

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**

**Université Mentouri de Constantine**

**N° d'ordre :415/Mag/2008**

**N° de série :009/ST/2008**

**Faculté des sciences de la terre de la géographie et de l'aménagement du**  
**territoire**

**DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE**

**MEMOIRE DE MAGISTER**

**En Géologie**

*Option : Ressource en eau et environnement*

**Présentée par**

**CHEDDAD SOUHILA**

**THEME**

**Apport de l'étude hydrogéologique dans l'étude et le**  
**traitement des glissements de terrains**  
**Cas du site de Bougaa. Algérie Nord orientale**

**Soutenu le : 06/01/2009**

**Devant le jury :**

<b>Chabour N.</b>	<b>MC.</b>	<b>Université de Constantine</b>	<b>Président</b>
<b>Marmi R.</b>	<b>Prof.</b>	<b>Université de Constantine</b>	<b>Encadreur</b>
<b>Nemouchi A.</b>	<b>MC.</b>	<b>Université de Constantine</b>	<b>Examineur</b>
<b>Shout H.</b>	<b>MC.</b>	<b>Université de Constantine</b>	<b>Examineur</b>

# Remerciements

Je remercie avant tout Allah tout puissant, de m'avoir guidé toutes les années d'étude et m'avoir donné la volonté, la patience et le courage pour terminer ce travail.

Que monsieur Marmi R., professeur de l'université de Constantine, qui m'a fait l'honneur d'accepter diriger ce travail tout le long de sa réalisation accepte mes sincères gratitude.

Je porte ma gratitude à monsieur Chabour N., maître de conférences à l'université de Constantine, pour avoir accepté de présider ce jury et pour tout son aide et ses encouragements.

J'adresse mes respectueux remerciements aux messieurs Shout H. et Nemouchi A., maîtres de conférences à l'université de Constantine, pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Je tiens à remercier mes sieurs : Belhanachi H., Ben Nacef F., Boulaarek M. et Yousfi M. pour leurs soutient morale et ses encouragements.

Ces remerciements sont aussi l'occasion pour moi de témoigner ma gratitude aux personnels de la direction de l'hydraulique, de la direction de l'urbanisme et du laboratoire des travaux publics de Sétif.

Mes remerciements vont aussi à ma soeur Ouided, tous mes amis et tous ceux qui ont participé de loin ou de près à la réalisation de ce travail.

Enfin, je remercie infiniment ma famille pour leurs constants, encouragements et leur soutient sans faille.

## Résumé

Le site de Bougaa se situe au Nord est d'Algérie, c'est une zone montagneuse caractérisée par des nappes de charriages à vergence Sud. La structure tectonisée, dont les deux accidents conjugués NW-SE dextre et NE-SW senestre sont les plus marquées. Le climat contrasté, la nature lithologique et la réactivité sismique en sont les causes purement naturelles ayant provoqué les instabilités au niveau de cette ville.

L'eau constitue un agent déclencheur des instabilités. La présence d'eau est témoignée par les résurgences affleurantes en bas de pentes. Les eaux souterraines sont définies par la nappe d'inferoflux d'oued Kef Annser, dont la profondeur d'eau ne dépasse pas 5m est. Les sulfates, le potassium et le sodium proviennent de la dissolution des sels naturels. Par contre les chlorures ont les rejets domestiques comme origine.

Les travaux de terrassement malencontreux constituent un autre agent déclencheur de glissement.

Ces glissements sont superficiel observés au niveau de la couche superficielle des formations de pentes ou de l'argilite altérée. Ils sont corrélés avec les périodes de précipitations. Les points de glissements cartographiés s'organisent autour d'une direction orientée NW SE le long d'une faille.

La lutte contre l'eau est une des actions les plus efficaces pour prévenir, ralentir ou stabiliser un glissement de terrains (Chapeau, 1998). Le drainage est donc, la meilleure solution pour la stabilisation des glissements.

## Abstract

The city of Bougaa located in the north-eastern part of Algeria. It is the mountainous Tellien domain characterized by thrusting in vergence south. The tectonated structure, among which both conjugate accidents NW SE dexter and NE SW senester are the most marked, the contrasted climate and the seismic ability to react are the purely natural causes having provoked the instabilities at the level of this city.

The water constitutes an agent release mechanism of the instabilities. The presence of water is showed by the flush resurgences at the bottom of slopes. Subterranean waters are defined by the tablecloth of inferoflux of oued Kef Annser, whose depth of water does not overtake 5m. Sulphates, potassium and sodium result from the dissolution of natural salts. On the other hand chlorides have the domestic discharges for origin.

The inconvenient earth-moving constitute another agent release landslide.

These landslides are superficial observed at the level of the superficial layer of the training formations of slopes or the altered argilite. The relation between rainfall, groundwater and landslide are noticeable. The points of mapped landslides get organized around a direction NW SE along a fault.

Acting on water, notably by drainage is therefore one of the keys to landslide risk control.

**Mots clés :** Tell oriental, glissement de terrains, hydrogéologie, confortement.

# Sommaire

Chapitre	Page
<b>Généralités</b>	
1- Introduction générale	01
2- Plan de travail	02
3- Situation géographique	02
4- Relief	03
5- Climat	04
<b>Chapitre I : Géologie</b>	
I-1- Introduction	05
I-2- Cadre géologique régional	05
I-3- Cadre géologique local	09
a) Lithostratigraphie	09
b) Les aquifères potentiels	11
I-3.1- Géologie du site de Bougaa	11
Lithostratigraphie	15
I-4- Tectonique	15
I-4.1- Tectonique souple et tangentielle	17
I-4.2- Tectonique cassante	17
I-4.3- Sismicité	20
I-5- Conclusion	
<b>Chapitre II : Etude hydroclimatique du sous bassin versant d'Oued Kef Annser</b>	
II-1 : Introduction	21
II-2- Sous bassin versant d'Oued Kef Annser	21
II-2.1- Morphométrie du sous bassin versant d'Oued Kef Annser	22
a) Mesure de surface et de périmètre du sous bassin versant d'Oued Kef Annser	22
b) Hypsométrie du sous bassin versant d'Oued Kef Annser	24
II-2.2- Morphologie du sous bassin versant d'Oued Kef Annser	25
a) Indice de pente globale	25
b) Dénivelée spécifique	26
II-2.2.1- Morphologie du site de Bougaa	28
II-2.3- Réseau hydrographique	30
II-2.4- Conclusion	30
II-3- Étude climatique du sous bassin versant d'Oued Kef Annser	32
II-3.1- Les facteurs climatiques	32
II-3.1.1- Collecte des données	32
II-3.1.2- Précipitations	33
a) Répartition des précipitations	34
b) Estimation de la précipitation moyenne	36
II-3.1.3- Température de l'air	37
II-3.1.4- Régime thermique	38

# Sommaire

<b>Chapitre</b>	<b>Page</b>
a) Diagramme ombro thermique de Gaussen et Bengnoules	38
b) Méthode de G. Euvert	40
Conclusion	41
II-3.2- Bilan Hydrique et évapotranspiration	41
a) Evapotranspiration potentielle (E.T.P.)	41
b) Evapotranspiration réelle (E.T.R.)	43
$\alpha$ ) Formule de Turc	43
$\beta$ ) Méthode du bilan hydrique du Thorntwaite	44
II-4 Conclusion	47
 <b>Chapitre III : Etude hydrogéologique du site de la ville de Bougaa</b>	
III-1- Introduction	48
III-2- Les unités hydrogéologiques du sous bassin versant d'Oued Kef Annser	48
III-3- Contexte hydrogéologique du site	50
a) Coupe hydrogéologique N°1	52
b) Coupe hydrogéologique N°2	52
III-3.1- Niveau d'eau	54
III-3.1.1- Les résurgences	54
a) Campagne Juillet Septembre 2007	55
b) Campagne Décembre 2007 à Janvier 2008	57
c) Campagne Avril à Mars 2008	58
III-3.1.2- Eau souterraine	59
Campagne Avril au Mai 2008	61
III-4- hydrochimie des eaux	62
III-4.1- Les paramètres physico-chimiques analysés	63
III-4.2- Classification des eaux	63
a) Diagramme de Stiff	65
b) Classification de Stabler	67
III-4.3- Analyse statistique des données	68
III-5- Conclusion	68
 <b>Chapitre IV : Etude des glissements de terrain de la ville de Bougaa</b>	
IV-1- Introduction	70
IV-2- Description des points de glissement	71
IV-2.1- Localisation des points de glissement	71
IV-2.2- Description des points de glissement	73
IV-3- Les essais in situ	80
Essais de pénétration statique	80

# Sommaire

Chapitre	Page
IV-4- Détermination de la surface de rupture : au moyen de la sismique réfraction	84
IV-5- Aptitude des sols, carte de vulnérabilité	87
IV-6- Corrélations entre les déplacements de terrains observés et les précipitations	89
IV-7- Conclusion	90
<b>Chapitre V : Confortement des glissements</b>	
V-1- Introduction	91
V-2- Types de protection utilisés	91
V-2.1- Drainage	91
V-2.1.1- Collecte et canalisation des eaux de surfaces	92
V-2.1.2- Tranchés drainants	92
V-2.1.3- Masque et éperons drainant	92
V-2.1.4- Drains verticaux	92
V-2.2- Boisement et reforestation	93
V-2.3- Terrassements et ouvrages	93
V-2.3.1- Terrassement	93
a) Remblai de pied	94
b) Allègement en tête	95
c) Reprofilage	95
d) Purge	95
e) Substitution totale ou partielle	95
V-2.3.2-Ouvrages de soutènement	96
Tirants d'ancrage	96
V-3- Les confortements appliqués au site de la ville de Bougaa	97
V-3.1- Site cimetièrre, abattoir	98
V-3.2- Site amont de l'hôpital	98
V-3.3- Site C.E.M. Taklit	98
V-3.4- Site stade	98
V-3.5- Site souk l fellah	98
V-4- Conclusion	98
<b>VI Conclusion générale</b>	99
<b>Références bibliographiques</b>	101
<b>Annexes</b>	105

## Liste des figures

Titre de la figure	Page
- Fig.1 : Carte de situation géographique de la ville de Bougaa	03
- Fig. I-1 : Schéma structurale simplifiée (Villa, 1977)	07
- Fig. I-2 : Coupes géologiques interprétatives (Villa, 1977)	08
- Fig. I-3 : Colonne lithostratigraphique	09
- Fig. I-4 : Carte géologique de la région de Bougaa	10
- Fig. I-5 : Carte géologique du site de la ville de Bougaa	13
- Fig. I-6 : Coupes géologiques	14
- Fig. I-7 : Schéma structurale simplifiée (Vila, 1980)	16
- Fig. I-8 : Carte de fracturation	18
- Fig. I-9: Carte de zonage sismique du territoire national- RPA99/ Après Addenda	19
- Fig. II-1 : Les grands bassins versant de l'Algérie	22
- Fig. II-2 : Limite du sous bassin versant d'Oued Kef Annser	24
- Fig. II-3 : La courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued Kef Annser	26
- Fig. II-4.1 : Morphologie du sous bassin versant d'Oued Kef Annser	28
- Fig. II-4.2 : Carte des pentes de la ville de Bougaa	30
- Fig. II-5 : Réseau hydrographique du bassin versant d'Oued Kef Annser	32
- Fig. II-6 : Carte de situation des stations pluviométriques	34
- Fig. II-7 : Carte pluviométrique (A.N.R.H., 1993)	35
- Fig. II-8 : Répartition mensuelle des précipitations	37
- Fig. II-9 : Répartition saisonnière des précipitations	37
- Fig. II-10 : Carte pluviométrique du bassin versant d'Oued Kef Annser	39
- Fig. II-11 : répartition des températures mensuelles	40
- Fig. II-12 : Diagramme ombrothermique de la station de Bouira	41
- Fig. II-13 : Diagramme ombrothermique de la station de Magroua	41
- Fig. II-14 : Diagramme ombrothermique de la station de Ain Roua	42
- Fig. II-15 : Carte d'isovaleur d'évapotranspiration (Turc) du sous bassin versant d'Oued Kef Annser	46
- Fig. II-16 : Carte d'isovaleur d'évapotranspiration (Thorntwaite)	
- Fig. III-1 : Carte lithologique du sous bassin versant d'Oued Kef Annser	51
- Fig. III-2 : Carte d'iso profondeur des eaux (Mai, 2001)	54
- Fig. III-3 : Coupes hydrogéologique	55
- Fig. III-4 : Carte d'inventaire des sources (Juillet_Septembre2007)	56
- Fig. III-5.a : Carte d'inventaire des sources (Décembre 2007_Janvier2008)	57
- Fig. III-5.b : Niveau des sources (Décembre 2007_Janvier2008)	58

## Liste des figures

Titre de la figure	Page
- Fig.III-6 : Carte d'inventaire des sources (Mars-Avril2008)	59
- Fig.III-7 : Inventaire des puits d'eau de la ville de Bougaa	60
- Fig. III-8 : Carte piézométrique de la ville de Bougaa (Mai 2008)	62
- Fig. III-9.a : Diagramme de Stiff et formules caractéristiques des eaux analysées. Septembre 2007 classification de Stabler	67
- Fig. III-9.b: Diagramme de Stiff et formules caractéristiques des eaux analysées. Mai 2008	67
- Fig. III-10 : Cercle de corrélation plan F1-F2 (campagne Mai2008)	68
- Fig. III-11 : Cercle des individus plan F1-F2 (campagne Mai2008)	69
- Fig. IV-1 : Les composants d'un glissement	71
- Fig. IV-2 : Carte des instabilités cartographiées sur le site de la ville de Bougaa	73
- Fig. IV-3 : Site d'hôpital	75
- Fig. IV-4 : Dégradation au niveau de clôture du CEM	76
- Fig. IV-5 : Site du stade	77
- Fig. IV-6 : Site souk el fellah	77
- Fig. IV-7: Site de la stèle	78
- Fig. IV-8 : Site logements évolutifs	79
- Fig. IV-9 : Glissement ancien	80
- Fig. IV-10 : Les instabilités de la cité Ouled Khelifi	81
- Fig. IV-11 : Pénétrromètre statique	82
- Fig. IV-12: Les pénétrogrammes statiques	85
- Fig. IV-13 : Le pénétromètre dynamique	86
- Fig. IV-14 : Les pénétrogrammes dynamiques	90
- Fig. IV-15 : Coupes interprétatives montrant l'épaisseur et la nature de la formation déconsolidée	93
- Fig. IV-16 : Carte d'aptitude des sols	95
- Fig. V-2 : Travaux de terrassement	101
- Fig. V-3 : Remblai de pied	101
- Fig. V-4: Différentes techniques de terrassements	102
- Fig. V-5: Mur de soutènement	103
- Fig. V-6: Les tirants d'ancrages	104



## Liste des tableaux

Titre du tableau	Page
- Tableau 1: Coordonnées Lambert du site objet de l'étude de glissement de la ville de Bouгаа	02
- Tableau II-1: Coordonnées Lambert du bassin versant d'Oued Kef Ansser	21
- Tableau II-2: Surface et périmètre du bassin versant d'Oued Kef Ansser	23
- Tableau II-3: Les coordonnées de la courbe hypsométrique du sous bassin versant d'Oued Kef Ansser	25
- Tableau II-4: Différentes altitudes tirées à partir de la courbe hypsométrique du sous bassin versant d'Oued Kef Ansser	25
- Tableau II-5 : Classification des reliefs d'après O.R.S.T.O.M	27
- Tableau II-6 : Caractérisation des gammes de pente	29
- Tableau II.7 : Coordonnées des stations pluviométriques	33
- Tableau II-8 : Répartition des précipitations	36
- Tableau II-9 : Surface partielle entre deux isohyètes successives	38
- Tableau II-10 : Répartition des températures moyennes	39
- Tableau II-11 : Les régimes climatiques selon la méthode de G. Euvert.	42
- Tableau II-12: Valeur du rapport de P/T	42
- Tableau II-13: Calcul d'E.T.P selon la formule de C.W Thornthwaite	44
- Tableau II-14 : Valeurs de l'E.T.R selon la méthode de Turc	45
- Tableau II-15 : Bilans hydrique des stations du bassin versant d'Oued Kef Ansser	47
- Tableau II-16 : Composantes du bilan hydrique	49
- Tableau IV-1 : Principales classes et types de glissement	71
- Tableau IV-2 : Localisation des points de glissement	72
- Tableau IV-3 : Critère de classification des sols en fonction de la résistance à pénétration statique	82
- Tableau IV-4 : Interprétation des essais de pénétration statique	83
- Tableau IV-5 : Critère de classification des sols en fonction de la résistance à pénétration dynamique	86
- Tableau IV-6 : Interprétation des essais de pénétration dynamique	87
- Tableau IV-6 : Epaisseur de la formation déconsolidée au moyen de la sismique réfraction (L.T.P. Est, 2001)	91
- Tableau IV-7 : Interprétation des inclinomètres (L.T.P. Est, 2001)	96
- Tableau V-1 : Le rôle de l'eau dans le mécanisme des mouvements de terrain	98

# GENERALITES

## 1- Introduction générale

Les glissements de terrains s'expliquent par la conjugaison des facteurs permanents ou de prédisposition (nature et structure des formations géologiques, pentes,...) et de facteurs déclenchants comme les eaux infiltrées, une secousse sismique ou des travaux de terrassement malencontreux. Les nappes souterraines, et plus exactement leurs fluctuations liées aux conditions météorologiques ou parfois aux actions humaines sont à l'origine de déclenchements des mouvements des versants : glissement, éboulements, coulées ou laves torrentielles. (Chapeau, 1998)

Sur les pentes, l'action déstabilisatrice de l'eau infiltrée dans le sol est triple :

- ✓ Accroissement du poids volumique des sols par augmentation de la teneur en eau ;
- ✓ Changement du comportement rhéologique : le sol passe de l'état solide à l'état de fluide visqueux ;
- ✓ Action mécanique défavorable des pressions d'eau souterraine.

Le village de Bougaa, dont le relief est spécifiquement montagneux, est accroché au flanc Sud du Dj. Guergour en surplombant le bas relief du Nord creusé par les Oueds Kef El Annser, Sidi Ali, El Guettar qui collectent toutes les eaux des ravines avoisinantes pour les acheminer vers l'Oued Bou Sellam à l'Ouest.

Si les nombreuses ravines qui rident le visage de Bougaa ont créé un chevelu dense contrastant avec le relief relativement jeune des monts des Babors, au contraire elles se justifient par la présence d'un substratum marneux ou peliteux qui est peu perméable. Ainsi le ruissellement est important et le réseau hydrographique apparent ne peut être qu'extrêmement développé et bien hiérarchisé.

Il est à signaler qu'aucune étude hydrogéologique n'a été réalisée auparavant et que toutes les études géotechniques des glissements de terrains dans cette région sont menées par les services du Laboratoire des Travaux Publics de l'Est (Direction régionale de Sétif), et sont toujours limitées par le temps et ne font jamais l'objet d'un suivi continu sur plusieurs années.

Ce travail consiste, donc, en une identification des unités hydrogéologiques de la région de Bougaa, pour en pouvoir expliquer l'influence des eaux souterraines et de surfaces dans le déclenchement des glissements de terrain.

## 2- Plan de travail:

La démarche à suivre dans ce travail se compose de deux parties. La première partie est une identification hydrogéologique des différents aquifères de la ville de Bougaa. Elle comporte une étude géologique menée par la lithostratigraphie et la tectonique en vue de définir les aquifères potentiels et de caractériser le sous sol. Suivi d'une étude hydroclimatique menée par l'étude du sous bassin versant d'Oued Kef Anser, en vue de caractériser la morphologie, le climat et de déterminer les composantes du bilan hydrique, afin d'en déduire les valeurs de ruissellement y compris l'infiltration. L'hydrogéologie et l'hydrochimie sont à la suite abordées par un suivi d'apparition des sources et de variation des niveaux d'eau souterraines durant la période étalée entre Juillet 2007 et Mai 2008.

Dans la deuxième partie qui touche aux glissements proprement dits, nous introduisons une cartographie des corps glissés tout en les caractérisant. En suite, l'étude du sol sera entamée avec des essais in situ et complétée par une carte de vulnérabilité du secteur d'étude avec des propositions de confortement des zones de glissements.

## 3- Situation géographique

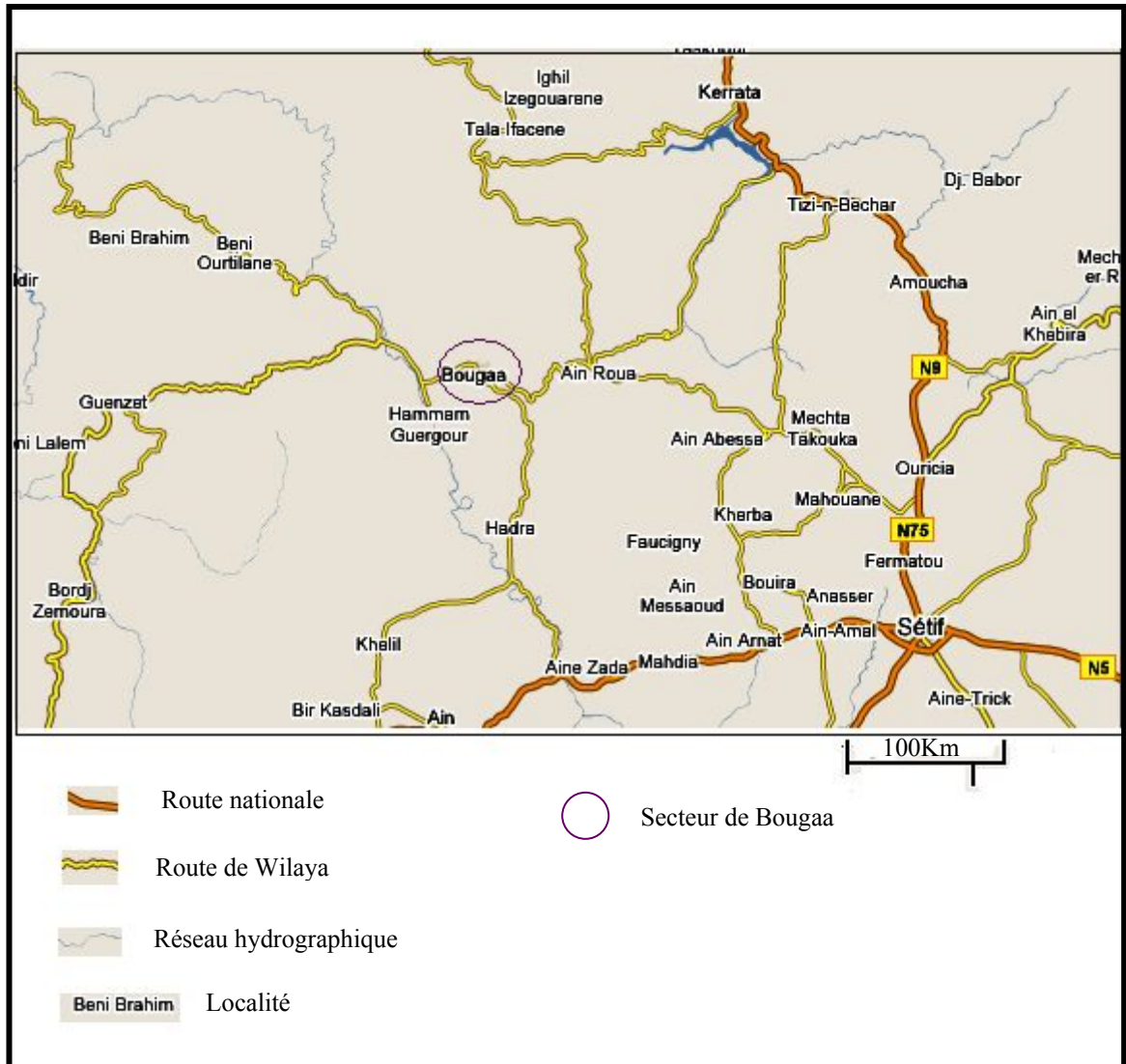
La ville de Bougaa est située au Nord-ouest de la Wilaya de Sétif, on s'y rend en empruntant d'abord la RN 75 jusqu'à Ain Roua, en suite la RN 74 sur 9 Km (Fig.1). Elle est limitée administrativement par :

- ✓ Au Nord, les communes d'Ain Margoum et El Guater ;
- ✓ Au Sud, la commune d'Ain Abessa ;
- ✓ A l'Ouest, la commune de Guenzet ;
- ✓ Et à l'Est, la commune d'Ain Roua.

La région de Bougaa concernée par cette étude est limitée à l'Est par la zone d'activité, au Nord par la vallée de l'Oued El Anser et au Sud par les premiers contreforts du Dj. Guergour. Plus précisément cette zone englobe l'ancienne ville et son extension vers l'Est. Elle dessine une forme presque rectangulaire sur une superficie d'environ 375 hectares. Le site est déterminé par les coordonnées Lambert Nord représentés sur le tableau 1 suivant :

X		Y	
X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>
714,250	717,000	338,800	340,500

Tableau 1 : Coordonnées Lambert du site objet de l'étude de glissement de la ville de Bougaa



**Fig. 1 : Carte de situation géographique de la ville de Bougaa**

#### 4- Relief

La partie Nord des hautes plaines Sétifiennes est organisée à partir de deux lignes principales de reliefs. Sur la limite septentrionale, il s'agit des Babor avec d'Ouest en Est : le chaînon Takintouch-Bou Andas (1596 m), l'Adrar Amar Redou (1537 m), le chaînon du Dj. Babor (2004 m) et le massif des Dj. Bou Cherf (1150 m) et Oukissène (1045 m). Une deuxième ligne de hauteur moins continue accidentée avec des reliefs qui s'abaissent doucement vers le Sud. D'Ouest en Est il s'agit des Biban de Zemmoura (1503 m), du Dj. Guergour (1631 m), du Dj. Anani (1554 m), du Dj. Mégriss (1737 m), du Dj. Medjounès (14641 m) et des hauteurs de Djemila (1462 m au Dj. Chouf Aissa Ben Zir)

## **5- Climat**

La barrière climatique des reliefs septentrionaux et l'altitude accentuent les contrastes et diversifient la végétation. Les Babors reçoivent des précipitations importantes (jusqu'à 800mm par an) et des neiges hivernales.

Le climat de la région de Bougaa est continental, avec un été chaud prolongé et un hiver froid où les chutes de neige couvrent parfois les montagnes pendant plusieurs jours au cours des mois de Décembre et Janvier.

La température moyenne annuelle est de l'ordre de 10 à 15°, descend à moins de 2° en hiver et atteint 35° en été.

Quant aux précipitations, moyennes de la région d'étude allant de 400 à 600 mm selon l'altitude, ce qui permet une reconstitution lente du domaine forestier très dégradé, celui-ci est caractérisé par de petits secteurs boisés.

# CHAPITRE I

## GEOLOGIE

## **I-1 : Introduction**

Tout projet d'aménagement doit être précédé par une étude géologique du sol et sous sol et complétée par une étude géotechnique. Pour les glissements de terrain, la nature et la structure de la formation géologique sont considérées comme des facteurs de prédisposition pour le déclenchement de telle instabilité.

## **I-2 : Cadre géologique régional**

La chaîne Alpine d'Algérie s'articule sur le Rif et constitue la chaîne tello rifaine (Wildi, 1983) qui représente le segment occidental de la chaîne des Maghrébide (Durand Delga, 1980). L'édifice de cette chaîne résulte de la structuration du bassin magrébin et de ces marges, bassin qui se situe entre les marges continentales africaines et européennes.

La chaîne Alpine d'Algérie se caractérise par des structures en nappe à vergence Sud et une unité orogénique remarquable du Nord vers le Sud on a :

- Le domaine interne ;
- Le domaine de flyschs ;
- Le domaine externe.

- 1) ***Le domaine Interne*** : est caractérisé par la dominance des affleurements de socle métamorphique de nature variée, comprenant localement des formations catazonales et des péridotites.
- 2) ***Le domaine des flyschs*** : il se caractérise par des formations de plaines abyssales mises en place par des courants de turbidité. Ces formations ont été subdivisées en trois groupes :
  - Les flyschs de Guerrouch ou les flyschs Maurétaniens (proposé par Gelard, 1969) ;
  - Les flyschs schisto-quartzeux ou albo-aptien « de Glangeaud, 1932 » ;
  - Les flyschs Numudien.
- 3) ***Le domaine externe*** : en Algérie orientale, il est représenté par les séries telliennes, les séries de l'avant pays allochtone (selon les conceptions de Vila, 1980) et les séries de l'avant pays atlasique.



La région de Bougaa fait partie, selon cette subdivision, au domaine externe, plus exactement aux nappes telliennes. Ces nappes sont constituées par de plusieurs unités largement décalées les unes par rapport aux autres. Ces unités sont représentées de haut en bas selon Vila (1977) comme suit : (Fig. I-1, Fig. I-2)

- **La nappe ultra tellienne** : affleure trop mal, son état de dislocation montre l'existence de tectonique successive.
- **La nappe de type Barbacha** : cette nappe est jalonnée par des masses gypseuses triasiques.
- **La nappe de type Beni Abdallah** : sa genèse est le résultat d'une diverticulation. Le clivage se produit à la faveur d'une différence de compétence entre le Crétacé moyen marnocalcaire ou siliceux et le Crétacé supérieur entièrement marneux.
- **L'unité supérieure à matériel éocène** : Le développement en surface de cette unité supérieure est très remarquable. Le contact de base de cette unité cisaille les plis.
- **La nappe Bibanique** : correspond à une masse plissée isoclinalement dans des formations d'âge crétacé inférieur à crétacé supérieur. L'ensemble affecte l'allure d'un grand pli couché vers le Sud dont le flanc inverse est seul conservé à son extrémité orientale, au contact avec Dj. Guergour.
- **La nappe de Djemila** : couvre des surfaces considérables sur la moitié Nord Est. C'est la seule unité tellienne représentée par une série complète allant du Lias à la fin de l'Eocène.
- **L'unité inférieure à matériel éocène** : est localisée à l'Ouest au front de la nappe de Djemila.

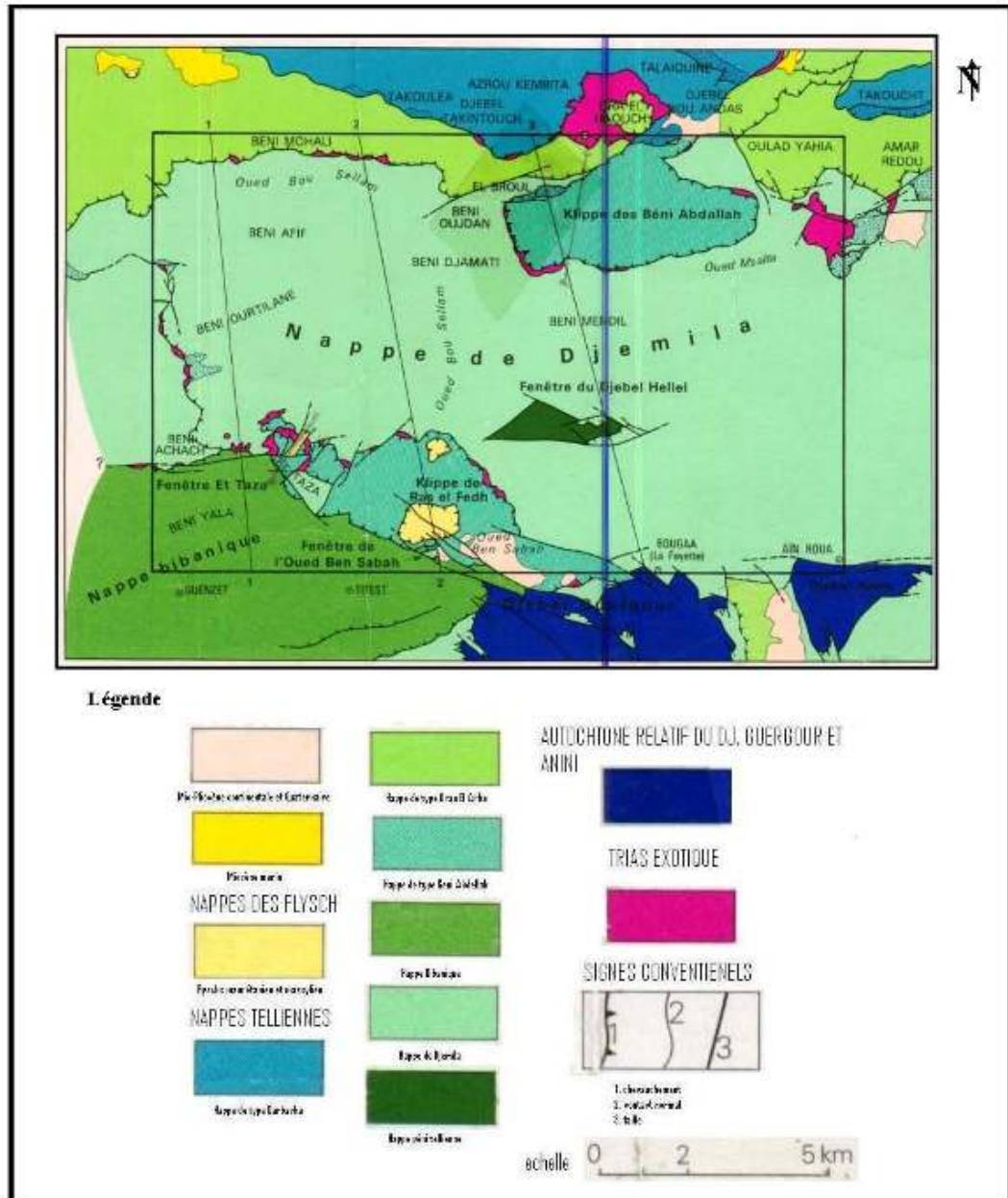


Fig. I-1 : Schéma structurale simplifié (Vila, 1977)  
(Extrait de la carte géologique au 1:50.000 de Ain Roua)

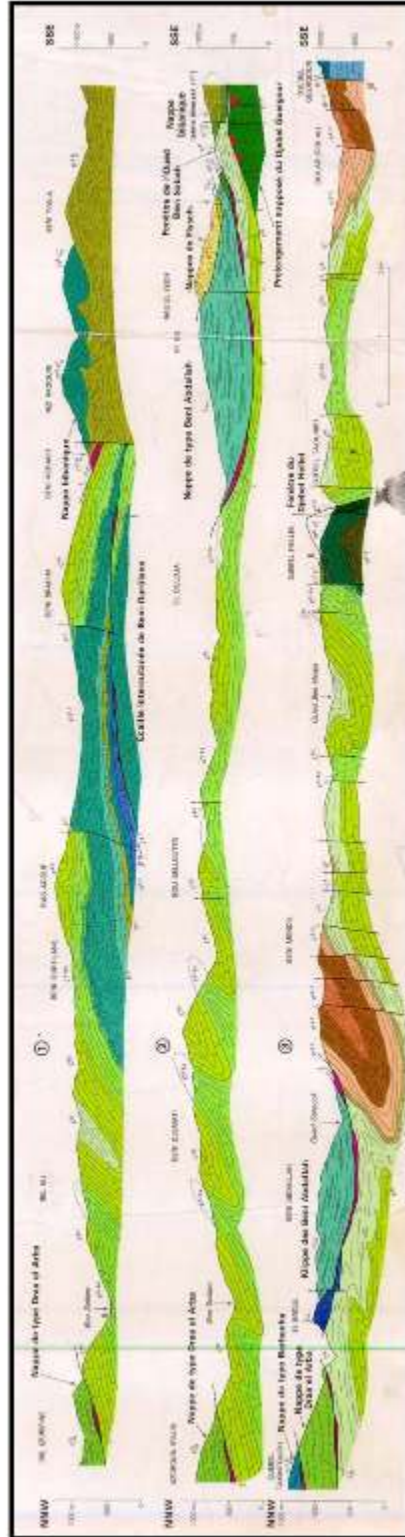


Fig. I-2 : Coupes géologiques interprétatives, Vila (1977)

**I-3 Cadre géologique local**

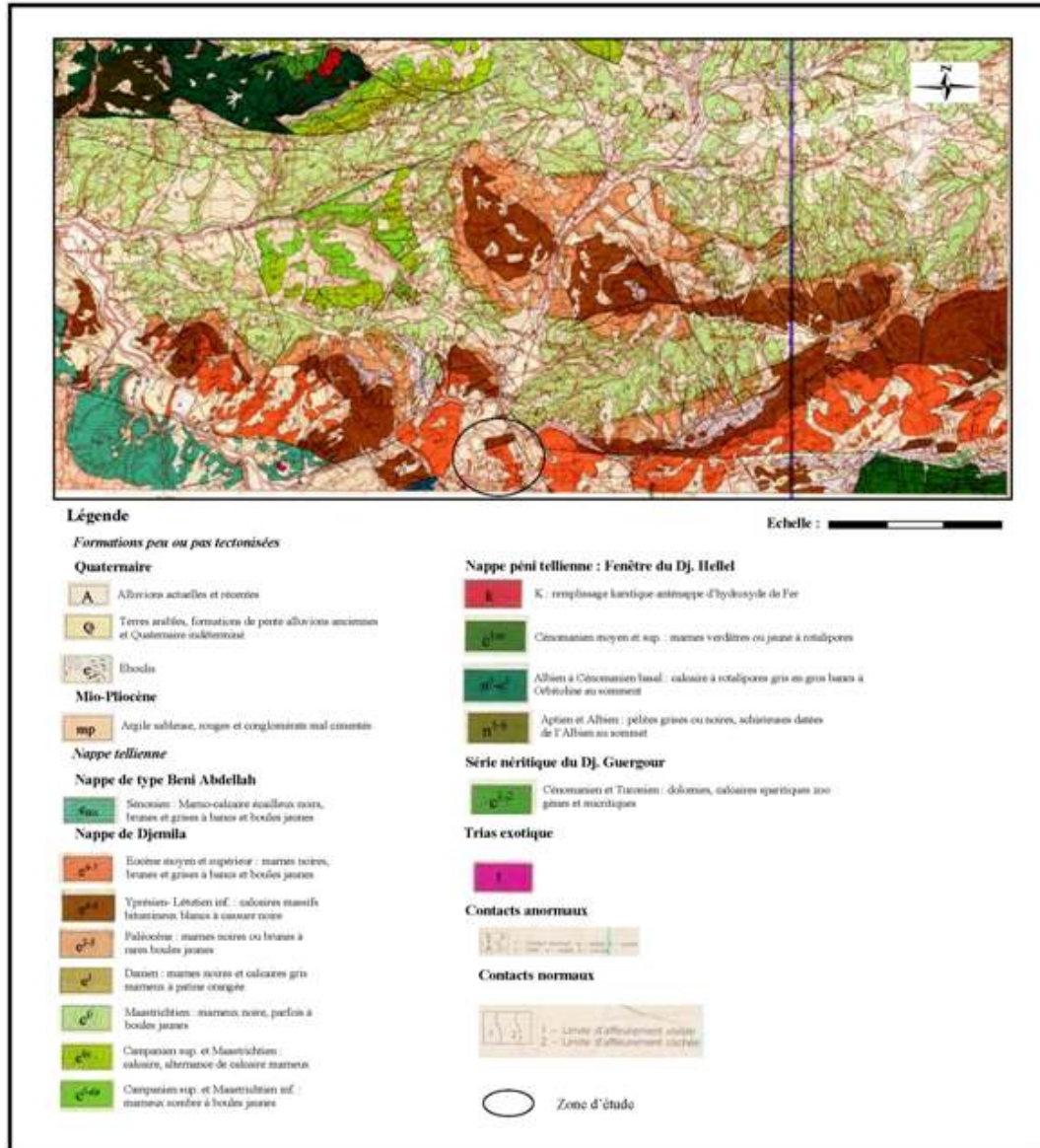
**a ) Lithostratigraphie**

Les formations en présence sont représentées sur la colonne lithostratigraphique de la figure Fig. I- 3 ci-dessous. Elles sont datées du Jurassique au Quaternaire. Les affleurements de ces différentes formations sont représentés sur la figure Fig. I-4

Unité	Etage	Sous étage	Symbole	Figuré	Description lithologique	
Formation peu ou pas tectonisée	Quaternaire	Quaternaire récent	A		Sables, graviers, des limons englobant des gros blocs	
		Quaternaire ancien	Q		Terres arables, formations de pente et alluvions anciennes	
		Quaternaire ancien	e		Eboulis en blocs	
	Mio-Pliocène	Mio-Pliocène	mp		Argiles sableuses rouges et conglomérat mal cimenté	
Nappe de type Beni Abdellah	Crétacé	Sénonien	c BA		Marno-calcaires écaillieux noirs à lentilles de calcaires jaunes et marnes à Intercalation de calcaires marneux à patine vert jade	
Nappe de Djemila	Eocène	Eocène moy et sup	e6-7		Marnes noires, brunes et grises à blanc et à boules jaunes. Il peut atteindre 400m	
		Yprésien Lutétien Inf.	e4-5		Calcaires massifs bitumineux blancs à boules jaunes. Il peut atteindre 150 à 200m d'épaisseur.	
	Paléocène	Paléocène	e2-3		Marnes noires ou brunes à rares boules jaunes, avec, au sommet des alternances de marnes grises et de marno-calcaires en petit bancs.	
		Danlien	e1		Marnes noires et calcaires gris marneux à patine orangée	
	Crétacé sup.	Maastrichtien	c6		Marnes noires parfois à boules jaunes.	
		Campanien sup. à Maastrichtien	c6c		calcaires, alternances de calcaires marneux reglis gris et de marnes grises. Il peut atteindre quelques dizaines de mètres.	
		Coniacien sup. Santonien	c3-4		Marne grises et calcaire marneux.	
		Vraconien et Cénomanién Inf.	n7-c1		Marnes, calcaires et conglomérat sparitique à orbitolines	
	Nappe pétri tellierne du D.J. Heilal	Aptien à Cénomanién	-	K		Remplissage karstique anténappe d'oxyde de fer
			Cénomanién moy. à sup.	c1-m		Marnes verdâtres ou jaunes à rotalipores.
Albien à Cénomanién basal			n6-c1		Calcaires sparitiques gris en gros blocs à orbitolines roulées avec Intercalation marneuses et calcaires noduleux à orbitolines au sommet.	
Aptien à Albien			n5-6		Pâtes grises ou noire, schisteuses datée de l'Albien au sommet. Il peut atteindre 300m d'épaisseur.	
Autochtone relatif du D.J. Guergour	Crétacé inf.	Cénomanién et Turonien	c1-2		Dolomites et calcaires massifs sparitiques.	
		Vraconien et Cénomanién inf.	n6-c1		Marnes dures à patine verdâtre, marnes noires esquilleuses et calcaires argileux gris	
		Aptien	n5		Alternance de calcaires microcristallines, de marnes grises sur 80m de base. Les 50m terminaux, au dessus, sont essentiellement marneux avec des intercalations de niveaux calcaires et gréseux.	
		Barrémien	n4		Calcaires à la base et marnes au sommet	
		Néocomien	n1-3		Marnes schistoides	
	Jurassique	Jurassique	jD		Puissance assise dolomitique. (plus de 300m d'épaisseur)	
Trias	Trias	Trias	t		Argiles vari color et gypse broyé.	

