

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

Cartographie de la vulnérabilité /sensibilité à la pollution des eaux de la nappe alluviale du haut Sébaou (w. Tizi Ouzou) .

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 1-0011-09

APA Citation (توثيق APA):

Saket, Zahia (2009). Cartographie de la vulnérabilité /sensibilité à la pollution des eaux de la nappe alluviale du haut Sébaou (w. Tizi Ouzou) [Mem Ing, ENSH].

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics.

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بتقييم الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات، مقالات دوريات، كتب....) و بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة و يتم إدارته من طرف مديرة المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.

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

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE L'HYDRAULIQUE
«ARBAOUI Abdellah »

DEPARTEMENT SPECIALITES

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN HYDRAULIQUE.

Spécialité : Conception Des Systèmes d'alimentation en eau potable

THEME :

**Cartographie de la vulnérabilité /sensibilité a la
pollution des eaux de la nappe alluviale du Haut
Sébaou
Wilaya de Tizi Ouzou**

Présenté par :
Melle : SAKET ZAHIA

Promoteur :
M^{me} D.DJODAR

Devant le jury composé de :

Présidente : M:Khetal

**Examineurs : M^r Rassoul
M^r Kahlarass
M^{me} Foudil Cherif
M^r Belhafid**

Juin 2009

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

♣ *A la mémoire de mon cher père*

♣ *A ma très chère mère qui ma prodigue amour et affection*

♣ *A mes très chères sœurs Nadia et Reziqa*

♣ *A mes cher frères Mohamed, Mourad et Hamid*

♣ *A mon cher fiancé Ismail qui à toujours cru en moi, mon beau père Dahman ,ma belle mère Aldjia ,mes belles sœurs et beau frères*

♣ *A ma très chère copine Yasmine*

♣ *Tous ceux qui me sont chères*

♣ *A toute ma famille, en particulier ma tante Hada*

♣ *A tous mes amis (es)*

Remerciement

Au terme de ce modeste travail il ma y agréable d'exprimer toute ma reconnaissance aux personnes qui m'ont aidé dans sa réalisation par leur enseignement, leur soutien permanent, leurs conseils et encouragement, en particulier ma famille .

Je remercie madame Djoudar pour avoir bien voulu m'encadrer ainsi que pour ces précieux conseils son orientation et son aide.

Mes remerciements vont également :

Le service étude de ANRH pour collaboration : Mr Belaidi ,Mr Raissi ,en particulier :

Mr M. Bouadjla, ingénieur d'état en hydrogéologie (ANRH de Tizi Ouzou) qui ma accueillit dans sans bureau, malgré ses nombreuses occupations.

A la fin tous ceux qui ont contribué de près et de loin à la réalisation de ce modeste travail sans oublier toute la promotion 2008/2009

ملخص

من لحظة اكتشاف الخطر الذي يهدد الطبيعة نتيجة للتلوث أصبحت حماية الموارد المائية و خصوصا اتجوفية منها من الاولويات التي تقع على عاتق المسيرين ليجسدوها في السياسة المحلية للتسيير التخطيط. إن تحديد الخصائص الداخلية الملوثة للمياه الجوفية أصبحت وسيلة متعارف عليها . معرضة للتطور في يد الهيدروجيولوجيين لقد قمنا بدراسة على طبقة المياه الجوفية في واد سيباوو و ستكون وسيلة مساعدة للمسيرين في الموارد المائية و التهوية العمرانية و لكي يتحقق ذلك لجانا إل محورين هامين اولهما هي طريقة DRASTIC و الثانية DRASTIC محسنة ينصبان كلاهما في تحديد درجة التلوث من جهة و تأثيرهما على حساسية الطبقة الجوفية .

هاتان الطريقتين مطبقتين على طبقة المياه الجوفية لواد سيباوو في الجزائر الذي يمتد على مساحة حوالي 1432 كم مربع التي تمثل عنصر هام في التطور الاجتماعي الاقتصادي للمنطقة سواء في إمداد المنطقة بالمياه الصالحة للشرب أو المستعملة في الزراعة أو الصناعة. تمثل المياه الصطحية المصدر الاساسي لتجديد هذه الطبقة بما فيها كل المؤثرات الملوثة لهذه المياه . المقارنة بين هاتين الطريقتين المذكورتين سالفًا تبين ان الاولى تنتج ثلاثة وحدات هيدروجيولوجية (متوسطة قوية و قوية اكثر) اما الطريقة الثانية فتنتج وحدة هيدروجيولوجية وحيدة ذات حساسية اكثر قوة و هادا ما يجعل تطبيق هذه الطريقة يبين درجة عالية من التلوث.

Résumé :

A l'heure où l'on découvre les vertus de l'environnement, la protection de la ressource en eau, et plus précisément de celle souterraine, apparaît être un objectif majeur que doivent intégrer les gestionnaires du territoire dans les politiques locales de gestion et planification

La caractérisation de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines est un excellent outil de plus en plus développé et connu par les chercheurs en hydrogéologie. Nous avons menée une étude sur la nappe alluviale du Sébaou qui a permis de fournir un outil d'aide à la prise de décision par les gestionnaires des ressources en eau et de l'aménagement du territoire. Pour ce faire, nous avons utilisé deux méthodes d'approche de la vulnérabilité, la première est la méthode DRASTIC, la deuxième, une amélioration de DRASTIC, elle consiste à caractériser la vulnérabilité / sensibilité.

Ces deux méthodes ont été appliquées à la nappe alluviale du Sébaou en Algérie, qui s'étend sur une superficie d'environ de 1432 Km², circulant dans des dépôts alluvionnaires d'âge quaternaire constituant le remplissage d'un synclinal à cœur miocène. Cette nappe joue un rôle capital dans le développement socio-économique de la région d'étude que ce soit pour l'alimentation en eau potable, agricole ou industrielle. La nappe du haut Sébaou est libre et alimentée principalement par les eaux superficielles et par les affluents principaux donc sujette à tous types de pollution.

La comparaison des cartes obtenues, par les deux méthodes, montre que la première fait ressortir trois unités hydrogéologiques à moyenne, forte et très forte vulnérabilité ; alors que la deuxième a tendance à surestimer la vulnérabilité du

moment qu'on a obtenu une carte avec une seule unité hydrogéologique à très forte vulnérabilité.

Abstract:

At a time when we discover the virtues of the environment, protection of water resources and more specifically the underground appears to be a major objective that managers must incorporate the territory in local policy management and planning.

The characterization of the intrinsic vulnerability of groundwater is an excellent tool; more and more developed and experienced by researchers in hydrogeology. We conducted a study on the alluvial aquifer of Sebaou which provided a tool to help managers of water resources and land use in their decision making. To do this, we used two approaches, the first is the DRASTIC method, the second, DRASTIC improvement, it is to characterize the vulnerability / sensitivity.

Both methods were applied to the alluvial aquifer of Sebaou in Algeria, which covers an area of approximately 1432 km², flowing through alluvial deposits of Quaternary age . This water plays a role in the socio-economic development of the region, whether the supply with drinking water, agricultural or industrial. The water of high Sebaou driven mainly by surface water and the main tributaries therefore subject to all types of pollution.

The comparison of maps obtained by the two methods shows that the first highlights three hydrogeologic units at medium, high and very high vulnerability, while the second tends to overestimate the vulnerability since we got only one map with only one hydrogeologic unit with very high vulnerability.

SOMMAIRE

Introduction général

Première partie

Chapitre I : pollution des eaux souterraines et superficielle

1- introduction	3
2- critère de pollution d'une eau.....	3
3- pollution directe ou indirecte.....	3
4- nature de la pollution	3
5- caractérisation de la pollution	3
6- classification des polluants.....	4
6-1- en fonction de l'origine de la pollution	4
6-2- en fonction de la répartition géographique.....	4
6-3-en fonction de la répartition dans le temps	4
6-4-en fonction de la nature des polluants	4
6-5-en fonction de nombre de polluants.....	4
6-6-en fonction de comportement de polluant dans l'eau.....	4
7- paramètre spécifique de pollution	5
8- type de polluants	5

Chapitre II : mécanisme de transport et d'atténuation de polluant en milieu souterrain

1-mécanisme de transport	6
1-1-classification des polluants par leur propriété de transport.....	6
1-2-mécanisme de transport et d'accumulation.....	6
2- mécanisme d'atténuation.....	9
2-1- le processus physique	9
2-2- le processus chimique et biochimique	11

Chapitre III : méthode d'évaluation de la vulnérabilité

1- Introduction	12
2- notion de vulnérabilité.....	12
3-différentes méthode d'estimation de vulnérabilité.....	13
3-1- méthodes orientées sur les systèmes de cotation numérique	13
3-2-méthodes orientées sur des documents cartographiques.....	14
3-3- méthodes générales ou mixtes.....	15
4-Conclusion.....	15

Chapitre IV : aspect théorique et pratique de la méthode DRASTIC

1- Introduction	16
2- définition de la méthode DRASTIC.....	16
3- description et aspect théorique et pratique de la méthode DRASTIC.....	16
4- calcul de l'indice DRASTIC	17
5- Interprétation de l'indice DRASTIC	18
6- description du paramètre de la méthode DRASTIC	18
6-1-Les critères de la méthode DRASTIC.....	18
6-2-profondeur de la nappe.....	19
6-3- recharge nette	19
6-4-matériaux de l'aquifère.....	19
6-5- matériaux du sol.....	20
6-6-topographie	21
6-7-impacte de la zone non sature.....	21
7- indice et classe de vulnérabilité.....	21

Deuxième partie

Chapitre I : la situation géographique

1-cadre géographique de la région d'étude.....	23
2-développement socio-économique de la région d'étude.....	23
2-1 potentielle humain	23
2-2 potentielle agricole.....	23
2-3potetille industrielle	26
2-4 activités extractives	26
2-5 les influence hydraulique.....	26

Chapitre II : étude géomorphologique

1- Introduction	27
2- les grands ensembles morphologiques	27
2-1 la chaine de Djurdjura.....	27
2-2 le socle kabyle	27
2-3 le synclinale de tizi ouzou.....	27
3- lithologie	29
4-le couvert végétale.....	29
5- le réseau hydrographique	29
6- les paramètres physiques et géomorphologiques du bassin versant de sébaou.....	30
6-1 paramètres géométriques	31
6-2 les paramètres de relief	31
6-3 les paramètres de forme	33
7- Conclusion	35

Chapitre III : étude hydrologique

1- Introduction	35
2-analyse des paramètres climatiques.....	37
2-1 les précipitations.....	37
2-2 températures.....	41
2-3 régime climatique	42
2-4 étude de l'évapotranspiration.....	44
3- hydrologie de surface.....	48
3-1 station et données hydrométrique.....	48
3-2 estimations des sources en eau de surface.....	48
3-3 régime des apports.....	48
3-4 déterminations de la lame ruisselée.....	51
3-5 le bilan hydrologique	54
4-Conclusion	54

Chapitre IV : synthèse géologique

1-Introduction	55
2- cadre géologique régional	55
2-1 les zones internes	55
2-2 le domaine de flysch	56
2-3 les zones externes.....	56
3- géologie de la région d'étude.....	56
3-1 litho stratigraphique.....	57
4- structure tectonique et évolution paléogéographique	64
4-1 crétacé inférieur –éocène supérieur.....	64
4-2 éocènes supérieurs Burdigalein terminal	64
4-3 structures du Miocène post nappe	66
5- Conclusion	68

Chapitre V : hydrogéologie

1-Introduction.....	69
2- principaux aquifère de sébaou.....	69
3- caractéristique hydrochimique des aquifère.....	69
3-1 étude piézométrique.....	69
3-2 hydrochimies.....	77

Troisième partie

Chapitre I: évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines par la méthode Drastic

1- Introduction.....	87
2. Cartographie assistée par ordinateur	87
3-Etape à suivre pour la cartographie de la vulnérabilité	87
3.1. Acquisition de données.....	88
3.2. Description des paramètres et réalisation des cartes Thématiques.....	88
4- Identification des unités hydrogéologiques et commentaire de la carte de Vulnérabilité	100
5- Conclusion	100

Chapitre II : application de la méthode Drist (Drastic améliorée)

1- Introduction.....	101
2-présentation de la méthodologie proposée pour l'évaluation de la vulnérabilité à la pollution d'une nappe d'eau souterraine.....	101
3.- présentation de la méthodologie proposée pour l'évaluation de la sensibilité à la pollution d'une nappe d'eau souterraine.....	102
3.1 Vitesse de l'eau souterraine (Ve).....	102
3.2 Qualité globale des eaux souterraines.....	102
3.3 Productivité de la nappe.....	103
4- présentation de la méthodologie proposée pour l'évaluation de la vulnérabilité-sensibilité à la pollution d'une nappe à la pollution... ..	104
5- application de la méthodologie développée à la nappe alluviale du haut sebaou	104
5-1- Présentation de la carte de vulnérabilité verticale à la pollution de la nappe du haut sebaou.....	104
5-2- Caractérisation de la sensibilité à la pollution de l'aquifère du Haut Sebaou	112
6- Conclusion.....	119

Conclusion générale

La liste des figures

N°	page
Fig-1 mécanisme et facteurs de la pollution de l'eau souterraine (Castany ,1982 in Djoudar ,2003).....	6
Fig-2 schémas des mecanisme de pollution en nappe libre et en nappe captive (l'allemand-Bare, 1989 in Djoudar,2003)	8
Fig-3 mécanisme de pollution en milieu fissuré (l'allemand-Bare ,1989 in Djoudar,2003).....	9
Fig-4 origine, transport et évolution des polluants, de la surface de sol aux l'écoulements (Castany ,1975 in Djoudar,2003)	10
Fig-5 transfert des polluants dans l'aquifère (Aller et Al, 1987 in Touileb ,1997 in Djoudar,2003	10
Fig- 6 : Diagramme des classes de vulnérabilité. Selon la méthode DRASTIC.....	18
Fig7 la situation géographique du bassin versant de sebaou	24
Fig-8 les grandes unités morphostructurale de la Kabylie (M. Bouhassaine ,1980).....	27
Fig-9 le réseau hydrogrlaphique du bassin versant de sebaou	29
Fig-10 les sous bassin versant de sebaou	31
Fig-11 courbe hypsométrique de sebaou d'apprêt (B.AKPAMOLI)	32
Fig-12 repartition des stations pluviométrique et hydrométrique dans le bassin versant de sebaou.....	36
Fig-13évaluation des précipitations annuelles a la station de Tizi Ouzou	37
Fig-14précipitation moyen annuelle	39
Fig-15 évaluation des précipitations mensuelles a la station de Tizi Ouzou	40
Fig-16 précipitation moyenne mensuelles des stations pluviométriques (1980/2005).....	40
Fig-17comparaison des séries anciennes (1913-1938) et récente (1968-2002) de température a la station de Tizi Ouzou	42
Fig-18 abaque de WUNDT modifie par Cotagne.....	47
Fig-19 Variation mensuelle des apports de l'oued à la station de Bghlia(1986/1999)	49
Fig-20 Variation mensuelle des apports de l'oued à la station de Baghlia(1986/1999)	49
Fig-21 corrélation précipitations- Débits évacués à la station de Baghlia.....	50
Fig-22 Hydrogramme de crue de la station de Baghlia.....	52
Fig-23 Courbe de séparation des écoulements à la station de Baghlia.....	52
Fig-24 Hydrogramme de crue de la station de Belloua.....	53
Fig-25 Courbe de séparation des écoulements à la station de Belloua.....	53
Fig-26 Situation de la zone étudiée dans l'orogène alpin périméditerranéen (D'après M. Durand Delga, 1969)	56
Fig-27 :Rapport entre les grandes unités structurales sur le méridien de la grande Kabylie (D'après M. Durand Delga, 1969)	56
Fig-28 carte schématique interprétative de la dorsale de la grande Kabylie (J.P.Gélard ,1979).	58
Fig-29 colonne lithostratigraphique synthétique de la dorsale Kabyle (J.P.Gélard, 1979).....	60
Fig-30 Colonnes lithostratigraphiques des flyschs massylien et maurétanien (J.P. Gélard, 1979).....	62
Fig.31 : Principales structures "post-nappes" dans le Nord Ouest de la grande Kabyle (D. Raynond, 1976).....	66

Fig-32 interprétation schématiques des principaux linéaments affectant la grande Kabylie d'après l'image satellite landsat I (J.P.Gélard ,1979).....	67
Fig-33 Carte piézométrique (Haut Sébaou, hautes eaux).....	71
Fig-34 Carte piézométrique (Haut Sébaou, Basses eaux).....	71
Fig-35 Carte piézométrique (Moyen Sébaou, Hautes eaux) Année 2004.....	72
Fig-36 Carte piézométrique (Moyen Sébaou, Basses eaux) Année 2004.....	72
Fig-37 Carte piézométrique (Moyen Sébaou, Basses eaux) Année 2004	73
Fig-38 Carte piézométrique (Haut Sébaou, Avril2006)	74
Fig-39 Carte piézométrique (Moyen Sébaou, Avril 2006).....	74
Fig-40 Carte piézométrique (Bas Sébaou, Avril 2006).....	75
Fig-41 Carte piézométrique (Haut Sébaou, oct. 2008).....	76
Fig-42 carte de conductivité (Haut Sébaou, Avril2006).....	79
Fig-43 carte de conductivité de la basse vallée du Sébaou(Avril2006).....	80
Fig-44 carte de résidu sec (Haut Sébaou, Avril2006).....	83
Fig-45 carte du résidu sec de la basse vallée du Sébaou(Avril2006).....	84

La liste des tableaux

N°	page
Tab- 1 : Couleurs utilisées pour les exercices de cartographie des paramètres DRASTIC (Aller et al, 1987, in Touileb, 1997).....	21
Tabl- 2 : Code international des couleurs pour les intervalles de l'indice DRASTIC (Aller et al ; 1987 modifié, in Touileb,1997).....	22
Tab-1 Répartition des superficies par sous bassin.....	30
Tab-2 Altitudes moyennes.....	30
Tab-3 Altitudes caractéristiques.....	32
Tab-4 Paramètres de forme (Source ANRH).....	33
Tab-5 Les paramètres morphologiques du bassin versant du Sébaou (Source ANRH de Tizi-Ouzou).....	34
Tab-6 caractéristiques des stations pluviométriques utilisées. (ANRH Blida).....	35
Tab-7 précipitations moyennes annuelles.....	38
Tab-8 Précipitation moyennes mensuelles annuelles (1980-2005).....	40
Tab-9Température moyennes mensuelles (P.Seltzer 1913/1938).....	41
Tab-10 Températures moyennes mensuelles annuelles de la station de Tizi-Ouzou (1968-2002).....	42
Tab-11 Valeur de l'indice de Marthone (station de Tizi-Ouzou).....	43
Tab-12 Moyenne mensuelle de l'humidité (1989-1994).....	43
Tab-13 Moyenne mensuelles des vitesses des vents.....	43
Tab-14 Nombre moyen de jours de sirocco à la station de Tizi-Ouzou (P.seltzer ; 1913/1938).....	44
Tab-15 valeur de l'ETP d'après la méthode de THORNTHWAITE.....	46
Tab-16 Résultats de l'ETR obtenu par les trois méthodes.....	46
Tab-17 caractéristiques des différentes stations hydrométriques.....	47

Tab-18 débits moyens mensuels des stations de Baghlia et de Belloua.....	48
Tab-19 : Corrélation précipitation/Débits évacués à la station Baghlia.....	50
Tab-20 Les valeurs de Ruissellement et l'infiltration.....	54
Tab-21 les mesures piézométriques effectuées dans la plaine alluviale du sébaou	70
Tab-22 duretés des eaux de la nappe alluviale du Sébaou.....	81
Tab-23 Tableau du comparaison du PH.....	82
Tab-24 classification des eaux de la haute vallée du Sébaou selon les Formules Caractéristiques de Stabler.....	85
Tab-25 classification des eaux de la basse vallée du Sébaou selon les formules caractéristiques Stabler.....	86
Tab-26 Principales sources d'informations.....	88

la liste des cartes

Liste des cartes

La méthode DRASTIC

La carte de paramètre « D »	90
La carte de paramètre « R »	91
La carte de paramètre « A »	92
La carte de paramètre « I »	93
La carte de paramètre « S »	95
La carte de paramètre « T »	96
La carte de paramètre « C »	97
La carte de vulnérabilité de Haut Sebaou	99

La méthode DRIST

La carte de paramètre « D »	105
La carte de paramètre « R »	106
La carte de paramètre « I »	107
La carte de paramètre « S »	108
La carte de paramètre « T »	109
La carte de vulnérabilité du Haut Sebaou	111
La carte de la vitesse d'écoulement « V »	113
La carte de la conductivité électrique	114
La carte de la productivité « Q »	115
La carte de sensibilité du Haut Sebaou	116
La carte sensibilité-vulnérabilité	118

introduction générale

Introduction générale

Le début du 21^{ème} siècle s'annonce sous le signe d'une aggravation des pénuries d'eau ; le monde en général et l'Algérie en particulier sont en train de subir ces dernières années des changements climatiques défavorables (précipitations faibles, évaporations intenses,...etc.).

L'impact négatif de ces conditions sur l'ensemble des activités socio-économiques révèle que la politique de l'eau doit être considérée comme un élément essentiel dans la stratégie du développement.

La recherche des ressources en eau est toujours plus importante pour les besoins humains, elle conduit, de plus en plus, à l'implantation de captages. Les eaux théoriquement protégées proviennent des nappes souterraines. Ces ressources, lorsqu'elles sont potables, sont « idéales » pour la consommation. Mais, malheureusement, elles sont, de plus en plus, soumises aux contaminations chimiques (Nitrates, détergents, pesticides, métaux,...etc.) et parfois microbiennes provoquées par le développement des industries, de l'agriculture et des rejets domestiques.

Le mécanisme de pollution des eaux souterraines est un processus évolutif dans l'espace et dans le temps, difficilement maîtrisable ; c'est pourquoi, il est préférable de le rattacher au concept de vulnérabilité qui exprime la sensibilité de l'aquifère face à une régression par une contamination.

Aussi, est-il indispensable de mettre à la disposition des gestionnaires de la ressource en eau un moyen de prévention et d'intervention.

Afin d'assurer de manière rigoureuse la gestion des moyens naturels et anthropiques, l'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) s'avèrent le moyen le mieux adapté.

En effet ces systèmes (SIG) permettent de prendre en charge une multitude d'informations d'origines diverses, de les mettre à jour, d'optimiser leurs échanges et de générer de nouvelles couches d'informations par le biais de leur croisement. Par ailleurs, ils assurent la restitution des cartes thématiques et les analyses qui en résultent.

Il s'agit donc d'un outil puissant et efficace d'aide à la décision notamment dans le domaine de la planification et de la gestion des ressources naturelles.

Pour l'évaluation de la vulnérabilité environnementale d'une nappe phréatique, la

combinaison du modèle DRASTIC et des systèmes d'informations géographiques (SIG) et aussi la méthode DRIST (DRASTIC améliorée) ont été utilisés. Ces méthodes sont basées sur la description et la représentation de la répartition spatiale des paramètres hydrogéologiques, climatiques et physiques du système aquifère.

La démarche entreprise dans ce travail a consisté à appliquer ces deux méthodes sur la plaine du haut Sébaou qui s'étend depuis la source (actif N'boubhir) jusqu'à la cluse du Belloua (passant par Friha , Azzazga, Kahra, Tamda et Tizi rached)

Pour la réalisation de cette étude, on a subdivisé notre travail en trois parties :

- La première partie porte sur la définition de la pollution, ses origines, les mécanismes de transport et d'atténuation du polluant ; définition de la vulnérabilité et des méthodes d'évaluation de cette dernière en tenant compte de différentes approches.
- La deuxième partie définit le cadre physique de l'étude et en précise les particularités géologiques. Elle met en évidence les formations lithostratigraphiques perméables et les rassemble en structures hydrogéologiques économiquement exploitable et donc à protéger. La localisation en profondeur ainsi que l'extension géographique des aquifères sont matérialisées à l'aide de coupes hydrogéologiques établies sur la base de données géologiques, géophysiques et hydrodynamiques.
- La troisième partie a porté sur la cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de l'aquifère du Sébaou afin d'identifier les zones à haut risque de contamination, indépendamment du type de polluant.

Enfin, on terminera par une conclusion générale qui mettra en exergue les résultats obtenus suite aux applications citées ci-dessus, ce qui nous permettra d'émettre des recommandation

PARTIE 1

CHAPITRE I :

POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES ET SUPERFICIELLES

I.1- Introduction

Un polluant est un facteur physique, chimique ou bactériologique résultant de l'activité humaine et provoquant sous une intensité ou une concentration anormale, une altération de la qualité de l'eau naturelle (Billault .C ,1989)

La qualité de l'eau peut être altérée par plusieurs polluants avec l'homme comme facteur principal de la pollution.

I.2- Critère de pollution d'une eau :

L'eau souterraine est dite polluée lorsqu'elle contient des substances non liées à la structure naturelle des terrains ou elle a séjourné, c'est-à-dire des substances introduites de façon direct ou indirect par l'activité humaine et en particulier lorsque les concentrations des constituants en suspension dépassent les concentrations maximales admissibles fixées par les normes nationales ou internationales

I.3- Pollution directe ou indirecte :

La pollution générée par l'homme est directe lorsqu'elle a lieu sur le toit de la nappe souterraine. C'est le cas par exemple d'un rejet de produit organique dans un puits. La pollution est indirecte lorsqu'elle se fait en direction des eaux souterraines, à travers les autres eaux du cycle, d'autres eaux souterraines, ou à travers l'environnement inerte. Le déversement sur le sol d'un pesticide est une pollution indirecte sur les eaux souterraine car pour que le contaminant parvienne à la nappe, il traversera le sol et la zone non saturée de l'aquifère.

I.4- Nature de la pollution :

La pollution pourra être :

Quantitative : accroissement ou diminution du flux d'eau ou de flux de chaleur qui pourra être cause par la perméabilité de sol, le colmatage des berges ...etc

Qualitative : bactérienne, chimique, radioactivité et thermique.

I.5- Caractérisation de la pollution :

La pollution est caractérisée par le « **DEFI** » c'est-à-dire sa durée, son étendue, sa fréquence et son intensité. (Parascandola ,1980)

- **Durée** : la durée de l'émission polluante est très variable en fonction de son origine, des moyens de détection et de lutte pour son atténuation.
- **Etendue** : l'étendue de la propagation d'un polluant dépend de sa source, du volume du polluant, des possibilités de détection et des moyens utilisés pour la stopper.
- **Fréquence** : la fréquence d'un phénomène de pollution est directement liée à l'activité humaine à laquelle elle se rapporte, aux mesures prises dans le sens de diminution des actes volontaires ou involontaires de pollution et à l'existence d'infrastructure.
- **Intensité** : est fonction de la toxicité des contaminants et de leurs concentrations. L'intensité maximale peut être estimée par le produit de la concentration maximale et de la toxicité.

I.6- Classification des polluants :

Les polluants peuvent être classés suivant différents critères :

I.6.1- En fonction de l'origine de la pollution

- La pollution *urbaine*, elle comprend :
 - les eaux usées domestique trop chargées
 - les eaux usées pluviales ou eaux de ruissellement
- La pollution *industrielle*

Les rejets industriels sont très variables en nature, ils sont plus ou moins chargés en fonction du type d'industrie et les volumes d'eau rejetée.
- La pollution *agricole*

Elle résulte de l'utilisation des pesticides, des produits phytosanitaires, des eaux d'infiltration de drainage et de ruissellement sous aires cultivées, de la pratique de l'élevage ... etc

I.6.2- En fonction de la répartition géographique

- La pollution *diffuse* : Le polluant se répand dans le milieu par petite quantité mais de façon régulière et parfois sur de très longues périodes.
- La pollution *ponctuelle* : La pollution est introduite à un endroit bien précis et restreint dans l'espace et le temps

I.6.3- En fonction de la répartition dans le temps

- La pollution *permanente* ou *chronique*
- La pollution *accidentelle*
- La pollution *saisonnnière* (sels de déneigement, utilisation des engrais azotés dans certaine culture saisonnière)

I.6.4- En fonction de la nature des polluants

- La pollution *physique* (chaleur, radioactivité, matières en suspension)
- La pollution *chimique* (sels minéraux, détergent, pesticide, solvants, métaux lourds, hydrocarbures)
- La pollution *microbiologique* (micro-organisme, virus, bactérie)
- La pollution *mixte*

I.6.5- En fonction de nombre de polluants

- La pollution *poly-produite* (industrie chimique)
- La pollution *mono-produite* (dépôt d'essence)

I.6.6- En fonction du comportement du polluant dans l'eau

- La pollution *miscible* (sels minéraux, métaux)
- La pollution *non miscible* (huiles, hydrocarbure)

I.7- Paramètre spécifique de pollution :

Selon les possibilités de pollution, on distingue :

- Les éléments insolubles séparable physiquement (décantation, filtration, flottation)
- Les éléments séparable par voie chimique (précipitation, adsorption ...)
- Les éléments oxydables chimiquement (mesure de DCO)
- Les éléments biodégradable (mesure de DBO)
- Les éléments toxiques (les micropolluants tels que le zinc, le cuivre, le mercure ...)
- Les colorants

I.8- Type de polluant

Les principaux types de polluants sont :

- Les polluants *physiques*
- Les polluants *chimiques*
- Les polluants *organiques*
- Les polluants *microbiologiques*

Ces polluants n'ont pas la même toxicité ainsi leur introduction dans l'eau, à des concentrations plus ou moins élevées, pourra entraîner des conséquences allant d'une légère altération jusqu'à la rendre impropre à la consommation.

CHAPITRE II :

MECANISME DE TRANSPORT ET D'ATTÉNUATION DU POLLUANT EN MILIEU SOUTERRAIN

II.1- Mécanisme de transport

II.1.1- Classification des polluants par leur propriété de transport

La densité, la viscosité, la solubilité, la stabilité chimique et d'autres caractéristiques affectent la dispersion des polluants dans le sol. Les polluants peuvent atteindre l'eau souterraine, soit dissoute dans l'eau (miscible) ou comme une phase liquide immiscible dans l'eau. Quelques polluants comme les métaux lourds, peuvent être adsorbés sur des particules fines et être transportés en suspension. Suivant la taille des particules, on peut les considérer dissoutes ou non dans le milieu poreux. Les solutions qui restent stable dans l'eau et ne change pas à cause des processus physiques, biologiques ou chimiques sont appelées conservatifs. Un exemple typique de ce type de soluté est la fluorescéine, largement utilisé dans les tests de migration. Considérer un constituant conservatif, dépend du rapport entre le facteur de migration et le temps de réaction. Par exemple, un contaminant qui réagit et change lentement, dans un aquifère avec une vitesse de transport élevé peut être considéré conservatif. Les solutés conservatives qui ne changent pas de densité ni de viscosité de l'eau d'une manière significative peuvent y être utilisés comme traceur.

Les traceurs sont utilisés dans les tests de migration pour déterminer la direction et la vitesse du transport. Normalement, la concentration détermine si le soluté change les propriétés physiques de l'eau. Le meilleur exemple d'un soluté qui change les propriétés de l'eau souterraine est le sel dans la zone de transition entre l'eau douce et l'eau de la mer. (Pollution des Sols/A.M., 2002)

II.1.2- Mécanisme de transport et d'accumulation

Les facteurs prépondérants à la recharge des eaux souterraines sont essentiellement représentés par l'infiltration des eaux de précipitation, l'irrigation de surface et les différences de charges hydrauliques. Dans la zone saturée, les polluants sont transportés uniquement sous forme dissoute (Fig. 1) contrairement à la zone non saturée, où les processus responsables du transport sont plus variés et représentés essentiellement par : l'advection, la dispersion mécanique et la diffusion moléculaire liquide (Villeneuve *et al*, 1985, in Touileb, 1997).

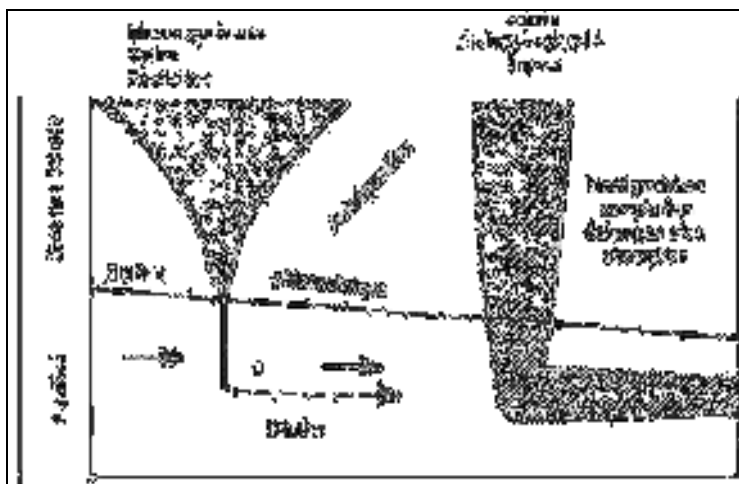


Fig. 1 : Mécanismes et facteurs de la pollution de l'eau souterraine (Castany, 1982 in Djoudar, 2003).

II.1.2.1- Dans une nappe libre

Une pollution se produisant à la surface du sol peut s'infiltrer jusqu'à la nappe. Mais, avant d'atteindre son toit, le polluant traverse. La zone non saturée, comprise entre le sol et la surface de l'eau, celle-ci de nature très diverse suivant le type de roche la constituant, conditionnera en grande partie le transfert vers la nappe. La perméabilité des terrains déterminera la vitesse de propagation du polluant. Les rejets peuvent atteindre la nappe si leurs volumes qui s'infiltreront est supérieur à la capacité de rétention du volume de terrain non saturé affecté par la pollution.

En raison des hétérogénéités des textures et de compositions inhérentes aux aquifères, il peut s'avérer difficile de délimiter avec précision l'étendue d'une éventuelle contamination de l'eau souterraine.

Dans la majorité des cas, il semble que la contamination ne soit découverte que lorsqu'un puit d'alimentation d'eau potable est atteint, la décantation est généralement difficile pour un usage, car les concentrations usuelles très faibles (de l'ordre de $\mu\text{g/l}$) n'ont pas d'effets toxiques immédiats et passent souvent inaperçues.

Les concentrations des contaminants, lessivés et pénétrant dans le sol ou dans la zone non saturée d'un aquifère, dépendent des conditions suivantes : (Brereton et Wilkinson, 1976)

- le volume du polluant répandu en surface ;
- les changements chimiques pouvant se produire dans le temps entre le polluant et le milieu récepteur ;
- la solubilité des polluants ou de ses métabolites ;
- la recharge (importance de l'infiltration).

Dans la zone saturée, les transferts sont essentiellement latéraux selon la direction générale d'écoulement de la nappe. Dans cette zone, les processus responsables du transport moléculaire liquide. Dans cette zone, également le polluant se dissipera, partiellement ou complètement, dans l'eau ou flottera en fonction de la densité des composants formant le polluant.

II.1.2.2- Dans une nappe captive

La pollution ne peut provenir que d'injections volontaires de déchets liquides par forages ou de mise en communication de nappes par des ouvrages non étanches (ex : Forages profonds d'eau, hydrocarbure ou forages « sauvages »)

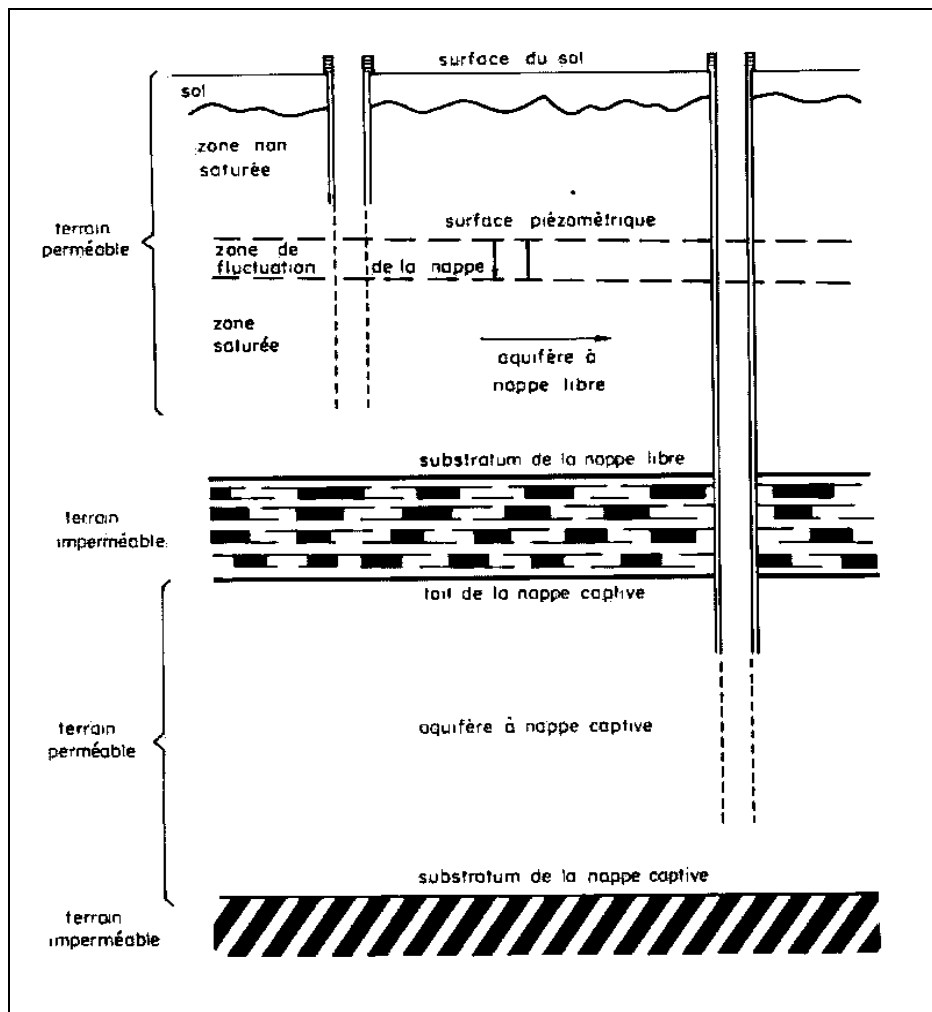


Fig. 2 : Schéma des mécanismes de pollution en nappe libre et en nappe captive (Lallemand-Barres, 1989 in Djoudar, 2003).

II.1.2.3- Dans un aquifère fissuré

La pollution est introduite par les bêtouilles et puits par l'intermédiaire de la zone non saturée. Ces mécanismes sont schématisés sur la figure 3.

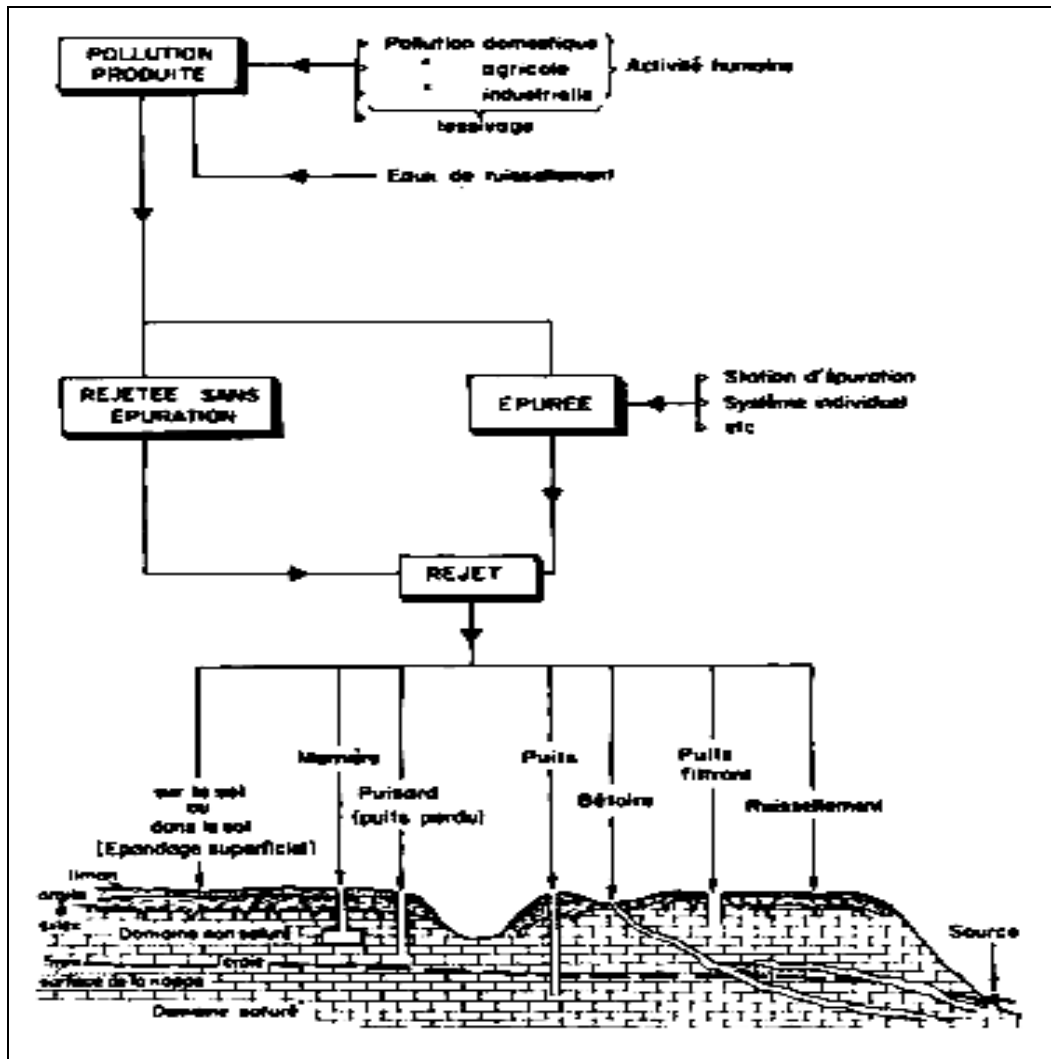


Fig. 3 : Mécanismes de pollution en milieu fissuré (Lallemand-Barres, 1989 in Djoudar ,2003)

II- 2 Mécanisme d'atténuation

L'occurrence ainsi que le mouvement de l'eau souterraine sont contrôlés presque entièrement par la topographie et la géologie. Les hétérogénéités géologiques, spécialement celles relevant de la porosité et de la perméabilité, les conditions physico-chimiques et biochimiques du milieu, ainsi que les caractéristiques propres aux polluants sont également des paramètres pouvant influencer sur l'étendue d'une éventuelle pollution des eaux souterraines.

Les principaux mécanismes de transformation et d'atténuation du polluant traversant le milieu souterrain sont :

II.2.1- Les processus physiques

La *volatilisation* : certains produits sont transférés de la surface du sol vers l'atmosphère. Dans le contexte des eaux souterraines, la volatilisation ne constitue pas un processus efficace de dissipation si le polluant a migré au-dessous de la surface du sol.

Le *lessivage* : il est régi en grande partie par les caractéristiques intrinsèques du sol et de la zone non saturée tel que la porosité, le pH, le taux d'humidité, la teneur en argile et en matière organique, de même que par les conditions météorologiques.

La *filtration* : les milieux poreux jouent le rôle de filtre pour les rejets en piégeant une

partie organique en suspension et des micro-organismes.

La *rétenion capillaire* : une partie de la charge polluante peut être retenue dans l'eau capillaire de la zone non saturée.

La *dispersion / dilution* : la dispersion s'applique aux substances solubles et aux substances pouvant se mettre en suspension. Elle est liée à :

- La vitesse de l'eau, à la perméabilité et à la porosité efficace du milieu.
- La dispersivité du milieu (qui se fait dans les trois directions de l'espace, a pour effet d'accroître le volume marqué par la présence du polluant en fonction du temps (Fig. 4)

La *flottation* : ce phénomène se rapporte aux produits insolubles ou à faible solubilité tels les hydrocarbures qui sont plus légers que l'eau (Fig. 5)

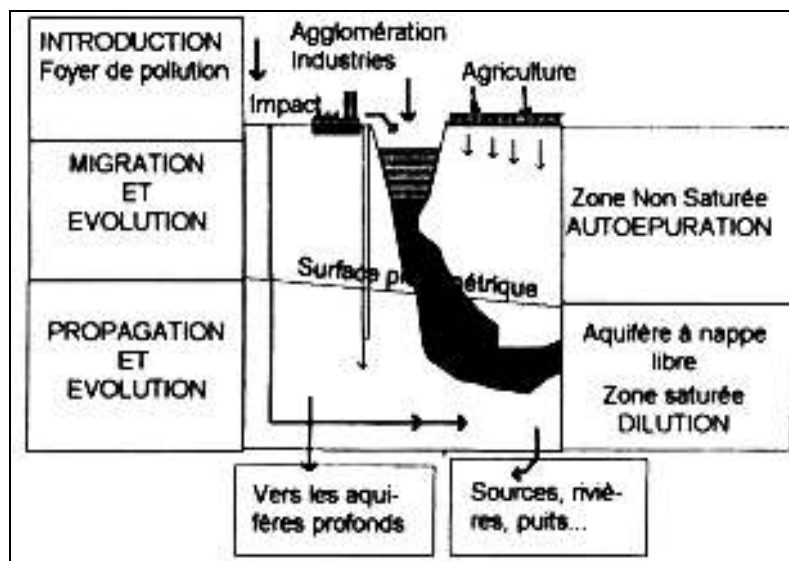


Fig. 4 : Origine, transport et évolution des polluants, de la surface du sol aux écoulements (Castany, 1975 in Djoudar, 2003)

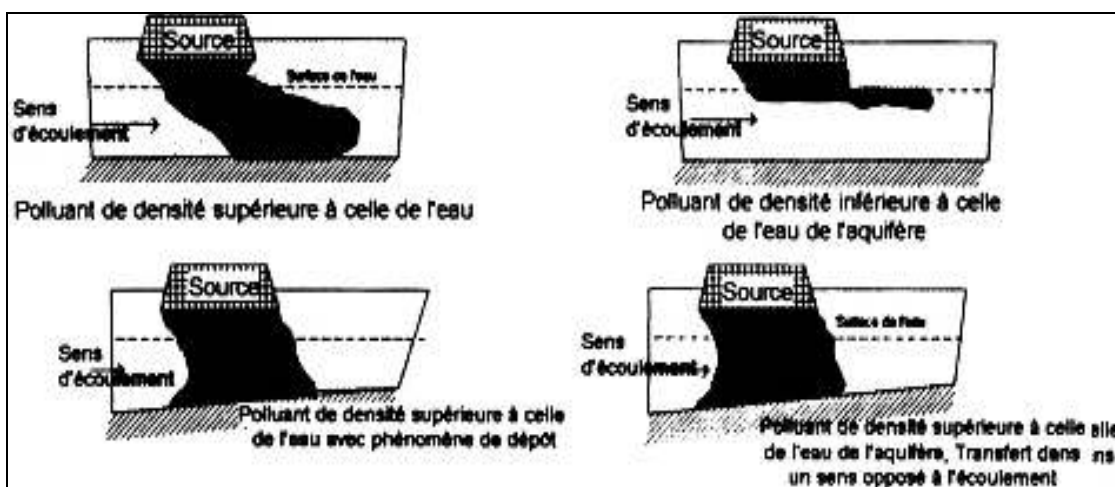


Fig. 5 : Transfert des polluants dans l'aquifère (Aller et al, 1987 in Touileb 1997 in Djoudar, 2003)

II.2.2- Les processus chimiques et biochimiques

Dégradation chimique : les réactions chimiques les plus probables dans le milieu souterrain sont engendrées par les processus d'hydrolyses des polluants, se produisant habituellement par l'intermédiaire d'acides ou de bases, lesquels jouent le rôle de catalyseurs.

Adsorption / désorption : les constituants du sol les plus susceptibles d'être impliqués dans ce processus sont ceux qui possèdent une grande surface spécifique (cas des argiles), ou encore des sites très réactifs sur lesquels peuvent se fixer diverses substances (matières organiques). Le degré d'adsorption d'un polluant est fortement lié à sa nature chimique (grosseur de la molécule, polarité, position de ses groupements fonctionnels, ...etc).

Biodégradation : c'est le résultat de l'ensemble des processus dynamiques impliqués dans la distinction biologique des composés organiques par les micro-organismes contenus dans le milieu souterrain. Cette auto épuration est fonction de plusieurs paramètres (température, teneur en oxygène dissous, pourcentage de la matière organique ...etc).

Dégradation par les plantes : lorsque les végétaux sont mis en présence d'un milieu nutritif renfermant une certaine quantité de pesticides, une fois absorbés, ces derniers peuvent subir des transformations sous l'influence de métabolisme de la plante hôte, ce qui retarde leur migration vers les eaux souterraines.

Précipitation : Dans les précipités, des cations polluants peuvent être piégés : en effet, des modifications de corps de température et de pH entraînent la précipitation de certains composés, dans lesquels peuvent être piégés des éléments en traces tel que Cu, Zn et Pb, associés parfois à des hydroxydes de Fer (Fe) et de Manganèse (Mn).

CHAPITRE III :

METHODES D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE

III.1- Introduction

La vulnérabilité des nappes d'eau souterraines est une donnée locale qui peut servir à la protection de la ressource en eau, à la planification rationnelle de l'utilisation du Territoire et à la prévention de l'environnement. L'accroissement de la population et le développement économique entraîne une augmentation des volumes d'eau consommés et plus encore une détérioration de sa qualité. Les eaux souterraines, de même que pour les eaux de surface, sont susceptibles d'être contaminées par les activités humaines.

Les phénomènes de filtration et les réactions qui se produisent dans les sols, offrent cependant un certain niveau de protections des nappes contre les polluants déversés à la surface du sol. Cette protection varie en fonction de la nature des matériaux constituant le sol et des conditions hydrogéologiques locales. Dans ce sens, de nombreux pays européens et américains ont conçu une ou plusieurs méthodologies d'évaluation et de cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution.

Plusieurs méthodes ont été développées : française, anglaise, allemande et américaine.

III.2- Définition de vulnérabilité

La vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine est une notion complexe par le nombre de facteurs qu'elle fait intervenir et par l'importance variable qui peut être attribuée à chacun. Dans la littérature, nous pouvons rencontrer plusieurs définitions de la vulnérabilité des nappes à la pollution bien que convergeant vers le même sens.

* En 1968, J. MARGAT indiquait qu'on pouvait la définir « *comme le fait pour une nappe souterraine d'être plus ou moins exposée par les conditions naturelles à un risque donné d'être polluée* ».

* En 1970, M. ALBINET, reprend cette définition sous la forme suivante « *la vulnérabilité des nappes correspond aux possibilités de pénétration et de propagation des polluants dans les terrains rencontrés en surface et pour les réservoirs dans lesquels sont contenus la première nappe d'eau souterraine généralement libre* ».

* En 1980, Melle M.F PARASCANDOLA précisait que « *définir le degré de vulnérabilité suppose que l'on ait su caractériser les agressions et les défenses, que l'on ait su convoyer les fonctions d'agressions et de défenses, que l'on ait défini une fonction de vulnérabilité que l'on ait fixé une échelle de vulnérabilité* ».

* En 1982, G.CASTANY écrivait « *la vulnérabilité des nappes à la pollution est leur sensibilité aux différents facteurs physiques stables, déterminant la mesure où elles sont, dans des conditions naturelles, plus ou moins exposées à la pollution à partir de la surface du sol. Elle étudie les possibilités de propagation dans l'espace souterrain. Celle-ci est, en premier lieu, liée à l'autoépuration naturelle du sol, donc à la présence de conditions indispensables à son action. En second lieu, elle est favorisée par la circulation de l'eau.* »

III.3- Différentes méthodes d'estimation de la vulnérabilité :

Les premières cartes de vulnérabilité à la pollution sont apparues dans les années soixante dix (Albinet et Margat, 1970). Ces dernières constituent des synthèses de quelques grandeurs et peuvent être rangées en trois (03) groupes fondamentaux selon les méthodes utilisées :

- Méthodes orientées sur un système de cotation numérique.
- Méthodes orientées sur les documents cartographiques.
- Méthodes générales ou mixtes.

III.3.1- Méthodes orientées sur les systèmes de cotation numérique

L'intérêt de ces méthodes consiste à donner une approche synthétique et interprétative lors de l'évaluation de la vulnérabilité. L'intégration des paramètres physiques de l'aquifère est très importante pour une bonne estimation du domaine souterrain.

III.3.1.1- Méthode de SILKA (1978)

Celle-ci est plus facile à réaliser et économique en temps. Elle tient compte de la qualité du polluant. Ses différents paramètres sont répartis comme suit :

- Une description de la zone non saturée (une côte de 1 à 10).
- Une caractérisation de l'extension de l'aquifère (une côte de 1 à 5).
- Une caractérisation physico-chimique de l'eau (une côte de 1 à 5).

Dans le cas de la présence de pesticides, une côte variable de 5 à 8 est mise en place selon cinq critères : La *toxicité*, la *mobilité*, la *persistance*, le *volume* et la *concentration* du produit.

Pour désigner la distance d'une région vulnérable localisée à proximité d'un point d'eau, on affecte une côte de 9. L'évaluation du degré de confiance est réalisée par l'introduction d'une lettre d'appréciation (exemple A : bonne estimation).

Cette méthode n'envisage aucune représentation cartographique, l'index de vulnérabilité permet la classification des régions selon leur degré de vulnérabilité

III.3.1.2- Méthode de THORHIL (DRASTIC) 1985

La méthode a été développée par la NWIA'A (National Water ;Veil Association), son intérêt est d'évaluer les risques de dégradation de la qualité des eaux souterraines. C'est une méthode empirique fondée sur trois (03) axes :

- Son domaine d'application à l'échelle régionale.
- La source initiale de pollution se répand dans le milieu à partir de la surface du sol par l'infiltration.
- La qualité du contaminant n'intervient pas sur le degré de vulnérabilité.

Le terme DRASTIC est l'abrégié des sept (07) paramètres de la méthode. Des côtes sont attribuées pour chaque valeur des paramètres sous forme de tableau. Ensuite, on élabore l'indice DRASTIC qui est égal à la somme des poids par cotes :

$$\text{Indice DRASTIC général} = (Dc.Dp)+(Rc.Rp)+(Ac.Ap)+(Sc.Sp)+(Tc.Tp)+(Ic.Ip)+(Cc.Cp)$$

L'indice permet d'estimer le risque de contamination d'une formation aquifère, ce risque augmente avec la valeur de cet indice

III.3.1.3- Méthode GOD (Foster et Hirata, 1991)

Dans cette méthode, la vulnérabilité est réalisée suivant l'inaccessibilité dans la zone non saturée au sens de l'identification du polluant, cette dernière est basée sur trois (03) éléments -

- Identification de la nature de l'aquifère selon son degré de confiance (Ci)
- La profondeur de la nappe (Cp).
- La particularité de la zone non saturée (porosité, perméabilité, contenu en eau), (Ca).

Dans cette méthode, l'indice de vulnérabilité est le suivant ($IGOD = C_i * C_p * C_a$)

III.3.1.4- Méthode PRAST

Dans cette méthode, on voit l'apparition d'un nouvel élément (P pouvoir épurateur du sol) qui regroupe trois paramètres (D, I, C) de la méthode DRASTIC. En effet, cette démarche facilite la méthode précédente (DRASTIC). Le pouvoir épurateur du sol (P) correspond aux phénomènes de l'autoépuration naturelle du sol qui est le paramètre le plus important dans la méthode.

Les éléments de la méthode sont donnés ci-dessous :

- Le pouvoir épurateur du sol (P).
- La recharge(R)
- Type de l'aquifère (A).
- Type du sol (S).
- La topographie (T)

Comme pour la méthode DRASTIC, chaque paramètre est assigné d'un poids de 1 à 8 et d'une cote de 1 à 10 qui correspond à son importance dans l'atténuation des polluants

III.3.1.5- Méthode du pouvoir épurateur du sol (Rehse, 1977)

Le pouvoir épurateur du sol, puis celui de la zone non saturée, est important pour éviter la propagation d'une pollution en direction des nappes. La méthode, proposée par Rehse, tient compte de divers mécanismes qui sont étroitement liés. Ce sont les processus physiques, mécaniques et biochimiques qui agissent sur le transport des bactéries sur la dégradation des composés organiques et chimiques qui interfèrent sur le transfert du soluté (SAID .R ,1999)

III.3.2- Méthodes orientées sur des documents cartographiques

Dans ces méthodes, on tient compte en premier lieu des conditions suivantes :

- La nature du recouvrement (sol et sous sol)
- La profondeur de la nappe:

En seconde partie, on prend en considération l'intercalation des formations aquifères vis-à-vis du polluant; donc tous ces éléments ont été déduits à partir des documents cartographiques

III.3.2.1- Méthode d'Albinet et de Margat (1970)

Cette méthode se résume à une représentation globale des éléments qui contrôlent la vulnérabilité, à savoir :

- La profondeur de la nappe.
- Le drainage de surface.
- La nature lithologique du sous-sol

En effet, le degré de vulnérabilité est évalué sous forme de classes avec des valeurs bien déterminées.

III.3.2.2- Méthode wipp (1982)

Cette méthode tient compte des critères suivants :

- La profondeur de la nappe.

-
- La déplacement de l'eau.
 - La perméabilité du sol.
 - L'utilisation de l'eau

Cette dernière donne trois catégories de vulnérabilité (Forte, Moyenne, Faible).

III.3.2.3- Méthode anglaise NRA (National River Authority)

Elle a été évaluée par la NRA en 1992. Ses grands axes de réalisation sont :

- La pédologie (caractéristiques du sol)
- Le contaminant et son rôle comme l'élément principal
- L'épaisseur de la nature de la zone non saturée.

III.3.3- Méthodes générales ou mixtes

Ces méthodes donnent une approximation globale à partir d'une analyse des critères de la protection des nappes. Elle tient compte de la géologie et de l'hydrogéologie

III.3.3.1- Méthode de Vierhuff (1982)

Cette dernière dépend des paramètres suivants :

- La nature du sol et la zone non saturée.
- La profondeur de la nappe.
- Le régime hydrologique.

Ces paramètres précédents ont été groupés par Vier Huff en cinq (05) classes (de forte à très forte vulnérabilité).

III.3.3.2- Méthode de Villumsen et Sonderskov (1982)

Ces derniers ont proposé quatre (04) paramètres, l'un d'eux compte de la variation du niveau piézométrique échelonné sur des cotes correspondantes, les autres dépendent de:

- La capacité d'adsorption du sol
- La zone saturée et ses caractéristiques.

III.3.3.3- Méthode de Haerté (1983)

Dans cette méthode deux critères essentiels sont retenus :

- L'épaisseur de la zone vadose (zone non saturée).
- La perméabilité de la formation aquifère.

Cette méthode est classée suivant l'épaisseur des formations et leur nature lithologique ; en effet le domaine de classification varie entre faible, moyenne et haute.

III.4- Conclusion

En conclusion, on peut dire que les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité se rapprochent entre elles, cela est dû dans la majorité des cas à la convergence de leurs critères d'évaluation de base. Parmi toutes ces méthodes, la méthode DRASTIC qui se caractérise par une structure très efficace et une accessibilité aisée des données de base reste très utilisée dans le monde (AIT OUALI, 2003).

Toutes ces méthodes permettent d'évaluer la vulnérabilité, mais, la méthode la plus utilisée est la méthode DRASTIC et cela pour sa facilité et sa précision.

CHAPITRE IV :

ASPECT THEORIQUE ET PRATIQUE DE LA METHODE DRASTIC

IV.1- Introduction

La méthode DRASTIC est d'origine américaine, développée par NWWA (National Water Well Association), entre 1983 et 1987 comme base pour l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines.

Elle est basée sur un système de cotation numérique et permet l'établissement des cartes de vulnérabilité, qui sont la synthèse des connaissances lithologique, pédologique et hydrogéologique d'une région.

