	25,500	4,210	4,318	0,432	6,378	94,683	0,842	1,052	0,051
29,000	26,000	1,860	1,908	0,191	2,818	97,500	0,858	1,073	0,070
30,000	26,500	0,670	0,687	0,069	1,015	98,515	0,875	1,093	0,089
31,000	27,000	0,270	0,277	0,028	0,409	98,924	0,891	1,114	0,108
32,000	27,500	0,220	0,226	0,023	0,333	99,258	0,908	1,134	0,126
33,000	28,000	0,220	0,226	0,023	0,333	99,591	0,924	1,155	0,144
34,000	28,500	0,150	0,154	0,015	0,227	99,818	0,941	1,176	0,162
35,000	29,000	0,100	0,103	0,010	0,151	99,970	0,957	1,196	0,179
36,000	29,500	0,020	0,021	0,002	0,030	100,000	0,974	1,217	0,197

## Fluoresceine-L=45cm(Sable-argileux)

n=echant	t(min)	fluorescence	conc	C/C0	C%	C%cum	v=Qm*t	V/Vp	$\lambda = (v/vp - 1) / \sqrt{\frac{v}{vp}}$
1,000	16,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,224	0,560	-0,588
2,000	16,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,231	0,578	-0,556
3,000	17,000	0,012	0,012	0,001	0,015	0,015	0,238	0,595	-0,525
4,000	17,500	0,120	0,123	0,012	0,146	0,161	0,245	0,613	-0,495
5,000	18,000	0,250	0,256	0,026	0,305	0,465	0,252	0,630	-0,466
6,000	18,500	0,264	0,271	0,027	0,322	0,787	0,259	0,648	-0,438
7,000	19,000	0,300	0,308	0,031	0,365	1,153	0,266	0,665	-0,411
8,000	19,500	0,700	0,718	0,072	0,853	2,005	0,273	0,683	-0,384
9,000	20,000	0,700	0,718	0,072	0,853	2,858	0,280	0,700	-0,359
10,000	20,500	0,836	0,857	0,086	1,019	3,877	0,287	0,718	-0,334
11,000	21,000	0,952	0,976	0,098	1,160	5,037	0,294	0,735	-0,309
12,000	21,500	0,953	0,977	0,098	1,161	6,198	0,301	0,753	-0,285
13,000	22,000	0,953	0,977	0,098	1,161	7,359	0,308	0,770	-0,262
14,000	22,500	1,010	1,036	0,104	1,231	8,589	0,315	0,788	-0,239
15,000	23,000	1,026	1,052	0,105	1,250	9,839	0,322	0,805	-0,217
16,000	23,500	1,380	1,415	0,142	1,681	11,520	0,329	0,823	-0,196
17,000	24,000	1,900	1,949	0,195	2,315	13,835	0,336	0,840	-0,175
18,000	24,500	2,020	2,072	0,207	2,461	16,296	0,343	0,858	-0,154
19,000	25,000	2,030	2,082	0,208	2,473	18,769	0,350	0,875	-0,134
20,000	25,500	2,400	2,461	0,246	2,924	21,693	0,357	0,893	-0,114
21,000	26,000	2,900	2,974	0,297	3,533	25,227	0,364	0,910	-0,094
22,000	26,500	3,010	3,087	0,309	3,667	28,894	0,371	0,928	-0,075
23,000	27,000	3,140	3,220	0,322	3,826	32,719	0,378	0,945	-0,057
24,000	27,500	3,500	3,590	0,359	4,264	36,983	0,385	0,963	-0,038
25,000	28,000	4,600	4,718	0,472	5,604	42,588	0,392	0,980	-0,020
26,000	28,500	5,520	5,661	0,566	6,725	49,313	0,399	0,998	-0,003
27,000	29,000	5,250	5,384	0,538	6,396	55,709	0,406	1,015	0,015
28,000	29,500	4,150	4,256	0,426	5,056	60,765	0,413	1,033	0,032
29,000	30,000	4,040	4,143	0,414	4,922	65,687	0,420	1,050	0,049
30,000	30,500	4,040	4,143	0,414	4,922	70,609	0,427	1,068	0,065
31,000	31,000	4,040	4,143	0,414	4,922	75,531	0,434	1,085	0,082
32,000	31,500	3,900	4,000	0,400	4,751	80,283	0,441	1,103	0,098
33,000	32,000	3,580	3,672	0,367	4,362	84,644	0,448	1,120	0,113
34,000	32,500	3,400	3,487	0,349	4,142	88,787	0,455	1,138	0,129
35,000	33,000	2,254	2,312	0,231	2,746	91,533	0,462	1,155	0,144
36,000	33,500	2,169	2,225	0,222	2,643	94,175	0,469	1,173	0,159
37,000	34,000	2,140	2,195	0,219	2,607	96,782	0,476	1,190	0,174
38,000	34,500	1,200	1,231	0,123	1,462	98,244	0,483	1,208	0,189
39,000	35,000	0,670	0,687	0,069	0,816	99,061	0,490	1,225	0,203
40,000	35,500	0,300	0,308	0,031	0,365	99,426	0,497	1,243	0,218
41,000	36,000	0,200	0,205	0,021	0,244	99,670	0,504	1,260	0,232

42,000	36,500	0,150	0,154	0,015	0,183	99,853	0,511	1,278	0,246
43,000	37,000	0,098	0,101	0,010	0,119	99,972	0,518	1,295	0,259
44,000	37,500	0,012	0,012	0,001	0,015	99,987	0,525	1,313	0,273
45,000	38,000	0,011	0,011	0,001	0,013	100,000	0,532	1,330	0,286
			84,181						