Fig. I-3: Colonne lithostratigraphique de la région de Bouгаа (Vila, 1977)

N.B. ——— désigne le contact anormal des nappes de charriages



**Fig. I-4 : Carte géologique de la région de Bouгаа**  
(Carte géologique de Ain Roua au 1/50.000, d'après Vila, 1977)

## b) Les aquifères potentiels

Les différentes unités représentées dans le secteur du Bougaa sont classées, du point de vue hydrogéologique, comme suit :

- **Formations récentes du Quaternaire et du Mio-Pliocène** : marqué une formation de remplissage poste nappe, il s'agit en générale des alluvions et des formations de pente. C'est donc une formation meuble à granulométrie hétérogène et à perméabilité d'interstice très faible.
- **Formation de la nappe de Beni Abdallah** : peut constituer un aquifère au niveau de la formation des marnocalcaires.
- **Formation de la nappe de Djemila** : les formations carbonatées de l'Yprésien – Lutétien et de Campanien – Maastrichtien peuvent constituer un aquifère. Mais reste toujours que ces formations ne puissent développées d'important aquifère, vue le morcellement de ces formations et leur allochtonie.
- **Formation du Dj. Hallal** : seules les formations carbonatées de l'Albien à Cénomaniens peuvent être aquifères.
- **Formation du Dj. Guergour et Annini** : cette zone est constituée par un réseau de fracturation très dense et très complexe et par la présence d'un réseau karstique renfermant des sédiments ferrifères avec l'absence d'exutoire important. Tous ces critères assurent la présence d'un important aquifère en profondeur (Athemna, 2006)

## I-3.1 : Géologie du site de Bougaa

### Lithostratigraphie

Les formations géologiques rencontrées sont les suivantes (Fig. I-5).

### Quaternaire

- *Quaternaire ancien (Q)* : terres arables, formations de pente. Parmi les formations de pente nous distinguons :

#### a) *Les dépôts de pente fins (colluvions)* :

Ils sont représentés par des argiles beiges, brunes à jaunâtres renfermant parfois des graviers et cailloux. Ces dépôts colluviaux couvrent de grandes surfaces du versant, ils sont de granulométries fines et très plastiques. Ce type de formation renferme souvent des graviers et cailloux dispersés ou encore de fragments rocheux de petites dimensions peu usés. Il présente une épaisseur très variable (2 à 20m). La perméabilité de ce type de formation est médiocre, la circulation d'eau peut s'effectuée entre les graviers et les fragments de roche.

*β) Les alluvions anciennes :*

Elles couvrent l'étendue plate de long de l'Oued Kef Annser. Ces alluvions sont formées par des graviers et cailloux enrobés dans une matrice limono-argileuse.

- *éboulis à blocs (e) :*

Ce sont des éboulis anciens fixés dans une gangue argileuse. La granulométrie de ces formations est très hétérogène et grossière, avec des éléments métriques fréquents alimentés par des affleurements de roches dures du Dj. Guergour.

## Nappe de Djemila

La seule nappe qui touche à notre zone d'étude est celle de Djemila. Les formations suivantes affleurent :

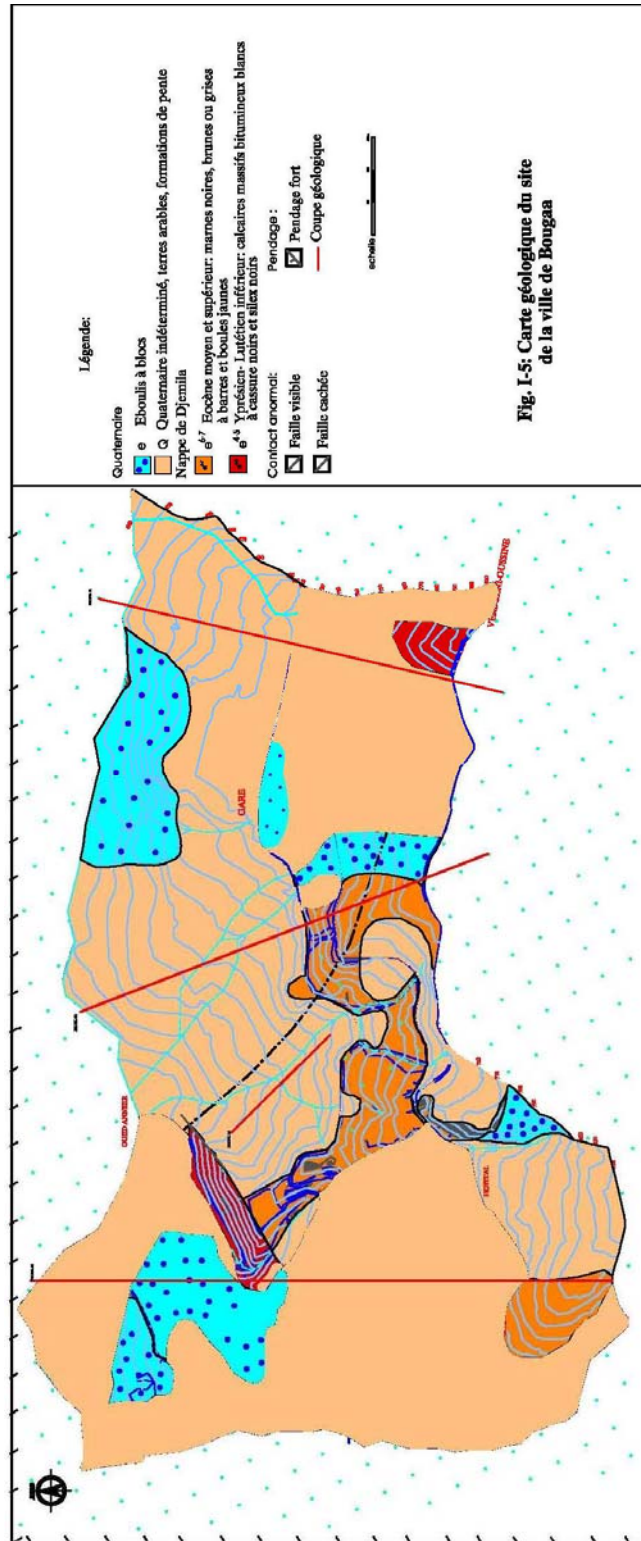
- *Eocène moyen et supérieur (e<sup>6-7</sup>)*: marnes noires, brunes ou grises à bancs et boules jaunes;
- *Yprésien Lutétien inférieur (e<sup>4-5</sup>)* : calcaires massifs bitumineux clairs à cassures noires et silex noirs.

Pour ce site, quarante sondages carottés ont été réalisés dont la profondeur varie entre 12m et 20m. Et vingt neuf sondages sismiques, dont l'équipement utilisé est composé de :

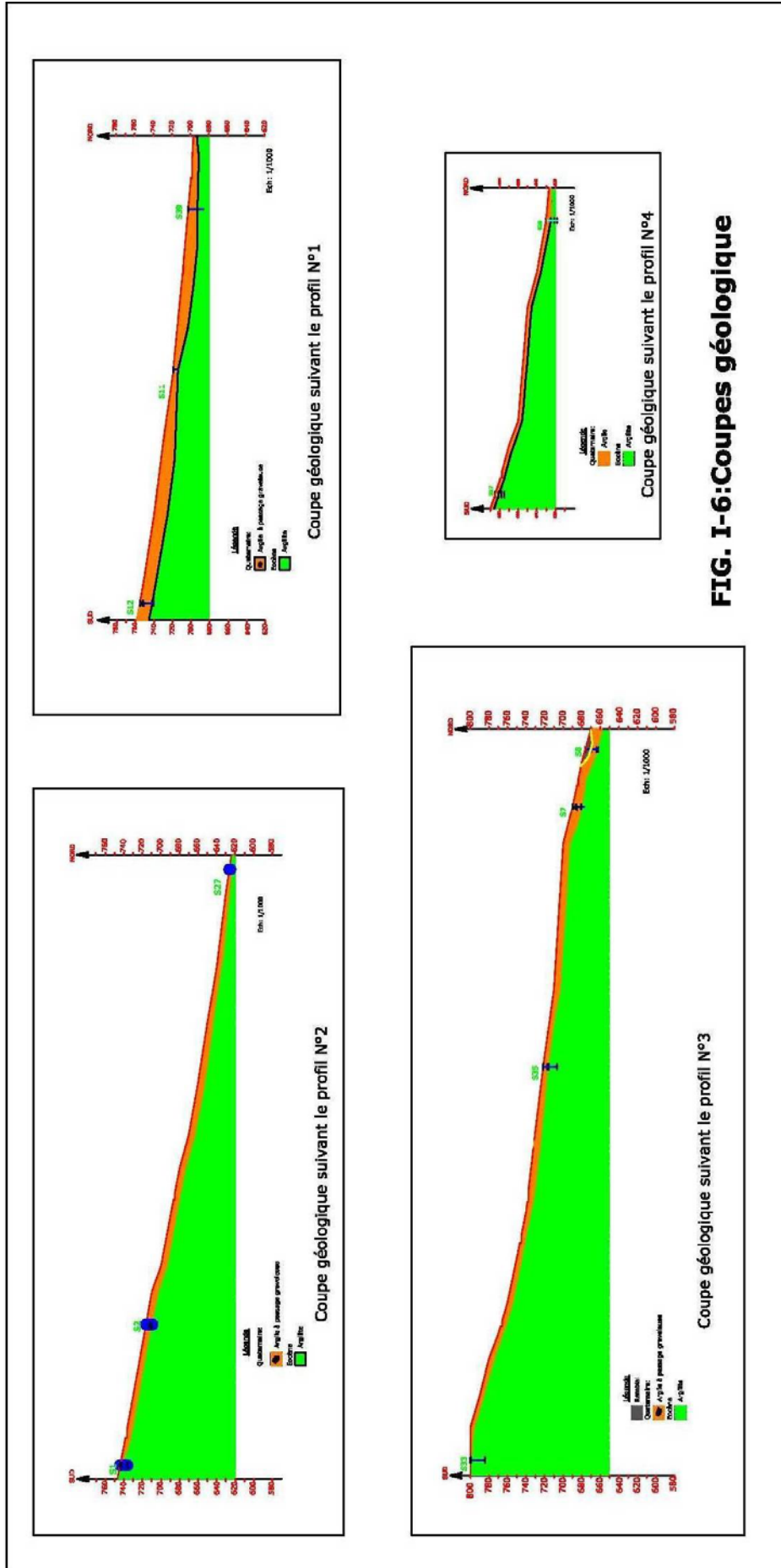
- Un sismographe à un seul canal (monotrace) ;
- Des géophones ;
- Un marteau sismique comme source d'énergie ;
- Un dispositif long de 50m.

Ces sondages ont été transformés en coupes de la figure Fig. I-6.

Les coupes établies montrent que le sous sol est constitué par une formation d'argilite saine. Cette formation est surmontée par les formations détritiques à dominance argileuse.







## **I-4 : Tectonique**

### **I-4.1 : Tectonique souple et tangentielle**

Le schéma structural (Fig. I-7) présente un relevé des axes de pli et des charriages au niveau de la nappe de Djemila.

- ***Les anticlinaux et les synclinaux*** : Trois familles de direction des axes de pli sont notables :

**a) La famille E-W** : Cette direction est très fréquente au centre de la nappe de Djemila, elle-même remarquable plus au Sud à l'Ouest de Tadjenamet. Elle correspond à la torsion des structures plissées antérieures au charriage (Vila, 1980). Leur extension est de 4 à 10 Km.

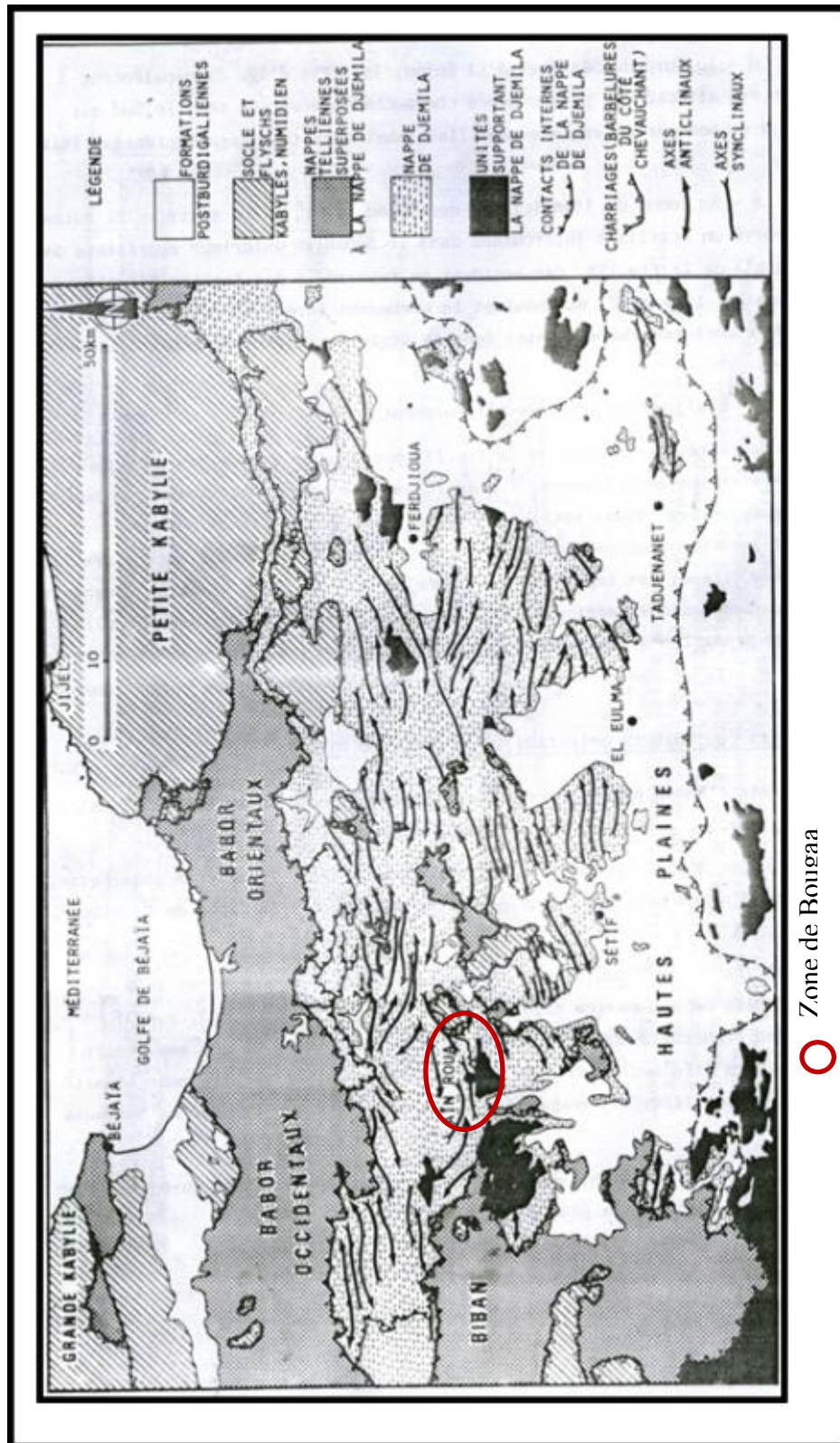
**a) La famille NE-SW** : Cette direction est remarquable aux extrémités de la nappe de Djemila. Au Nord-est l'extension des plis est remarquable et peut atteindre 23 Km.

**b) La famille NW-SE** : Elle est très marquée au Nord-est et au Sud-ouest de la nappe. Leur extension est moins importante que la direction NE-SW.

- ***Les nappes de charriages*** : le schéma structural simplifié (Fig. I-7) montre la superposition des unités des charriages au sein de la nappe de Djemila.

a) On note que les deux unités des nappes des Babors et des Bibans sont superposées à la nappe de Djemila.

b) l'autochtone relatif supportant cet empilement de nappes telliennes est définie par l'ensemble sud sétifien et les monts du Hodna. Cet ensemble est daté du Jurassique au Crétacé. Il est surtout réparti au sud



○ Zone de Bougaa

Fig. I-7 : Schéma structurale simplifiée (Vila, 1980)

#### **I-4.2 : Tectonique cassante**

La carte (Fig. I-8) de la fracturation, montre que les failles sont groupées en quatre familles.

- **Famille N à NW-S à SE**: très marquées sur les calcaires massifs éocènes. Ces failles sont à faible rejet.
- **Famille E-W** : cette direction est moins fréquente, affecte surtout les formations du Jurassique et du Crétacé du Dj. Guergour. Son extension est régionale.
- **Famille NE à SW et la famille NW à SE** : sont deux directions conjuguées, datée post Eocène à grande rejet. La direction NW-SE est la plus fréquente. Elle est décrochante dextre. L'extension de la direction NE-SW est considérable et peut atteindre 12Km. Cette direction est décrochante senestre.

#### **I-4.3 : Sismicité**

Du point de vue sismicité et les risques que peut causer ce phénomène, l'Algérie est divisée selon l'intensité tellurique en quatre zones sismiques (Fig. I-9). La ville de Bougaa se situe, selon les règles parasismiques algériennes, dans la zone IIa qui est une zone à activité sismique moyenne à forte.

Régionalement une réactivité sismique est enregistrée au niveau de la zone de Béni-Ouartilane en Novembre 2000 (NW de Bougaa). Cette secousse est enregistrée à 5° à l'échelle de Mercalli. Elle a provoqué des dégâts matériels. (CRAAG, 2004)



Fig. I-8 : Carte de fracturation

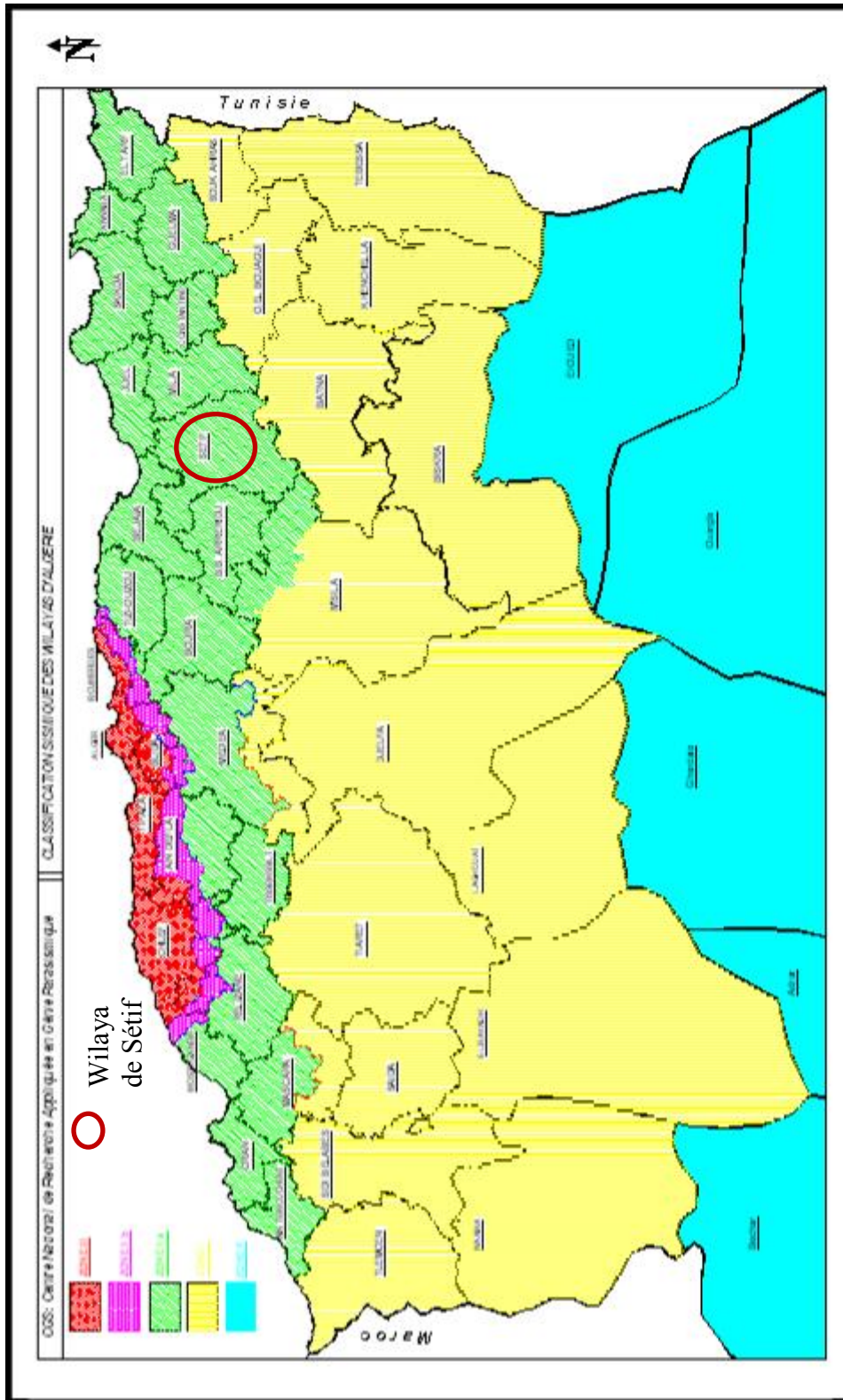


Fig. I-9 : Carte de zonage sismique d u territoire national RPA99/ Après Adenda

## **I-5 : Conclusion**

Le secteur du site de Bougaa constitue la limite la plus méridionale de la nappe de Djemila, où l'accident de direction E-W à extension régionale délimite l'affleurement des formations tertiaires. Les directions conjuguées NE-SW à décrochement senestre et NW-SE à décrochement dextre, post éocène sont les plus fréquentes.

Régionalement une réactivité sismique est enregistrée depuis l'an 2000. Une secousse sismique est enregistrée au niveau de Beni Ouartilane (NW de la ville de Bougaa). L'accident tectonique actif dans cette zone n'est pas défini.

Du point de vue lithologique, se sont les formations marneuses (typique pour la nappe péni tellienne) les plus abondantes. Au niveau de la ville de Bougaa les caractéristiques des formations géologiques sont les suivantes :

- **Les dépôts de pente fins (colluvions) :** Ils sont représentés par des argiles beiges, brunes à jaunâtres renfermant parfois des graviers et cailloux.
- **Les dépôts de pente grossiers :** Se sont des éboulis ancien fixés dans une gangue argileuse.
- **Les alluvions anciennes :** C'est la plaine alluviale de l'Oued Kef Annser. Ces alluvions sont formées par des graviers et cailloux enrobés dans une matrice limono argileuse.
- **Les argilites schisteuses gris à brunes, à boules jaunes :** Elles sont parfois légèrement calcaires avec quelques bancs de calcaire marneux.
- **Les calcaires à silex :** En affleurement très limité et très réduit.

# CHAPITRE II

## HYDROCLIMATOLOGIE



## II-1 : Introduction

L'eau est considérée comme étant le moteur principal, dans des conditions bien déterminée (pente de terrains favorable et nature du matériau spécifié), en risque de déclenchement des glissements de terrains.

Cette patrie consiste en une identification de la morphologie du site de Bougaa et de ces conditions climatiques.

## II-2 : *Sous bassin versant d'Oued Kef Annser*

Le bassin versant, appelé aussi bassin de drainage d'un Oued, en un point donné de son cours, est l'aire limitée par le contour à l'intérieur duquel l'eau précipitée se dirige vers ce point de l'Oued.

La définition topographique d'un bassin versant fait passer ses limites par la ligne des crêtes. Le Bassin versant a une fonction de collecteur, il recueille les pluies et les transforme en écoulement à l'exécutoire. Cette transformation est fonction des conditions climatiques et des caractéristiques physiques du bassin versant. Ces caractéristiques sont :

- Morphologie : forme, relief, réseau de drainage ;
- Superficielle : nature du sol et couverture végétale.

En Algérie les grands basins versants sont cartographiés (Fig.II-1) et chacun est désigné par une nomenclature et un code mécanographique, il est aussi subdivisé en sous bassins.

Le sous bassin versant d'Oued Kef Annser, fait partie du bassin versant d'Oued Soummam (code 15) qui s'étend sur une superficie de 9125 Km<sup>2</sup>. Le sous bassin versant d'Oued Kef Annser est cerné entre les coordonnées Lambert consignés dans le tableau II-1 ci-dessus:

X (Km)		Y (Km)	
X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>
714,00	723,00	336,00	344,00

*Tableau II-1 : Coordonnées Lambert du sous bassin versant d'Oued Kef Annser*

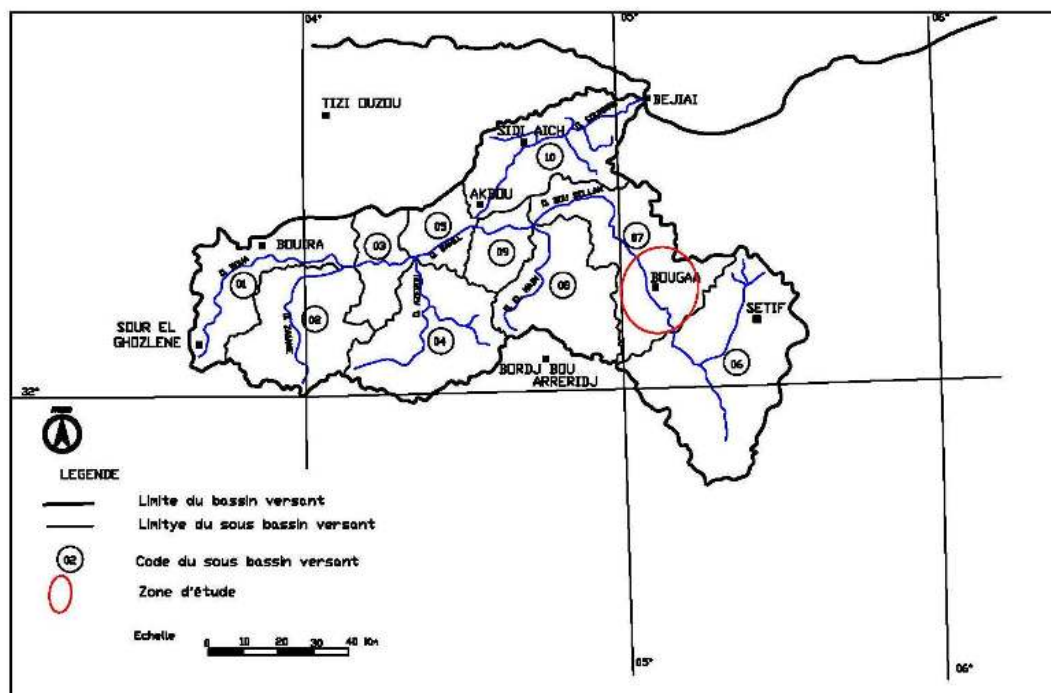


Fig.II-1) Carte du sous bassin de la Soumnan

## II-2.1 : Morphométrie du sous bassin versant d'Oued Kef Annser

Le bassin versant est caractérisé par un contour quelconque, il est déterminé sur le fond topographique à l'échelle 1/50.000 de Ain Roua et Bou Sellam, en suivant la ligne conventionnelle de partage des eaux superficielles. (Fig.II-2)

Il est caractérisé par un relief accidenté avec un réseau hydrographique dense. Les pentes du versant et du talweg principal sont assez importantes ce qui entraîne une vitesse de ruissellement relativement élevée.

### a) *Mesure de surface et du périmètre du sous bassin versant d'Oued Kef Annser*

Après avoir délimité le contour du sous bassin versant sur le fond topographique de Ain Roua-Bou Sellam, la surface et le périmètre sont mesurés par planimétrie et ils sont consignés dans le tableau II-2 ci dessus:

paramètre	unité	Valeur
Surface	Km <sup>2</sup>	29,34
périmètre	Km	23,00

Tableau II-2 : Surface et périmètre du sous bassin versant d'Oued Kef Annser

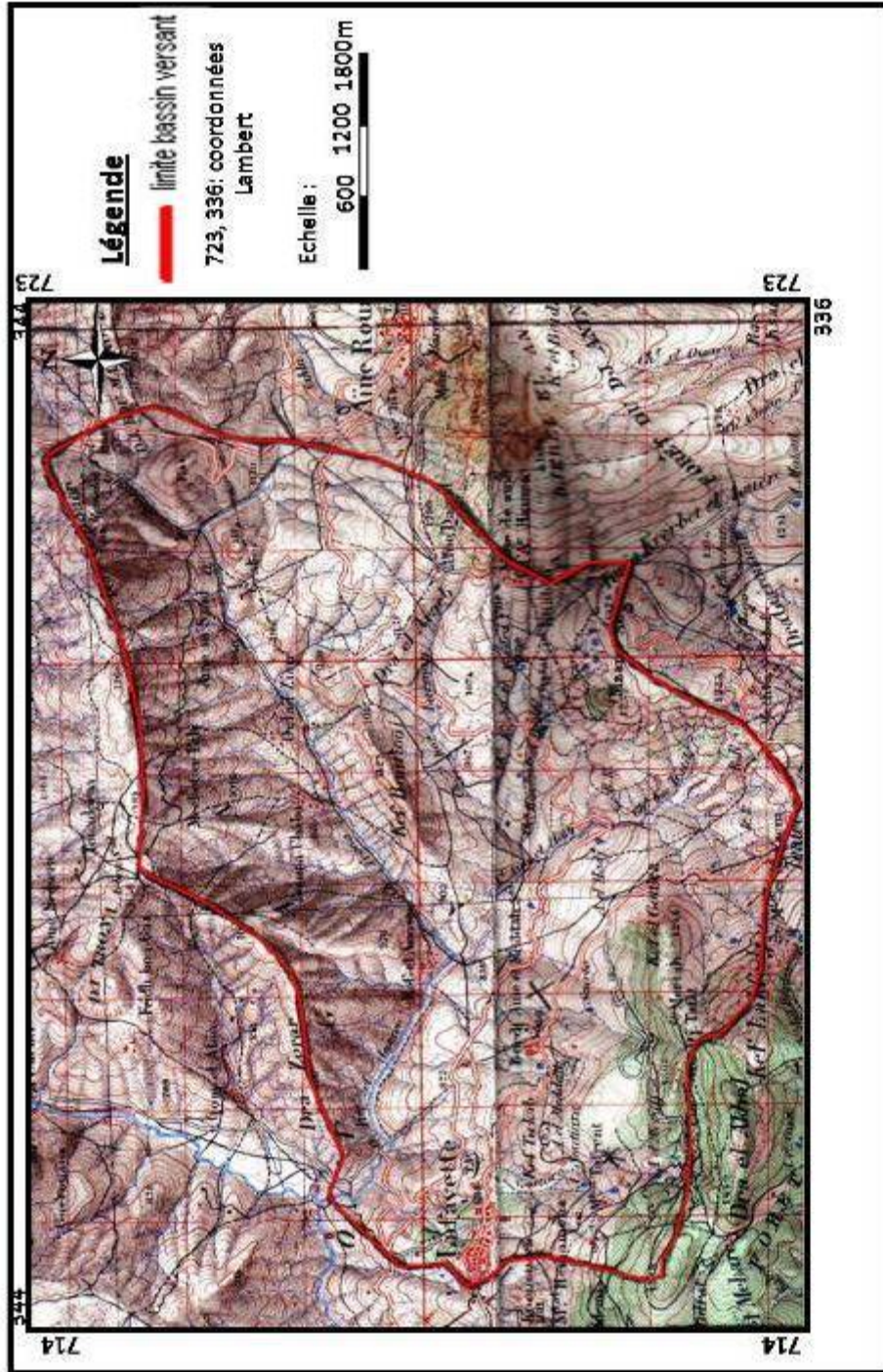


Fig. II.2 : Limite du sous bassin versant d'Qued Kef Annser  
(Fond topographique de Aïn Roua et Bou Sellam au 1/50.000)

**b) Hypsométrie du sous bassin versant d'Oued Kef Annser**

La distinction des surfaces par zones verticales est déterminée par la courbe hypsométrique du bassin versant (Sari Ahmed, 2001) (Fig. II-3).

Elévation (m)	Altitude moyenne Hi (m)	Surface entre courbes (Km <sup>2</sup> ) Si	Surface cumulée	
			Km <sup>2</sup>	%
1300-1378	1339	4,12	4,12	14,04
1200-1300	1250	3,75	7,87	26,82
1100-1200	1150	3,50	11,37	38,75
1000-1100	1050	5,25	16,62	56,65
1000-900	950	5,50	22,12	75,39
900-822	861	3,22	25,34	86,37
822	822	4,00	29,34	100,00

Tableau II-3 : Les coordonnées de la courbe hypsométrique du sous bassin versant d'Oued Kef Annser

L'altitude moyenne du sous bassin versant est calculée par la relation suivante :

$$\bar{H} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} Si.Hi}{S}$$

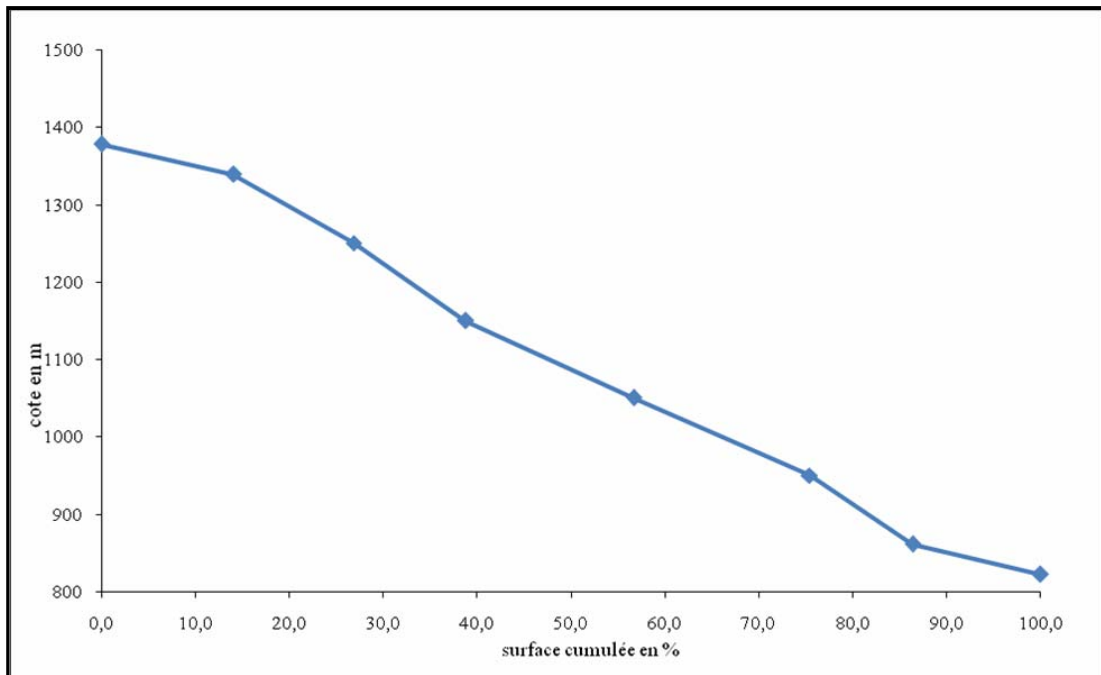
Où,

- Si, désigne la surface partielle moyenne correspondante entre les courbes de niveaux, exprimée en Km<sup>2</sup> ;
- Hi, désigne l'altitude moyenne correspondante, exprimée en m ;
- S désigne la surface totale du bassin versant, exprimée en Km<sup>2</sup>.