IV.2- Définition de la méthode DRASTIC

Cette méthode a été développée par la NWWA (National Water Well Association) dans le but d'évaluer les risques de dégradation de la qualité des eaux souterraines (Aller et al, 1987).

L'approximation de son évaluation dépend essentiellement de la nature, de la qualité et de la fiabilité des données; donc elle est empirique, est définie par les trois (03) axes suivants :

- Elle s'applique à l'échelle régionale.
- La source initiale de pollution se répand dans le milieu à partir de la surface.
- La qualité du contaminant n'intervient pas sur le degré de vulnérabilité.

IV.3- Description de la méthode « Drastic »

La première étape de la méthode DRASTIC est la définition des unités hydrogéologiques à partir d'un ensemble de caractéristiques qui influent directement ou indirectement sur l'écoulement des eaux souterraines depuis la surface du sol jusqu'à la nappe en passant par la formation aquifère. Ces unités sont obtenues après superposition de différentes zones caractérisées chacune par un indice partiel propre à chacun des paramètres DRASTIC.

Chaque unité hydrogéologique a ses propres caractéristiques physiques qui peuvent faire augmenter ou atténuer la pollution potentielle des eaux souterraines. Une large bande de dispositions techniques est considérée vu l'importance relative de nombreux caractères physiques qui peuvent conditionner la pollution potentielle. Les agents que renferme l'aquifère sont la chimie, la température, la transmissivité, la tortuosité les phases gazeuses transportées et bien d'autres qui peuvent être évalués. La disponibilité de données cartographiables a été également considérée. Comme résultat de cette évaluation, les plus importants paramètres cartographiables qui influencent la pollution potentielle sont:

La profondeur de la nappe (D), le recharge nette (R), les matériaux de l'aquifère (A), les matériaux du sol (S), la topographie (pente) (T), l'impact de la zone non saturée (I) et la conductivité hydraulique de l'aquifère (C).

L'indice DRASTIC est basé donc sur l'évaluation de ces sept (07) paramètres hydrogéologiques. Chaque paramètre est assigné d'un poids relatif fixe qui correspond à son importance dans la définition du degré de vulnérabilité ou de la pollution potentielle.

Le tableau n°1 (Annexe A) donne les poids concernés par le cas de la pollution des eaux souterraines par les nitrates (engrais azotés, rejets urbains et industriels: agro-alimentaires et papeteries). Un deuxième tableau spécialement conçu pour le cas de la pollution par les pesticides, donne aussi les poids qui faciliteront le calcul (Annexe A : Tableau n°2).

Poids des paramètres

Chaque paramètre a été évalué selon son importance par rapport aux autres aussi il lui a été assigné un poids relatif compris entre 1 et 5 (Annexe A : Tableau n°1). Le paramètre significatif dans l'évaluation de la pollution potentielle a un poids de 5 et le moins important sera coté à 1. Ces poids sont constants et ne peuvent être changés. D'autres poids ont été déterminés (Annexe A : Tableau n°2) et ils reflètent l'usage des pesticides dans l'agriculture.

Rang:

Chaque paramètre DRASTIC a été subdivisé en plusieurs rangs ou en type de matériaux significatifs ayant un impact dans l'estimation de la pollution potentielle (Annexe A : tableaux n°3 à 9). Une description des matériaux types est consignée dans le paragraphe 7 « matériaux du sol, matériaux de l'aquifère, Impact des matériaux de la zone non saturée. Les rangs des matériaux types, dans les graphes (figures n°1 à 7), montrent la linéarité ou la non - linéarité de ces paramètres.

Cote:

Chaque rang pour chaque paramètre a été évalué selon son importance par rapport aux autres aussi il lui a été assigné une cote relative comprise entre 1 et 10. Il a été assigné à tous les paramètres une seule valeur par rang sauf pour les matériaux de l'aquifère et pour l'impact des matériaux de la zone non saturée à qui il a été attribué une cote typique et une gamme variable de cote. Cette variation de cote permet à l'utilisateur de choisir soit la valeur typique soit d'ajuster la valeur sur la base de données spécifique.

La cote est semblable que ce soit pour l'indice DRASTIC et pour l'indice DRASTIC modifié pour les pesticides.

IV.4- Calcul de l'indice « DRASTIC »

L'indice DRASTIC est numérique. Il représente la somme pondérée de sept (07) cotes correspondant aux sept (07) paramètres hydrogéologiques cités au tableau n°1. A chaque paramètre est associée une cote variant de 1 à 10 en fonction des conditions locales.

En outre, à chacun est attribué un poids relatif fixe et prédéterminé qui correspond à son importance dans le processus de lixiviation et d'atténuation des polluants. Ainsi, un paramètre prépondérant dans le processus de contamination se voit assigner d'un poids de cinq (05), alors qu'un paramètre ayant moins d'impact se voit attribuer un poids de un (01).

Les tableaux (n° 3 à 9) de l'annexe A permettent aux paramètres considérés l'attribution de cotes en fonction de leurs valeurs locales. L'indice local de chaque paramètre est partiel. Il est obtenu en multipliant sa cote par son poids relatif.

L'indice DRASTIC = Pollution potentielle

Indice DRASTIC général : $(Dc.Dp) + (Rc.Rp) + (Ac.Ap) + (Sc.Sp) + (Tc.Tp) + (Ic.Ip) + (Cc.Cp)$

c : côte du paramètre considéré ; **Dc** : la côte du paramètre **D** ; **Dp** : son poids

IV.5- Interprétation de l'indice DRASTIC

L'indice de vulnérabilité DRASTIC représente une évaluation du niveau de risque de contamination d'une formation aquifère. Ce risque augmente avec la valeur de l'indice. Celui-ci peut prendre une valeur maximale de 226 et une valeur minimale de 23. Son appréciation n'est possible que par l'analyse comparative entre différents sites ou unités hydrogéologiques.

A cet effet, le groupe JRB (1982) a développé un système de représentation permettant aux utilisateurs une visualisation immédiate du degré de vulnérabilité. Le principe consiste à diviser la valeur indicielle de chaque zone par le score maximum pouvant être atteint (226) en le

multipliant par 100 afin d'exprimer la vulnérabilité en pourcentage ce qui a permis (Fig. n°6) de définir cinq classes de vulnérabilité.

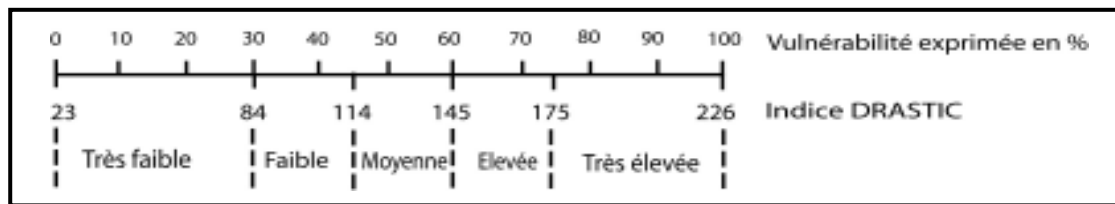


Fig. n°06 : Diagramme des classes de vulnérabilité. Selon la méthode DRASTIC

Ce système ou cette équation permet à l'utilisateur de déterminer une valeur numérique pour n'importe quel site hydrogéologique. Une fois l'indice DRASTIC calculé, il est possible de connaître les zones qui ont, par rapport aux autres, plus de chance d'être susceptibles à une contamination des eaux souterraines. Un indice DRASTIC élevé implique une grande pollution potentielle.

C'est ainsi que les valeurs extrêmes sont:

Index DRASTIC maximum = 226 (très vulnérable).
 Index DRASTIC minimum = 23 (invulnérable).

L'indice DRASTIC « pesticides » peut être utilisé dans les régions où on note une intense activité agricole et où les eaux souterraines sont susceptibles d'être polluées par les pesticides. Il représente un cas spécial de l'indice DRASTIC. La seule différence réside en une attribution différente aux valeurs des poids de quelques paramètres. En effet puisque le sol joue un rôle important dans l'agriculture il lui a été assigné un poids de 5 alors qu'il était à 2. La topographie, l'impact des matériaux de la zone non saturée et la conductivité hydraulique de l'aquifère ont été légèrement changés parce qu'ils ont leur importance dans l'atténuation ou dans la facilité de passage des pesticides. Le poids des autres paramètres ainsi que les rangs et les cotes restent semblables, sans changement.

IV.6- Description des paramètres de la méthode Drastic

IV.6.1- Les critères de la méthode DRASTIC

DRASTIC et l'indice DRASTIC modifié pour les pesticides a été développé selon les principaux critères:

1. Le polluant est introduit dans la surface du sol;
2. Le polluant atteint les eaux souterraines par l'infiltration des eaux de pluies;
3. Le polluant a une mobilité dans l'eau
4. La zone utilisée pour l'évaluation de l'indice DRASTIC est supérieure à 41 ares.

La méthode suppose que le polluant est déversé à la surface du sol, entre dans le sol, traverse la zone non saturée et entre dans l'aquifère en atteignant les eaux souterraines.

IV.6.2- Profondeur de la nappe

La profondeur de la nappe est importante, premièrement parce qu'elle détermine l'épaisseur du matériel à travers lequel un polluant doit passer avant d'arriver à l'aquifère et il peut aider à déterminer la durée de contact avec les matériaux environnants. En général, il y a de forte chance que le polluant s'atténue plus la profondeur de la nappe augmente parce que plus le niveau de l'eau est profond plus cela implique une durée de traversée plus grande. La présence

d'une couche à faible perméabilité peut rendre captif l'aquifère et limiter la traversée du polluant vers l'aquifère.

IV.6.3 - Recharge nette

La première source d'alimentation des eaux souterraines est l'infiltration des eaux de pluies à travers le sol et la zone non saturée. La recharge nette représente la somme des eaux, par unité de surface, qui pénètre dans le sous sol et arrive à la nappe. Ces eaux infiltrées véhiculent le polluant verticalement vers la zone saturée puis horizontalement dans l'aquifère. Par conséquent, ces eaux sont le principal véhicule pour filtrer et transporter un polluant solide ou liquide vers la nappe. Donc plus nous avons une infiltration importante plus il faut s'attendre à une pollution consécutive des eaux souterraines. Cette évidence est valable jusqu'au point où la recharge est assez grande pour causer une dilution du polluant à un tel degré que la potentielle pollution cesse d'augmenter et commence à diminuer.

IV.6.4 - Matériaux de l'aquifère

L'écoulement d'eau dans un aquifère est conditionné par les matériaux de l'aquifère. Le cheminement que doit suivre un polluant est donc dépendant du système d'écoulement d'un aquifère. La longueur du cheminement est importante pour maîtriser la détermination du temps nécessaire à l'atténuation du processus de contamination d'une nappe par adsorption, par réaction chimique et par dispersion. En général plus les grains sont grands, plus les fractures sont grandes et nombreuses, donc plus la perméabilité est grande et plus la capacité d'atténuation de la pollution de l'aquifère est petite.

Les matériaux de l'aquifère ont été décrits par cette méthode. Chaque matériau est listé en fonction de l'accroissement de la pollution potentiel

- a. *Argiles schisteuses massives*: C'est des couches épaisses d'argiles schisteuses indurées et argiles qui sont considérés comme des formations sèches. Seulement une petite quantité d'eau est stockée dans les fractures et les feuillés quand elles existent, donc la pollution potentielle est vraiment petite. La pollution potentielle est influencée surtout par le degré de fracturation.
- b. *Roches métamorphiques et éruptives*: C'est des roches consolidées métamorphiques ou éruptives qui originellement contiennent ou non une faible porosité primaire et qui donne de l'eau seulement par les fractures à l'intérieur de la roche. Généralement dans ce type de roche les forages ou les puits donnent de faible débit et la pollution potentielle est fonction du degré de fracturation.
- c. *Roches métamorphiques et éruptives altérées*: C'est des roches altérées ou non consolidées qui dérivent et se trouvent habituellement sur des roches consolidées saines. En plus des vides créés par l'altération elles possèdent une porosité primaire par conséquent la pollution potentielle peut être nettement plus importante.
- d. *Terres de glacier* : C'est des couches non consolidées avec une mixture de graviers, de sables, de limons et d'argiles qui sont mal triées et mal stratifiées. La faible perméabilité de cette terre fait que les ouvrages hydrauliques donnent de faible débit. Ces derniers sont généralement peu profonds ce qui fait donc qu'ils sont susceptibles d'être pollués. Les fractures dans ces terres peuvent influencer la potentielle pollution.
- e. *Séquences de couches de grès, calcaires et d'argiles schisteuses*: C'est généralement des séquences de couches peu épaisses de roches sédimentaires. La pollution potentielle est fonction du degré de fracturation.

-
- f. *Grès massif*: C'est des couches de grès consolidés qui contiennent une porosité primaire et une porosité secondaire et qui sont généralement plus épaisses que le type précédent (e). La pollution potentielle est largement contrôlée par les deux types de porosité des grès.
- g. *Calcaires massifs*: C'est des couches de calcaires et de dolomies caractérisées par des bancs généralement épais comme « f ». La pollution potentielle est largement fonction du degré de fracturation, des cavités et du nombre de dolines.
- h. *Sables et graviers*: C'est des couches non consolidées formées de sables et de graviers qui contiennent une grande concentration de particules fines. En général, plus les matériaux sont propres et grossiers plus la pollution potentielle est grande.
- i. *Basalte*: C'est des formations éruptives consolidées qui contiennent des fractures et une porosité de fente en général. La pollution potentielle est fonction des intercommunications des ouvertures qui se sont formés lors du refroidissement des laves. Le polluant a peu de chance d'être atténué une fois celui-ci à l'intérieur des fractures.
- j. *Formations karstiques*: C'est des couches de calcaires consolidés. La dissolution de la roche par l'eau au niveau des ouvertures a entraîné leur agrandissement avec formation de cavités et de galeries intercommunicant entre eux. C'est un cas typique aux roches calcaires. La pollution potentielle est généralement très grande et surpassant tous les autres.

L'utilisateur de la méthode peut choisir pour l'évaluation de n'importe quel aquifère dans une région, seulement un aquifère à la fois. Dans un multicouche, il doit décider du choix de l'aquifère selon les matériaux appropriés.

Concernant la cote (rating) des matériaux de l'aquifère, le tableau donne des fourchettes de valeur et l'utilisateur doit savoir prendre la valeur la plus appropriée à l'aquifère qu'il étudie. Si les matériaux de celui-ci sont semblables à ceux décrit, il doit opter pour la cote type si cela diffère, en fonction de ses observations, il décide de la côte à donner. A titre d'exemple si c'est des calcaires massifs avec une fracturation moyenne il doit donner la valeur 6, plus la fracturation augmente et tend vers la karstification plus la valeur à donner doit tendre vers 9. Dans le cas, ou c'est le contraire, c'est des calcaires massifs faiblement fracturés, la valeur la plus appropriée es

IV.6.5 - Matériaux du sol

Les matériaux du sol concernent la partie la plus superficielle de la zone non saturée qui est caractérisée par une importante activité biologique. Le sol est communément considéré comme la partie formée par des produits d'altérations et constituant la zone superficielle de la terre et sa profondeur moyenne fait 183 cm ou moins à partir de la surface de la terre. Le sol a un impact significatif sur la totalité de la recharge qui peut s'infiltrer dans le sous sol et ce en dehors de la capacité du polluant à pénétrer verticalement dans la zone non saturée. La présence de matériaux à texture fine comme les limons et les argiles diminue la perméabilité du sol ce qui limite la migration d'un polluant. La matière organique en grande quantité dans le sol peut être aussi un facteur important, particulièrement dans l'atténuation des pesticides. Les composés humiques sont également principalement responsable de l'adsorption.

IV.6.6 - Topographie

Le terme topographie, ici, veut dire la pente et sa variation dans une région. La topographie conditionne en général l'infiltration de la pluie et de n'importe quel polluant. En effet quand celui-ci se trouve sur une pente raide, il a tendance plutôt à ruisseler et quand il est sur une surface plane

IV.6.7 - Impact de la zone non saturée

La zone non saturée est définie comme la zone se trouvant au-dessus de la surface piézométrique et qui n'est pas saturée en eau. Elle renferme une phase solide (la roche), une phase liquide (l'eau) et une phase gazeuse (l'air). La biodégradation, la neutralisation, la filtration mécanique, les réactions chimiques, la volatilisation et la dispersion sont autant de processus qui caractérisent la zone non saturée. La biodégradation et la volatilisation diminuent avec la profondeur. Les matériaux jouent également un rôle important par leur constitution et leur agencement dans l'atténuation d'une pollution ou par la facilité du passage que peuvent procurer les fractures.

IV.7 Construction de la carte de vulnérabilité (Aller *et al*, 1987)

Les méthodologies DRASTIC et PRAST sont axées sur une cotation numérique de la vulnérabilité. Elles permettent l'établissement des cartes de vulnérabilité qui forment une synthèse des connaissances lithologiques, pédologiques et hydrogéologiques d'une région.

L'établissement d'une carte de vulnérabilité selon l'une des deux méthodes se fait selon les étapes suivantes :

- 1- Constitution d'une banque de données, de la région d'étude, sur la base :
 - D'un inventaire du patrimoine documentaire par une bonne recherche bibliographique permettant d'évaluer tous les paramètres ;
 - Des investigations éventuelles de terrains pour compléter ou actualiser certaines données telles que la profondeur de l'eau qui varie en fonction des saisons ;
- 2- Attribution d'une côte à chaque paramètre, ensuite la côte de chaque paramètre propre à chaque méthodologie est multiplié par un poids relatif (voir annexe 1)
- 3- Une carte thématique réalisée pour chacun des paramètres considérés par la méthode utilisée.
- 4- Sur chaque carte sont délimitées les zones en fonction des intervalles établies par le système de cotation DRASTIC ou PRAST
- 5- On utilise pour chaque carte thématique d'un paramètre considéré une couleur

Paramètres DRASTIC	Couleur
Profondeur	Noir
Recharge nette	Vert
Milieu aquifère	Rouge
Type de sol	Bleu
Topographie	Violet
Impact de la zone non saturée	Jaune
Conductivité hydraulique	Orange

Tableau 1 : Couleurs utilisées pour les exercices de cartographie des paramètres DRASTIC (Aller *et al*, 1987, in Touileb,1997).

6- Réalisation d'une série de superpositions de sept couches afin de visualiser les intersections des grandes unités hydrogéologiques ainsi que les sous-unités correspondantes ;

7- Calcul de l'indice de vulnérabilité général pour chaque unité hydrogéologique obtenue et chaque sous-unité déduite ;

8- Représenter les limites des différentes unités hydrogéologiques sur un fond topographique et porter à l'intérieur de ces unités leurs numéros d'identification ainsi que la valeur de l'indice général de vulnérabilité correspondant ;

9- L'identification des unités qui se fait par une lettre et des chiffres (exemple : 2A₃²¹) qui représentent le code du bassin versant (2), l'unité hydrogéologique (A), la sous-unité hydrogéologique (3) et l'indice global de vulnérabilité (21) ;

10- L'attribution des couleurs conventionnelles (Tableau 6) aux différentes unités hydrogéologiques, permettra de lire la carte synthétique de vulnérabilité ainsi qu'une visualisation graduelle du degré de vulnérabilité : les couleurs rouge, orange, et jaune indiquent les sites à fort potentiel de vulnérabilité et les couleurs bleu, indigo et violet caractérisent les zones moins sensibles.

Intervalles de l'indice global	Couleurs
Méthode DRASTIC	
< 79	Violet
080 – 099	Indigo
100 – 119	Bleu
120 - 139	Vert foncé
140 - 159	Vert clair
160 – 179	Jaune
180 – 199	Orange
> 200	Rouge

Tableau 2 : Code international des couleurs pour les intervalles de l'indice DRASTIC (Aller et al ; 1987 modifié, in Touileb,1997).

PARTIE 2

CHAPITRE I :

SITUATION GEOGRAPHIQUE

I.1- Cadre géographique de la région d'étude

Administrativement, la plaine alluviale du Sébaou se situe dans les Wilaya de Tizi-Ouzou et de Boumerdés, à 80Km à l'Est d'Alger (Figure N°01).

La surface drainée par l'oued Sébaou et ses affluents (bassin versant) est limitée entre les altitudes 36°27 ' et 36°55 ' Nord et les longitudes 3°55 ' et 4°53 ' Est. S'étalant sur une superficie de 2500Km²; le bassin versant du Sébaou est caractérisé par un relief typiquement montagneux, couvrant 82% de la superficie totale, il est limité :

-
- Au nord ouest par la mer méditerranée ;
 - Au nord et nord Est par la chaîne littorale ;
 - Au sud et sud Est par la chaîne de Djurdjura (chaîne calcaire) ;
 - A l'ouest par les chaînons de Naciria et Sidi-Ali-Bounab orienté ENE –WSW ;

I.2- Développement socio-économique de la région d'étude

La wilaya de Tizi-Ouzou recèle de nombreuses potentialités socio-économique principalement en matière d'agriculture et industrielle, mais aussi humaine. Chacune de ces potentialités nécessite pour leurs subsistances et leur développement une quantité d'eau considérable. Or, la tendance du climat actuel est vers la sécheresse : diminution et irrégularité des précipitations depuis presque deux décennies et le problème de la qualité de l'eau souterraine constamment menacée dans la région par les conséquences d'une agriculture productiviste et des effluents industriels et urbains, rendent la tâche de satisfaire ces multiples besoins en eau de plus en plus délicat.

I.2.1- Potentiels humains

D'après le dernier recensement général de la population et de l'habitat effectué en 2002, la population total de la wilaya de Tizi-Ouzou est estimée à 1212600 habitants répartis sur l'ensemble du territoire d'étude avec un taux de 67,30% soit 868.600 habitants dans les zones rurales et 32,70% soit 34.400 habitants dans les zones urbaines. La ville de Tizi-Ouzou, chef lieu de la wilaya située au cœur la plaine du Sébaou, est le lieu privilégié d'une forte concentration humaine en raison de la disponibilité des infrastructures socio-économique de base.

I.2.2- Potentiels agricoles

Le système de production mis en place dans la wilaya est la polyculture à dominante arboriculture et élevage. En dépit, de son statut vital, l'agriculture ne représente pas une activité dynamique, néanmoins la région dispose d'un appréciable potentiel agricole. La surface agricole totale est de 203227ha, répartie de façon inégale dans la région, cependant la majorité des terres fertiles et irriguées se localisent dans la plaine soit 5000 ha, où se développent les cultures maraîchères, qui nécessitent une quantité énorme d'engrais chimiques et de fertilisants que les sources en eau considérables. Quand aux zones montagneuses les terres agricoles disponibles sont très morcelées et reposent sur des sols pauvres, dénudés et ravinés ce qui les limitent principalement à l'arboriculture (Olivier, figuiers.....)

Pour ce qui est la production animale, l'élevage ovin prédomine avec 50% des effectifs, notons que les petits élevages, comme l'aviculture et l'apiculture, sont les plus indiqués pour la région, en raison de son relief accidenté et l'exiguïté des exploitations.

I.2.3- Potentiels industriels

Le tissu industriel existant dans la région d'étude est situé principalement sur l'axe Draa Ben Khedda, Azazga, où enregistre plusieurs unités agro-industrielles et agroalimentaire et agroindustrielles telle que l'ORLAC, ENIEM, des limonaderies ainsi que 528 huileries qui se parsèment sur toute la région.

I.2.4- Activité extractive

Cette activité est fortement sollicitée dans la vallée du Sébaou. Plusieurs sablières sont mises en œuvre sur le lit de l'oued, notamment à proximité des ouvrages de captages exploitants le sable et le TVO (tout venant de l'oued). Ces extractions sont autant profondes et anarchiques qu'elles portent préjudice à la nappe alluviale et rendent celle-ci vulnérable à la pollution par les eaux usées.

I.2.5- Les infrastructures hydrauliques

Le secteur d'étude dispose d'un potentiel hydrique non négligeable dont le principal est le barrage de Taksebt. Ce dernier est implanté sur l'oued Aissi, affluent du Sébaou situé à environ 10Km au Sud-Est de la ville de Tizi-Ouzou, aux points de coordonnées Lambert suivants :

$$X = 627.000Km, \quad Y = 376.100Km, \quad Z = 95.5m.$$

Sur les territoires ruraux des communes d'Irdjen, Larbaâ Nath Irathen, Beni Aissi, Beni Douala et Ait Mahmoud, le barrage de Taksebt représente une importante ressource superficielle, sa capacité est de 175 millions de m³ permettant une régularisation de 180 millions de m³ destinées à l'alimentation en eau potable dont :

- 57 millions de m³ pour la wilaya de Tizi-Ouzou.
- 123 millions de m³ pour la wilaya d'Alger.

CHAPITRE II :

ETUDE GEOMORPHOLOGIQUE

II.1- Introduction

La climatologie, l'hydrologie de surface et souterraine sont étroitement tributaires des caractéristiques physiques, morphologiques de reliefs et morphométriques des bassins versants. Aussi, il apparaît nécessaire voire indispensable de quantifier ces paramètres.

II.2.- Les grands ensembles morphologiques

Le paysage de la région d'étude est diversifié, caractérisé par un relief montagneux très accidenté. Les chapelets de surélévations rudes et accentuées apparaissent dans toute la région.

Le grand bassin versant du Sébaou est limité au Nord par la chaîne littorale et au Sud par le massif Kabyle. Cette double masse surélevée délimite un couloir étroit d'orientation générale Est-ouest, formant la vallée de l'oued Sébaou, qui s'étend d'Azazga à l'est jusqu'au Dellys à l'Ouest.

Nous distinguons trois (03) unités morphostructurales nettement différenciées (Fig n°2):

II.2.1- La chaîne du Djurdjura

Elle fait partie de la dorsale calcaire des Maghribides, délimite au sud notre domaine d'étude et représenté par un ensemble morphologique très compétant d'âge secondaire et tertiaire, formant des escarpements considérables, dont les points les plus culminants atteignent 2308m à Lala Khadîdja et 2305m à Ras Timedouine.

II.2.2- Le socle kabyle

Constitue le relief intermédiaire qui fait l'union entre le synclinale de Tizi-Ouzou au Nord et la chaîne du Djurdjura au sud. La chaîne littorale surplombant la plaine alluviale au nord, culmine des altitudes de 600m à l'Ouest et 1278m à l'Est (Dj. Tamgout).

Cet ensemble morphologique est caractérisé par des formations plus ou moins tendres et compartimentées d'âges récents ou anciens. C'est là qu'on voit se succéder les différents types d'érosion, allant du plus simple (ravinement plus simple) au plus complexe (mouvement de masse, éboulement, glissements).

II.2.3- Le synclinal de Tizi-Ouzou

C'est le seul matériel autochtone dans la région, représenté essentiellement par les grès et les marnes du miocène "Post-nappe" (M. Ben Hassaine, 1980).

Dans sa partie médiane, s'allonge une série de chaînons de socle aligné, que l'oued Sébaou traverse orthogonalement, il s'agit de :

- Massif de Naciria ;
- Massif de Draâ Karouche ;
- Sidi-Ali Bounab, Belloua et massif de Aïssa Mimoun.

Et à l'intérieur de cette cuvette, s'étale la plaine alluviale du Sébaou, qui se présente sous forme d'une bande étroite à fond plat orienté E-W, constituée d'un remplissage alluvionnaire d'âge quaternaire.

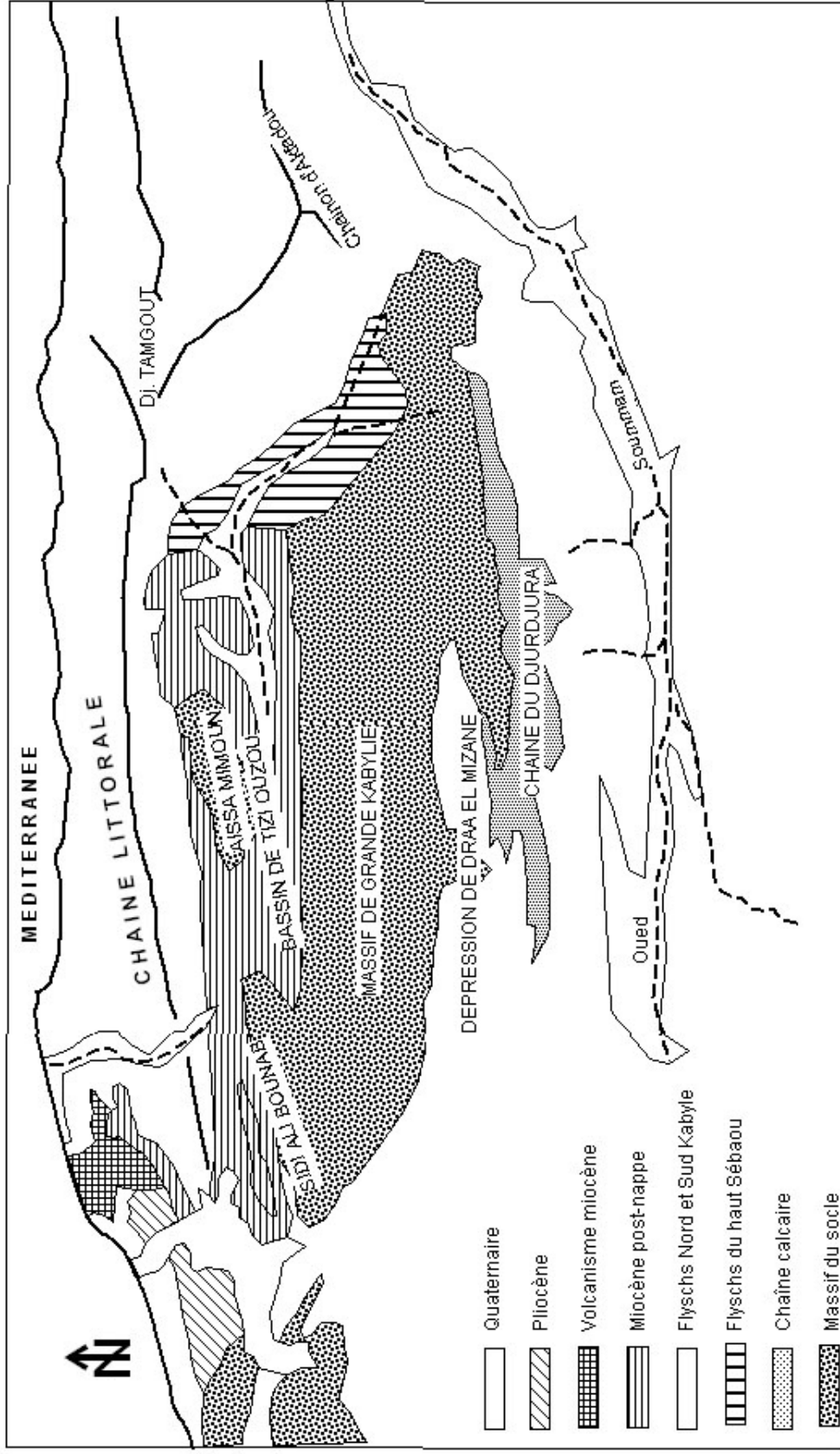


Fig.N° 02 : Les grandes unités morphostructurales de la grande Kabylie (M. Benhassaine, 1980)

II.3- Lithologie

La perméabilité du sol et de sous-sol d'un bassin versant est liée à la nature géologique qui conditionnera l'infiltration, le ruissellement ainsi que l'évaporation.

Mise à part les formations perméables de la chaîne calcaire de la plaine alluviale de l'oued Sébaou, les autres formations telles que celles du socle Kabyle, de Miocène post nappe et des flyschs qui occupent la majeure partie de la surface du bassin versant, sont généralement "imperméables".

II.4- Le couvert végétal

Le couvert végétal joue un rôle extrêmement important, dans la protection des sols contre l'érosion par son action atténuante des crues et des averses particulières, en réduisant et en freinant le ruissellement superficiel.

La végétation de la région d'étude est de type méditerranéen, caractérisée dans son ensemble par trois étages bioclimatiques bien distincts :

Les **cultures** : elles sont concentrées dans les plains et représentées par l'arboriculture et les superbes champs des cultures maraîchères, aux quelles s'ajoutent laurier rose et le roseau dominant les zones incultes et inondables.

Les **maquis** : caractérisant en particulier les zones intermédiaires, constitués essentiellement de très denses champs d'oliviers et de petites parcelles de figuiers (îlot de Aissa Mimoun) et par quelque peuplement de chêne liège (la chaîne littorale) et de chêne vert, complétés par une végétation arbustive assez basse qui reflète l'état de dégradation de la végétation dans la région.

Les **forêts** : occupant les zones montagneuses et représentées généralement par le chêne vert, le chêne liège et le pin d'Alpe.

Malgré sa diversification, le couvert végétal de notre région d'étude demeure très dégradé et n'occupe que 19% (soit 55.025 ha) de la surface totale. Cette dégradation due indubitablement à l'activité humaine (défrichements, coupes, incendies...) expose la région à une forte érosion et une déperdition accélérée des sols fertiles surtout en haute montagne.

II.5- Réseau hydrographique

Le bassin versant de Sébaou, présente un réseau hydrographique très développé en forme de patte d'oie, très ondulé et fortement ramifié notamment en rive gauche où le réseau hydrographique est hiérarchisé et nous y dénombrons des talwegs d'ordre 4 (selon la classification d'Horton) (Fig.3). De ce fait, le drainage dans cette région est très dense et s'effectue par une multitude d'oueds plus ou moins longs, dont les principaux sont :

- *En rive droite* : L'oued Dis est le torrent le plus important, provient de la chaîne littorale et s'étend sur une quinzaine de Kilomètres. Il prend sa source au Djebel Tamgout qui culmine (1278m) et débouche dans l'oued Sébaou juste après le premier coude majeur de celui-ci au niveau de Fréha.
- *En rive gauche* : l'oued Bougdoura, l'oued Aissi et l'oued Boubhir en amont sont les principaux affluents de l'oued Sébaou, qui prennent leur source dans la chaîne du Djurdjura, au sud du bassin versant, à des altitudes variant de 1900 à 2000m.

La confluence de ces affluents qui s'écoulent de part et d'autre de la montagne, forme l'oued Sébaou qui traverse une plaine étroite mais très allongée sur une longueur de 110Km. Depuis sa naissance à l'est (Djurdjura) jusqu'à l'embouchure à la mer méditerranée, l'oued Sébaou s'allonge sous trois formes de direction :

- *Dans la partie amont* : l'oued suit une direction SSE-NNW jusqu'à un coude majeur, situé à Fréha.

- Dans la partie médiane : l'oued prend une direction E-W dans le synclinal Miocène de Tizi-Ouzou.
- Dans la partie aval : l'écoulement de l'oued Sébaou s'allonge à nouveau selon une direction SSE-NNW, parallèlement à la section amont débouchant vers la mer au niveau de Takdempt.

II.6- Les paramètres physiques et géomorphologiques du bassin versant du Sébaou

La morphométrie du bassin fait partie des facteurs permanents, leur variation influe sur les modalités des écoulements superficiels et leur analyse permettra une meilleure compréhension des causes de variation des régimes hydrogéologiques.

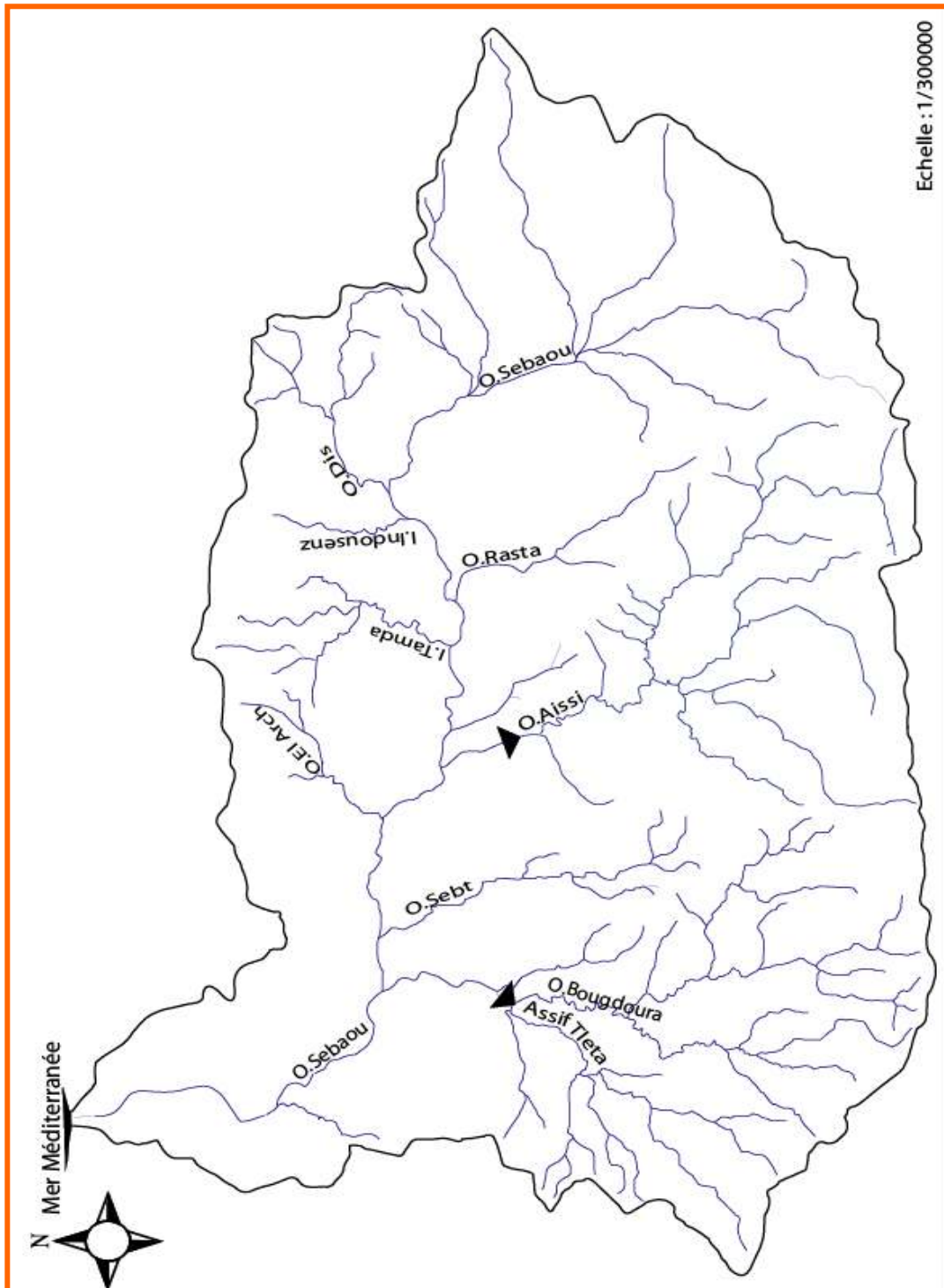


Figure N°8 : Réseau hydrographique du bassin versant du Sébaou

II.6.1- Paramètres géométriques

Le bassin versant de la vallée de Sébaou (code 02 au répertoire de l'ANRH) couvre une superficie de 2500 Km² avec un périmètre de 250.4Km, subdivisé en 06 sous bassins réparties de façon inégale sur le Haut, Moyen et le Bas Sébaou (Fig. n°04). Cette répartition est représentée dans le tableau suivant :

	Code des sousbassins versants de Sébaou	Superficie en Km ²	Périmètre en Km
Haut Sébaou	02-15	532	102.4
	02-16	432	112
	02-17	468	98.6
Moyen Sébaou	02-18	304	82
	02-19	544	94.2
Bas Sébaou	02-20	220	62.6

Tableau n°01 : Répartition des superficies par sous bassin

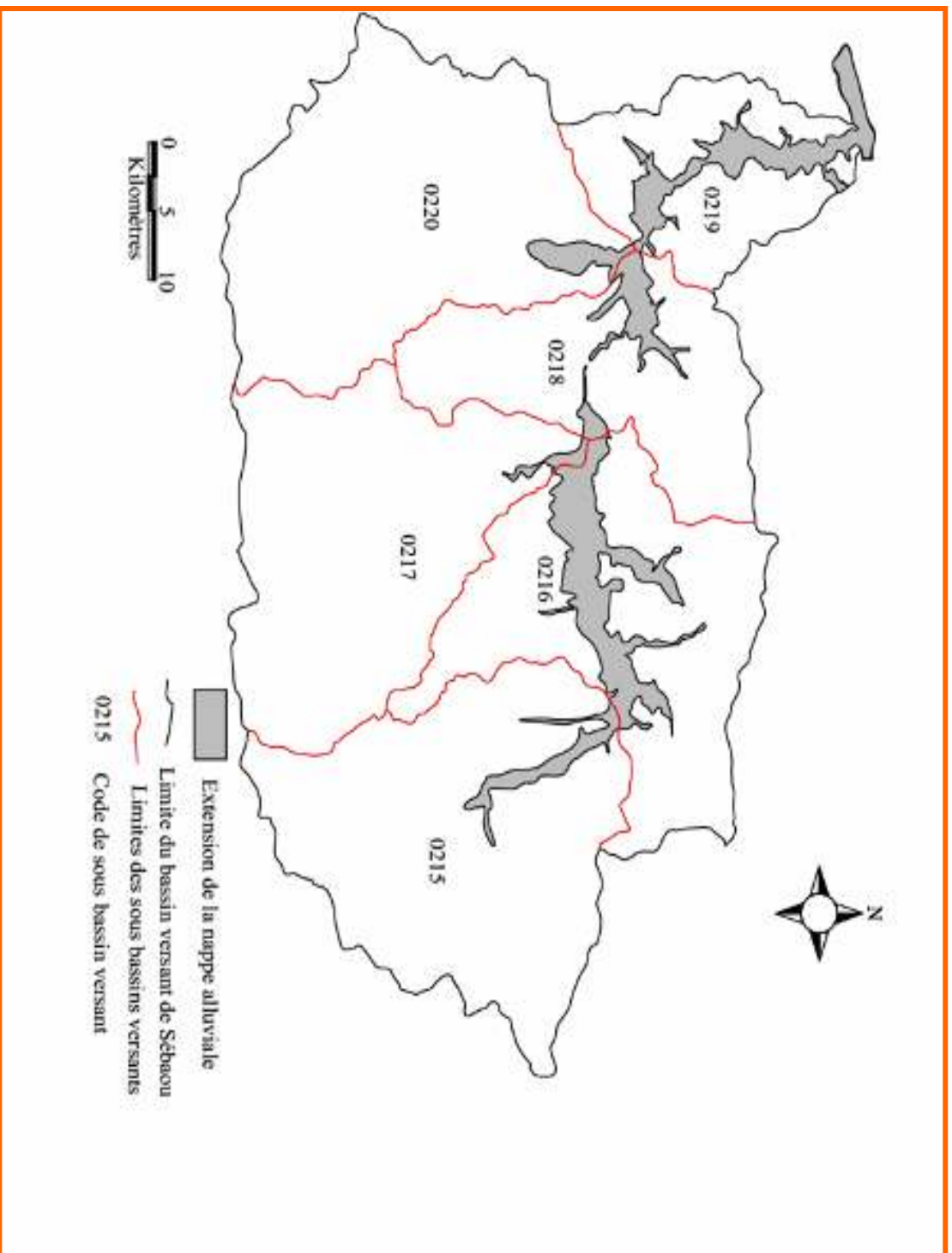
II.6.2- Les paramètres de relief

Courbe hypsométrique : cette courbe a été établie sur la base des données statistiques du tableau ci-dessous. Qui représente la répartition altimétrique par tranche de 100 m d'altitude pour tout le bassin versant du Sébaou.

Classes d'altitude (m)	Moyennes des classes (hi)	Nombre de points d'altitude (ai)	ai. hi	ai cumulé	% surfaces cumulées
0-100	50	16	800	164	100
101-200	150	17	2550	148	90.24
201-300	250	25	6250	131	79.87
301-400	350	24	8400	106	64.63
401-500	450	20	9000	82	50.00
501-600	550	12	6600	62	37.80
601-700	650	11	7150	50	30.48
701-800	750	6	4500	39	23.78
801-900	850	10	8500	33	20.12
901-1000	950	5	4750	23	14.02
1001-1100	1050	4	4200	18	10.97
1101-1200	1150	3	3450	14	8.53
1201-1300	1250	5	6250	11	6.70
1301-1400	1350	1	1350	6	3.63
1401-1500	1450	1	1450	5	3.04
1501-1600	1550	3	4650	4	2.43
1601-1700	1650	1	1600	1	0.60
			$\Sigma ai=164$	$\Sigma ai.hi=$ 81500	

Tableau n°02 : Altitudes moyennes

Figure n°09 : les sous bassins versant du sébaou



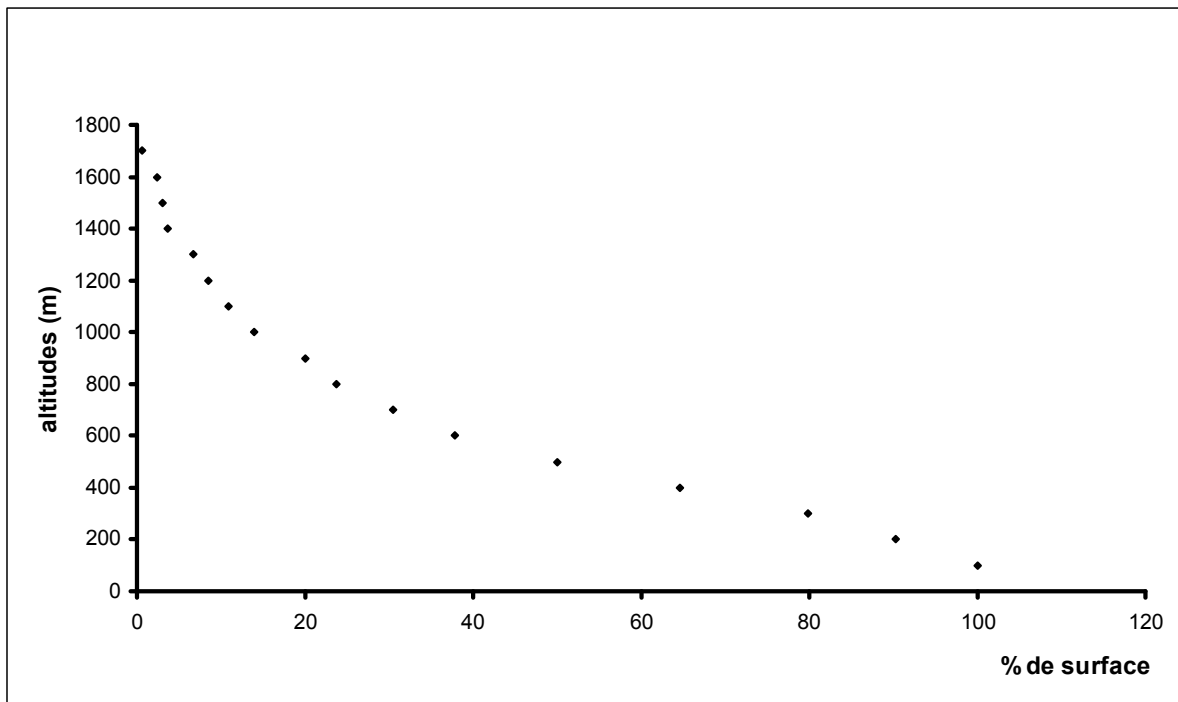


Figure n°10: Courbe hypsométrique du Sébaou d'après (B.Akpamoli)

L'altitude moyenne :

$$H = \frac{\sum ai \times hi}{\sum ai}$$

Le tracé de la courbe hypsométrique nous a permis d'estimer les altitudes caractéristiques reportées dans le tableau ci-après :

Altitude de fréquence (H5%)	Altitude de fréquence (H95%)	Altitude de fréquence (H50%)	Altitude maximale (m)	Altitude minimale (m)	Altitude moyenne (m)
1300	150	440	1650	50	497

Tableau n°03 : Altitudes caractéristiques

Le tableau n°05 montre, que les basses altitudes dans le Sébaou sont prédominantes, du fait que l'altitude de fréquence 1/2 et l'altitude moyenne présentent des valeurs rapprochées.

II.6.3- Les paramètres de forme

II.6.3.1- Indice de compacité de Gravelius (K_C)

La forme allongée ou ramassée d'un bassin versant est caractérisée par cet indice, il est exprimé par la formule suivante :

$$Kc = \frac{0.28 P}{\sqrt{A}} \text{ Avec :}$$

P : périmètre du bassin (Km)

A : surface (Km²)

Les valeurs de K_C pour l'ensemble du bassin versant de Sébaou ainsi pour ces sous

bassins, sont mentionnées dans le tableau suivant :

Bassin versant		Périmètre (Km)	Surface (Km ²)	Kc
Haut Sébaou	02-15	102.4	532	1.24
	02-16	112	432	1.50
	02-17	98.6	468	1.27
Moyen Sébaou	02-18	82	304	1.31
	02-19	94.2	544	1.13
Bas Sébaou	02-20	62.6	220	1.18
Le grand bassin		250.4	2500	1.40

Tableau n°04 : Paramètres de forme (Source ANRH)

Les valeurs de Kc, aussi bien pour le grand bassin, que pour ces sous bassins sont supérieur à l'unité, suggérant à priori une forme allongée pour l'ensemble, donc la concentration des eaux à l'exutoire se fait lentement, ce qui favorise l'infiltration sur le ruissellement.

II.6.3.2. Dimensions du rectangle équivalent

Le principe consiste à dimensionner un bassin fictif de forme rectangulaire, ayant les mêmes paramètres de forme que le bassin considéré, la détermination des dimensions du rectangle équivalent s'effectue par la formule empirique suivante :

$$L = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.22} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right]$$

$$l = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.22} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right]$$

L : longueur du rectangle équivalent (Km)

I : largeur du rectangle équivalent (Km)

Pour Kc = 1.40 et A = 2500 Km²

$$L = 100\text{Km} \quad \text{et} \quad l = 25\text{Km}$$

II.6.3.3- Indice de pente globale (Ig)

$$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L}$$

Avec :

H5% : altitude de fréquence 1/4 = 1300

H95% : altitude de fréquence 3/4 = 150

L : longueur du rectangle équivalent = 100 m

Pour ces données on a : Ig = 1.15%

II.7- Conclusion

Le bassin versant de l'oued Sébaou est de forme allongée, de direction E.W, il couvre une superficie de 2500 km², dont l'altitude moyenne est de 504m.

La nappe alluviale représente environ 36% de la surface totale du bassin, dont l'altitude est inférieure à 200 m.

Les différents paramètres morphologiques du bassin versant du Sébaou sont récapitulés dans le tableau suivant :

Paramètres morphologiques	Valeurs
Surface	2500 km ²
Périmètre	240km
Longueur	93Km
Largeur	27Km
Altitude maximale	2305m
Altitude moyenne	504m
Altitude de fréquence ½	510m
Altitude la plus fréquente	300m
Indice de compacité de Gravelius	1,40
Indice de pente globale (Ig)	1,15 %

Tableau 05 : Les paramètres morphologiques du bassin versant du Sébaou
(Source ANRH de Tizi-Ouzou).

CHAPITRE III :

ETUDE HYDROLOGIQUE

III.1- Introduction

Dans le présent chapitre, nous analyserons les paramètres climatologiques. Les objectifs majeurs de notre étude étant de rechercher et d'évaluer l'ensemble des éléments climatologiques et aussi la manière dont les différents composants du climat se comportent l'un par rapport à l'autre.

Pour mieux caractériser le régime climatique dans la région d'étude, nous avons choisi quatre stations climatiques, systématiquement sur la surface du bassin versant (figure N°06), couvrant une période de 30ans (1972-2002), les différentes caractéristiques relatives à ces stations sont regroupées dans le tableau n°01.

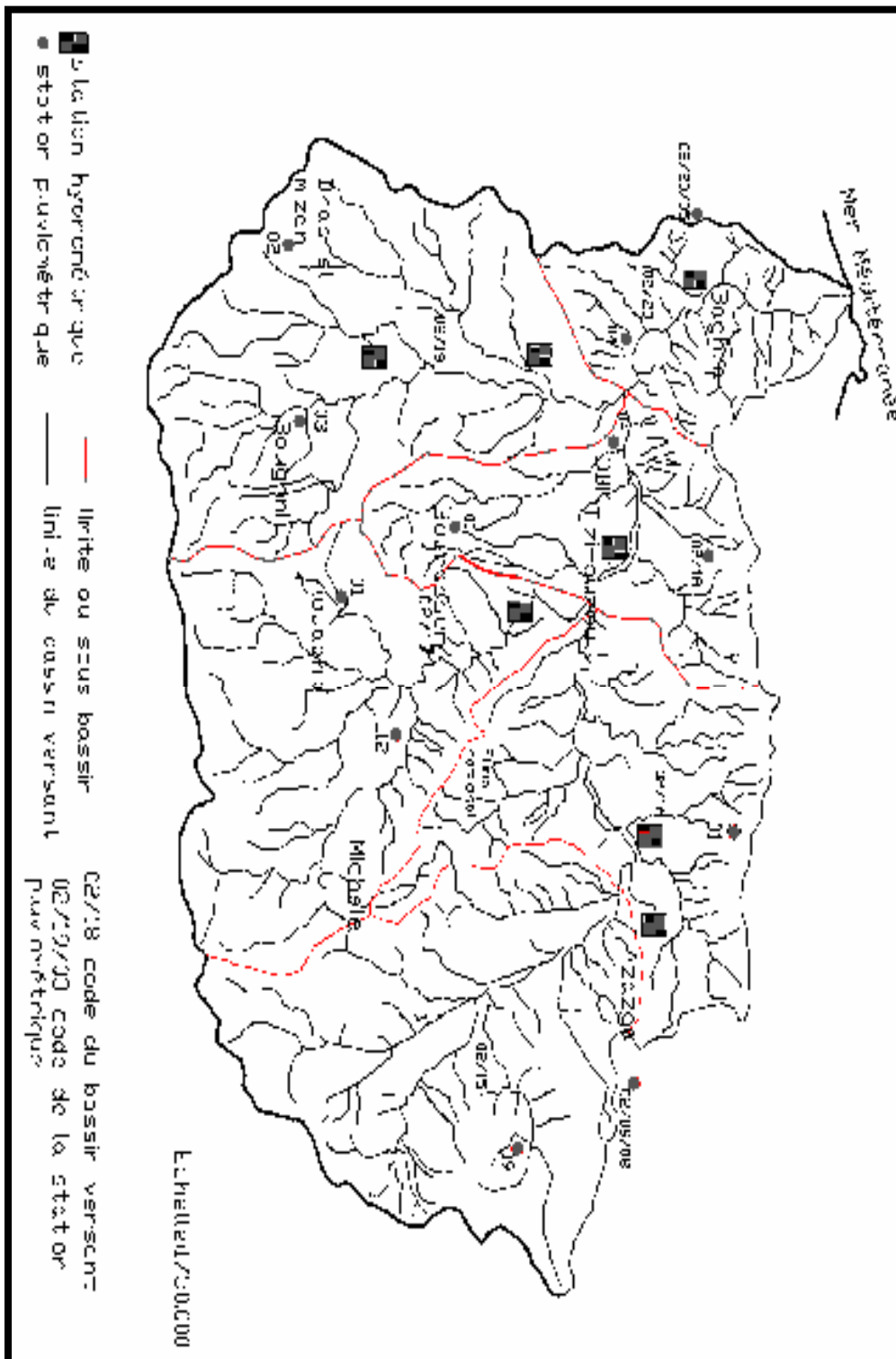
Bien que le nombre et la répartition de ces stations paraissent, à première vue, satisfaisantes pour mener une étude climatique sérieuse et bien définie. La réalité est autre car les informations que fournissent ces stations sont incomplètes pour la période d'observation considérée, exception faite pour les précipitations.

En raison des lacunes que comporte certains de ces stations climatiques, on s'est retrouvé contraint de nous référer aux données antérieures élaborées par P.SELTZER (1913-1983).

Station pluviométrie	Code (ANRH)	Coordonnées		Altitudes (m)	Période de fonctionnement
		X	Y		
Azazga école	02-15-04	449.4	384	430	1970-actuel
Ain El Hammam	02-17-03	644.15	364.5	1200	1971-actuel
Draâ El Mizan	02-19-02	601.5	360.15	460	1970-actuel
Baghlia ville	02-20-02	603.5	391.15	30	1968-actuel

Tableau n°06: Caractéristiques des stations pluviométriques utilisées. (ANRH Blida)

Figure N°11 : répartition des stations pluviométriques et hydrométriques dans le bassin versant du sébaou



III.2- Analyse des paramètres climatiques

III.2.1- Les précipitations

Les précipitations constituent la composante fondamentale de l'hydrologie et la connaissance de cet apport d'eau au sol est essentiel pour appréhender l'état des réserves en eau du sol, la recharge des nappes et le régime des cours d'eau.

Le bassin du Sébaou reçoit, en général, deux formes de précipitation bien distinctes :

- La première est la pluie, la forme la plus répandue dans tout le bassin ;
- La seconde est la neige, la forme la plus localisée dans le temps et dans l'espace, elle se produit principalement sur les reliefs montagneux du Djurdjura au sud, la chaîne littorale au nord.

L'utilité avantageuse de la neige apparaît surtout dans l'écoulement, elle le ralentit relativement et laisse le sol s'imbibber d'une façon continue et donc l'eau à largement le temps de s'infiltrer.

Malgré cet intérêt indéniable qu'apporte aux ressources en eau, la neige reste le facteur le moins étudié dans le bassin du Sébaou en l'absence de station d'observation appropriée en hautes montagnes (pluviomètre totaliseur).

III.2.1.1- Variation des précipitations

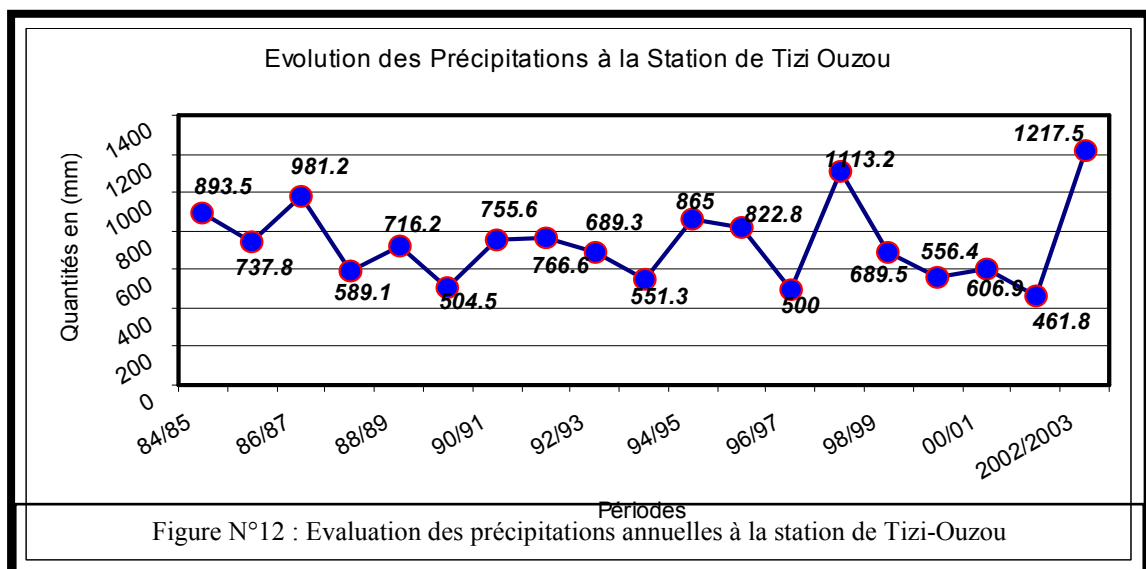
Le bassin versant de l'oued Sébaou possède un réseau pluviométrique très dense (26 stations), les données anciennes sont parfois manquantes, selon les stations.

a) *variation annuelle* :

La figure n°11, nous montre l'évolution des précipitations en dents de scie à la station de Tizi-Ouzou, durant la période allant de 1984/1985 à 2002/2003, nous constatons que depuis l'année hydrologique 1988/1999, les apports en quantité de pluie annuelle ne cessent pas de diminuer, elle s'échelonne de 1113.2mm en 1997/1998 jusqu'à 461.8 mm en 2001/2002.