Sur la courbe hypsométrique, représentée sur la Fig. II-3, les altitudes suivantes sont déterminées (tableau II-4)

désignation	unité	Valeur
H 5%	m	1360
H 50%	m	1100
H 95%	m	850
$\bar{H}$	m	1058

Tableau II-4 : Différentes altitudes tirées à partir de la courbe hypsométrique du sous bassin versant d'Oued Kef Annser



**Fig. II-3 : Courbe hypsométrique du sous bassin versant d'Oued Kef Annser**

## II-2.2 Morphologie du sous bassin versant d'Oued Kef Annser

Cette zone Nord sétifienne s'étend sur la partie méridionale des Babors. Le chaînon Takintouch Bouandas culmine à une altitude de 1596m. Le point culminant est à 1378m observé au Sud et la dénivelée maximale est autour de 800m. L'altitude minimale est observée sur le tracé de l'Oued Kef Annser et elle est de 822m. L'altitude moyenne s'abaisse progressivement vers le centre du bassin, puis elle s'élève vers le massif du Dj. Guergour au Sud.

Le site du sous bassin versant d'Oued Kef Annser est marqué dans sa partie Nord et Sud par l'abondance des kefs dont l'altitude est de l'ordre de 1100 à 1200m. Au Nord et au Sud, la pente est forte. Elle est orientée du N-S au Nord et devient S-N au Sud. Le centre, un bas relief correspond à la vallée d'Oued Kef Annser où la pente devient douce.

### a) Indice de pente globale

$$I_g = \frac{D}{L}$$

Où,

- D, désigne la dénivelée totale, exprimée en m ;

$$D = H_{95\%} - H_{5\%}$$

- L, désigne la longueur du rectangle équivalent, exprimée en Km

$$L = \frac{k_c \sqrt{S}}{1,12} \left[ 1 + \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{k_c} \right)^2} \right] \right]$$

- $I_g$ , désigne l'indice de pente globale, exprimé en m/Km.  $I_g = 10,70$  m/Km

b) Dénivelée spécifique

La dénivelée spécifique a permis d'établir la classification de l'O.R.S.T.O.M. Cette dernière (tableau II-5) a abouti à la définition des différents types de relief des bassins versants quelles que soit leur superficie.

La dénivelée spécifique est définie comme suit :  $D_s = I_g \cdot \sqrt{S}$

Où,

- $D_s$ , désigne la dénivelée spécifique, exprimée en m ;
- $I_g$ , désigne l'indice de pente globale, exprimé en m/Km ;
- Et  $S$ , désigne la surface du bassin versant, exprimée en Km<sup>2</sup>.

$$D_s = 104,6m$$

Le type du relief est assez fort.

classe	type de relief	Ds (m)
R1	relief très faible	Ds < 10
R2	relief faible	10 à 25
R3	relief assez faible	25 à 50
R4	relief modéré	50 à 100
R5	relief assez fort	100 à 250
R6	relief fort	250 à 500
R7	relief très fort	Ds > 500

Tableau II-5 : Classification des reliefs d'après O.R.S.T.O.M

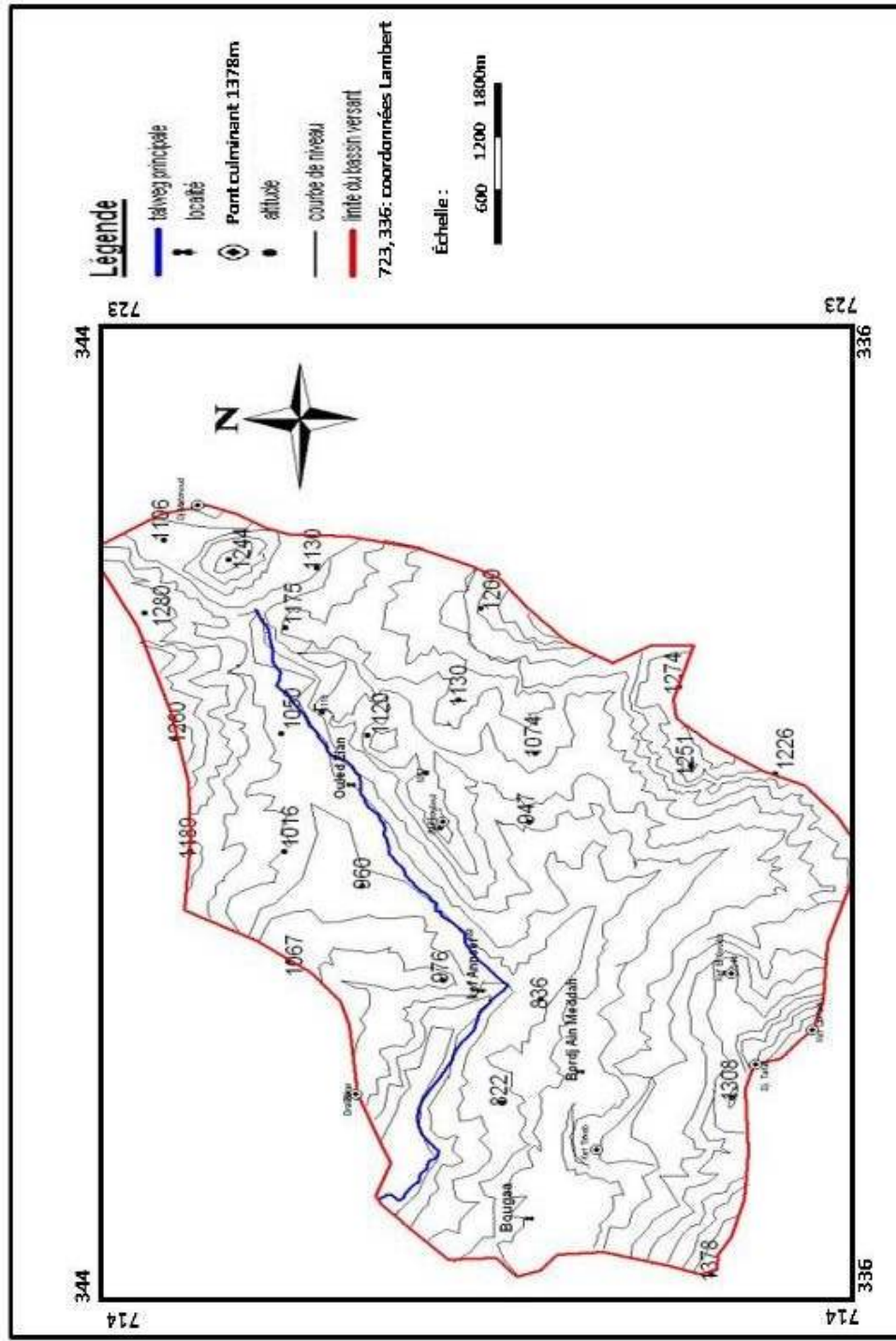


Fig. II.4-1 : Carte hypsométrique du sous bassin versant d'Oued Kef Anasser (à partir des cartes topographiques Ain Boua et Bou Sellam au 1/50.000)

### II-2.2.1 : Morphologie du site de Bougaa

Le site de Bougaa a en général une pente descendante du Sud vers le Nord. Le point culminant est à 1000m et la dénivelée maximale est 300m. Son relief est relativement accidenté avec des irrégularités très contrastées.

Une représentation d'une mosaïque de surface limitée est fournie par la carte de pente (Fig.II-4.2), dont la pente représente une diversité de gammes se rapportant aux valeurs du tableau II-6 ci-dessus:

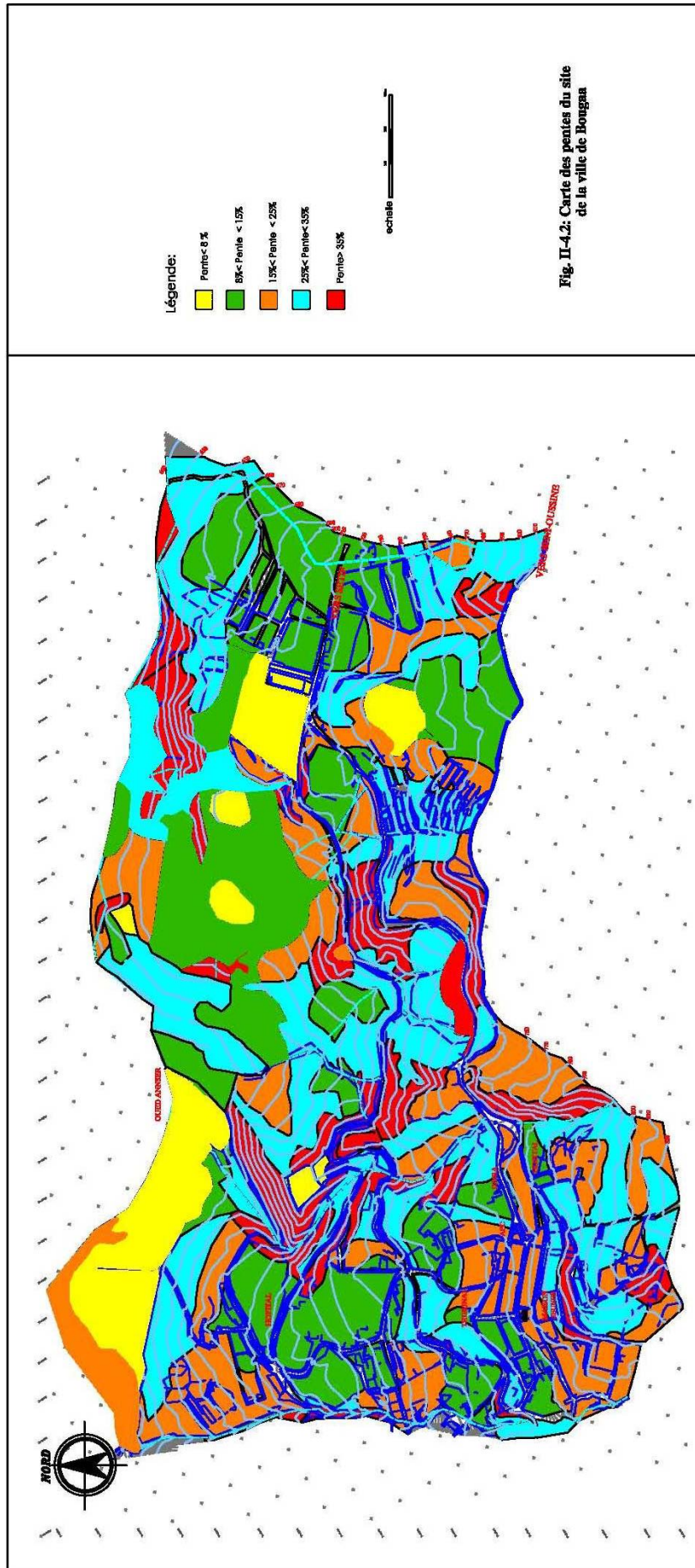
Gamme de pente	Caractérisation
Pente inférieure à 8%	Pente très faible
Pente comprise entre 8 et 15%	Pente faible
Pente comprise entre 15 et 25%	Pente moyenne
Pente comprise entre 25 et 35%	Pente forte
Pente supérieure à 35	Pente très forte

*Tableau II-6 : Caractérisation des gammes de pente*

Il est à noter que le bas du versant au Nord-est est moins pentu que la partie amont. Les formations éocènes plus compactes résistantes à l'érosion constituent les reliefs. Elles sont marquées par les pentes très fortes. Comparativement aux formations de pente composées essentiellement de dépôts détritiques actuels.

Sur la moitié Nord-est, c'est la pente faible colorée en vert qui couvre une surface importante. Au centre, c'est la pente forte (en rouge). A l'Ouest c'est une mosaïque entre la pente faible (en vert) et moyenne (en orange).





### **II-2.3 : Réseau hydrographique**

La zone d'étude fait partie du sous bassin versant d'Oued Bou Sellam, parcouru par Oued Kef Annser à écoulement permanent. Il suit une direction NE-SW dans sa partie amont, en aval il change de cours et emprunte la direction SE-NW. Ce changement brusque du sens d'écoulement est lié à un accident tectonique orienté NW-SE.

L'Oued Kef Annser est caractérisé par un talweg principale de longueur  $L=14,00\text{Km}$ . La densité de drainage, qui désigne le rapport entre la longueur de tous les cours d'eau ( $l$ ) et la surface du bassin versant ( $S$ ),  $D_d = \frac{l}{S}$  est égale à 27,32  $\text{Km}/\text{Km}^2$ .

### **II-2.4 : Conclusion**

La morphologie du sous bassin versant n'est pas uniforme, accidentée, son relief est assez fort, et une pente abrupte. La pente augmente du Sud vers le Nord. Le sous bassin versant d'Oued Kef Annser est d'une superficie de  $29,34 \text{ Km}^2$ , son altitude moyenne est de 1058m. Le réseau hydrographique est assez dense, d'un talweg principal est de 14,00 Km et la densité de drainage est d'environ 27,32  $\text{Km}/\text{Km}^2$ .

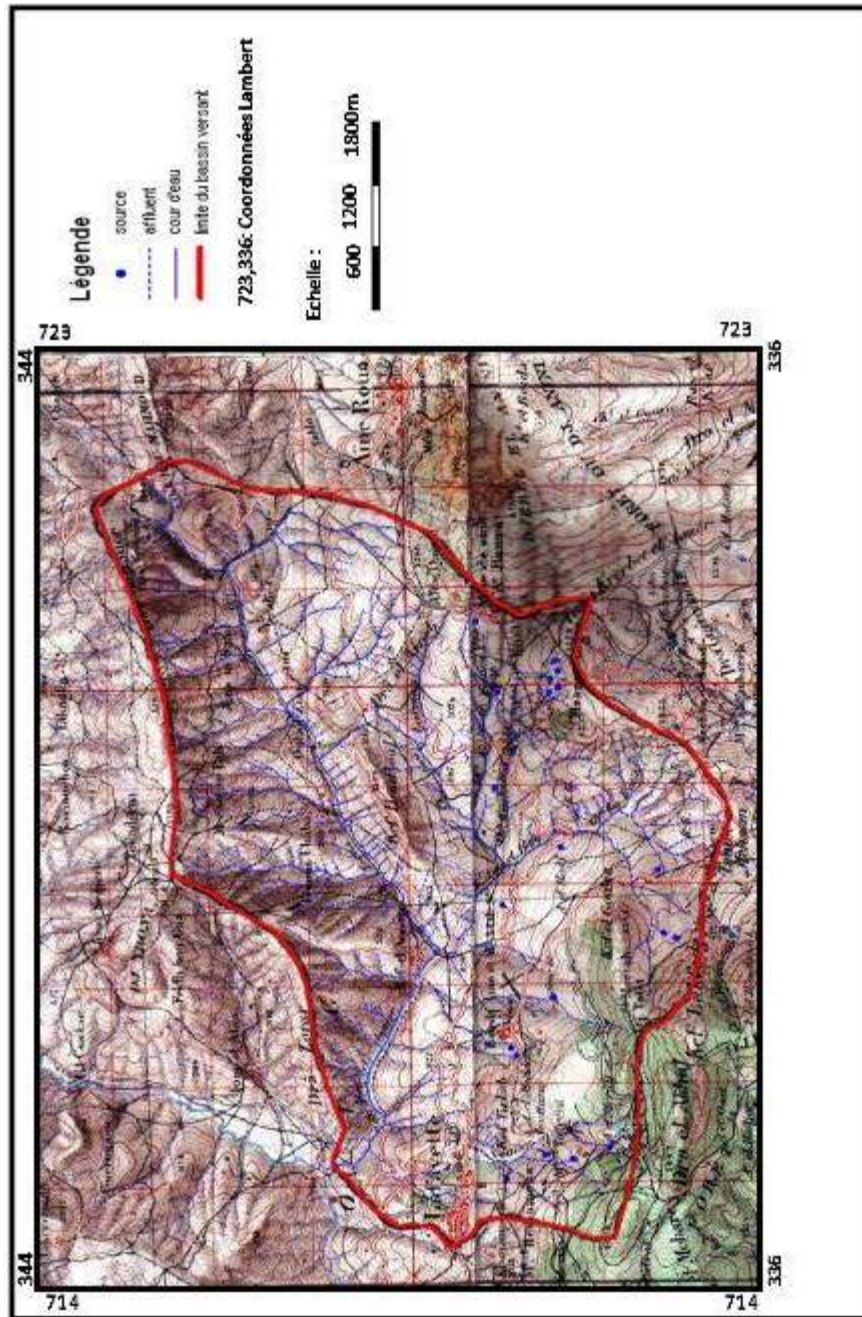


Fig. II-5 : Réseau hydrographique du sous bassin versant d'Oued Kef Annaser

(Établie à partir des deux cartes topographiques de Bou Sclarrret Ain Roua au 1/50.000)

## II-3 : Etude climatique du sous bassin versant d'Oued Kef Annser

L'objectif de l'étude climatique est d'estimer le climat au quel appartient la zone d'étude. Les facteurs qui déterminent le climat sont la précipitation avec sa distribution dans le temps et dans l'espace, l'humidité, la température et le vent, les quels ont une influence sur l'évapotranspiration et la transpiration et par conséquence sur le ruissellement.

### II-3.1 : Les facteurs climatiques

#### II-3.1.1 : Collecte des données

Les données sur les quelles se base cette étude sont recueillies à partir de trois stations pluviométriques réparties à la périphérie du sous bassin versant d'Oued Kef Annser (Fig. II-6). Les coordonnées géographiques de ces stations sont consignées dans le tableau II.7 ci-dessus.

nom de la station	code	coordonnées Lambert			années d'observation
		X	Y	Z	
Bouira	150608	732,00	326,65	1017,00	1981-2003
Magroua	150702	713,75	33,10	740,00	1981-2003
Ain Roua	30205	723,08	339,95	1100,00	1981-2004

Tableau II.7 : Coordonnées des stations pluviométriques

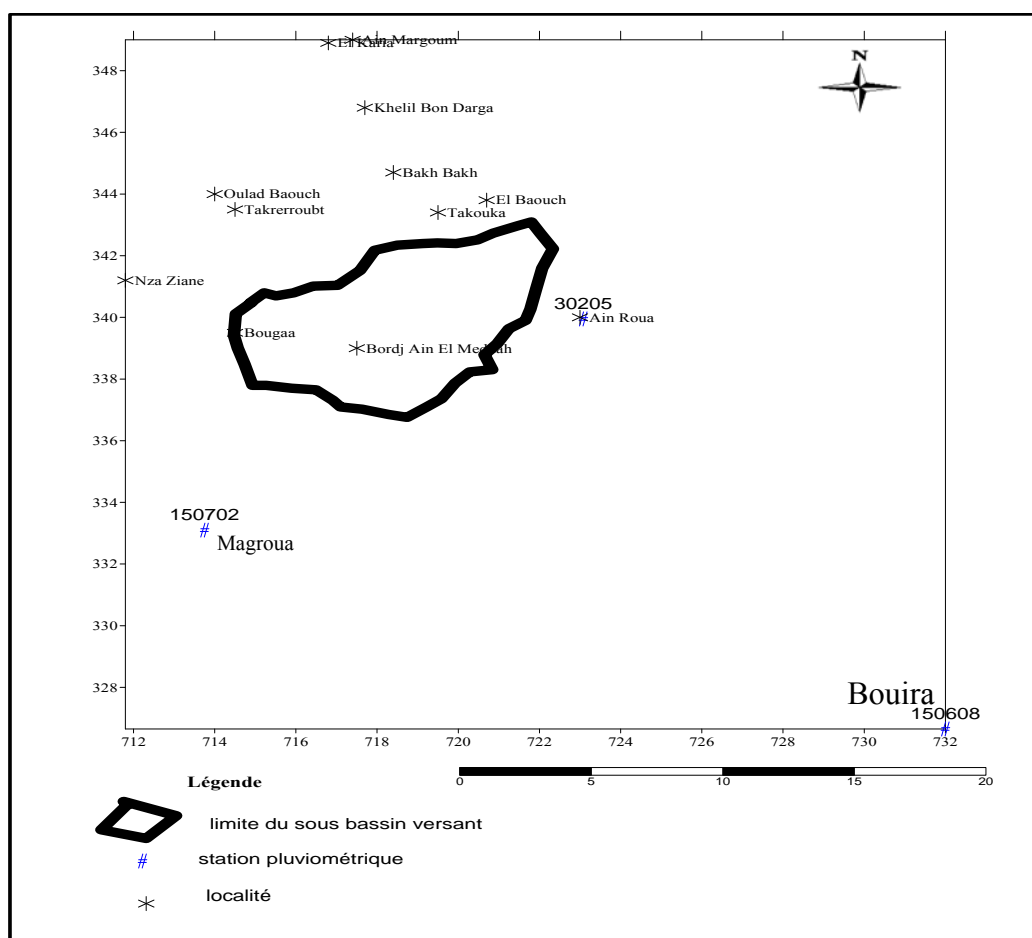


Fig II-6: Carte de situation des stations pluviométriques

### II-3.1.2 : Précipitations

Selon la carte des isohyètes (A.N.R.H, 1993), la lame d'eau moyenne des pluies se situe autour de 550 par an (Fig. II.7). Le sous bassin versant d'Oued Kef Annser est cerné entre les isohyètes 500 et 600 mm. D'une manière générale la lame d'eau diminue du Nord vers le Sud en relation étroite avec les reliefs de la région.

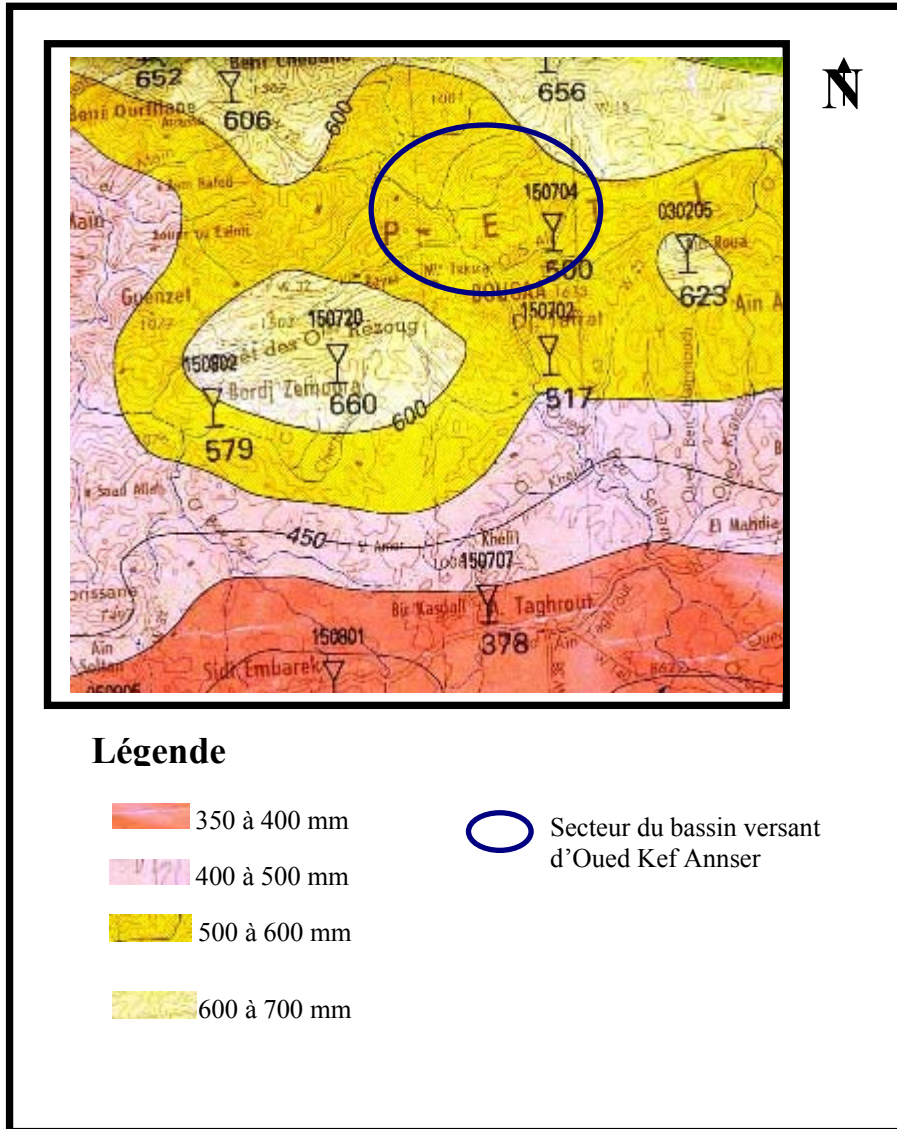


Fig. II.7 : Carte pluviométrique (A.N.R.H, 1993)

### a) Répartition des précipitations

La répartition des précipitations mensuelles et saisonnières est représentée sur le tableau II-8 suivant :

		Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juill.	Aou.	Année
Bouira	mm	36,27	50,03	61,90	101,90	77,54	76,92	74,30	53,15	50,03	15,63	9,38	11,25	618,30
	%	5,87	8,09	10,01	16,48	12,54	12,44	12,02	8,60	8,09	2,53	1,52	1,82	
	saison	148,20			256,36			177,48			36,26			
Magroua	mm	35,00	30,00	50,00	43,00	66,00	49,00	39,00	60,00	41,00	9,00	4,00	10,00	436,00
	%	6,88	11,47	9,86	15,14	11,24	8,94	13,76	9,40	2,06	0,92	2,29	100,00	
	saison	115,00			158,00			140,00			23,00			
Ain Roua	mm	36,20	51,40	58,20	99,00	77,80	72,10	65,30	58,40	52,10	15,90	7,40	10,60	604,40
	%	5,989	8,504	9,629	16,380	12,872	11,929	10,804	9,662	8,620	2,631	1,224	1,754	
	saison	145,80			248,90			175,80			33,90			

Tableau II-8 : Répartition des précipitations

Les données du tableau ci dessus sont représentées sous forme histogrammes pour mieux visualiser la répartition des précipitations sur les mois et les saisons de l'année. (Fig. II.8et Fig.II.9)

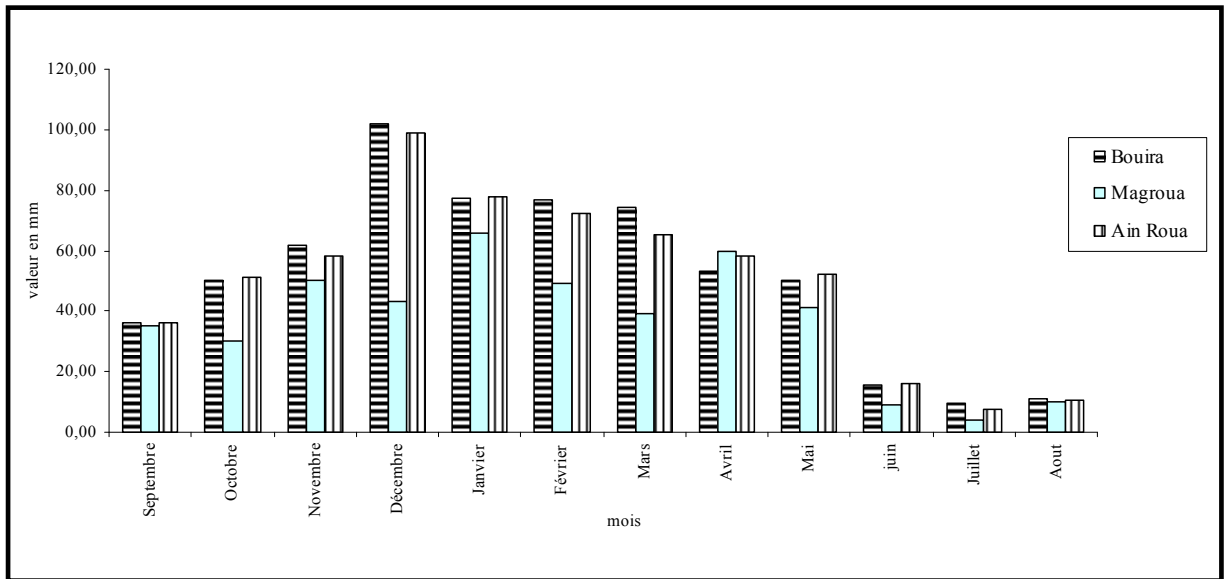
Les trois stations prises en compte se situent au Sud du sous bassin versant. La figure Fig. II-8 montre que les précipitations sont globalement uniformément réparties pour toutes les stations, à l'exception de la station de Magroua où elle représente un pic minimal au mois de Décembre et un pic maximal au mois d'Avril comparativement aux autres mois.

Pour les deux stations Bouira (1017m) et Ain Roua (1100m), les valeurs observées de précipitations sont très proches. Le maximum des précipitations est observé durant l'hiver (avec 100mm au mois de Décembre) et le printemps (entre 65 et 75 mm au mois Mars). Le minimum est observé durant l'été (entre 7 et 9mm au mois de Juillet). La moyenne interannuelle oscille autour de 600 mm/an.

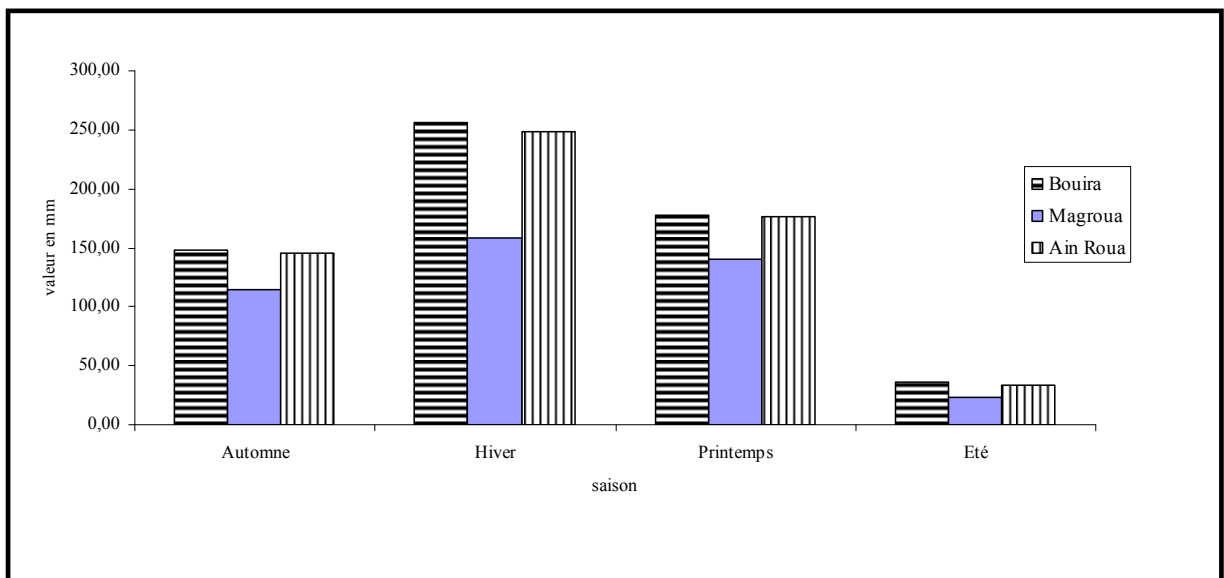
Par contre la station de Magroua la moyenne interannuelle est de 436mm. Cette différence de valeur de la moyenne interannuelle est due à la variation d'altitude entre ces différentes stations (station de Bouira se situe à 740m).

D'une manière générale l'évolution de la pluviométrie est en relation avec les reliefs.

La répartition saisonnière des précipitations est nettement uniforme. La saison la plus pluvieuse est l'hiver (autour de 250mm pour les stations Bouira et Ain Roua, 158 mm pour la station de Magroua). La station de Magroua présente des moyennes proches en deux saisons : hiver (150mm) et printemps (140mm) comparativement aux stations de Bouira et Ain Roua où les deux saisons présentent une nette différence de moyennes.



**Fig. II-8: Répartition des précipitations mensuelles  
Sous bassin versant d'Oued Kef Anser**



**Fig. II-9: Répartition des précipitations saisonnières  
Sous bassin versant d'Oued Kef Anser**

**b) : Estimation de la précipitation moyenne**

La méthode utilisée, pour l'estimation de la lame moyenne précipitée sur le sous bassin versant d'Oued Kef Annser est la méthode des isohyètes. Les isohyètes sont définies comme le lieu des points d'égale hauteur de précipitation pour une période considérée.

La précipitation moyenne enregistrée sur le bassin versant est estimée par la formule suivante :

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} S_i.P_i}{S}$$

Où,

- $S_i$ , désigne la surface entre deux isohyètes successives, exprimée en  $Km^2$  ;
- $P_i$ , désigne la précipitation moyenne interannuelle tombée entre deux isohyètes exprimée en mm ;
- $S$ , désigne la surface totale du bassin versant.

- valeur de précipitation (mm)	- surface partielles ( $Km^2$ )	- valeur moyenne de précipitation	- $S_i*P_i$
- 510-520	- 5,18	- 515	- 2667,7
- 520-530	- 5,53	- 525	- 2903,25
- 530-540	- 4,36	- 535	- 2332,6
- 540-550	- 4,06	- 545	- 2212,7
- 550-560	- 4,38	- 555	- 2430,9
- 560-570	- 2,47	- 565	- 1395,55
- 570-580	- 3,36	- 575	- 1932
- somme			- 15874,7
<b>- lame moyenne précipitée</b>			<b>- 541,06</b>

**Erreur ! Liaison incorrecte.** *Tableau II-9 : Évaluation de la lame moyenne avec la méthode des isohyètes*

La valeur moyenne des précipitations est estimée en utilisant les valeurs moyennes interannuelles des stations suscitées. La Fig. II-10 montre la carte des isohyètes du bassin versant d'Oued Kef Annser. La valeur moyenne calculée est de l'ordre de 540 mm, elle est proche de la valeur lue sur la carte pluviométrique de A.N.R.H, (1993).

Sur la carte (Fig. II-10), on note qu'au Nord, le sous bassin versant est cerné par les isohyètes 570 et 580mm, dont la surface est de 3,4  $Km^2$ . Entre les isohyètes 520, 530, 540, 550 et 560mm répartis deux à deux respectivement la surface est presque la même, elle est de 4  $Km^2$ . Entre les isohyètes 560 et 570  $Km^2$ , la surface est de 2,47  $Km^2$ .



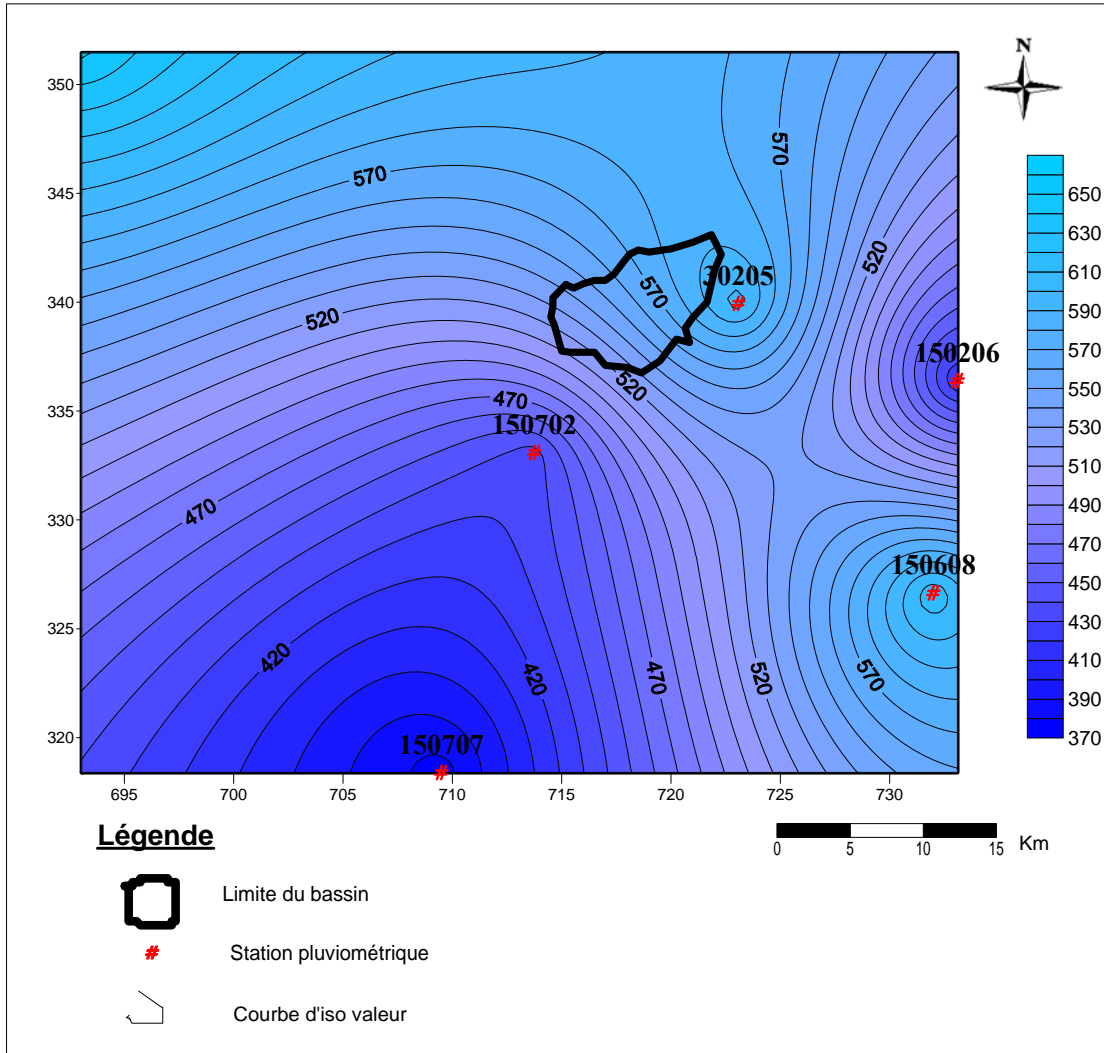


Fig II-10: Carte pluviométrique du sous bassin versant d'Oued kef Annser

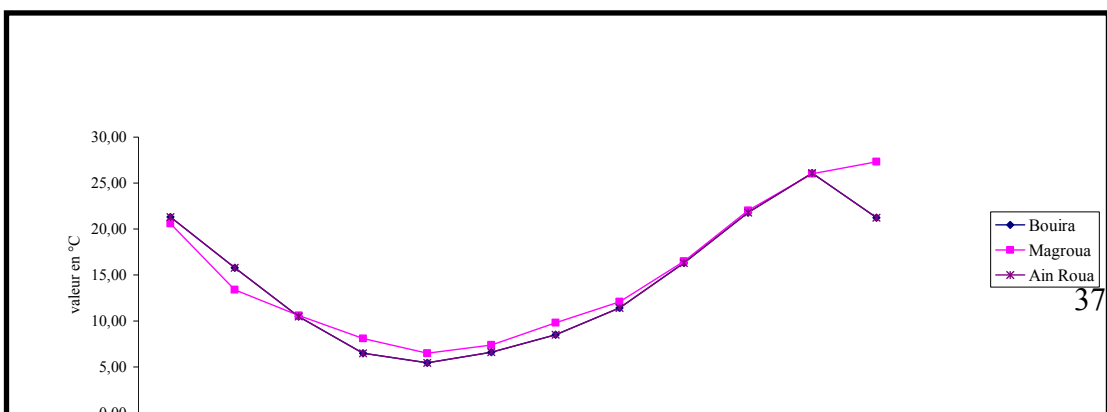
### II-3.1.3 : Température de l'air

Le traitement des caractéristiques thermiques est essentiel dans telle étude hydroclimatique, car la température de l'air a une grande influence sur le bilan hydrique, précisément elle conditionne l'évapotranspiration « déficit d'écoulement ».

**Erreur ! Liaison incorrecte.** Tableau II-10 : Répartition des températures moyennes

La représentation graphique T°/mois (Fig. II-11) montre que les valeurs des températures sont très proches entre les stations. La période la plus froide s'étale sur quatre mois de Décembre jusqu'à Mars.

La période chaude s'étale depuis Mai jusqu'à Septembre. Cependant une différence de température apparaît au mois d'Août avec une température relativement basse pour la station de Ain Roua et Bouira.



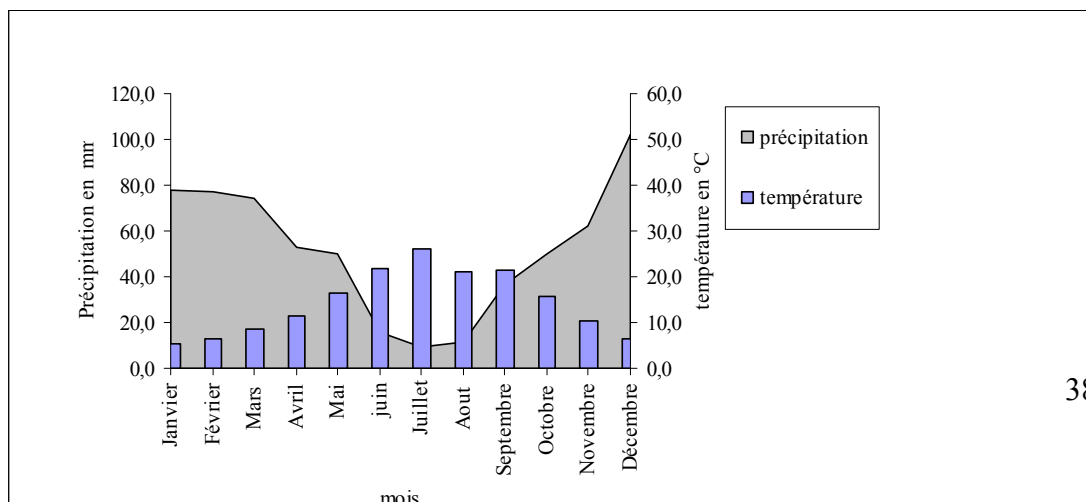
### II-3.1.4 : Régime thermique

#### a) : Diagramme ombrothermique de Gausсен et Bengnoles

Dans cette méthode, les températures sont portées à l'échelle double des précipitations. Selon la définition de Gausсен et Bengnoles : « une période sèche est une période durant la quelle les précipitations sont inférieures ou égales au double de la température. »

Dans la zone d'étude les diagrammes ombrothermiques sont très semblables. La période humide s'étale depuis Janvier jusqu'à début du Juin et de la fin du mois de septembre jusqu'à Décembre.

La période sèche s'étale sur les trois mois d'été et le début de l'automne durant laquelle toutes les précipitations tombées sont évaporées.



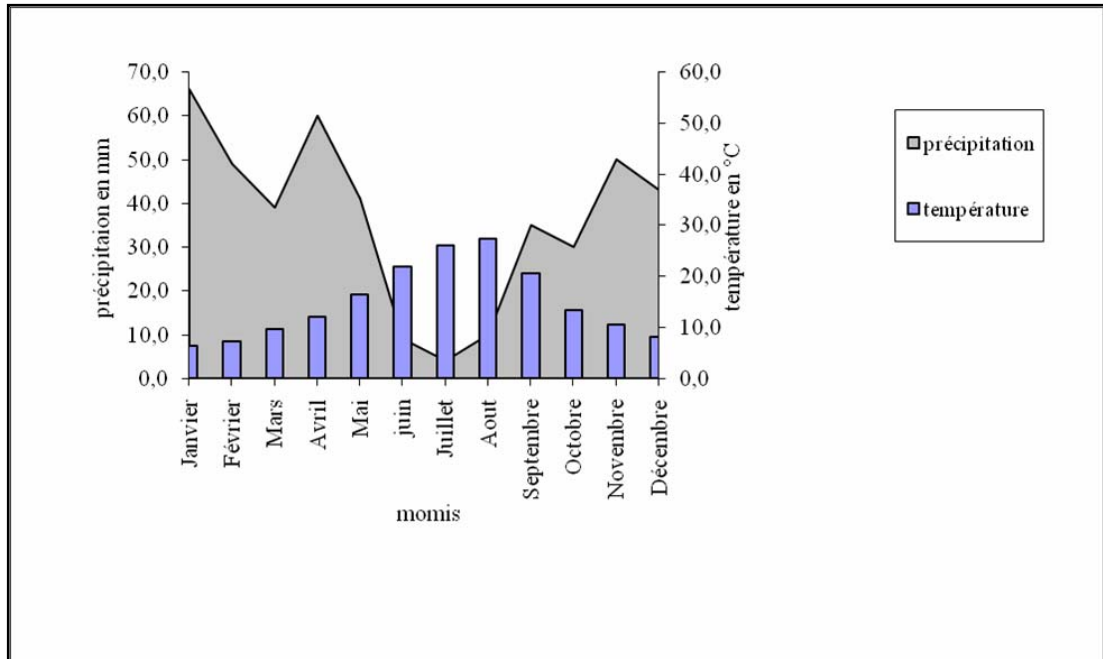
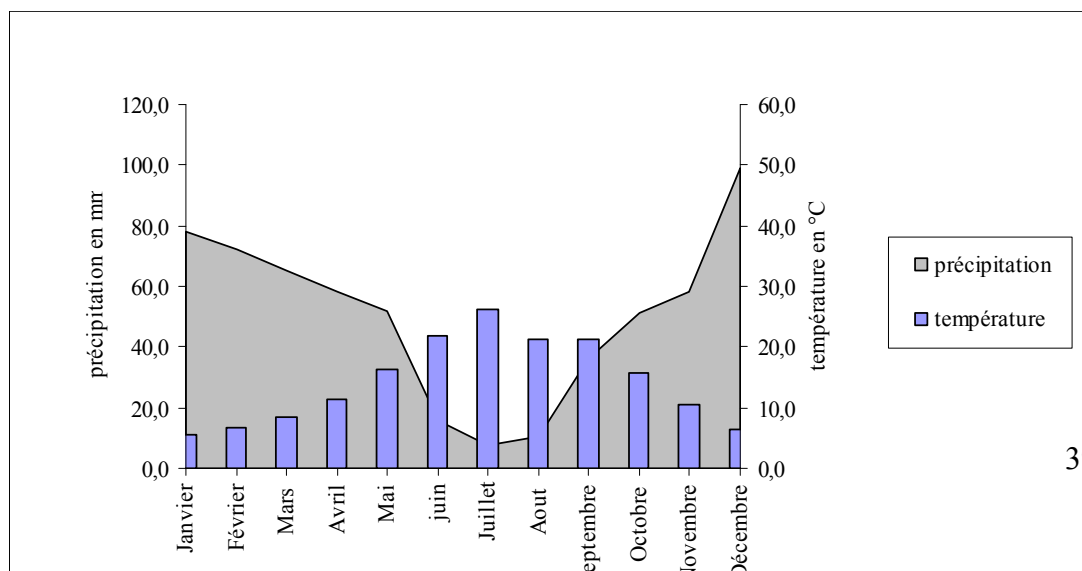


Fig. II-13 : Diagramme ombrothermique, station Magroua



### II-3.1.4.2 : Méthode de G. Euvert

La méthode de G. Euvert fait intervenir le rapport des deux paramètres climatiques majeurs (P/T) : les précipitations et les températures.

A partir du rapport (P/T), quatre types de régimes climatiques sont définis. Le tableau II-11 suivant représente les régimes climatiques selon la méthode de G. Euvert :

Valeur du rapport P/T	Désignation
< 1	Régime très sec
1 à 2	Régime sec
2 à 3	Régime subhumide
> 3	Régime humide

Tableau II-11 : Les régimes climatiques selon la méthode de G. Euvert

	P	36,20	51,40	58,20	99,00	77,80	72,10	65,30	58,40	52,10	15,90	7,40	10,60
Ain	T	21,30	15,80	10,50	6,50	5,45	6,60	8,50	11,40	16,30	21,80	26,10	21,25
Roua	P	36,27	50,83	61,90	101,90	77,54	76,92	74,30	53,15	50,03	15,63	9,38	11,25
Bouira	P/T	1,70	3,25	5,54	15,23	14,28	10,92	7,68	5,12	3,20	0,73	0,28	0,50
	T	21,30	15,80	10,50	6,50	5,45	6,60	8,50	11,40	16,30	21,80	26,10	21,25
	P/T	1,70	3,17	5,90	15,68	14,23	11,65	8,74	4,66	3,07	0,72	0,36	0,53
Magroua	P	35,00	50,03	61,90	101,90	77,54	76,92	74,30	53,15	50,03	15,63	9,38	11,25
	T	20,60	13,40	10,60	8,10	6,50	7,40	9,80	12,10	16,50	22,00	26,00	27,30
	P/T	1,70	3,73	5,84	12,58	11,93	10,39	7,58	4,39	3,03	0,71	0,36	0,41

Tableau II-12 : Valeur du rapport P/T

Ces résultats montrent que l'ensemble stations est caractérisé par un régime humide dominant, ce régime s'étale sur une période de huit mois de l'année. Le reste est caractérisé par un régime très sec.

Les stations Bouira et Ain Roua montrent un régime subhumide à humide sur une période de huit mois.

## Conclusion

Cette zone Nord de Sétif à la quelle appartient le sous bassin versant d'oued Kef Annser a un climat générale semi aride. Elle reçoit des précipitations durant huit mois de l'année (période des hautes eaux). La moyenne interannuelle des précipitations oscille autour de 550mm par an. Les températures sont en générale moyennes. La moyenne annuelle est de 15°C.

Reste toujours, que ces résultats sont interprétés à partir de données traitées en moyenne mensuelle qui n'est pas toujours représentative. La période d'une précipitation journalière et son intensité sont les meilleurs moyens d'analyse de l'influence du ce facteur climatique soit pour estimer du ruissellement ou du dégâts (influence des précipitations sur l'instabilité des terrains).

## II-3.2 : Bilan hydrique et évapotranspiration

L'évapotranspiration intervient dans le cycle de l'eau par la restitution de l'eau à l'atmosphère sous forme de vapeur de la surface terrestre quelques soit la nature de la surface évaporante (sols, végétaux, surface d'eau libre, neige et glace).

Elle englobe deux facteurs distincts :

- **évaporation** : c'est l'ensemble des phénomènes purement physiques qui transforment l'eau en vapeur. Elle est conditionnée par le pouvoir évaporant de l'atmosphère et de la surface évaporante.
- **transpiration** : ou évaporation physiologique, c'est l'évaporation biologique des plantes qui puisent une partie de l'eau nécessaire à leur vie et leur développement dans le sol. Elle a pour but de modérer la température à la surface des plantes. Elle est conditionnée par : la densité végétale, le développement du feuillage, la profondeur des racines etc.

### a) *Évapotranspiration potentielle (ETP)*

Sur la base d'expérience réalisée sous divers climats (subaride et subhumide), Thornthwaite a établi une corrélation entre la température moyenne mensuelle et l'évapotranspiration potentielle suivant la formule :

$$ETP_c = ETP(mm).K = 16 \cdot \left[ \frac{10T}{I} \right]^a$$

$$I = \sum_{n=1}^{12} i \quad \text{Où} \quad i = \left( \frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

$$a = 0,016I + 0,5$$

Où,

- $ETP_c$ , désigne l'évapotranspiration corrigée, exprimée en mm ;
- $ETP$ , désigne l'évapotranspiration non corrigée, exprimée en mm ;
- $T$ , désigne la température moyenne mensuelle, exprimée en °C ;
- $K$ , désigne un facteur de correction mensuelle ;
- $A$ , désigne un exposant climatique.

Les résultats du calcul de l'E.T.P mensuelle sont reportés dans le tableau II-13 suivant :

**Station Bouira**

	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juill.	Aou.	Année
T (°C)	21,30	15,80	10,50	6,50	5,45	6,60	8,50	11,40	16,30	21,80	26,10	21,25	14,29
i	8,97	5,71	3,07	1,49	1,14	1,52	2,23	3,48	5,98	9,29	12,21	8,94	64,05
ETP (mm)	99,43	36,15	33,*3	16,36	12,52	16,75	24,61	38,45	65,79	103,00	135,42	100,86	710,28
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	-
ETPc (mm)	102,41	61,25	29,17	13,74	10,89	14,23	25,34	42,29	79,60	125,66	167,97	116,99	789,54

**Station Magroua**

	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juill.	Aou.	Année
T (°C)	20,60	13,40	10,60	8,10	6,50	7,40	9,80	12,10	16,50	22,00	26,00	27,30	15,03
i	8,53	4,45	3,12	2,08	1,49	1,81	2,77	3,81	6,10	9,42	12,13	13,07	68,77
ETP (mm)	92,48	46,5	31,96	20,78	14,61	17,98	28,19	39,50	64,88	102,81	134,31	145,22	739,22
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	-
ETPc (mm)	95,25	45,10	27,48	17,45	12,71	15,28	29,03	43,45	78,50	125,42	165,54	168,45	824,65

**Station de Ain Roua**

	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Juill.	Aou.	Année
T (°C)	21,29	16,38	12,01	6,81	6,83	7,22	9,67	12,03	17,17	21,20	26,02	26,34	15,25
i	8,97	6,03	3,77	1,60	1,60	1,74	2,71	3,78	6,47	8,91	12,15	12,38	70,11
ETP (mm)	39,27	62,19	37,85	18,27	15,34	16,76	25,01	37,5	67,07	93,97	130,42	133,00	676,65
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	-
ETPc (mm)	40,44	60,32	32,55	12,82	13,34	14,24	25,76	41,74	81,15	114,64	161,72	154,28	753,00

*Tableau II.13: Calcul d'E.T.P selon la formule de C.W Thornthwaite*

Il apparaît que les résultats obtenus sont très exagérés, l'évapotranspiration est de 1,5 fois les précipitations. Ces résultats sont obtenus à partir d'une formule empirique. Cette formule est en fonction d'un seul facteur climatique qui est la température. D'autres méthodes de calcul sont souvent appliquées telle que la méthode de Blaney et Criddle que nous n'avons pas pu l'utiliser, certains facteurs manquants.

**b) Évapotranspiration réelle (ETR)**

L'évapotranspiration réelle est la quantité de l'eau évaporée effectivement par le sol et les surfaces d'eau libre ou transpirée par les végétaux.

**α) Formule De Turc**

Cette formule prend en considération les températures et les précipitations moyennes annuelles, elle est applicable à tous les climats.

$$ETR = P \sqrt{0,9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2} \quad \text{Avec } L = 300 + 25T + 0,05T^3$$

Où,

- P, désigne précipitation moyenne annuelle, exprimée en mm ;
- T, désigne la température moyenne annuelle, exprimée en °C ;
- L, désigne un paramètre en fonction de la température ;
- E.T.R, désigne l'évapotranspiration réelle, exprimée en mm.

Les différentes valeurs de l'E.T.R calculées selon la formule de Turc sont consignées dans le tableau II-14 ci dessus:

Station	P (mm)	T (°C)	L	ETR (mm)	ETR (%)
Bouira	618,30	14,29	803,25	506,10	81,85
Magroua	436,00	15,03	845,22	403,76	92,60
Ain Roua	604,40	14,29	803,25	499,15	82,59

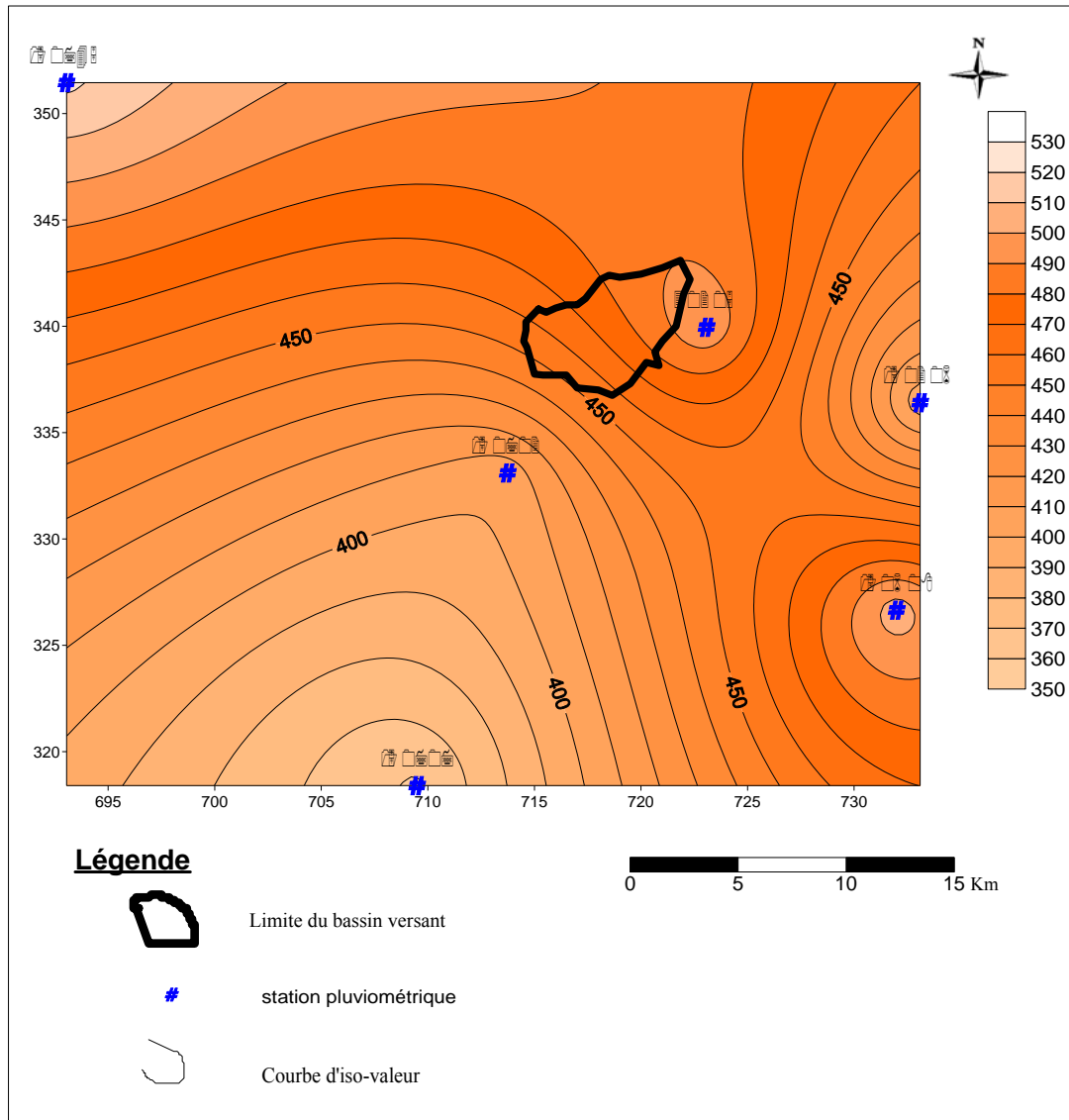
*Tableau II-14 : Valeurs de l'E.T.R selon la méthode de Turc*

Cette méthode montre que les pertes par évaporation réelle sont très importantes, autour de 80 jusqu'à 90% de la valeur de la précipitation. Ces valeurs oscillent autour de 400mm à 500mm. Cette formule est établie à partir des deux paramètres climatiques : précipitation et température. Donc, les écarts de valeur entre les différentes stations sont considérés anormaux.

Une visualisation de ces résultats dans l'espace du bassin versant d'Oued Kef Annser est donnée par la carte d'isovaleur d'E.T.R (Fig. II-15). Cette carte permet de calculer la moyenne pondérée.

La valeur de l'évapotranspiration réelle moyenne annuelle estimée sur toute la surface du sous bassin versant d'Oued Kef Annser est de l'ordre de 480 mm. Elle représente 87% de la valeur moyenne des précipitations.

Les valeurs de l'E.T.R. diminuent du Nord vers le Sud. Elles se limitent entre les valeurs 450 et 490mm.



**Fig. II-15: Carte d'isovaleur d'évapotranspiration (Turc)  
du sous bassin d'Oued kef Annser**

### **β) Méthode du bilan hydrique de Thornthwaite**

Une autre méthode proposée par C.W. Thornthwaite pour le calcul du bilan hydrique et qui a pour but de déterminer le taux d'infiltration et le renouvellement de l'aquifère en se basant sur l'E.T.P et la pluviométrie.

Pour l'élaboration du bilan hydrologique mensuelle, les paramètres suivants vont être calculés :

- L'évapotranspiration réelle ;
- La réserve facilement utilisable ;
- Le déficit agricole (DA) et l'excédent (Wa)

**a) La réserve facilement utilisable :** peut être estimée par la formule suivante :



$$RFU = \frac{1}{3} \cdot Da \cdot He \cdot P$$

Où ;

- Da, désigne la densité apparente du sol ;
- He, désigne la capacité de rétention, exprimée en % ;
- P, désigne la profondeur de la terre parcourue par les racines, exprimée en m.

La R.F.U ainsi calculée pour la région est égale à 100mm. Les bilans hydrologiques pour chaque station sont portés sur le tableau II-15 suivant :

**Station Bouira**

	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juill.	Aou.	Année
Précipitation	36,27	50,03	61,90	101,90	77,54	76,92	74,30	53,15	50,03	15,63	9,38	11,25	<b>618,30</b>
ETP	102,41	61,25	29,17	13,74	10,89	14,23	25,34	42,29	79,60	125,66	167,97	116,99	<b>789,54</b>
RFU	0	0	32,73	100	100	100	100	100	70,43	0	0	0	
ETR	36,27	50,03	29,17	13,74	10,89	14,23	25,34	42,29	79,6	86,06	9,38	11,25	<b>408,25</b>
Da	66,14	11,22	0	0	0	0	0	0	0	39,6	158,59	105,74	
Ws	0	0	0	20,89	66,65	62,69	48,96	10,86	0	0	0	0	<b>210,05</b>

**Station Magroua**

	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juill.	Aou.	Année
Précipitation	35,00	30,00	50,00	43,00	66,00	49,00	39,00	60,00	41,00	9,00	4,00	10,00	<b>436,00</b>
ETP	95,25	45,10	27,48	17,45	12,71	15,28	29,03	43,45	78,50	125,42	166,54	168,44	<b>824,65</b>
RFU	0	0	22,52	48,07	100	100	100	100	62,5	0	0	0	
ETR	35	30	27,48	17,45	12,71	15,28	29,03	43,45	78,5	71,5	4	10	<b>374,4</b>
Da	60,25	15,1	0	0	0	0	0	0	0	53,92	162,54	158,44	
Ws	0	0	0	0	1,36	33,72	9,97	16,55	0	0	0	0	<b>61,6</b>

**Station Ain Roua**

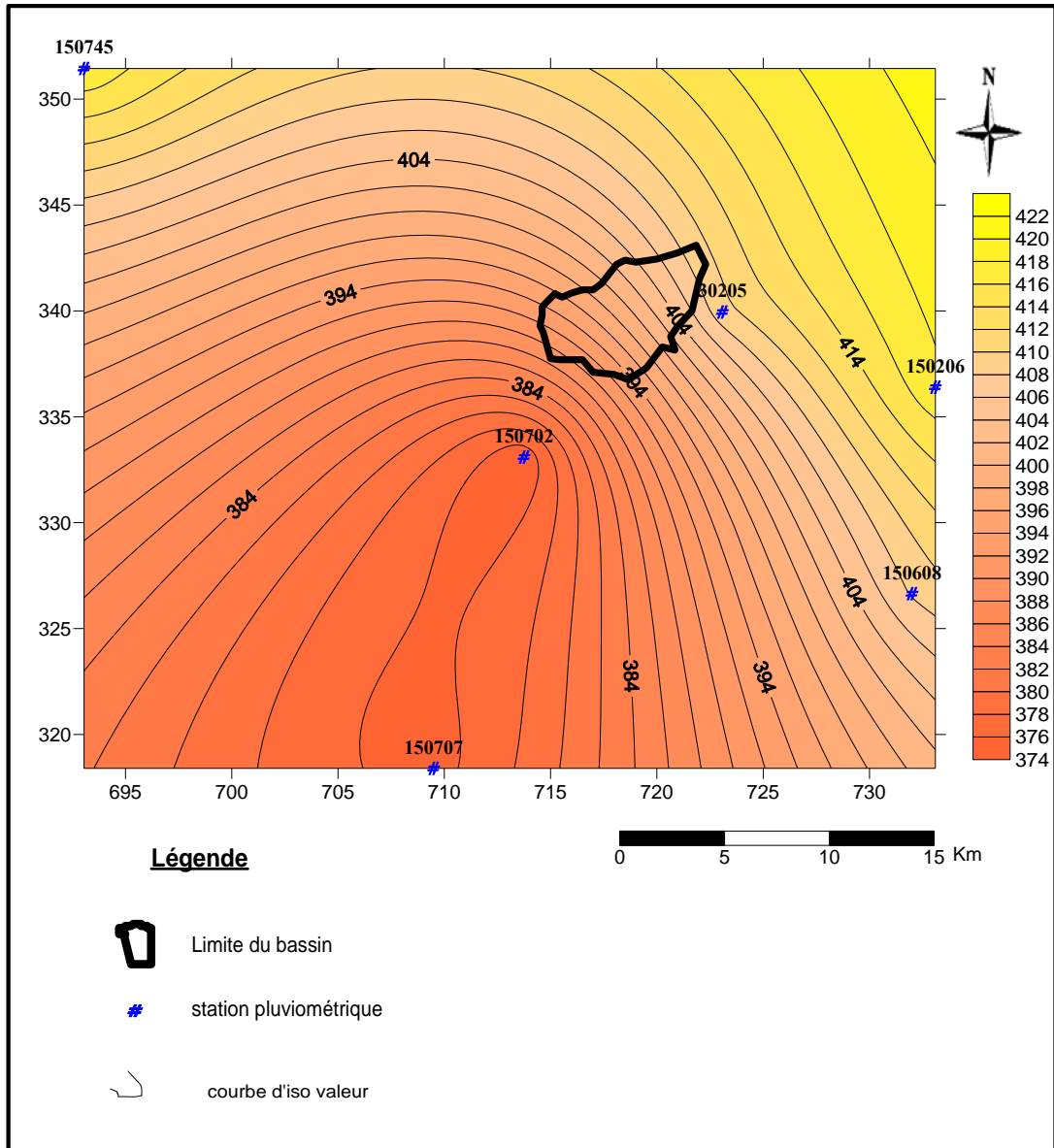
	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juill.	Aou.	Année
Précipitation	36,20	51,40	58,20	99,00	77,80	72,10	65,30	58,40	52,10	15,90	7,40	10,60	<b>604,40</b>
ETP	40,44	60,32	32,55	12,82	13,34	14,24	25,76	41,74	81,15	114,64	161,72	154,28	<b>753,00</b>
RFU	0	0	25,65	100	100	100	100	100	70,95	0	0	0	
ETR	36,20	51,40	32,55	12,82	13,34	14,24	25,76	41,74	81,15	86,85	7,40	10,60	<b>414,05</b>
Da	4,24	8,92	0	0	0	0	0	0	0	27,79	154,32	143,68	
Ws	0	0	0	11,83	64,46	57,86	39,54	16,66	0	0	0	0	<b>190,35</b>

Tableau II-15 : Bilans hydrologiques des stations du sous bassin versant d'Oued Kef Ansser

Les résultats montrent que l'évapotranspiration varie entre 375 mm et 415 mm. Le ruissellement varie entre 61mm et 210 mm. Cette variation de résultat est liée à la variation des précipitations et des températures de chaque station.

La visualisation dans l'espace de ces résultats est donnée par la carte d'isovaleur d'E.T.R (Fig. II-16).

La valeur moyenne estimée sur le sous bassin versant d'oued Kef Ansser par la méthode de Thornthwaite est de 410 mm. Elle représente 74,5% de la valeur moyenne précipitée. Les valeurs d'E.T.R. diminuent du Nord vers le Sud. L'écart d'E.T.R. moyenne entre les stations n'est pas considérable comparativement aux résultats obtenus par la méthode de Turc.



**Fig. II.16: Carte d'iso valeur d'évapotraspiration (Thorntwaite)  
du sous bassin d'Oued Kef Annser**

Il est connu que l'analyse climatique basée sur des données empiriques et traitées par des formules n'est toujours fiable.

Le secteur du sous bassin d'Oued Kef Annser n'est pas équipé d'une station hydrométrique, pour cela le bassin de référence, de l'Oued Bou Sellam, est utilisé pour déterminer la valeur de l'écoulement moyen interannuelle.

Les composantes du bilan hydriques sont représentées dans le tableau II-16 suivant :

Paramètre	Unité	Valeur
-----------	-------	--------

Entrées (précipitation)	mm	550,30
Déficit (évapotranspiration)	mm	480,00
Sorties (ruissellement)	mm	70,3

*Tableau II-16 : Composantes du bilan hydrique*

#### **II-4 : Conclusion**

Le sous bassin versant d'Oued Kef Annser est situé dans la zone montagneuse nord sétifienne à pente abrupte et relief assez fort. L'altitude moyenne est de 1050m. Sa surface s'étale sur 29Km<sup>2</sup>, son réseau hydrographique est assez dense.

Le talweg principal présente un changement dans son sens d'écoulement lié à un accident tectonique orienté NW à SE.

Le relief du secteur de Bougaa n'est pas uniforme et présente beaucoup d'irrégularité indiquant des paléo-instabilités.

L'étude climatique établie à partir de trois stations pluviométriques: Bouira, Magroua et Ain Roua, permet de caractériser le climat contrasté de cette région. Les valeurs de précipitations sont en relation étroite avec le relief.

La répartition mensuelle des précipitations montre une homogénéité, exception pour la station de Magroua, où une diminution des précipitations au mois de Décembre et une augmentation au mois d'Avril.

Quant aux températures, elles sont très proches au trois stations, exception au mois d'Août où une diminution des températures aux stations de Bouira et Ain Roua est à signaler.

La période humide s'étale sur huit mois allant de la fin de septembre jusqu'à début de Juin. La période sèche s'étale sur quatre mois allant du début de juin jusqu'à la fin de Septembre.

Le sous bassin versant d'Oued Kef Annser reçoit annuellement une moyenne de 550mm de précipitations dont 480mm sont perdues par évapotranspiration. Le reste s'écoule sur la surface du sous bassin, l'écoulement y compris l'infiltration est estimé à 70mm.

# CHAPITRE III

## HYDROGEOLOGIE

### **III-1 Introduction**

Outre la structure, la nature des formations et les conditions climatiques, l'eau souterraine est considérée comme l'un des facteurs déclenchants l'instabilité de terrain. Sur les pentes l'action de l'eau infiltrée est triple :

- Accroissement du poids volumique des sols par augmentation de la teneur en eau ;
- Changement de comportement rhéologique : le sol passe de l'état solide à l'état visqueux ;
- Action mécanique défavorable des pressions d'eau souterraine.

### **III-2 : Les unités hydrogéologiques du sous bassin versant d'Oued Kef Annser**

La complexité structurale dans cette zone Nord sétifienne ne permet pas le développement d'aquifères importants. La carte de lithologie (Fig. III-1) permet de classer les formations lithologiques du sous bassin versant d'Oued Kef Annser en trois unités hydrogéologiques :

- a) **Formations à perméabilité d'interstice** : sont représentées par les alluvions d'Oueds, les terres arables et les formations de pentes. Elles sont abondantes au centre du sous bassin versant.
- b) **Formations à perméabilité de fissure** : sont représentées par des faciès carbonatés : calcaires, dolomie et marnocalcaire. Elles sont très abondantes au Sud. Plusieurs sources apparaissent à très faible débit (ne dépasse pas 0,5l/s).
- c) **Formations de mauvaise perméabilité** : c'est essentiellement des marnes et des argilites saines. Elles sont très fréquentes sur la partie N du sous bassin.

Sur ce bassin versant, plusieurs sources, apparaissent surtout au Sud du bassin dont le débit oscille autour de 0,5 l/s, très fréquentes au Nord. Elles couvrent la moitié NW du bassin versant.

**NB** : Les puits creusés dans les formations du Quaternaire sont de faible profondeur (entre 10 et 25m de profondeur). Ces puits sont surtout utilisés pour l'usage domestique ou l'agriculture. Le débit d'exploitation est faible et ne dépasse pas les 2 l/s.

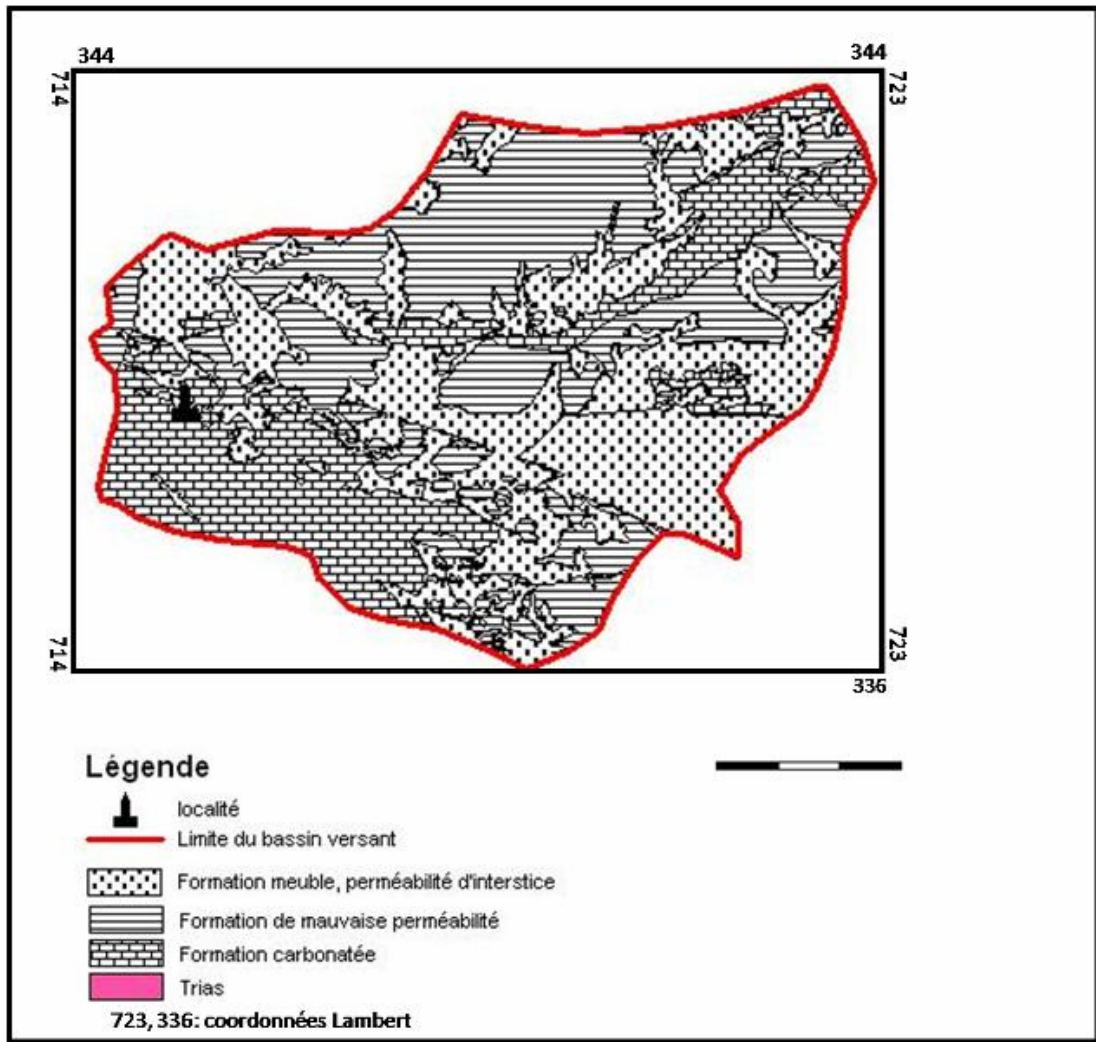


Fig. III-1 : Carte lithologique du sous bassin versant d'Oued Kef Annser

### III-3 : Contexte hydrogéologique du site de la ville de Bougaa

Les services du laboratoire des travaux publics de l'Est (LTP Est) ont réalisé des sondages carottés lors de l'exécution du programme des essais in situ pour l'étude géotechnique de la ville de Bougaa durant les mois de Juillet jusqu'au Septembre de l'année 2001. En totalité trente huit sondages sont réalisés. La variation de la profondeur des eaux au niveau des sondages est représentée en Fig.III-2.