Au cours de l'année 2002/2003, il y a eu une nette augmentation des précipitations qui ont atteint 1217.5 mm à la station de Tizi Ouzou.

La moyenne annuelle enregistrée à l'échelle du bassin versant de l'oued Sébaou, pour la période 2002/2003 est de 1321.5 mm, ceci dépasse largement la moyenne annuelle des années précédentes, ce qui est exceptionnel. Les données pluviométriques sont consignées dans le tableau en annexe.



Sur un autre plan, le diagramme de la figure n°12 établit à partir des données pluviométriques enregistrées au niveau des stations Azazga, Tizi-Ouzou, Baghlia, Beni Yenni et

Yakouren, N'Boubhir montre que les variations interannuelles des précipitations durant la période s'étalant depuis 1980/1981 à 2004/2005 sont assez concordantes.

Année	TIZI-OUZOU	BENI YENNI	BAGHLIA	AZAZGA	TN'BOUHIR	TIGHZERT
1980/1981		1037	763.5	930.8	930.7	1249.1
1981/1982		914.3	597.2	894.2	956.3	1042.5
1982/1983		777.1	688.9	865.5	1040.9	1077.1
1983/1984		885.6	550.3	926.1	909.3	1209.6
1984/1985	893.5	1008.6	799.1	1237.1	1155.8	1360.5
1985/1986	727.8	868.5	751.1	930.7	897.8	1144.6
1986/1987	981.2	1030	769.1	1106	1201.6	1342.4
1987/1988	589.7	691.6	606.3	689	790.1	829.4
1988/1989	715.2	765.2	658.6	819.2	926.2	890.3
1989/1990	504.5	521.5	523.6	542.9	665.9	719.8
1990/1991	755.6	841.8	725.1	826.9	913.2	1163.2
1991/1992	759.7	725.6	766.1	805	908.5	1014.6
1992/1993	689.3	710.8	679.6	867.7	925.1	1033.2
1993/1994	549.7	614.9	516.6	679	785.3	805.4
1994/1995	857.5	886.9	733.7	973.8	1135.2	1173.6
1995/1996	823.1	883.4	767.1	1093.6	1133.7	1174.3
1996/1997	500	505.5	499.6	591.8	707.7	696
1997/1998	1111.4	1177.2	1031.2	1317.9	1237.2	1663
1998/1999	661.3	765	737.7	855.3	774.8	988.7
1999/2000	555.6	614.3	568.6	780.6	520	831.6
2000/2001	602.9	758	620.7	826.6	808.9	961.1
2001/2002	520.7	479.6	446.9	521	628.9	634.6
2002/2003	1217.5	1417.2	1108.4	1537.4	1359.9	1700.1
2003/2004	865.6	818.8	846.1	1039.6		1209.5
2004/2005	758.1	879.5	713.6	987.2	883.8	1066.9

Tableau n°07: précipitations moyennes annuelles

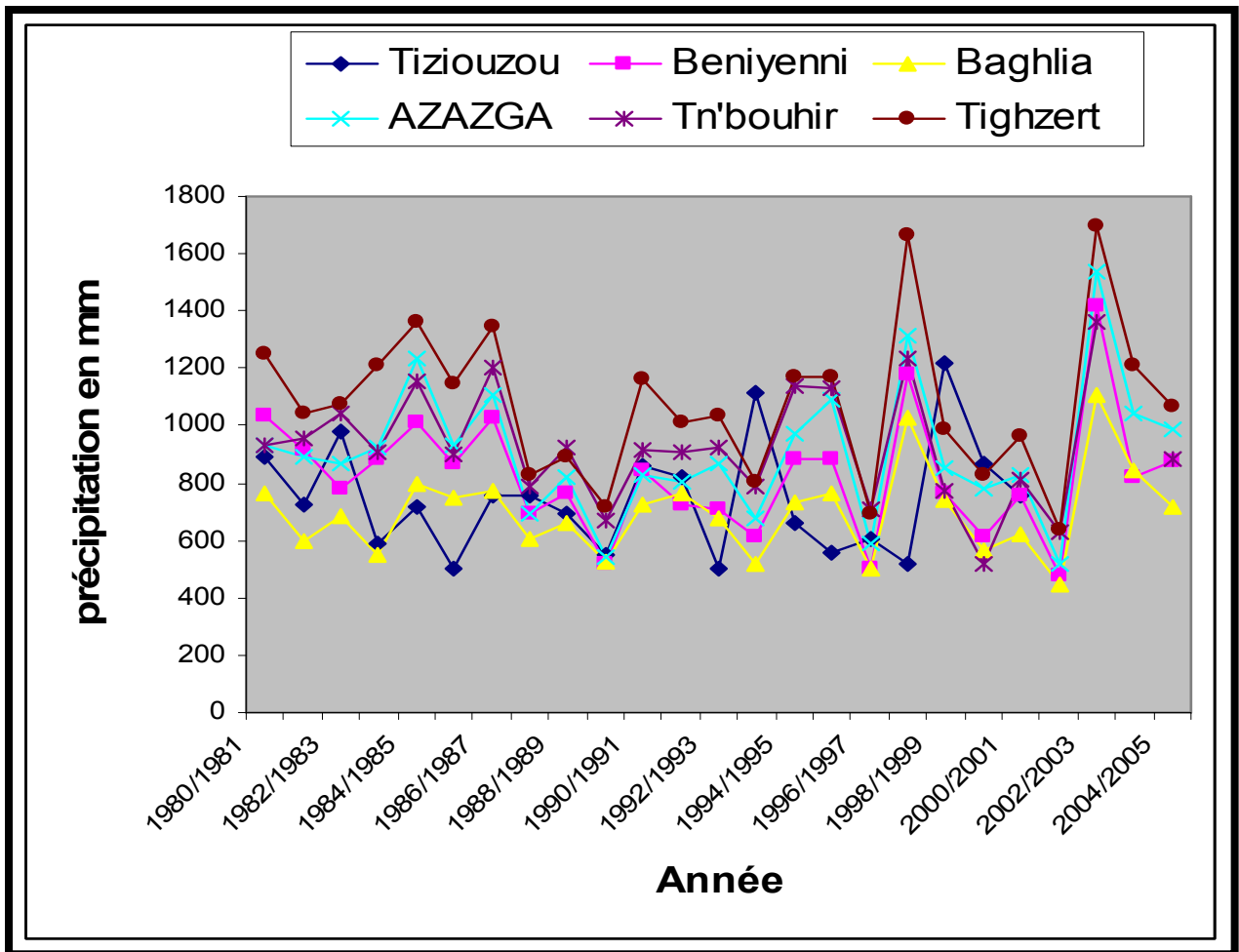


Figure N°13 : Evaluation des précipitations annuelles à différentes stations

b) *Variation mensuelle* : Le bassin versant de la grande Kabylie, jouie d'un climat méditerranéen, dont on distingue deux périodes à savoir, une période sèche allant du mois de mai au mois de septembre et une période humide allant du mois d'octobre au mois d'avril. L'évolution des précipitations à la station de Tizi-Ouzou montre bien ces deux périodes durant l'année 2002/2003. (Figure n°13)

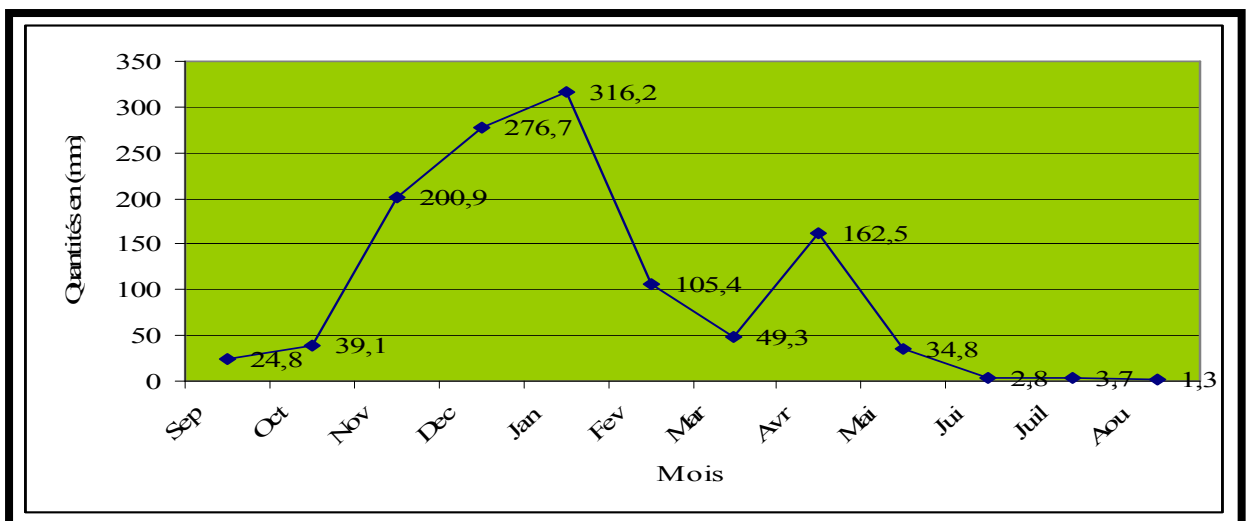


Figure n°14 : Précipitation moyen annuelle.

Les hauteurs moyennes des précipitations mensuelles enregistrées au niveau du bassin versant du Sébaou durant la période (1980-2005), pour les stations d'observation de Ain El Hammam, Azazga, Draa El Mizane, Baghlia village sont reportées dans le tableau n°08.

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	O	Année
Ain El Hammam	41.84	82.70	127.16	162.32	118.92	148.61	158.82	117.84	72.19	21.79	5.02	14.99	1072.2
Azazga	44.04	77.11	101.16	164.09	132.58	118.78	105.29	82.63	54.43	11.82	5.36	6.60	902.27
Draa El Mizan	36.11	55.12	39.40	103.57	88.44	90.35	55.37	51.93	6.30	9.43	3.64	9.57	550
Baghlia	35.85	65	99.68	118.15	96.79	99.92	75.70	68.05	43.32	9.03	3.42	8.24	724.75

Tableau n°8 : Précipitation moyennes mensuelles annuelles (1980-2005)

Les résultats des quatre stations, marquées dans le tableau ci-dessus, confirment les résultats de la station de Tizi-Ouzou donc les précipitations sont réparties sur deux saisons :

- Une saison pluvieuse humide s'étalant du mois d'octobre à avril avec un maximum enregistré au mois de décembre.
- Une saison sèche s'étalant du mois de mai au mois de septembre. (Figure N°09)

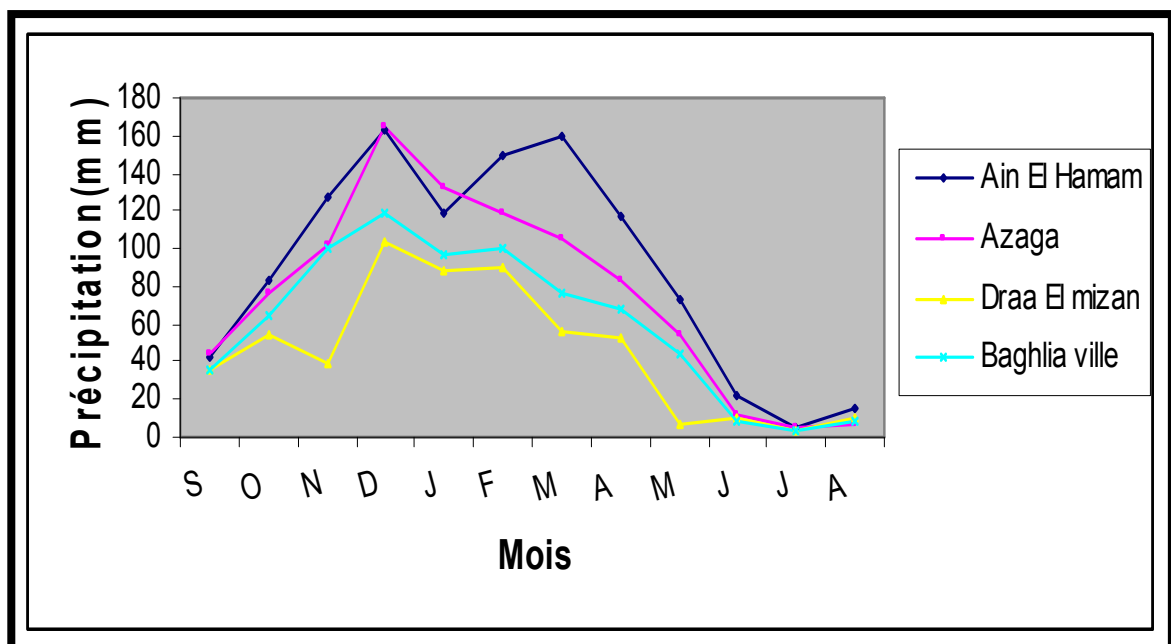


Figure N° 15: précipitations moyennes mensuelles des stations pluviométriques (1980/2005)

Le graphe de la figure n°09, montre que l'évolution saisonnière des précipitations est similaire dans toutes les stations. Toutefois, nous constatons que la région la plus arrosée est celle de Ain El Hammam avec une moyenne annuelle de 1062.2mm, cela peut s'expliquer par sa position très élevée par rapport aux autres stations d'une part et l'influence maritime d'autre part.

En revanche, la station de Draa El Mizane, qui est relativement loin de la mer, reçoit le minimum de pluie soit une lame d'eau précipitée de 550mm par an.

III.2.2- Température

Les températures conditionnent le déficit d'écoulement ainsi que son estimation et encore jouent un rôle dans le processus de condensation et d'évaporation de l'eau.

C'est pourquoi, ces études sont nécessaires dans le cadre de l'établissement du bilan hydrologique et la détermination du caractère climatique d'une région.

Pour une meilleure approche de ce paramètre, nous avons considéré les anciennes données de la série de P. Selzer (1913-1938) et les plus récentes de la station de Tizi-Ouzou (1968-2002) dans le but d'établir une comparaison.

III.2.2.1- Les données anciennes (1913-1938)

Les données de cette période sont relevées au niveau des stations de Tizi-ouzou, Ain El Hammam, Larbaa, Nath Irathen et Aghribs.

	Larabaa Neth Irathen	Aghrib	Ain El Hammam	Tizi-Ozou
Septembre	21.40	21.60	21.40	25.00
Octobre	15.90	17.10	16.20	19.50
Novembre	11.00	12.05	10.80	14.30
Décembre	7.00	8.40	7.00	10.50
Janvier	6.40	7.60	6.20	9.00
Février	7.40	8.40	7.00	11.20
Mars	9.40	10.20	9.00	13.00
Avril	12.50	12.70	11.60	15.20
Mai	16.70	16.30	15.30	18.90
Juin	20.40	20.00	19.80	23.00
Juillet	24.90	23.70	25.00	27.20
Août	26.60	24.60	25.60	27.70
Année	14.97	15.22	14.58	17.89

Tableau n°9 : Température moyennes mensuelles (P.Seltzer 1913/1938).

La comparaison des températures moyennes annuel mensuel tableau n°09 des différentes stations montre une concordance :

- Une décroissance rapide de Septembre à Janvier ;
- Une croissance modérée et régulière de Janvier à Août ;
- Les mois les plus froids sont par ordres : Janvier, Décembre et Février ;
- Les mois les plus chauds sont par ordre : Août, Juillet et Septembre ;
- L'écart de la température moyenne entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud est selon la station :
 - Tizi-Ouzou 18.7°C.
 - Aghrib 17°C.
 - Ain El Hammam 18.6°C.
 - Larbaâ Nath Irathen 19.6°C.

III.2.2.2- Les données récentes (1968-2002)

Les seules données mises à notre disposition au niveau de l'ONM, sont celles mesurée à la station de Tizi-Ouzou pour la période 1968-2002.

La présentation de ces mesures est mentionnée dans le tableau ci-dessus :

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Année
T° (C°)	24.23	19.13	14.67	10.95	10.05	10.63	12.21	13.90	17.63	22.46	25.51	26.16	17.30

Tableau n°10 : Températures moyennes mensuelles annuelles de la station de Tizi-Ouzou (1968-2002)

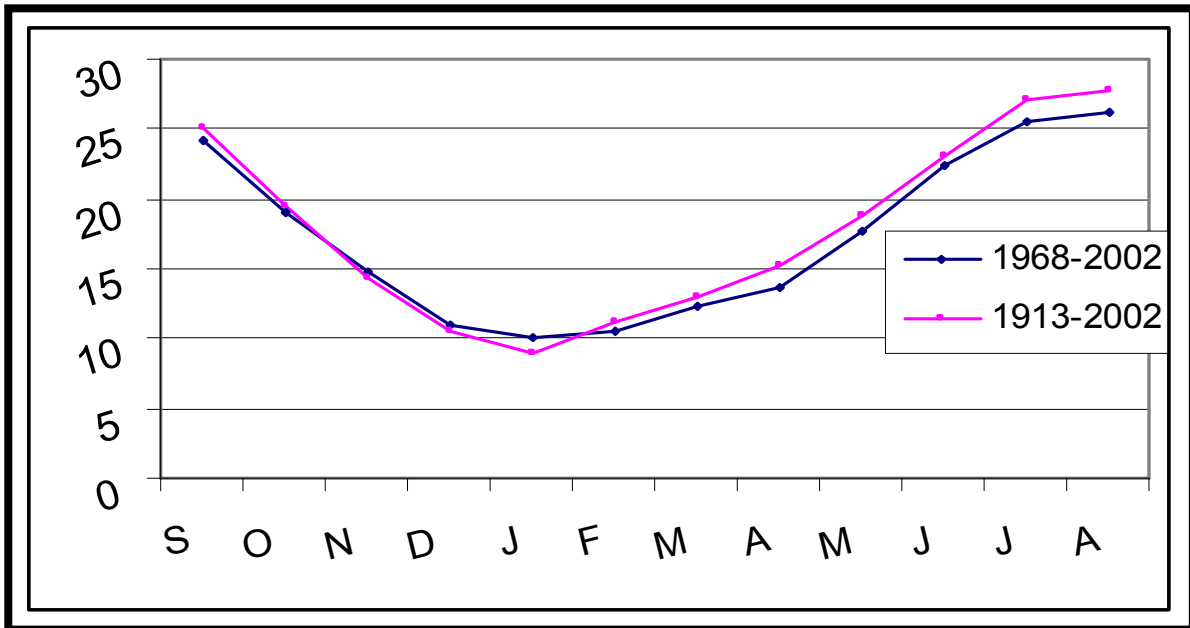


Figure N°16: Comparaison des séries anciennes (1913-1938) et récentes (1968-2002) des températures à la station de Tizi-Ouzou

La figure n°16 montre qu'au niveau de la station de Tizi-Ouzou, Il n y a pas une différence caractéristique entre la série ancienne (1913-1938) et la série récente (1968-2002).

La moyenne arithmétique des températures moyennes annuelles relatives aux deux périodes (anciennes et récentes) donne une température moyenne de 17°C.

III.2.3- Régime climatique

De Martonne (1923), partant de la notion empirique d'aridité, a conçu un indice caractérisé par la formule suivante :

$$A = \frac{P_i}{\theta + 10} \quad \text{Avec :}$$

P_i : précipitation moyenne en mm ; θ : Température moyenne en(C°);

A : indice de Marthone ;

Les valeurs de l'indice de Marthone permettent de correspondre à chaque région un étage bioclimatique. On distingue, ainsi, les cas suivants :

- $A < 5$, correspond à une période aride ;
- $5 < A < 20$, correspond à une période semi aride ;

- $20 < A < 30$, correspond à une période tempérée ;

Les résultats mentionnés dans le tableau N°III-6 montre, à l'échelle mensuelle, l'existence de deux périodes :

- Une période tempérée (décembre, janvier, février et mars) ;
- Une période aride (juin, juillet, et août) ;

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
T(C°)	25.00	19.50	14.30	10.50	9.70	11.15	13.00	15.20	18.20	23.00	27.15	27.7	17.87
P(mm)	32.10	57.90	87.70	120.30	97.50	96.80	91.20	69.70	37.60	10.60	4.80	7.90	714.10
A	11.01	23.55	43.31	70.42	59.39	54.92	47.58	33.19	16.00	3.85	1.5	2.51	25.63

Tableau n°11 : Valeur de l'indice de Marthone (station de Tizi-Ouzou).

III.2.3.1- L'humidité relative de l'air

L'humidité relative de l'air est le rapport, exprimé en %, de la tension de vapeur d'eau à la tension de vapeur d'eau saturante, c'est un élément atmosphérique très important puisqu'il donne le taux de condensation de l'atmosphère. Les seuls enregistrements disponibles pour ce paramètre sont ceux effectués à la station de Tizi-Ouzou pour une période de six ans (1989-1994) et dont les valeurs sont consignés dans le tableau ci-après :

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Humidité(%)	58	71	76	78	74	76	71	70	60	58	51	50

Tableau n°12: Moyenne mensuelle de l'humidité (1989-1994).

Le tableau ci-dessus indique une humidité relative moyenne de l'air de 66% pour la période 1989-1994. Sur un autre plan, ces résultats montrent que l'humidité de l'air est relativement faible à partir du mois de mai jusqu'au moi de septembre avec un minimum de 50% au moi d'août et sensiblement élevée du mois d'octobre jusqu'au mois d'avril, caractérisant la saison humide avec un maximum de 78% au mois de décembre.

III.2.3.2- Le vent

Le vent est l'un des éléments caractéristiques du climat régissant l'évaporation à la surface du sol et de la végétation. Les résultats des moyennes mensuelles de la vitesse du vent enregistré au niveau de la station de Tizi-Ouzou sont présentés dans le tableau n°15

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Vitesse (km/h)	1.92	1.63	1.45	1.75	1.57	1.63	1.57	1.85	2.13	2.63	2.21	2.07

Tableau n°13 : Moyenne mensuelles des vitesses des vents.

D'après les données de l'ONM on constate que les vents dans la zone d'étude sont généralement d'orientation Ouest à Sud-Ouest.

Force des vents :

Elle est estimée d'après une échelle télégraphique dont les degrés sont les suivants :

- 0 : vent calme ;
- 1-2 : vent faible ;
- 3-4: vent modéré ;
- 5-6 : vent assez fort ;
- 7-8 : vent fort ;
- 9 : vent violent ;

D'après les données disponibles, on constate que la région d'étude est caractérisée par des vents faibles.

III.2.3.3-Sirocco

La fréquence du sirocco est une des données caractéristiques du climat.

Les valeurs du tableau n°III-9 permettent de constater que la durée du sirocco est très variables, essentiellement un phénomène d'été avec cependant des fréquences relativement importantes au début de l'Automne (Septembre et Octobre).

Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Année
5.20	3.60	1.60	0.20	0.00	0.30	1.30	1.50	2.40	4.00	8.50	8.80	37.30

Tableau n°14 : Nombre moyen de jours de sirocco à la station de Tizi-Ouzou (P.seltzer ;1913/1938)

III.2.4- Etude de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration est l'une des plus importantes composantes du bilan hydrologique.

L'évapotranspiration est la restitution de l'eau sous forme de vapeur de la surface terrestre quelque soit sa nature à l'atmosphère à partir de l'eau de surface (lacs, mers,...) souterraines (nappes aquifères) et de transpiration des plantes. Ce paramètre climatique conditionne l'abondance ou la disette en eau pour la végétation.

L'évapotranspiration est un paramètre difficile à mesurer, il dépend de plusieurs paramètres facteurs variant dans le temps et dans l'espace. Les principaux paramètres qui conditionnent l'évapotranspiration sont : la température, les précipitations, l'état du sol et la végétation.

L'évapotranspiration est la combinaison de deux phénomènes :

- L'évapotranspiration potentielle (ETP) qui représente la quantité d'eau maximale qui pourrait évaporée au niveau d'un sol saturé c-ad l'évapotranspiration potentielle est employée lorsque la surface évaporante est convenablement alimentée en eau.
- L'évapotranspiration réelle (ETR) qui désigne la quantité d'eau effectivement évaporée et transpiré c-a-d l'ETR désigne l'évaporation sans tenir compte de l'abondance de l'eau de l'abondance de l'eau à la surface évaporante.

III.2.4.1- Calcul de l'évapotranspiration réelle

Des nombreux auteur ont établi des formules empiriques donnant une approximation de l'ETP à partir de paramètres climatiques facilement accessibles.

La formule THORNTHWAITE c'est une des plus anciennes formules mises au point, elle reste très employée, car sa résolution nécessite que la connaissance de la température moyenne journalière de l'air. L'évapotranspiration potentielle se calcule à partir de la relation suivante :

$$ETP = 1.6 \left(10 \frac{T}{I} \right)^a$$

$$I = \sum_1^{12} i \quad i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

$$a = (0.016 * I) + 0.5 \quad \text{avec : } T=17.30^\circ\text{c.}$$

ETP : évapotranspiration potentielle (mm).

T : Température moyenne annuel ;

I : indice thermique annuel ;

i : indice thermique mensuel ;

Les valeurs mensuelles de l'ETP ainsi calculées sont multipliées par un facteur de correction K qui tient compte à la fois du nombre de jours par mois et de la durée du jour en fonction de latitude.

Les résultats obtenus par cette méthode sont reportés sur le tableau n°17 :

AEH	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T° c	21.40	16.20	10.80	7.00	6.20	7.00	9.00	11.60	15.30	19.80	25.00	25.60
i	9.04	5.90	3.19	1.65	1.37	1.68	2.43	3.58	5.44	8.00	11.47	11.48
ETP(mm)	103.15	62.91	29.76	14.83	12.71	15.34	27.09	42.81	72.19	107.94	158.35	148.22
K	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16
ETPc	106.24	61.02	25.59	12.45	11.05	13.09	27.90	47.09	87.34	131.67	196.35	164.97
Agribs	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T° c	21.60	17.10	12.05	8.40	7.60	8.40	10.20	12.70	16.30	20.00	23.70	24.60
i	9.16	6.43	3.79	2.17	1.88	2.19	2.94	4.08	5.98	2.88	10.55	11.16
ETP(mm)	105.56	69.83	36.47	20.46	18.38	20.89	33.95	50.21	81.02	39.33	146.21	144.71
K	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16
ETPc	108.73	67.73	31.36	17.19	15.99	17.76	34.97	55.23	98.03	47.98	181.3	167.86
LNR	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T° c	21.40	15.90	11.00	7.00	6.40	7.40	9.40	12.50	16.70	20.40	24.90	26.60
i	9.00	5.76	3.28	1.65	1.45	1.79	2.58	3.79	6.18	8.37	11.37	11.82
ETP(mm)	101.88	60.36	29.77	14.22	12.94	15.72	27.81	4.26	80.95	111.91	156.22	152.18
K	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16
ETPc	104.94	58.55	25.57	11.94	11.26	13.36	28.64	4.69	97.95	136.53	193.71	176.53
Tizi-Ouzou	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A

T° c	24.23	19.10	14.67	10.85	10.05	10.63	12.21	13.90	17.63	22.46	25.51	26.16
i	10.90	7.62	5.10	3.23	2.87	3.13	3.86	4.70	6.73	9.72	11.79	12.24
ETP(mm)	113.9	73.6	45.69	26.55	23.13	25.58	32.83	41.46	63.61	98.36	123.70	129.43
K	1.03	0.97	0.85	0.84	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16
ETPc	117.32	71.39	38.84	22.30	20.12	17.49	33.81	45.61	76.97	120	153.39	150.14

Tableau n°15: valeur de l'ETP d'après la méthode de THORNTHWAITE

III.2.4.2- Calcul de l'évapotranspiration réelle

L'estimation de l'ETR est facilement accessible grâce à des formules empiriques qui utilise les données faciles à quantifier comme la température et les précipitations.

a) Méthode de Turc :

Selon Turc, l'ETR est fonction de quantité de la précipitation moyenne annuelle du bassin versant et d'un paramètre, L lui-même fonction de la température moyenne annuelle (t) du bassin versant .

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 \quad \text{avec :}$$

ETR : Evaporation réelle moyenne annuelle (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

T : Température moyenne annuelle (C°).

L : Pouvoir évaporant

Soit $L=991.38$ et $P=865\text{mm}$ avec $T=17.30^\circ\text{c}$ On aura : $ETR = 671.10\text{mm}$.

b) Méthode de coutagne :

D'après cet auteur, l'ETR est déduite en fonction des précipitations moyennes annuelles P(m) et de la température moyenne annuelle T(C°).

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

Avec : $\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T}$ cette formule exige une condition d'application : $\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$

D : déficit d'écoulement (m/an)

P : Hauteur moyenne des précipitations en m.

T : température moyenne annuelle en (C°).

Dans notre cas la condition est satisfaisante puisque $P=0.86\text{m}$ et $1/\lambda=0.4$ et $1/2\lambda=1.61$ c- ad $(0.4 < 0.8 < 1.61)$. On déduit : $ETR=630\text{mm}$

c) Méthode de Wundt :

C'est une méthode graphique, elle est basée sur l'utilisation de l'abaque de la figure n°17 c'est une méthode qui est en fonction de la température et de la précipitation.

Dans notre cas pour une précipitation de 865mm portée sur l'axe des ordonnées et une température de $T=17.3^{\circ}\text{C}$ portée en abscisse, le déficit d'écoulement lu sur le diagramme, est de 670mm.

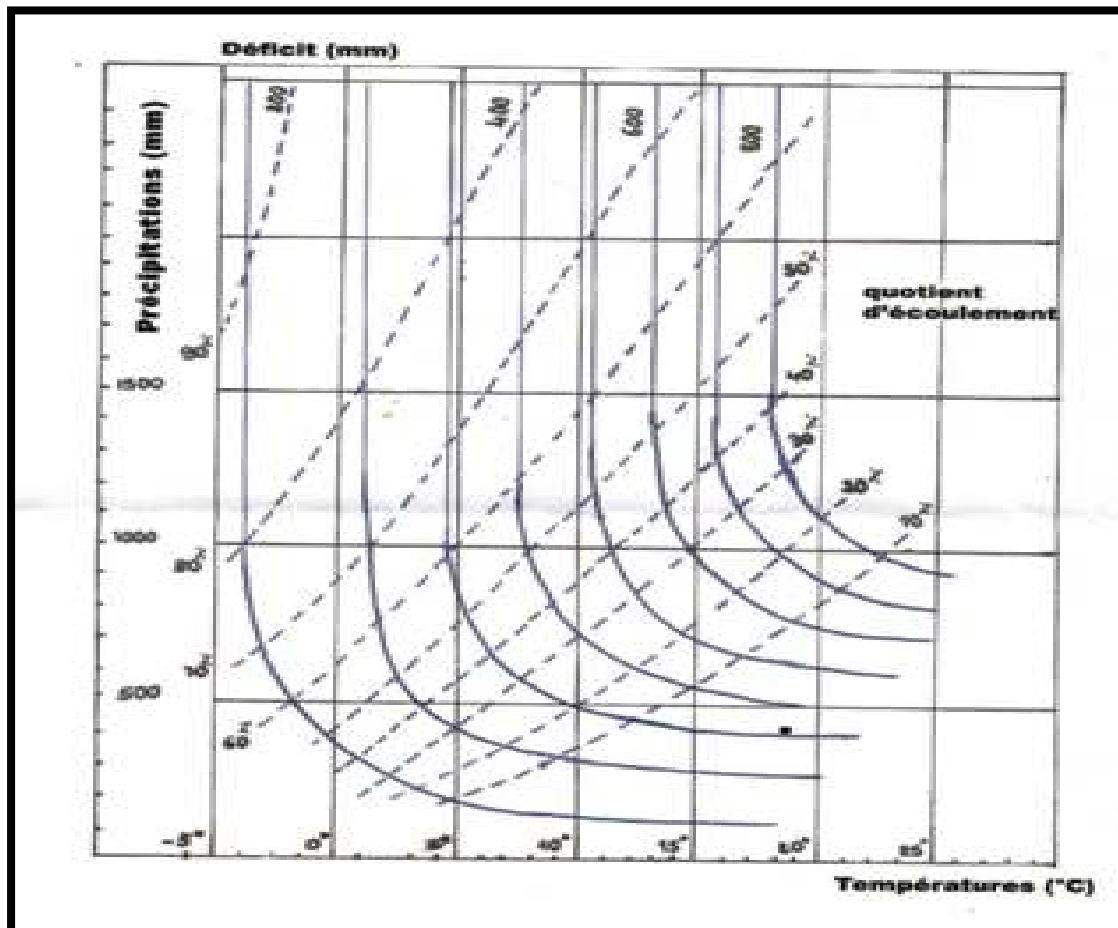


Figure n°17 : Abaque de Wundt modifié par Coutagne

- Comparaison des résultats de l'évapotranspiration réelle ETR :

Les résultats obtenus de l'évapotranspiration réelle (ETR) par les trois méthodes sont donnés dans le ci-dessous.

Méthode	TURC	COUTAGNE	WUNDT	MOYENNE
ETR(mm)	671.10mm	630mm.	670mm.	657.03

Tableau n°16 : Résultats de l'ETR obtenu par les trois méthodes.

Nous constatons que les valeurs de l'ETR obtenues par les trois méthodes citées ci-dessus, sont assez proches, nous retenons pour le calcul du bilan hydrologique, la méthode de Turc qui s'applique à tout les climats, les deux autres méthodes s'appliquent généralement pour les climats humides.

III.3- Hydrologie de surface

Un bassin hydrographique se définit comme la surface topographique drainée par un cours d'eau et ces affluents de telle façon que tout écoulement prenant naissance à l'intérieur de cette surface suit son trajet jusqu'à l'exutoire. En l'occurrence, c'est la mer méditerranée qui constitue l'exutoire du sébaou.

L'hydrologie de surface, s'intéresse, justement à la fraction de lame d'eau précipitée sur le bassin versant et drainée par le réseau hydrographique.

III.3.1- Station et données hydrométriques

Le bassin versant du sébaou compte six stations hydrométriques dont les caractéristiques sont consignées dans le tableau n°19.

Les données mensuelles et journalières aux stations hydrométriques du Sébaou ont été collectées à l'ANRH de Blida.

Oued	Nom de la station	Code	Superficie (Km ²)	Date de mise en service	Cordonnées lambert		
					X	Y	Z(m)
Boubhir	Boubroune	02.15.13	482	17/10/1987	645.600	382.600	140
Dis	Fréha	02.16.15	96	01/04/1973	642.950	384.250	130
Aissi	RN 30	02.15.17	445	15/10/1979	627.100	374.600	110
Sébaou	Belloua	02.18.03	1465	20/03/1973	623.300	381.200	90
Bougdoura	RN 25	02.19.09	296	25/04/1973	610.200	375.750	80
Sébaou	Baghlia	02.20.01		Depuis1949	603.750	390.100	25

Tableau n°17: caractéristiques des différentes stations hydrométriques.

III.3.2- Estimation des sources en eau de surface

Les ressources en eau de surface annuelles disponibles dans le Sébaou, sont estimées à la station hydrométrique de Baghlia durant la période (1986-1999) à 466.73 Hm³ soit un débit moyen annuel de 14.8m³/s. Cette valeur correspond à une lame d'eau écoulée de 187mm répartie sur l'ensemble du bassin, soit environ 23% des précipitations.

La répartition des débits moyens mensuels enregistrés à la station de jaugeage de Baghlia située à l'exutoire du bassin versant pour une période de 13 ans, est représentée dans l'hydrogramme de crue figure n°13, ce dernier est établi à partir des données du tableau n°20 et montre que le débit de l'oued Sébaou est fort au mois de décembre jusqu'en mai et faible durant les mois de juin jusqu'en novembre au point où se tarit complètement au mois d'août.

III.3.3- Régime des apports

III.3.3.1- Régime mensuel des apports

Les histogrammes des débits moyens mensuels (figure n°18 et 19) tracés à partir des données consignées dans le tableau n°20 montre une croissance des valeurs de septembre à février suivie d'une décroissance.

Le maximum des débits mensuels pour deux stations de Belloua et de Baghlia ; exutoires respectifs du haut et du bas Sébaou ; est enregistré aux mois de novembre à avril. Par contre le minimum d'apport est enregistré aux mois de juillet à octobre.

	S	O	N	D	J	F	M	A	m	J	J	A
Baghlia	0.22	0.40	6.45	28.35	38.20	39.92	24.89	19.95	15.17	3.88	0.19	0
Belloua	0.23	0.58	2.53	16.03	22.23	26.62	16.47	15.08	9.59	1.78	0.28	0.15

Tableau n° 18 : débits moyens mensuels des stations de Baghlia et de Belloua

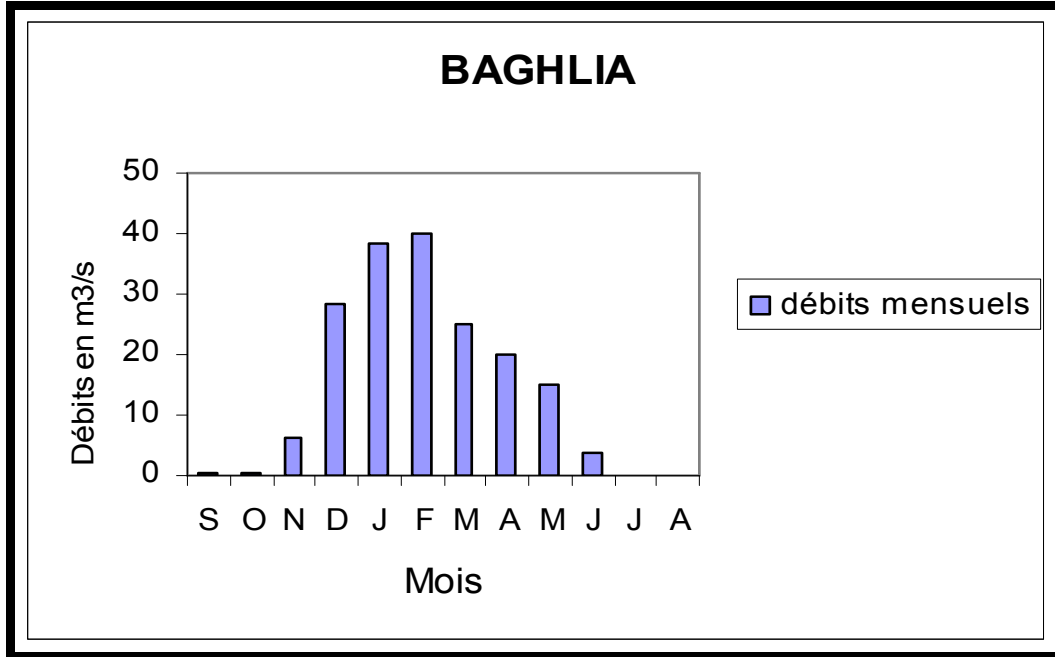


Figure N°18 : Variation mensuelle des apports de l'oued à la station de Baghlia (1986/1999)

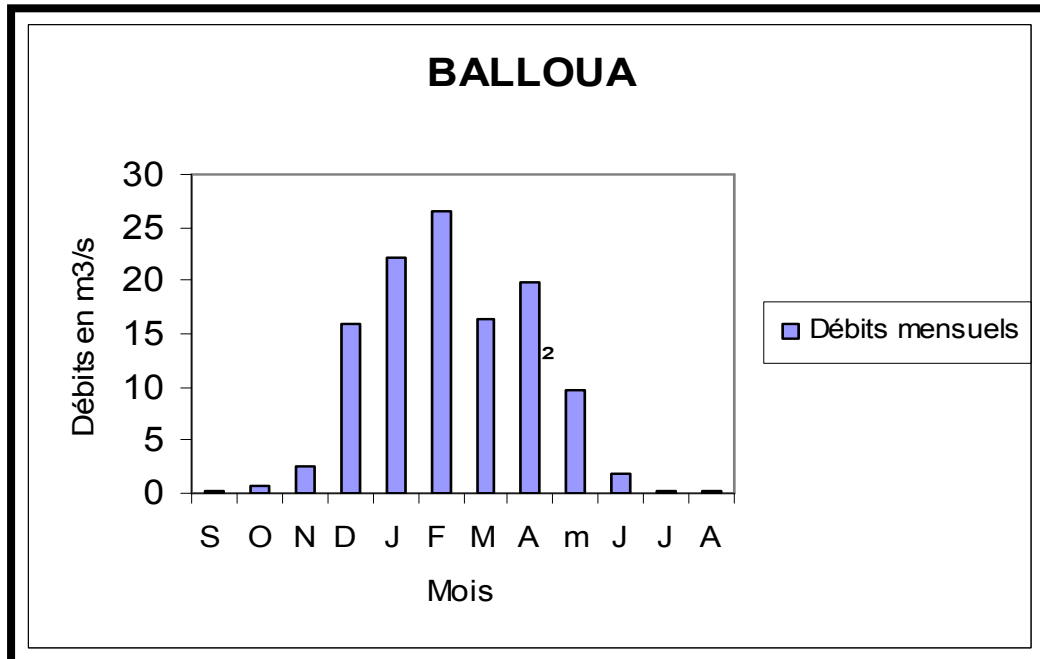


Figure N°19 : Variation mensuelle des apports de l'oued à la station de Belloua (1986/1999)

En outre, on constate que les sommets des histogrammes des débits moyens mensuels sont observés au mois de février, cela peut-être expliqué par l'apport supplémentaire provenant de la fonte des neiges.

Sur un autre plan, on note une grande différence entre le maximum enregistré au mois de Février à la station de Baghlia (39.92 m³/s) et celui enregistré à la station de Belloua avec 26.62 m³/s seulement.

III.3.3.2 Relation entre les précipitations et les débits évacués:

Le diagramme de la figure n°20 construit à partir des données de débit et de pluviométrie enregistrées à la station de Baghlia durant la période 1986/1999 (tableau n°21) montre une concordance entre les variations interannuelles de ces deux paramètres traduisant ainsi une alimentations de l'oued par les pluies.

donnée	86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99
P(mm)	769.1	606.3	658.6	523.6	725.1	766.1	679.6	516.6	733.7	767.1	499.6	1031.2	737.7
Q(m ³ /s)	34.21	4.09	8.40	2.43	26.75	13.76	11.68	4.87	17.45	17.15	2.31	27.5	21.90

Tableau n°19 : Corrélation précipitation/Débits évacués à la station Baghlia

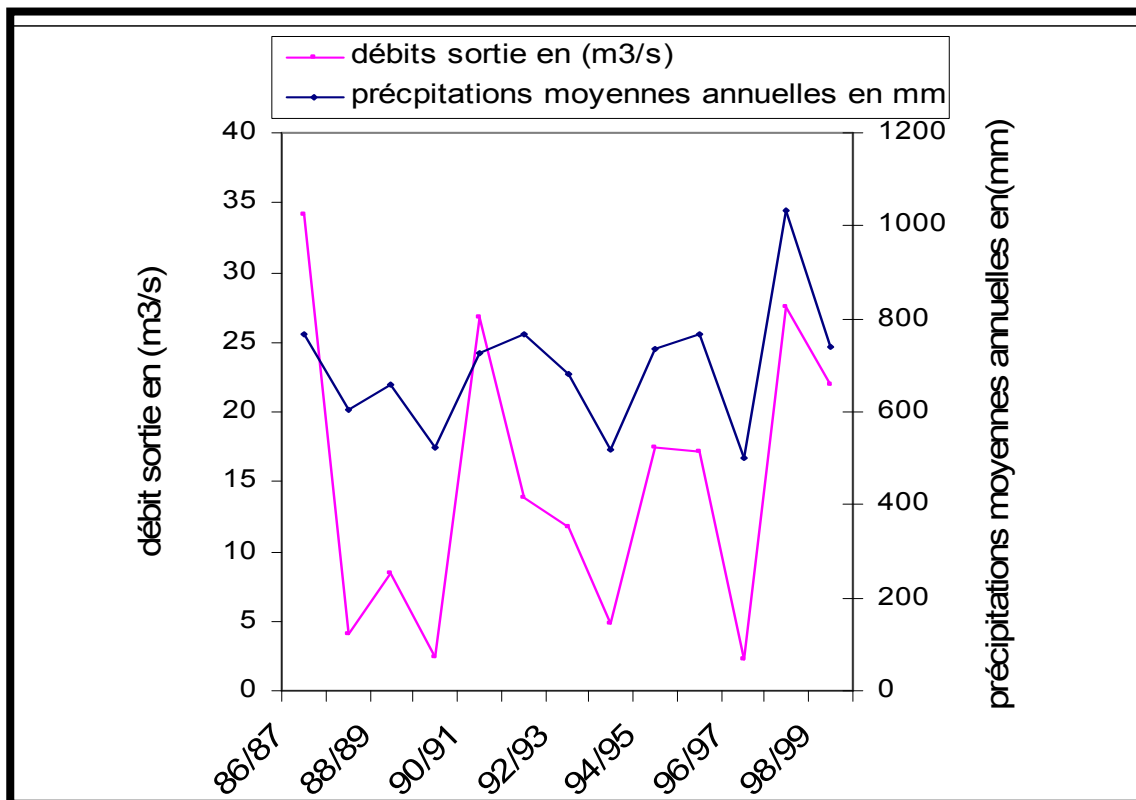


Figure n°20: Corrélation précipitations- Débits évacués à la station de Baghlia

III.3.4- Détermination de la lame d'eau ruisselée(R)

III.3.4.1- Méthode de Tixeront-Berkaloff

C'est une méthode empirique applicable en zones arides, et la précision est d'autant meilleure dans le cas d'un bassin versant énorme avec des faibles précipitations ($p < 300\text{mm/an}$).sa formation est la suivante :

$$R = \frac{p^3}{3(ETP)^2} \text{ Où}$$

R : ruissellement superficiel moyen annuel (en mm). P : précipitations moy. Annu. (en mm).

ETP : Evapotranspiration potentielle moyenne annuelle (en mm).

Dans le cas du bassin versant du Sébaou, cette méthode donne le résultat suivant :

$$P = 865 \text{ mm} \quad ETP = 872 \text{ mm} \quad \text{d'où} \quad R = 283.7\text{mm}$$

La lame d'eau ruisselée déterminée par la méthode de Texeront-Berkaloff est égale à 28.7% des précipitations.

III.3.4.2- Méthode de l'hydrogramme

Le tracé de l'hydrogramme s'effectue en reportant les débits (m^3/s) en ordonnées et les temps (jour) en abscisses. Les données utilisées pour le tracé de cet hydrogramme figurent dans le tableau n°22.

Pour séparer les trois composantes du ruissellement, on procède de la façon suivante :

Nous transformons le temps (mois) en jour, puis nous reportons sur un papier semi-logarithmique les débits (m^3/s) en fonction du temps de la période d'avril à août (partie décroissante de l'hydrogramme).

Les débits étant en ordonnées à l'échelle logarithmique et le temps en abscisses à l'échelle arithmétique, nous observons deux points de brisure que nous appellerons S_1 et S_2 (figures n°21 et 23) : S_1 marque la fin du ruissellement superficiel et S_2 marque la fin du ruissellement hypodermique et le début de l'écoulement de base.

Aux points S_1 et S_2 correspondent deux temps t_1 et t_2 en abscisses. On reporte ces deux temps sur l'hydrogramme, puis les joint par les droites 1 et 2 au point de départ de l'hydrogramme (figure n°22 et 24)

En suite, on procède au planimétrage du domaine de ruissellement et nous trouvons le ruissellement (R).

Les résultats obtenus par cette méthode sont :

- Le ruissellement est estimé à 182mm soit 21% des précipitations globales.
- L'infiltration (assimilé à l'écoulement de base) est estimée à 5mm soit 0.58% des précipitations moyennes à l'échelle du bassin de Sébaou.

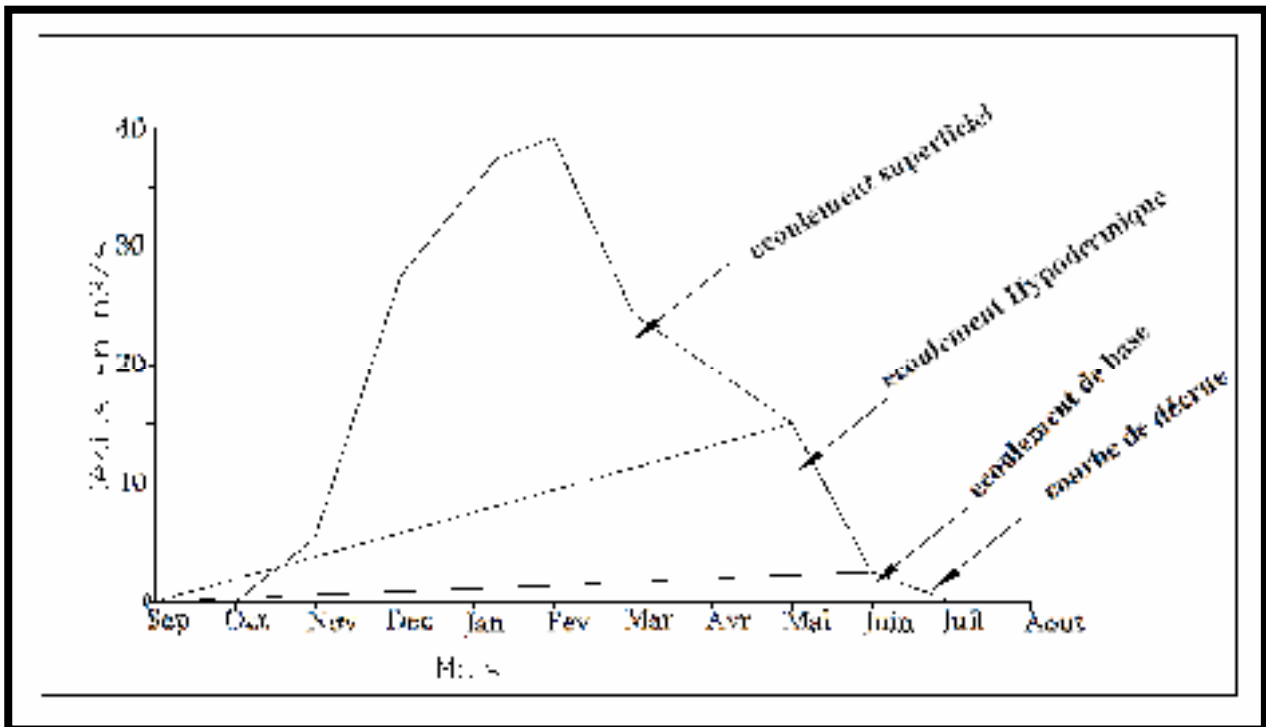


Figure N°21: Hydrogramme de crue de la station de Baghlia

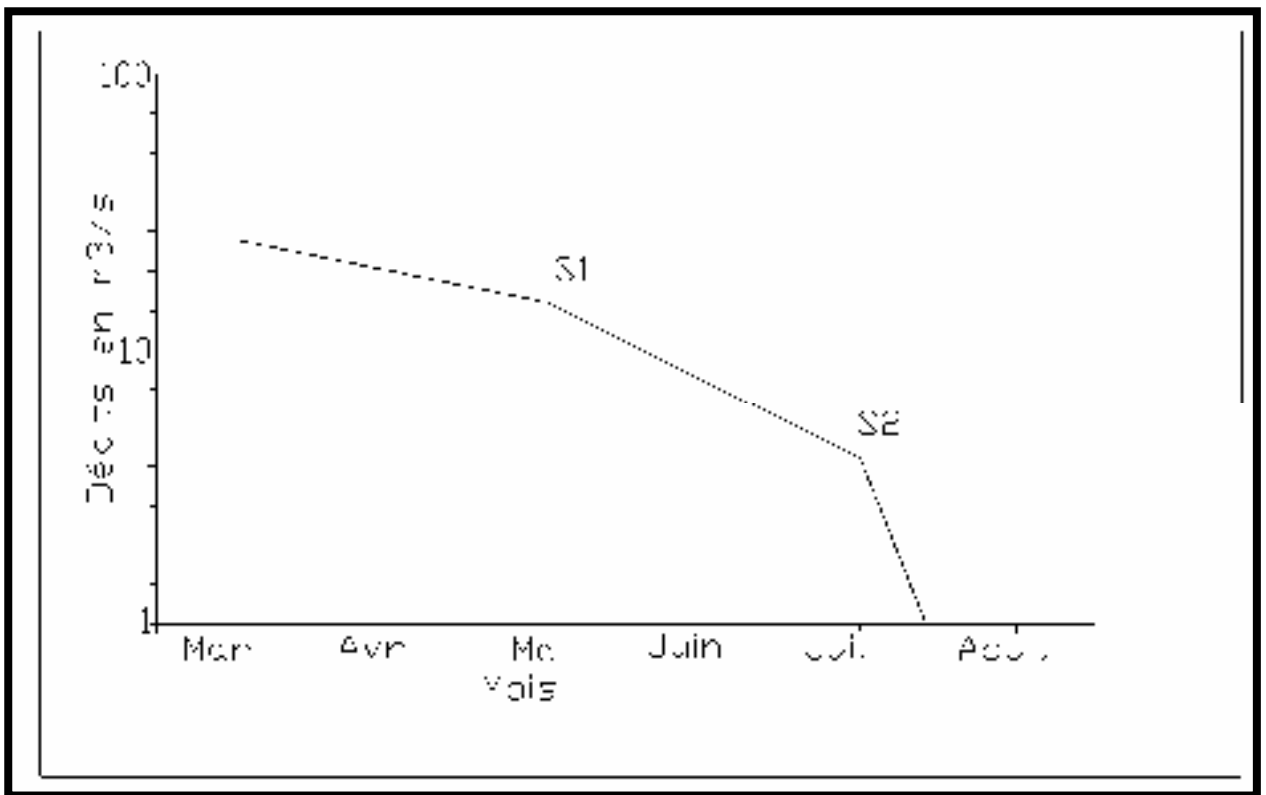


Figure N°22 : Courbe de séparation des écoulements à la station de Baghlia

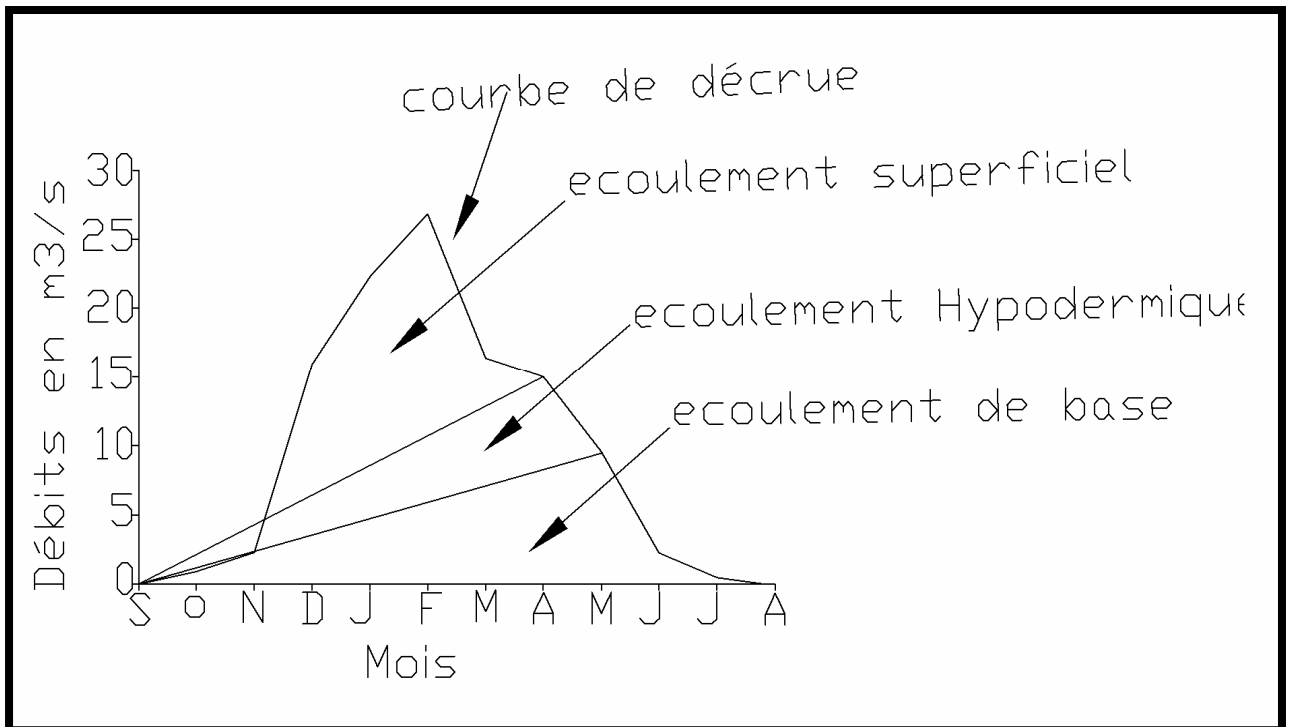


Figure N°23 : Hydrogramme de crue de la station de Belloua

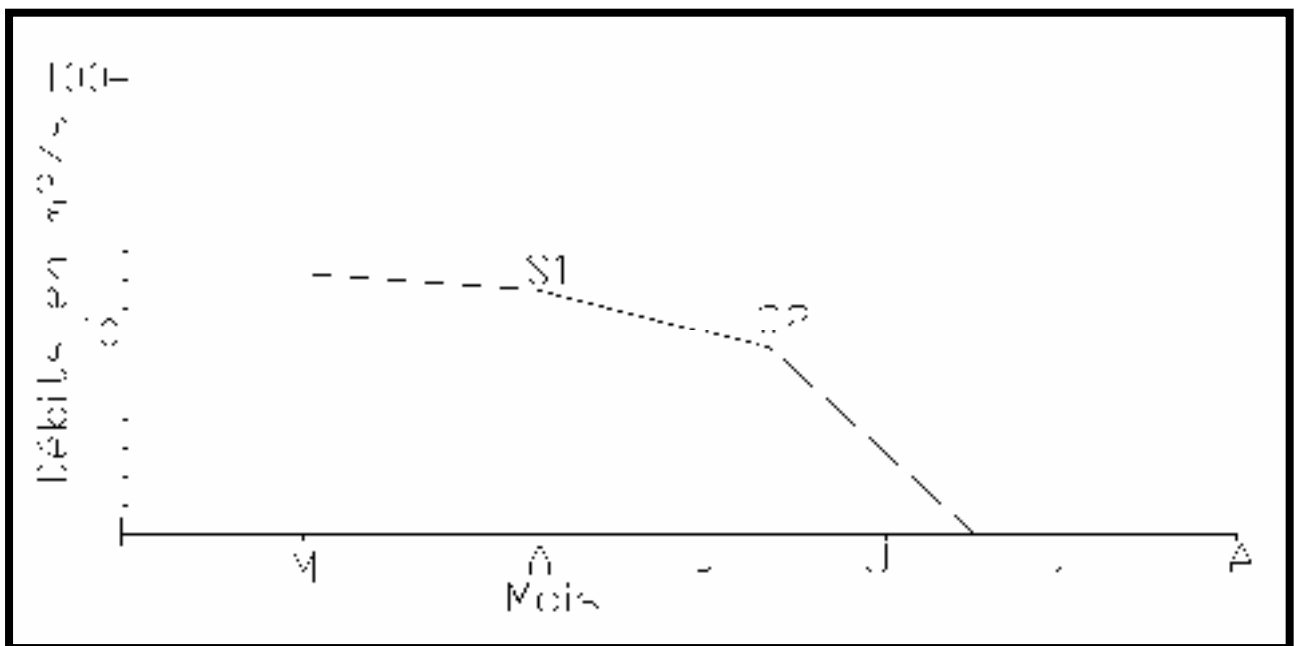


Figure N°24: Courbe de séparation des écoulements à la station de Belloua

III.3.5- Le bilan hydrologique

La formule du bilan hydrologique peut être exprimée de la manière suivante :

$$P = ETR + R + I \pm \Delta S$$

Ou :

P : Précipitation moyenne annuelle (mm). ETR : Evapotranspiration réelle (mm).

R : Ruissellement moyen annuel (mm).

ΔS = La variation des réserves que nous supposons nulles.

Pour déterminer le bilan il faut déterminer deux paramètres inconnus R et I.

Les paramètres du bilan hydrologique ont été calculés à partir des méthodes empiriques, sauf les précipitations qui elles ont été mesurées au moyen direct sur le terrain.

Apports (mm)		Exhaures (mm)				Ecart apport exhaure (mm)
Précipitations	Total des apports	ETR	R	I	Total des Exhaures	
865	865	671	182	5	858	7

Tableau n°20 : Les valeurs de Ruissellement et l'infiltration.

En général l'équation hydrologique est relativement équilibrée, toutefois, on constate un léger écart qui peut être à cause de :

- Erreur de manipulation c-a-d erreur de mesure des paramètres climatiques telle que la précipitation et la température.
- L'utilisation des méthodes empiriques dans le calcul des paramètres du bilan.
- La négligence des précipitations solides (la neige) qui sont des apports latéraux qui peuvent influencer les écoulements surtout en absence de stations pluviométriques dans en hautes altitudes.

III.4- Conclusion

L'examen des données climatiques nous a permis de définir deux périodes différentes :

- Une saison sèche, avec un climat sec qui s'étend de mai à septembre.
- Une saison froide, avec un climat humide tempéré s'étend d'octobre à avril.
- La température moyenne est d'environ de 17.30°C.
- La valeur de lame d'eau précipitée est de 865mm.
- Le régime climatique du bassin versant du Sébaou est humide et tempéré ; il a été déterminé par la méthode de Martonne qui tient compte des précipitations et des températures.

La valeur de la lame d'eau ruisselée calculée par la méthode de l'hydrogramme est plus représentative et cette méthode est plus fiable et donne toutes les composantes de l'écoulement, alors que les résultats obtenus par la méthode Txiront-Berkaloff ne sont pas représentatifs pour notre bassin car cette dernière est plus adaptée pour les bassins versants situés dans des zones semi-arides à aride.

Les résultats du bilan hydrologique que nous avons établi montrent que plus de 77% des précipitations moyennes sont reprises par l'évapotranspiration réelle, le ruissellement et l'infiltration sont estimés respectivement à 21% et 0.58% des précipitations globales.

CHAPITRE IV :

SYNTHÈSE GEOLOGIQUE

IV-1- Introduction

Le secteur d'étude est en grande partie inclus dans la partie septentrionale de l'atlas tellien, qui forme une zone complexe constituée de nappes mises en place au Miocène inférieur et qui, du point de vue géologique, se rattache au grand système alpin méditerranéen, dont la formation est liée au déplacement de l'Afrique par rapport à l'Eurasie, qui se produit depuis plus de 150 millions d'années.

IV.2- Cadre géologique régional

La vallée de l'oued Sébaou est située au nord de la grande Kabylie. Elle correspond à un bassin miocène occupant la grande zone synclinale qui s'étend principalement d'Azazga à Dellys et fait partie de la chaîne des Maghrébins résultant des cycles orogéniques hercyniens et Alpines (Fig. n°20 et 21). Selon la structure, on distingue trois ensembles géologiques représentés par :

- Les zones internes ou " Domaine kabyle";
- La zone des flyschs;
- Les zones externes ou " Telliennes".

IV.2.1- Les zones internes ou "Domaine kabyle"

Le secteur d'étude appartient aux zones internes dans lesquelles on distingue le socle cristallophyllien Kabyle, sa couverture sédimentaire paléozoïque peu ou pas métamorphisée et la dorsale Kabyle essentiellement carbonatée datée du permo-trias à l'Oligocène (Durand-Delga, 1969 in bouadjel 2006)

- Le socle kabyle d'âge paléozoïque ou même plus ancien, constitué des formations cristallophylliennes. Ces terrains sont représentés par des gneiss, des micaschistes, des schistes, des amphibolites et des granulites.
- La couverture sédimentaire paléozoïque est discordante sur le socle, elle correspond à une formation essentiellement gréso-pélimitiques à intercalations carbonatées regroupant des séries allant du cambrien supérieur au carbonifère moyen.

La dorsale kabyle ou chaîne calcaire (Glangeaud, 1932) discordante sur le socle kabyle, représentant sa couverture. Elle comprend des faciès argilo-gréseux d'âge Triasique, des calcaires et marono-calcaire Jurassique et des niveaux détritiques éocènes.

- Quant à l'oligo-miocène Kabyle, celui-ci correspond à une mollasse résultant de l'érosion des reliefs après l'orogénèse éocène (ou pyrénéenne). Elle est discordante sur les écaillés de la dorsale ou sur le socle kabyle.

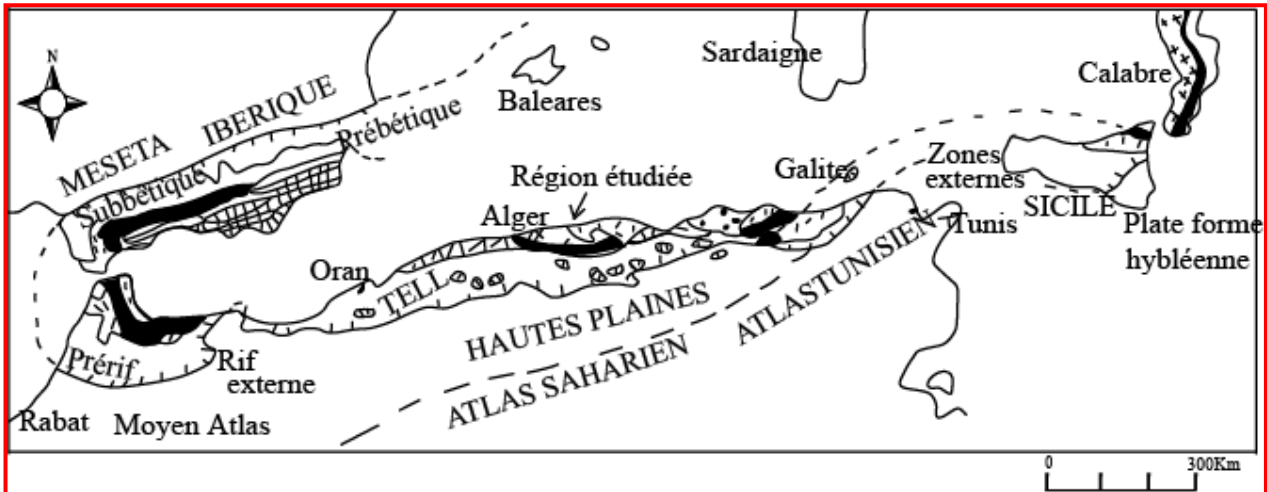


Fig. n°25 : Situation de la zone étudiée dans l'orogène alpin périméditerranéen (D'après M. Durand Delga, 1969)

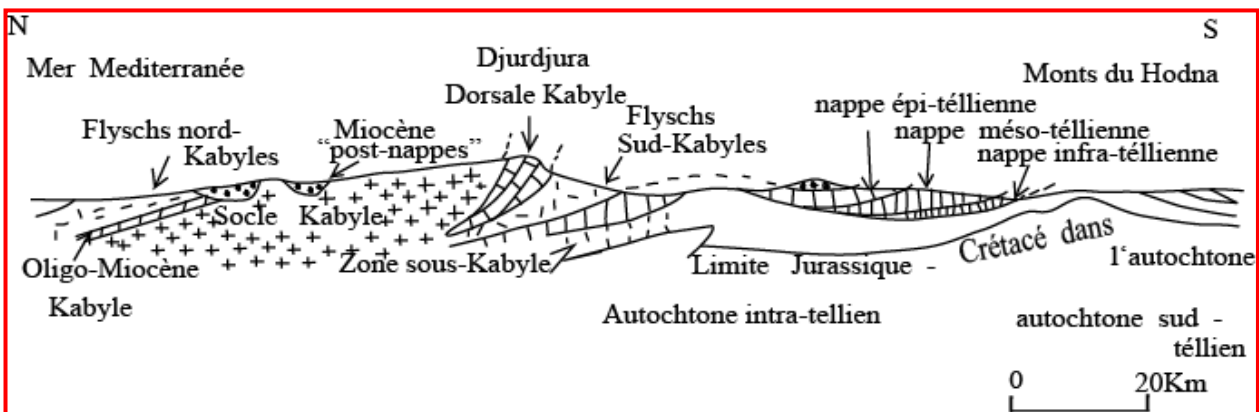


Fig. n°26 : Rapport entre les grandes unités structurales sur le méridien de la grande Kabylie (D'après M. Durand Delga, 1969)

IV.2.2- Le domaine des Flyschs

Il est formé par un ensemble de nappes à matériel détritique (quartzo pélitique, conglomérats, marno-calcaires et microbrèche), cet ensemble regroupe des formations allant du Jurassique moyen à l'Eocène. Ces flyschs sont en contact anormal sur l'Oligo-miocène kabyle pour les uns, ou sous la dorsale kabyle pour les autres.

IV.2.3- Les zones externes ou Telliennes

Les zones externes forment une large bande entre les zones internes et l'avant pays préatlasique, on y observe :

- Les unités autochtones ou para- autochtones (massif à schistosité) constitués par des séries paléozoïques et mésozoïques souvent métamorphiques
- Les nappes Telliennes ou masses allochtones, constituées de terrains essentiellement marno-calcaires d'âge crétacé-éocène.

IV.3. Géologie de la région étudiée (Fig. n°21 et 22)

La vallée du Sébaou correspond à un bassin dans lequel sont accumulés des sédiments Mio-plio-quaternaires.

IV.3.1- La lithostratigraphie

L'extrait de la carte géologique à l'échelle 1/50.000^{ème} montre que la région d'étude est caractérisée par les formations lithostratigraphiques suivantes :

- Le socle cristallophyllien;
- La chaîne calcaire;
- L'oligo-miocène;
- L'unité Numidienne;
- Les flyschs;
- L'unité Tellienne de Dellys;
- L'Olistostrome ou "argiles à blocs" ;
- Les formations post-nappes ;
- Les formations quaternaires.

IV.3.1.1- Le socle kabyle

Il est formé de terrains constitués par la superposition de roches cristallophylliennes d'âge protérozoïque et paléozoïque inférieur, c'est le substratum de la dorsale kabyle, il est composé de trois ensembles :

- Le cristallophyllien inférieur, constitué essentiellement de gneiss à intercalation de marbres et d'amphibolites, recoupé par des filons de quartz et de tourmaline.
- Le cristallophyllien supérieur, représenté par des schistes satinés ou phyllades à quartz alternant avec des grès, des porphyroïdes ocellés et des lentilles de calcaires métamorphiques.
- *La couverture sédimentaire paléozoïque, est caractérisée par des formations gréseuses et carbonatées, discordantes sur les phyllades. Elle est d'âge cambrien supérieur à carbonifère moyen.*

IV.3.1.2- La dorsale kabyle (Durand- Delga, 1969 in Bouadjel 2006)

Limite le domaine interne au nord du domaine des flyschs, elle est constituée par un empilement d'écailles, d'après la lithostratigraphie, les auteurs définissent une dorsale interne, médiane et externe (Fig. n°20)

La dorsale interne : isolée au nord du massif de Chellata, séparée des autres par de larges affleurements du socle. Elle constitue l'unité de Berkaiiss, peu tectonisée.

La dorsale médiane : occupant la partie centrale du massif de Chellata, elle est limitée au nord ouest par le socle cristallophyllien et au sud-est par un accident de direction sud-ouest nord-est.

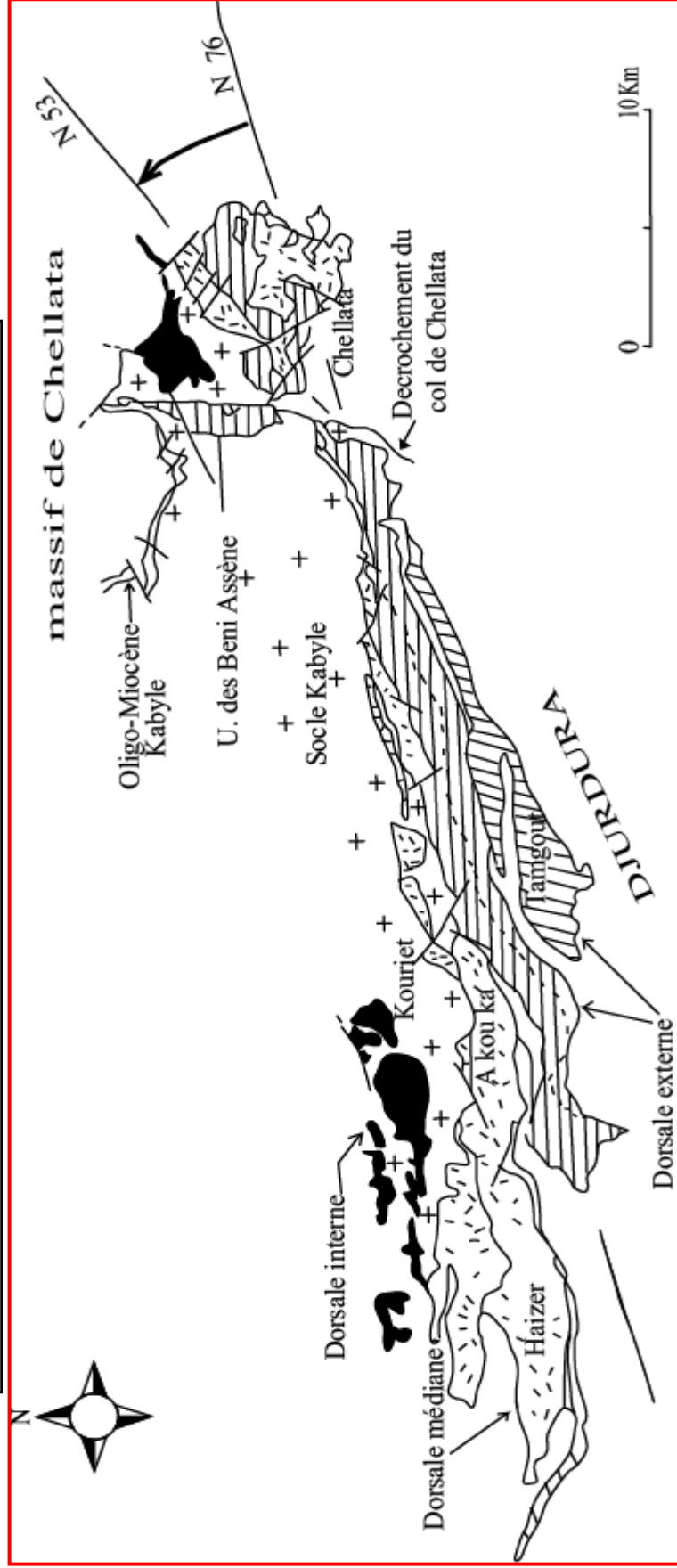
La dorsale externe : elle correspond au remplissage de la partie sud du massif de Chellata. La figure 21 résume la colonne lithostratigraphique synthétique.

IV.3.1.3- L'oligo-miocène Kabyle

Cet ensemble géologique est défini par les auteurs comme étant des faciès détritiques datés de l'oligocène terminal au miocène basal (Burdigalien inférieur), il est en discordance avec le socle kabyle. Cette formation est constituée de la base au sommet par Des conglomérats surmontés par des argiles riches en débris de socle et parfois silicifiés, selon les lieux.

L'oligo-miocène Kabyle affleure à Aïn El Bir au nord-ouest du Djebel Belloua, à Kouanine à Azib Bou Moussa, dans la région de Draâ El Mizane, Ouadhias et dans la région de Tabouda-Mréira (D.Raymond, 1976; J.P.Gélard, 1979)

**Fig 20 : Carte schématique interprétative de la dorsale de la Grande Kabylie
(J.P. Gélard, 1979)**



IV.3.1.4- L'unité Numidienne

C'est une série de type flysch, d'âge oligo-miocène caractérisée par la succession de trois termes de la série Numidienne, qui sont de bas en haut (*J. P. Gélard, 1979*):

- les argiles sous numidiennes de couleur brune à Tubotomaculum fréquents d'âge Oligocène.
- les grès numidiens qui sont quartzeux à granulométrie grossière, intercalés de pelites d'âge Aquitanien.
- les formations supra-numidiennes constituées d'argiles et de marnes intercalées de silexites d'âge Aquitanien supérieur- Burdigalien inférieur.

Cette unité affleure principalement dans les massifs d'Akfadou, à l'est de Azazga et dans la forêt de Mizrana.

IV.3.1.5- Les flyschs

On désigne par les flyschs, l'ensemble des formations associées aux flyschs terrigènes Maghrébins d'âge Jurassique moyen à Eocène (Fig.21). Classiquement, ils sont subdivisés en deux types, le flysch maurétanien et le flysch massylien.

Le flysch maurétanien : se caractérise par les types de faciès suivants :

- Grès de faciès "Guerrouch" puissants d'âge Barrémo-aptien;
- Repère quartzitique vert bouteille et calcaires microbréchiques d'âge Cénomaniens à silicifications blanches;
- Calcaires microbréchiques, marnes rouges et conglomérats grossiers d'âge Sénono-éocène;
- Calcaire à microcodium d'âge paléocène;
- Couverture grés-micacée d'âge Stampien-Aquitaniens.

Le flysch massylien : constitué de la base au sommet par :

- Flysch périto-quartzitique d'âge Albo-aptien;
- Calcaires fins jaunâtres en petits bancs d'âge Albien supérieur-Cénomaniens inférieur;
- Phtanites d'âge Turonien inférieur;
- Flysch argilo-marneux à plaquettes microbréchiques d'âge Campanien;
- Marnes rouges et calcaires sableux d'âge Maestrichtien Eocène (*J. P. Gélard, 1979*)

Au sein des flyschs; le maurétanien et le massylien représentent les deux pôles extrêmes. Le matériel qu'ils remanient respectivement confirme leur éloignement paléogéographique : le premier est chargé de débris de dorsale (à partir du Crétacé supérieur), le second en fragments qui proviennent des zones externes (*de type Babors*). (*J. P. Gélard, 1979*).

Il existe des séries mixtes, intermédiaires entre les séries types massyliennes et maurétaniennes, ce sont :

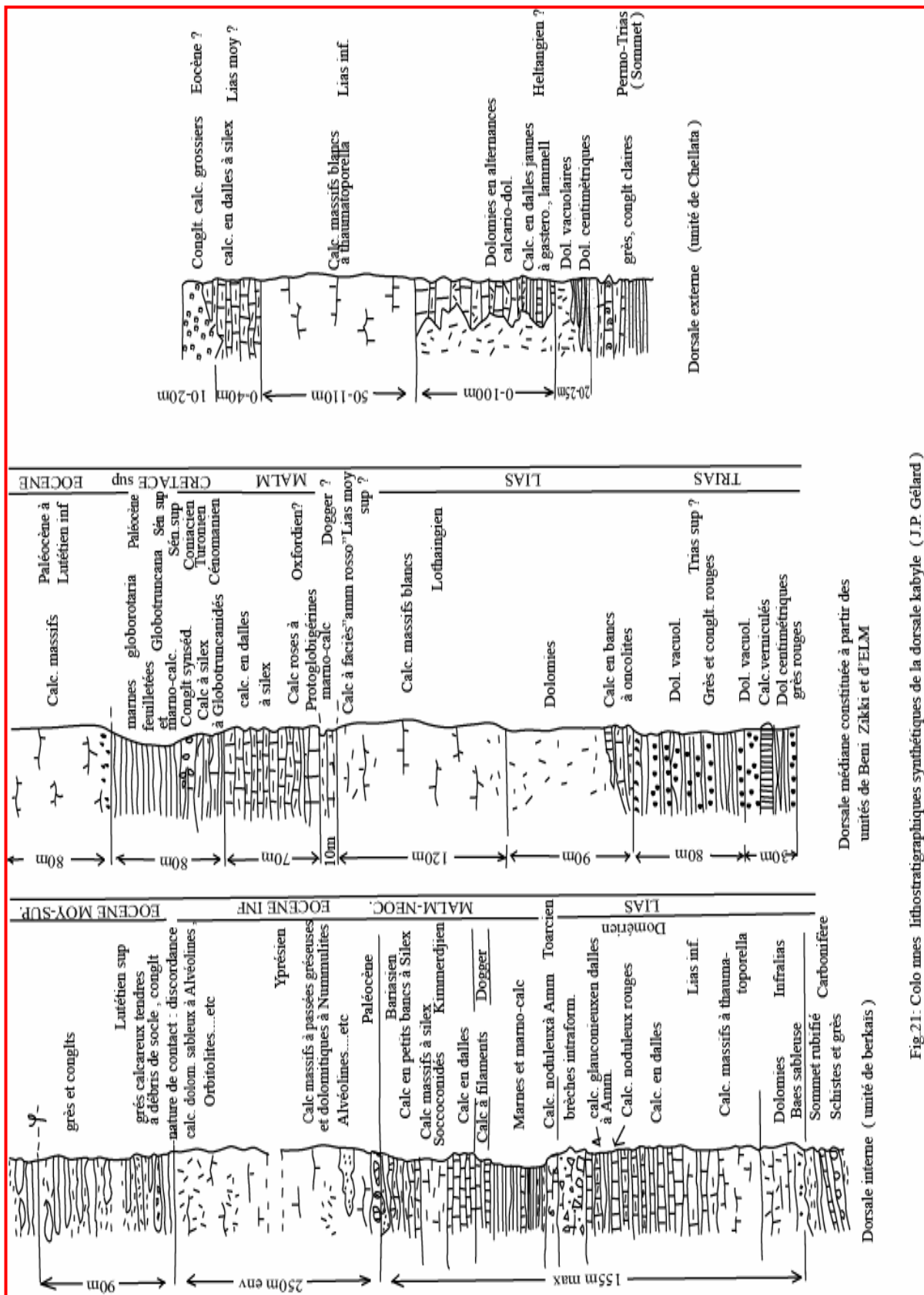


Fig.21: Colo mnes lithostratigraphiques synthétiques de la dorsale kabyle (J.P. Géland)

IV.3.1.5.1. Le flysch du haut Sébaou - Azazga

Ce flysch présente des affinités à la fois avec le Massylien et le Maurétanien. Il s'agit généralement d'un flysch où le faciès argileux est dominant.

Sur les calcaires fins, datés du berriasien moyen-supérieur, on distingue :

- Un ensemble essentiellement argileux formé par :
 - Une puissante série argileuse accompagnée de bancs de grès ou de grès quartzitiques.
 - Des grès en bancs réguliers séparés par des pelites sombres (Aptien supérieur-Albien).
 - Des marnes et argiles bleutées à passées rouges d'âge Aptien-Albien supérieur.
- Des calcaires fins interstratifiés par fois avec des phtanites peu épaisses et souvent argileuses.
- Des argiles et marnes grises ou bleutées présentant des passés rougeâtres. Elles sont datées du Maestrichtien.
- Des marnes roses ou rouges et des bancs de calcaires organoclastiques datées du Sénonien terminal-Paléocène supérieur.

IV.2.1.5.2. Le flysch d'Afir-Azefoun

Ce flysch affleure au SE de Dellys, dans la région d'Afir et dans la région d'Azefoun; il est composé de trois unités :

a. L'unité inférieure d'Afir :

C'est un complexe comportant de bas en haut :

- Un flysch pélito-quartzitique d'âge Crétacé inférieur;
- Un mince niveau de Phtanites cénomaniennes;
- Un complexe d'épaisseur réduite avec des argiles et microconglomérats et des calcaires fins d'âge Crétacé supérieur. (*D. Raymond, 1976*).

b. L'unité supérieure d'Afir :

C'est un complexe débutant par des Phtanites cénomaniennes, surmontées d'un flysch crétacé supérieur, tendre, où alternent des argiles et microconglomérats à ciment argileux ("flysch à microbrèches") (*D. Raymond, 1976*).

c. Le flysch du haut Sébaou :

C'est un flysch pelito-calcaro-microconglomératique verdâtre, extrêmement chaotique d'âge Crétacé supérieur.

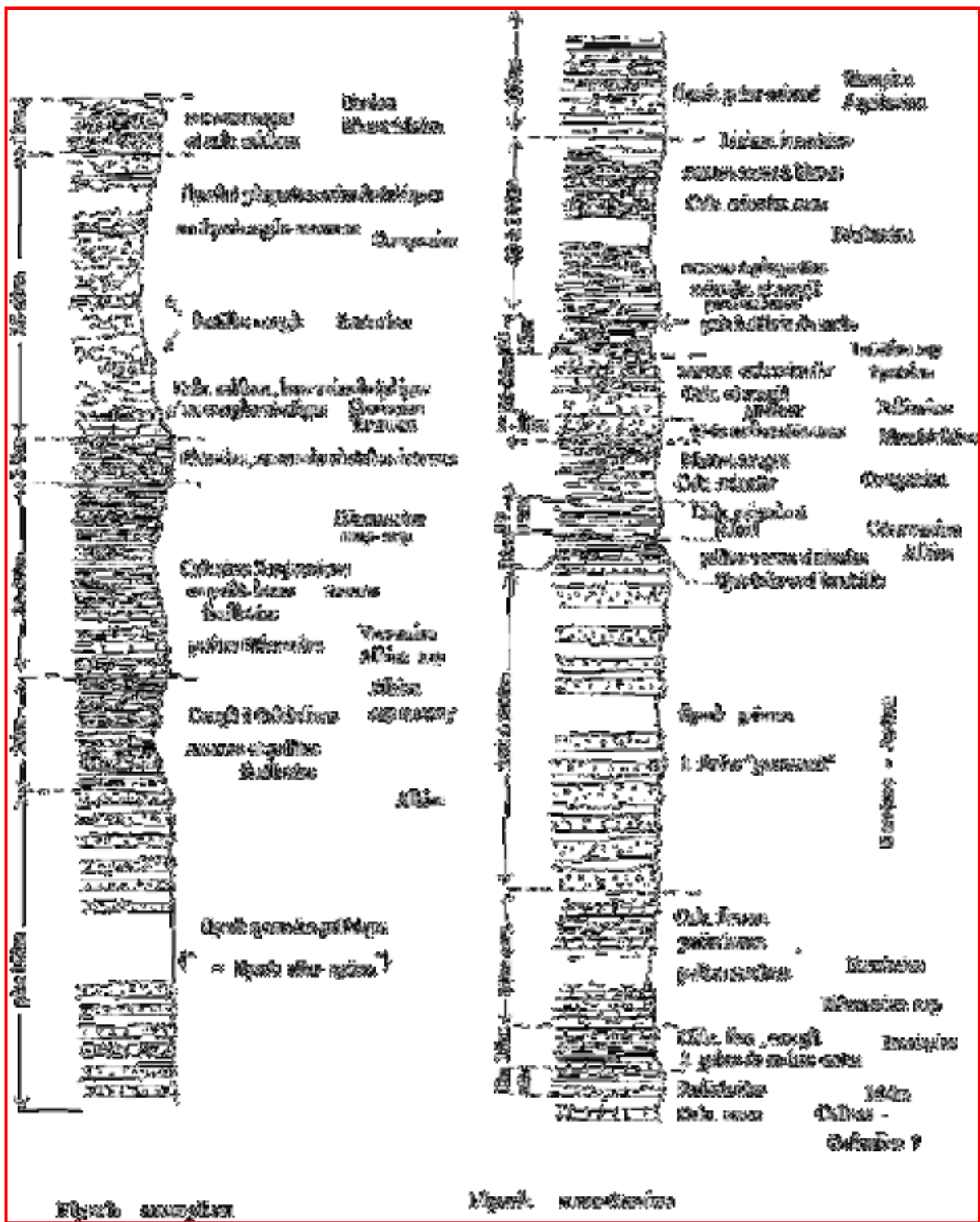


Fig. n°28: Colonnes lithostratigraphiques des flyschs massilien et maurétanien (J.P. Gélard, 1979)

IV.3.1.6- L'unité tellienne de Dellys

Cette unité est représentée essentiellement dans le secteur situé entre Baghlia et Ait Raouana. Elle est d'âge Crétacé supérieur à Eocène.

L'unité est formée d'une puissante série à sédimentation rythmique, composée de calcaires et de marnes, on distingue en fait :

- Des marnes intercalées de calcaires marneux (Turonien-Sénonien)
- Des calcaires marneux à rares silex et calcaires silicifiés (Yprésien-Lutitien inférieur)
- Des marnes noires d'âge Lutitien.

IV.3.1.7. L'Olistostrome (ou argiles à blocs)

C'est une accumulation sédimentaire Chaotique, leur formation est liée à la mise en place des nappes sur le domaine interne.

Leur mode de sédimentation, serait dû au glissement par gravité, sur une pente sous-marine d'une molasse sédimentaire ou à la dilacération d'un front de nappe, ou encore à la conjugaison des deux.

Cette formation est constituée par une matrice tendre (argileuse, marneuse ou pélitique) dans laquelle sont dispersés de menus débris qu'accompagnent des blocs (Olistolites) de taille variable d'âge Aquitanien supérieur-Burdigalien inférieur (*J.P.Bouillin, 1973*). Cette formation affleure à Kouanine et Draa Karrouch. Il affleure aussi sur la route joignant El Kalaâ et Boudjima et sur la route d'Azazga - Aïn El Hammam.

IV. 3.1.8. Les formations post-nappes

Ces formations comprennent des terrains d'âge Miocène à Pliocène.

Le miocène : il est très étendu dans la zone synclinale comprise entre Azazga et Dellys.

Au Burdigalien terminal, il présente à sa base des marnes puis des conglomérats surmontés par de la molasse et se termine par des marnes.

Au Langhien-Serravallien, le miocène présente des grès discordants sur le socle, on trouve enfin les marnes qui tapissent l'ensemble du synclinal de Tizi-Ouzou, ces dernières constituent le substratum des formations alluviales aquifères.

Les roches volcaniques : on rencontre dans le miocène mollassique un cortège de roches volcaniques (basaltes, rhyodacites, rhyolites et tufs). Ces formations sont en relation avec le centre éruptif de cap Djenet et affleurent aux régions de Guennana et au versant nord du massif de Naciria.

Le pliocène : le pliocène vient en discordance sur le Burdigalien supérieur, il est constitué de marnes grises claires affleurant dans la région de Dellys, dans la vallée de l'oued El Arba et à Djarabet.

IV.3.1.9- Les formations quaternaires

Elles correspondent au remplissage alluvionnaire ancien, récent et actuel de la vallée de l'oued Sébaou. Il s'agit de dépôts de galets, sables grossiers et fins, graviers, limons et argiles qui se présentent sous formes de terrasses emboîtées ou étagées.

Les sondages mécaniques et les forages de reconnaissances ont permis de mettre en évidence les niveaux suivants constatés de haut en bas :

-
- Limons de surface ;
 - Alluvions grossières, sables, graviers et galets ;
 - Niveaux marneux (substratum).

On assiste par ailleurs, que la fraction des éléments fins tend à prédominer l'ensemble et ce, au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'embouchure de l'oued Sébaou.

IV.4.- Structure tectonique et évolution paléogéographique

Dans cette étude, nous essayons de décrire succinctement les grands évènements tectoniques ayant marqué l'histoire géologique de la région d'étude et d'en retracer chronologiquement les processus importants qui ont accompagné la mise en place des différents ensembles géologiques actuels de la grande Kabylie.

IV.4.1- Crétacé inférieur-Eocène supérieur

Le socle Kabyle est émergé, à partir de ce dernier s'ordonneraient du nord vers le sud les grandes zones suivantes :

- La dorsale (individualisée dès le Lias) ;
- Flysch maurétanien ;
- Flysch intermédiaire (série d' Afir, Azeffoun et Flysch du haut Sébaou ... etc);
- Flysch massylien;
- Ultra tellien.

On assiste en principe à un phénomène de charriage vers le nord, sous le domaine Kabyle, du substratum océanique du flysch massylien.

L'évènement principal qui a marqué cette époque, serait le rapprochement de la marge continentale africaine, représentée par le sillon tellien et de la marge Kabyle (*D.Raymond, 1976*).

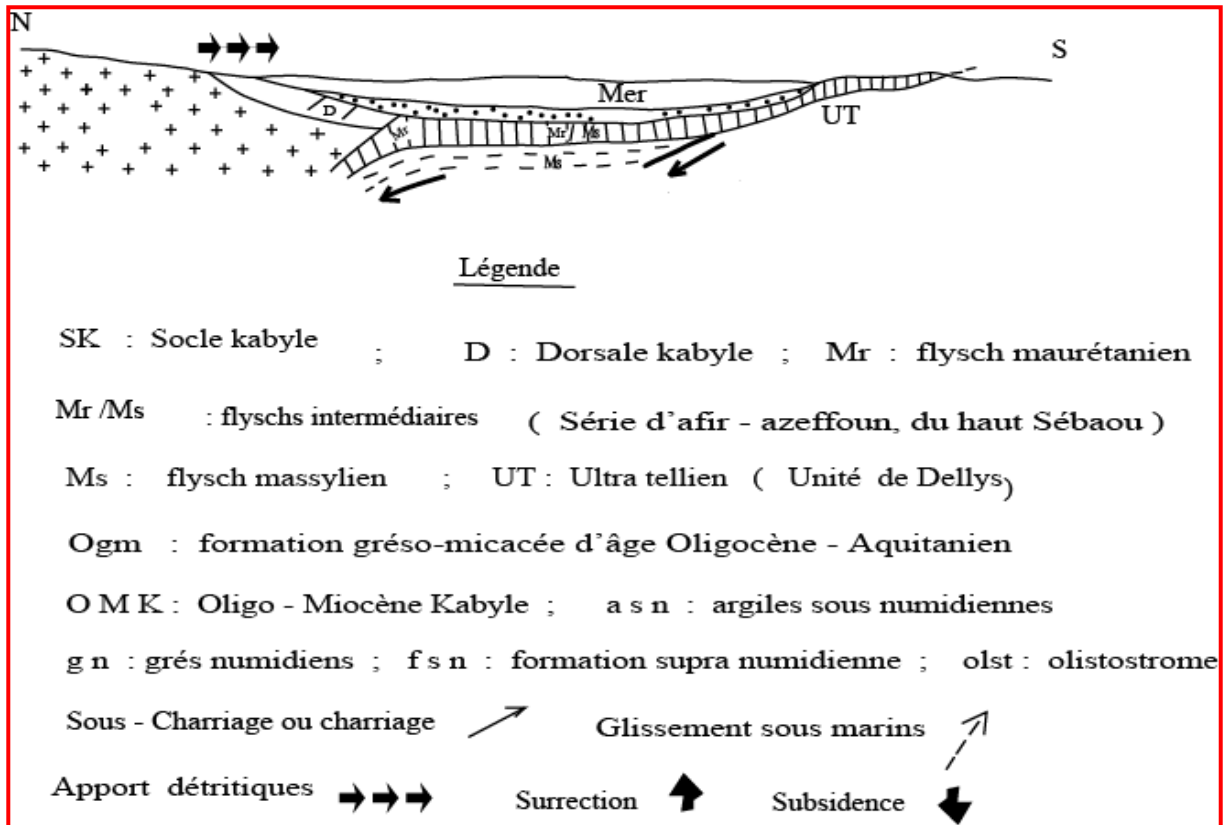
IV.4.2- Eocène supérieur Burdigalien terminal

IV.4.2.1- Oligocène inférieur

- *Sédimentation* : dépôts de grès micacés (oligocène inférieur)

- *Tectonique* : sous charriage du flysch massylien et de l'ultra tellien

- Emergence du socle kabyle ;
- Ecaillage de la dorsale kabyle ;
- Les flyschs maurétanien et intermédiaires reçoivent une couverture grés-micacé concordante;
- Flysch massylien, domaine ultra-tellien et leurs soubassements respectifs : probablement déjà largement sous-charriés sous les flyschs maurétanien et intermédiaires (*J. P. Bouillin, 1975*).



IV.4.2.2- Oligocène supérieur

- *Sédimentation* : dépôt de grès micacés à lépidocyclines en position interne et les argiles sous-numidiennes en position externe.
- *Tectonique* : glissement vers le sud de la partie distale (sud) du domaine des flyschs intermédiaires avant le dépôt des argiles sous numidiennes.

IV.4.2.3- Miocène inférieur

- Sédimentation* : *Dépôt de grès numidiens (Aquitanien), début de dépôt de l'Oligo-miocène kabyle en position interne.*
- Tectonique* : *La partie radicale du domaine des flyschs intermédiaires est intensément tectonisée.*

IV.4.2.4- Aquitanien terminal Burdigalien basal

- Sédimentation* : *Dépôts des formations supra numidiennes en position externe y compris les derniers niveaux de l'Oligo-miocène kabyle en position interne.*
- tectonique* : *les éléments ultra Kabyles ont amorcé leurs glissements par-dessus le domaine Kabyle.*

IV.4.2.5- Burdigalien inférieur

- *Sédimentation* : dépôt de l'Olistostromes nord kabyles.
- *Tectonique* :
 - La zone comprise entre le domaine kabyle et l'axe Babors-Biban est soumise à un serrage.

- Glissement d'éléments citra-Kabyles vers le nord par dessus le domaine Kabyle, avec évolution en nappes sous numidiennes.

IV.4.2.6- Langlinien-Sérravalien-Pliocène

- *Sédimentation* : Dépôts de formations post-nappes

IV.4.3- Structure du Miocène post nappe

Le Miocène se trouve dans le socle sous-jacent affecté par les plis. Les principales structures tectoniques affectant aussi bien le Miocène "post-nappe" que le socle Kabyle sont représentées par une série d'anticlinaux et de synclinaux d'orientation N70E. Les plis d'ampleur plurikilométrique ont une orientation sud-nord, on distingue cependant :

- *Le synclinal de Tizi Ouzou-Oued Aguer gour;*
- L'anticlinal de Aissa-Mimoun, Djebel Belloua qui prolonge à l'ouest celui de Sidi Ali Bounab;
- Le synclinal de l'oued Stita-Tadmaït;
- L'anticlinal de Draa Karrouch prolongé à l'ouest par celui de Naciria;
- Au nord, les chaînons littoraux (Dj.Takdempt et Bouberak) montrent un système plis N70E déversé vers le nord.

Quant à la fracturation influençant la structure post-nappe; elle est peu prononcée dans le bas que dans le haut Sébaou. Probablement, quelques failles peuvent être observées dans les niveaux compétents des molasses et conglomérats aux Djebel El Gueblia et Bouberak.

L'analyse tectonique des formations post-nappe, se résume principalement par une phase de distension suivie d'une phase de compression.

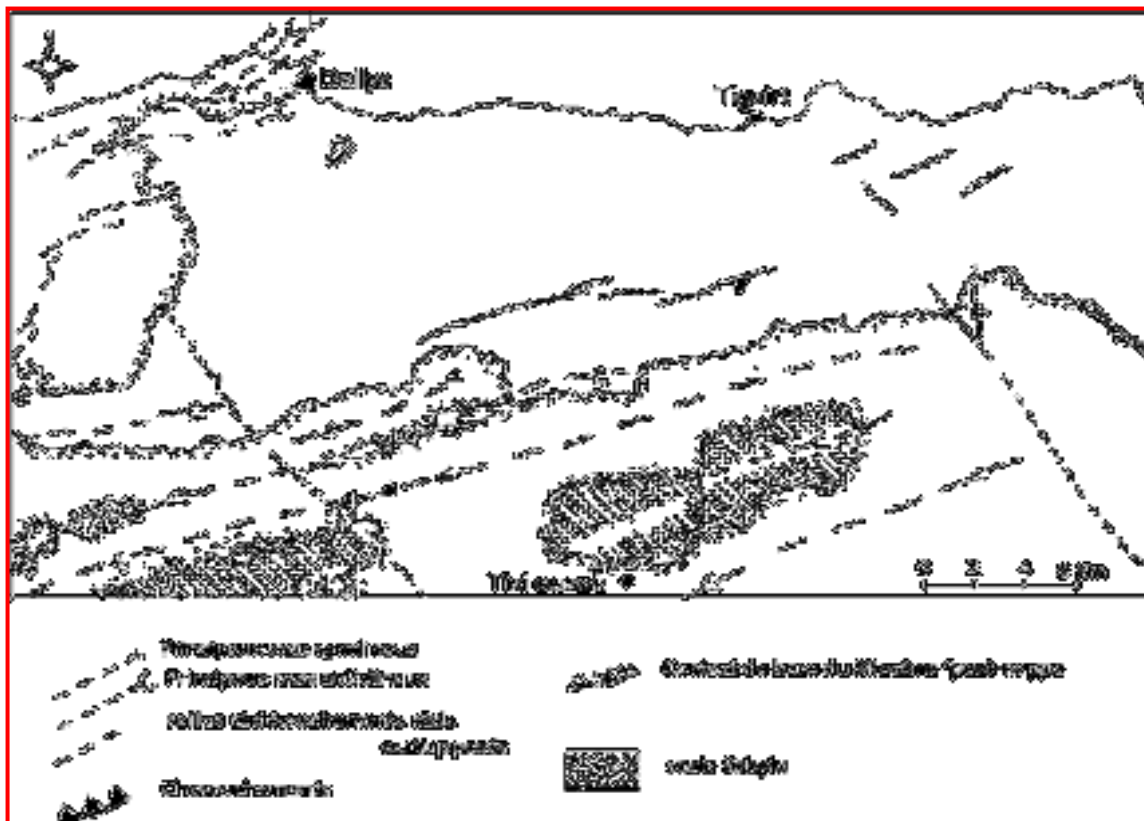


Fig.30 : Principales structures "post-nappes" dans le Nord Ouest de la grande Kabylie (D. Raymond, 1976)

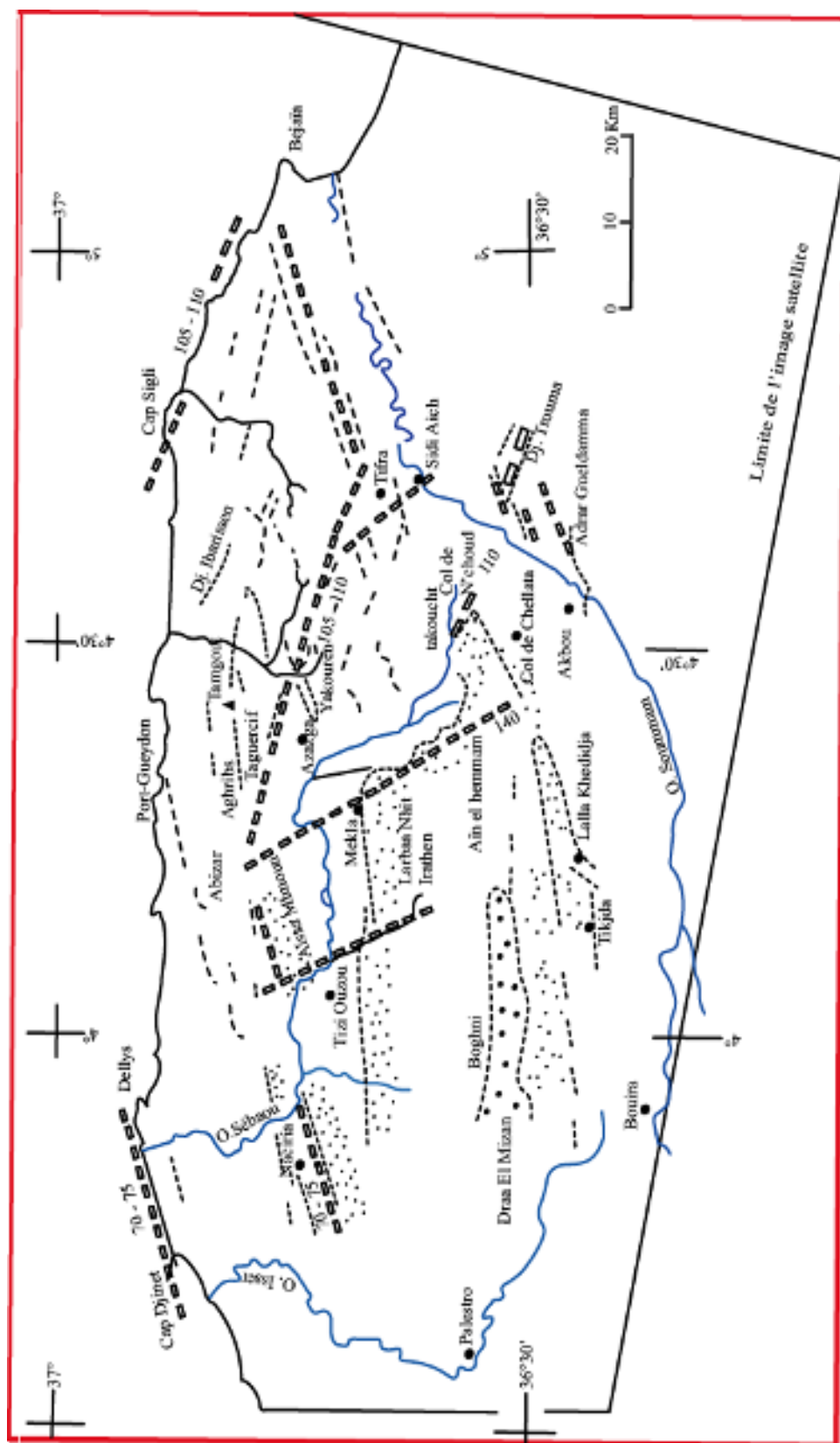


Fig.25 : Interprétation schématique des principaux linéaments affectants la Grabde Kabylie d'après l'image satellite Landsat I (J.p. Gélard, 1979)

IV.5- Conclusion

La vallée de l'oued Sébaou occupe la grande zone synclinale miocène qui s'étend d'Azazga à Dellys.

De point de vue structural, la région d'étude est constituée essentiellement par des formations dites "post nappes "et des terrains quaternaires qui sont limités de part et d'autre par des accidents de quelques anticlinaux (Naciria, sidi Ali Bounab, . Belloua et Aissa Mimoun). L'analyse structurale du miocène post-nappe a permis de mettre en évidence une phase tectonique distensive, responsable de la mise en place du réseau de fracturation, suivie d'une phase de compression qui se manifeste essentiellement par le plissement du socle et de sa couverture mollassique.

Connaissons la nature lithologique, relevant de l'aspect hydrogéologique (perméabilité, porosité..) des différentes formations du bassin versant du Sébaou, il nous y paraît possible d'envisager les formations susceptibles d'être aquifères, ainsi d'en établir la classification suivante :

Le Miocène marneux : Son aspect fin et très peu perméable justifie qu'il ne présente pratiquement aucun intérêt hydrogéologique (points de vue emmagasinement des ressources). Ce niveau constitue, d'ailleurs, le substratum imperméable de la nappe alluviale de l'oued Sébaou.

Bien qu'il soit fracturé et altéré, le socle métamorphique demeure comme un réservoir modeste. En effet, les gneiss et les schistes contiennent certaines sources mais leur débit reste assez faible.

Le massif de Djurdjura : avec sa morphologie Karstique, constitue, certainement, un réservoir important, étant donné que l'oued Sébaou et ces affluents prennent leurs sources depuis ce massif.

Le remplissage alluvionnaire quaternaire : essentiellement fluvial, constitue l'aquifère le mieux identifié, mais également le plus important réservoir de la région. Vu son développement et ces bonnes caractéristiques hydrogéologiques, il est classé comme le principal pourvoyeur de la ressource en eau exploitée pour l'AEP, l'irrigation et l'industrie.

CHAPITRE V :

HYDROGEOLOGIE

V.1- Introduction

L'hydrogéologie est la science qui concerne la recherche, l'exploitation, la gestion et la protection des eaux.

Le principal objectif de notre étude hydrogéologique, est d'identifier et de décrire les unités géologiques ayant une importance du point de vue ressources en eau de la plaine du Sebaou

V.2- Principaux aquifères de Sebaou

Dans le bassin de la grande Kabylie se distingue quatre grands ensembles géologiques présentant des caractéristiques aquifères importantes :

- a)- l'ensemble des formations carbonatées de la chaîne calcaire situées dans la partie sud du bassin versant. Cet aquifère s'étendant sur une superficie de 120Km² (Hiadihine et Menadmi ,1996) est formé de calcaires et dolomies à circulation de fissures et de chenaux Karstiques . Sur les altitudes supérieures à 1500m, il reçoit près de 2m de précipitation tombant surtout sous forme de neige. L'aquifère est très peu étudié et n'est exploité que par captage des sources qui sont nombreuses surtout sur le flanc Nord de la chaîne.
- b)- le domaine de formations métamorphiques constituant le socle qui couvre une superficie de 960 Km². Ce sont des formations où les circulations d'eaux souterraines se font à travers les fissures qui les affectent même en profondeurs. C'est un aquifère caractérisé par des émergences de sources dont le débit moyen ne dépasse pas 1l/s. les niveaux altérés superficiels perméables forment de petites nappes qui sont exploitées par des puits domestiques de profondeur maximale égale à 25m.
- c)- l'ensemble des affleurements des grès du miocène post-nappe qui s'étendent sur une superficie de 796Km² au Nord-Ouest, à l'Est et au Sud- Ouest du bassin versant du sebaou. Ces grès, peu étudiés, présentent un intérêt hydrogéologique malgré leur faible capacité d'infiltration (djemai, 1980). Les sources qui émergent de cet aquifère sont peu nombreuses et ont un débit moyen de 5 l/s.
- d)- les alluvions de remplissage des plaines alluviales : Ce sont des formations du quaternaire ancien et récent, constituées de dépôts détritiques alluvionnaires (galets, sables gros et fins, graviers, limon et argiles). Dans le sebaou, ces dépôts constituent le réservoir le plus exploité de toute la région. C'est pourquoi, nous leur avons accordés un intérêt particulier pour l'étude et la cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la nappe qu'ils constituent. (SAID. R ,1999)

V.3- Caractérisation des aquifères

V.3.1- Etude piézométrique

V.3.1.1- Inventaire des points d'eau

La synthèse des différents inventaires a été rendue possible grâce aux travaux réalisés depuis plusieurs années. La première campagne piézométrique qui a couvert toute la vallée du Sébaou (septembre, octobre 1972 et mars, avril 1973) a été réalisée par Y. Chadrin, Le tableau N°23 donne un aperçu sur les différentes campagnes qui ont suivi à nos jours.

V.3.1.2- Identification des points d'eaux

Les points d'eaux choisis sont généralement des puits paysans qui sont pour la plupart des ouvrages artisanaux construits en briques ou en pierres, non couverts, ils servent pour la majorité à l'irrigation et très peu à l'alimentation en eau potable ; ces puits ne captent pas la totalité de l'aquifère alluviale. Les forages riverains sont généralement en exploitation, ce qui rend les mesures de niveau statique impossible.

Période et auteur	Région d'étude		
	Bas Sébaou	Moyen Sébaou	Haut Sébaou
1972 - 1973 (Y.Chadrine.ANRH)	Hautes eaux Basses eaux	Hautes eaux Basses eaux	Hautes eaux Basses eaux
1980 (Bouzar-USTB mémoire d'ingénieur)			Basses eaux
1981 (M.Djamai USTB. mémoire d'ingénieur)		Basse eaux	
1981 (Aigoune, USTB mémoire d'ingénieur)	Région de Baghlia (Basses eaux)		
1982-1983 (M.Djemai, Grenoble, Thèse de Magister)			Hautes eaux Basses eaux
1992 (Sais et Si Mohamed, USTB, Ingénieur)	De Baghlia à l'embouchure (Octobre-Novembre)		
1999 (Bouadjla - ANRH)			Hautes eaux Basses eaux
2000, 2001, 2002, 2003, 2004 (Bouadjla. ANRH)	Hautes eaux Basses eaux	Hautes eaux Basses eaux	Hautes eaux Basses eaux
2006(Bouadjla, ANRH) 2008 (Bouadjla, ANRH)	Hautes eaux Basses eaux	Hautes eaux Basses eaux	Hautes eaux Basses eaux

Tableau N°21: Les mesures piézométriques effectuées dans la plaine alluviale du sebaou

V.3.1.3- Interprétation des cartes piézométriques

Cette interprétation va permettre de :

- définir l'écoulement souterrain des eaux de l'aquifère.
- définir la relation hydraulique qui pourrait exister entre les différentes terrasses.
- calculer les gradients hydrauliques, importants dans la quantification des différents apports latéraux.

Les cartes piézométriques établies par différents auteurs pour différentes périodes (Chadrine 1975, Djemai 1980 et 1983 et ANRH 2004 et 2008) ne montrent pas de grandes variations dans la position des équipotentielles (figures 31, 32, 33, 34, 35, 36 et 37)

D'après les cartes piézométriques réalisées par l'ANRH de Tizi-Ouzou en 2004. On peut conclure que dans le haut Sébaou, les écoulements souterrains se font dans la direction Sud-Nord dans sa partie Est jusqu'aux environs de Freha où ils prennent la direction Est-Ouest pour traverser la cluse de Belloua. Dans la partie moyenne du sebaou à partir de boukhalfa l'écoulement convergent vers une dépression formée par le champ du captage de Boudid ,au-delà de Draà Ben Khedda l'écoulement prend la direction Est-Ouest. Dans la partie basse du Sébaou, à partir de Tadmait l'écoulement devient Sud-Nord.

Sur les bordures, les lignes de courant convergent vers l'axe de la vallée alluviale.