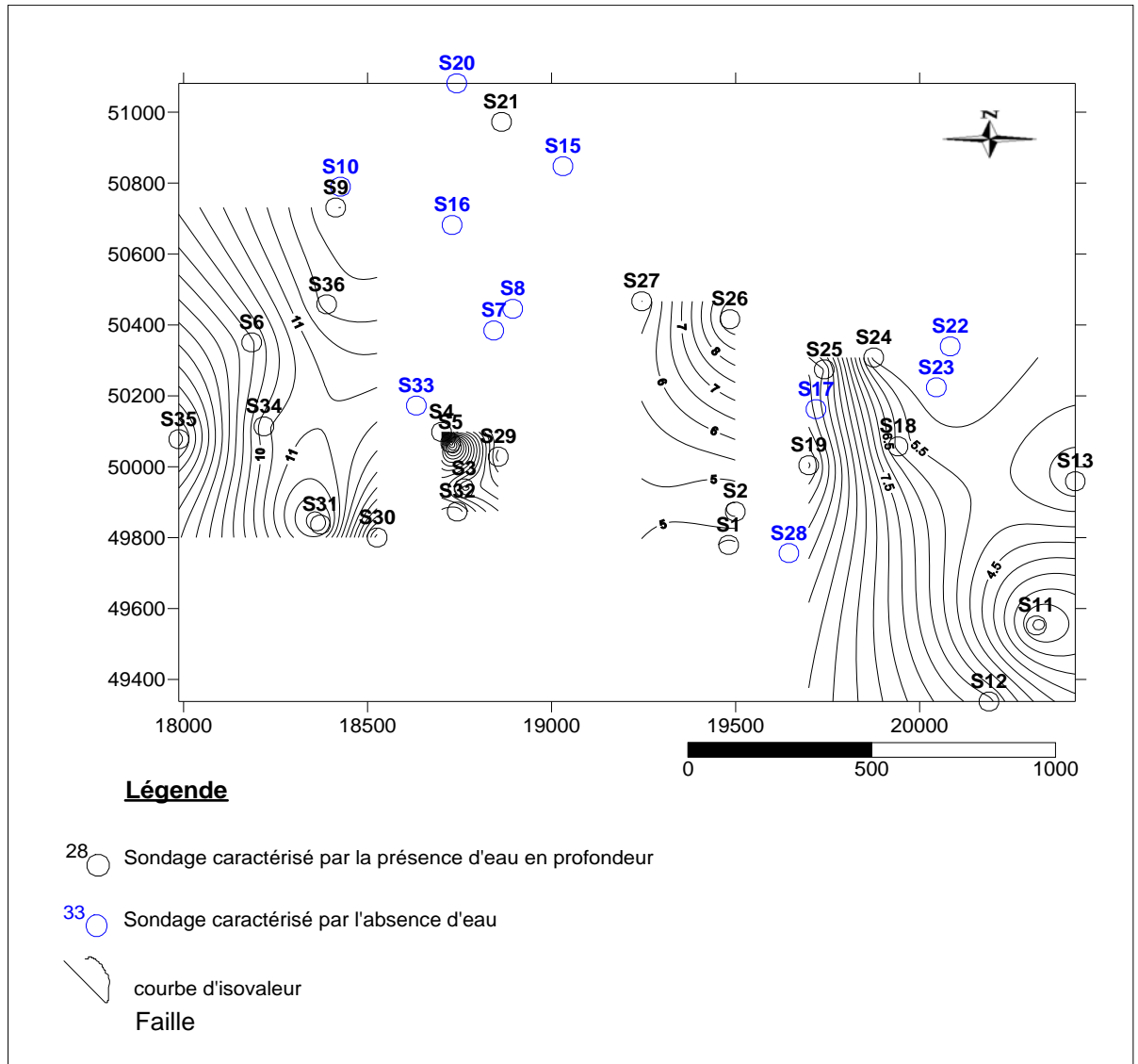
Sur la carte de la figure Fig. III-2, il est à noter que :

- Les sondages 1, 2, 26, 27, au centre du site, sont creusés sur des profondeurs de 8m à 12m. Le niveau d'eau varié de 4m à 5m. Le substratum d'argilite saine se situe à 7m en moyenne. La couche aquifère est constituée par des matériaux hétérogènes détritiques.
- Les sondages 10, 16, 20, 15, 8, 7, 17, 33, à l'Est du site, sont caractérisés par la profondeur de l'eau variant entre 10m et 21m. La lithologie est assez hétérogène.
- Le groupe des sondages 35, 34, 31, 30 et 9 est caractérisé par une profondeur moyenne de 10m. La couche aquifère est constituée par des argilites tendres. Le niveau s'abaisse jusqu'à 10m de profondeur.
- Le groupe des sondages 4, 3, 32, 5 et 29, à l'Ouest, est caractérisé par une profondeur moyenne de 8,52m. La formation captée est constituée d'argile graveleuse.

Les sondages 21, 20, 15, 10, 8 et 7 sont caractérisés par une absence d'eau. La profondeur ne dépasse pas 15m. Ces sondages se localisent autour la faille orientée NW-SE. Cette faille joue le rôle du drain.

Cette visualisation des profondeurs des eaux montre l'aquifère de ce secteur est hétérogène, définissant des aquifères perchés. La présence d'eau est conditionnée par la nature lithologique du sous sol.

La particularité de la formation argileuse se situe au niveau de sa capacité d'adsorbée de l'eau, ce phénomène a été expliqué par la structure des argiles en feuillets. Le moyen de contact entre la formation argileuse et la formation graveleuse est marqué sur les coupes hydrogéologiques (III-3).



**Fig. III-2: Carte d'isoprofundeur des eaux  
(Mai 2001)**



**a) Coupe hydrogéologique N° 1**

Cette coupe est orientée Sud-Nord. Le substratum est constitué d'une formation d'argilite altérée en surface et saine en profondeur. Ce substratum est coiffé d'une formation argileuse raide. La morphologie est en pente ascendante du S vers N.

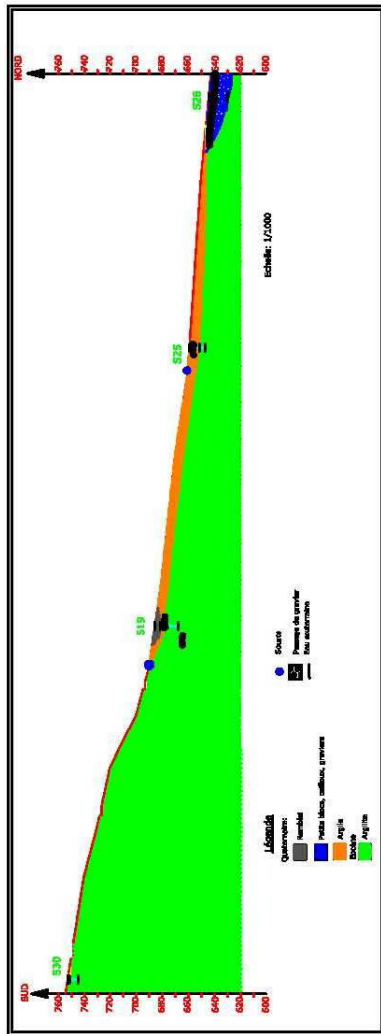
Dans sa partie Nord, affleure une formation à graviers assurant le contact entre les argiles et l'eau. Ce contact est témoigné par l'apparition d'une source. La partie Nord, la profondeur d'eau, superficielle, varie entre 2m et 5m. Il s'agit de la nappe d'inferoflux d'Oued Kef Annser.

**b) Coupe hydrogéologique N°2**

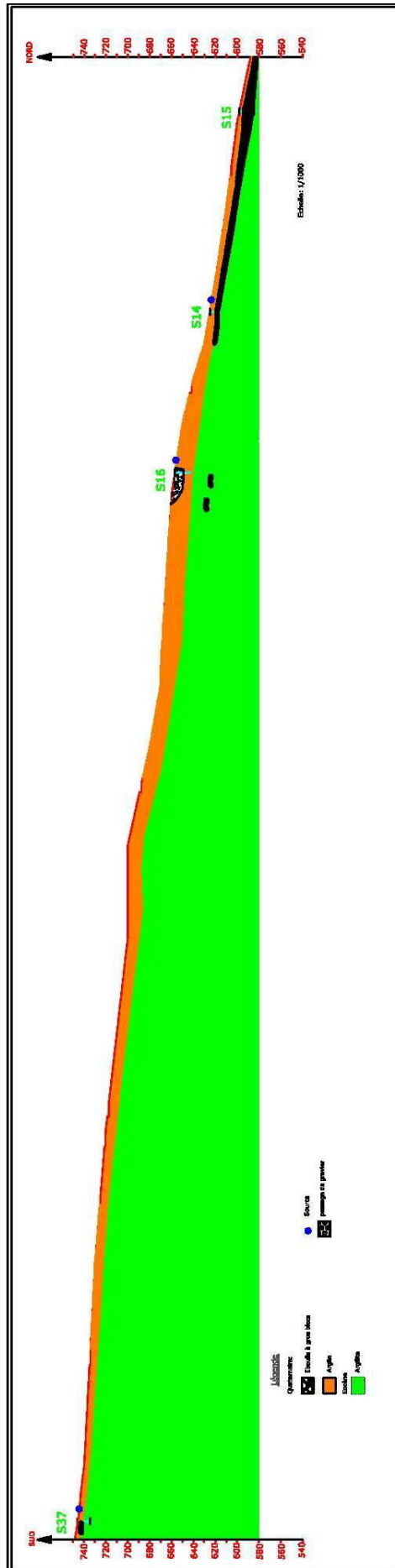
Cette coupe est orientée Sud Nord. La structure est plissée à une forte pente descendante du Sud au Nord. Elle présente l'empilement des couches suivantes :

- argile en surface à passées de graviers ;
- argilite saine en profondeur.

L'apparition des sources en surface témoignant la circulation des eaux entre l'argile du surface et le substratum imperméable. Le niveau d'eau varié entre 3 à 4m au Nord. Au centre, il atteindre 13m de profondeur. A cet endroit, la profondeur des graviers est plus de 15m.



a- Coupe hydrogéologique suivant le profil N°1



b- Coupe hydrogéologique suivant le profil N°2

Fig. III-3: Coupes hydrogéologiques

### III-3.1 : Niveau d'eau

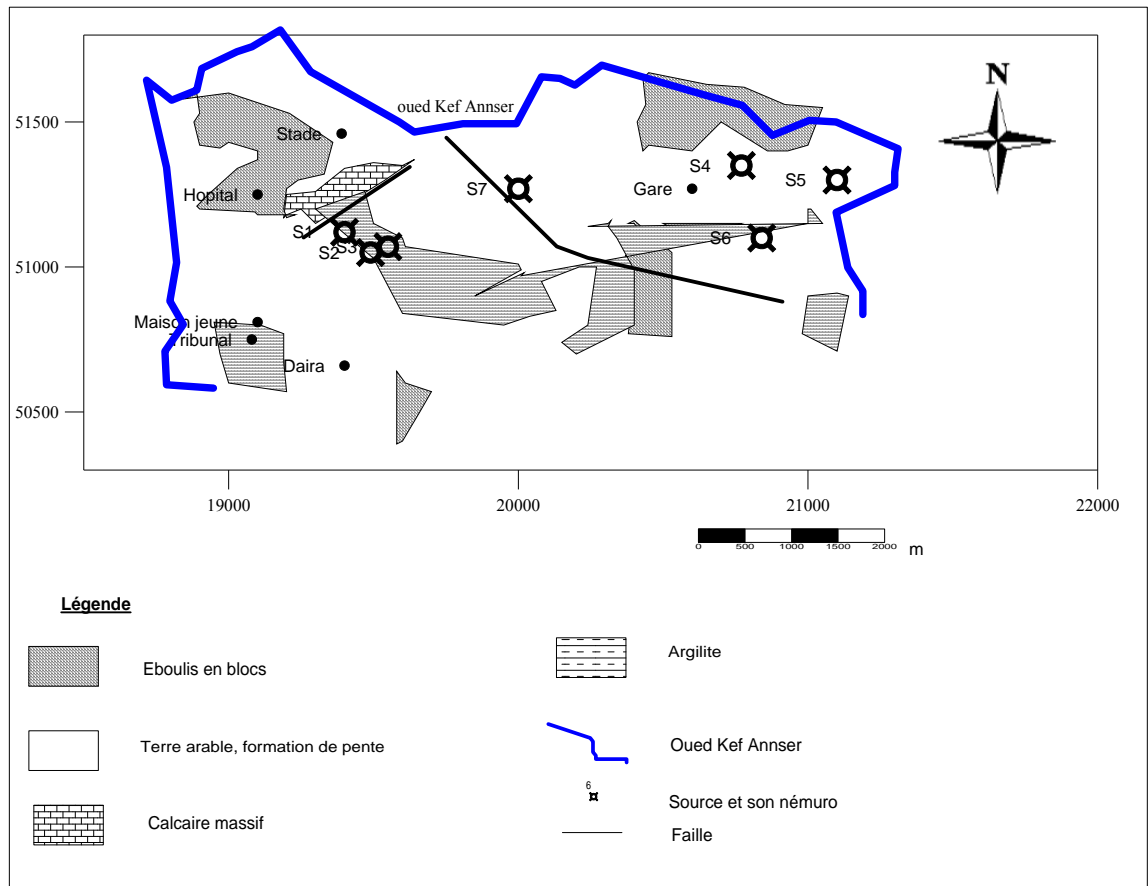
Deux sortes de sources d'eau sont observées : les résurgences et les puits superficiels.

#### III-3.1.1 : Les résurgences

##### a) Campagne Juillet à Septembre 2007

Durant cette période un phénomène est observé et se rapporte au retrait des argiles sous des conditions climatiques sèches. Sept points de résurgences sont inventoriés. Ces points correspondent à des fuites provenant des défections des conduites.

Ces différentes résurgences (Fig. III-4) sont très dispersées, dont la cote d'eau varie entre 650m et 749m. Les variations des cotes des sources sont liées à la morphologie du site. Trois sources parmi les sept se situent à une altitude proche de 655m (S1, S2 et S3). Ces trois sources coulent tout près du site du C.E.M. Taklit. A la suite de réparation des endommagements, ces sources sont disparues.

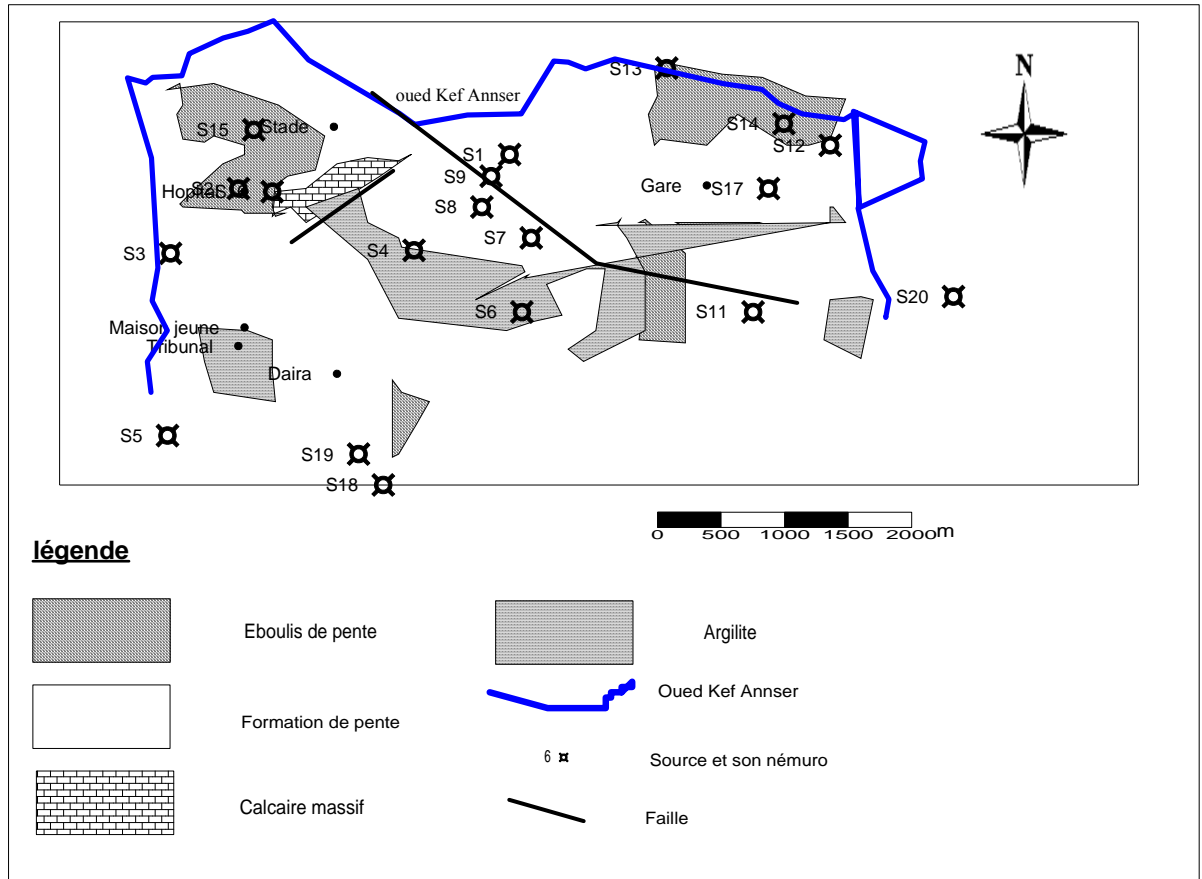


**Fig. III-4: Inventaire des sources d'eau (Juillet à Septembre 2007)**

### b) Campagne Décembre 2007 à Janvier 2008

Durant cette période plusieurs résurgences sont apparues à la suite de précipitations qui ont duré environ une semaine, de 28 Décembre et 5 Janvier 2008. Ces précipitations sont accompagnées de chutes de neige sur les hauteurs du Dj Guergour et Annini.

Au total vingt sources sont inventoriées (Fig. III-5.a). L'altitude des ces sources varie entre 615m et 810m.



**Fig. IV-5.a : Carte d'inventaire des sources (Décembre 2007\_ Janvier 2008)**

La vue générale de la répartition de ces sources indique une répartition en étages, dont l'altitude diminue de Sud vers le Nord avec la topographie. Nous remarquons que les sources S4, S8 et S13 se situent à la même altitude (660m). Toutes les restes sont dispersées sur à différentes altitudes.

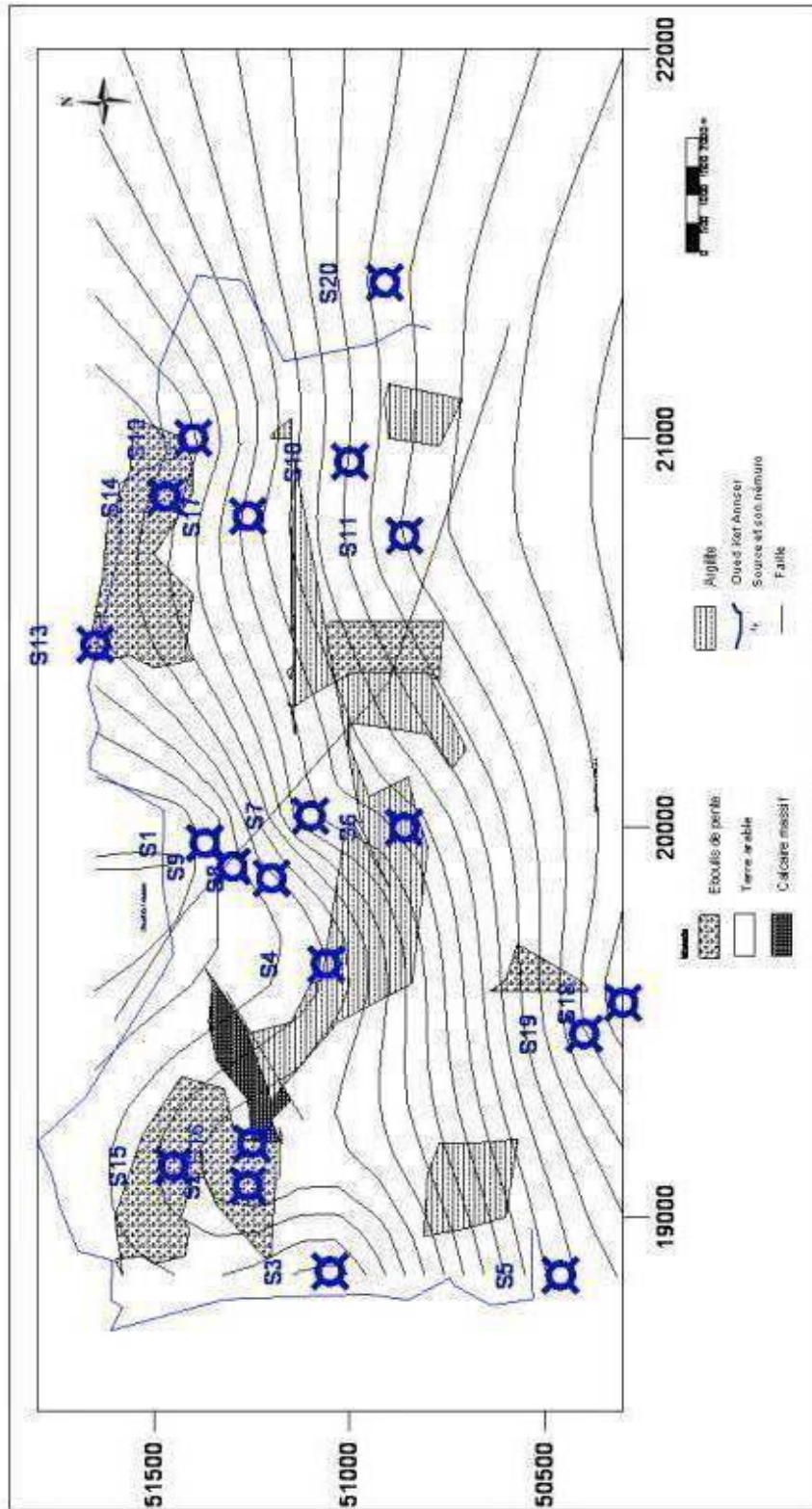


Fig. III.5.b: Niveau des sources, Decembre 2007

### c) Campagne Mars à Avril 2008

Durant cette campagne, une période de chute de neige de trois jours est à signalée. La neige a couvert la ville de Bougaa durant dix jours. Toutes les sources inventoriées (Fig. III-6) durant la campagne précédente apparaissent en surface. Une augmentation du débit est à signalé.

Trois autres sources sont apparues à la suite de la cassure de conduite du réseau d'assainissement.

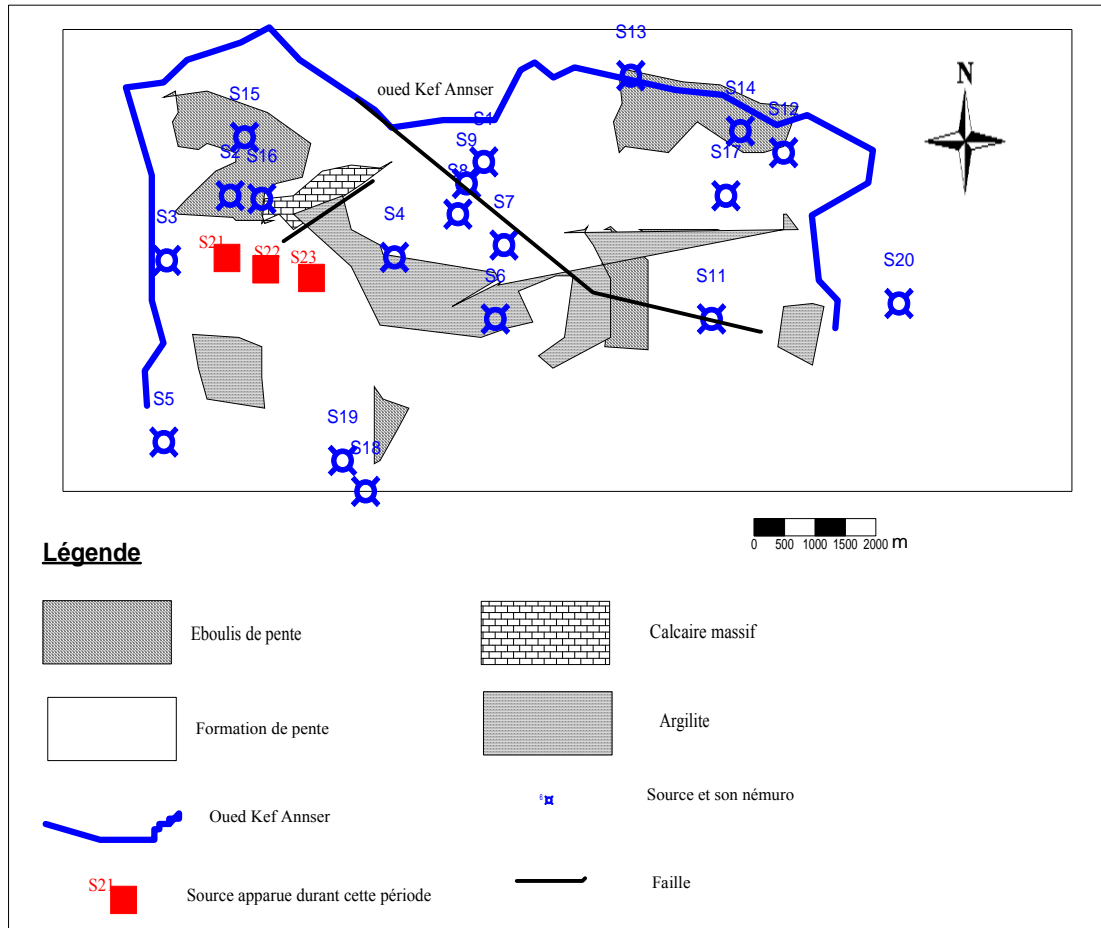
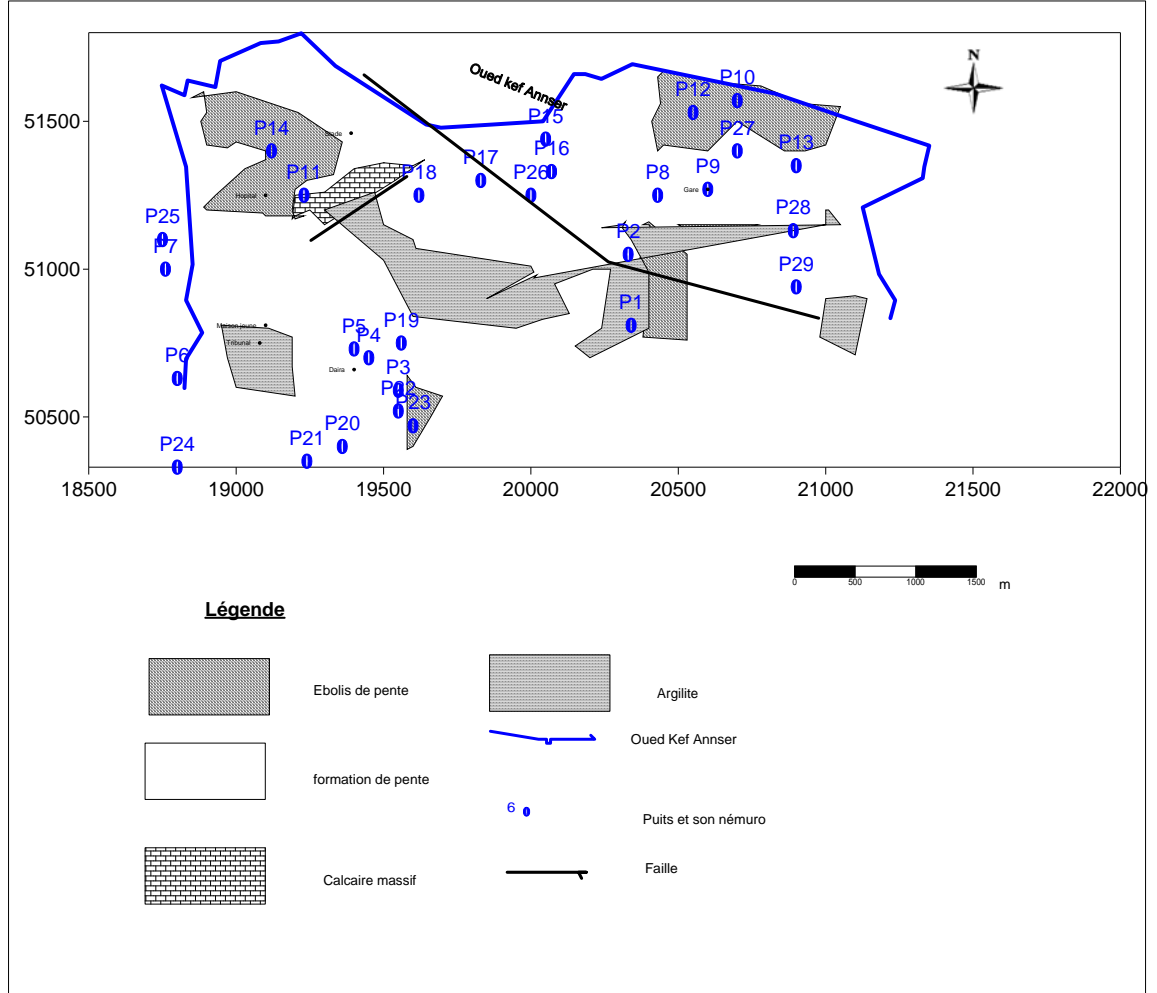


Fig. IV-5.a : Carte d'inventaire des sources (Avril-Mai 2008)

### III-3.1.2 : Eau souterraine

Vingt neuf puits, d'une profondeur variant entre 10 et 25m (Fig. III-7) sont creusés au niveau de la formation superficielle, il s'agit soit de la formation de pente ou de la couche altérée d'argilite.



**Fig. III-7: Inventaire des puits d'eau de la ville de Bouгаа**

Durant la période d'étude, depuis Septembre 2007 au Mai 2008, il n'y a pas eu de nette variation des niveaux des eaux souterraines. La carte piézométrique prise en charge est celle du Mai 2008.

## Campagne Mai 2008

Durant cette campagne, la carte piézométrique de la ville de Bougaa (Fig. III-8) est subdivisée en quatre zones définissant des aquifères à extension latérale très limitée.

- **Zone Nord-est** : les puits sont creusés sur la formation hétérogène détritique des argiles graveleuses. Il s'agit d'une dépression limitée à l'Ouest par la formation des argiles saines couvrant un terrain en pente forte. Le niveau piézométrique varie entre 625m à 695m. Le sens d'écoulement est orienté Nord-Sud. Il s'agit d'une nappe à vergence Nord.

Le gradient hydraulique calculé par la formule  $i = \Delta H/L$ .

Où,

- $i$  désigne le gradient hydraulique.
- $\Delta H$ , désigne la différence entre deux niveaux piézométriques, en m.
- $L$ , désigne la distance entre les deux points, en m.

La valeur du gradient hydraulique est estimée à  $19.10^{-3}$  c'est un faible gradient hydraulique indiquant de faible vitesse d'écoulement. Ce ci est lié à la fraction argileuse importante.

- **Zone Sud-est** : la morphologie est en pente moyenne. Les puits sont creusés sur la formation des argiles graveleuses. Cette zone est délimitée à l'Ouest par la faille orientée NW-SE. Le niveau piézométrique varie entre 715m à 785m. Le sens d'écoulement est orienté SW-NE. Il se dirige vers l'Oued Kef Annser.
- **Zone centrale** : le niveau piézométrique varie entre 540m et 690m. Le sens d'écoulement est orienté Nord-Sud. Les isopièzes sont serrés au Nord indiquant une perméabilité plus ou moins bonne. Le gradient hydraulique est estimé à  $80.10^{-3}$ . Il s'agit d'un gradient hydraulique moyen indiquant une vitesse moyenne d'écoulement.
- **Zone Nord-ouest** : cette zone est délimitée à l'Est par la formation des calcaires massifs, formant le relief. Le niveau piézométrique varie entre 540m et 690m. Le sens d'écoulement est orienté SW-NE. Les isopièzes sont moyennement espacés indiquant de moyenne perméabilité. Le gradient hydraulique est estimé  $94.10^{-3}$ . Le gradient hydraulique est moyen, indiquant une vitesse d'écoulement moyenne. Ce transit rapide peut être due à la pente plus ou moins forte dans ce secteur.
- **Zone Sud-ouest** : le niveau piézométrique varie entre 705m et 800m. Le sens d'écoulement est orienté Sud-Nord. Le gradient hydraulique est estimé à  $22.10^{-3}$ . Le gradient hydraulique est faible, indiquant de faible vitesse d'écoulement. Ce-ci est en corrélation avec la nature lithologique caractérisée par une perméabilité relativement médiocre.



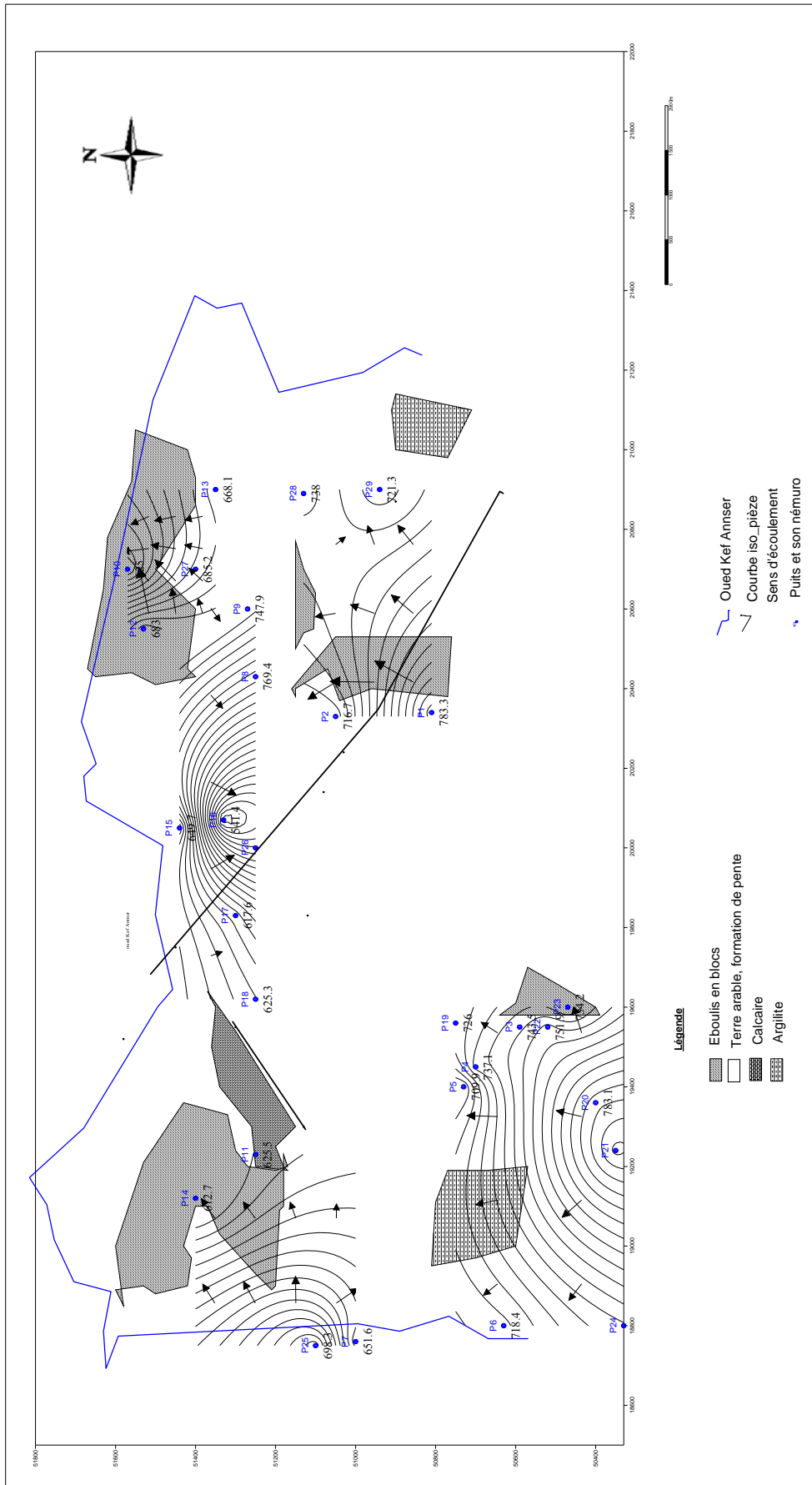


Fig. III-8: Carte piézométrique de la ville de Bougaa (Mai, 2008)

### **III-4 : Hydrochimie des eaux**

L'hydrochimie se définit comme la connaissance des caractéristiques physicochimiques des eaux souterraines, des processus de leur acquisition et des lois décrivant les échanges entre l'eau, le sol et le sous sol. Les résultats d'analyses des prélèvements effectués sont utilisés pour le traitement statistique par le biais d'une analyse en composante principale.

#### **III-4.1 : Les paramètres physicochimiques analysés**

Dix échantillons sont analysés en deux campagnes. Pour la première campagne les eaux sont analysées au niveau du laboratoire de la direction de l'Algérienne des Eaux (A. D. E de Sétif). La deuxième campagne les eaux sont analysées au niveau du laboratoire d'hydrochimie de l'université de Constantine. Les éléments déterminés sont les suivants :

##### **a) Paramètres physiques**

###### **- Température :**

Elle joue un rôle très important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne et l'évaporation des eaux. Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol.

Les valeurs de la température des eaux souterraines enregistrées oscillent au tour de 18°C pour la période des basses eaux, et sont comprises entre 22 et 23°C durant la période des hautes eaux.

###### **- Potentiel d'hydrogène (pH) :**

C'est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau ainsi que l'état d'équilibre des éléments chimiques.

###### **- La conductivité électrique**

Elle est liée à la présence des espèces ioniques en solution. Les valeurs de conductivité mesurées sont corrigées à une température standard de 20°C. Elle varie entre 1240 à 2301 µmoh en période des basses eaux et de 410 à 2800 µmoh en période des hautes eaux. Cette variation de la conductivité est en relation directe avec la variation du chimisme des eaux d'une période à l'autre. Plus une eau est chargée en sels dissous, plus sa conductivité est forte.

## b) Les paramètres chimiques

### \* Cations

#### - Calcium :

La présence des ions  $\text{Ca}^{++}$  dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles :

- soit la dissolution des formations carbonatées ;
- soit la dissolution des formations gypseuses.

#### - Magnésium :

Ses origines sont comparables à celles du Calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fort teneur en  $\text{Mg}^{++}$  (magnésite et la dolomie). Mais leur forte solution nécessite un temps de contact plus long que celui du calcium.

#### - Sodium et Potassium :

Ils sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportions très variables :

- Sodium : a comme origine, le lessivage des formations salifères ou les rejets d'eau usée d'origine industrielle et domestique.
- Potassium : est beaucoup moins abondant que le Sodium, rarement présent dans l'eau à des proportions supérieures à 20mg/l. Ses origines sont les argiles potassiques.

### \* Anions

#### - Chlorure :

La teneur en chlorure augmente généralement avec le degré de minéralisation qui est due à la dissolution des sels naturels, les rejets d'eau usée d'origine domestique en particulier l'urine qui est responsable d'un rapport d'environ 60 mg/l d'ion  $\text{Cl}^-$ /personne/ jour. Il peut aussi provenir des rejets industriels tels que l'acide chlorhydrique.

#### - Sulfates :

La présence des sulfates dans l'eau est liée à :

- la dissolution des formations gypseuses ;
- l'oxydation de l'anhydrite sulfureuse atmosphérique par les eaux de pluie ;
- l'oxydation des eaux usées industrielles contenant de l'acide sulfurique ;

#### - Bicarbonates :

Résultant de la dissolution des formations carbonatées par des eaux chargées en gaz carbonique. La concentration des bicarbonates dans l'eau est fonction des paramètres suivants :

- la pression du  $\text{CO}_2$  dissous ;
- la température de l'eau ;
- la concentration de l'eau en sels et la nature des terrains traversés.

### III-4.2 : Classification des eaux

Différentes représentations graphiques aident à visualiser le faciès chimique d'une eau et de retracer le processus de la recharge d'un aquifère. Parmi les diagrammes utilisés, le diagramme de Stiff et la classification de Stabler (Fig. II-9.a et Fig. III-9.b) sont choisis.

#### a) Diagramme de Stiff :

Le diagramme de Stiff permet de configurer l'analyse dont les cations sont présentés à gauche de l'axe vertical, il s'agit des ions : Calcium, Magnésium, Sodium+ potassium. Les anions représentés à droite de l'axe sont les ions : Chlorure, Bicarbonates et Sulfates. L'axe horizontal exprime les concentrations en mé/l.