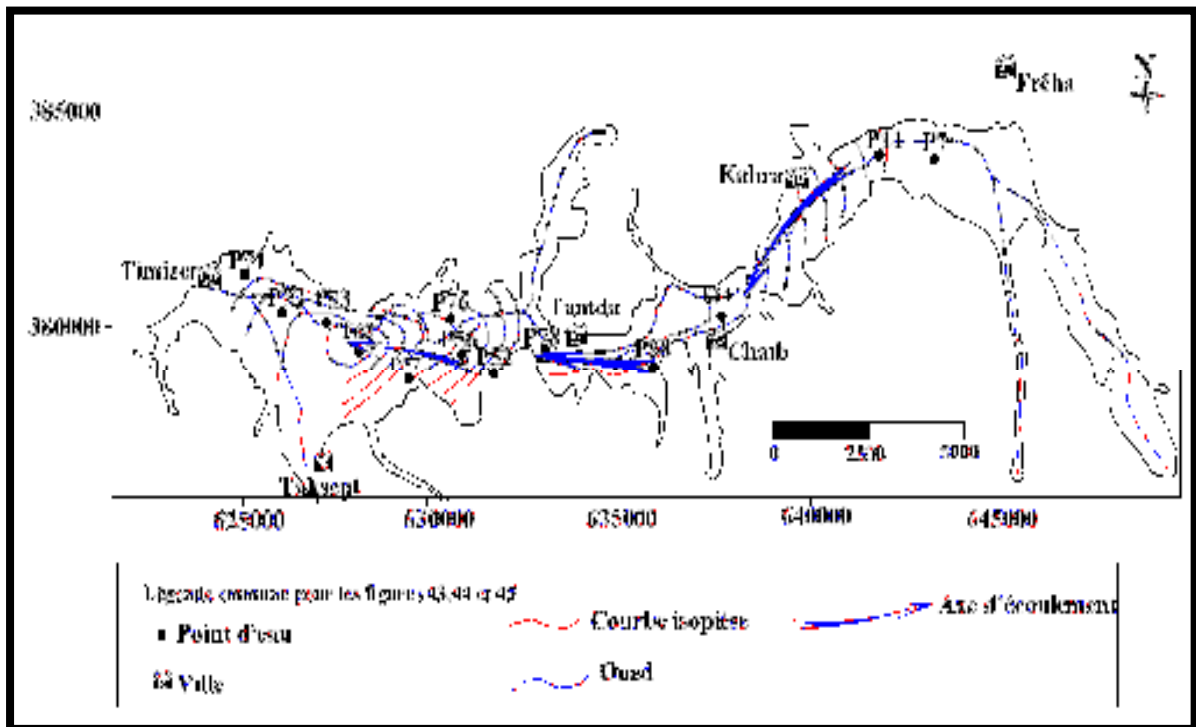


Figure N°1: Carte piézométrique (Haut Sébaou, hautes eaux)

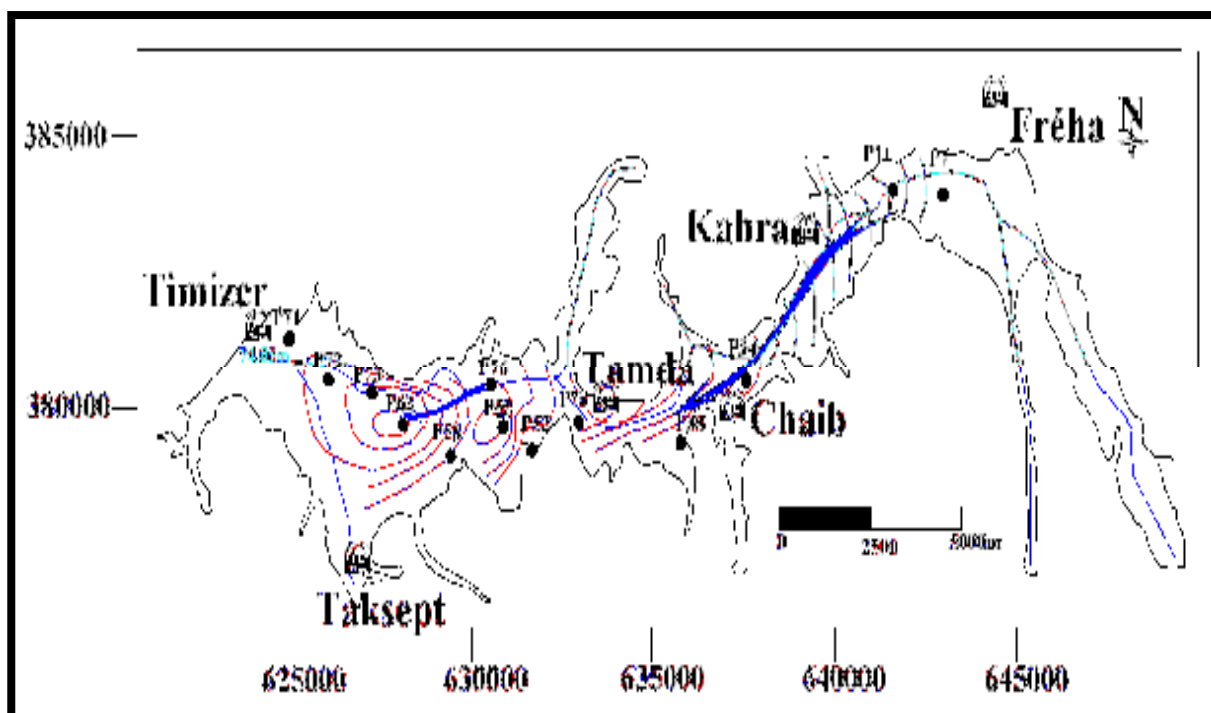


Figure N°2 : Carte piézométrique (Haut Sébaou, Basses eaux)

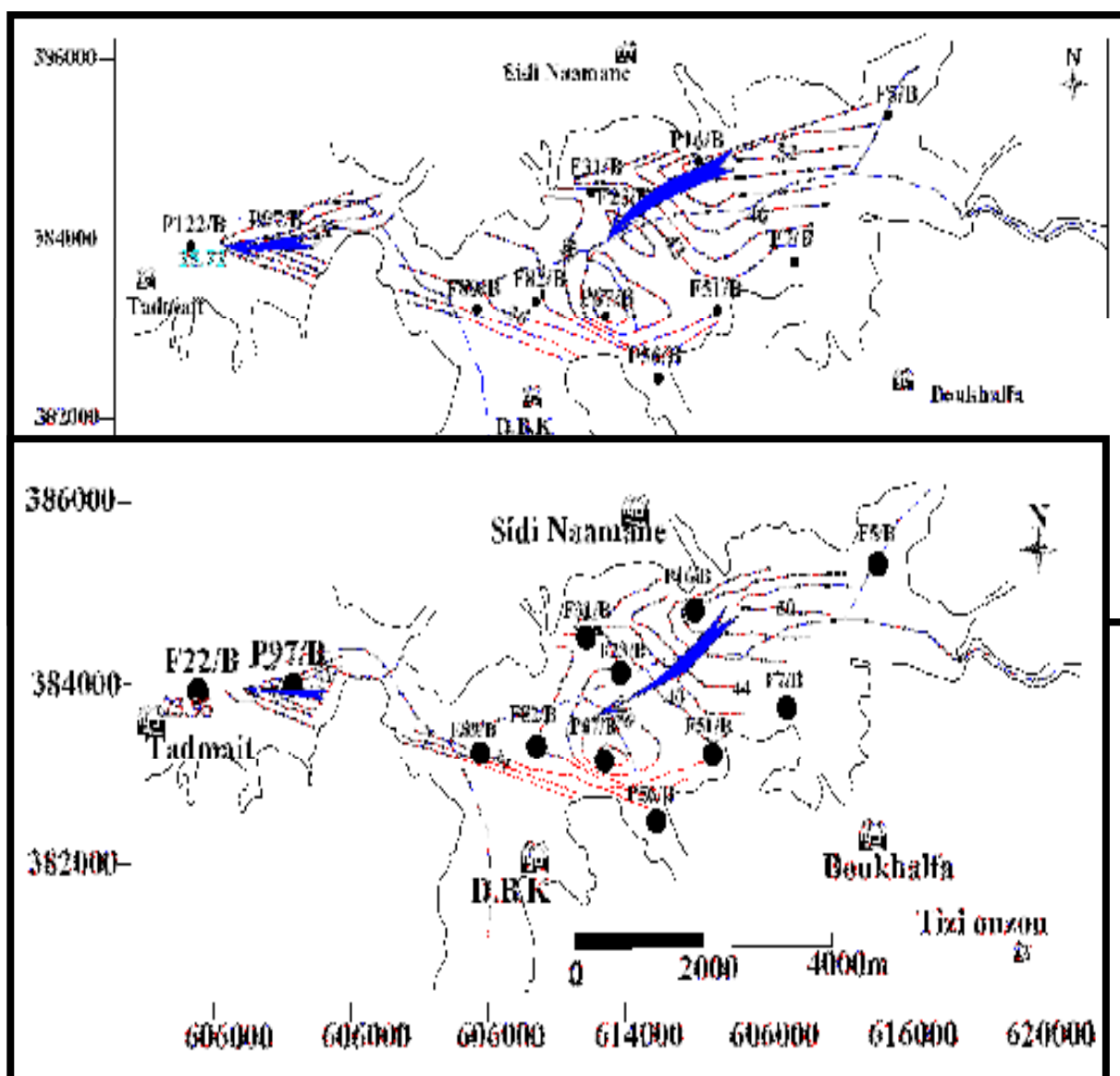


Figure N°3 : Carte piézométrique (Moyen Sébaou, Hautes eaux) Année 2004

Figure N°4 : Carte piézométrique (Moyen Sébaou, Basses eaux) Année 2004

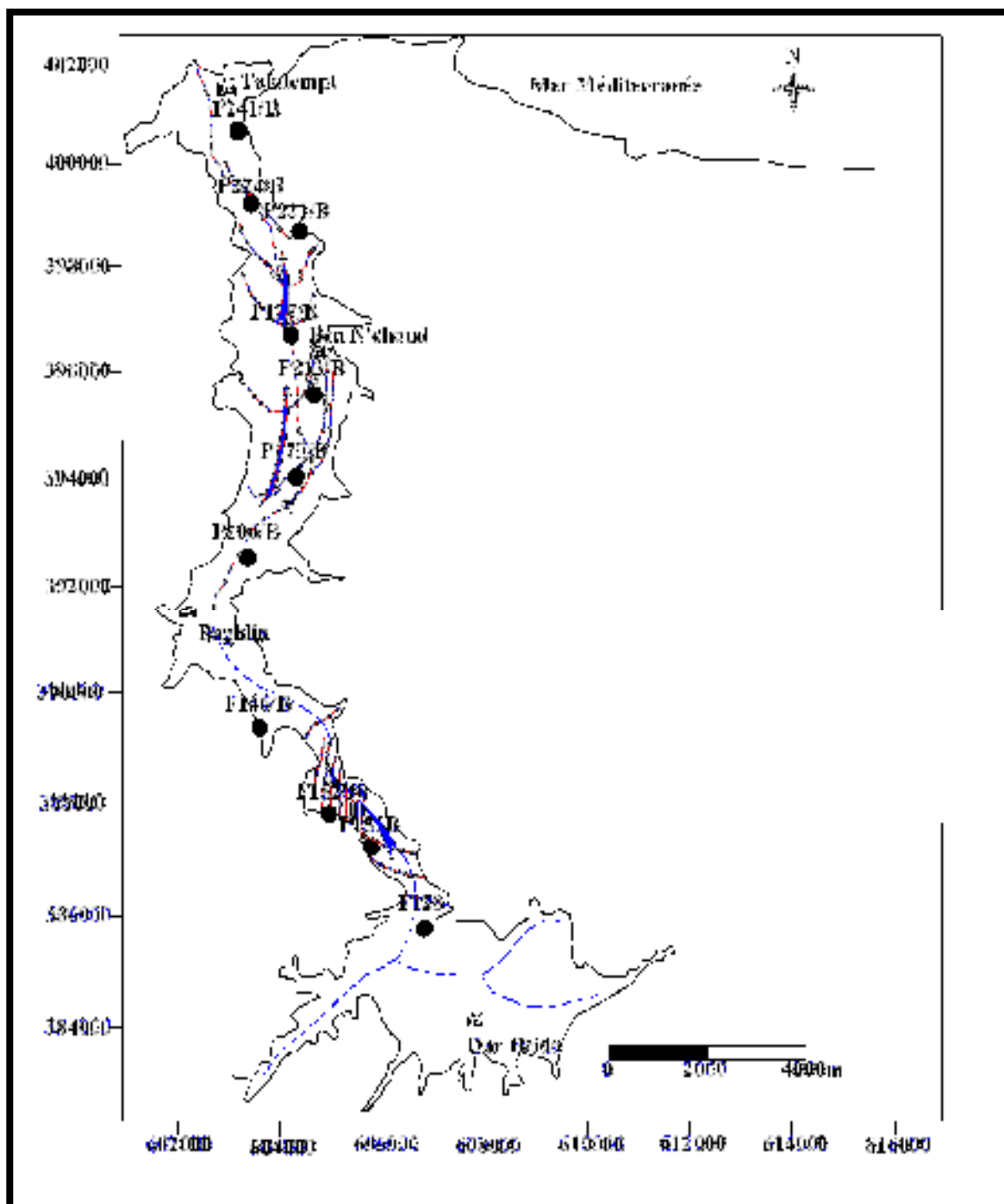


Figure N°5 : Carte piézométrique (Bas Sébaou, basses eaux) Année 2004

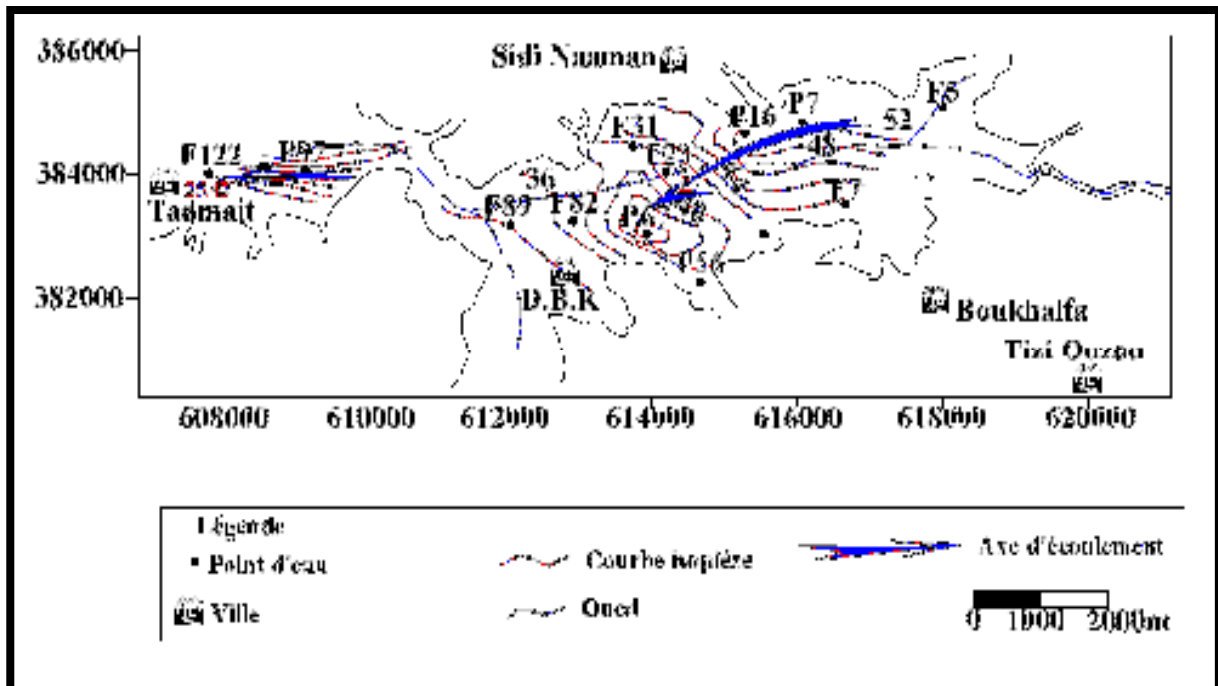
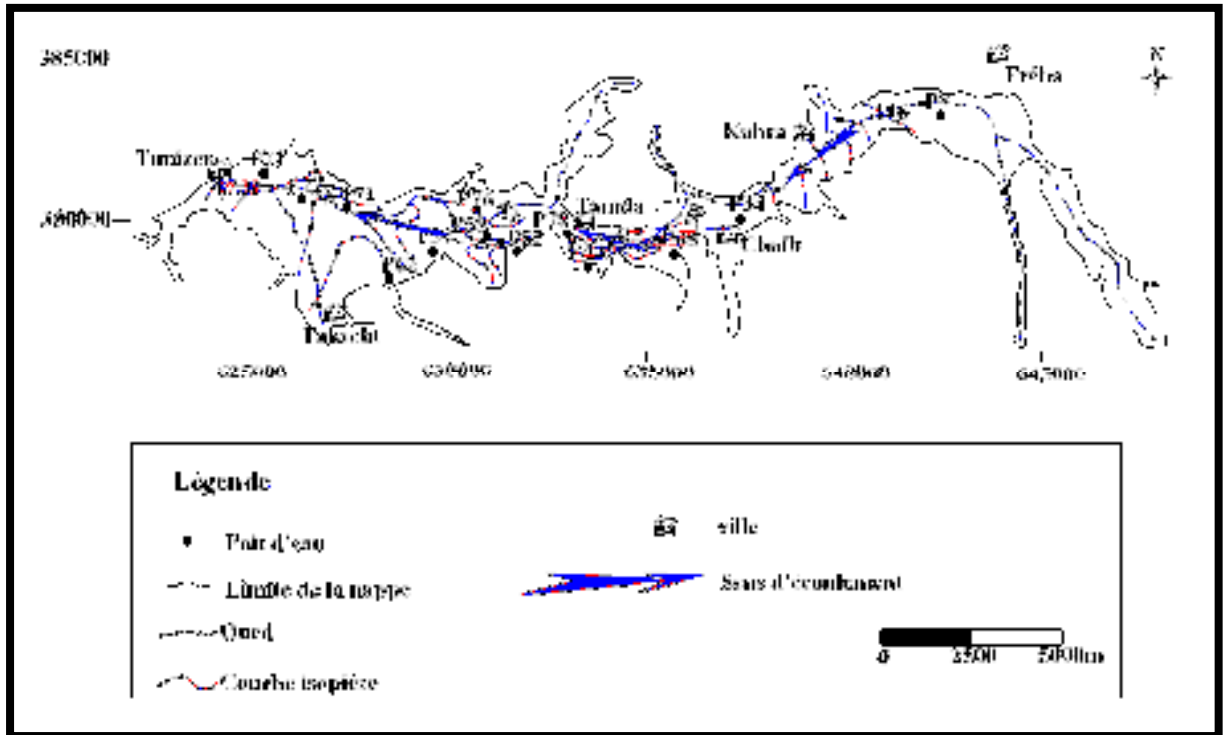
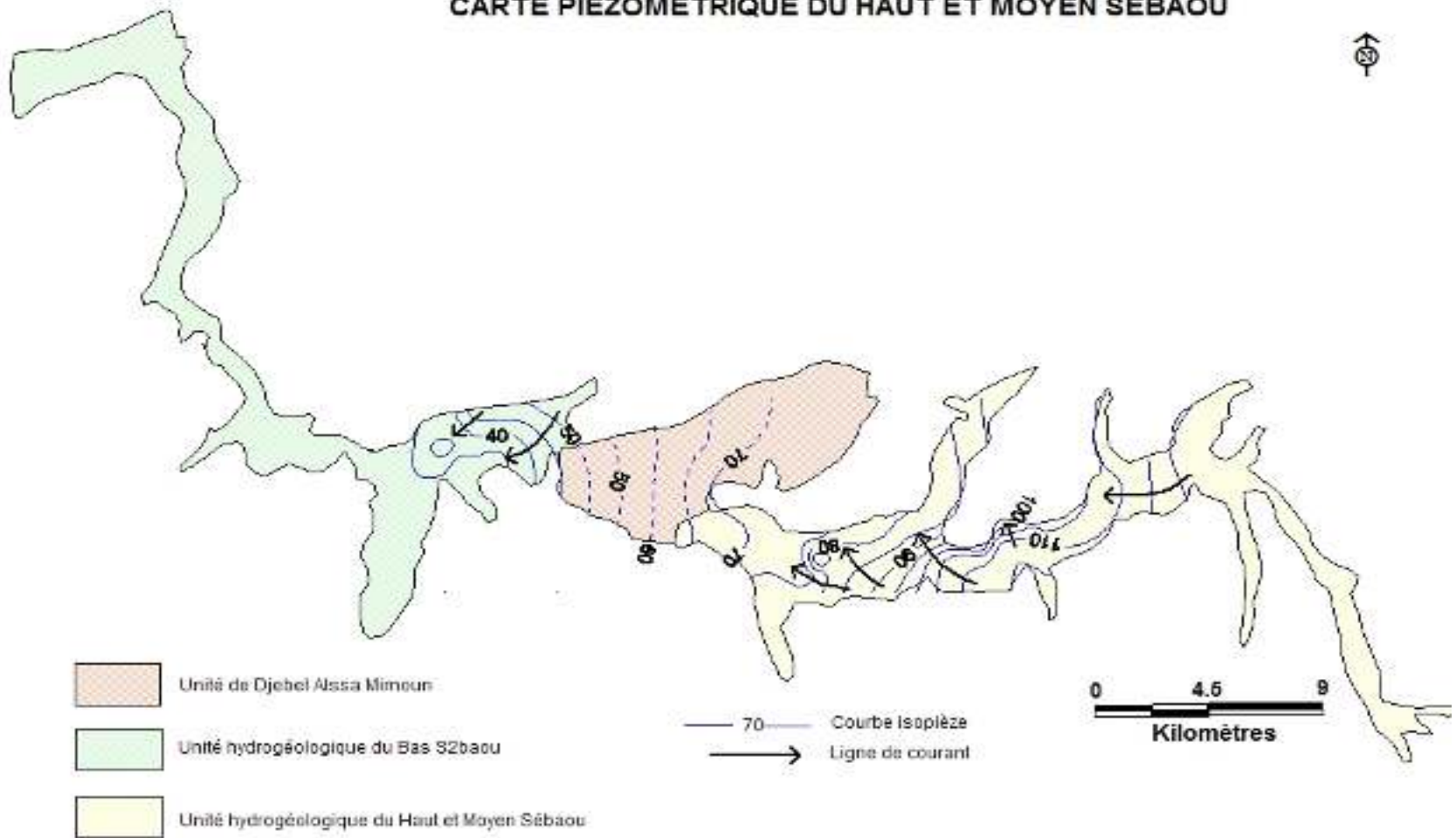


Figure N°6 : Carte piézométrique (Haut Sébaou ,Avril2006)

Figure N°7: Carte piézométrique (Moyen Sébaou ,Avril 2006)



CARTE PIEZOMETRIQUE DU HAUT ET MOYEN SEBAOU



Cette carte a été réalisée grâce à des données récentes (2008) qui nous ont été fournies par l'ANRH de Tizi Ouzou. On remarque qu'il n'y a pas de changement dans la direction de l'écoulement des eaux souterraines en comparant avec la carte ANRH, réalisée en 2004.

V.3.2- Hydrochimies

L'étude hydrochimique de la nappe du Sébaou a été entreprise afin de mieux comprendre le mécanisme d'alimentation de l'aquifère. La connaissance détaillée de la chimie des eaux de la nappe permettra également de mieux les utiliser en particulier en irrigation et en alimentation en eau potable.

A cet égard, l'ANRH (secteur de Tizi-Ouzou) effectue des prélèvements d'échantillons d'eau en guise de qualification et de contrôle de pollution de l'eau. Dans ce sens, nous signalons que pour notre région d'étude, la campagne d'échantillonnage a été effectuée sur vingt quatre points d'eau répartis sur l'ensemble de la plaine comme suit :

- 14 points d'eau dans le haut Sébaou;
- 10 points d'eau dans le bas Sébaou. (Compagnes des hautes eaux 2006).

Les analyses chimiques ont été effectuées au niveau du laboratoire de la DRC/ANRH de BLIDA, et ont porté principalement sur les éléments majeurs à savoir :

- Cation : Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ .
- Anion : Cl^- , SO_4^- , HCO_3^- , CO_3^- , NO_3^- .

Les résultats de ces analyses sont consignés dans le tableau N° 1 en annexe B.

V.3.2.1- Caractéristiques physico-chimiques des eaux de la nappe alluviale :

L'étude hydro-chimique s'orientera vers deux buts :

Le premier, c'est avoir une idée globale sur la qualité actuelle des eaux de la zone étudiée.

Le second, c'est l'analyse de l'évolution spatiale de chaque élément à travers l'aquifère afin de :

- Distinguer les phénomènes qui influent sur la teneur d'un élément.
- Détecter les zones qui présentent des anomalies en rapport avec la concentration.
- Apprécier les mécanismes des écoulements des eaux souterraines ainsi que leur origine.

Pour s'y faire, on a établie pour chaque élément des cartes d'égale teneur superposée sur un fond géologique et topographique en s'appuyant sur les analyses physico-chimiques effectuées par l'ANRH.

a. La conductivité :

Elle exprime la propriété de l'eau à conduire le courant électrique, donc traduit sa teneur en sels dissous. La conductivité de l'eau est exprimée en $\mu\text{mho}/\text{cm}$ ou mmho/cm . L'appréciation de la conductivité d'une eau permet donc de qualifier sa minéralisation.

Les résultats d'analyses des échantillons d'eau prélevés dans la plaine de Sébaou, montrent des conductivités des eaux oscillant entre 0.38 et 1.77 mmhos/cm en hautes eaux, entre 0.8 et 2.54 mmhos/cm en basses eaux. En générale, toutes les valeurs sont modérées variant entre 0.5 et 1,2 mmho/cm . Exception faite pour les points situés à l'embouchure (P222/B, P218/B,...).

Nous constatons sur les cartes figure n°10 et 11, une augmentation progressive des valeurs de conductivité de l'amont vers aval.

- Dans le haut Sébaou, les fortes valeurs se rencontrent dans les ouvrages F63,

P73 situés entre les régions à fortes agglomérations de Tamda et Timizer.

- Dans le bas Sébaou, c'est au niveau des puits circonscrits dans la région côtière que sont enregistrées les fortes valeurs de conductivités.

Ces fortes valeurs peuvent être expliquées par :

- le lessivage des terrains sédimentaires traversés par l'eau ;
- l'évaporation que subissent les eaux peu profondes de la nappe aquifères en bordure de la vallée, se traduit par une augmentation de la concentration en sels dissouts dans le sens de l'écoulement, les eaux se charge en sel tout au long de leur trajet ;
- des rejets d'eaux usées d'origine domestique et industrielle ;
- des engrais chimiques et pesticides utilisées en agriculture ;
- à l'embouchure de l'oued Sebaou, par le phénomène de l'intrusion marine.

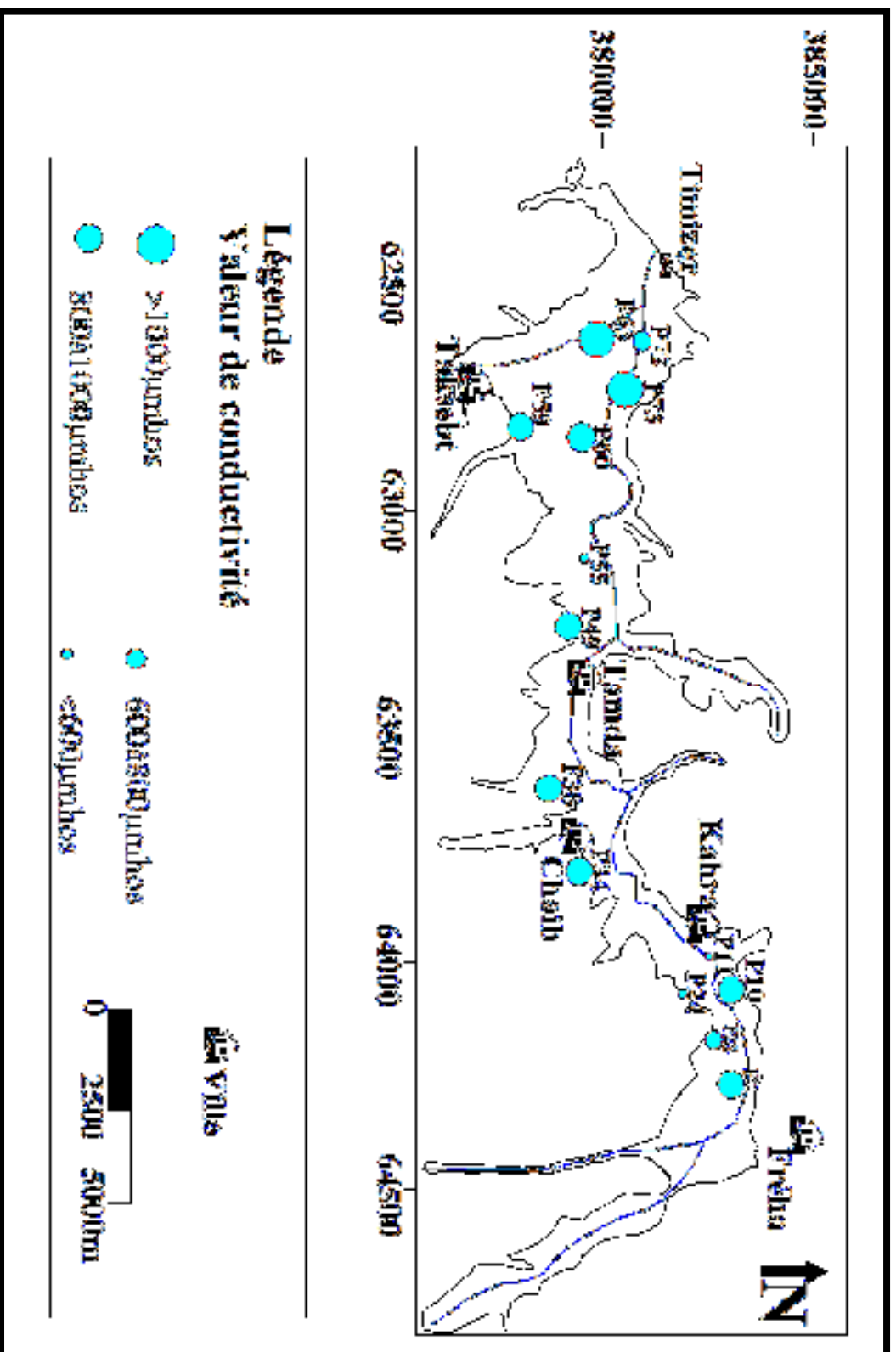


Figure N°10: carte de conductivité (Haut Sébaou ,Avril2006)

b. Degré hydrométrique total des eaux DHT (dureté) :

La potabilité d'une eau est aussi évaluée à l'aide du degré hydrotimétrique qui correspond à la teneur en sel de Ca^{2+} et Mg^{2+} exprimée en degrés français.

$$\text{T.H} = (r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+}) \times 5^\circ\text{F}$$

Pour les eaux de la nappe alluviale du Sébaou le degrés hydrotimétrique varie en hautes eaux de 15 à 62 F°, en basses eaux il varie de 34 à 63 F°, sauf pour le point p231 situé en aval de la nappe dont l'eau présente une dureté de 86 d°F.

Les valeurs de DHT sont consignées dans le tableau en annexe.

Classe de D.H.T (°F)	Dureté de l'eau	Haut Sébaou	Bas Sébaou
<10	Douce	0%	0%
10 à 20	Moyennement douce	14.29%	10%
20 à 35	Dure	50%	50%
>35	Très dure	35.71%	40%

Tableau N°22 : duretés des eaux de la nappe alluviale du Sébaou.

En considérant les normes françaises qui donnent une limite acceptable à 35 d°F et d'après ce tableau nous pouvons noter que la majorité des eaux souterraines de la nappe alluviale du Sébaou sont assez douces à dures (Bouadjel, C, 2007).

Notons que les forages qui se situent à l'aval de la nappe alluviale (Takdempt - Sidi Daoud); tel que P222/B et P218/B; présentent les duretés les plus élevées, ceci est certainement dû à l'avancée du biseau salé dans la nappe côtière.

c. PH mesuré et PH d'équilibre (le potentiel hydrogène)

Le PH d'une solution varie en fonction de la concentration en ion $[\text{H}_3\text{O}^+]$ ou $[\text{H}^+]$ c-a-d Le pH est le cologarithme de la concentration de l'ion H^+ ou H_3O^+ EL permet la connaissance de l'état d'équilibre d'une eau.

$$\text{PH} = \log \frac{1}{[\text{H}_3\text{O}^+]}$$

On remarque que :

- Les valeurs de pH mesuré sont généralement supérieures à 7.0 ;
- La valeur moyenne calculée sur 24 points d'eau est de 7.7 ;
- La valeur minimum est de 7.4 qui correspond au puit P59 située à Taksept ;
- La valeur maximum est de 8.2 qui correspond au puit P222 située à Takdempt ;

Le pH d'équilibre est déduit directement des représentations des analyses sur les diagrammes de Schoeller-Berkaloff tout enjoignant par une droite la teneur de CO_3^- et celle de Ca^{++} .

Le tableau suivant est le résultat de la comparaison du pH d'équilibre déduit du diagramme semi-logarithmique de Schöeller-Berkaloff et celui mesuré au laboratoire (Tableau N°V-2).

Catégories d'eau	Catégories d'eau	Haut Sébaou	Bas Sébaou	Vallée de Sébaou
pH < pHéq	Agressive	7.14%	10%	8.33%
pH > pHéq	Incrustante	85.71%	90%	87.5%
pH = pHéq	Neutre	7.14%	0%	4.16%

Tableau N°23 : Tableau du comparaison du PH

pH < pHéq : dissolution des carbonates de calcium CaCO_3 ;

pH > pHéq : dépôt des carbonates de calcium CaCO_3 ;

D'après les résultats précédents Les pH d'équilibre sont en majorité inférieurs aux pH mesurés au laboratoire, les eaux de la vallée du Sébaou sont en majorité incrustantes : Elles auront tendance à déposer des carbonates qui ont un effet corrosif sur les réseaux de conduite (Bouadjel, C, 2007).

d. Les Résidus sec :

Le résidu sec représente la totalité des sels dissous et la matière organique et correspond à la minéralisation totale d'une eau. Dans la nappe alluviale du Sébaou le résidu sec varie de 350 à 784mg/l en hautes eaux et de 312 à 1213 mg/l, en basses eaux .

les fortes teneurs sont observées en aval de la nappe alluviale notamment au niveau des points P222/B et F63, qui présentent une forte minéralisation (Figure N°12 et 13). Les résultats d'analyse du bas et haut Sébaou concernant la conductivité et le résidu sec donnent des valeurs presque identiques.

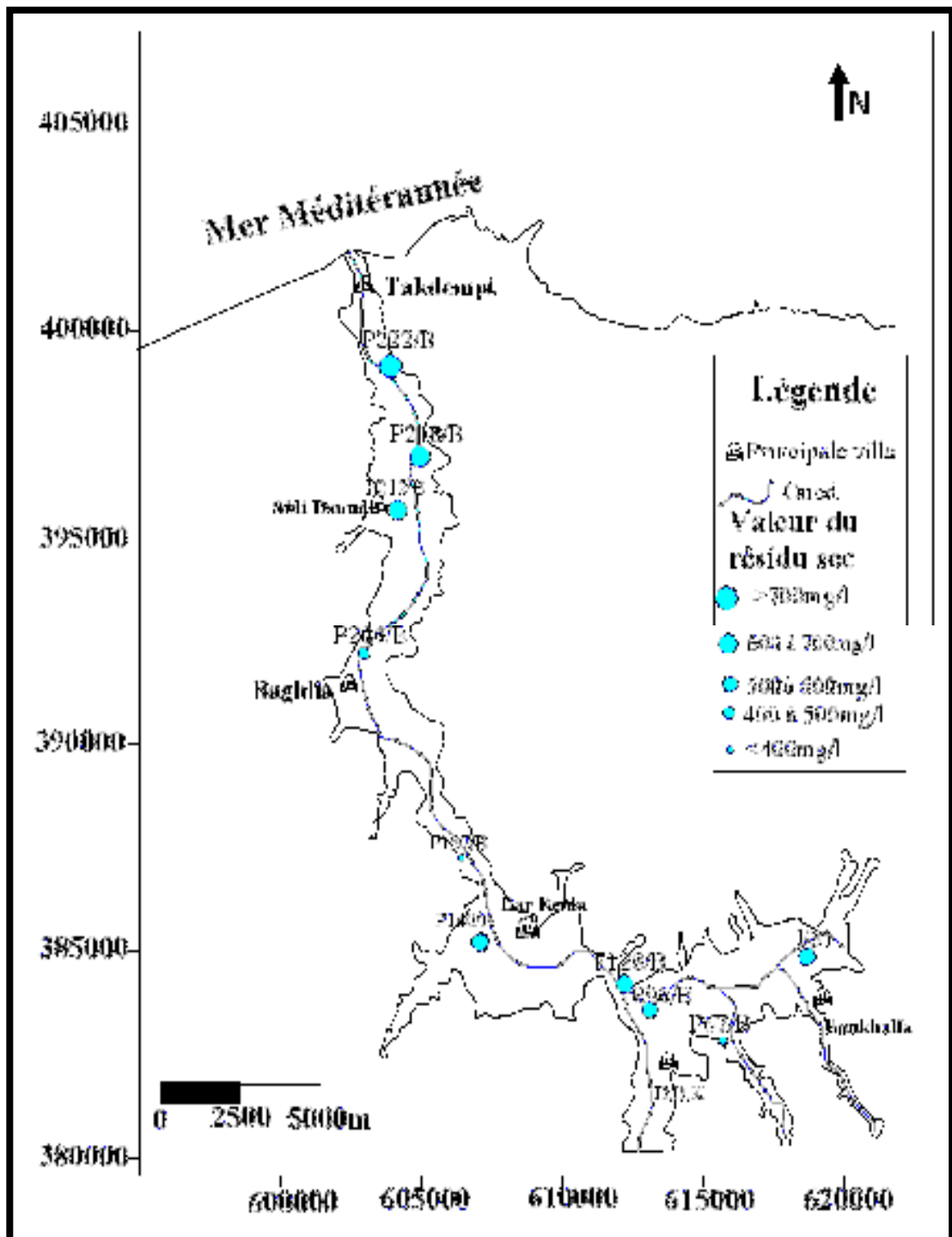


Figure N°13 : carte du résidu sec de la basse vallée du Sébaou(Avril2006)

V.3.2.2- Classification des eaux

a. Classification d'après la formule caractéristique

La classification des eaux d'après Stabler consiste en premier lieu à calculer le pourcentage de chaque ion par rapport à la concentration totale en utilisant la formule dite caractéristique définie par Stabler comme suit :

$$r \% = \frac{100}{C} \times r$$

$r\%$: pourcentage de chaque élément par rapport à la concentration total

C : concentration totale

r : concentration de l'élément considéré

L'étape suivante consiste à classer séparément les anions et les cations par ordre décroissant de leur teneur de gauche à droite. Les résultats obtenus; mentionnés dans le tableau en annexe permettent de distinguer les différents faciès chimiques des eaux de la nappe du Sébaou.

N° de forage	Formule caractéristique	Faciès des eaux
P73 P72	$rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$ $rCa > r(Na + K) > rMg$	Bicarbonaté calcique
P11 P22 P24 P55 P60 F59 F63	$rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl + NO_3)$ $rCa > rMg > r(Na + K)$	Bicarbonaté calcique
P10	$rHCO_3 > r(Cl + NO_3) > rSO_4$ $rCa > rMg > r(Na+K)$	Bicarbonaté calcique
P49	$rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+ NO_3)$ $rMg > rCa > r(Na+K)$	Bicarbonaté magnésien
P72	$rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+ NO_3)$ $r(Na + K) > rCa > rMg$	Bicarbonaté sodique
P34	$rSO_4 > r(Cl + NO_3) > rHCO_3$ $rCa > r(Na+K) > rMg$	Sulfaté calcique
F38	$rSO_4 > r(Cl + NO_3) > rHCO_3$ $rCa > rMg > r(Na + K)$	Sulfaté calcique
P7	$rSO_4 > rHCO_3 > r(Cl + NO_3)$ $rMg > rCa > r(Na + K)$	Sulfaté magnésien

Tableau N°24 : Classification des eaux de la haute vallée du Sébaou selon les formules caractéristiques de Stabler

N°de forage	Formule caractéristique	Faciès des eaux
F31/B P157/B	$rHco_3 > rSo_4 > r(Cl + NO_3)$ $rCa > rMg > r(Na + K)$	Bicarbonaté calcique
P96/ B P14	$rHco_3 > r(Cl + NO_3) > rSo_4$ $rCa > r(Na + K) > rMg$	
F128/B	$rHco_3 > rSo_4 > r(Cl + NO_3)$ $rCa > r(Na + K) > rMg$	
P2 12/ B	$rHco_3 > r(Cl + NO_3) > rSo_4$ $rCa > rMg > r(Na + K)$	
P67/B	$rHco_3 > r(Cl + NO_3) > rSo_4$ $r(Na + K) > rMg > rCa$	Bicarbonaté sodique
P206/B	$rSo_4 > r(Cl + NO_3) > rHco_3$ $rCa > r(Na + K) > rMg$	Sulfaté calcique
P222/B	$r(Cl + NO_3) > rSo_4 > rHco_3$ $rCa > rMg > r(Na + K)$	Chloruré calcique

Tableau°25: Classification des eaux de la basse vallée du Sébaou selon les formules caractéristiques Stabler

D'après cette classification, on distingue trois (3) types de faciès chimiques :

- *Le faciès bicarbonaté* : qui est le plus répandu. Les bicarbonates ont une origine géologique, ils se forment par l'intermédiaire du CO_2 contenu dans les eaux d'infiltration qui dissout les carbonates. Ce faciès caractérise les points d'eau situés dans les zones où l'alimentation se fait par infiltration directe notamment dans les régions de D.B.K, Sidi Namane et Dar Beida ;

- *Le faciès sulfaté* : Il caractérise les points d'eau P34, F38 et P7 situés dans la région de Chaib à Tamda ;

Le faciès chloruré : se rencontre dans le puits P222/B situé à Takdempt; dans la nappe côtière du bas Sébaou. Ce puits est caractérisé par une teneur anormalement élevée en chlorures qui reflète certainement l'influence des eaux saumâtres sur les eaux de la basse vallée de Sébaou (problème d'intrusion marin)

PARTIE 3

CHAPITRE II :

APPLICATION DE LA METHODE DRIST (DRASTIC AMELIOREE)

II.1 Introduction

Dans cette partie, nous appliquons la méthode DRIST (DRASTIC améliorée). C'est une méthode qui a été appliquée en 2003 par Sinan et Al en 2003 dans le bassin du Haouz de Marrakech au Maroc, en supprimant certains paramètres que fait intervenir la méthode DRASTIC universellement connue et appliquée dans différentes régions du monde. Elle fait partie du groupe des méthodes d'évaluation (de la vulnérabilité des aquifères) pondérées, basées sur l'attribution d'une notation aux différents paramètres utilisés (variant généralement entre 1 et 10) et leurs groupement dans des classes différentes. Une pondération est également attribuée selon l'importance relative de chacun des paramètres utilisés.

L'application de cette méthode a nécessité l'utilisation d'un SIG (Système d'information géographique), donc mise en place d'une base de données, avec les logiciels Surfer et Mapinfo 7.5.

II.2- Présentation de la méthodologie proposée pour l'évaluation de la vulnérabilité a la pollution d'une nappe d'eau souterraine

Contrairement à la méthode DRASTIC qui fait intervenir les paramètres relatifs à la fois à la recharge, à la zone non saturée et saturée d'un aquifère, la méthodologie que nous proposons ici est basée sur les seuls paramètres relatifs à la recharge, au sol (pente et nature lithologique) et à la zone non saturée (nature et épaisseur). En effet, nous considérons que seuls ces paramètres interviennent dans la transmission de la pollution vers la nappe à partir de la surface du sol.

Les mêmes poids, notes et classes que celles définis par la méthode DRASTIC, ont été attribués (dans la méthode proposée) aux paramètres utilisés. L'indice de vulnérabilité vertical I_v est calculé en faisant la somme des produits : note et poids de chaque paramètre pris en compte :

$$\text{Avec: } I_v = (R_r \times R_w) + (T_r \times T_w) + (S_r \times S_w) + (I_r \times I_w) + (D_r \times D_w)$$

R,T,S,I,D : représentent respectivement les paramètres pris en compte: recharge, pente du sol, nature du sol, nature de la zone non saturée et profondeur de la surface de la nappe.

r et w : représentent respectivement le poids et la note attribués à chaque paramètre pris en compte.

L'indice I_v peut varier entre les valeurs extrêmes suivantes: 27 (I_v minimum) et 166 (I_v maximum).

Cinq classes de vulnérabilité différentes ont été définies (M. Sinan et al; 2003). Selon la valeur de l'indice I_v ; leurs limites s'établissent comme suit:

- $27 < I_v \leq 50$: Très faible vulnérabilité (couleur bleue)
- $50 < I_v \leq 80$: Faible vulnérabilité (couleur verte)
- $80 < I_v \leq 110$: Moyenne vulnérabilité (couleur jaune)
- $110 < I_v \leq 140$: Forte vulnérabilité (couleur orange)
- $140 < I_v \leq 166$: Très forte vulnérabilité (couleur rouge)

II.3- Présentation de la méthodologie proposée pour l'évaluation de la sensibilité à la pollution d'une nappe d'eau souterraine

La sensibilité d'une nappe à la pollution est une notion non mesurable dépendant des paramètres propres de la nappe, car elle est définie par rapport à une pollution qui a déjà atteint la nappe, à partir de la non saturée ou d'un ouvrage d'eau souterraine (puits, forage, etc).

Nous avons utilisé les trois paramètres suivants pour caractériser cette sensibilité à la pollution des nappes :

- *Qualité de l'eau* : plus cette qualité est importante, plus grande est la sensibilité à la pollution de la nappe;
- *Productivité* : plus la productivité est importante, plus grandes seront les conséquences socio-économiques de la pollution de l'eau;
- *Vitesse de déplacement de l'eau* : plus la vitesse est grande, plus vite se fera le déplacement de la pollution dans l'espace et donc la sensibilité à la pollution devient importante.

Une pondération a été attribuée à chacun des paramètres ci-dessus, basée essentiellement sur l'importance relative de chacun d'eux pour la caractérisation de la sensibilité d'une nappe à la pollution. Ces poids sont de 5 pour la qualité globale de l'eau (étant donné l'importance de ce paramètre, notamment pour une eau destinée à l'alimentation en eau potable), 4 pour la productivité et 3 (identique au poids attribué par la méthode DRASTIC à la perméabilité de la nappe) pour la vitesse de l'eau de la nappe.

II.3.1- Vitesse de l'eau souterraine (Ve)

$$Ve \text{ (m/s)} = K \cdot i / ne$$

Avec : K = coefficient de perméabilité de Darcy en m/s.

- i = gradient hydraulique calculé à partir de la carte piézométrique de la nappe.

- ne = porosité efficace de la nappe (vides occupés par l'eau gravitaire), équivalente au coefficient d'emmagasinement (S) des nappes libres.

Cinq classes de vitesse ont été définies auxquelles les notes suivantes ont été attribuées :

Classe de vitesse effective (Ve) de l'eau souterraine en E-4 m/s Note.

$Ve \geq 5$	10
$3 \leq Ve < 4$	7
$2 \leq Ve < 3$	5
$1 \leq Ve < 2$	3
$Ve < 1$	1

II.3.2- Qualité globale des eaux souterraines

Cette qualité devra être représentée par la potabilité de l'eau. En l'absence de mesures de ce paramètre (dont l'obtention est assez coûteuse) sur l'ensemble de l'étendue de la nappe, cette qualité peut être représentée par la conductivité électrique de l'eau, qui dépend uniquement de la concentration totale en sels dissous dans l'eau, dont la mesure est très facile.

Cinq classes de conductivité ont été définies auxquelles les notes suivantes ont été attribuées:

Classe de conductivité (C) de l'eau souterraine en $\mu\text{s/cm}$ Note.

$C < 400$	10
$400 \leq C < 1\ 300$	8
$1\ 300 \leq C < 2\ 700$	5
$2\ 700 \leq C < 3\ 000$	3
$C \geq 3\ 000$	1

II.3.3- Productivité de la nappe

Cette productivité peut être représentée par la transmissivité, par le débit des ouvrages ou par leurs débits spécifiques. Nous optons pour ce dernier paramètre, en raison d'une part de la disponibilité (généralement) de ses valeurs et d'autre part parce qu'il prend en compte la productivité du couple. Nappe + ouvrage, qui reflète mieux la réalité du terrain.

Cinq classes de débit-spécifique ont été définies, auxquelles les notes suivantes ont été attribuées (Sinan et Al, 2003) :

Classe des débits spécifiques (Q/s en l/s/m) des ouvrages captant la nappe note :

$Q/s \geq 5.0$	10
$2.0 \leq Q/s < 5.0$	7
$0.5 \leq Q/s < 2.0$	5
$0.0 \leq Q/s < 0.5$	3
$Q/s = 0.0$	0

Une fois les différentes classes définies et leurs notes attribuées, on calcule l'indice de sensibilité de la nappe à la pollution (I_s) en faisant la somme des produits de la note de chaque paramètre utilisé et de son poids:

$$I_s = (C_r \times C_w) + (P_r \times P_w) + (V_r \times V_w)$$

Avec:

C : conductivité de l'eau

P : productivité de la nappe (ou débits spécifiques des ouvrages la captant)

V : vitesse de déplacement de l'eau dans la nappe.

r et w : représentent respectivement le poids et la note attribués à chaque paramètre ci-dessus.

Les valeurs de l'indice I_s varient entre 20 (I_s minimal) et 120 (I_s maximal).

L'établissement de la carte de sensibilité d'une nappe à la pollution consiste à calculer et à reporter la répartition spatiale des valeurs de l'indice I_s ci-dessus et leur groupement dans cinq classes différentes (Sinan, et Al, 2003).

$20 < I_s \leq 40$:	Très faible sensibilité (couleur bleue)
$40 < I_s \leq 60$:	Faible sensibilité (couleur verte)
$60 < I_s \leq 80$:	Moyenne sensibilité (couleur jaune)
$80 < I_s \leq 100$:	Forte sensibilité (couleur orange)
$100 < I_s \leq 120$:	Très forte sensibilité (couleur rouge)

II.4- Présentation de la méthodologie proposée pour l'évaluation de la vulnérabilité-sensibilité à la pollution d'une nappe aquifère.

La vulnérabilité-sensibilité (ou vulnérabilité globale) à la pollution d'une nappe est une notion qui intègre à la fois:

- la facilité avec laquelle la pollution peut transiter à travers le sol et la zone non saturée pour atteindre la surface de la nappe (ou vulnérabilité verticale).
- la vitesse de propagation horizontale de cette pollution dans la zone saturée et les conséquences socio-économiques engendrées par cette pollution des ressources en eau (ou sensibilité) de la nappe.

C'est donc une notion qui n'est pas mesurable et qui dépend à la fois des paramètres relatifs à la recharge, au sol, à la zone non saturée et à la zone saturée de l'aquifère (Sinan,et Al,2003).

L'obtention de l'indice (Ivs), de vulnérabilité- sensibilité à la pollution d'une nappe, se fait en faisant une simple sommation (à chaque point de la nappe) de la valeur de l'indice Iv de la vulnérabilité et de celle de l'indice Is de la sensibilité à la pollution. Cet indice Ivs peut donc varier entre 47 (Ivs minimum) et 286 (Ivs maximum).

Les valeurs obtenues de l'indice Ivs sont réparties dans 5 classes différentes, comme ci-dessous:

47 < Ivs ≤ 90 : Très faible vulnérabilité-sensibilité (couleur bleue)

90 < Ivs ≤ 140 : Faible vulnérabilité- sensibilité (couleur verte)

140 < Ivs ≤ 190 : Moyenne vulnérabilité-sensibilité (couleur jaune)

190 < Ivs ≤ 240 : Forte vulnérabilité-sensibilité (couleur orange)

240 < Ivs ≤ 286 : Très forte vulnérabilité-sensibilité (couleur rouge)

II.5- Application de la méthodologie développée à la nappe alluviale du haut sebaou

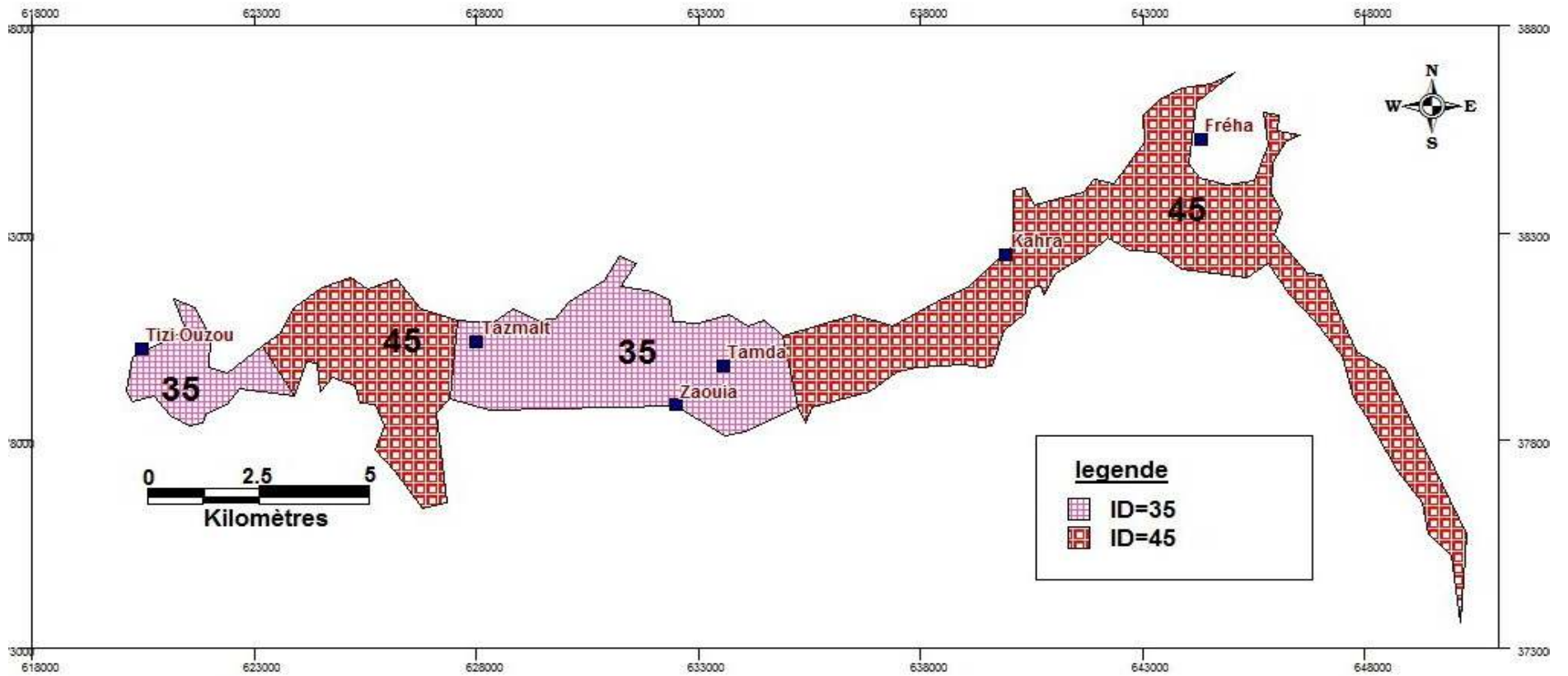
II.5.1- Présentation de la carte de vulnérabilité verticale à la pollution de la nappe du haut sebaou

Après avoir établie les cartes des indices partiels qui englobent les paramètres suivants :

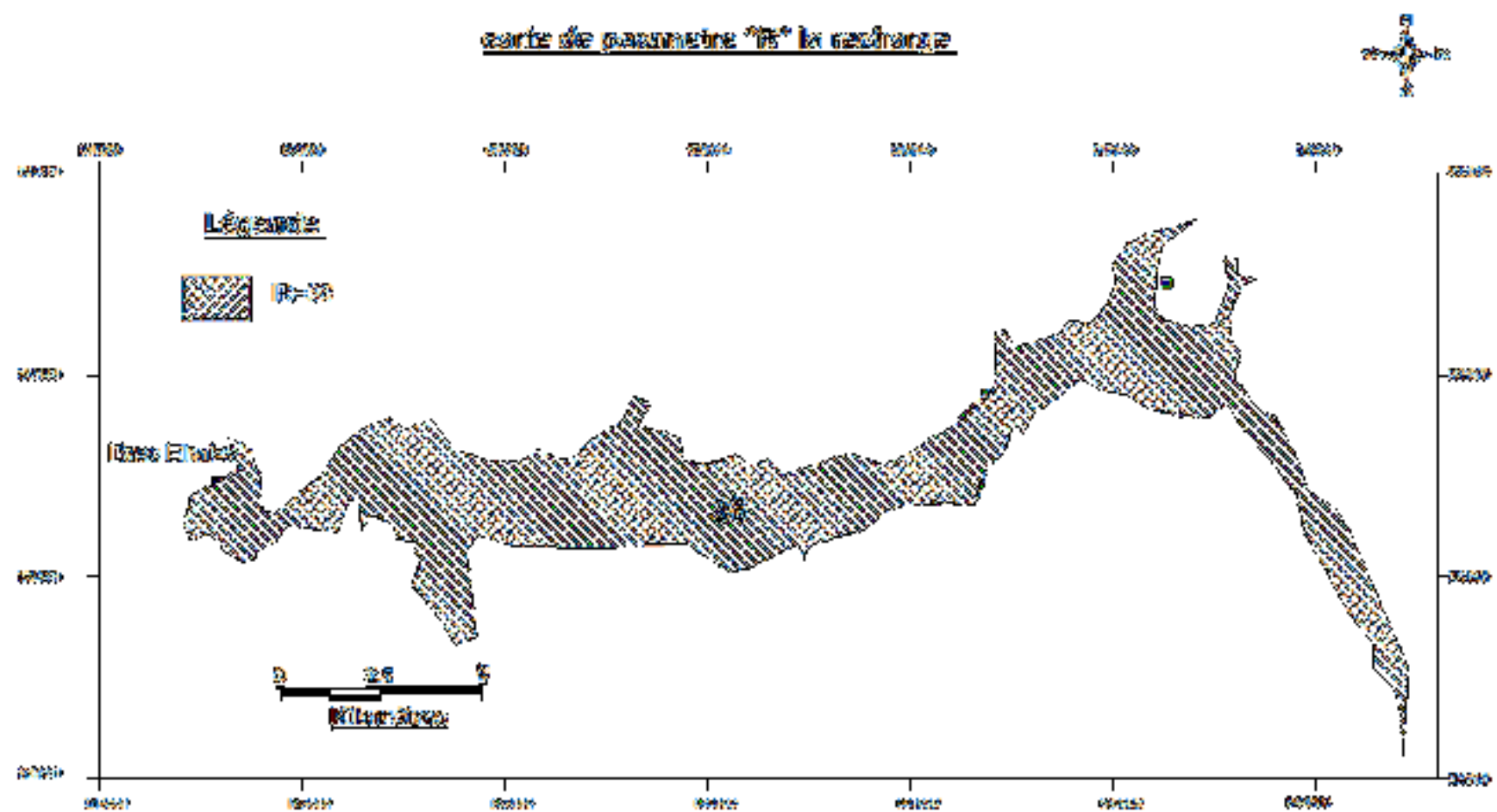
- La profondeur de la nappe ; (Figure n°52)
- La recharge nette ; (Figure n°53)
- La zone non saturée. (Figure n°54)
- Le type de sol ; (Figure n°55)
- La topographie ; (Figure n°56)

L'assemblage par superposition des 5 cartes paramétriques obtenues, nous a permis d'élaborer la carte de vulnérabilité verticale, à l'aide du logiciel Mapinfo 7.5

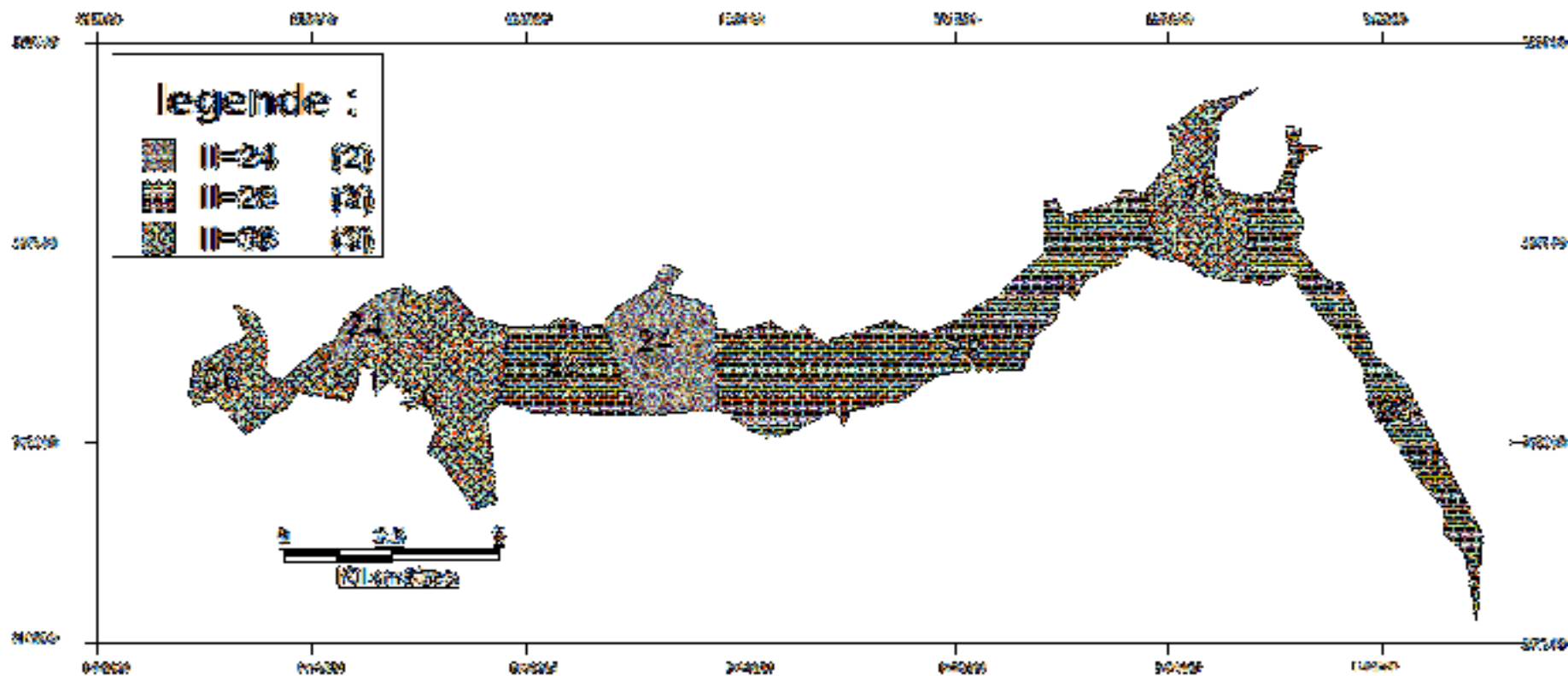
CARTE DE PARAMETRE "D" RELATIVE A LA PROFONDEUR DE LA NAPPE

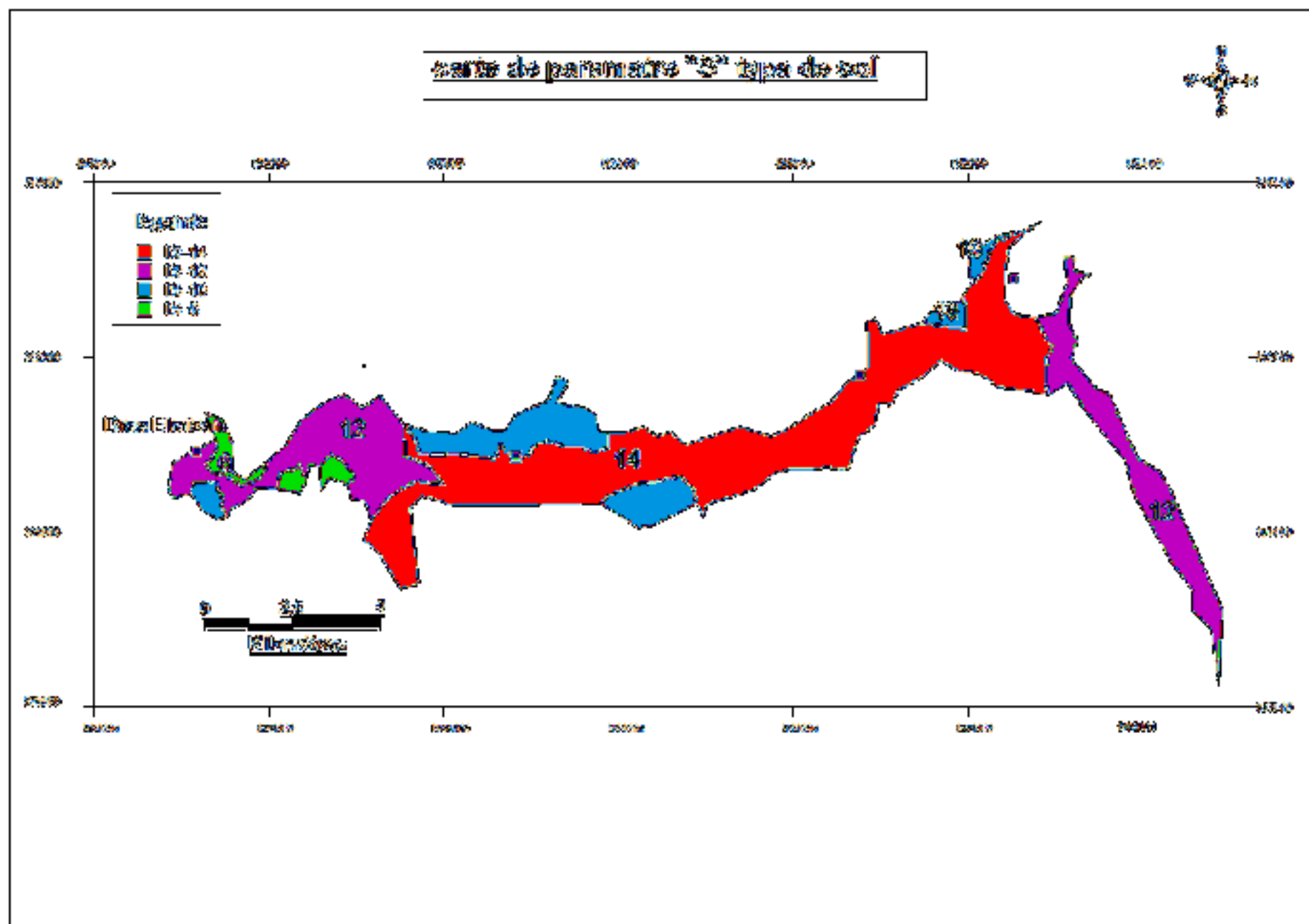


carte de répartition "IS" la méditerranée



carte de parametre "l" relative a la zone non sature

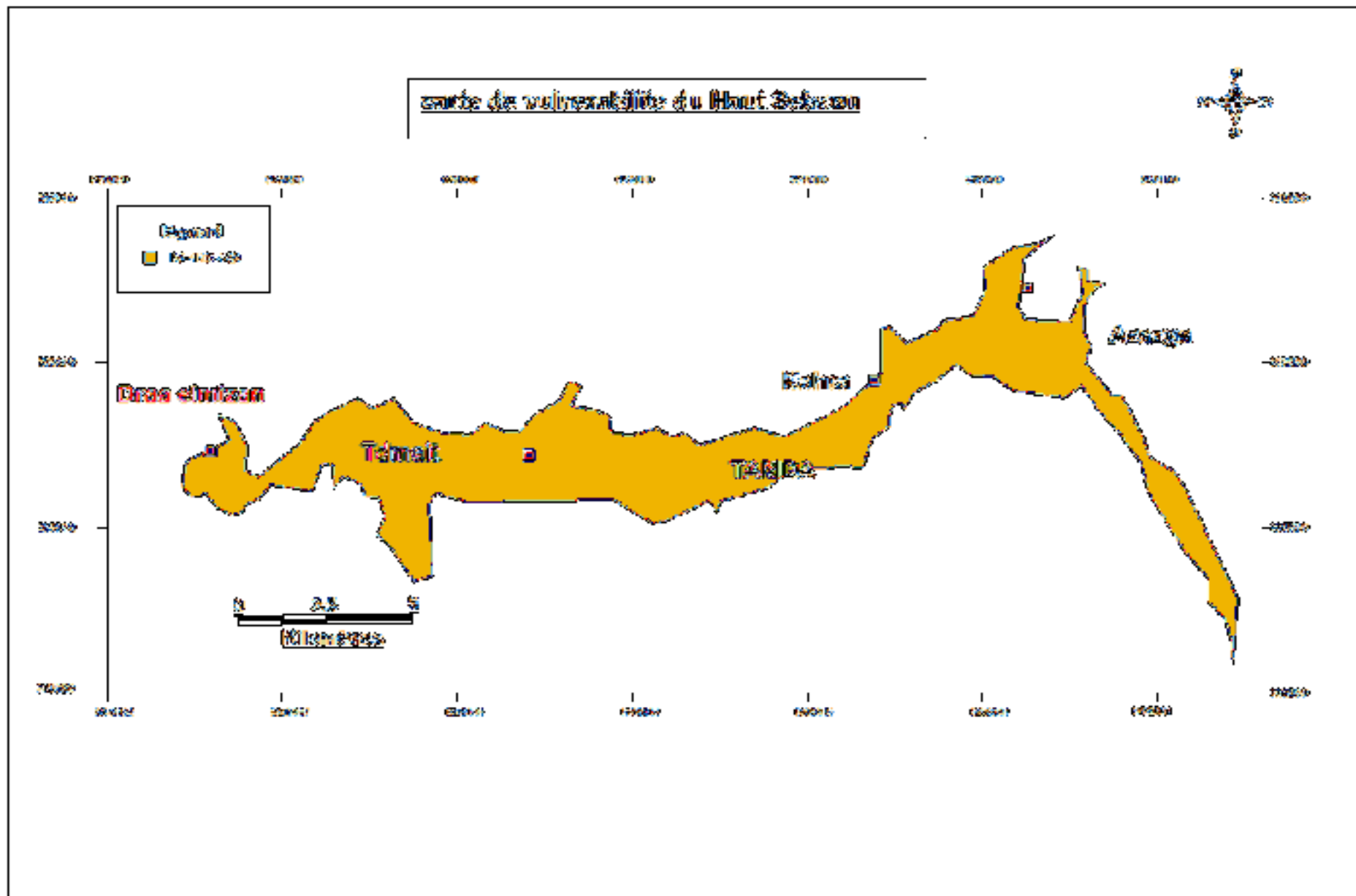




Les normes de la classification de la vulnérabilité par la méthode DRIST et les couleurs attribuées sont les suivantes :

- $27 < Iv \leq 50$: Très faible vulnérabilité (couleur bleue).
- $50 < Iv \leq 80$: Faible vulnérabilité (couleur verte).
- $80 < Iv \leq 110$: Moyenne vulnérabilité (couleur jaune).
- $110 < Iv \leq 140$: Forte vulnérabilité (couleur orange).
- $140 < Iv \leq 166$: Très forte vulnérabilité (couleur rouge).

Les valeurs de l'indice de vulnérabilité (Iv) (Figure n°57) de la nappe du Haut Sebaou varient de 115 à 140. Ces valeurs permettent de distinguer une zone de vulnérabilité. La vulnérabilité de la nappe à la pollution est globalement à forte vulnérabilité.



II.5.2- Caractérisation de la sensibilité à la pollution de l'aquifère du Haut Sebaou

II.5.2.1- Préparation des données

Les cartes des paramètres pris en compte, pour l'élaboration de la carte de sensibilité à la pollution de la nappe sont la qualité de l'eau, vitesse des écoulements souterrains et productivité de la nappe.

► Vitesse des écoulements souterrains :

Nous distinguons sur la carte (Figure n°58) deux (2) zones distinctes :

- une zone à l'extrême Ouest et la région de Tamda dont on attribue un indice $IV=15$
- la deuxième zone englobant la région de Tizi Ouzou, Tadmait, Friha et Azazga avec un indice $IV=30$.

► Qualité de l'eau :

Pour l'établissement de la carte de la qualité de l'eau, nous avons utilisé les valeurs de la conductivité électrique, donnée obtenue à partir de l'étude pédologique réalisée par le service pédologique de l'ANRH d'Alger en 2006.

Les valeurs de la conductivité relevées dans notre région d'étude varient entre $116\mu\text{s}/\text{cm}$ et $250\mu\text{s}/\text{cm}$ ou même $< 400\mu\text{s}/\text{cm}$ donc on attribue un indice de $IC=50$ pour toute la région.

De ce fait nous obtenons une carte caractérisée par une seule plage de couleur rose (figure n°59).

► La productivité

Pour établir la carte de productivité (Figure n°60), on a utilisé le débit spécifique, la seule donnée disponible.

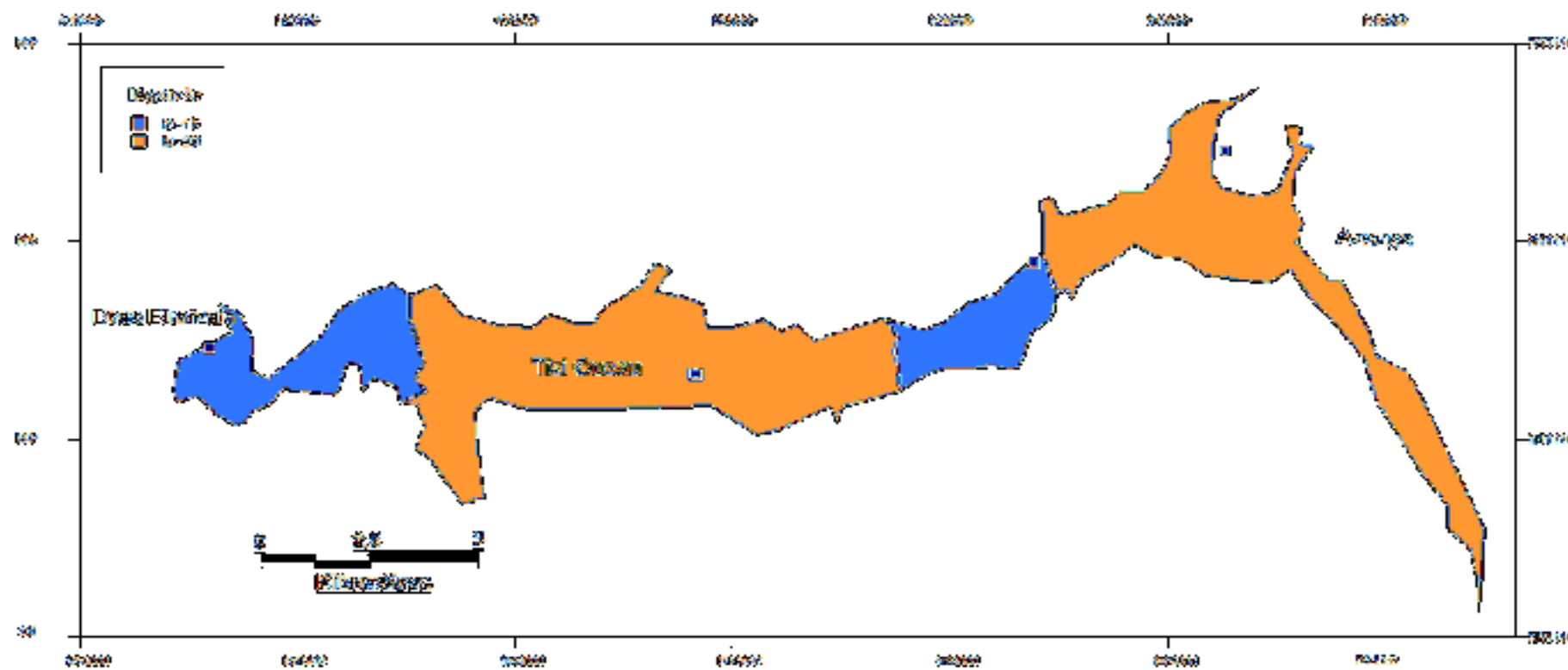
Sur cette carte on délimite deux (2) zones distinctes :

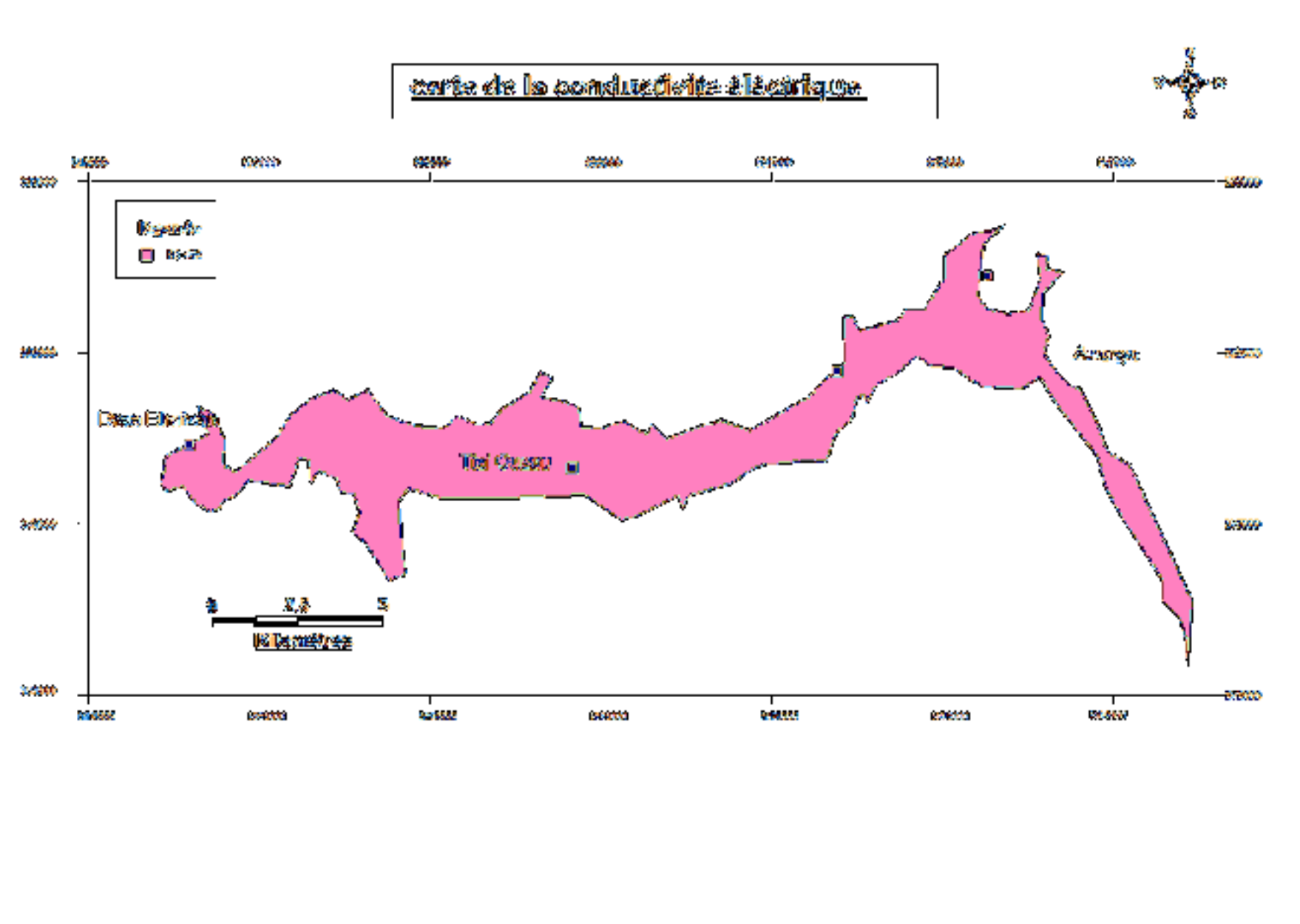
- une zone au centre (dans la région de Tizi Ouzou) avec un indice $IQ=20$;
- le reste de notre zone d'étude ; représentant la majorité de la superficie ; on lui attribue un indice $IQ=40$.

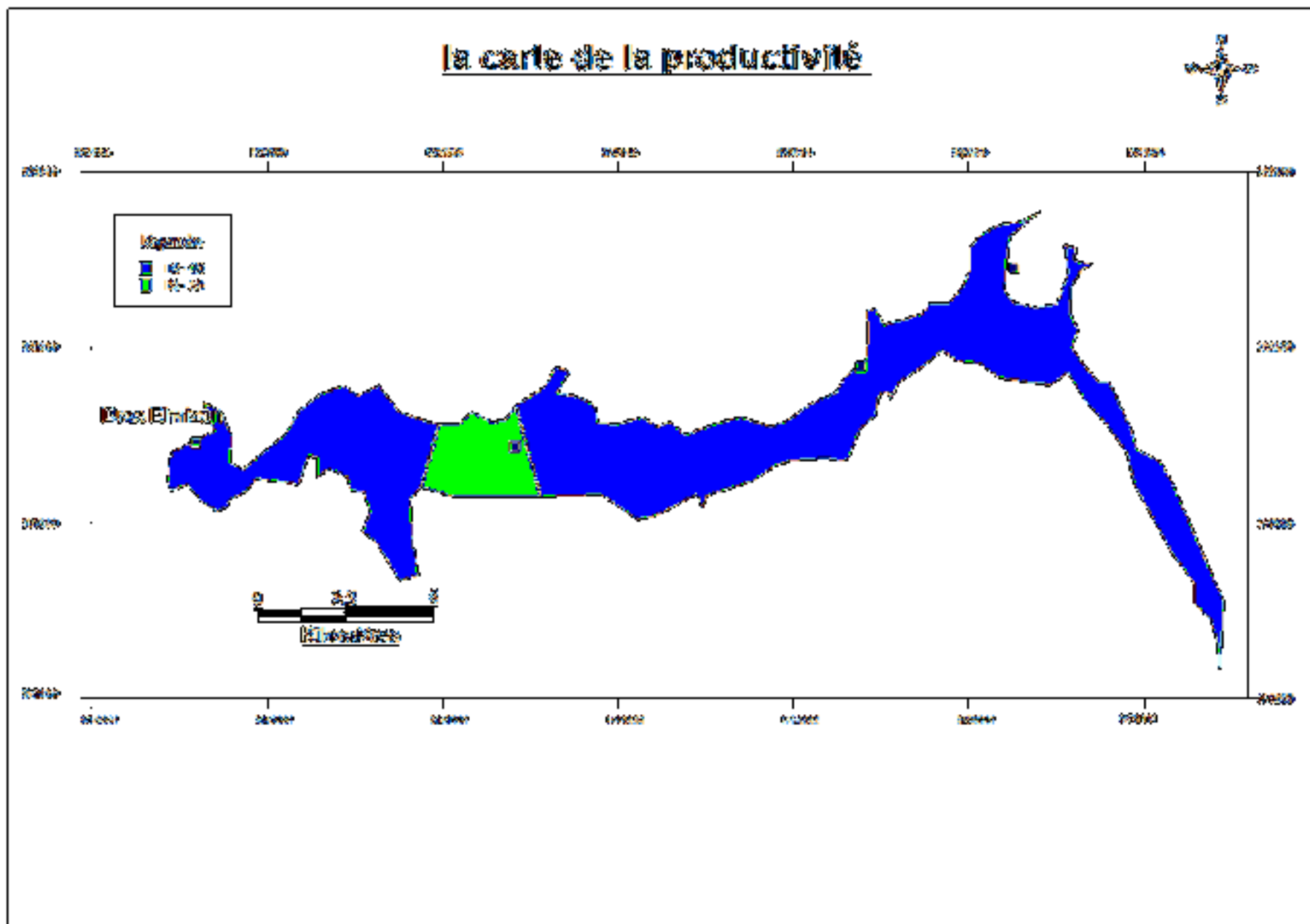
II.5.2.2- Présentation de la carte de sensibilité (Figure n°61) à la pollution de la nappe du Haut Sebaou

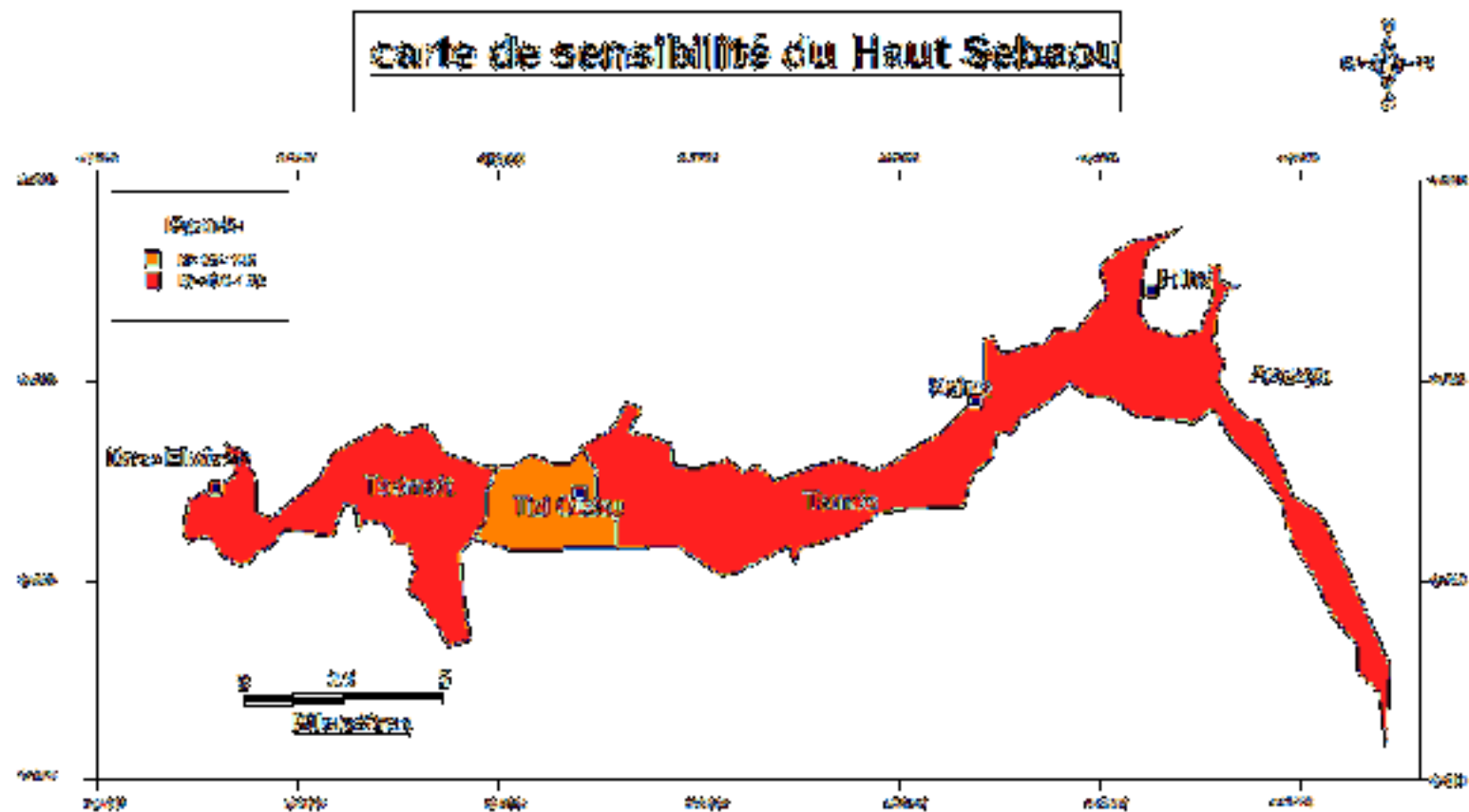
Les valeurs de l'indice de sensibilité (I_s) varient entre 100 et 120. Ces valeurs permettent de distinguer deux (2) classes différentes de sensibilité. Globalement la nappe du Sebaou est fortement sensible à la pollution qui l'atteint. Cette forte sensibilité s'explique notamment par les vitesses généralement grandes de l'eau souterraine car l'aquifère se constitue des sables et de graviers dans toute sa superficie.

carte de la vitesse d'accumulation m³/a



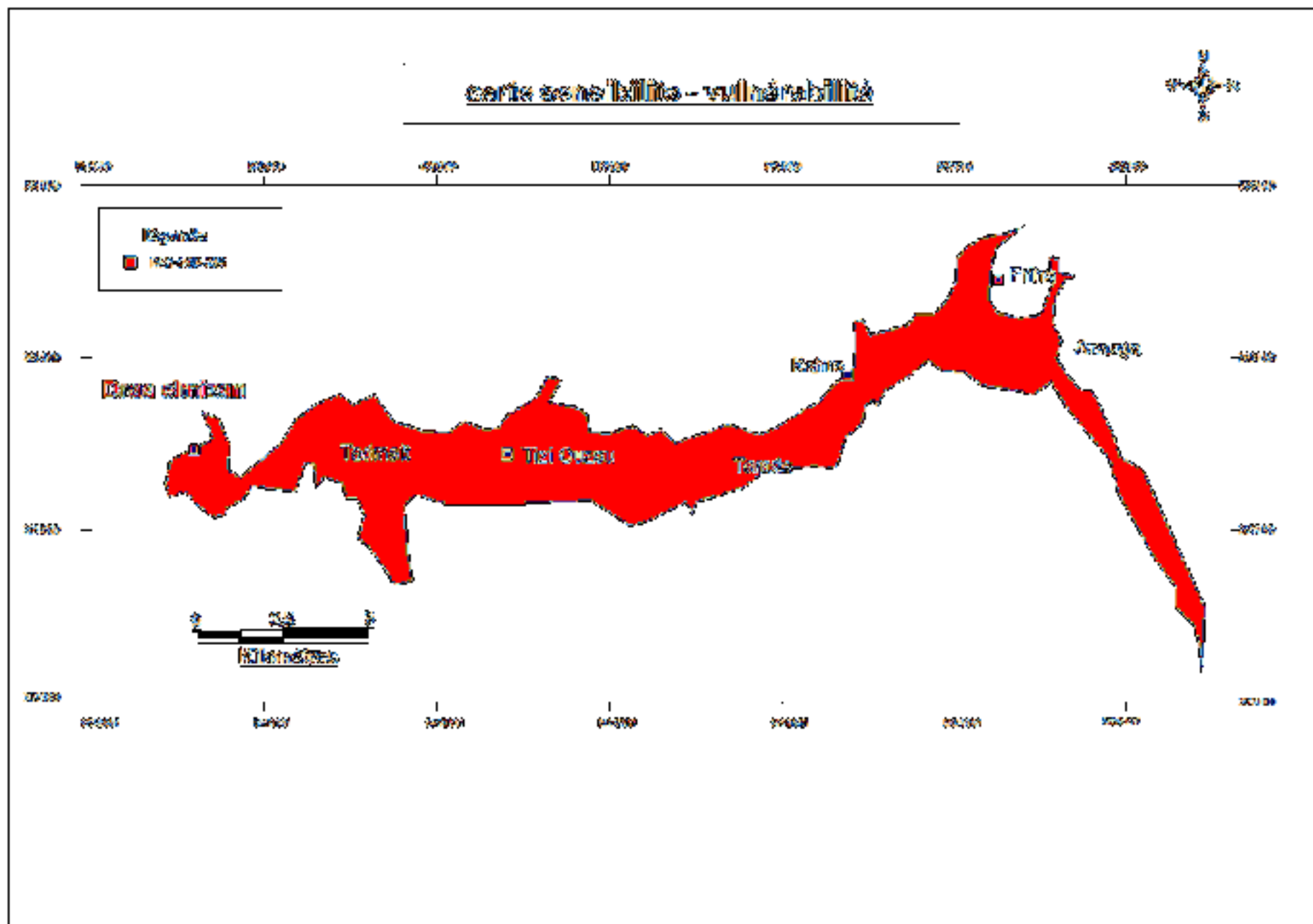






II.5.2.3- Caractérisation de la vulnérabilité-sensibilité (Figure n°62) à la pollution de la nappe du Haut Sebaou

Les valeurs de l'indice I_{vs} de la vulnérabilité-sensibilité à la pollution de la nappe du Haut Sebaou ont été calculées en faisant la somme des indices de vulnérabilité (I_v) et de sensibilité (I_s) à la pollution. Ces valeurs varient entre 240 et 286 (très forte sensibilité – vulnérabilité) ; ce qui ne met en exergue qu'une seule classe de sensibilité – vulnérabilité sur toute l'étendu de la plaine du Haut Sebaou.



II.6- Conclusion

Une nouvelle méthodologie a été proposée pour la caractérisation de la vulnérabilité globale à la pollution d'une nappe d'eau souterraine. Elle constitue une amélioration de la méthode DRASTIC universellement utilisée. Cette vulnérabilité globale est basée à la fois sur les paramètres relatifs à la recharge, au sol, à la zone non saturée et à la zone saturée de l'aquifère.

La caractérisation de la vulnérabilité verticale des nappes à la pollution (provenant de la surface du sol et traversant sa zone non saturée) est basée uniquement sur les paramètres relatifs à la recharge, au sol (pente et nature) et à la zone non saturée (faciès et épaisseur) de l'aquifère.

La caractérisation de la vulnérabilité des nappes au transfert horizontal de la pollution l'ayant atteinte (appelée aussi sensibilité à la pollution) est basée uniquement sur les paramètres relatifs à la zone saturée : vitesse des écoulements souterrains, qualité de l'eau et productivité de la nappe.

Cette méthodologie a été appliquée à la nappe du Haut Sebaou dans la willaya de Tizi-Ouzou. Cette nappe joue un rôle capital dans le développement socio-économique de la région de Beni Douala et d'autre part pour l'alimentation en eau potable et industrielle.

Cette méthode nous montre que cette nappe a une très forte sensibilité –vulnérabilité à la pollution.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE :

Dans un avenir relativement proche le problème de l'eau en Algérie risque de devenir gravissime tant par les effets combinés de la sécheresse et de la gestion irrationnelle de cette ressource que par le phénomène de désertification. Une meilleure gestion de l'eau s'impose à cause de son insuffisance et du coût élevé de sa mobilisation.

Située à environ 80Km à l'Est d'Alger, le bassin versant du Sébaou couvre une superficie de 2500 Km². Il est de forme allongée et son altitude moyenne s'élève à 504m.

Du point de vue hydroclimatologie; la région d'étude jouit d'un climat méditerranéen caractérisé par une température moyenne de 17,30°C et des précipitations moyennes de 865mm dont 670mm s'évaporent, 05mm s'infiltrent et 182mm s'écoulent pour déboucher vers la mer.

La cartographie est le moyen le plus commode et aussi la meilleure illustration pour expliquer et représenter les conditions hydrogéologiques qui exposent ou au contraire protègent plus ou moins les eaux souterraines vis- à-vis des pollutions d'origine superficielle.

La carte de vulnérabilité de la nappe alluviale du Sebaou établie par la méthode DRASTIC ainsi que la carte sensibilité – vulnérabilité réalisée par la méthode DRIST (DRASTIC améliorée) est facilement révisable et actualisable et par conséquent modifiable en fonction des nouvelles conditions hydrogéologiques et des objectifs à atteindre sans contraintes d'échelles.

La carte de vulnérabilité DRASTIC est obtenue par la superposition des sept cartes thématiques tracées dans la partie trois. L'interprétation de cette carte fait ressortir trois unités hydrogéologiques :

- Unité hydrogéologique (2A) à vulnérabilité très élevée avec un indice DRASTIC qui varie entre 180 et 199. Ces unités se trouvent dans la partie Ouest, Draa El Mizan, et Kahra.
- Unité hydrogéologique (2B) à vulnérabilité élevée avec un indice DRASTIC qui varie entre 160 et 179.
- Unité hydrogéologique (2C) à vulnérabilité moyenne avec un indice DRASTIC variant entre 140 et 159, occupe la partie centrale dans la région de Tizi-Ouzou.

La deuxième méthode qui a été utilisée pour la détermination de la sensibilité-vulnérabilité est la méthode DRIST. D'après la classification de cette dernière on a pu détecter une seule zone sur toute la surface du Haut Sebaou, c'est une zone à très forte sensibilité-vulnérabilité.

Les résultats obtenus montrent que la nappe alluviale du Haut Sebaou est très sensible à la pollution. A cet effet, la carte de sensibilité obtenue révèle une similitude avec les zones de fortes activités anthropiques. Ainsi, il est impératif que les pouvoirs publics prennent des décisions qui s'avèrent urgentes afin de protéger et de préserver cette réserve tarissable.

Recommandations

- Appliquer la méthode DRIST sur plusieurs aquifères judicieusement choisis en fonction de leurs conditions hydrogéologiques.
- Placer des piézomètres sur tout long de la surface pour des résultats fiables pour les niveaux statique et dynamique.
- Effectuer des nouveaux essais de pompage pour déterminer les caractéristiques hydrodynamiques de l'ensemble de l'aquifère.
- Création d'une banque de données et d'information pour la gestion et la cartographie de la vulnérabilité.

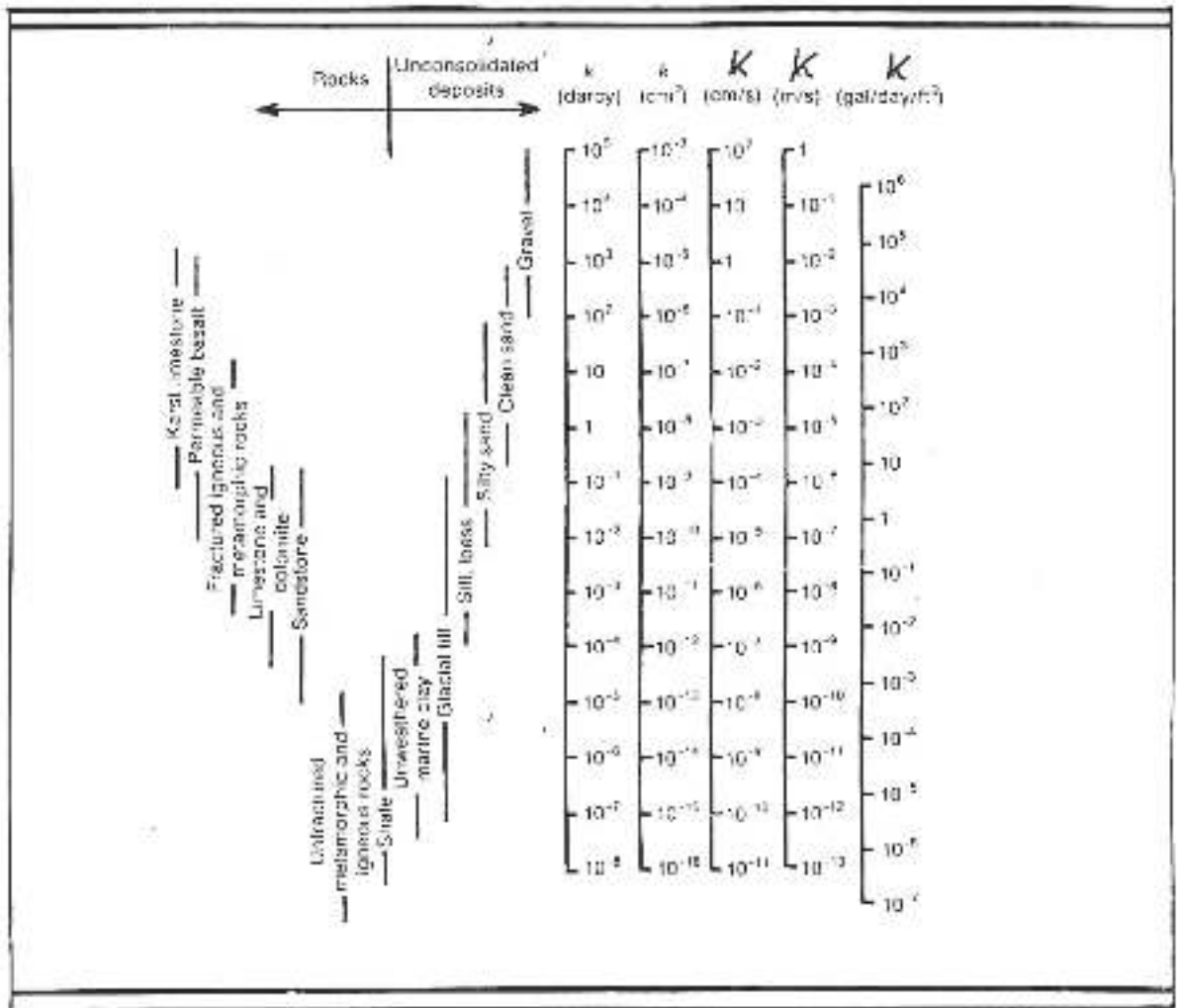
Bibliographie

Bibliographie

- (1) **Djoudar/Hallal,D.,2003**:Vulnérabilité et protection des nappes aquifères en région côtière. Application aux alluvions de la Mitidja Orientale. Mémoire de Magistère. FSTGAT/IST/USTHB/Babazzouar116p.
- (2) **Said,R.,1999**:Vulnérabilité et risques de pollution des eaux souterraines. Méthodologie et cartographie. (Application aux aquifères du moyen Sébaou et de la Mitidja Centrale).Mémoire de Magistère, IST/USTHB/Babazzouar
- (3) **Bouadjel, C, 2007** : contribution a l'étude hydrogéologique de la vallée du sebaou. Mémoire d'ingénieur .ENSH/Blida
- (4) **Nabil,R/Saad,M,2006** : contribution a l'étude hydrogéologique de la valle de sebaou ,impact de l'activité humaine . Mémoire d'ingénieur, USTHB/ Babazzouar
- (5) **Benhassaine M.**, 1980 Recherche sur les modèles des reliefs et les formations superficielles dans la nappe de l'Oued Sébaou. Thèse de 3^{ème} cycle.
- (6) **Chadrine, Y.1972** : Etude hydrogéologique de la nappe alluviale du sébaou Mémoire d'ingénieur .ANRH, Alger.
- (7) **Alious .S** ,2004 : Méthodologie de la cartographie de la vulnérabilité à la pollution du Sébaou.Mémoire d'ingénieur, USTHB.
- (8) **ANRH** : Méthodologie et la cartographie de la vulnérabilité a la pollution des eaux souterraines ; application a la nappe alluvial de sebaou
- (9) **Ikezouhane, B, 1974** : enquête sur les débits extraits
- (10) **Mohamed. S, Rachid .M et Moumtaz .R, 2003** : Utilisation des SIG pour la caractérisation de la vulnérabilité et de la sensibilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. Application à la nappe du Haouz de Marrakech, Maroc

annexe

RANGE OF VALUES OF HYDRAULIC CONDUCTIVITY AND PERMEABILITY
(FREEZE AND CHERRY, 1979)



CONVERSION FACTORS FOR PERMEABILITY AND HYDRAULIC CONDUCTIVITY
UNITS (FREEZE AND CHERRY, 1979)

	Permeability, k			Hydraulic conductivity, K		
	cm ²	ft ²	darcy	m/s	ft/s	U.S. gal/day/ft ²
cm ²	1	1.09×10^{-3}	1.01×10^8	9.83×10^7	3.22×10^7	1.85×10^9
ft ²	9.29×10^8	1	9.42×10^{15}	9.11×10^8	2.99×10^8	1.71×10^{12}
darcy	9.87×10^{-9}	1.06×10^{-11}	1	9.66×10^{-6}	3.17×10^{-5}	1.82×10^1
m/s	1.02×10^{-1}	1.10×10^{-8}	1.04×10^8	1	3.28	2.12×10^8
ft/s	3.11×10^{-4}	3.35×10^{-7}	3.15×10^4	3.05×10^{-1}	1	6.46×10^5
U.S. gal/day/ft ²	5.42×10^{-12}	5.63×10^{-10}	5.49×10^{-1}	4.72×10^{-7}	1.55×10^{-6}	1

* To obtain k in ft², multiply k in cm² by 1.09×10^{-3} .

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

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE L'HYDRAULIQUE
«ARBAOUI Abdellah »

DEPARTEMENT SPECIALITES

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN HYDRAULIQUE.

Spécialité : Conception Des Systèmes d'alimentation en eau potable

THEME :

**Cartographie de la vulnérabilité /sensibilité a la
pollution des eaux de la nappe alluviale du Haut
Sébaou
Wilaya de Tizi Ouzou**

Présenté par :
Melle : SAKET ZAHIA

Promoteur :
M^{me} D.DJODAR

Devant le jury composé de :

Présidente : M :Khetal

**Examineurs : M^r Rassoul
M^r Kahlarass
M^{me} Foudil Cherif
M^r Belhafid**

Juin 2009

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

♣ *A la mémoire de mon cher père*

♣ *A ma très chère mère qui ma parodique amour et affection*

♣ *A mes très chères sœurs Nadia et Reziqa*

♣ *A mes cher frères Mohamed, Mourad et Hamid*

♣ *A mon cher fiancé Ismail qui à toujours cru en moi, mon beau père Dahman ,ma belle mère Aldjia ,mes belles sœurs et beau frères*

♣ *A ma très chère copine Yasmine*

♣ *Tous ceux qui me sont chères*

♣ *A toute ma famille, en particulier ma tante Hada*

♣ *A tous mes amis (es)*

Remerciement

Au terme de ce modeste travaille il ma y agréable d'exprimer toute ma reconnaissance aux personnes qui m'ont aidé dans sa réalisation par leur enseignement, leur soutien permanent, leurs conseils et encouragement, en particulier ma famille .

Je remercie madame Djoudar pour avoir bien voulu m'encadrer ainsi que pour ces précieux conseils son orientation et son aide.

Mes remerciements vont également :

Le service étude de ANRH pour collaboration : Mr Belaidi ,Mr Raissi ,en particulier :

Mr M. Bouadjla, ingénieur d'état en hydrogéologie (ANRH de Tizi Ouzou) qui ma accueillit dans sans bureau, malgré ses nombreuses occupations.

A la fin tous ceux qui ont contribué de près et de loin à la réalisation de ce modeste travail sans oublier toute la promotion 2008/2009

من لحظة اكتشاف الخطر الذي يهدد الطبيعة نتيجة للتلوث أصبحت حماية الموارد المائية و خصوصا اتجوفية منها من الاولويات التي تقع على عاتق المسيرين ليجسدوها في السياسة المحلية للتسيير التخطيط. إن تحديد الخصائص الداخلية الملوثة للمياه الجوفية أصبحت وسيلة متعارف عليها . معرضة للتطور في يد الهيدروجيولوجيين لقد قمنا بدراسة على طبقة المياه الجوفية في واد سيباوو و ستكون وسيلة مساعدة للمسيرين في الموارد المائية و التهوية العمرانية و لكي يتحقق ذلك لجانا إل محورين هامين اولهما هي طريقة DRASTIC و الثانية DRASTIC محسنة ينصبان كلاهما في تحديد درجة التلوث من جهة و تأثيرهما على حساسية الطبقة الجوفية .

هاتان الطريقتين مطبقتين على طبقة المياه الجوفية لواد سيباوو في الجزائر الذي يمتد على مساحة حوالي 1432 كم مربع التي تمثل عنصر هام في التطور الاجتماعي الاقتصادي للمنطقة سواء في إمداد المنطقة بالمياه الصالحة للشرب أو المستعملة في الزراعة أو الصناعة. تمثل المياه الصالحة المصدر الاساسي لتجديد هذه الطبقة بما فيها كل المؤثرات الملوثة لهذه المياه . المقارنة بين هاتين الطريقتين المذكورتين سالفًا تبين ان الاولى تنتج ثلاثة وحدات هيدروجيولوجية (متوسطة قوية و قوية اكثر) اما الطريقة الثانية فتنتج وحدة هيدروجيولوجية وحيدة ذات حساسية اكثر قوة و هادًا ما يجعل تطبيق هذه الطريقة يبين درجة عالية من التلوث.

Résumé :

A l'heure où l'on découvre les vertus de l'environnement, la protection de la ressource en eau, et plus précisément de celle souterraine, apparaît être un objectif majeur que doivent intégrer les gestionnaires du territoire dans les politiques locales de gestion et planification

La caractérisation de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines est un excellent outil de plus en plus développé et connu par les chercheurs en hydrogéologie. Nous avons menée une étude sur la nappe alluviale du Sébaou qui a permis de fournir un outil d'aide à la prise de décision par les gestionnaires des ressources en eau et de l'aménagement du territoire. Pour ce faire, nous avons utilisé deux méthodes d'approche de la vulnérabilité, la première est la méthode DRASTIC, la deuxième, une amélioration de DRASTIC, elle consiste à caractériser la vulnérabilité / sensibilité.

Ces deux méthodes ont été appliquées à la nappe alluviale du Sébaou en Algérie, qui s'étend sur une superficie d'environ de 1432 Km², circulant dans des dépôts alluvionnaires d'âge quaternaire constituant le remplissage d'un synclinal à cœur miocène. Cette nappe joue un rôle capital dans le développement socio-économique de la région d'étude que ce soit pour l'alimentation en eau potable, agricole ou industrielle. La nappe du haut Sébaou est libre et alimentée principalement par les eaux superficielles et par les affluents principaux donc sujette à tous types de pollution.

La comparaison des cartes obtenues, par les deux méthodes, montre que la première fait ressortir trois unités hydrogéologiques à moyenne, forte et très forte vulnérabilité ; alors que la deuxième a tendance à surestimer la vulnérabilité du moment qu'on a obtenu une carte avec une seule unité hydrogéologique à très forte vulnérabilité.

Abstract:

At a time when we discover the virtues of the environment, protection of water resources and more specifically the underground appears to be a major objective that managers must incorporate the territory in local policy management and planning.

The characterization of the intrinsic vulnerability of groundwater is an excellent tool; more and more developed and experienced by researchers in hydrogeology. We conducted a study on the alluvial aquifer of Sebaou which provided a tool to help managers of water resources and land use in their decision making. To do this, we used two approaches, the first is the DRASTIC method, the second, DRASTIC improvement, it is to characterize the vulnerability / sensitivity.

Both methods were applied to the alluvial aquifer of Sebaou in Algeria, which covers an area of approximately 1432 km², flowing through alluvial deposits of Quaternary age . This water plays a role in the socio-economic development of the region, whether the supply with drinking water, agricultural or industrial. The water of high Sebaou driven mainly by surface water and the main tributaries therefore subject to all types of pollution.

The comparison of maps obtained by the two methods shows that the first highlights three hydrogeologic units at medium, high and very high vulnerability, while the second tends to overestimate the vulnerability since we got only one map with only one hydrogeologic unit with very high vulnerability.

SOMMAIRE

Introduction général

Première partie

Chapitre I : pollution des eaux souterraines et superficielle

7- introduction	3
8- critère de pollution d'une eau.....	3
9- pollution directe ou indirecte.....	3
10- nature de la pollution	3
11- caractérisation de la pollution	3
12- classification des polluants.....	4
6-1- en fonction de l'origine de la pollution	4
6-2- en fonction de la répartition géographique.....	4
6-3- en fonction de la répartition dans le temps	4
6-4- en fonction de la nature des polluants	4
6-5- en fonction de nombre de polluants.....	4
6-6- en fonction de comportement de polluant dans l'eau.....	4
7- paramètre spécifique de pollution	5
8- type de polluants	5

Chapitre II : mécanisme de transport et d'atténuation de polluant en milieu souterrain

1- mécanisme de transport	6
1-1- classification des polluants par leur propriété de transport.....	6
1-2- mécanisme de transport et d'accumulation.....	6
2- mécanisme d'atténuation.....	9
2-1- le processus physique	9
2-2- le processus chimique et biochimique	11

Chapitre III : méthode d'évaluation de la vulnérabilité

1- Introduction	12
2- notion de vulnérabilité.....	12
3- différentes méthode d'estimation de vulnérabilité.....	13
3-1- méthodes orientées sur les systèmes de cotation numérique	13
3-2- méthodes orientées sur des documents cartographiques.....	14
3-3- méthodes générales ou mixtes.....	15
4- Conclusion.....	15

Chapitre IV : aspect théorique et pratique de la méthode DRASTIC

1- Introduction	16
2- définition de la méthode DRASTIC.....	16
4- description et aspect théorique et pratique de la méthode DRASTIC.....	16
4- calcul de l'indice DRASTIC	17
5- Interprétation de l'indice DRASTIC	18
6- description du paramètre de la méthode DRASTIC	18
6-1- Les critères de la méthode DRASTIC.....	18
6-2- profondeur de la nappe.....	19
6-3- recharge nette	19
6-4- matériaux de l'aquifère.....	19
6-5- matériaux du sol.....	20
6-6- topographie	21
6-7- impacte de la zone non sature.....	21
7- indice et classe de vulnérabilité.....	21

Deuxième partie

Chapitre I : la situation géographique

1- cadre géographique de la région d'étude.....	23
2- développement socio-économique de la région d'étude.....	23
2-1 potentielle humain	23
2-2 potentielle agricole.....	23
2-3 potetille industrielle	26
2-4 activités extractives	26
2-5 les influence hydraulique.....	26

Chapitre II : étude géomorphologique

1- Introduction	27
2- les grands ensembles morphologiques	27
2-1 la chaine de Djurdjura.....	27
2-2 le socle kabyle	27
2-3 le synclinale de tizi ouzou.....	27
3- lithologie	29
4- le couvert végétale.....	29
5- le réseau hydrographique	29
6- les paramètres physiques et géomorphologiques du bassin versant de sébaou.....	30
6-1 paramètres géométriques	31
6-2 les paramètres de relief	31
6-3 les paramètres de forme	33
7- Conclusion	35

Chapitre III : étude hydrologique

1- Introduction	35
2-analyse des paramètres climatiques.....	37
2-1 les précipitations.....	37
2-2 températures.....	41
2-3 régime climatique	42
2-4 étude de l'évapotranspiration.....	44
3- hydrologie de surface.....	48
3-1 station et données hydrométrique.....	48
3-2 estimations des sources en eau de surface.....	48
3-3 régime des apports.....	48
3-4 déterminations de la lame ruisselée.....	51
3-5 le bilan hydrologique	54
4-Conclusion	54

Chapitre IV : synthèse géologique

1-Introduction	55
2- cadre géologique régional	55
2-1 les zones internes	55
2-2 le domaine de flysch	56
2-3 les zones externes.....	56
3- géologie de la région d'étude.....	56
3-1 litho stratigraphique.....	57
4- structure tectonique et évolution paléogéographique	64
4-1 crétacé inférieur –éocène supérieur.....	64
4-2 éocènes supérieurs Burdigalein terminal	64
4-3 structures du Miocène post nappe	66
5- Conclusion	68

Chapitre V : hydrogéologie

1-Introduction.....	69
2- principaux aquifère de sébaou.....	69
3- caractéristique hydrochimique des aquifère.....	69
3-1 étude piézométrique.....	69
3-2 hydrochimies.....	77

Troisième partie

Chapitre I: évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines par la méthode Drastic

1- Introduction.....	87
2. Cartographie assistée par ordinateur	87
3-Etape à suivre pour la cartographie de la vulnérabilité	87
3.1. Acquisition de données.....	88
3.2. Description des paramètres et réalisation des cartes Thématiques.....	88
4- Identification des unités hydrogéologiques et commentaire de la carte de Vulnérabilité	100
5- Conclusion	100

Chapitre II : application de la méthode Drist (Drastic améliorée)

1- Introduction.....	101
2-présentation de la méthodologie proposée pour l'évaluation de la vulnérabilité a la pollution d'une nappe d'eau souterraine.....	101
3.- présentation de la méthodologie proposée pour l'évaluation de la sensibilité a la pollution d'une nappe d'eau souterraine.....	102
3.1 Vitesse de l'eau souterraine (Ve).....	102
3.2 Qualité globale des eaux souterraines.....	102
3.3 Productivité de la nappe.....	103
4- présentation de la méthodologie proposée pour l'évaluation de la vulnérabilité-sensibilité a la pollution d'une nappe à la pollution... ..	104
5- application de la méthodologie développée à la nappe alluviale du haut sebaou	104
5-1- Présentation de la carte de vulnérabilité verticale à la pollution de la nappe du haut sebaou.....	104
5-2- Caractérisation de la sensibilité à la pollution de l'aquifère du Haut Sebaou	112
6- Conclusion.....	119

Conclusion générale

La liste des figures

N°	page
Fig-1 mécanisme et facteurs de la pollution de l'eau souterraine (Castany ,1982 in Djoudar ,2003).....	6
Fig-2 schémas des mecanisme de pollution en nappe libre et en nappe captive (l'allemand-Bare, 1989 in Djoudar,2003)	8
Fig-3 mécanisme de pollution en milieu fissuré (l'allemand-Bare ,1989 in Djoudar,2003).....	9
Fig-4 origine, transport et évolution des polluants, de la surface de sol aux l'écoulements (Castany ,1975 in Djoudar,2003)	10
Fig-5 transfert des polluants dans l'aquifère (Aller et Al, 1987 in Touileb ,1997 in Djoudar,2003	10
Fig- 6 : Diagramme des classes de vulnérabilité. Selon la méthode DRASTIC.....	18
Fig7 la situation géographique du bassin versant de sebaou	24
Fig-8 les grandes unités morphostructurale de la Kabylie (M. Bouhassaine ,1980).....	27
Fig-9 le réseau hydrogrlaphique du bassin versant de sebaou	29
Fig-10 les sous bassin versant de sebaou	31
Fig-11 courbe hypsométrique de sebaou d'apprêt (B.AKPAMOLI)	32
Fig-12 repartition des stations pluviométrique et hydrométrique dans le bassin versant de sebaou.....	36
Fig-13évaluation des précipitations annuelles a la station de Tizi Ouzou	37
Fig-14précipitation moyen annuelle	39
Fig-15 évaluation des précipitations mensuelles a la station de Tizi Ouzou	40
Fig-16 précipitation moyenne mensuelles des stations pluviométriques (1980/2005).....	40
Fig-17comparaison des séries anciennes (1913-1938) et récente (1968-2002) de température a la station de Tizi Ouzou	42
Fig-18 abaque de WUNDT modifie par Cotagne.....	47
Fig-19 Variation mensuelle des apports de l'oued à la station de Bghlia(1986/1999)	49
Fig-20 Variation mensuelle des apports de l'oued à la station de Baghlia(1986/1999)	49
Fig-21 corrélation précipitations- Débits évacués à la station de Baghlia.....	50
Fig-22 Hydrogramme de crue de la station de Baghlia.....	52
Fig-23 Courbe de séparation des écoulements à la station de Baghlia.....	52
Fig-24 Hydrogramme de crue de la station de Belloua.....	53
Fig-25 Courbe de séparation des écoulements à la station de Belloua.....	53
Fig-26 Situation de la zone étudiée dans l'orogène alpin périméditerranéen (D'après M. Durand Delga, 1969)	56
Fig-27 :Rapport entre les grandes unités structurales sur le méridien de la grande Kabylie (D'après M. Durand Delga, 1969)	56
Fig-28 carte schématique interprétative de la dorsale de la grande Kabylie (J.P.Gélard ,1979).	58
Fig-29 colonne lithostratigraphique synthétique de la dorsale Kabyle (J.P.Gélard, 1979).....	60
Fig-30 Colonnes lithostratigraphiques des flyschs massylien et maurétanien (J.P. Gélard, 1979).....	62
Fig.31 : Principales structures "post-nappes" dans le Nord Ouest de la grande Kabyle (D. Raymond, 1976).....	66
Fig-32 interprétation schématiques des principaux linéaments affectant la grande Kabylie d'apprêt l'image satellite landsat I (J.P.Gélard ,1979).....	67

Fig-33 Carte piézométrique (Haut Sébaou, hautes eaux).....	71
Fig-34 Carte piézométrique (Haut Sébaou, Basses eaux).....	71
Fig-35 Carte piézométrique (Moyen Sébaou, Hautes eaux) Année 2004.....	72
Fig-36 Carte piézométrique (Moyen Sébaou, Basses eaux) Année 2004.....	72
Fig-37 Carte piézométrique (Moyen Sébaou, Basses eaux) Année 2004	73
Fig-38 Carte piézométrique (Haut Sébaou, Avril2006)	74
Fig-39 Carte piézométrique (Moyen Sébaou, Avril 2006).....	74
Fig-40 Carte piézométrique (Bas Sébaou, Avril 2006).....	75
Fig-41 Carte piézométrique (Haut Sébaou, oct. 2008).....	76
Fig-42 carte de conductivité (Haut Sébaou, Avril2006).....	79
Fig-43 carte de conductivité de la basse vallée du Sébaou(Avril2006).....	80
Fig-44 carte de résidu sec (Haut Sébaou, Avril2006).....	83
Fig-45 carte du résidu sec de la basse vallée du Sébaou(Avril2006).....	84

La liste des tableaux

N°	page
Tab- 1 : Couleurs utilisées pour les exercices de cartographie des paramètres DRASTIC (Aller et al, 1987, in Touileb, 1997).....	21
Tabl- 2 : Code international des couleurs pour les intervalles de l'indice DRASTIC (Aller et al ; 1987 modifié, in Touileb,1997).....	22
Tab-1 Répartition des superficies par sous bassin.....	30
Tab-2 Altitudes moyennes.....	30
Tab-3 Altitudes caractéristiques.....	32
Tab-4 Paramètres de forme (Source ANRH).....	33
Tab-5 Les paramètres morphologiques du bassin versant du Sébaou (Source ANRH de Tizi-Ouzou).....	34
Tab-6 caractéristiques des stations pluviométriques utilisées. (ANRH Blida).....	35
Tab-7 précipitations moyennes annuelles.....	38
Tab-8 Précipitation moyennes mensuelles annuelles (1980-2005).....	40
Tab-9Température moyennes mensuelles (P.Seltzer 1913/1938).....	41
Tab-10 Températures moyennes mensuelles annuelles de la station de Tizi-Ouzou (1968-2002).....	42
Tab-11 Valeur de l'indice de Marthone (station de Tizi-Ouzou).....	43
Tab-12 Moyenne mensuelle de l'humidité (1989-1994).....	43
Tab-13 Moyenne mensuelles des vitesses des vents.....	43
Tab-14 Nombre moyen de jours de sirocco à la station de Tizi-Ouzou (P.seltzer ; 1913/1938).....	44
Tab-15 valeur de l'ETP d'après la méthode de THORNTHWAITE.....	46
Tab-16 Résultats de l'ETR obtenu par les trois méthodes.....	46
Tab-17 caractéristiques des différentes stations hydrométriques.....	47
Tab-18 débits moyens mensuels des stations de Baghlia et de Belloua.....	48

Tab-19 : Corrélation précipitation/Débits évacués à la station Baghlia.....	50
Tab-20 Les valeurs de Ruissellement et l'infiltration.....	54
Tab-21 les mesures piézométriques effectuées dans la plaine alluviale du sébaou	70
Tab-22 duretés des eaux de la nappe alluviale du Sébaou.....	81
Tab-23 Tableau de comparaison du PH.....	82
Tab-24 classification des eaux de la haute vallée du Sébaou selon les Formules Caractéristiques de Stabler.....	85
Tab-25 classification des eaux de la basse vallée du Sébaou selon les formules caractéristiques Stabler.....	86
Tab-26 Principales sources d'informations.....	88

la liste des cartes

Liste des cartes

La méthode DRASTIC

La carte de paramètre « D »	90
La carte de paramètre « R »	91
La carte de paramètre « A »	92
La carte de paramètre « I »	93
La carte de paramètre « S ».....	95
La carte de paramètre « T »	96
La carte de paramètre « C ».....	97
La carte de vulnérabilité de Haut Sebaou	99

La méthode DRIST

La carte de paramètre « D ».....	105
La carte de paramètre « R »	106
La carte de paramètre « I ».....	107
La carte de paramètre « S »	108
La carte de paramètre « T »	109
La carte de vulnérabilité du Haut Sebaou	111
La carte de la vitesse d'écoulement « V »	113
La carte de la conductivité électrique	114
La carte de la productivité « Q ».....	115
La carte de sensibilité du Haut Sebaou.....	116
La carte sensibilité-vulnérabilité	118

introduction générale

Introduction générale

Le début du 21^{ème} siècle s'annonce sous le signe d'une aggravation des pénuries d'eau ; le monde en général et l'Algérie en particulier sont en train de subir ces dernières années des changements climatiques défavorables (précipitations faibles, évaporations intenses,...etc.).

L'impact négatif de ces conditions sur l'ensemble des activités socio-économiques révèle que la politique de l'eau doit être considérée comme un élément essentiel dans la stratégie du développement.

La recherche des ressources en eau est toujours plus importante pour les besoins humains, elle conduit, de plus en plus, à l'implantation de captages. Les eaux théoriquement protégées proviennent des nappes souterraines. Ces ressources, lorsqu'elles sont potables, sont « idéales » pour la consommation. Mais, malheureusement, elles sont, de plus en plus, soumises aux contaminations chimiques (Nitrates, détergents, pesticides, métaux,...etc.) et parfois microbiennes provoquées par le développement des industries, de l'agriculture et des rejets domestiques.

Le mécanisme de pollution des eaux souterraines est un processus évolutif dans l'espace et dans le temps, difficilement maîtrisable ; c'est pourquoi, il est préférable de le rattacher au concept de vulnérabilité qui exprime la sensibilité de l'aquifère face à une régression par une contamination.

Aussi, est-il indispensable de mettre à la disposition des gestionnaires de la ressource en eau un moyen de prévention et d'intervention.