#### - *En période des basses eaux:*

- la teneur du Calcium est comprise entre 103,9mg/l au niveau du puits N°14 et 232mg/l au niveau du puits N°15 ;
- la teneur en Sodium variée de 1,77mg/l au niveau du puits N°28 et 284mg/l au niveau du puits N°8 ;
- la teneur en Magnésium est comprise entre 6mg/l au niveau du puits N° 15 et 114mg/l au niveau du puits N°24 ;
- la teneur en Potassium variée entre 4mg/l au niveau du puits N°28 et 15mg/l au niveau du puits N°13 ;
- la teneur en Bicarbonate variée de 122mg/l au niveau du puits N°13 et 597mg/l au niveau du puits N°10 ;
- la teneur en Sulfates est comprise entre 147mg/l au niveau du puits N° 20 et 939mg/l au niveau du puits N°8 ;
- la teneur en Chlorure variée de 53mg/l au niveau du puits N°8 et 220mg/l au niveau du puits N°24.

#### - *En période des hautes eaux:*

- la teneur du Calcium est comprise entre 48mg/l au niveau du puits N°20 et 181mg/l au niveau du puits N°24 ;
- la teneur en Sodium variée de 39mg/l au niveau du puits N°24 et 9455mg/l au niveau du puits N°1 ;
- la teneur en Magnésium est comprise entre 14mg/l au niveau du puits N° 1et 239mg/l au niveau du puits N°13 ;
- la teneur en Potassium variée entre 4mg/l au niveau du puits N°10 et 18mg/l au niveau du puits N°13 ;
- la teneur en Bicarbonate variée de 178mg/l au niveau du puits N°4 et 625mg/l au niveau du puits N°1 ;
- la teneur en Sulfates est comprise entre 20mg/l au niveau du puits N° 10 et 19500mg/l au niveau du puits N°1 ;
- la teneur en Chlorure variée de 60mg/l au niveau du puits N°4 et 230mg/l au niveau du puits N°4.

Les eaux de ce site sont plus chargées, généralement, en période des basses eaux, exception de l'élément Sodium et Potassium où les teneurs les plus élevées sont enregistrées en périodes des hautes eaux.

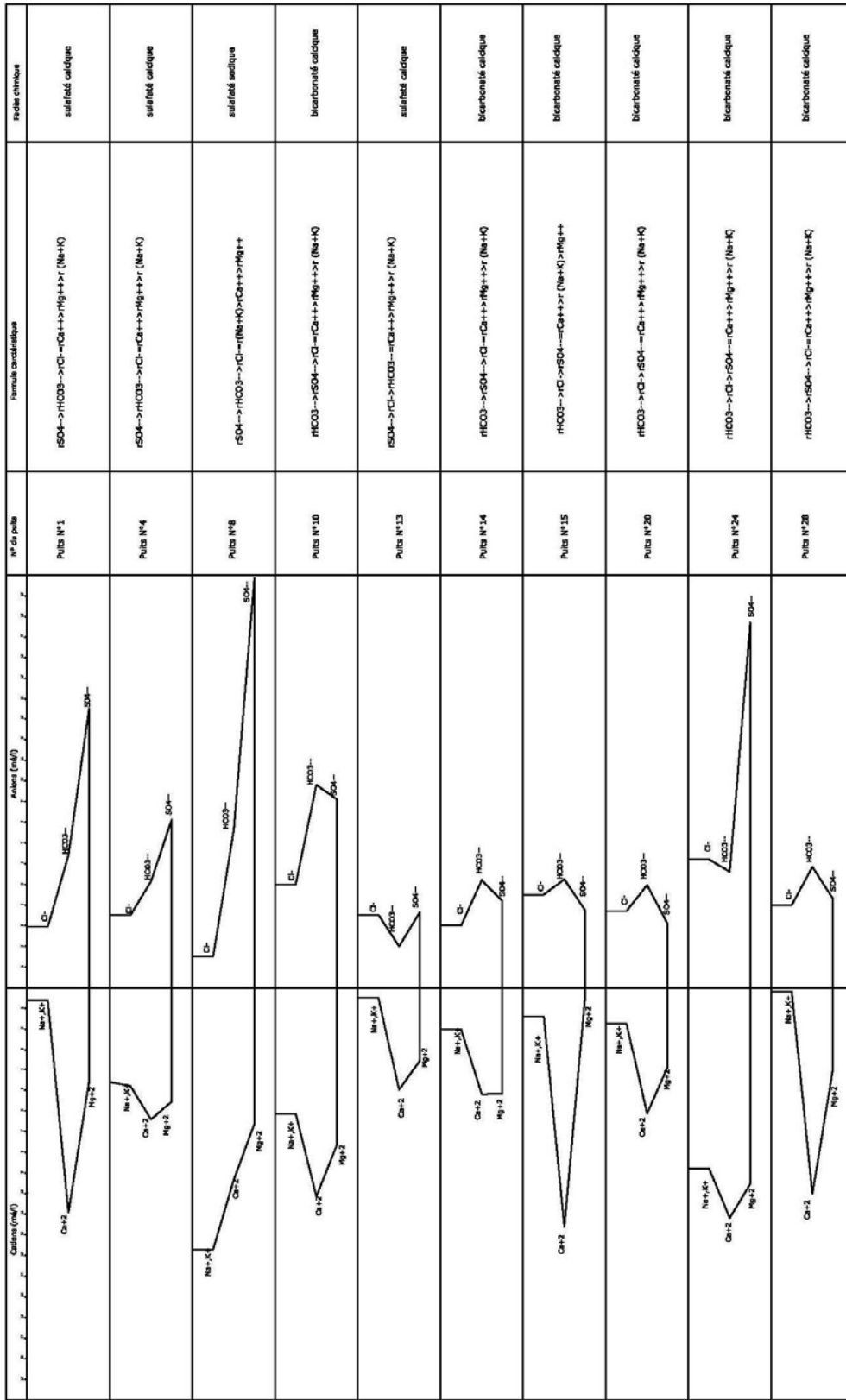


Fig. III-9.a : Diagramme de Stiff et formules caractéristiques des eaux analysées  
Site de la ville de Bouгаа, Septembre 2007

**b) Classification de Stabler :**

C'est une classification par ordre décroissant, de gauche à droite des quantités en réaction en pourcent (r%) des anions puis des cations permet de définir le faciès des eaux, en se basant sur la prédominance de tel ou tel ion.

Cette classification a mis en évidence les familles de faciès suivants :

**- le faciès bicarbonaté**

Ce faciès est influencé par les formations carbonatées, il représente trois sous classes :

- faciès bicarbonaté calcique: présent aux puits N°10, 28,14, 15 et 20 de la période des basses eaux;
- faciès bicarbonaté magnésien: présent au le puits N°28 analysé en période des hautes eaux;
- faciès bicarbonaté sodique: présent au puits N°8 de la période des basses eaux.

**- le faciès sulfaté**

Ce faciès est influencé soit par la présence de formation gypseuse, soit d'oxydation d'eau usée industrielles contenant de l'acide sulfurique. Il regroupe deux sous classes :

- faciès sulfaté calcique: représenté par les puits N°: 8, 1, 13, 4 et 24 en période des basses eaux;
- faciès sulfaté sodique: représenté par les puits N°1 et 13 analysés en période des hautes eaux.

**- le faciès chloruré**

Il se présente en une seule sous classe:

- faciès chloruré sodique: représenté par les puits N°: 10, 14, 15 et 20 en période des hautes eaux.

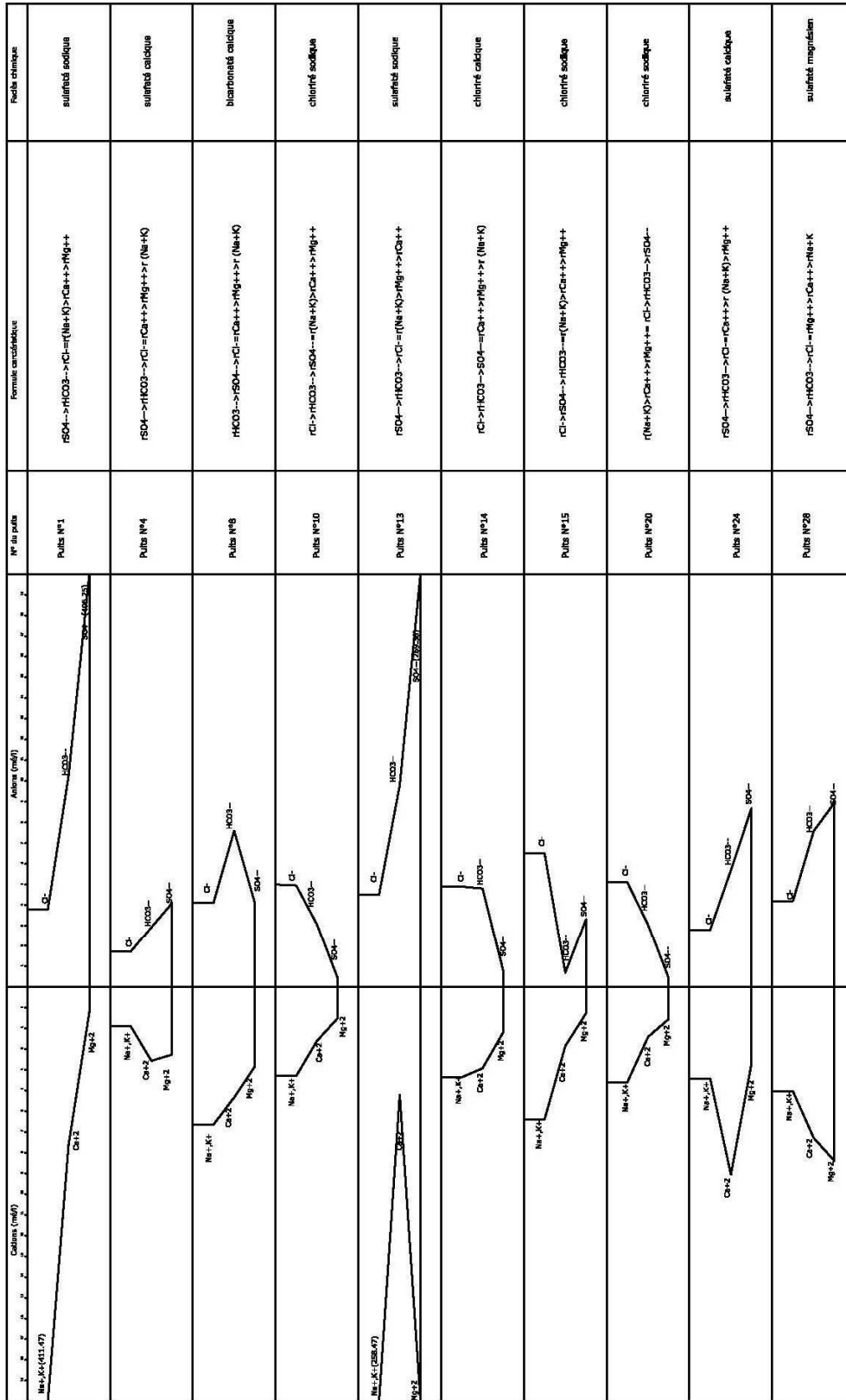


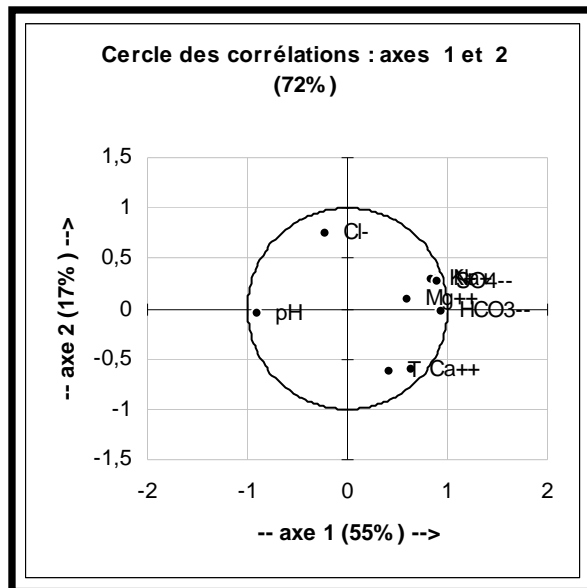
Fig. III-9.b: Diagramme de Stiff et formules caractéristiques des eaux analysées Site de la ville de Bougaa, Mai 2008

### III-4.3 : Analyse statistique des données

Parmi les méthodes statistiques utilisées dans le traitement des analyses d'eau, l'analyse en composante principale montre l'avantage de représenter dans l'espace un ensemble de données ou variables appartenant à des différents individus. Plusieurs ACP sont réalisés, dont la meilleure est établie par les variables suivants :  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$ ,  $\text{HCO}_3^{-}$ ,  $\text{SO}_4^{-}$ ,  $\text{Cl}^{-}$ , pH et T. L'analyse prise en compte est celle de Mai 2008.

Le cercle de corrélation (Fig. III-10) présente la projection des variables par rapport au plan factoriel F1 - F2. Ce plan exprime 72% de la variance, dont l'axe F1 (55% de la variance) est défini par les variables suivants :  $\text{HCO}_3^{-}$  (0,94),  $\text{SO}_4^{-}$  (0,90),  $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$  (0,88). L'axe F2 est défini par les variables : T (0,63) et  $\text{Cl}^{-}$  (0,73). L'origine des chlorures est différente de celle de sulfates, de potassium et de sodium. Il peut provenir des rejets domestiques.

Donc F1 correspond aux eaux chargées en bicarbonates, sulfates et potassium et sodium. L'axe F2 correspond aux eaux chlorurées.



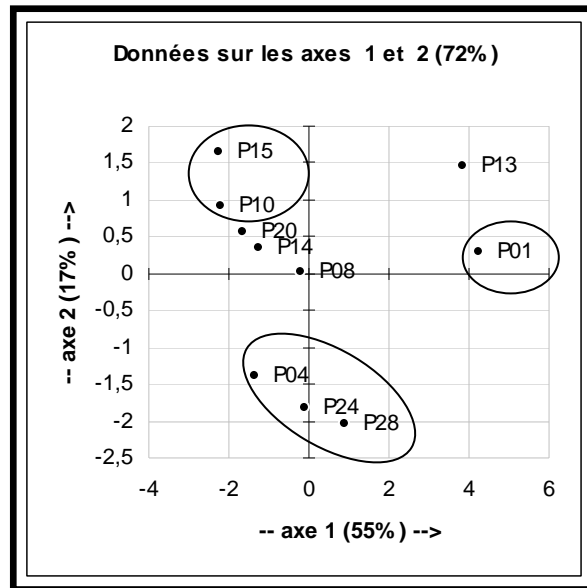
**Fig. III-10 : Cercle de corrélation plan F1-F2  
Campagne Mai 2008**

Sur le cercle des individus (Fig. III-11), on peut déterminer les groupes suivants :

- groupe formé par les individus : P04, P24 et P28. Il s'agit des eaux à température élevée et de faible teneur en  $\text{Cl}^{-}$ . Les trois puits sont creusés au niveau de la formation de pente. Les points 28 et 24 se situent dans des terrains vierges où les rejets domestiques ne sont pas abondants.
- Groupe formé par les individus : P15 et P10, il s'agit des eaux chargées en chlorures, de faible température et de faible teneur en  $\text{Ca}^{++}$ . Il s'agit des eaux chargées en  $\text{Cl}^{-}$ . Ces deux points sont creusés au niveau de l'Oued Kef Annser, dont tous les rejets domestiques sont jetés dans cet oued.



- Groupe formé par l'individu P01, qui est une eau définie par l'axe F1. Ce point est creusé au niveau de la formation de pente à fraction argileuse importante, ce qui donne un faciès anormal.



**Fig. III-11 : Cercle des individus plan F1-F2  
Campagne Mai 2008**

### III-5: Conclusion

Du point de vue hydrogéologique, le sous sol de la ville de Bouгаа renferme un aquifère hétérogène, dont le terme d'aquifère a été utilisé puisque ces réservoirs contiennent de l'eau. L'aquifère est constitué d'éléments détritiques à très faible perméabilité, l'eau circule entre la surface altérée constituée d'argilite altérée, de formation de pente ou d'alluvions d'Oued, et le substratum rocheuse d'argilite, ce qui provoque l'apparition des résurgences de très faible débit. L'apparition de ces dernières est nettement en relation avec les précipitations.

La présence d'une nappe d'inferoflux d'une extension très limitée, de l'Oued Kef Annser dont la profondeur des eaux est très faible, variant entre 2m et 5m de profondeur. Le sens d'écoulement est orienté N-S dans sa partie N-E. Dans sa partie N-W le sens d'écoulement est orienté SW-NE. D'autres zones de présence d'eau sont cartographiées dont l'extension, est conditionnée par la nature lithologique et la morphologie de la zone.

Le peu d'analyses effectuées ont caractérisé des eaux à faciès sulfaté à bicarbonaté. Les sulfates, le potassium et le sodium ont une origine naturelle, proviennent de la dissolution des sels contenus dans les argilites. Par contre les chlorures proviennent des rejets des eaux usées domestiques.

Sur toute la zone où la faille NW-SE est cartographiée aucun puits n'a été inventorié. Les sondages creusés sur cette zone, à une profondeur moyenne de 15m, sont caractérisés par l'absence d'eau. Cette faille joue le rôle du drain souterrain.

Les eaux de surface provoquant des ravinements et érosion pouvant modifier la géométrie du versant, par conséquent modifier les conditions de stabilité.

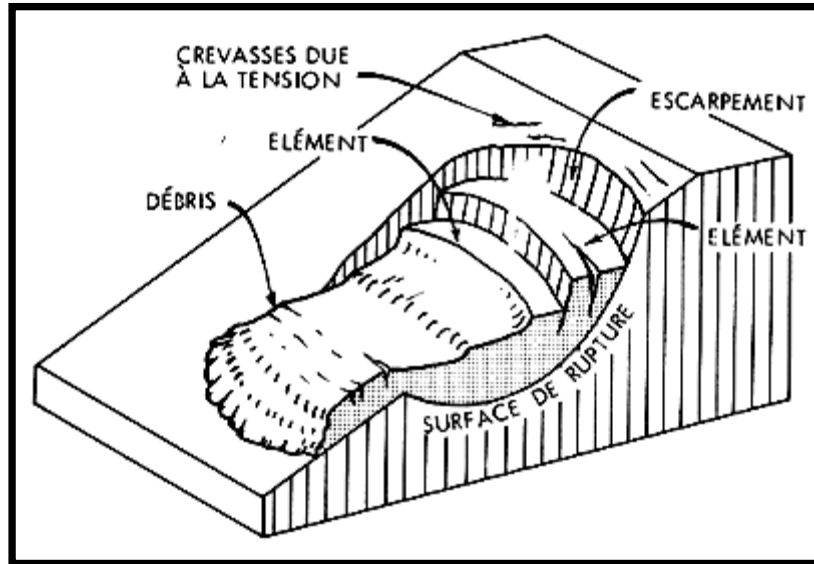
Les eaux de surfaces présentent une action érosive sur le versant, entraînant à long terme une diminution de la résistance de celui-ci. Dans les zones instables, l'érosion mécanique souterraine peut avoir une influence importante, modifiant au cours du temps les propriétés mécanique du sol (Fruya et al. 1999 ;Wen et Al., 2004)

# CHAPITRE IV

## ETUDE DE GLISSEMENT

#### IV-1 : Introduction

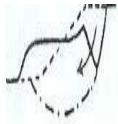

Les glissements de terrain sont des déplacements lents (quelques millimètres par an à quelques mètres par jour) d'une masse de terrain cohérente le long d'une surface de rupture généralement courbe ou plane. (Fig.IV-1)



**Fig. IV-1 : Les composantes d'un glissement**

Les glissements de terrains se caractérisent par la translation latérale d'une certaine masse de matériaux au niveau d'une surface de rupture nettement individualisée. Ils se produisent le plus souvent dans des matériaux peu ou faiblement cohérents de types marnes, argilites, formation superficielle (alluvions glaciaires, arènes, altérites, éboulis...). Le remaniement est plutôt faible, car le glissement concerne une masse compacte de la formation initiale et le déplacement n'excède pas quelques dizaines de mètres ou au maximum une centaine de mètres.

Selon la forme de surface de rupture, deux types de glissements sont distingués (tableau IV-1)

Classe	Types	Schéma	Terrains concernés	Remaniement interne	Vitesse moyenne
Glissement	Glissement circulaire (loupe)		Roches peu ou pas cohérents - marne - alluvions - moraine	Plutôt faible	Quelques cm à quelques m par jour Discontinu (saison)
	Glissement plan		Altérites	Plutôt fort	Quelques mètres par jour Discontinu (saison)

*Tableau IV-1 : Principales classes et types de glissement (Campy, 2003)*

- **Les glissements circulaires** : ou rotationnels dont la surface de glissement est concave. Le cas le plus fréquent (appelé loupe de glissement) affecte un matériau homogène. La partie supérieure affaissée se scinde en blocs surmontés d'escarpement de failles. La partie inférieure évolue en une coulée plus ou moins développée.

- **Les glissements plans** : dont la surface de décollement est plane. Ils se déclenchent le plus souvent au niveau d'une zone de discontinuité entre deux matériaux de nature différente, par exemple limite entre une altérite et son substrat.

Au cours du glissement, la vitesse du mouvement est lente, de quelques cm à quelques m par jour, mais peut varier dans le temps. Un glissement peut en effet fonctionner au cours d'une période favorable (pluie ou gel en hiver par exemple) et cesser son mouvement lorsque l'eau d'imbibition s'est évacuée. Certains glissements anciens peuvent rester stables pendant les dizaines d'années et leur activité reprendre brusquement lors d'un évènement météorologique exceptionnel. (Campy M. et Macaire J.J., 2003)

## IV-2 : Description des sites de glissement observés dans le site de la ville de Bougaa

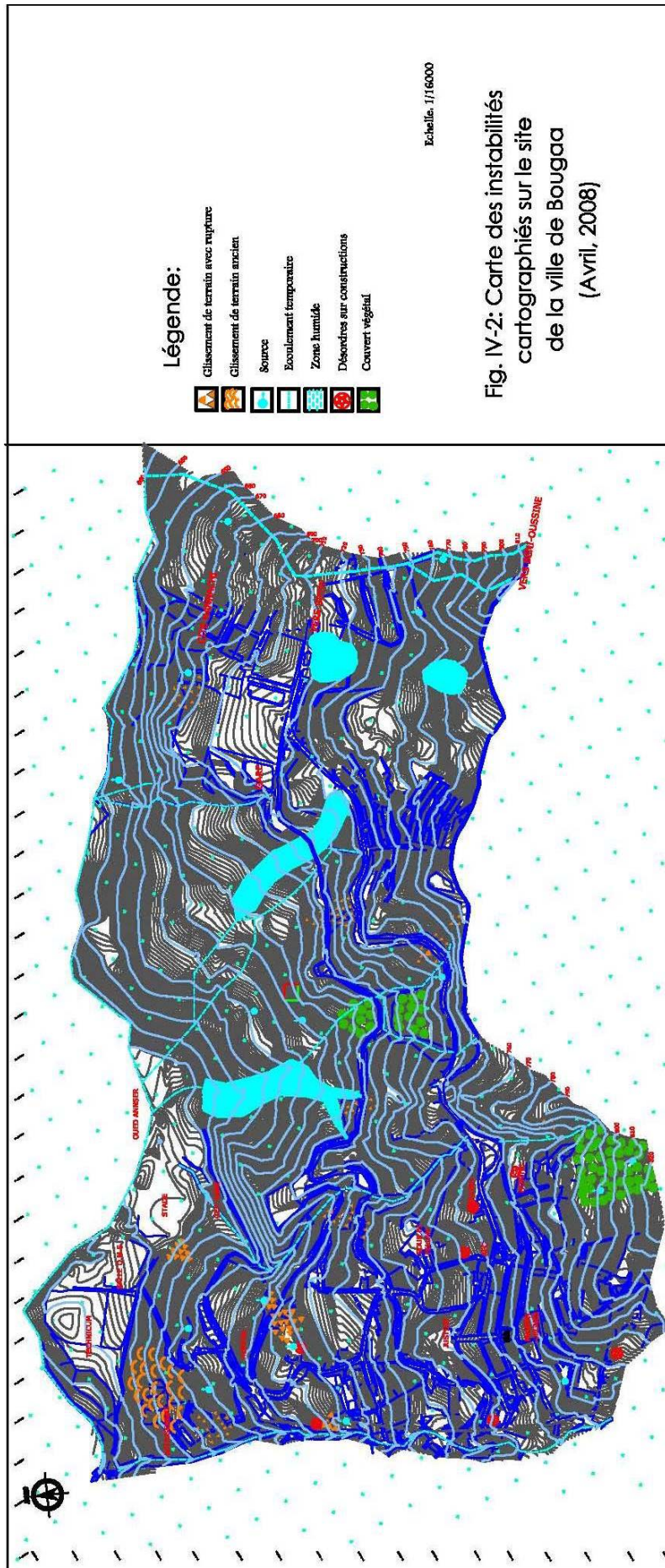
Ces différents sites d'instabilité sont décrits durant la réalisation de l'étude géotechnique de la ville de Bougaa par les services du laboratoire des travaux publics de l'Est. Une enquête, a été effectuée durant la période de réalisation de ce rapport, a consisté en un relevé cartographique de tous types de glissements décelables sur le terrain.

### IV-2.1 : Localisation des sites de glissements

Les coordonnées de tous les points cartographies sont consignées dans le tableau IV-2 ci-dessus:

Site	Localisation	Coordonnées		
		X (m)	Y (m)	Z (m)
Abattoir – cimetièrre	Aval de l'abattoir et à l'extrémité Est du cimetièrre	19446	50423	677
Station d'essence	En amont de la station d'essence à l'entré de Bougaa	19278	50001	716
Hôpital	A proximité immédiat de l'hôpital	19561	51044	652
CEM Taklit	En amont à l'Ouest du CEM Taklit	19577	51464	603
Stade	En amont du nouveau stade et en aval de l'hôpital	19258	51893	594
Souk el felah	Entre souk el felah et l'habitation Benaissa	19190	51247	662
Logements évolutifs	En amont des logements et en aval des lotissements	18606	51673	606

Tableau IV-2 : Localisation des sites de glissements



#### **IV-2.2 : Description des sites de glissements**

Les points cartographiques (Fig. IV-2) sont répartis surtout sur la moitié Ouest du site de Bougaa. Ces points s'organisent au tour de la direction orienté NW-SE. Cette direction coïncide avec la direction de la faille orientée NW- SE. Localement chaque point d'instabilité est décrit séparément.

##### **- Glissement abattoir cimetière**

Ce glissement s'étend sur 80m de long et 75m de large avec une rupture sommitale de 3m, un bourrelet de 1,20m de hauteur qui s'est formé en pied et de plusieurs fissures transversales. Les sols en mouvement laissent apparaître des formations argileuses de versant englobant surtout de blocs calcaires.

A cet endroit, deux constatations sont faites:

- l'écoulement d'eau en surface ;
- le chargement en amont du site par un matériau d'apport.

A la suite du ce phénomène, les désordres se sont exprimés par un affaissement de la clôture du cimetière et un déplacement d'une partie du mur en maçonnerie.

##### **- Glissement station d'essence**

Ce glissement d'extension de 120m de long sur 75m de large s'est produit dans une zone à pente faible qui forme un lieu d'accumulation d'eau alimentée par le talweg amont de l'Oued Kef Annser.

Des fissures transversales de 10 à 15cm d'ouverture et de légers décrochements à l'Ouest (60 cm) du site sont observées.

Une source apparente à mi-pente, apparaît, actuellement, à quelques mètres en amont et en aval de la clôture de la station d'essence.

##### **- Glissement en amont de l'hôpital (Fig. IV-3)**

Ce glissement, dont les dimensions ne sont pas déterminées, subi dans sa partie amont un décrochement vertical de 2m de hauteur environ conduisant à un léger affaissement de la RN 74 dans deux endroits. Le sol en aval a lui aussi subi un mouvement. Ce dernier a entraîné un déplacement de quelques mètres du gabion posé pour soutenir le remblai. Ces sols ébranlés sont des argiles renfermant de gros blocs de calcaire et les eaux circulent en permanence. L'excavation exécutée pour réaliser la plate forme de l'hôpital (décharge de pied), l'écoulement d'eau omniprésente, la charge du sommet par le poids du gabionnage en sont les facteurs ayant déclenché ce glissement.



**Fig. IV-3: Site d'hôpital**



**- Glissement CEM Taklit (Fig. IV-4)**

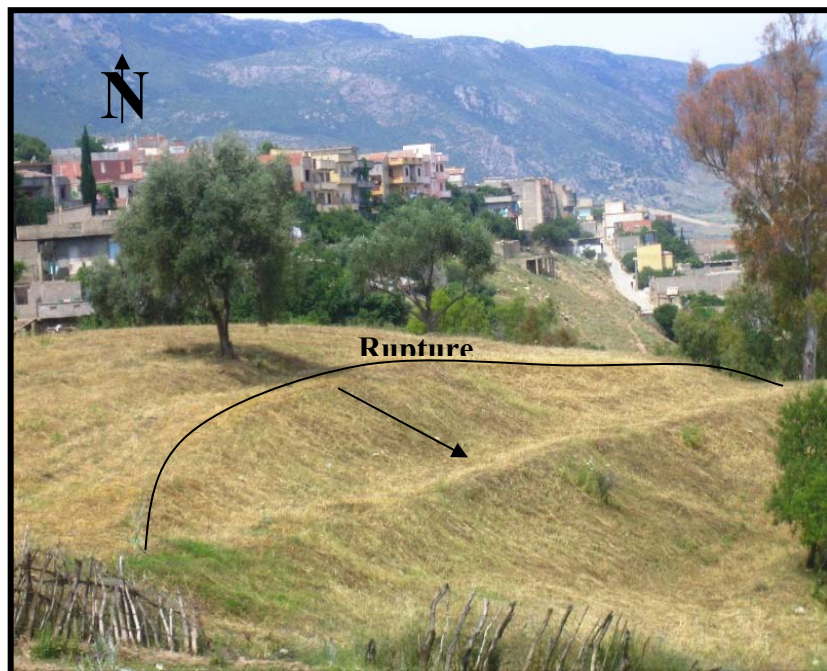
Ce glissement s'est effectué au voisinage d'une pente de terrain trop forte (rupture de pente). Ce mouvement a créé un affaissement sur 2m de décrochement en tête. Un bourrelet de hauteur non négligeable s'est formé en pied du glissement. Il a entraîné dans son mouvement le mur de clôture du CEM, situé en aval, qui s'est incliné. Le sol naturel est une argile de recouvrement qui a été faiblement imbibé par l'eau par ce qu'elle est exposée en permanence à un écoulement venant de l'amont d'une source d'eau.



**Fig. IV.4: Dégradations au niveau de la clôture du CEM**

**- Glissement en amont du stade (Fig. IV.5)**

Ce glissement est une rupture de pied de talus de versant, survenu, au cours des travaux de terrassement engagés au niveau de la plate forme du stade. C'est un glissement approximativement circulaire, 40m×50m. Une traction sommitale avec un décrochement de 0,5 à 2m s'est opérée. Les sols glissés sont essentiellement des dépôts de pente constituée d'argiles limoneuses renfermant graves et cailloux. La pente est raide. Le terrassement au pied du talus serait à l'origine de désordre.



**Fig. IV-5: Site du stade**

**- Glissement Sud-est de Souk EL Fellah (Fig. IV-6)**

Ses dimensions sont d'environ : largeur 100 m, longueur 180 à 200m. En amont de la RN 74, le versant à une topographie très irrégulière. Le talus est parsemé de cicatrices d'arrachements qui témoignent d'un mouvement ancien très lent.



**Fig. IV-6: Site souk el fellah**

**- Glissement en aval de la Stèle (Fig. IV-7)**

Ce glissement de terrain se distingue par plusieurs moutonnements avec de légers décrochements visibles aussi bien en aval qu'à l'amont de la route. La limite supérieure du mouvement s'étend jusqu'au CW 63.

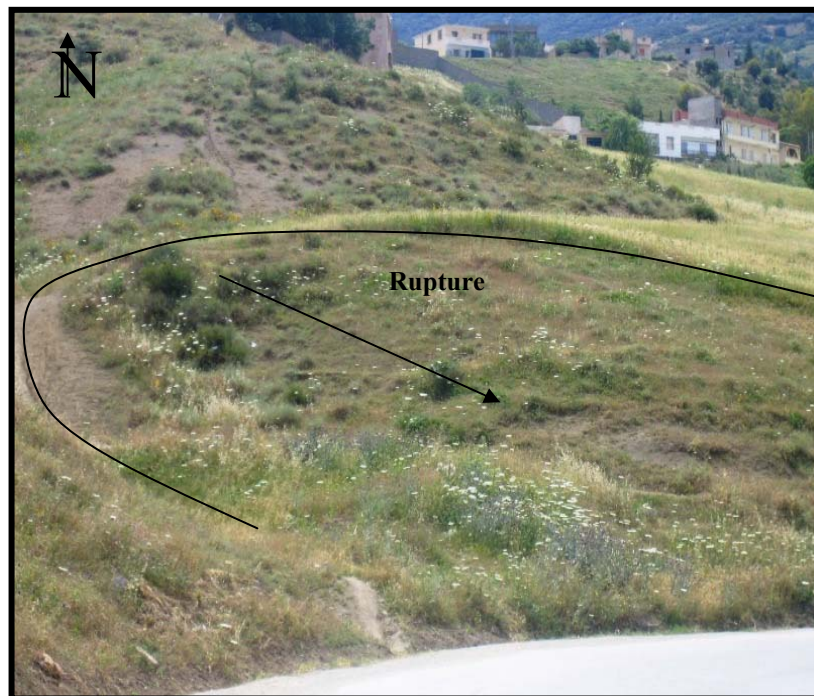
Le sol est formé, en surface, d'argile beige à jaunâtre très plastique. L'absence des résurgences d'eau au moment de la visite est à signaler. Mais d'après les informations récoltées, deux sources s'écoulent dans cette zone mais ont été captées et détournées vers un autre endroit.



**Fig. IV-7: Site de la stèle**

**- Glissement en amont des logements évolutifs (Fig. IV-8)**

C'est un glissement qui a ébranlé un dépôt de matériau. Cette masse de remblai est beaucoup plus importante à cet endroit. Le sol argileux sensible à la pente est mis en dépôt et non en remblai selon les règles de l'art, le matériau est mal compacté. La débilement du pied par excavation à fin de réaliser la plate forme des logements évolutifs a provoqué la mise en mouvement du terrain. Une traction sommitale de quelques décimètres s'est opérée.



**Fig. IV-8: Site des logements évolutifs**

**- Glissement ancien (Fig. IV-9)**

Il est situé entre les logements évolutifs et les lotissements à usage d'habitation individuel. Ce bas versant présente des signes d'instabilités anciens (pente moutonnée, dépressions). La zone instable à une pente variable comprise entre 14 et 16% et s'étend sur une longueur de 200 à 400 m pour une largeur de 200m environ. Les sols superficiels sont constitués par des dépôts d'âge Quaternaire dont l'épaisseur est importante ( $\approx 20m$ ). Ils sont constitués d'argiles renfermant des graviers et cailloux et des argiles à blocs. En amont du site des sources et endroits humides sont perceptibles.



**Fig. IV-9** Glissement ancien

Un autre glissement de terrain s'est produit en janvier 2005, à la faveur de fortes pluies, sur la partie avale du versant d'Oued Kef Annser, au Nord de la ville de Bougaa. Ce glissement qui couvre une surface de l'ordre de 1,5ha, se caractérise par de nombreuses fissures du terrain et bourrelets que l'on peut suivre sur près de 250m de large.

Dans sa partie centrale (Nord) un escarpement principal de 1 à 1,50m de rejet et long de 150m. Quelques maisons qui ont été sérieusement affectées (Fig.IV-10). Cet escarpement se poursuit par une fissure longue de 100m.

L'exploration géologique des lieux a permis de conclure que le mouvement est causé par le dépôt d'un grand volume de déblais résultant des travaux de viabilisation et de terrassement des assiettes destinées à la construction.

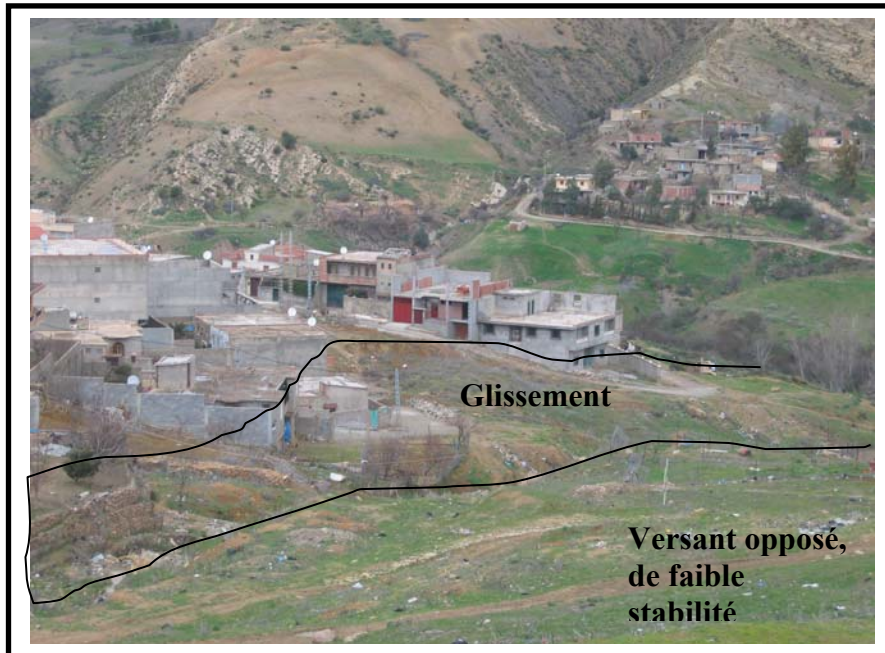


Photo 1. Extension du glissement du lotissement



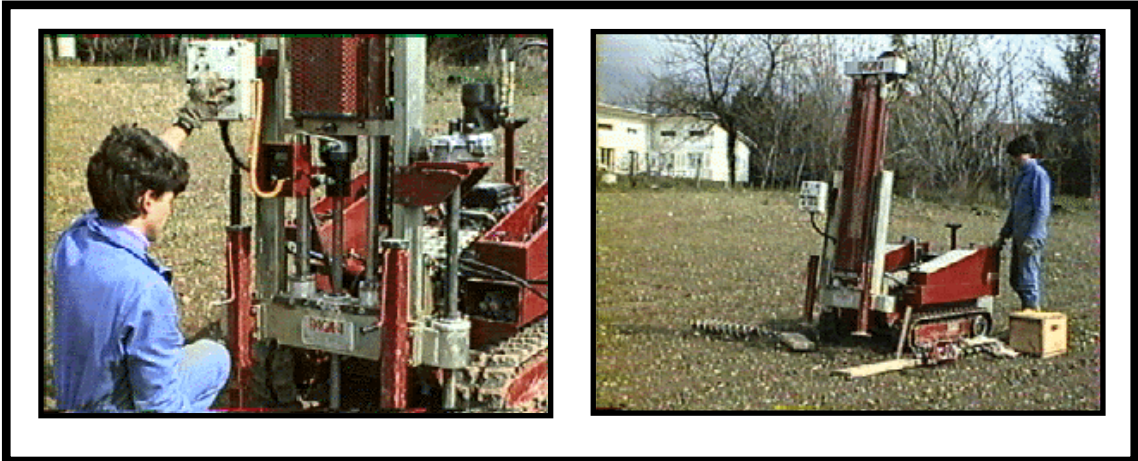
Photo 2. L'ensemble du versant est exposé au risque de glissement, par évolution de la zone instable aval

**Fig.IV-10 : Les instabilités de la cite Ouled Khelifi**

### IV-3 : Les essais in situ

#### Essais de pénétration statique

L'essai de pénétration statique consiste à enfoncer dans le sol, à vitesse constante, un train de tige dont la tête est maniée d'un cône qui sert à mesurer de manière continue la résistance de pénétration.



**Fig. IV-11 : Pénétromètre statique**

Ces essais, au nombre, de neuf, sont réalisés au mois d'Août. Les diagrammes de pénétration (Fig. IV-12) donnent deux courbes représentant les variations de la résistance ( $q_c$  en bar) et celle de l'effort latéral ( $f_s$  en bar), en fonction de la profondeur. Une classification des sols en fonction de la valeur de  $q_c$  est consignée dans le tableau IV-3.

Nature de terrain		Résistance de pointe $q_c$ en bar
Argile	A- argiles et limons mous	<30
	B- argiles et limons fermes	30 à 60
	C- argiles et limons fermes à dures	>60

*Tableau IV-3 : Critères de classification des sols*

• **Pénétrogramme statique N°1 : (Fig. IV-12.1)**

- 0,00 à 0,50m : la résistance à la pénétration est inférieure à 20 bars, ce qui correspond à un matériau lâche, il s'agit de la terre végétale.
- 0,50 à 2,30m : généralement la résistance à la pénétration est inférieure à 30 bars, caractérisant un matériau argileux mou. Vers la profondeur 1,80m la résistance à la pénétration diminue, devient inférieure à 20 bars ce qui est liée à la présence d'eau.
- 2,30 à 3,00m : la résistance à la pénétration est comprise entre 30 et 40 bars. Cette valeur caractérise un matériau argileux ferme.
- 3,30 à 5,20m : la résistance à la pénétration est élevée (>100 bars), caractérisant un matériau argileux dure. Les pics observés sont liés à la présence des graviers mélangés avec les argiles.

Le refus a été observé au niveau de l'argilite altérée.

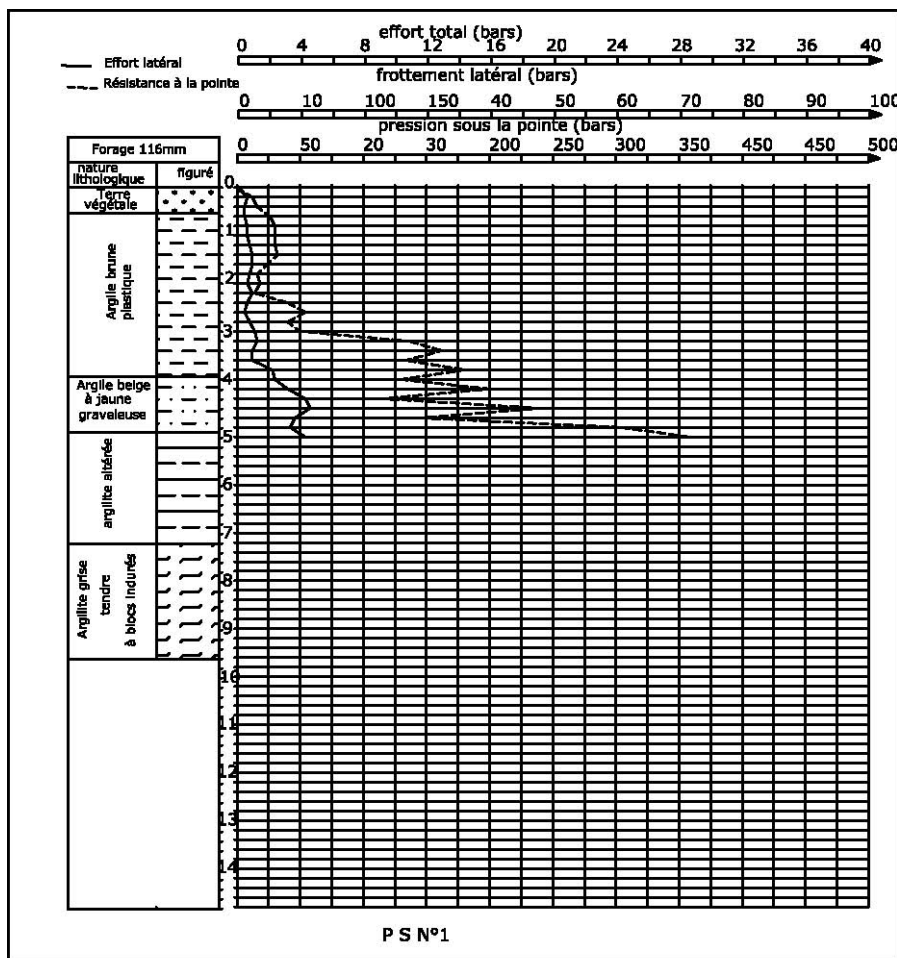


Fig.IV-12.1: Le pénétrogramme statique N°1

• **Pénétrogramme statique N°2 (Fig. IV-12.2)**

Le refus est observé superficiellement à 2,60m de profondeur au niveau des argiles marneuses à passage graveleuse. La résistance à la pénétration est de 45 bars, caractérisant un matériau ferme jusqu'à 2,00m de profondeur. Puis cette résistance augmente progressivement de 160 à 360 bars à la profondeur de 2,60m

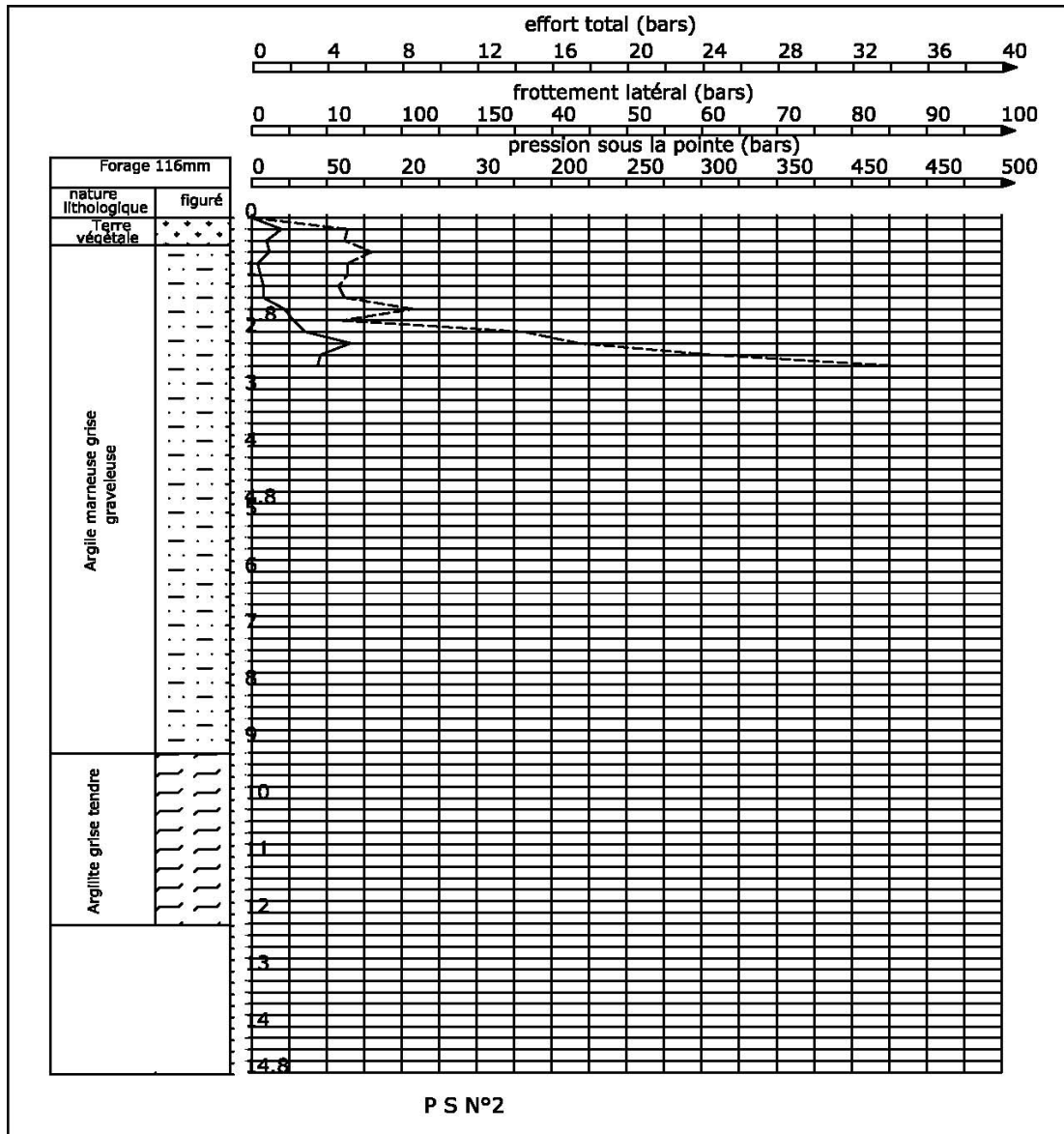


Fig.IV-12.2: Le pénétrogramme statique N°2



• **Pénétrogramme statique N°3(Fig. IV-12.3)**

Le refus est observé superficiellement à une profondeur de 1,20m. La résistance à la pénétration est faible (inférieur à 20 bars)

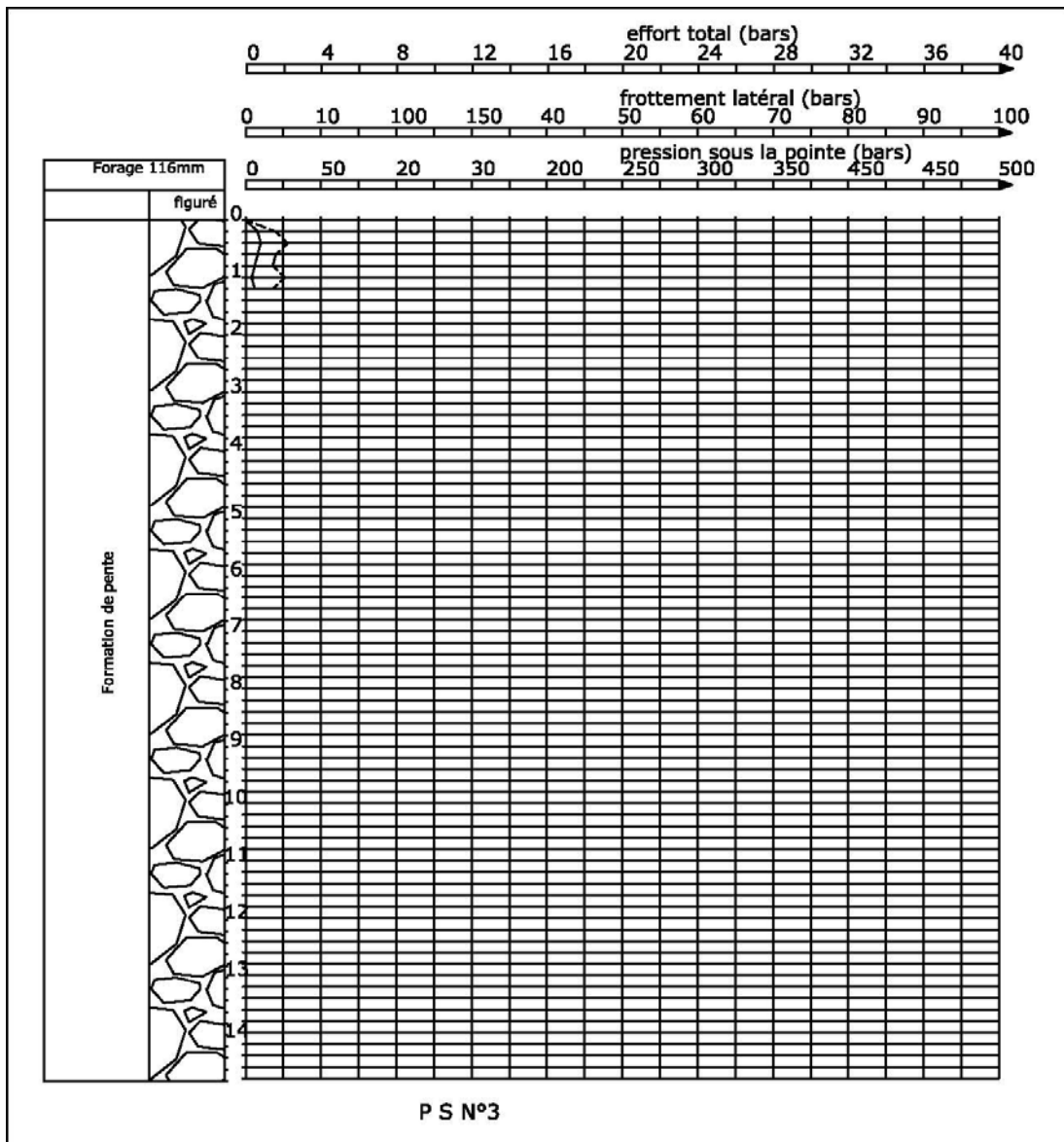


Fig.IV-12.3: Le pénétrogramme statique N°3

**Conclusion**

En générale, ces essais de pénétration permettent de distinguer que le sous sol de la ville de Bougaa peut être divisé du point de vue résistance à la pénétration en trois horizons:

- **Le premier horizon** : est caractérisé par des couches de portance moyenne à forte pour lesquelles la résistance dynamique en pointe est comprise entre 30 et 80 bars, sur une épaisseur variable, suivant les essais de 2 à 10m. Cet horizon correspond aux dépôts de basse pente fins argileux (colluvions).

- **Le deuxième horizon** : au dessus du premier, correspond à des argilites altérées dans lesquels la résistance en pointe croit avec la profondeur, suivant l'épaisseur de l'altération. La résistance de pointe mesurée varie entre 80 et 120 bars.

- **Le troisième horizon** : est celui de l'argilite saine plus ou moins indurée où l'on enregistre généralement un refus.

#### IV-4 : Détermination de la surface de rupture : au moyen de la sismique réfraction

Durant la réalisation de l'étude géotechnique de la ville de Bougaa, les services du laboratoire des travaux publics de l'Est (LTP Est) ont entrepris à une prospection par sismique réfraction. Un équipement léger composé : d'un sismographe monotrace, d'un géophone et d'un marteau sismique, est utilisé. Cette méthode de la sismique étudie les variations de la vitesse sismique du sous sol, variations qui sont en relation avec la dureté, le degré de consolidation et de saturation. Avec cette méthode, on peut distinguer la roche compacte de celle meuble et la roche compacte avec la roche altérée (Chapellier, 2002).

En totalité vingt neuf profils orientés Nord-Sud sont réalisés. L'exploitation des dromochroniques, ainsi obtenus, dans le rapport : étude géophysique de Bougaa, permet de dresser quelques coupes (Fig. IV.15) sur les quelles figurent la formation saine, le terrain en mouvement, sa nature et son épaisseur. Le tableau IV-7 récapitule les résultats obtenus.

Profil	N° sondage	Vitesse moyenne	Nature lithologique	Epaisseur de la formation déconsolidée
Profil N°1	SS29	300-400	Terre végétale	4,00m
		1500-1800	Argile très raide	
		3500	Bed rock : argile dure	
	SS28	150-200	Terre végétale	5,00m
		700	Argile décompactée, humide	
		1800-2500	Bed rock : argile dure	
	SS27	200	Terre végétale	1,80m
		1000	Argile raide	
		1700-2000	Argile très raide	
	SS25	200	Terre végétale	2,00m
		1160	Argile raide	
		2500	Bed rock : argile dure	
	SS23 SS22	200	Terre végétale	8,00m
		500	Argile décompactée humide	
		1000-1200	Argile raide	
2400-3000		Bed rock : argile dure		

Tableau IV-7 : Epaisseur de la formation déconsolidée au moyen de la sismique réfraction (LTP Est, 2001)

Les glissements de terrains de Bougaa

Profil	N° sondage	Vitesse moyenne	Nature lithologique	Epaisseur de la formation déconsolidée
Profil N°2	SS08 SS09 SS10	200	Terre végétale	8,00m
		600-700	Argile décompactée humide	
		1000-1200	Argile raide	
		2500	Bed rock : argile dure	
	SS06	300	Terre végétale	8,50m
		660-800	Argile décompactée humide	
		2000	Bed rock : argile dure	
	SS05	200	Terre végétale	12,00m
		700-800	Argile décompactée humide	
		2400	Bed rock : argile dure	
	SS04	200-300	Terre végétale	4,00m
		2000	Bed rock : argile dure	
	SS03	200-300	Terre végétale	2,40m
		1200-1300	Argile raide	
		2400	Bed rock : argile dure	
Profil N°3	SS20 SS19	200-300	Terre végétale	14,00m
		700-800	Argile décompactée humide	
		1160	Argile raide	
		2500	Bed rock : argile dure	
	SS18 SS16	200	Terre végétale	10,00m
		600-1000	Argile décompactée humide	
		2500	Bed rock : argile dure	
	SS15	200-300	Terre végétale	8,00m
		500-600	Argile décompactée	
		1300-1800	Argile raide à très raide	
	SS14	200-250	Terre végétale	-
		800	Argile décompactée humide	
	SS13	200-250	Terre végétale	10,00m
		600	remblai	
		1400-2000	Argile très raide	
	SS12	200	Terre végétale	7,00m
		400	remblai	
		800-1200	Argile mole à raide	
SS11	200-300	Terre végétale	3,00m	
	1285	Argile raide		
	2500-3000	Bed rock : argile dure		

Tableau IV-7 (suite): Epaisseur de la formation déconsolidée au moyen de la sismique réflexion (LTP Est, 2001)

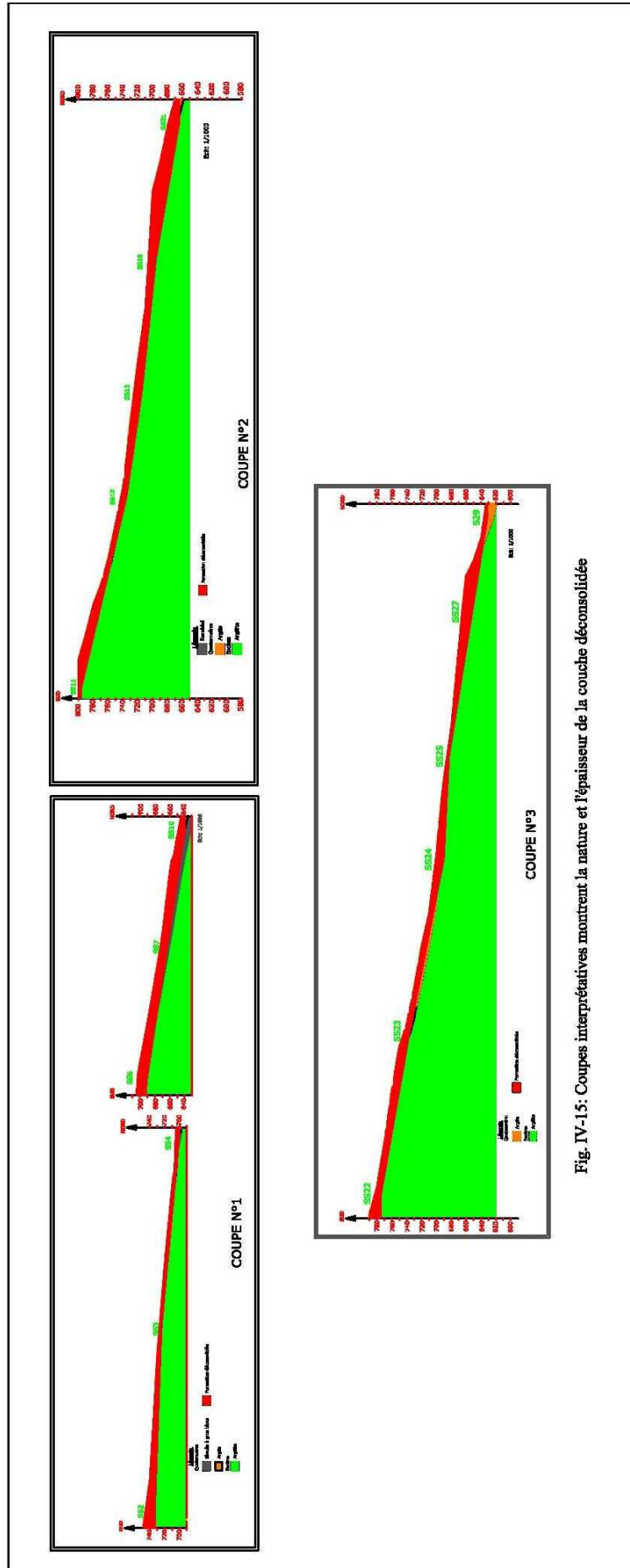


Fig. IV-15: Coupes interprétatives montrent la nature et l'épaisseur de la couche déconsolidée

#### **IV-5 : Aptitude des sols, carte de vulnérabilité**

La carte, figure IV-16, présente une classification des terrains en trois catégories en fonction de sa vulnérabilité à l'instabilité. Pour une représentation adéquate, elle tient compte des critères ci dessus :

- la localisation et la délimitation des zones actuellement instables ;
- les extensions des glissements anciens ;
- des zones humides, les sources et eau souterraine ;
- de la topographie ;
- de la nature du sol de couverture, son épaisseur et du sous-sol.

##### **- Zone I : zone stable**

Les zones favorables se limitent à quelques endroits de l'actuelle ville de Bougaa, à des zones où le substratum rocheux des calcaires éocènes affleure. Ces zones se situent au Nord-est du site. Ces zones sont colorées en vert sur la carte.

##### **- Zone II : zone à risque potentiel**

Cette zone comprend les terrains de pente moyenne à assez forte où l'épaisseur des colluvions atteint quelques mètres à plusieurs mètres mais ne s'observent pas de glissements de terrain et où la nappe ne semble pas trop proche de la surface. La surface de rupture dans cette zone est comprise entre 4,00 et 8,00m.

Les essais in situ montrent une moyenne résistance à la pénétration.

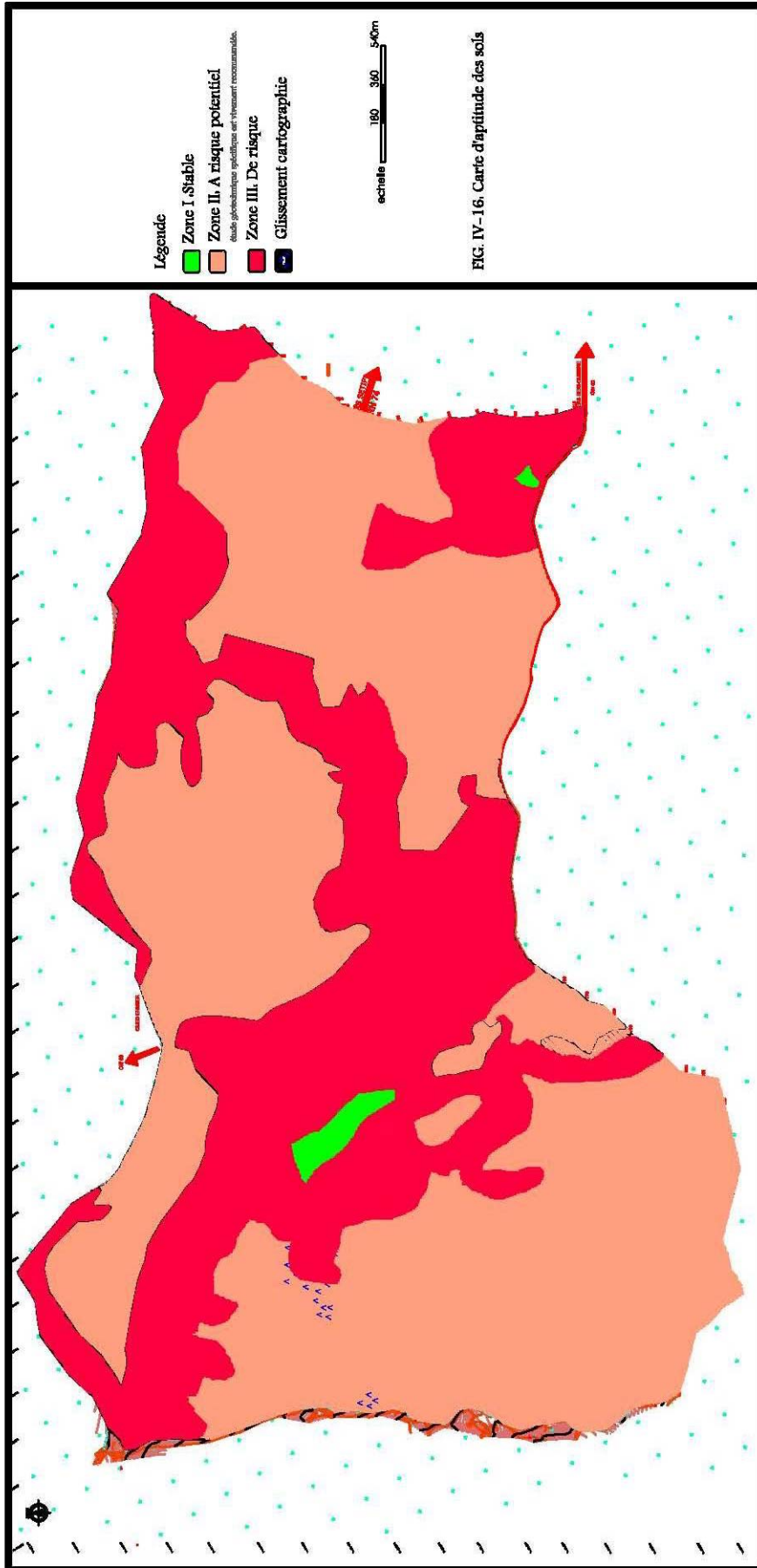
Les risques dans cette zone sont liés plutôt aux formations argileuses. La fluctuation des niveaux d'eau provoque de risque de gonflement, retrait des argiles et les tassements différentiels. Ces zones sont colorées en orange sur la carte.

##### **- Zone III : zone de risque**

Ces zones sont constituées de dépôts de pente fins (colluvions) ou d'éboulis de moyenne à forte épaisseur sur des pentes moyennes à fortes, parfois gorgées d'eau ou avec émergence de sources. Cette zone subit des glissements à des époques récentes, et dont les traces de mouvement sont encore visibles par endroits. Des phénomènes d'anciens glissements aujourd'hui stabilisés, accompagnés également d'émergence de sources sont classés dans cette zone de risque.

A ces zones s'ajoutent les sites humides et les zones de dépression large qui assure la circulation et le drainage des eaux de ruissellement. Cette unité couvre une partie des terrains où aucun accident ne s'est jusqu'à présent manifesté, mais une déstabilisation de ces terrains est possible si une action anthropique survenait dans les conditions actuelles : des travaux de terrassement ou de nouveaux équipements pourraient déclencher de nouveaux mouvements de terrain qui menaceraient les voies de circulation ou la stabilité d'autres zones.

Ces zones sont colorées en rouge sur la carte.



#### IV-6 : Corrélation entre les déplacements de terrains observés et les précipitations

L'eau constitue l'un des facteurs les plus importants dans la dynamique et l'évolution des mouvements de terrain quelque soit leur ampleur (Tullen, 2002). Les études d'instabilité sur différents sites sur les Alpes ont montré que : les vitesses de déplacement mesurées en surface sont fortement corrélées avec les périodes d'infiltrations. (Keefe et al. 1987 ; Noverraz et al. 1998 ; Guglielmi et al. 2000).

L'exploitation des résultats de la campagne de mesures et de suivi des inclinomètres installés sur le site de la ville de Bouгаа, dont la campagne a débuté le 26/03/2002 jusqu'au 08/08/2003 six mesures ont été réalisées :

- 1ère mesure le 26/03/2002
- 2ème mesure le 23/07/2002
- 3ème mesure le 30/10/2002
- 4ème mesure le 17/12/2002
- 5ème mesure le 10/03/2003
- 6ème mesure le 08/08/2003

Le tableau IV-7 suivant montre les résultats de suivi inclinomètre au niveau de chaque inclinomètre pendant la période du 26/03/2002 et 08/08/2003

N° DE SONDAGE	PROFONDEUR DE SONDAGE	PROFONDEUR EN LECTURE	SURFACE DE REPTURE	OBSERVATION
S1	9	8	-	-
S3	12,20	9,50	-	Pas de mouvement significatif
S5	20,00	19	-	Un léger balancement de tube dans le trou de sondage au sommet
S7	12,40	11	8,50	Un mouvement pendant la période du 17/12/2007 au 10/03/2008
S9	15,00	14,50	-	Un balancement de tube inclinométrique dans le trou de sondage dans les 5 mètres sommital due au mal fixation par le coulis

Tableau IV-7 : Interprétation des inclinomètres (LTP Est, 2001)

Les inclinomètres mis en place dans les trous de sondage ne montrent pas des mouvements significatifs d'un glissement de terrain. Seul l'inclinomètre placé au sondage S7 indique que la zone a subi une légère reptation de la couverture d'une épaisseur de 8.50m

#### **IV-7 : Conclusion**

Les glissements cartographiés au niveau du site de la ville de Bougaa, dont la surface de celle-ci est constituée par des formations argileuses à passage de graviers, reposant sur un substratum d'argilite. L'influence du substrat argileux est multiple : son imperméabilité réduit l'épaisseur de la tranche altérée et du sol, qui, de ce fait, sont très vite saturés. La dessiccation peut faire apparaître des fissures dans lesquelles l'eau de pluie pénètre jusqu'au substrat non altéré. Les blocs limités par des fissures gonflent et exerce une forte pression latérale, le versant se boursoufle, il finit par glisser en paquets. Les glissements observées dans ce type de matériau sont souvent lents, progressifs et superficiels (Flageollet, 1989).

Tous les points des glissements cartographiés sont superficiels et organisés autour d'une direction NW-SE globalement suivant la faille orientée selon la même direction.

L'exploitation des résultats des essais in situ ou des sondages sismiques ont bien montré que les sols déplacés sont constitués par la formation des argiles graveleuses ou d'argilite altérée. La plus part des sites de glissements sont marqués par la présence d'eau.

La surface de rupture est variable, sa profondeur varie en fonction de l'épaisseur des argiles et des argilites altérées.

Les causes de ces glissements sont la conjugaison des facteurs naturels :

- La morphologie du terrain constituant l'assiette de la ville de Bougaa ;
- La nature lithologique de la formation superficielle ;
- La sismicité et la position de la ville de Bougaa en frange de nappe de charriage, dont une réactivité sismique au Nord d'Algérie est observée depuis l'année 2000.
- Les conditions climatiques, des précipitations intenses et des chutes de neiges après une grande période de sécheresse.

A toutes ces causes naturelles, s'ajoute les interventions anthropiques non contrôlées par les travaux de terrassement malencontreux, le chargement du sol et surtout les rejets des eaux (Durant cette période de réalisation du rapport, il a été observé que les eaux des rejets coulent en permanence toute l'année ce qui réactive les mouvements de terrains.



# CHAPITRE V

## CONFORTEMENT DES GLISSEMENTS

## V-1 : Introduction

Les glissements de terrains ou tous types d'instabilités constituent un obstacle devant le développement de l'être humain et ces essais d'améliorer ses conditions de vie. Il est nécessaire donc de maîtriser les techniques de confortement en vue de stabiliser ces mouvements de terrains.

Les deux principales actions de défense portent sur l'eau et le couvert végétal, dont les résultats sont attendus respectivement à court et moyen terme (Flageollet, 1989).

## V-2 : Types de protection utilisée

### V-2.1 : Le drainage

L'eau, étant une cause principale d'instabilité pour les versants naturels et les talus créés artificiellement, à l'origine de glissement, de laves torrentielles, coulées et même des déformations de versants. Il s'agit d'en réduire la teneur en eau dans les matériaux en surface et en profondeur. Le tableau V-1 suivant, illustre le rôle de l'eau dans le mécanisme des mouvements de terrain.

Circonstances	Mode d'action	Matériau sensible	Modification de l'état initial	Effet sur l'équilibre des pentes et talus
Pluie et fonte de neige	Remplacement de l'air dans les vides	Sable humide	Pression de l'eau interstitielle (augmentation)	Coefficient de frottement (diminution)
	Déplacement de l'air dans les diaclases ouvertes	Roches fissurés certains schistes argileux		
	Tension superficielle et gonflement (augmentation)	Argiles dures fissurés certains schistes argileux	Gonflement	Cohésion (diminution)
	Altération chimique	Toute roche	Liaison inetrgranulaire (diminution)	

Tableau V-1 : Le rôle de l'eau dans le mécanisme des mouvements de terrain (Terzaghi, 1950 et Bombard, 1968)

Empêcher les infiltrations à partir de la surface peut se faire de diverses manières. Par captage des eaux et des émergences de nappe et leur évacuation à l'aide de canalisation ; la création d'un réseau de rigoles correspond souvent à une situation d'urgence.

### **V-2.1.1 Collecte et canalisation des eaux de surface**

L'objectif est de limiter les infiltrations dans la masse en mouvement. Les eaux peuvent provenir de zones de sources, d'un défaut d'étanchéité sur un réseau ou un bassin de stockage à l'amont ou plus simplement de l'impluvium et des eaux de ruissellement. En effet, les eaux de surface ont tendance à s'infiltrer dans les fissures, à stagner dans les zones de faible pente et aggravent ainsi une instabilité amorcée. Aussi les ouvrages de collecte des eaux (fossés, caniveaux, cunettes) et l'étanchéification des fissures de surface, bien que ne constituant pas des ouvrages de drainage proprement parler, sont-ils réalisés en première urgence dans de nombreux cas de glissements.

### **V-2.1.2 Tranchés drainants**

Les tranchés drainants sont des ouvrages couramment utilisés pour rabattre le niveau de la nappe. Elles sont implantées sur le site de façon à venir recouper les filets d'eau (lignes de courant dans un horizon homogène, couche aquifère, venues d'eau ponctuelles, etc.). Le choix de l'implantation (dans le sens de la plus grande pente ou dans un sens parallèle aux courbes de niveau, ou encore en épis), de la profondeur et de l'espacement des tranchées dépend des résultats de l'étude hydrogéologique et conditionne l'efficacité du drainage. Ces tranchées peuvent être réalisées de plusieurs façons : à la pelle mécanique, à la trancheuse et la haveuse de paroi.

### **V-2.1.3 Masques et éperons drainants**

Les masques drainants sont des ouvrages en matériaux granulaires grossiers mis en place en parement de talus, leur rôle est d'annuler la pression interstitielle dans la portion correspondante de terrain, mais leurs caractéristiques très frottantes apportent également un gain de stabilité. Les éperons drainants sont des sortes de masques discontinus, s'il est inutile ou difficile de réaliser un masque, on se contente de faire des saignées remplies de matériau drainant régulièrement espacées.

### **V-2.1.4 Drains verticaux**

Cette méthode consiste à réaliser des forages drainants verticaux équipés de pompes immergées. Elle est utilisée dans le cas de masse instable en glissement lent. On préconise ce système si la vitesse moyenne avant travaux est de l'ordre du centimètre par année, de façon à éviter un cisaillement prématuré des crépines. Si la vitesse est variable au cours de l'année, les travaux de forage doivent être effectués en période sèche, donc pendant les mouvements les plus lents. Les pompes seront opérationnelles dès la période habituelle de réactivation.

## **V-2.2 : Boisement et reforestation**

L'action stabilisatrice d'un couvert végétal, et notamment d'un forêt, sur un versant, préventivement ou en guise de remède, est un fait acquis chez les scientifiques et les techniciens.

La végétation influe, d'autre part, sur le bilan hydrique du versant. Une part considérable d'eau tombée ne parvient pas au sol sous forêt, par l'effet d'interception et de fortes évaporations et transpiration. En outre, le sol y est maintenu presque constamment à la même température et à la même humidité, ce qui lui épargne le jeu des dilatations et des contractions.

## **V-2.3 : Terrassement et ouvrages**

Parmi les travaux de terrassements, un simple remodelage superficiel de la topographie anarchique d'un glissement est parfois effectué, surtout pour des raisons esthétiques. Un reprofilage consiste à réduire la pente moyenne d'un talus par déblais de haut et remblai en bas. Mais cette technique est rarement utilisée pour un versant naturel, les volumes à déplacer étant trop considérables.

Les ouvrages de soutènement sont utilisés surtout en agglomération, contre des glissements d'ampleur modérée. Au bord des routes, ils sont de types variés, les techniques ayant évolués et progressés : mur en maçonnerie, en béton armé, gabions dont les grillages sont remplis d'enrochement ou de tout venant de carrière. Ils agissent par leurs poids. Les autres ouvrages sont encrés dans le terrain, jusqu'au rocher ou au terrain stable, ce sont des murs en béton armé, des rideaux de palplanches, ou des panneaux de béton armé retenus par des profils métalliques.

### **V-2.3.1 Terrassements**

Les conditions de stabilité étant directement liées à la pente du terrain, le terrassement reste le moyen d'action le plus naturel. On peut distinguer trois groupes de méthodes de stabilisation par terrassement: (Fig.V-1)

- Les actions sur l'équilibre des masses : allègement en tête, remblai en pied ;
- Les actions sur la géométrie de la pente : purge et reprofilage ;
- Les substitutions partielles ou totales de la masse instable.

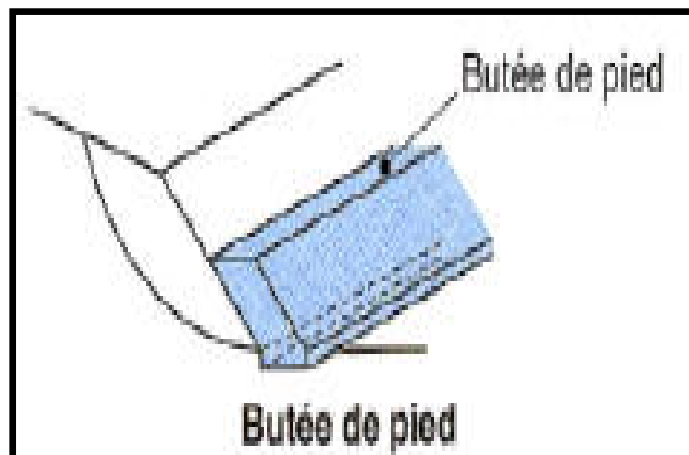


**Fig. V-1 : Travaux de terrassement**

**a) Remblai de pied**

Le chargement en pied d'un glissement est une technique souvent utilisée, généralement efficace (Fig.V-2). L'ouvrage, également appelé banquette, berme ou butée, agit par contrebalancement des forces motrices. Pour qu'il soit efficace, il faut réaliser un ancrage dans les formations sous-jacentes en place. Comme dans le cas d'un ouvrage de soutènement, le dimensionnement doit justifier de la stabilité au renversement, de la stabilité au glissement sur la base et de la stabilité au grand glissement. Mais en pratique, c'est la stabilité le long de la surface de rupture du glissement déclaré qui est dimensionnant. La stabilité au grand glissement suppose que :

- L'ouvrage limite les risques de reprise du glissement en amont ;
- L'ouvrage ne déclenche pas d'autres glissements, par exemple à l'aval.