Afin d'assurer de manière rigoureuse la gestion des moyens naturels et anthropiques, l'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) s'avèrent le moyen le mieux adapté.

En effet ces systèmes (SIG) permettent de prendre en charge une multitude d'informations d'origines diverses, de les mettre à jour, d'optimiser leurs échanges et de générer de nouvelles couches d'informations par le biais de leur croisement. Par ailleurs, ils assurent la restitution des cartes thématiques et les analyses qui en résultent.

Il s'agit donc d'un outil puissant et efficace d'aide à la décision notamment dans le domaine de la planification et de la gestion des ressources naturelles.

Pour l'évaluation de la vulnérabilité environnementale d'une nappe phréatique, la

combinaison du modèle DRASTIC et des systèmes d'informations géographiques (SIG) et aussi la méthode DRIST (DRASTIC améliorée) ont été utilisés. Ces méthodes sont basées sur la description et la représentation de la répartition spatiale des paramètres hydrogéologiques, climatiques et physiques du système aquifère.

La démarche entreprise dans ce travail a consisté à appliquer ces deux méthodes sur la plaine du haut Sébaou qui s'étend depuis la source (actif N'boubhir) jusqu'à la cluse du Belloua (passant par Friha , Azzazga, Kahra, Tamda et Tizi rached)

Pour la réalisation de cette étude, on a subdivisé notre travail en trois parties :

- La première partie porte sur la définition de la pollution, ses origines, les mécanismes de transport et d'atténuation du polluant ; définition de la vulnérabilité et des méthodes d'évaluation de cette dernière en tenant compte de différentes approches.
- La deuxième partie définit le cadre physique de l'étude et en précise les particularités géologiques. Elle met en évidence les formations lithostratigraphiques perméables et les rassemble en structures hydrogéologiques économiquement exploitable et donc à protéger. La localisation en profondeur ainsi que l'extension géographique des aquifères sont matérialisées à l'aide de coupes hydrogéologiques établies sur la base de données géologiques, géophysiques et hydrodynamiques.
- La troisième partie a porté sur la cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de l'aquifère du Sébaou afin d'identifier les zones à haut risque de contamination, indépendamment du type de polluant.

Enfin, on terminera par une conclusion générale qui mettra en exergue les résultats obtenus suite aux applications citées ci-dessus, ce qui nous permettra d'émettre des recommandation

PARTIE 1

CHAPITRE I :

POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES ET SUPERFICIELLES

I.1- Introduction

Un polluant est un facteur physique, chimique ou bactériologique résultant de l'activité humaine et provoquant sous une intensité ou une concentration anormale, une altération de la qualité de l'eau naturelle (Billault .C ,1989)

La qualité de l'eau peut être altérée par plusieurs polluants avec l'homme comme facteur principal de la pollution.

I.2- Critère de pollution d'une eau :

L'eau souterraine est dite polluée lorsqu'elle contient des substances non liées à la structure naturelle des terrains ou elle a séjourné, c'est-à-dire des substances introduites de façon direct ou indirect par l'activité humaine et en particulier lorsque les concentrations des constituants en suspension dépassent les concentrations maximales admissibles fixées par les normes nationales ou internationales

I.3- Pollution directe ou indirecte :

La pollution générée par l'homme est directe lorsqu'elle a lieu sur le toit de la nappe souterraine. C'est le cas par exemple d'un rejet de produit organique dans un puits. La pollution est indirecte lorsqu'elle se fait en direction des eaux souterraines, à travers les autres eaux du cycle, d'autres eaux souterraines, ou à travers l'environnement inerte. Le déversement sur le sol d'un pesticide est une pollution indirecte sur les eaux souterraine car pour que le contaminant parvienne à la nappe, il traversera le sol et la zone non saturée de l'aquifère.

I.4- Nature de la pollution :

La pollution pourra être :

Quantitative : accroissement ou diminution du flux d'eau ou de flux de chaleur qui pourra être cause par la perméabilité de sol, le colmatage des berges ...etc

Qualitative : bactérienne, chimique, radioactivité et thermique.

I.5- Caractérisation de la pollution :

La pollution est caractérisée par le « **DEFI** » c'est-à-dire sa durée, son étendue, sa fréquence et son intensité. (Parascandola ,1980)

- **Durée** : la durée de l'émission polluante est très variable en fonction de son origine, des moyens de détection et de lutte pour son atténuation.
- **Etendue** : l'étendue de la propagation d'un polluant dépend de sa source, du volume du polluant, des possibilités de détection et des moyens utilisés pour la stopper.
- **Fréquence** : la fréquence d'un phénomène de pollution est directement liée à l'activité humaine à laquelle elle se rapporte, aux mesures prises dans le sens de diminution des actes volontaires ou involontaires de pollution et à l'existence d'infrastructure.
- **Intensité** : est fonction de la toxicité des contaminants et de leurs concentrations. L'intensité maximale peut être estimée par le produit de la concentration maximale et de la toxicité.

I.6- Classification des polluants :

Les polluants peuvent être classés suivant différents critères :

I.6.1- En fonction de l'origine de la pollution

- La pollution *urbaine*, elle comprend :
 - les eaux usées domestique trop chargées
 - les eaux usées pluviales ou eaux de ruissellement
- La pollution *industrielle*

Les rejets industriels sont très variables en nature, ils sont plus ou moins chargés en fonction du type d'industrie et les volumes d'eau rejetée.
- La pollution *agricole*

Elle résulte de l'utilisation des pesticides, des produits phytosanitaires, des eaux d'infiltration de drainage et de ruissellement sous aires cultivées, de la pratique de l'élevage ... etc

I.6.2- En fonction de la répartition géographique

- La pollution *diffuse* : Le polluant se répand dans le milieu par petite quantité mais de façon régulière et parfois sur de très longues périodes.
- La pollution *ponctuelle* : La pollution est introduite à un endroit bien précis et restreint dans l'espace et le temps

I.6.3- En fonction de la répartition dans le temps

- La pollution *permanente* ou *chronique*
- La pollution *accidentelle*
- La pollution *saisonnnière* (sels de déneigement, utilisation des engrais azotés dans certaine culture saisonnière)

I.6.4- En fonction de la nature des polluants

- La pollution *physique* (chaleur, radioactivité, matières en suspension)
- La pollution *chimique* (sels minéraux, détergent, pesticide, solvants, métaux lourds, hydrocarbures)
- La pollution *microbiologique* (micro-organisme, virus, bactérie)
- La pollution *mixte*

I.6.5- En fonction de nombre de polluants

- La pollution *poly-produite* (industrie chimique)
- La pollution *mono-produite* (dépôt d'essence)

I.6.6- En fonction du comportement du polluant dans l'eau

- La pollution *miscible* (sels minéraux, métaux)
- La pollution *non miscible* (huiles, hydrocarbure)

I.7- Paramètre spécifique de pollution :

Selon les possibilités de pollution, on distingue :

- Les éléments insolubles séparable physiquement (décantation, filtration, flottation)
- Les éléments séparable par voie chimique (précipitation, adsorption ...)
- Les éléments oxydables chimiquement (mesure de DCO)
- Les éléments biodégradable (mesure de DBO)
- Les éléments toxiques (les micropolluants tels que le zinc, le cuivre, le mercure ...)
- Les colorants

I.8- Type de polluant

Les principaux types de polluants sont :

- Les polluants *physiques*
- Les polluants *chimiques*
- Les polluants *organiques*
- Les polluants *microbiologiques*

Ces polluants n'ont pas la même toxicité ainsi leur introduction dans l'eau, à des concentrations plus ou moins élevées, pourra entraîner des conséquences allant d'une légère altération jusqu'à la rendre impropre à la consommation.

CHAPITRE II :

MECANISME DE TRANSPORT ET D'ATTÉNUATION DU POLLUANT EN MILIEU SOUTERRAIN

II.1- Mécanisme de transport

II.1.1- Classification des polluants par leur propriété de transport

La densité, la viscosité, la solubilité, la stabilité chimique et d'autres caractéristiques affectent la dispersion des polluants dans le sol. Les polluants peuvent atteindre l'eau souterraine, soit dissoute dans l'eau (miscible) ou comme une phase liquide immiscible dans l'eau. Quelques polluants comme les métaux lourds, peuvent être adsorbés sur des particules fines et être transportés en suspension. Suivant la taille des particules, on peut les considérer dissoutes ou non dans le milieu poreux. Les solutions qui restent stable dans l'eau et ne change pas à cause des processus physiques, biologiques ou chimiques sont appelées conservatifs. Un exemple typique de ce type de soluté est la fluorescéine, largement utilisé dans les tests de migration. Considérer un constituant conservatif, dépend du rapport entre le facteur de migration et le temps de réaction. Par exemple, un contaminant qui réagit et change lentement, dans un aquifère avec une vitesse de transport élevé peut être considéré conservatif. Les solutés conservatives qui ne changent pas de densité ni de viscosité de l'eau d'une manière significative peuvent y être utilisés comme traceur.

Les traceurs sont utilisés dans les tests de migration pour déterminer la direction et la vitesse du transport. Normalement, la concentration détermine si le soluté change les propriétés physiques de l'eau. Le meilleur exemple d'un soluté qui change les propriétés de l'eau souterraine est le sel dans la zone de transition entre l'eau douce et l'eau de la mer. (Pollution des Sols/A.M., 2002)

II.1.2- Mécanisme de transport et d'accumulation

Les facteurs prépondérants à la recharge des eaux souterraines sont essentiellement représentés par l'infiltration des eaux de précipitation, l'irrigation de surface et les différences de charges hydrauliques. Dans la zone saturée, les polluants sont transportés uniquement sous forme dissoute (Fig. 1) contrairement à la zone non saturée, où les processus responsables du transport sont plus variés et représentés essentiellement par : l'advection, la dispersion mécanique et la diffusion moléculaire liquide (Villeneuve *et al*, 1985, in Touileb, 1997).

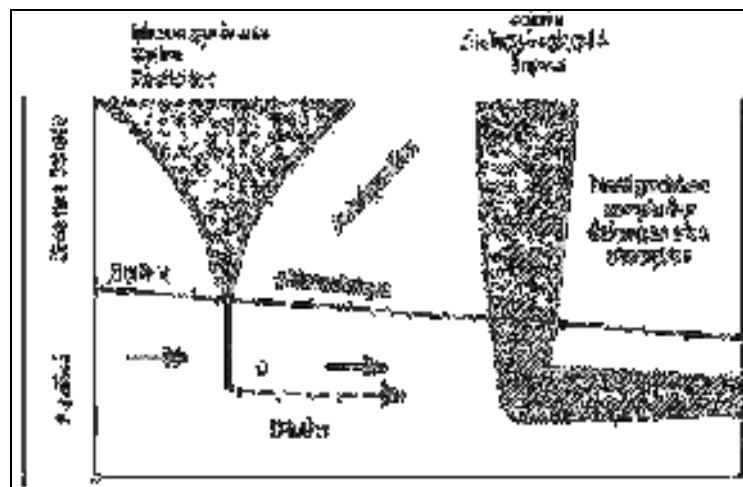


Fig. 6 : Mécanismes et facteurs de la pollution de l'eau souterraine (Castany, 1982 in Djoudar, 2003).

II.1.2.1- Dans une nappe libre

Une pollution se produisant à la surface du sol peut s'infiltrer jusqu'à la nappe. Mais, avant d'atteindre son toit, le polluant traverse. La zone non saturée, comprise entre le sol et la surface de l'eau, celle-ci de nature très diverse suivant le type de roche la constituant, conditionnera en grande partie le transfert vers la nappe. La perméabilité des terrains déterminera la vitesse de propagation du polluant. Les rejets peuvent atteindre la nappe si leurs volumes qui s'infiltreront est supérieur à la capacité de rétention du volume de terrain non saturé affecté par la pollution.

En raison des hétérogénéités des textures et de compositions inhérentes aux aquifères, il peut s'avérer difficile de délimiter avec précision l'étendue d'une éventuelle contamination de l'eau souterraine.

Dans la majorité des cas, il semble que la contamination ne soit découverte que lorsqu'un puit d'alimentation d'eau potable est atteint, la décantation est généralement difficile pour un usage, car les concentrations usuelles très faibles (de l'ordre de $\mu\text{g/l}$) n'ont pas d'effet toxiques immédiat et passant souvent inaperçue.

Les concentrations des contaminants, lessivés et pénétrant dans le sol ou dans la zone non saturée d'un aquifère, dépendent des conditions suivantes : (Brereton et Wilkinson, 1976)

- le volume du polluant répandu en surface ;
- les changements chimiques pouvant se produire dans le temps entre le polluant et le milieu récepteur ;
- la solubilité des polluants ou de ses métabolites ;
- la recharge (importance de l'infiltration).

Dans la zone saturée, les transferts sont essentiellement latéraux selon la direction générale d'écoulement de la nappe. Dans cette zone, les processus responsables du transport moléculaire liquide. Dans cette zone, également le polluant se dissipe, partiellement ou complètement, dans l'eau ou flottera en fonction de la densité des composants formant le polluant.

II.1.2.2- Dans une nappe captive

La pollution ne peut provenir que d'injections volontaires de déchets liquides par forages ou de mise en communication de nappes par des ouvrages non étanches (ex : Forages profonds d'eau, hydrocarbure ou forages « sauvages »)

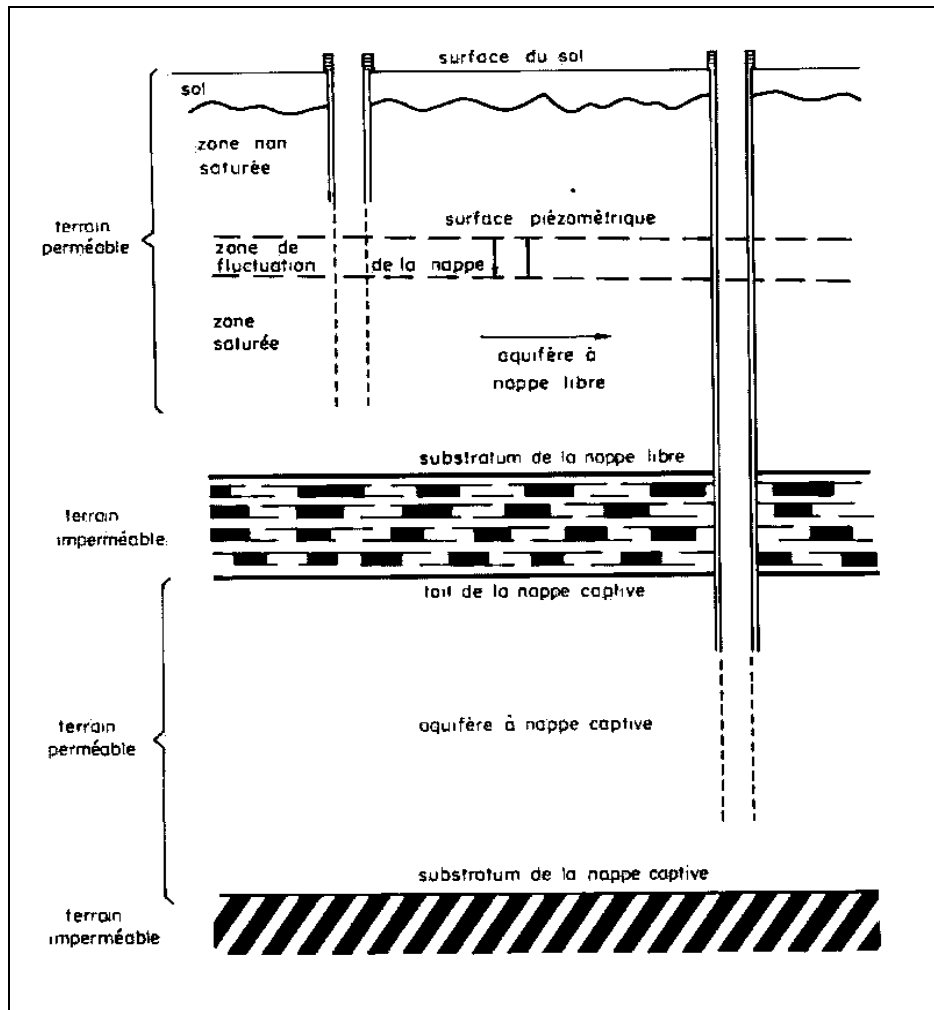


Fig. 7 : Schéma des mécanismes de pollution en nappe libre et en nappe captive (Lallemand-Barres, 1989 in Djoudar, 2003).

II.1.2.3- Dans un aquifère fissuré

La pollution est introduite par les bêttoires et puits par l'intermédiaire de la zone non saturée. Ces mécanismes sont schématisés sur la figure 3.

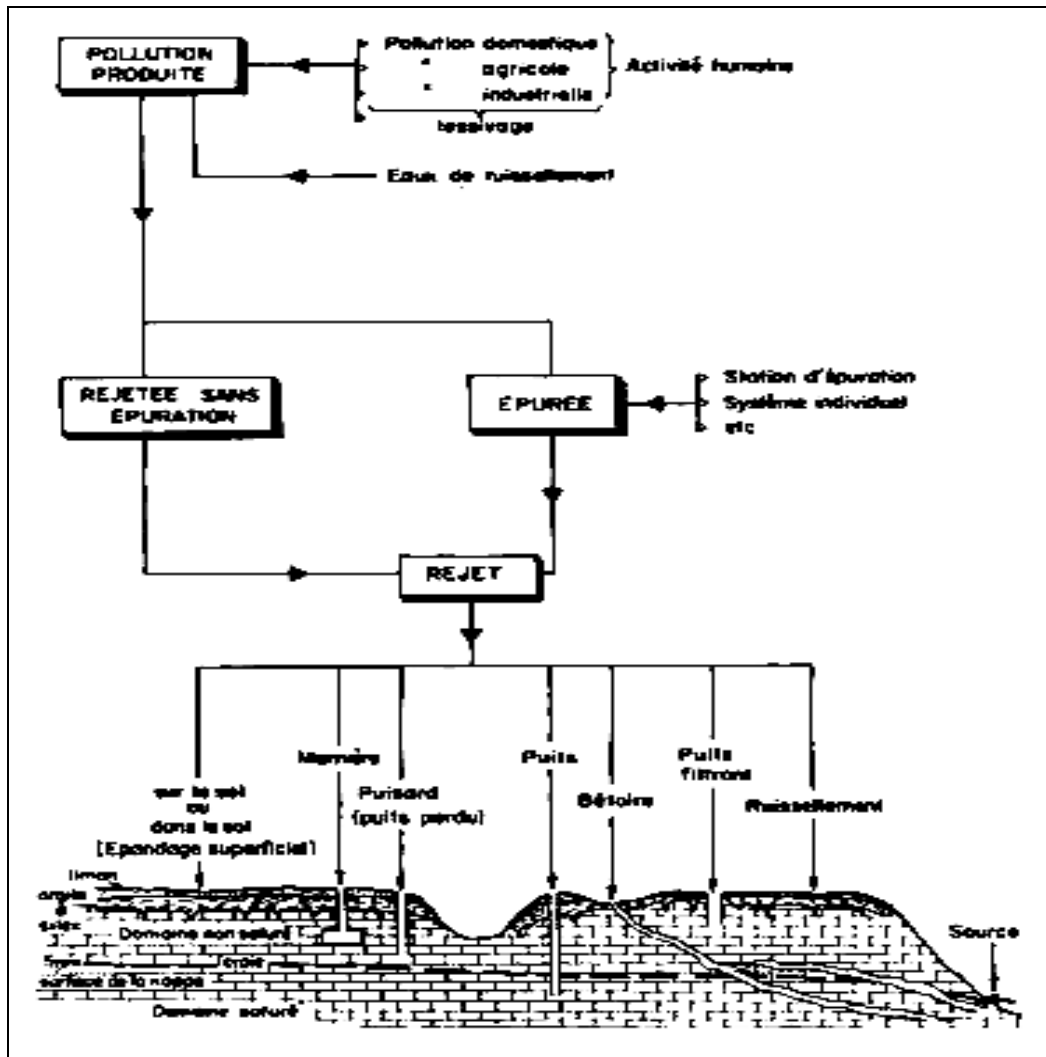


Fig. 8 : Mécanismes de pollution en milieu fissuré (Lallemand-Barres, 1989 in Djoudar ,2003)

II- 2 Mécanisme d'atténuation

L'occurrence ainsi que le mouvement de l'eau souterraine sont contrôlés presque entièrement par la topographie et la géologie. Les hétérogénéités géologiques, spécialement celles relevant de la porosité et de la perméabilité, les conditions physico-chimiques et biochimiques du milieu, ainsi que les caractéristiques propres aux polluants sont également des paramètres pouvant influencer sur l'étendue d'une éventuelle pollution des eaux souterraines.

Les principaux mécanismes de transformation et d'atténuation du polluant traversant le milieu souterrain sont :

II.2.1- Les processus physiques

La *volatilisation* : certains produits sont transférés de la surface du sol vers l'atmosphère. Dans le contexte des eaux souterraines, la volatilisation ne constitue pas un processus efficace de dissipation si le polluant a migré au-dessous de la surface du sol.

Le *lessivage* : il est régi en grande partie par les caractéristiques intrinsèques du sol et de la zone non saturée tel que la porosité, le pH, le taux d'humidité, la teneur en argile et en matière organique, de même que par les conditions météorologiques.

La *filtration* : les milieux poreux jouent le rôle de filtre pour les rejets en piégeant une

partie organique en suspension et des micro-organismes.

La *rétenion capillaire* : une partie de la charge polluante peut être retenue dans l'eau capillaire de la zone non saturée.

La *dispersion / dilution* : la dispersion s'applique aux substances solubles et aux substances pouvant se mettre en suspension. Elle est liée à :

- La vitesse de l'eau, à la perméabilité et à la porosité efficace du milieu.
- La dispersivité du milieu (qui se fait dans les trois directions de l'espace, a pour effet d'accroître le volume marqué par la présence du polluant en fonction du temps (Fig. 4)

La *flottation* : ce phénomène se rapporte aux produits insolubles ou à faible solubilité tels les hydrocarbures qui sont plus légers que l'eau (Fig. 5)

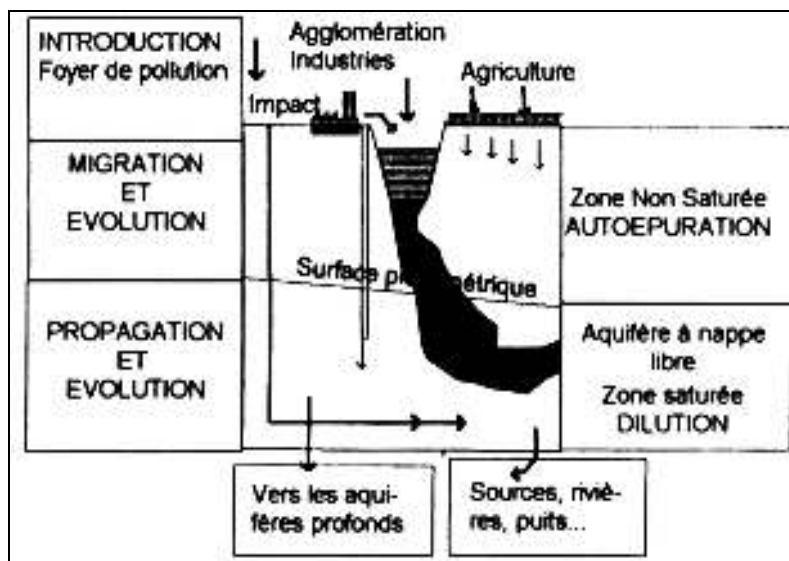


Fig. 9 : Origine, transport et évolution des polluants, de la surface du sol aux écoulements (Castany, 1975 in Djoudar, 2003)

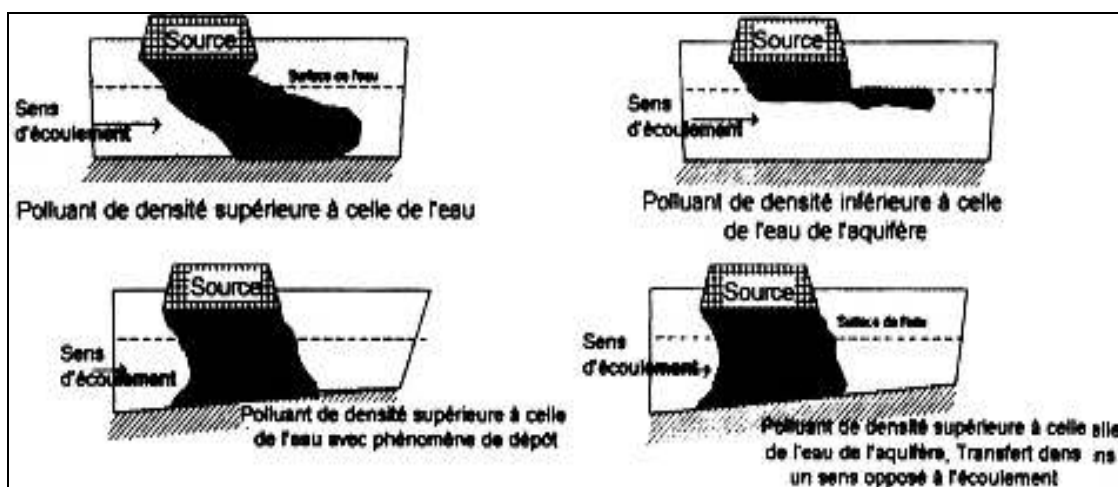


Fig. 10 : Transfert des polluants dans l'aquifère (Aller et al, 1987 in Touileb 1997 in Djoudar, 2003)

II.2.2- Les processus chimiques et biochimiques

Dégradation chimique : les réactions chimiques les plus probables dans le milieu souterrain sont engendrées par les processus d'hydrolyses des polluants, se produisant habituellement par l'intermédiaire d'acides ou de bases, lesquels jouent le rôle de catalyseurs.

Adsorption / désorption : les constituants du sol les plus susceptibles d'être impliqués dans ce processus sont ceux qui possèdent une grande surface spécifique (cas des argiles), ou encore des sites très réactifs sur lesquels peuvent se fixer diverses substances (matières organiques). Le degré d'adsorption d'un polluant est fortement lié à sa nature chimique (grosseur de la molécule, polarité, position de ses groupements fonctionnels, ...etc).

Biodégradation : c'est le résultat de l'ensemble des processus dynamiques impliqués dans la dégradation biologique des composés organiques par les micro-organismes contenus dans le milieu souterrain. Cette auto épuration est fonction de plusieurs paramètres (température, teneur en oxygène dissous, pourcentage de la matière organique ...etc).

Dégradation par les plantes : lorsque les végétaux sont mis en présence d'un milieu nutritif renfermant une certaine quantité de pesticides, une fois absorbés, ces derniers peuvent subir des transformations sous l'influence de métabolisme de la plante hôte, ce qui retarde leur migration vers les eaux souterraines.

Précipitation : Dans les précipités, des cations polluants peuvent être piégés : en effet, des modifications de corps de température et de pH entraînent la précipitation de certains composés, dans lesquels peuvent être piégés des éléments en traces tel que Cu, Zn et Pb, associés parfois à des hydroxydes de Fer (Fe) et de Manganèse (Mn).

CHAPITRE III :

METHODES D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE

III.1- Introduction

La vulnérabilité des nappes d'eau souterraines est une donnée locale qui peut servir à la protection de la ressource en eau, à la planification rationnelle de l'utilisation du Territoire et à la prévention de l'environnement. L'accroissement de la population et le développement économique entraîne une augmentation des volumes d'eau consommés et plus encore une détérioration de sa qualité. Les eaux souterraines, de même que pour les eaux de surface, sont susceptibles d'être contaminées par les activités humaines.

Les phénomènes de filtration et les réactions qui se produisent dans les sols, offrent cependant un certain niveau de protections des nappes contre les polluants déversés à la surface du sol. Cette protection varie en fonction de la nature des matériaux constituant le sol et des conditions hydrogéologiques locales. Dans ce sens, de nombreux pays européens et américains ont conçu une ou plusieurs méthodologies d'évaluation et de cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution.

Plusieurs méthodes ont été développées : française, anglaise, allemande et américaine.

III.2- Définition de vulnérabilité

La vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine est une notion complexe par le nombre de facteurs qu'elle fait intervenir et par l'importance variable qui peut être attribuée à chacun. Dans la littérature, nous pouvons rencontrer plusieurs définitions de la vulnérabilité des nappes à la pollution bien que convergeant vers le même sens.

* En 1968, J. MARGAT indiquait qu'on pouvait la définir « *comme le fait pour une nappe souterraine d'être plus ou moins exposée par les conditions naturelles à un risque donné d'être polluée* ».

* En 1970, M. ALBINET, reprend cette définition sous la forme suivante « *la vulnérabilité des nappes correspond aux possibilités de pénétration et de propagation des polluants dans les terrains rencontrés en surface et pour les réservoirs dans lesquels sont contenus la première nappe d'eau souterraine généralement libre* ».

* En 1980, Melle M.F PARASCANDOLA précisait que « *définir le degré de vulnérabilité suppose que l'on ait su caractériser les agressions et les défenses, que l'on ait su convoler les fonctions d'agressions et de défenses, que l'on ait défini une fonction de vulnérabilité que l'on ait fixé une échelle de vulnérabilité* ».

* En 1982, G.CASTANY écrivait « *la vulnérabilité des nappes à la pollution est leur sensibilité aux différents facteurs physiques stables, déterminant la mesure où elles sont, dans des conditions naturelles, plus ou moins exposées à la pollution à partir de la surface du sol. Elle étudie les possibilités de propagation dans l'espace souterrain. Celle-ci est, en premier lieu, liée à l'autoépuration naturelle du sol, donc à la présence de conditions indispensables à son action. En second lieu, elle est favorisée par la circulation de l'eau.* »

III.3- Différentes méthodes d'estimation de la vulnérabilité :

Les premières cartes de vulnérabilité à la pollution sont apparues dans les années soixante dix (Albinet et Margat, 1970). Ces dernières constituent des synthèses de quelques grandeurs et peuvent être rangées en trois (03) groupes fondamentaux selon les méthodes utilisées :

- Méthodes orientées sur un système de cotation numérique.
- Méthodes orientées sur les documents cartographiques.
- Méthodes générales ou mixtes.

III.3.1- Méthodes orientées sur les systèmes de cotation numérique

L'intérêt de ces méthodes consiste à donner une approche synthétique et interprétative lors de l'évaluation de la vulnérabilité. L'intégration des paramètres physiques de l'aquifère est très importante pour une bonne estimation du domaine souterrain.

III.3.1.1- Méthode de SILKA (1978)

Celle-ci est plus facile à réaliser et économique en temps. Elle tient compte de la qualité du polluant. Ses différents paramètres sont répartis comme suit :

- Une description de la zone non saturée (une côte de 1 à 10).
- Une caractérisation de l'extension de l'aquifère (une côte de 1 à 5).
- Une caractérisation physico-chimique de l'eau (une côte de 1 à 5).

Dans le cas de la présence de pesticides, une côte variable de 5 à 8 est mise en place selon cinq critères : La *toxicité*, la *mobilité*, la *persistance*, le *volume* et la *concentration* du produit.

Pour désigner la distance d'une région vulnérable localisée à proximité d'un point d'eau, on affecte une côte de 9. L'évaluation du degré de confiance est réalisée par l'introduction d'une lettre d'appréciation (exemple A : bonne estimation).

Cette méthode n'envisage aucune représentation cartographique, l'index de vulnérabilité permet la classification des régions selon leur degré de vulnérabilité

III.3.1.2- Méthode de THORHIL (DRASTIC) 1985

La méthode a été développée par la NWIA'A (National Water ;Veil Association), son intérêt est d'évaluer les risques de dégradation de la qualité des eaux souterraines. C'est une méthode empirique fondée sur trois (03) axes :

- Son domaine d'application à l'échelle régionale.
- La source initiale de pollution se répand dans le milieu à partir de la surface du sol par l'infiltration.
- La qualité du contaminant n'intervient pas sur le degré de vulnérabilité.

Le terme DRASTIC est l'abrégié des sept (07) paramètres de la méthode. Des côtes sont attribuées pour chaque valeur des paramètres sous forme de tableau. Ensuite, on élabore l'indice DRASTIC qui est égal à la somme des poids par cotes :

$$\text{Indice DRASTIC général} = (Dc.Dp) + (Rc.Rp) + (Ac.Ap) + (Sc.Sp) + (Tc.Tp) + (Ic.Ip) + (Cc.Cp)$$

L'indice permet d'estimer le risque de contamination d'une formation aquifère, ce risque augmente avec la valeur de cet indice

III.3.1.3- Méthode GOD (Foster et Hirata, 1991)

Dans cette méthode, la vulnérabilité est réalisée suivant l'inaccessibilité dans la zone non saturée au sens de l'identification du polluant, cette dernière est basée sur trois (03) éléments -

- Identification de la nature de l'aquifère selon son degré de confiance (Ci)
- La profondeur de la nappe (Cp).
- La particularité de la zone non saturée (porosité, perméabilité, contenu en eau), (Ca).

Dans cette méthode, l'indice de vulnérabilité est le suivant ($IGOD = C_i * C_p * C_a$)

III.3.1.4- Méthode PRAST

Dans cette méthode, on voit l'apparition d'un nouvel élément (P pouvoir épurateur du sol) qui regroupe trois paramètres (D, I, C) de la méthode DRASTIC. En effet, cette démarche facilite la méthode précédente (DRASTIC). Le pouvoir épurateur du sol (P) correspond aux phénomènes de l'autoépuration naturelle du sol qui est le paramètre le plus important dans la méthode.

Les éléments de la méthode sont donnés ci-dessous :

- Le pouvoir épurateur du sol (P).
- La recharge(R)
- Type de l'aquifère (A).
- Type du sol (S).
- La topographie (T)

Comme pour la méthode DRASTIC, chaque paramètre est assigné d'un poids de 1 à 8 et d'une cote de 1 à 10 qui correspond à son importance dans l'atténuation des polluants

III.3.1.5- Méthode du pouvoir épurateur du sol (Rehse, 1977)

Le pouvoir épurateur du sol, puis celui de la zone non saturée, est important pour éviter la propagation d'une pollution en direction des nappes. La méthode, proposée par Rehse, tient compte de divers mécanismes qui sont étroitement liés. Ce sont les processus physiques, mécaniques et biochimiques qui agissent sur le transport des bactéries sur la dégradation des composés organiques et chimiques qui interfèrent sur le transfert du soluté (SAID .R ,1999)

III.3.2- Méthodes orientées sur des documents cartographiques

Dans ces méthodes, on tient compte en premier lieu des conditions suivantes :

- La nature du recouvrement (sol et sous sol)
- La profondeur de la nappe:

En seconde partie, on prend en considération l'intercalation des formations aquifères vis-à-vis du polluant; donc tous ces éléments ont été déduits à partir des documents cartographiques

III.3.2.1- Méthode d'Albinet et de Margat (1970)

Cette méthode se résume à une représentation globale des éléments qui contrôlent la vulnérabilité, à savoir :

- La profondeur de la nappe.
- Le drainage de surface.
- La nature lithologique du sous-sol

En effet, le degré de vulnérabilité est évalué sous forme de classes avec des valeurs bien déterminées.

III.3.2.2- Méthode wipp (1982)

Cette méthode tient compte des critères suivants :

- La profondeur de la nappe.

-
- La déplacement de l'eau.
 - La perméabilité du sol.
 - L'utilisation de l'eau

Cette dernière donne trois catégories de vulnérabilité (Forte, Moyenne, Faible).

III.3.2.3- Méthode anglaise NRA (National River Authority)

Elle a été évaluée par la NRA en 1992. Ses grands axes de réalisation sont :

- La pédologie (caractéristiques du sol)
- Le contaminant et son rôle comme l'élément principal
- L'épaisseur de la nature de la zone non saturée.

III.3.3- Méthodes générales ou mixtes

Ces méthodes donnent une approximation globale à partir d'une analyse des critères de la protection des nappes. Elle tient compte de la géologie et de l'hydrogéologie

III.3.3.1- Méthode de Vierhuff (1982)

Cette dernière dépend des paramètres suivants :

- La nature du sol et la zone non saturée.
- La profondeur de la nappe.
- Le régime hydrologique.

Ces paramètres précédents ont été groupés par Vier Huff en cinq (05) classes (de forte à très forte vulnérabilité).

III.3.3.2- Méthode de Villumsen et Sonderskov (1982)

Ces derniers ont proposé quatre (04) paramètres, l'un d'eux compte de la variation du niveau piézométrique échelonné sur des cotes correspondantes, les autres dépendent de:

- La capacité d'adsorption du sol
- La zone saturée et ses caractéristiques.

III.3.3.3- Méthode de Haerté (1983)

Dans cette méthode deux critères essentiels sont retenus :

- L'épaisseur de la zone vadose (zone non saturée).
- La perméabilité de la formation aquifère.

Cette méthode est classée suivant l'épaisseur des formations et leur nature lithologique ; en effet le domaine de classification varie entre faible, moyenne et haute.

III.4- Conclusion

En conclusion, on peut dire que les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité se rapprochent entre elles, cela est dû dans la majorité des cas à la convergence de leurs critères d'évaluation de base. Parmi toutes ces méthodes, la méthode DRASTIC qui se caractérise par une structure très efficace et une accessibilité aisée des données de base reste très utilisée dans le monde (AIT OUALI, 2003).

Toutes ces méthodes permettent d'évaluer la vulnérabilité, mais, la méthode la plus utilisée est la méthode DRASTIC et cela pour sa facilité et sa précision.

CHAPITRE IV :

**ASPECT THEORIQUE ET PRATIQUE DE LA METHODE
DRASTIC**

IV.1- Introduction

La méthode DRASTIC est d'origine américaine, développée par NWWA (National Water Well Association), entre 1983 et 1987 comme base pour l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines.

Elle est basée sur un système de cotation numérique et permet l'établissement des cartes de vulnérabilité, qui sont la synthèse des connaissances lithologique, pédologique et hydrogéologique d'une région.

IV.2- Définition de la méthode DRASTIC

Cette méthode a été développée par la NWWA (National Water Well Association) dans le but d'évaluer les risques de dégradation de la qualité des eaux souterraines (Aller et al, 1987).

L'approximation de son évaluation dépend essentiellement de la nature, de la qualité et de la fiabilité des données; donc elle est empirique, est définie par les trois (03) axes suivants :

- Elle s'applique à l'échelle régionale.
- La source initiale de pollution se répand dans le milieu à partir de la surface.
- La qualité du contaminant n'intervient pas sur le degré de vulnérabilité.

IV.3- Description de la méthode « Drastic »

La première étape de la méthode DRASTIC est la définition des unités hydrogéologiques à partir d'un ensemble de caractéristiques qui influent directement ou indirectement sur l'écoulement des eaux souterraines depuis la surface du sol jusqu'à la nappe en passant par la formation aquifère. Ces unités sont obtenues après superposition de différentes zones caractérisées chacune par un indice partiel propre à chacun des paramètres DRASTIC.

Chaque unité hydrogéologique a ses propres caractéristiques physiques qui peuvent faire augmenter ou atténuer la pollution potentielle des eaux souterraines. Une large bande de dispositions techniques est considérée vu l'importance relative de nombreux caractères physiques qui peuvent conditionner la pollution potentielle. Les agents que renferme l'aquifère sont la chimie, la température, la transmissivité, la tortuosité les phases gazeuses transportées et bien d'autres qui peuvent être évalués. La disponibilité de données cartographiables a été également considérée. Comme résultat de cette évaluation, les plus importants paramètres cartographiables qui influencent la pollution potentielle sont:

La profondeur de la nappe (D), le recharge nette (R), les matériaux de l'aquifère (A), les matériaux du sol (S), la topographie (pente) (T), l'impact de la zone non saturée (I) et la conductivité hydraulique de l'aquifère (C).

L'indice DRASTIC est basé donc sur l'évaluation de ces sept (07) paramètres hydrogéologiques. Chaque paramètre est assigné d'un poids relatif fixe qui correspond à son importance dans la définition du degré de vulnérabilité ou de la pollution potentielle.

Le tableau n°1 (Annexe A) donne les poids concernés par le cas de la pollution des eaux souterraines par les nitrates (engrais azotés, rejets urbains et industriels: agro-alimentaires et papeteries). Un deuxième tableau spécialement conçu pour le cas de la pollution par les pesticides, donne aussi les poids qui faciliteront le calcul (Annexe A : Tableau n°2).

Poids des paramètres

Chaque paramètre a été évalué selon son importance par rapport aux autres aussi il lui a été assigné un poids relatif compris entre 1 et 5 (Annexe A : Tableau n°1). Le paramètre significatif dans l'évaluation de la pollution potentielle a un poids de 5 et le moins important sera coté à 1. Ces poids sont constants et ne peuvent être changés. D'autres poids ont été déterminés (Annexe A : Tableau n°2) et ils reflètent l'usage des pesticides dans l'agriculture.

Rang:

Chaque paramètre DRASTIC a été subdivisé en plusieurs rangs ou en type de matériaux significatifs ayant un impact dans l'estimation de la pollution potentielle (Annexe A : tableaux n°3 à 9). Une description des matériaux types est consignée dans le paragraphe 7 « matériaux du sol, matériaux de l'aquifère, Impact des matériaux de la zone non saturée. Les rangs des matériaux types, dans les graphes (figures n°1 à 7), montrent la linéarité ou la non - linéarité de ces paramètres.

Cote:

Chaque rang pour chaque paramètre a été évalué selon son importance par rapport aux autres aussi il lui a été assigné une cote relative comprise entre 1 et 10. Il a été assigné à tous les paramètres une seule valeur par rang sauf pour les matériaux de l'aquifère et pour l'impact des matériaux de la zone non saturée à qui il a été attribué une cote typique et une gamme variable de cote. Cette variation de cote permet à l'utilisateur de choisir soit la valeur typique soit d'ajuster la valeur sur la base de données spécifique.

La cote est semblable que ce soit pour l'indice DRASTIC et pour l'indice DRASTIC modifié pour les pesticides.

IV.4- Calcul de l'indice « DRASTIC »

L'indice DRASTIC est numérique. Il représente la somme pondérée de sept (07) cotes correspondant aux sept (07) paramètres hydrogéologiques cités au tableau n°1. A chaque paramètre est associée une cote variant de 1 à 10 en fonction des conditions locales.

En outre, à chacun est attribué un poids relatif fixe et prédéterminé qui correspond à son importance dans le processus de lixiviation et d'atténuation des polluants. Ainsi, un paramètre prépondérant dans le processus de contamination se voit assigner d'un poids de cinq (05), alors qu'un paramètre ayant moins d'impact se voit attribuer un poids de un (01).

Les tableaux (n° 3 à 9) de l'annexe A permettent aux paramètres considérés l'attribution de cotes en fonction de leurs valeurs locales. L'indice local de chaque paramètre est partiel. Il est obtenu en multipliant sa cote par son poids relatif.

L'indice DRASTIC = Pollution potentielle

Indice DRASTIC général : $(Dc.Dp) + (Rc.Rp) + (Ac.Ap) + (Sc.Sp) + (Tc.Tp) + (Ic.Ip) + (Cc.Cp)$

c : côte du paramètre considéré ; **Dc** : la côte du paramètre **D** ; **Dp** : son poids

IV.5- Interprétation de l'indice DRASTIC

L'indice de vulnérabilité DRASTIC représente une évaluation du niveau de risque de contamination d'une formation aquifère. Ce risque augmente avec la valeur de l'indice. Celui-ci peut prendre une valeur maximale de 226 et une valeur minimale de 23. Son appréciation n'est possible que par l'analyse comparative entre différents sites ou unités hydrogéologiques.

A cet effet, le groupe JRB (1982) a développé un système de représentation permettant aux utilisateurs une visualisation immédiate du degré de vulnérabilité. Le principe consiste à diviser la valeur indicelle de chaque zone par le score maximum pouvant être atteint (226) en le

multipliant par 100 afin d'exprimer la vulnérabilité en pourcentage ce qui a permis (Fig. n°6) de définir cinq classes de vulnérabilité.

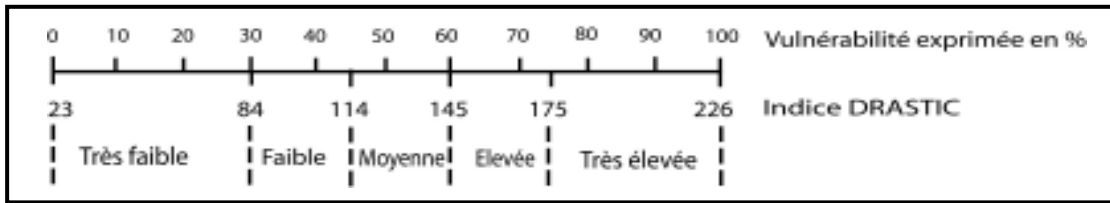


Fig. n°06 : Diagramme des classes de vulnérabilité. Selon la méthode DRASTIC

Ce système ou cette équation permet à l'utilisateur de déterminer une valeur numérique pour n'importe quel site hydrogéologique. Une fois l'indice DRASTIC calculé, il est possible de connaître les zones qui ont, par rapport aux autres, plus de chance d'être susceptibles à une contamination des eaux souterraines. Un indice DRASTIC élevé implique une grande pollution potentielle.

C'est ainsi que les valeurs extrêmes sont:

- Index DRASTIC maximum = 226 (très vulnérable).
- Index DRASTIC minimum = 23 (invulnérable).

L'indice DRASTIC « pesticides » peut être utilisé dans les régions où on note une intense activité agricole et où les eaux souterraines sont susceptibles d'être polluées par les pesticides. Il représente un cas spécial de l'indice DRASTIC. La seule différence réside en une attribution différente aux valeurs des poids de quelques paramètres. En effet puisque le sol joue un rôle important dans l'agriculture il lui a été assigné un poids de 5 alors qu'il était à 2. La topographie, l'impact des matériaux de la zone non saturée et la conductivité hydraulique de l'aquifère ont été légèrement changés parce qu'ils ont leur importance dans l'atténuation ou dans la facilité de passage des pesticides. Le poids des autres paramètres ainsi que les rangs et les cotes restent semblables, sans changement.

IV.6- Description des paramètres de la méthode Drastic

IV.6.1- Les critères de la méthode DRASTIC

DRASTIC et l'indice DRASTIC modifié pour les pesticides a été développé selon les principaux critères:

1. Le polluant est introduit dans la surface du sol;
2. Le polluant atteint les eaux souterraines par l'infiltration des eaux de pluies;
3. Le polluant a une mobilité dans l'eau
4. La zone utilisée pour l'évaluation de l'indice DRASTIC est supérieure à 41 ares.

La méthode suppose que le polluant est déversé à la surface du sol, entre dans le sol, traverse la zone non saturée et entre dans l'aquifère en atteignant les eaux souterraines.

IV.6.2- Profondeur de la nappe

La profondeur de la nappe est importante, premièrement parce qu'elle détermine l'épaisseur du matériel à travers lequel un polluant doit passer avant d'arriver à l'aquifère et il peut aider à déterminer la durée de contact avec les matériaux environnants. En général, il y a de forte chance que le polluant s'atténue plus la profondeur de la nappe augmente parce que plus le niveau de l'eau est profond plus cela implique une durée de traversée plus grande. La présence

d'une couche à faible perméabilité peut rendre captif l'aquifère et limiter la traversée du polluant vers l'aquifère.

IV.6.3 - Recharge nette

La première source d'alimentation des eaux souterraines est l'infiltration des eaux de pluies à travers le sol et la zone non saturée. La recharge nette représente la somme des eaux, par unité de surface, qui pénètre dans le sous sol et arrive à la nappe. Ces eaux infiltrées véhiculent le polluant verticalement vers la zone saturée puis horizontalement dans l'aquifère. Par conséquent, ces eaux sont le principal véhicule pour filtrer et transporter un polluant solide ou liquide vers la nappe. Donc plus nous avons une infiltration importante plus il faut s'attendre à une pollution conséquente des eaux souterraines. Cette évidence est valable jusqu'au point où la recharge est assez grande pour causer une dilution du polluant à un tel degré que la potentielle pollution cesse d'augmenter et commence à diminuer.

IV.6.4 - Matériaux de l'aquifère

L'écoulement d'eau dans un aquifère est conditionné par les matériaux de l'aquifère. Le cheminement que doit suivre un polluant est donc dépendant du système d'écoulement d'un aquifère. La longueur du cheminement est importante pour maîtriser la détermination du temps nécessaire à l'atténuation du processus de contamination d'une nappe par adsorption, par réaction chimique et par dispersion. En général plus les grains sont grands, plus les fractures sont grandes et nombreuses, donc plus la perméabilité est grande et plus la capacité d'atténuation de la pollution de l'aquifère est petite.

Les matériaux de l'aquifère ont été décrits par cette méthode. Chaque matériau est listé en fonction de l'accroissement de la pollution potentiel

- a. *Argiles schisteuses massives*: C'est des couches épaisses d'argiles schisteuses indurées et argiles qui sont considérés comme des formations sèches. Seulement une petite quantité d'eau est stockée dans les fractures et les feuillés quand elles existent, donc la pollution potentielle est vraiment petite. La pollution potentielle est influencée surtout par le degré de fracturation.
- b. *Roches métamorphiques et éruptives*: C'est des roches consolidées métamorphiques ou éruptives qui originellement contiennent ou non une faible porosité primaire et qui donne de l'eau seulement par les fractures à l'intérieur de la roche. Généralement dans ce type de roche les forages ou les puits donnent de faible débit et la pollution potentielle est fonction du degré de fracturation.
- c. *Roches métamorphiques et éruptives altérées*: C'est des roches altérées ou non consolidées qui dérivent et se trouvent habituellement sur des roches consolidées saines. En plus des vides créés par l'altération elles possèdent une porosité primaire par conséquent la pollution potentielle peut être nettement plus importante.
- d. *Terres de glacier* : C'est des couches non consolidées avec une mixture de graviers, de sables, de limons et d'argiles qui sont mal triées et mal stratifiées. La faible perméabilité de cette terre fait que les ouvrages hydrauliques donnent de faible débit. Ces derniers sont généralement peu profonds ce qui fait donc qu'ils sont susceptibles d'être pollués. Les fractures dans ces terres peuvent influencer la potentielle pollution.
- e. *Séquences de couches de grés, calcaires et d'argiles schisteuses*: C'est généralement des séquences de couches peu épaisses de roches sédimentaires. La pollution potentielle est fonction du degré de fracturation.

-
- f. *Grès massif*: C'est des couches de grès consolidés qui contiennent une porosité primaire et une porosité secondaire et qui sont généralement plus épaisses que le type précédent (e). La pollution potentielle est largement contrôlée par les deux types de porosité des grès.
 - g. *Calcaires massifs*: C'est des couches de calcaires et de dolomies caractérisées par des bancs généralement épais comme « f ». La pollution potentielle est largement fonction du degré de fracturation, des cavités et du nombre de dolines.
 - h. *Sables et graviers*: C'est des couches non consolidées formées de sables et de graviers qui contiennent une grande concentration de particules fines. En général, plus les matériaux sont propres et grossiers plus la pollution potentielle est grande.
 - i. *Basalte*: C'est des formations éruptives consolidées qui contiennent des fractures et une porosité de fente en général. La pollution potentielle est fonction des intercommunications des ouvertures qui se sont formés lors du refroidissement des laves. Le polluant a peu de chance d'être atténué une fois celui-ci à l'intérieur des fractures.
 - j. *Formations karstiques*: C'est des couches de calcaires consolidés. La dissolution de la roche par l'eau au niveau des ouvertures a entraîné leur agrandissement avec formation de cavités et de galeries intercommunicant entre eux. C'est un cas typique aux roches calcaires. La pollution potentielle est généralement très grande et surpassant tous les autres.

L'utilisateur de la méthode peut choisir pour l'évaluation de n'importe quel aquifère dans une région, seulement un aquifère à la fois. Dans un multicouche, il doit décider du choix de l'aquifère selon les matériaux appropriés.

Concernant la cote (rating) des matériaux de l'aquifère, le tableau donne des fourchettes de valeur et l'utilisateur doit savoir prendre la valeur la plus appropriée à l'aquifère qu'il étudie. Si les matériaux de celui-ci sont semblables à ceux décrit, il doit opter pour la cote type si cela diffère, en fonction de ses observations, il décide de la côte à donner. A titre d'exemple si c'est des calcaires massifs avec une fracturation moyenne il doit donner la valeur 6, plus la fracturation augmente et tend vers la karstification plus la valeur à donner doit tendre vers 9. Dans le cas, ou c'est le contraire, c'est des calcaires massifs faiblement fracturés, la valeur la plus appropriée es

IV.6.5 - Matériaux du sol

Les matériaux du sol concernent la partie la plus superficielle de la zone non saturée qui est caractérisée par une importante activité biologique. Le sol est communément considéré comme la partie formée par des produits d'altérations et constituant la zone superficielle de la terre et sa profondeur moyenne fait 183 cm ou moins à partir de la surface de la terre. Le sol a un impact significatif sur la totalité de la recharge qui peut s'infiltrer dans le sous sol et ce en dehors de la capacité du polluant à pénétrer verticalement dans la zone non saturée. La présence de matériaux à texture fine comme les limons et les argiles diminue la perméabilité du sol ce qui limite la migration d'un polluant. La matière organique en grande quantité dans le sol peut être aussi un facteur important, particulièrement dans l'atténuation des pesticides. Les composés humiques sont également principalement responsable de l'adsorption.

IV.6.6 - Topographie

Le terme topographie, ici, veut dire la pente et sa variation dans une région. La topographie conditionne en général l'infiltration de la pluie et de n'importe quel polluant. En effet quand celui-ci se trouve sur une pente raide, il a tendance plutôt à ruisseler et quand il est sur une surface plane

IV.6.7 - Impact de la zone non saturée

La zone non saturée est définie comme la zone se trouvant au-dessus de la surface piézométrique et qui n'est pas saturée en eau. Elle renferme une phase solide (la roche), une phase liquide (l'eau) et une phase gazeuse (l'air). La biodégradation, la neutralisation, la filtration mécanique, les réactions chimiques, la volatilisation et la dispersion sont autant de processus qui caractérisent la zone non saturée. La biodégradation et la volatilisation diminuent avec la profondeur. Les matériaux jouent également un rôle important par leur constitution et leur agencement dans l'atténuation d'une pollution ou par la facilité du passage que peuvent procurer les fractures.

IV.7 Construction de la carte de vulnérabilité (Aller *et al*, 1987)

Les méthodologies DRASTIC et PRAST sont axées sur une cotation numérique de la vulnérabilité. Elles permettent l'établissement des cartes de vulnérabilité qui forment une synthèse des connaissances lithologiques, pédologiques et hydrogéologiques d'une région.

L'établissement d'une carte de vulnérabilité selon l'une des deux méthodes se fait selon les étapes suivantes :

- 1- Constitution d'une banque de données, de la région d'étude, sur la base :
 - D'un inventaire du patrimoine documentaire par une bonne recherche bibliographique permettant d'évaluer tous les paramètres ;
 - Des investigations éventuelles de terrains pour compléter ou actualiser certaines données telles que la profondeur de l'eau qui varie en fonction des saisons ;
- 2- Attribution d'une côte à chaque paramètre, ensuite la côte de chaque paramètre propre à chaque méthodologie est multiplié par un poids relatif (voir annexe 1)
- 3- Une carte thématique réalisée pour chacun des paramètres considérés par la méthode utilisée.
- 4- Sur chaque carte sont délimitées les zones en fonction des intervalles établies par le système de cotation DRASTIC ou PRAST
- 5- On utilise pour chaque carte thématique d'un paramètre considéré une couleur

Paramètres DRASTIC	Couleur
Profondeur	Noir
Recharge nette	Vert
Milieu aquifère	Rouge
Type de sol	Bleu
Topographie	Violet
Impact de la zone non saturée	Jaune
Conductivité hydraulique	Orange

Tableau 1 : Couleurs utilisées pour les exercices de cartographie des paramètres DRASTIC (Aller *et al*, 1987, in Touileb, 1997).

- 6- Réalisation d'une série de superpositions de sept couches afin de visualiser les intersections des grandes unités hydrogéologiques ainsi que les sous-unités correspondantes ;
- 7- Calcul de l'indice de vulnérabilité général pour chaque unité hydrogéologique obtenue et chaque sous-unité déduite ;

8- Représenter les limites des différentes unités hydrogéologiques sur un fond topographique et porter à l'intérieur de ces unités leurs numéros d'identification ainsi que la valeur de l'indice général de vulnérabilité correspondant ;

9- L'identification des unités qui se fait par une lettre et des chiffres (exemple : 2A₃²¹) qui représentent le code du bassin versant (2), l'unité hydrogéologique (A), la sous-unité hydrogéologique (3) et l'indice global de vulnérabilité (21) ;

10- L'attribution des couleurs conventionnelles (Tableau 6) aux différentes unités hydrogéologiques, permettra de lire la carte synthétique de vulnérabilité ainsi qu'une visualisation graduelle du degré de vulnérabilité : les couleurs rouge, orange, et jaune indiquent les sites à fort potentiel de vulnérabilité et les couleurs bleu, indigo et violet caractérisent les zones moins sensibles.

Intervalles de l'indice global	Couleurs
Méthode DRASTIC	
< 79	Violet
080 – 099	Indigo
100 – 119	Bleu
120 - 139	Vert foncé
140 - 159	Vert clair
160 – 179	Jaune
180 – 199	Orange
> 200	Rouge

Tableau 2 : Code international des couleurs pour les intervalles de l'indice DRASTIC (Aller et al ; 1987 modifié, in Touileb,1997).

PARTIE 2

CHAPITRE I :

SITUATION GEOGRAPHIQUE

I.1- Cadre géographique de la région d'étude

Administrativement, la plaine alluviale du Sébaou se situe dans les Wilaya de Tizi-Ouzou et de Boumerdés, à 80Km à l'Est d'Alger (Figure N°01).

La surface drainée par l'oued Sébaou et ses affluents (bassin versant) est limitée entre les altitudes 36°27 ' et 36°55 ' Nord et les longitudes 3°55 ' et 4°53 ' Est. S'étalant sur une superficie de 2500Km²; le bassin versant du Sébaou est caractérisé par un relief typiquement montagneux, couvrant 82% de la superficie totale, il est limité :

-
- Au nord ouest par la mer méditerranée ;
 - Au nord et nord Est par la chaîne littorale ;
 - Au sud et sud Est par la chaîne de Djurdjura (chaîne calcaire) ;
 - A l'ouest par les chaînons de Naciria et Sidi-Ali-Bounab orienté ENE –WSW ;

I.2- Développement socio-économique de la région d'étude

La wilaya de Tizi-Ouzou recèle de nombreuses potentialités socio-économique principalement en matière d'agriculture et industrielle, mais aussi humaine. Chacune de ces potentialités nécessite pour leurs subsistances et leur développement une quantité d'eau considérable. Or, la tendance du climat actuel est vers la sécheresse : diminution et irrégularité des précipitations depuis presque deux décennies et le problème de la qualité de l'eau souterraine constamment menacée dans la région par les conséquences d'une agriculture productiviste et des effluents industriels et urbains, rendent la tâche de satisfaire ces multiples besoins en eau de plus en plus délicat.

I.2.1- Potentiels humains

D'après le dernier recensement général de la population et de l'habitat effectué en 2002, la population total de la wilaya de Tizi-Ouzou est estimée à 1212600 habitants répartis sur l'ensemble du territoire d'étude avec un taux de 67,30% soit 868.600 habitants dans les zones rurales et 32,70% soit 34.400 habitants dans les zones urbaines. La ville de Tizi-Ouzou, chef lieu de la wilaya située au cœur la plaine du Sébaou, est le lieu privilégié d'une forte concentration humaine en raison de la disponibilité des infrastructures socio-économique de base.