**Fig. V-2 : Remblai de pied**

### b) Allègement en tête

L'allègement en tête de glissement consiste à venir terrasser dans la partie supérieure. Il en résulte une diminution du poids moteur et, par conséquent, une augmentation du coefficient de sécurité. La méthode de dimensionnement consiste en un calcul de stabilité le long de la surface de rupture déclarée en prenant en compte la modification de géométrie en tête. On peut également substituer le matériau terrassé par un matériau léger (polystyrène, matériau à structure alvéolaire, etc...).

### c) Reprofilage

Les conditions de stabilité d'un talus étant directement liées à sa pente, on peut assez simplement augmenter la sécurité par retalutage du terrain naturel. Dans ce sens, le procédé s'apparente à l'allègement en tête : il consiste en un adoucissement de la pente moyenne. Ce type de traitement est particulièrement bien adapté aux talus de déblais, et il est de pratique courante. Notons que l'exécution de risbermes a l'avantage d'améliorer la stabilité par rapport à une pente unique et de créer des voies d'accès pour l'entretien ou des travaux complémentaires. L'adoucissement de la pente est généralement mal adapté aux versants naturels instables car il met en jeu des volumes de sol très importants.

### d) Purge

Les techniques de terrassement (Fig. V-3) s'accompagnent fréquemment de purges du matériau déplacé par le glissement. Cette solution est généralement limitée aux glissements de taille modeste. On peut, dans certains cas, purger l'ensemble du matériau glissé, à condition que la surface mise à nu soit stable.

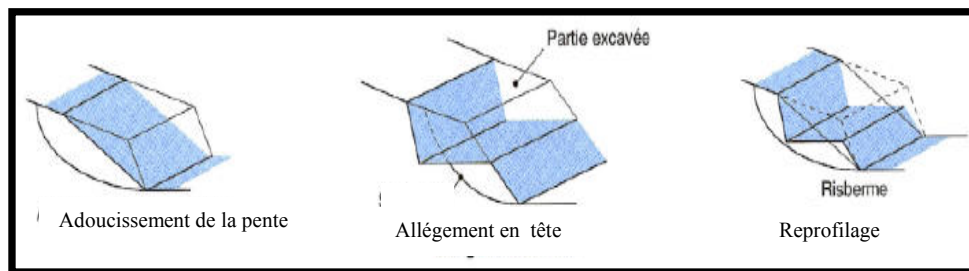


Fig. V-3 : Différentes techniques de terrassements

### e) Substitution totale ou partielle

La substitution totale consiste à venir purger l'ensemble des matériaux glissés ou susceptibles de glisser, et à les remplacer par un matériau de meilleure qualité. Cela permet de reconstituer le profil du talus initial.

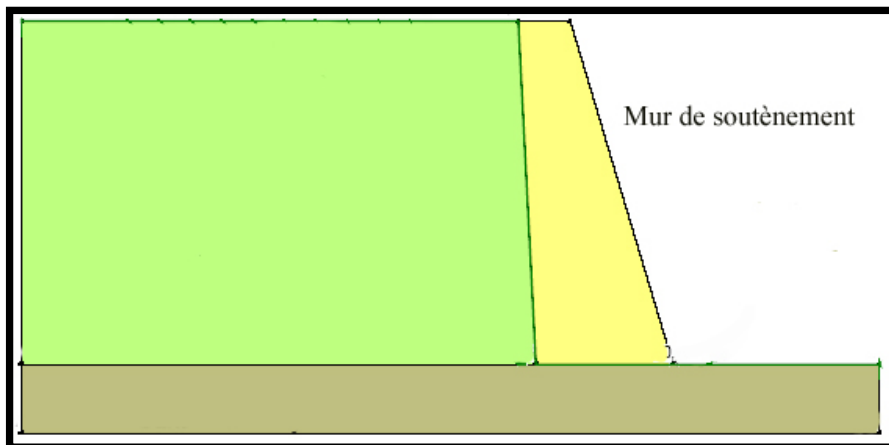
Il importe de vérifier la stabilité au cours des phases de travaux et celle du talus définitif dans lequel on prend en compte les caractéristiques du matériau de substitution et du matériau en place.

La substitution de matériaux glissés suppose que l'on connaisse le volume de matériaux concerné, que l'on excave plus profondément que la surface de rupture, et que l'on réalise des redans afin d'assurer un bon accrochage entre le substratum et le sol d'apport. La tenue des talus provisoires de la purge dépend des conditions de terrassement, de la météorologie, des hétérogénéités locales.

Des substitutions partielles sont souvent employées, sous forme de bèches ou de contreforts discontinus. Le coefficient de sécurité de la pente ainsi traitée peut être estimé en prenant la moyenne pondérée des coefficients de sécurité de la pente avec et sans substitution.

### V-2.3.2 Ouvrages de soutènement

Ces ouvrages fonctionnent comme des masses poids. On les dimensionne en vérifiant la sécurité vis-à-vis de deux mécanismes de rupture : la rupture interne (la méthode de calcul dépend du type d'ouvrage et de la modélisation de l'interaction sol structure) et de la rupture externe (Fig. V-4). L'ouvrage a une fonction locale, il protège une route par exemple, mais il suit le mouvement et sa déformabilité lui permet de le faire sans grand dommage.

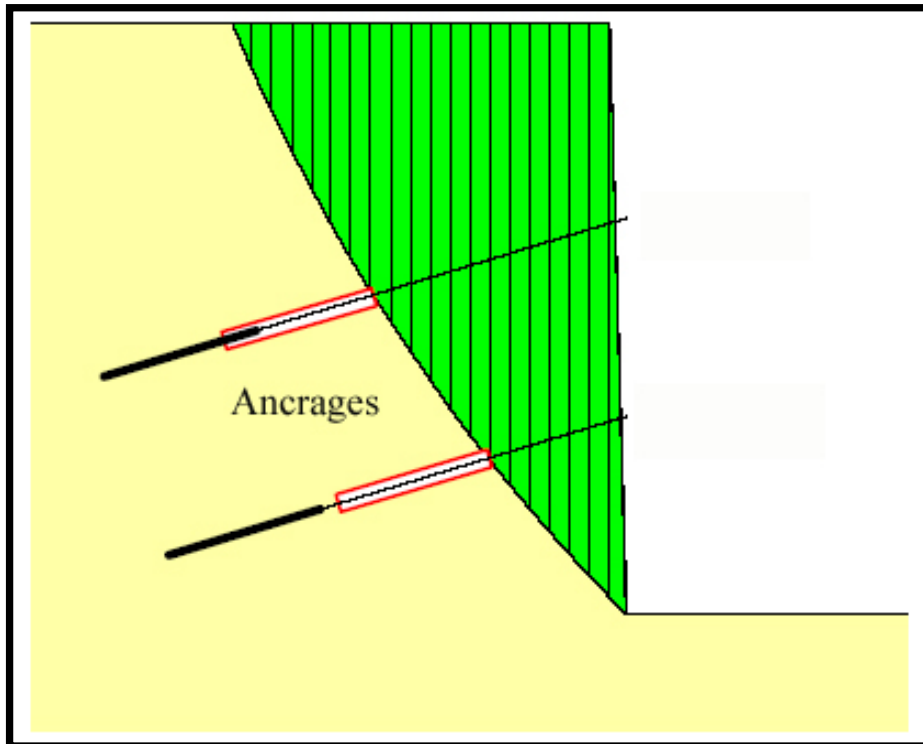


**Fig. V-4 : Mur de soutènement**

### Tirants d'ancrages

Le principe consiste à réduire les forces actives du glissement et à accroître les contraintes normales effectives sur la surface de rupture. Pour ce faire, on ancre des tirants constitués de câbles d'acier dans le terrain stable situé sous la surface de rupture, et on applique en tête un effort de traction (Fig. V-5). Cet effort peut être réparti sur la surface du terrain par l'intermédiaire de plaques ou de petits massifs en béton armé. Dans de nombreux cas, les tirants sont combinés à un mur ou à des longrines. L'utilisation de tirants précontraints suppose :

- Qu'on ait déterminé la force d'ancrage nécessaire par mètre linéaire de glissement pour assurer une valeur suffisante du coefficient de sécurité ;
- Qu'on justifie le choix et les caractéristiques des tirants.



**Fig. V-5 : Les tirants d'ancrages**

### **V-3 : Les confortements appliqués au site de la ville de Bougaa**

Les sites de glissements qui ont été cartographiés et décrits au-par-avant sont localisés dans le site de la ville de Bougaa, dont la surface est insistante pour appliquer une protection à toute la ville. Les propositions données ci après sont spécifiées à chaque site. Ces propositions ne sont pas encore réalisées sur le terrain.

#### **V-3.1 : Site cimetière, abattoir**

Le problème décrit pour cette zone c'était l'écoulement des eaux de ruissellement. Les remèdes proposés sont comme suit :

- La création d'un tranché en amont du site qui dirige les eaux vers le réseau d'assainissement ;
- La plantation des arbres est une autre mesure qui n'aura d'effet qu'à moyen terme.



### **V-3.2 : Site amont de l'hôpital**

Le problème majeur pour ce site est la présence d'eau en abondance sous les fondations de cet ouvrage. Il est nécessaire de :

- Mettre un tranché drainant principal qui longera la bordure amont de l'hôpital. Deux autres tranchés plus courts se grefferont sur ce tranché l'une pour recueillir les eaux provenant de la source, l'autre pour évacuer toutes les eaux vers le talweg d'Oued Kef Annser.
- Pose de gabion en bas du talus ;
- Protection du talus par la pose des plantations d'arbres.

### **V-3.3: Site C.E.M. Taklit**

Le confortement passe par une démolition partielle du mur de clôture et de construction d'un nouveau mur jouant le rôle de mur de soutènement aux masses de terre situées en amont.

### **V-3.4 : Site stade**

Le soutènement par un mur du talus affecté par le glissement est indispensable.

### **V-3.5 : Site souk el fellah**

Le drainage des eaux est nécessaire. Il est à souligner d'indiquer que l'échelle du levé disponible ne permet pas de mieux visualiser ces confortements proposés. D'une manière générale, le site de cette ville nécessite une vraie gestion des eaux, une bonne réalisation de projet avec soin et respect des conditions de construction dans les argiles.

### **V-4: Conclusion**

Parmi toutes les méthodes utilisées en confortements de glissements, le drainage est le meilleur moyen de contrôler ou de stabiliser des glissements de terrains.

Vue la complexité des mouvements de terrains au sein de la ville de Bougaa, il est impératif d'établir un plan strict pour la gestion des eaux et un traitement particulier des réseaux d'assainissement et de l'A.E.P. de cette agglomération. Aussi pour tous aménagements futurs il est nécessaire de prendre en considération les sols formés d'argiles dont la stabilité est médiocre.

# CONCLUSION GENERALE

## **VI : Conclusion générale**

La ville de Bougaa se situe au Nord-ouest de la wilaya de Sétif, en Algérie orientale. Il s'agit d'une zone montagneuse à relief jeune très vulnérable à l'érosion. C'est une zone appartenant au domaine des nappes telliennes. Ce domaine est connu par une structuration en nappes de charriage à vergence Sud. Les accidents tectoniques conjugués NW-SE dextre et NE-SW senestre sont les plus fréquentes. Ces dernières années une réactivité sismique est enregistrée dans la région. Une secousse sismique enregistrée à 5° à l'échelle de Mercalli. Cette secousse a provoqué des fractures en surfaces (CRAAG, 2004).

Du point de vue lithologique, les formations marneuses (typiques aux nappes péni telliennes) les plus abondantes. Au niveau de Bougaa le sous sol peut être classé en deux groupes : l'une formée par des formations quaternaires hétérogènes. Il s'agit des argiles beiges, brunes à jaunâtres, des éboulis anciens et des alluvions. L'autre groupe est constitué par la formation rocheuse des calcaires massifs d'âge Eocène et des argilites noires beiges et des argilites noires d'âge Eocène moyen à supérieur.

Le site de Bougaa est drainé par l'Oued Kef Annser à écoulement permanent, orienté NE-SW dans sa partie amont et NW-SE dans sa partie aval. Ce changement de direction est lié à un accident tectonique orienté NW-SE. Le sous bassin versant d'Oued Kef Annser est caractérisé par une surface de 29Km<sup>2</sup>, l'altitude moyenne est de 1058m. Le relief est assez fort dont le site de la ville montre une mosaïque de pente. La pente est en générale descendante du Sud vers le Nord.

En termes de climatologie, les données disponibles ont permis de caractériser un climat semi aride. Cette ville reçoit 550mm de précipitations annuelles, dont 480mm sont reprises par l'évapotranspiration. Le ruissellement y compris l'infiltration est de 70mm. En réalité, les observations du climat de ces dernières années permettent de dire qu'il s'agit d'un climat contrasté, où aucune caractérisation générale ne peut être mise en évidence. Du simple fait qu'une grande période de sécheresse est suivie d'une période de précipitations qui persistent durant plusieurs jours.

Les écoulements des eaux en sous sols sont corroborés par l'apparition des plusieurs sources en fonction de la pente. Cette apparition est en relation avec les précipitations. L'aquifère de ce site est très hétérogène plusieurs nappes perchées sont mises en évidence, dont une constitue une nappe d'inferoflux d'Oued Kef Annser. Le niveau d'eau est superficiel variant entre 2m à 5m de profondeur. L'exploitation des résultats des analyses chimiques a permis de déduire que les chlorures proviennent des rejets des eaux usées. Par contre les sulfates, le potassium et le sodium proviennent de la dissolution des sels naturels.

Toutes ces caractéristiques naturelles sus-citées définissent un ensemble d'agents purement naturels ayant provoqué des instabilités définies par les glissements de terrains. Ce phénomène consiste en une translation de certaine masse de matériau cohérent au niveau d'une surface de rupture.

Les travaux de terrassement malencontreux favorisent le déplacement des sols. Les eaux infiltrées provoquent le gonflement des argiles et en fonction de la pente ces matériaux glissent.

Les glissements cartographiés sur le site de Bougaa sont superficiels et se développent au niveau de la formation de pente ou d'argilite altérée. Ils sont organisés autour d'une direction orientée NW-SE coïncidant avec la faille de même orientation. Ces mouvements sont lents et corrélés positivement avec les précipitations.

Donc l'eau constitue l'un des facteurs le plus important dans la dynamique et l'évolution des glissements de terrains quelque soit leur ampleur. Plusieurs méthodes sont utilisées en vue de confortement : des ouvrages des terrassements, des soutènements ou le reboisement. Le drainage est une des actions le plus efficaces pour la lutte, le contrôle où la stabilisation des glissements.

Il est nécessaire de signaler que ce genre d'étude impose des interventions et des observations sur terrains par la pose des instruments de suivi et de contrôle tel que les piézomètres en vue de contrôler l'évolution des eaux souterraines et les inclinomètres dans le but de contrôler le mouvement et son évolution. Quelques soit le type d'intervention de confortement, il ne parait pas toujours efficace pour éradiquer ce phénomène. Parce que, tout simplement ce type d'instabilité nécessite en premier lieu une compréhension des mécanismes de création des instabilités, d'une connaissance approfondie de son évolution, pour finalement aboutir à l'étape de confortement. Il est donc nécessaire de revoir toutes les politiques soient de gestion de risques, de gestion des eaux et des règles de construction.

Il aussi nécessaire de recommander ce qui suit :

- l'installation d'un réseau de piézomètre et des inclinomètres au niveau des zones considérées comme étant à risque;
- l'installation d'une station hydrométrique au niveau de la ville de Bougaa ;
- L'information des gens civiles de l'importance des outils installés sur les terrains ;
- l'utilisation des essais in situ plus adéquats, tel que un tassomètre;
- Le respect de tout l'art et les règles de construction en milieu argileux;
- La pensée d'utiliser des outils de télédétection telle que les photos aériennes et l'image satellitaire. Ces outils permettent la surveillance de toute nouveau déclenchements d'instabilité et son évolution, par utilisation des images de plusieurs éditions;
- La recherche et le développement de l'hydrogéologie de montagne;
- L'utilisation des méthodes de géophysique tel que l'imagerie électriques ;
- L'exploitation des analyses en eaux en utilisant des indicateurs représentatifs sur l'écoulement et l'origine d'une eau telle que les isotopes et les éléments en traces.

# REFERENCES

## BIBLIOGRAPHIQUE

## Références bibliographiques

- **Antoine P. et Fabre D.** (1980).- La géologie appliquée au génie civil. Edit. Masson, Paris. 291p.
- **Athemna M.** (2006).- Etude des ressources thermales de l'ensemble allochtone Sud Sétifien. Mémoire de magister, université de Batna. 131p.
- **Azzou F.Z.** (2006). – Contribution à l'étude de la stabilité chimique de quelques argiles gonflantes de la région de tlemcen. Mémoire de magister. Université de Tlemcen. 267p.
- **Bahar R.** (2003).- sols et fondations. Edit GECOTEC, Alger, 261p.
- **Bertrand H. Philliponnant G.** (2002).- Fondations et ouvrages en terre. Troisième tirage. Edit. Eyrolles. France. 547 p.
- **Binet S.** (2006).- L'hydrogéochimie marqueur de l'évolution à long terme des versants montagneux fracturés vers de grands mouvements de terrain. Thèse, l'U. F. R. des sciences et techniques de l'université de Franche Comté, Italie. 190p.
- **Binet S. et Al** (2002). – L'apport des méthodes électriques à l'étude du comportement d'un pied de versant : interaction entre mouvement superficiel et profond.
- **Bombards J.P.** (1968).- Une approche des problèmes posés par l'étude des mouvements de terrain. Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, faculté des sciences, université de Grenoble. 264p.
- **Bonnard C.** (2004). - The meaning of risks assessment related to large landslides. In: C. Bonnerd (Editor), identification and migration of large landslide risks in Europe. Imiriland project, 289-300.
- **Campy M. et Macaire J.J.** (2003).- Géologie de la surface. Edit. Dunod, Paris (2<sup>ème</sup> édition). 440p.
- **Chapeau Ch. Durville J.L.** (1998).- L'eau et le risque de glissement de terrain. Centre d'étude technique de l'équipement de Lyon.
- **Chapellier D.** (2002).-Principe de base de la géophysique. Université de Lausanne. France. 34p.
- **Compagnon F. et Al.**- Approche chimique et isotopique de l'origine des eaux en transition dans un grand mouvement de terrain : exemple du glissement de la Clapière. (Alpes Maritimes) France.
- **CRAAG (2004).**- Banque de données sismologiques, historiques de la sismicité en Algérie

## Références bibliographiques

- **Cras A.** (2005).- Etude et modalisation de la dynamique de fonctionnement hydrologique des bassins versants torrentiels. Apport du traçage naturel. Thèse de Doctorat. Université d'Avignon. France. 143p.
- **Crozier M.J.** (1986).- Landslide : causes, consequences and environnement. Edit. Croom Helm, London.
- **Durand Delga** (1980).- La méditerranée occidentale étape de sa genèse et problèmes structuraux liés à celle-ci. In livre jubilaire de la société géologique de France 1930-1980.
- **E. Na. Géo.** (1986).- Etude géophysique de la ville de Bougaa.
- **Fakihim M.** (2004).- Confortement du glissement de terrain au niveau du PK255 de la RN6 liaison Fes Taza. 18p.
- **Flageollet J.C.** (1989). – Les mouvements de terrains et leur prévention. Edit. Masson. 224p.
- **Fruya B.P. Sassa K. et Fukuoka H.** (1999).- Mechanism of creep movement caused by landslide activity and underground erosion in crystalline schist. Shikaku Island, South-western Japan. Engineering Geology, 53: 311-325.
- **Gelard J.P.** (1969). – Géologie du Nord-est de la grande Kabylie (un segment interne de l'orogène littoral Nord Africain). Thèse sciences, Dijon. 326p.
- **Glangeaud L.** (1932). – Etude géologique de la région littorale de la province d'Alger. Thèse ès sciences, Paris. Bulletin service carte géologique d'Algérie, 2° série, n°8. 608p.
- **Guglielmi Y.** (2000).- Acquisition of water chemistry in a mobile fissured basement massif. Its role in the hydrogeological knowledg of the La Clapière Landslide (Mercantour massifs, southern Alps, France). Journal of hydrology. 229: 113-148.
- **Keefer D.K.** (1987). - Real time landslide warning during heavy rainfall. Science, 238:921-925.
- **Laboratoire des travaux publics de l'Est** (direction de Sétif) (2001).- Etude géotechnique de la ville de Bougaa.
- **Norveraz F. et al.** (1998).- Grands glissements de versants et climats, rapport, VDF hochschulverlag Agan der ETH, Zurich. 314p.
- **Norveraz F. et al.** (1984).- Cartographie des glissements de terrain. Méthode de lever objectif et fonction des cartes d'instabilités. Documents du B.R.G.M. 83, 217-223.

## Références bibliographiques

- **Obert D.** (1984). – Géologie des Babors (Algérie) ; importance de la paléo tectonique alpine dans l'orogénèse tellienne. Article, revue de géologie dynamique et de géographie physique. Vol. 25, fascicule 2, p- 19-117, Paris.
- **Ritchot G.** (1975).- Essais de géomorphologie structurale. Les presses de l'université Laval. Québec. 388p.
- **Saguenay Lac S.J.** (2005). – Cartographie des zones exposées aux glissements de terrain dans les dépôts meubles. Bibliothèque de Québec. Canada. 63p.
- **Sari Ahmed A.** (2002).- Initiation à l'hydrologie de surface. Edit. Houma, Alger. 233p.
- **Tullen P.** (2002). –Méthodes d'analyse du fonctionnement des versants instables. Thèse. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, France. 179p.
- **Terzaghi K.** (1950). - Mechanism of landslides. Geol. Soc. Of America Berkey volume 83, 123p.
- **Viers G.** (1971).- Elements de géomorphologie. Edit. Nathan, Paris. 208p.
- **Vila J. M.** (198). – La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. Thèse ès sciences, Paris VI, deux tomes, 665 p.
- **Wildi W.** (183). – La chaîne tello rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. Revue géologie dynamique et géographie physique, vol. 24, fascicule 3, pp. 201-297.
- **Wen B.P. et Al.** (2004).- Geochimical characteristics of the slip zones of a landslide

## Cartes

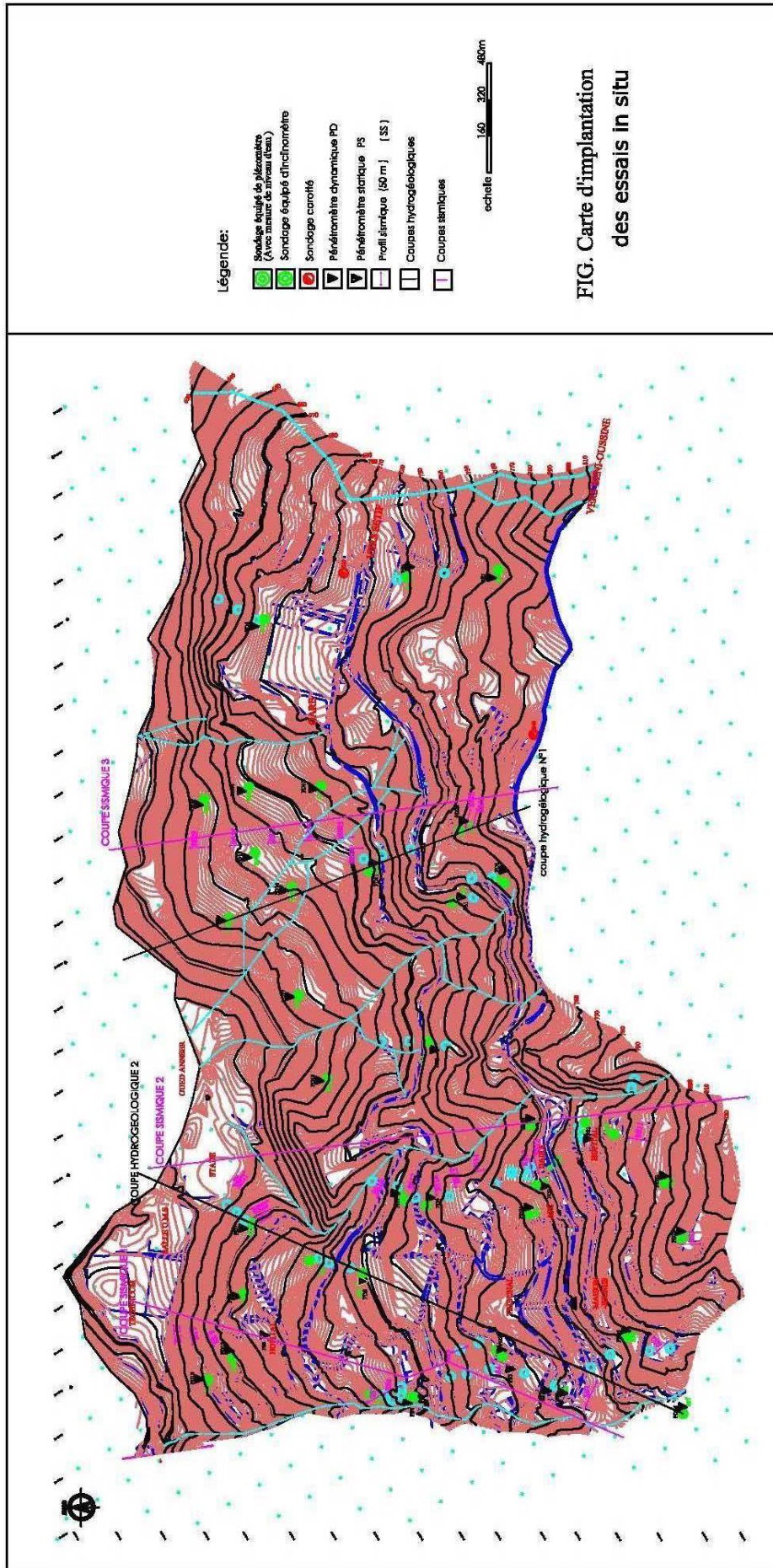
- Addenda (1990).- R.P.A 1990
- A.N. R. H. (1993). – carte pluviométrique de l'Algérie du Nord, au 1/50.000
- Vila J. M. (1976).- Carte géologique de Sétif au 1/200.000.
- Vila J.M. (1977).- Carte géologique de Bou Sellam au 1/50.000.
- Carte topographique de Bou Sellam au 1/50.000.
- Vila J.M. (1977).- Carte géologique d'Ain Roua au 1/50.000.
- Carte topographique d'Ain Roua au 1/50.000.



## Sites d'Internet

- [www.wiképidia.org](http://www.wiképidia.org)
- [www.terrasol.fr](http://www.terrasol.fr)
- [www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)
- [www.alpesgeoconseil.com](http://www.alpesgeoconseil.com)
- [www.univ-nantes.fr](http://www.univ-nantes.fr)
- [www.universalis.fr](http://www.universalis.fr)
- [www.lb.refer.org](http://www.lb.refer.org)
- [www.idrc.ca](http://www.idrc.ca)
- [www.crns.fr](http://www.crns.fr)
- [www.irma-granoble.com](http://www.irma-granoble.com)
- [www.alpes-inge.com](http://www.alpes-inge.com)

# ANNEXES



N°	X	Y	Z
S1	19400	51120	660
S2	19490	51050	660
S3	19550	51070	660
S4	20770	51350	683
S5	21100	51300	664
S6	20840	51100	708
S7	20000	51270	650

*Tableau : Coordonnées des sources Août \_ Septembre2007*

N°	X	Y	Z
S1	19960,00	51370	615,2
S2	19080,00	51260	680,5
S3	18860,00	51050	630,8
S4	19650,00	51060	655
S5	18850,00	50460	747
S6	20000,00	50860	720
S7	20030,00	51100	715
S8	19870,00	51200	650
S9	51300,00	19900	659
S10	29400,00	51000	750
S11	20750,00	50860	773
S12	21000,00	51400	673
S13	20470,00	51650	658
S14	20850,00	51470	673
S15	19130,00	51450	665
S16	19190,00	51250	680
S17	20800,00	51260	716
S18	19550,00	50300	810
S19	19470,00	50400	790
S20	21400,00	50910	766

*Tableau : Coordonnées des sources Décembre2007 \_ Janvier2008*

N°	X	Y	Z
S1	19960,00	51370	615,2
S2	19080,00	51260	680,5
S3	18860,00	51050	630,8
S4	19650,00	51060	655
S5	18850,00	50460	747
S6	20000,00	50860	720
S7	20030,00	51100	715
S8	19870,00	51200	650
S9	51300,00	19900	659
S10	29400,00	51000	750
S11	20750,00	50860	773
S12	21000,00	51400	673
S13	20470,00	51650	658
S14	20850,00	51470	673
S15	19130,00	51450	665
S16	19190,00	51250	680
S17	20800,00	51260	716
S18	19550,00	50300	810
S19	19470,00	50400	790
S20	21400,00	50910	766
S21	19120,47	51107	770
S22	19323,23	51031	775
S23	19176,98	51027	780

*Tableau : Coordonnées des sources Avril\_Mai 2008*

N°	X	Y	Z	h	H
P1	20340,00	50810,00	789,00	5,70	783,30
P2	20330,00	51050,00	721,00	4,30	716,70
P3	19550,00	50590,00	751,32	7,80	743,52
P4	19450,00	50700,00	739,71	2,60	737,11
P5	19400,00	50730,00	724,89	15,00	709,89
P6	18800,00	50630,00	727,30	8,90	718,40
P7	18760,00	51000,00	664,56	13,00	651,56
P8	20430,00	51250,00	771,24	1,80	769,44
P9	20600,00	51270,00	754,57	6,70	747,87
P10	20700,00	51570,00	627,00	3,50	623,50
P11	19230,00	51250,00	636,97	11,50	625,47
P12	20550,00	51530,00	684,00	3,00	681,00
P13	20900,00	51350,00	670,00	3,90	666,10
P14	19120,00	51400,00	617,17	4,50	612,67
P15	20050,00	51440,00	654,98	4,80	650,18
P16	20070,00	51330,00	550,35	11,00	539,35
P17	19830,00	51300,00	625,64	9,50	616,14
P18	19620,00	51250,00	628,31	5,00	623,31
P19	19560,00	50750,00	732,24	6,20	726,04
P20	19360,00	50400,00	788,76	5,70	783,06
P21	19240,00	50350,00	809,65	13,10	796,55
P22	19550,00	50520,00	762,89	11,00	751,89
P23	19600,00	50470,00	744,57	10,35	734,22
P24	18800,00	50330,00	743,42	4,20	739,22
P25	18750,00	51100,00	710,45	12,20	698,25
P26	28000,00	51250,00	692,62	13,10	679,52
P27	20700,00	51400,00	693,91	6,50	687,41
P28	20890,00	51130,00	741,97	4,00	737,97
P29	20900,00	50940,00	725,49	4,20	721,29

*Tableau : Coordonnées des puits et niveau piézométrique  
Décembre2007\_Janvier2008*

N°	X	Y	Z	h	H
P1	20340,00	50810,00	789,00	5,70	783,30
P2	20330,00	51050,00	721,00	4,30	716,70
P3	19550,00	50590,00	751,32	7,80	743,52
P4	19450,00	50700,00	739,71	2,60	737,11
P5	19400,00	50730,00	724,89	15,00	709,89
P6	18800,00	50630,00	727,30	8,90	718,40
P7	18760,00	51000,00	664,56	13,00	651,56
P8	20430,00	51250,00	771,24	1,80	769,44
P9	20600,00	51270,00	754,57	6,70	747,87
P10	20700,00	51570,00	627,00	2,00	625,00
P11	19230,00	51250,00	636,97	11,50	625,47
P12	20550,00	51530,00	684,00	1,00	683,00
P13	20900,00	51350,00	670,00	1,90	668,10
P14	19120,00	51400,00	617,17	4,50	612,67
P15	20050,00	51440,00	654,98	5,30	649,68
P16	20070,00	51330,00	550,35	9,00	541,35
P17	19830,00	51300,00	625,64	8,00	617,64
P18	19620,00	51250,00	628,31	3,00	625,31
P19	19560,00	50750,00	732,24	6,20	726,04
P20	19360,00	50400,00	788,76	5,70	783,06
P21	19240,00	50350,00	809,65	13,10	796,55
P22	19550,00	50520,00	762,89	11,00	751,89
P23	19600,00	50470,00	744,57	10,35	734,22
P24	18800,00	50330,00	743,42	4,20	739,22
P25	18750,00	51100,00	710,45	12,20	698,25
P26	28000,00	51250,00	692,62	12,00	680,62
P27	20700,00	51400,00	693,91	8,70	685,21
P28	20890,00	51130,00	741,97	4,00	737,97
P29	20900,00	50940,00	725,49	4,20	721,29

*Tableau : Coordonnées des puits et niveau piézométrique Avril\_Mai2008*

Puits N°	paramètres physiques			paramètres chimiques								DHT (°F)
				Cations				Anions				
	T (°C)	pH mes.	Cond. (µmoh)	Unité	Ca++	Mg++	Na+	K+	HCO3--	SO4--	Cl-	
P10	18,00	7,20	2301,20	mg/l	202,80	91,44	136,50	8,00	597,80	436,80	177,50	88,80
				mé/l	10,14	7,62	5,93	0,21	9,80	9,10	5,00	
P08	18,00	7,10	1631,76	mg/l	186,77	79,56	284,11	14,00	463,60	939,84	53,25	79,84
				mé/l	9,34	6,63	12,35	0,36	7,60	19,58	1,50	
P01	18,00	6,85	1600,38	mg/l	218,45	54,96	6,23	13,00	390,40	324,96	104,25	77,51
				mé/l	10,92	4,58	0,27	0,33	6,40	6,77	2,94	
P28	18,00	7,13	1704,98	mg/l	200,27	47,28	1,77	4,00	356,24	206,07	142,00	69,77
				mé/l	10,01	3,94	0,08	0,10	5,84	4,29	4,00	
P13	18,20	7,74	1645,94	mg/l	99,51	42,92	5,49	15,00	122,00	175,20	125,15	42,76
				mé/l	4,98	3,58	0,24	0,38	2,00	3,65	3,53	
P14	18,10	6,96	1305,00	mg/l	103,90	62,28	37,64	14,00	317,02	200,81	106,50	51,93
				mé/l	5,20	5,19	1,64	0,36	5,20	4,18	3,00	
P15	18,20	7,44	1919,12	mg/l	232,46	6,00	25,54	10,00	319,64	180,00	159,75	60,62
				mé/l	11,62	0,5	1,11	0,26	5,24	3,75	4,50	
P04	18,10	7,36	1288,36	mg/l	128,25	66,60	103,27	12,00	313,54	389,76	124,25	59,81
				mé/l	6,41	5,55	4,49	0,31	5,14	8,12	3,50	
P24	18,20	7,12	1840,00	mg/l	223,64	114,40	103,27	13,00	341,60	849,60	220,10	103,58
				mé/l	11,18	9,53	8,45	0,33	5,60	17,70	6,20	
P20	18,30	7,39	1240,00	mg/l	122,64	46,44	31,13	15,00	302,56	147,84	131,35	50,01
				mé/l	6,13	3,87	1,35	0,38	4,96	3,08	3,70	

Tableau : Résultats des analyses chimiques, Septembre 2007



Puits N°	paramètres physiques			paramètres chimiques							DHT (°F)
				Cations				Anions			
	T (°C)	pH mes.	Cond. (µmoh)	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	
P10	22,00	7,84	410,00	52,10	18,18	96,70	4,00	186,66	20,00	175,73	20,60
				2,61	1,515	4,20	0,10	3,06	0,42	4,95	
P08	22,00	7,35	1110,00	106,61	45,95	149,87	5,00	463,60	197,00	145,55	45,80
				5,33	3,83	6,52	0,13	7,60	4,10	4,10	
P01	22,50	7,09	3340,00	152,30	14,70	9455,55	14,00	625,86	19500,00	134,90	44,20
				7,62	1,225	411,11	0,36	10,26	406,25	3,80	
P28	23,00	7,38	1740,00	145,89	100,63	112,91	5,00	462,38	429,00	149,10	78,40
				7,29	8,39	4,91	0,13	7,58	8,94	4,20	
P13	22,30	7,25	2800,00	104,21	239,88	5934,30	18,00	597,80	12930,00	159,75	126,00
				5,21	19,99	258,01	0,46	9,80	269,38	4,50	
P14	22,20	7,70	630,00	78,56	26,31	96,76	6,00	292,80	37,50	173,95	30,60
				3,93	2,1925	4,21	0,15	4,80	0,78	4,90	
P15	22,00	7,87	420,00	56,91	15,29	143,97	5,00	202,52	33,00	230,75	20,60
				2,85	1,27	6,26	0,13	3,32	0,69	6,50	
P04	22,40	7,92	1720,00	71,34	39,27	39,22	7,00	178,12	197,00	60,35	34,20
				3,57	3,2725	1,71	0,18	2,92	4,10	1,70	
P24	22,30	7,80	1420,00	181,16	44,42	39,22	8,00	347,12	417,00	99,40	63,80
				9,06	3,70	4,21	0,21	5,69	8,69	2,80	
P20	22,40	7,89	410,00	48,10	18,66	100,42	9,00	185,44	20,00	181,05	19,80
				2,41	1,555	4,37	0,23	3,04	0,42	5,10	

Tableau : Résultats des analyses chimiques, Mai 2008

## Résumé

Le site de Bougaa se situe au Nord est d'Algérie, c'est une zone montagneuse caractérisée par des nappes de charriages à vergence Sud. La structure tectonisée, dont les deux accidents conjugués NW- SE dextre et NE-SW senestre sont les plus marquées. Le climat contrasté, la nature lithologique et la réactivité sismique en sont les causes purement naturelles ayant provoqué les instabilités au niveau de cette ville.

L'eau constitue un agent déclencheur des instabilités. La présence d'eau est témoinnée par les résurgences affleurantes en bas de pentes. Les eaux souterraines sont définies par la nappe d'inferoflux d'oued Kef Annser, dont la profondeur d'eau ne dépasse pas 5m est. Les sulfates, le potassium et le sodium proviennent de la dissolution des sels naturels. Par contre les chlorures ont les rejets domestiques comme origine.

Les travaux de terrassement malencontreux constituent un autre agent déclencheur de glissement.

Ces glissements sont superficiel observés au niveau de la couche superficielle des formations de pentes ou de l'argilite altérée. Ils sont corrélés avec les périodes de précipitations. Les points de glissements cartographiés s'organisent autour d'une direction orientée NW SE le long d'une faille.

La lutte contre l'eau est une des actions les plus efficaces pour prévenir, ralentir ou stabiliser un glissement de terrains (Chapeau, 1998). Le drainage est donc, la meilleure solution pour la stabilisation des glissements.