I.2.2- Potentiels agricoles

Le système de production mis en place dans la wilaya est la polyculture à dominante arboriculture et élevage. En dépit, de son statut vital, l'agriculture ne représente pas une activité dynamique, néanmoins la région dispose d'un appréciable potentiel agricole. La surface agricole totale est de 203227ha, répartie de façon inégale dans la région, cependant la majorité des terres fertiles et irriguées se localisent dans la plaine soit 5000 ha, où se développent les cultures maraîchères, qui nécessitent une quantité énorme d'engrais chimiques et de fertilisants que les sources en eau considérables. Quand aux zones montagneuses les terres agricoles disponibles sont très morcelées et reposent sur des sols pauvres, dénudés et ravinés ce qui les limitent principalement à l'arboriculture (Olivier, figuiers.....)

Pour ce qui est la production animale, l'élevage ovin prédomine avec 50% des effectifs, notons que les petits élevages, comme l'aviculture et l'apiculture, sont les plus indiqués pour la région, en raison de son relief accidenté et l'exiguïté des exploitations.

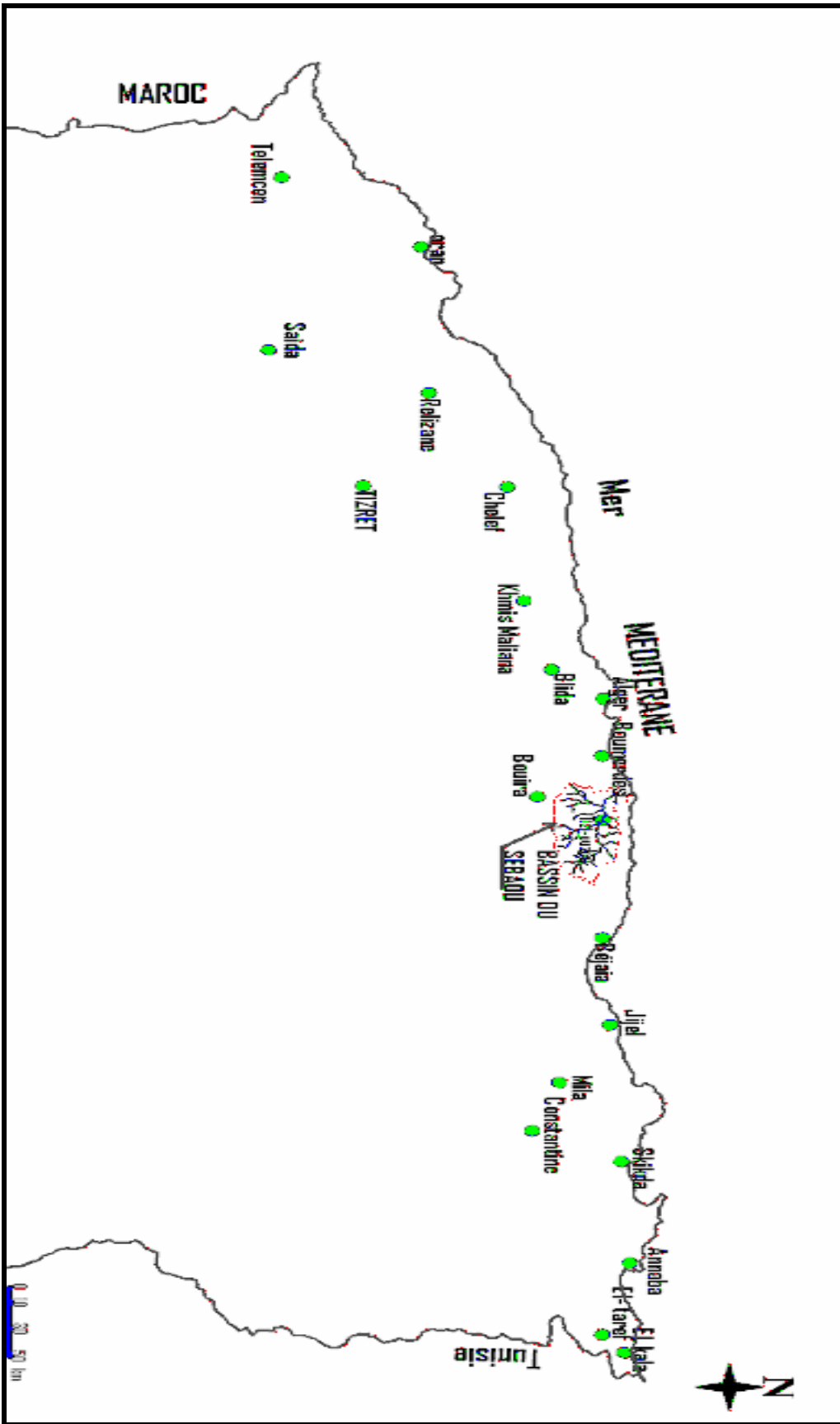


Figure N°-7 : situation géographique du Bassin versant du Sébaou

I.2.3- Potentiels industriels

Le tissu industriel existant dans la région d'étude est situé principalement sur l'axe Draa Ben Khedda, Azazga, où enregistre plusieurs unités agro-industrielles et agroalimentaire et agroindustrielles telle que l'ORLAC, ENIEM, des limonaderies ainsi que 528 huileries qui se parsèment sur toute la région.

I.2.4- Activité extractive

Cette activité est fortement sollicitée dans la vallée du Sébaou. Plusieurs sablières sont mises en œuvre sur le lit de l'oued, notamment à proximité des ouvrages de captages exploitants le sable et le TVO (tout venant de l'oued). Ces extractions sont autant profondes et anarchiques qu'elles portent préjudice à la nappe alluviale et rendent celle-ci vulnérable à la pollution par les eaux usées.

I.2.5- Les infrastructures hydrauliques

Le secteur d'étude dispose d'un potentiel hydrique non négligeable dont le principal est le barrage de Taksebt. Ce dernier est implanté sur l'oued Aissi, affluent du Sébaou situé à environ 10Km au Sud-Est de la ville de Tizi-Ouzou, aux points de coordonnées Lambert suivants :

$$X = 627.000Km, \quad Y = 376.100Km, \quad Z = 95.5m.$$

Sur les territoires ruraux des communes d'Irdjen, Larbaâ Nath Irathen, Beni Aissi, Beni Douala et Ait Mahmoud, le barrage de Taksebt représente une importante ressource superficielle, sa capacité est de 175 millions de m³ permettant une régularisation de 180 millions de m³ destinées à l'alimentation en eau potable dont :

- 57 millions de m³ pour la wilaya de Tizi-Ouzou.
- 123 millions de m³ pour la wilaya d'Alger.

CHAPITRE II :

ETUDE GEOMORPHOLOGIQUE

II.1- Introduction

La climatologie, l'hydrologie de surface et souterraine sont étroitement tributaires des caractéristiques physiques, morphologiques de reliefs et morphométriques des bassins versants. Aussi, il apparaît nécessaire voire indispensable de quantifier ces paramètres.

II.2.- Les grands ensembles morphologiques

Le paysage de la région d'étude est diversifié, caractérisé par un relief montagneux très accidenté. Les chapelets de surélévations rudes et accentuées apparaissent dans toute la région.

Le grand bassin versant du Sébaou est limité au Nord par la chaîne littorale et au Sud par le massif Kabyle. Cette double masse surélevée délimite un couloir étroit d'orientation générale Est-ouest, formant la vallée de l'oued Sébaou, qui s'étend d'Azazga à l'est jusqu'au Dellys à l'Ouest.

Nous distinguons trois (03) unités morphostructurales nettement différenciées (Fig n°2):

II.2.1- La chaîne du Djurdjura

Elle fait partie de la dorsale calcaire des Maghribides, délimite au sud notre domaine d'étude et représenté par un ensemble morphologique très compétant d'âge secondaire et tertiaire, formant des escarpements considérables, dont les points les plus culminants atteignent 2308m à Lala Khadîdja et 2305m à Ras Timedouine.

II.2.2- Le socle kabyle

Constitue le relief intermédiaire qui fait l'union entre le synclinale de Tizi-Ouzou au Nord et la chaîne du Djurdjura au sud. La chaîne littorale surplombant la plaine alluviale au nord, culmine des altitudes de 600m à l'Ouest et 1278m à l'Est (Dj. Tamgout).

Cet ensemble morphologique est caractérisé par des formations plus ou moins tendres et compartimentées d'âges récents ou anciens. C'est là qu'on voit se succéder les différents types d'érosion, allant du plus simple (ravinement plus simple) au plus complexe (mouvement de masse, éboulement, glissements).

II.2.3- Le synclinal de Tizi-Ouzou

C'est le seul matériel autochtone dans la région, représenté essentiellement par les grès et les marnes du miocène "Post-nappe" (M. Ben Hassainne, 1980).

Dans sa partie médiane, s'allonge une série de chaînons de socle aligné, que l'oued Sébaou traverse orthogonalement, il s'agit de :

- Massif de Naciria ;
- Massif de Draâ Karouche ;
- Sidi-Ali Bounab, Belloua et massif de Aïssa Mimoun.

Et à l'intérieur de cette cuvette, s'étale la plaine alluviale du Sébaou, qui se présente sous forme d'une bande étroite à fond plat orienté E-W, constituée d'un remplissage alluvionnaire d'âge quaternaire.

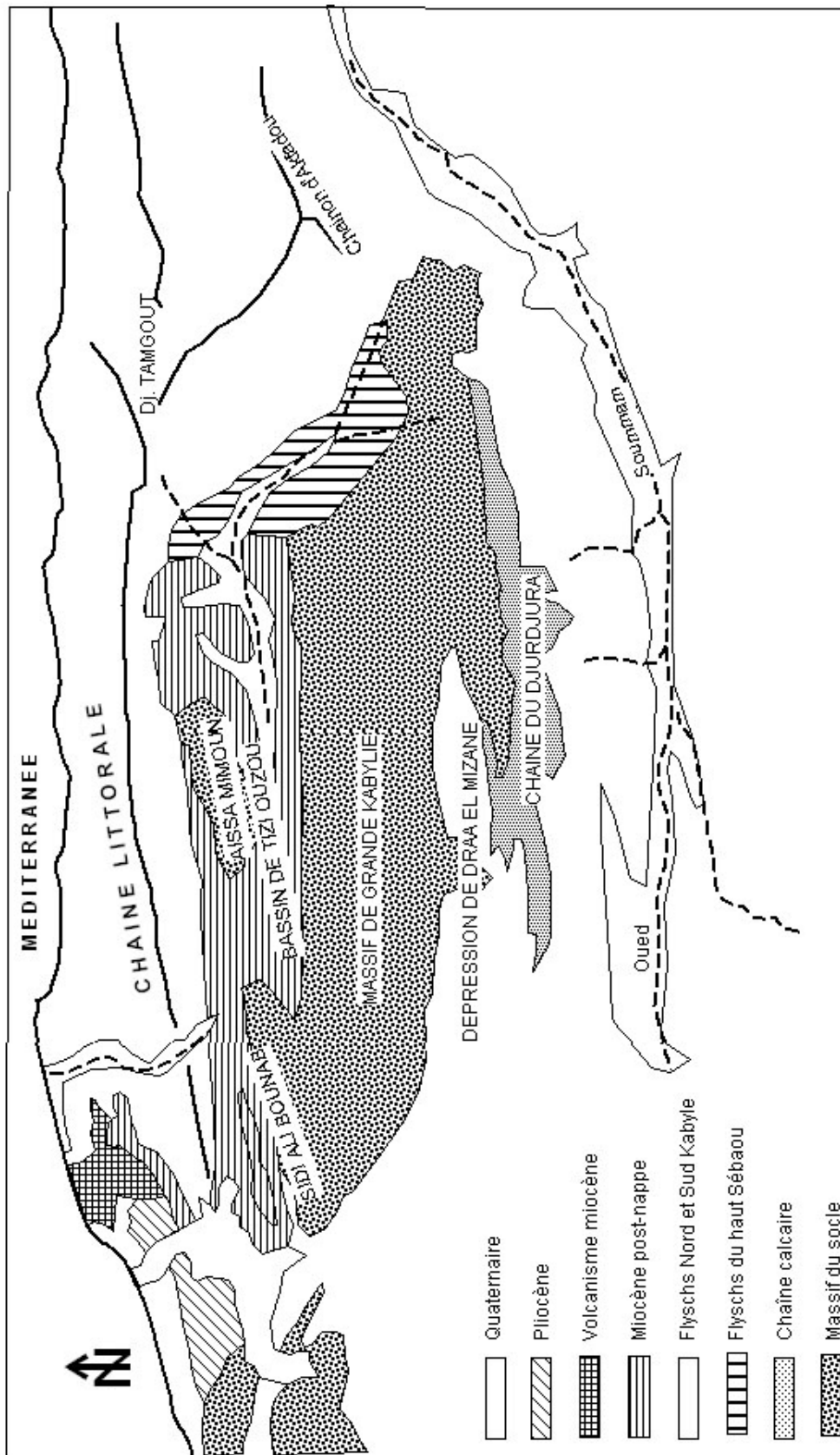


Fig.N° 02 : Les grandes unités morphostructurales de la grande Kabylie (M. Benhassaine, 1980)

II.3- Lithologie

La perméabilité du sol et de sous-sol d'un bassin versant est liée à la nature géologique qui conditionnera l'infiltration, le ruissellement ainsi que l'évaporation.

Mise à part les formations perméables de la chaîne calcaire de la plaine alluviale de l'oued Sébaou, les autres formations telles que celles du socle Kabyle, de Miocène post nappe et des flyschs qui occupent la majeure partie de la surface du bassin versant, sont généralement "imperméables".

II.4- Le couvert végétal

Le couvert végétal joue un rôle extrêmement important, dans la protection des sols contre l'érosion par son action atténuante des crues et des averses particulières, en réduisant et en freinant le ruissellement superficiel.

La végétation de la région d'étude est de type méditerranéen, caractérisée dans son ensemble par trois étages bioclimatiques bien distincts :

Les **cultures** : elles sont concentrées dans les plains et représentées par l'arboriculture et les superbes champs des cultures maraîchères, aux quelles s'ajoutent laurier rose et le roseau dominant les zones incultes et inondables.

Les **maquis** : caractérisant en particulier les zones intermédiaires, constitués essentiellement de très denses champs d'oliviers et de petites parcelles de figuiers (îlot de Aissa Mimoun) et par quelque peuplement de chêne liège (la chaîne littorale) et de chêne vert, complétés par une végétation arbustive assez basse qui reflète l'état de dégradation de la végétation dans la région.

Les **forêts** : occupant les zones montagneuses et représentées généralement par le chêne vert, le chêne liège et le pin d'alépe.

Malgré sa diversification, le couvert végétal de notre région d'étude demeure très dégradé et n'occupe que 19% (soit 55.025 ha) de la surface totale. Cette dégradation due indubitablement à l'activité humaine (défrichements, coupes, incendies...) expose la région à une forte érosion et une déperdition accélérée des sols fertiles surtout en haute montagne.

II.5- Réseau hydrographique

Le bassin versant de Sébaou, présente un réseau hydrographique très développé en forme de patte d'oie, très ondulé et fortement ramifié notamment en rive gauche où le réseau hydrographique est hiérarchisé et nous y dénombrons des talwegs d'ordre 4 (selon la classification d'Horton) (Fig.3). De ce fait, le drainage dans cette région est très dense et s'effectue par une multitude d'oueds plus ou moins longs, dont les principaux sont :

- *En rive droite* : L'oued Dis est le torrent le plus important, provient de la chaîne littorale et s'étend sur une quinzaine de Kilomètres. Il prend sa source au Djebel Tamgout qui culmine (1278m) et débouche dans l'oued Sébaou juste après le premier coude majeur de celui-ci au niveau de Fréha.
- *En rive gauche* : l'oued Bougdoura, l'oued Aissi et l'oued Boubhir en amont sont les principaux affluents de l'oued Sébaou, qui prennent leur source dans la chaîne du Djurdjura, au sud du bassin versant, à des altitudes variant de 1900 à 2000m.

La confluence de ces affluents qui s'écoulent de part et d'autre de la montagne, forme l'oued Sébaou qui traverse une plaine étroite mais très allongée sur une longueur de 110Km. Depuis sa naissance à l'est (Djurdjura) jusqu'à l'embouchure à la mer méditerranée, l'oued Sébaou s'allonge sous trois formes de direction :

- *Dans la partie amont* : l'oued suit une direction SSE-NNW jusqu'à un coude majeur, situé à Fréha.

II.6.1- Paramètres géométriques

Le bassin versant de la vallée de Sébaou (code 02 au répertoire de l'ANRH) couvre une superficie de 2500 Km² avec un périmètre de 250.4Km, subdivisé en 06 sous bassins réparties de façon inégale sur le Haut, Moyen et le Bas Sébaou (Fig. n°04). Cette répartition est représentée dans le tableau suivant :

	Code des sousbassins versants de Sébaou	Superficie en Km ²	Périmètre en Km
Haut Sébaou	02-15	532	102.4
	02-16	432	112
	02-17	468	98.6
Moyen Sébaou	02-18	304	82
	02-19	544	94.2
Bas Sébaou	02-20	220	62.6

Tableau n°01 : Répartition des superficies par sous bassin

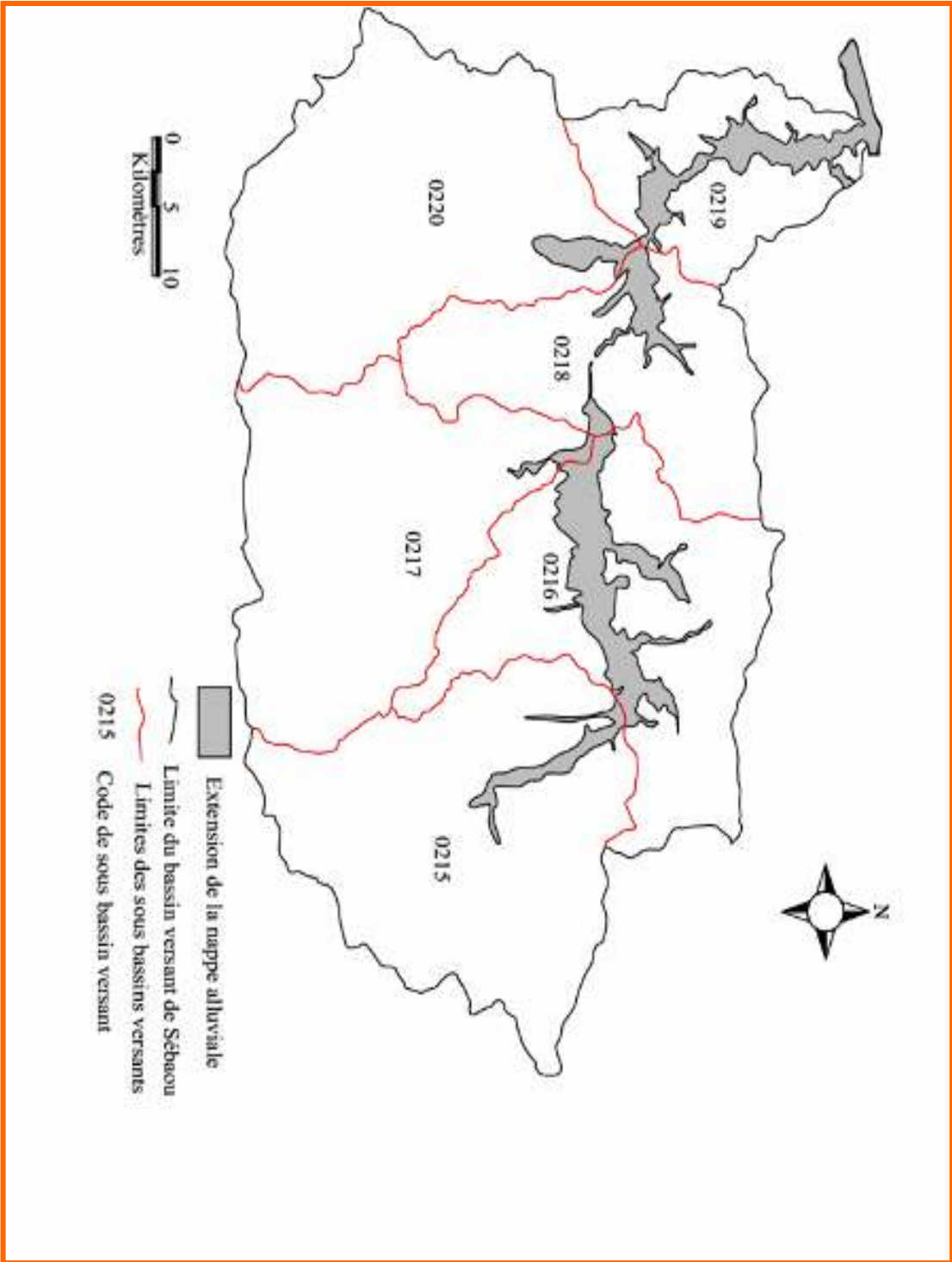
II.6.2- Les paramètres de relief

Courbe hypsométrique : cette courbe a été établie sur la base des données statistiques du tableau ci-dessous. Qui représente la répartition altimétrique par tranche de 100 m d'altitude pour tout le bassin versant du Sébaou.

Classes d'altitude (m)	Moyennes des classes (h _i)	Nombre de points d'altitude (a _i)	a _i . h _i	a _i cumulé	% surfaces cumulées
0-100	50	16	800	164	100
101-200	150	17	2550	148	90.24
201-300	250	25	6250	131	79.87
301-400	350	24	8400	106	64.63
401-500	450	20	9000	82	50.00
501-600	550	12	6600	62	37.80
601-700	650	11	7150	50	30.48
701-800	750	6	4500	39	23.78
801-900	850	10	8500	33	20.12
901-1000	950	5	4750	23	14.02
1001-1100	1050	4	4200	18	10.97
1101-1200	1150	3	3450	14	8.53
1201-1300	1250	5	6250	11	6.70
1301-1400	1350	1	1350	6	3.63
1401-1500	1450	1	1450	5	3.04
1501-1600	1550	3	4650	4	2.43
1601-1700	1650	1	1600	1	0.60
			Σ a _i =164	Σ a _i .h _i = 81500	

Tableau n°02 : Altitudes moyennes

Figure n°09 : les sous bassins versant du sébaou



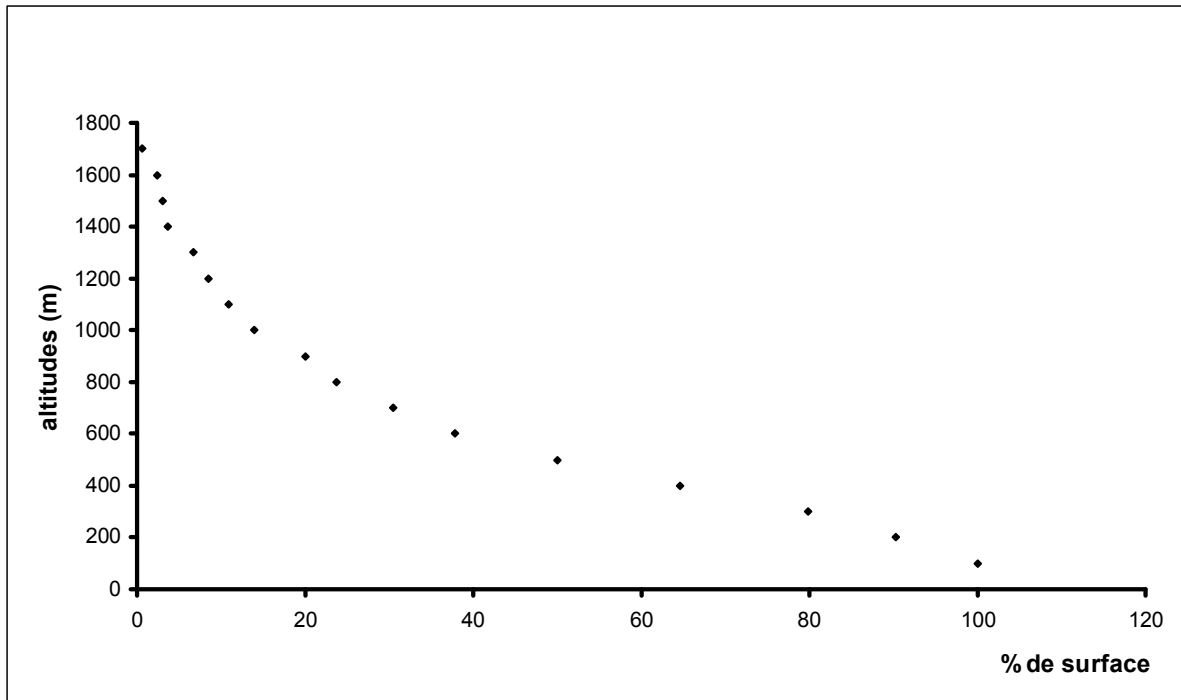


Figure n°10: Courbe hypsométrique du Sébaou d'après (B.Akpamoli)

L'altitude moyenne :

$$H = \frac{\sum ai \times hi}{\sum ai}$$

Le tracé de la courbe hypsométrique nous a permis d'estimer les altitudes caractéristiques reportées dans le tableau ci-après :

Altitude de fréquence (H5%)	Altitude de fréquence (H95%)	Altitude de fréquence (H50%)	Altitude maximale (m)	Altitude minimale (m)	Altitude moyenne (m)
1300	150	440	1650	50	497

Tableau n°03 : Altitudes caractéristiques

Le tableau n°05 montre, que les basses altitudes dans le Sébaou sont prédominantes, du fait que l'altitude de fréquence 1/2 et l'altitude moyenne présentent des valeurs rapprochées.

II.6.3- Les paramètres de forme

II.6.3.1- Indice de compacité de Gravelius (K_C)

La forme allongée ou ramassée d'un bassin versant est caractérisée par cet indice, il est exprimé par la formule suivante :

$$Kc = \frac{0.28 P}{\sqrt{A}} \text{ Avec :}$$

P : périmètre du bassin (Km)

A : surface (Km²)

Les valeurs de K_C pour l'ensemble du bassin versant de Sébaou ainsi pour ces sous

bassins, sont mentionnées dans le tableau suivant :

Bassin versant		Périmètre (Km)	Surface (Km ²)	Kc
Haut Sébaou	02-15	102.4	532	1.24
	02-16	112	432	1.50
	02-17	98.6	468	1.27
Moyen Sébaou	02-18	82	304	1.31
	02-19	94.2	544	1.13
Bas Sébaou	02-20	62.6	220	1.18
Le grand bassin		250.4	2500	1.40

Tableau n°04 : Paramètres de forme (Source ANRH)

Les valeurs de Kc, aussi bien pour le grand bassin, que pour ces sous bassins sont supérieur à l'unité, suggérant a priori une forme allongée pour l'ensemble, donc la concentration des eaux à l'exutoire se fait lentement, ce qui favorise l'infiltration sur le ruissellement.

II.6.3.2. Dimensions du rectangle équivalent

Le principe consiste à dimensionner un bassin fictif de forme rectangulaire, ayant les mêmes paramètres de forme que le bassin considéré, la détermination des dimensions du rectangle équivalent s'effectue par la formule empirique suivante :

$$L = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.22} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right]$$

$$l = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.22} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right]$$

L : longueur du rectangle équivalent (Km)

I : largeur du rectangle équivalent (Km)

Pour Kc = 1.40 et A = 2500 Km²

$$L = 100\text{Km} \quad \text{et} \quad l = 25\text{Km}$$

II.6.3.3- Indice de pente globale (Ig)

$$Ig = \frac{H5\% - H95\%}{L}$$

Avec :

H5% : altitude de fréquence $\frac{1}{4}$ = 1300

H95% : altitude de fréquence $\frac{3}{4}$ = 150

L : longueur du rectangle équivalent = 100 m

Pour ces données on a : Ig = 1.15%

II.7- Conclusion

Le bassin versant de l'oued Sébaou est de forme allongée, de direction E.W, il couvre une superficie de 2500 km², dont l'altitude moyenne est de 504m.

La nappe alluviale représente environ 36% de la surface totale du bassin, dont l'altitude est inférieure à 200 m.

Les différents paramètres morphologiques du bassin versant du Sébaou sont récapitulés dans le tableau suivant :

Paramètres morphologiques	Valeurs
Surface	2500 km ²
Périmètre	240km
Longueur	93Km
Largeur	27Km
Altitude maximale	2305m
Altitude moyenne	504m
Altitude de fréquence ½	510m
Altitude la plus fréquente	300m
Indice de compacité de Gravelius	1,40
Indice de pente globale (Ig)	1,15 %

Tableau 05 : Les paramètres morphologiques du bassin versant du Sébaou
(Source ANRH de Tizi-Ouzou).

CHAPITRE III :

ETUDE HYDROLOGIQUE

III.1- Introduction

Dans le présent chapitre, nous analyserons les paramètres climatologiques. Les objectifs majeurs de notre étude étant de rechercher et d'évaluer l'ensemble des éléments climatologiques et aussi la manière dont les différents composants du climat se comportent l'un par rapport à l'autre.

Pour mieux caractériser le régime climatique dans la région d'étude, nous avons choisi quatre stations climatiques, systématiquement sur la surface du bassin versant (figure N°06), couvrant une période de 30ans (1972-2002), les différentes caractéristiques relatives à ces stations sont regroupées dans le tableau n°01.

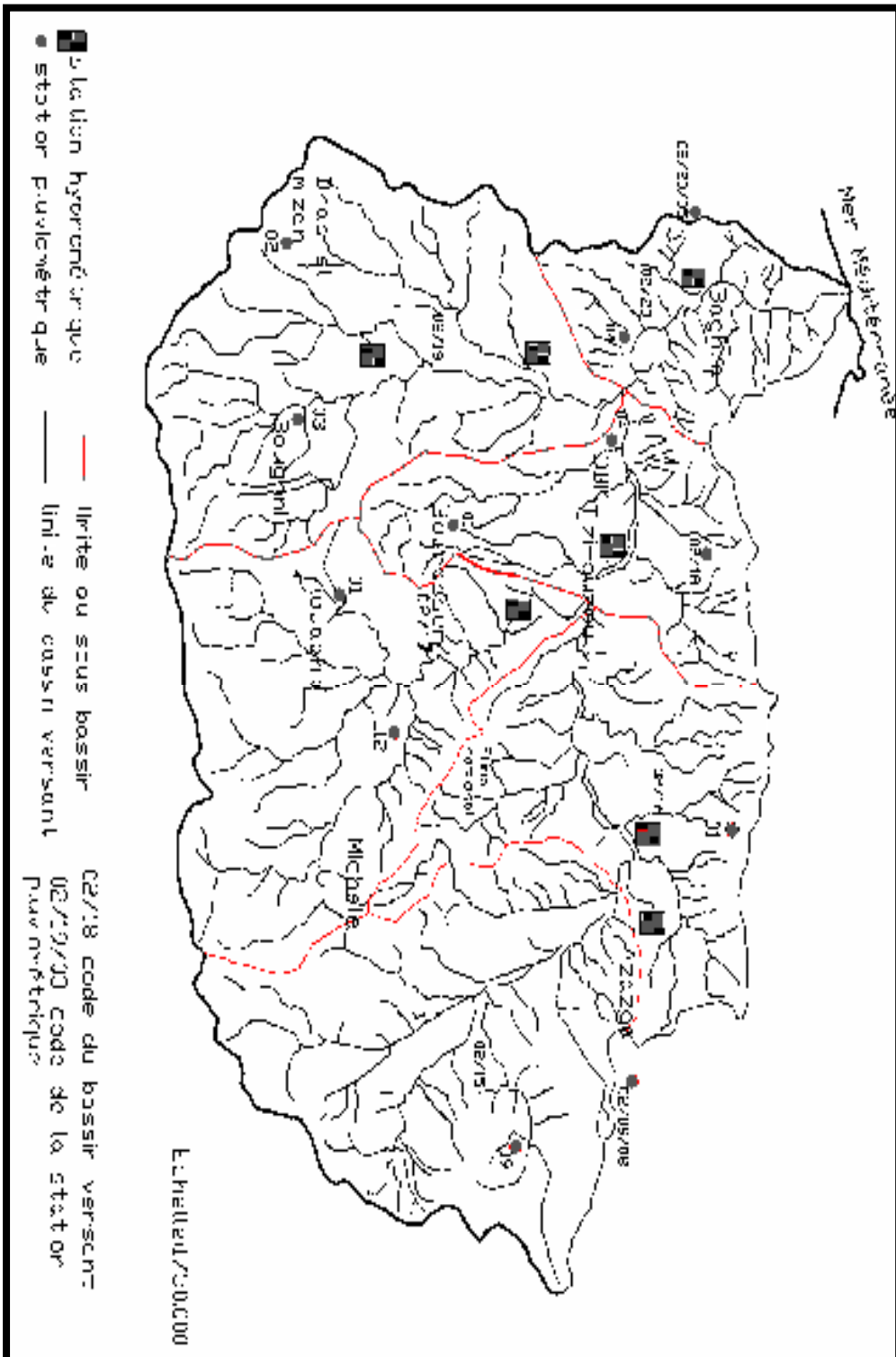
Bien que le nombre et la répartition de ces stations paraissent, à première vue, satisfaisantes pour mener une étude climatique sérieuse et bien définie. La réalité est autre car les informations que fournissent ces stations sont incomplètes pour la période d'observation considérée, exception faite pour les précipitations.

En raison des lacunes que comporte certains de ces stations climatiques, on s'est retrouvé contraint de nous référer aux données antérieures élaborées par P.SELTZER (1913-1983).

Station pluviométrie	Code (ANRH)	Coordonnées		Altitudes (m)	Période de fonctionnement
		X	Y		
Azazga école	02-15-04	449.4	384	430	1970-actuel
Ain El Hammam	02-17-03	644.15	364.5	1200	1971-actuel
Draâ El Mizan	02-19-02	601.5	360.15	460	1970-actuel
Baghlia ville	02-20-02	603.5	391.15	30	1968-actuel

Tableau n°06: Caractéristiques des stations pluviométriques utilisées. (ANRH Blida)

Figure N°11 : répartition des stations pluviométriques et hydrométriques dans le bassin versant du sébaou



III.2- Analyse des paramètres climatiques

III.2.1- Les précipitations

Les précipitations constituent la composante fondamentale de l'hydrologie et la connaissance de cet apport d'eau au sol est essentiel pour appréhender l'état des réserves en eau du sol, la recharge des nappes et le régime des cours d'eau.

Le bassin du Sébaou reçoit, en général, deux formes de précipitation bien distinctes :

- La première est la pluie, la forme la plus répandue dans tout le bassin ;
- La seconde est la neige, la forme la plus localisée dans le temps et dans l'espace, elle se produit principalement sur les reliefs montagneux du Djurdjura au sud, la chaîne littorale au nord.

L'utilité avantageuse de la neige apparaît surtout dans l'écoulement, elle le ralentit relativement et laisse le sol s'imbiber d'une façon continue et donc l'eau à largement le temps de s'infiltrer.

Malgré cet intérêt indéniable qu'apporte aux ressources en eau, la neige reste le facteur le moins étudié dans le bassin du Sébaou en l'absence de station d'observation appropriée en hautes montagnes (pluviomètre totaliseur).

III.2.1.1- Variation des précipitations

Le bassin versant de l'oued Sébaou possède un réseau pluviométrique très dense (26 stations), les données anciennes sont parfois manquantes, selon les stations.

a) variation annuelle :

La figure n°11, nous montre l'évolution des précipitations en dents de scie à la station de Tizi-Ouzou, durant la période allant de 1984/1985 à 2002/2003, nous constatons que depuis l'année hydrologique 1988/1999, les apports en quantité de pluie annuelle ne cessent pas de diminuer, elle s'échelonne de 1113.2mm en 1997/1998 jusqu'à 461.8 mm en 2001/2002.

Au cours de l'année 2002/2003, il y a eu une nette augmentation des précipitations qui ont atteint 1217.5 mm à la station de Tizi Ouzou.

La moyenne annuelle enregistrée à l'échelle du bassin versant de l'oued Sébaou, pour la période 2002/2003 est de 1321.5 mm, ceci dépasse largement la moyenne annuelle des années précédentes, ce qui est exceptionnel. Les données pluviométriques sont consignées dans le tableau en annexe.

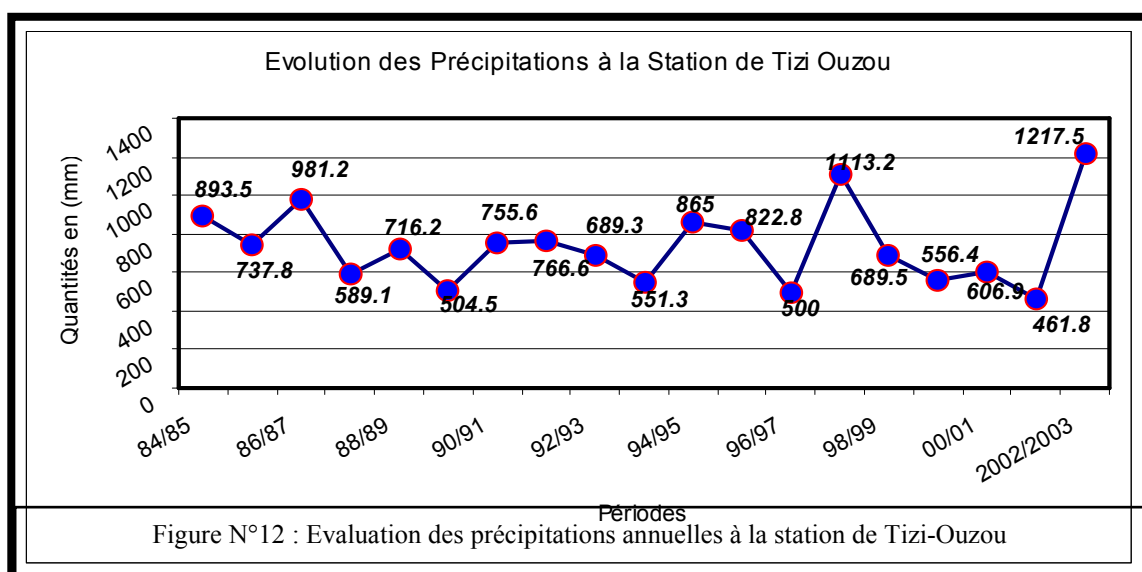


Figure N°12 : Evaluation des précipitations annuelles à la station de Tizi-Ouzou

Sur un autre plan, le diagramme de la figure n°12 établit à partir des données pluviométriques enregistrées au niveau des stations Azazga, Tizi-Ouzou, Baghlia, Beni Yenni et

Yakouren, N'Boubhir montre que les variations interannuelles des précipitations durant la période s'étalant depuis 1980/1981 à 2004/2005 sont assez concordantes.

Année	TIZI-OUZOU	BENI YENNI	BAGHLIA	AZAZGA	TN'BOUHIR	TIGHZERT
1980/1981		1037	763.5	930.8	930.7	1249.1
1981/1982		914.3	597.2	894.2	956.3	1042.5
1982/1983		777.1	688.9	865.5	1040.9	1077.1
1983/1984		885.6	550.3	926.1	909.3	1209.6
1984/1985	893.5	1008.6	799.1	1237.1	1155.8	1360.5
1985/1986	727.8	868.5	751.1	930.7	897.8	1144.6
1986/1987	981.2	1030	769.1	1106	1201.6	1342.4
1987/1988	589.7	691.6	606.3	689	790.1	829.4
1988/1989	715.2	765.2	658.6	819.2	926.2	890.3
1989/1990	504.5	521.5	523.6	542.9	665.9	719.8
1990/1991	755.6	841.8	725.1	826.9	913.2	1163.2
1991/1992	759.7	725.6	766.1	805	908.5	1014.6
1992/1993	689.3	710.8	679.6	867.7	925.1	1033.2
1993/1994	549.7	614.9	516.6	679	785.3	805.4
1994/1995	857.5	886.9	733.7	973.8	1135.2	1173.6
1995/1996	823.1	883.4	767.1	1093.6	1133.7	1174.3
1996/1997	500	505.5	499.6	591.8	707.7	696
1997/1998	1111.4	1177.2	1031.2	1317.9	1237.2	1663
1998/1999	661.3	765	737.7	855.3	774.8	988.7
1999/2000	555.6	614.3	568.6	780.6	520	831.6
2000/2001	602.9	758	620.7	826.6	808.9	961.1
2001/2002	520.7	479.6	446.9	521	628.9	634.6
2002/2003	1217.5	1417.2	1108.4	1537.4	1359.9	1700.1
2003/2004	865.6	818.8	846.1	1039.6		1209.5
2004/2005	758.1	879.5	713.6	987.2	883.8	1066.9

Tableau n°07: précipitations moyennes annuelles

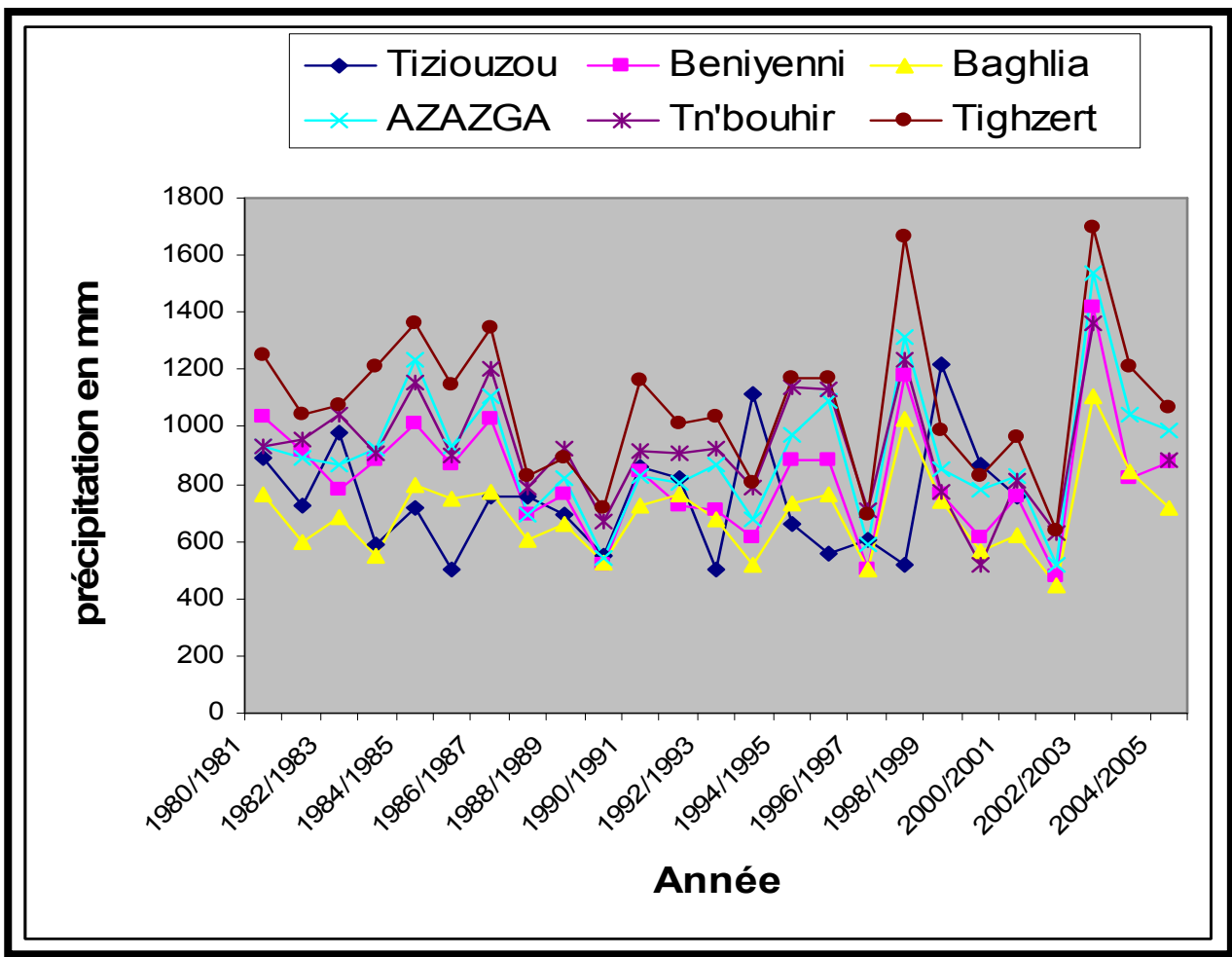


Figure N°13 : Evaluation des précipitations annuelles à différentes stations

b) *Variation mensuelle* : Le bassin versant de la grande Kabylie, jouie d'un climat méditerranéen, dont on distingue deux périodes à savoir, une période sèche allant du mois de mai au mois de septembre et une période humide allant du mois d'octobre au mois d'avril. L'évolution des précipitations à la station de Tizi-Ouzou montre bien ces deux périodes durant l'année 2002/2003. (Figure n°13)

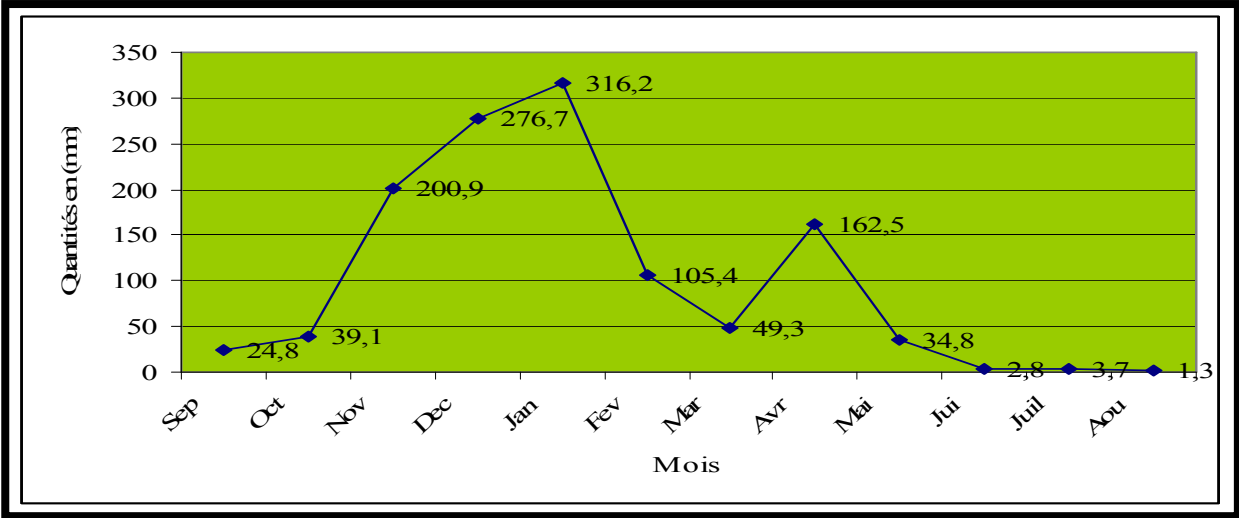


Figure n°14 : Précipitation moyen annuelle.

Les hauteurs moyennes des précipitations mensuelles enregistrées au niveau du bassin versant du Sébaou durant la période (1980-2005), pour les stations d'observation de Ain El Hammam, Azazga, Draa El Mizane, Baghlia village sont reportées dans le tableau n°08.

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	O	Année
Ain El Hammam	41.84	82.70	127.16	162.32	118.92	148.61	158.82	117.84	72.19	21.79	5.02	14.99	1072.2
Azazga	44.04	77.11	101.16	164.09	132.58	118.78	105.29	82.63	54.43	11.82	5.36	6.60	902.27
Draa El Mizan	36.11	55.12	39.40	103.57	88.44	90.35	55.37	51.93	6.30	9.43	3.64	9.57	550
Baghlia	35.85	65	99.68	118.15	96.79	99.92	75.70	68.05	43.32	9.03	3.42	8.24	724.75

Tableau n°8 : Précipitation moyennes mensuelles annuelles (1980-2005)

Les résultats des quatre stations, marquées dans le tableau ci-dessus, confirment les résultats de la station de Tizi-Ouzou donc les précipitations sont réparties sur deux saisons :

- Une saison pluvieuse humide s'étalant du mois d'octobre à avril avec un maximum enregistré au mois de décembre.
- Une saison sèche s'étalant du mois de mai au mois de septembre. (Figure N°09)

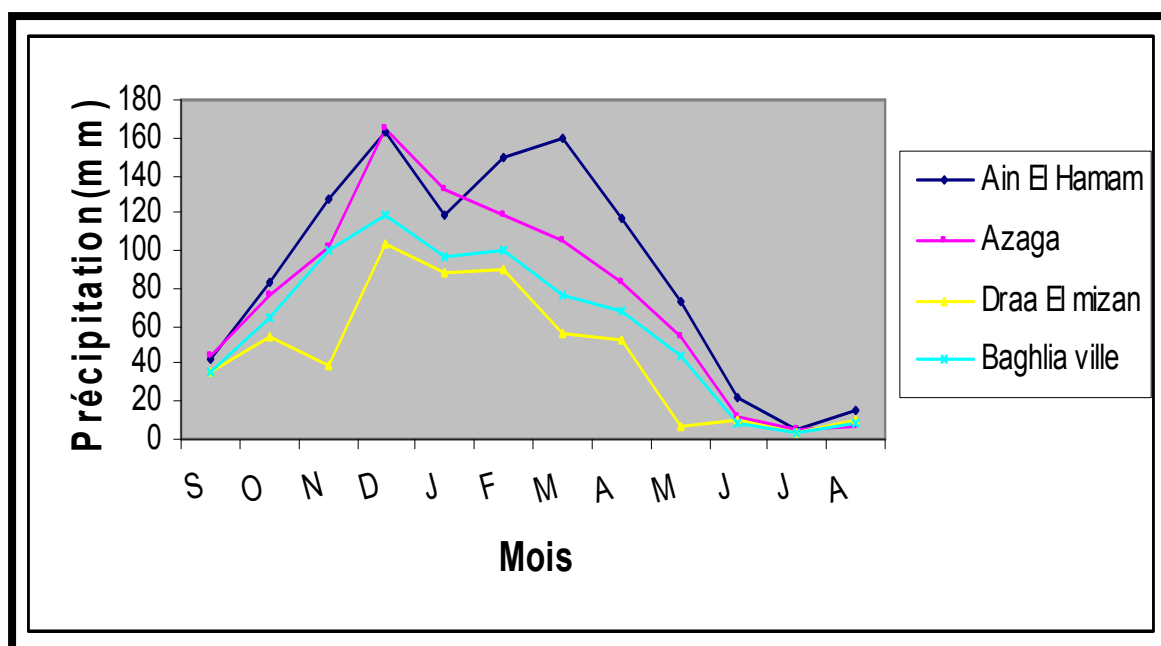


Figure N° 15: précipitations moyennes mensuelles des stations pluviométriques (1980/2005)

Le graphe de la figure n°09, montre que l'évolution saisonnière des précipitations est similaire dans toutes les stations. Toutefois, nous constatons que la région la plus arrosée est celle de Ain El Hammam avec une moyenne annuelle de 1062.2mm, cela peut s'expliquer par sa position très élevée par rapport aux autres stations d'une part et l'influence maritime d'autre part.

En revanche, la station de Draa El Mizane, qui est relativement loin de la mer, reçoit le minimum de pluie soit une lame d'eau précipitée de 550mm par an.

III.2.2- Température

Les températures conditionnent le déficit d'écoulement ainsi que son estimation et encore jouent un rôle dans le processus de condensation et d'évaporation de l'eau.

C'est pourquoi, ces études sont nécessaires dans le cadre de l'établissement du bilan hydrologique et la détermination du caractère climatique d'une région.

Pour une meilleure approche de ce paramètre, nous avons considéré les anciennes données de la série de P. Selzer (1913-1938) et les plus récentes de la station de Tizi-Ouzou (1968-2002) dans le but d'établir une comparaison.

III.2.2.1- Les données anciennes (1913-1938)

Les données de cette période sont relevées au niveau des stations de Tizi-ouzou, Ain El Hammam, Larbaa, Nath Irathen et Aghribs.

	Larabaa Neth Irathen	Aghrib	Ain El Hammam	Tizi-Ozou
Septembre	21.40	21.60	21.40	25.00
Octobre	15.90	17.10	16.20	19.50
Novembre	11.00	12.05	10.80	14.30
Décembre	7.00	8.40	7.00	10.50
Janvier	6.40	7.60	6.20	9.00
Février	7.40	8.40	7.00	11.20
Mars	9.40	10.20	9.00	13.00
Avril	12.50	12.70	11.60	15.20
Mai	16.70	16.30	15.30	18.90
Juin	20.40	20.00	19.80	23.00
Juillet	24.90	23.70	25.00	27.20
Août	26.60	24.60	25.60	27.70
Année	14.97	15.22	14.58	17.89

Tableau n°9 : Température moyennes mensuelles (P.Seltzer 1913/1938).

La comparaison des températures moyennes annuel mensuel tableau n°09 des différentes stations montre une concordance :

- Une décroissance rapide de Septembre à Janvier ;
- Une croissance modérée et régulière de Janvier à Août ;
- Les mois les plus froids sont par ordres : Janvier, Décembre et Février ;
- Les mois les plus chauds sont par ordre : Août, Juillet et Septembre ;
- L'écart de la température moyenne entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud est selon la station :
 - Tizi-Ouzou 18.7°C.
 - Aghrib 17°C.
 - Ain El Hammam 18.6°C.
 - Larbaâ Nath Irathen 19.6°C.

III.2.2.2- Les données récentes (1968-2002)

Les seules données mises à notre disposition au niveau de l'ONM, sont celles mesurée à la station de Tizi-Ouzou pour la période 1968-2002.

La présentation de ces mesures est mentionnée dans le tableau ci-dessus :

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Année
T° (C°)	24.23	19.13	14.67	10.95	10.05	10.63	12.21	13.90	17.63	22.46	25.51	26.16	17.30

Tableau n°10 : Températures moyennes mensuelles annuelles de la station de Tizi-Ouzou (1968-2002)

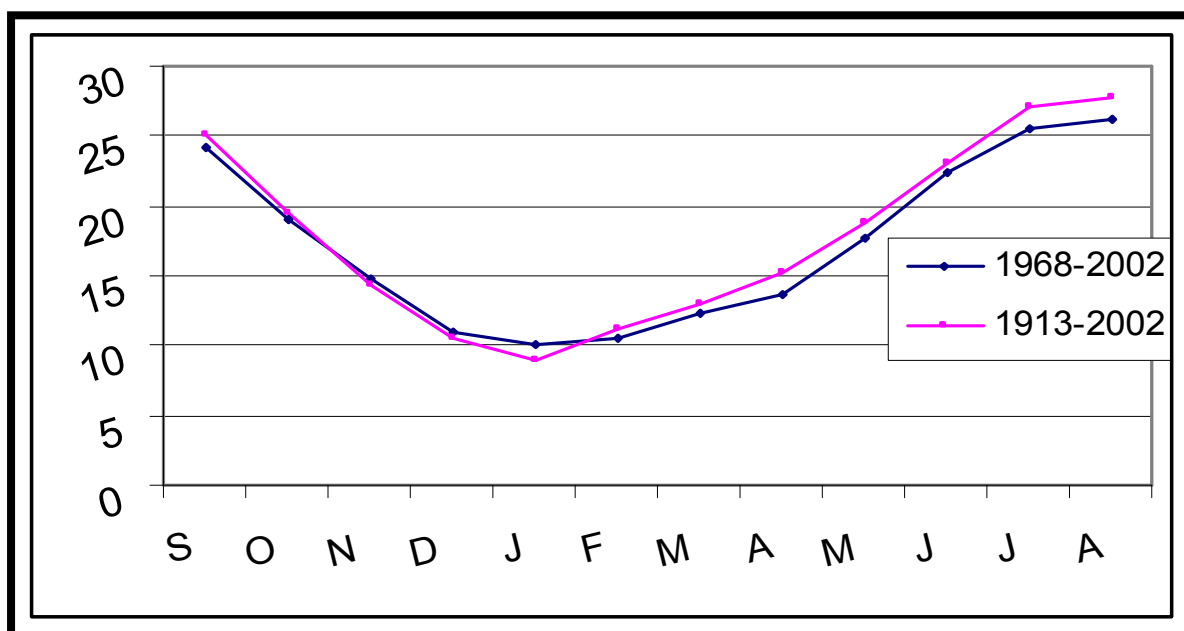


Figure N°16: Comparaison des séries anciennes (1913-1938) et récentes (1968-2002) des températures à la station de Tizi -Ouzou

La figure n°16 montre qu'au niveau de la station de Tizi-Ouzou, Il n y a pas une différence caractéristique entre la série ancienne (1913-1938) et la série récente (1968-2002).

La moyenne arithmétique des températures moyennes annuelles relatives aux deux périodes (anciennes et récentes) donne une température moyenne de 17°C.

III.2.3- Régime climatique

De Martonne (1923), partant de la notion empirique d'aridité, a conçu un indice caractérisé par la formule suivante :

$$A = \frac{P_i}{\theta + 10} \quad \text{Avec :}$$

P_i : précipitation moyenne en mm ; θ : Température moyenne en(C°);

A : indice de Marthone ;

Les valeurs de l'indice de Marthone permettent de correspondre à chaque région un étage bioclimatique. On distingue, ainsi, les cas suivants :

- $A < 5$, correspond à une période aride ;
- $5 < A < 20$, correspond à une période semi aride ;

- $20 < A < 30$, correspond à une période tempérée ;

Les résultats mentionnés dans le tableau N°III-6 montre, à l'échelle mensuelle, l'existence de deux périodes :

- Une période tempérée (décembre, janvier, février et mars) ;
- Une période aride (juin, juillet, et août) ;

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
T(C°)	25.00	19.50	14.30	10.50	9.70	11.15	13.00	15.20	18.20	23.00	27.15	27.7	17.87
P(mm)	32.10	57.90	87.70	120.30	97.50	96.80	91.20	69.70	37.60	10.60	4.80	7.90	714.10
A	11.01	23.55	43.31	70.42	59.39	54.92	47.58	33.19	16.00	3.85	1.5	2.51	25.63

Tableau n°11 : Valeur de l'indice de Marthone (station de Tizi-Ouzou).

III.2.3.1- L'humidité relative de l'air

L'humidité relative de l'air est le rapport, exprimé en %, de la tension de vapeur d'eau à la tension de vapeur d'eau saturante, c'est un élément atmosphérique très important puisqu'il donne le taux de condensation de l'atmosphère. Les seuls enregistrements disponibles pour ce paramètre sont ceux effectués à la station de Tizi-Ouzou pour une période de six ans (1989-1994) et dont les valeurs sont consignés dans le tableau ci-après :

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Humidité(%)	58	71	76	78	74	76	71	70	60	58	51	50

Tableau n°12: Moyenne mensuelle de l'humidité (1989-1994).

Le tableau ci-dessus indique une humidité relative moyenne de l'air de 66% pour la période 1989-1994. Sur un autre plan, ces résultats montrent que l'humidité de l'air est relativement faible à partir du mois de mai jusqu'au moi de septembre avec un minimum de 50% au moi d'août et sensiblement élevée du mois d'octobre jusqu'au mois d'avril, caractérisant la saison humide avec un maximum de 78% au mois de décembre.

III.2.3.2- Le vent

Le vent est l'un des éléments caractéristiques du climat régissant l'évaporation à la surface du sol et de la végétation. Les résultats des moyennes mensuelles de la vitesse du vent enregistré au niveau de la station de Tizi-Ouzou sont présentés dans le tableau n°15

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Vitesse (km/h)	1.92	1.63	1.45	1.75	1.57	1.63	1.57	1.85	2.13	2.63	2.21	2.07

Tableau n°13 : Moyenne mensuelles des vitesses des vents.

D'après les données de l'ONM on constate que les vents dans la zone d'étude sont généralement d'orientation Ouest à Sud-Ouest.

Force des vents :

Elle est estimée d'après une échelle télégraphique dont les degrés sont les suivants :

- 0 : vent calme ;
- 1-2 : vent faible ;
- 3-4 : vent modéré ;
- 5-6 : vent assez fort ;
- 7-8 : vent fort ;
- 9 : vent violent ;

D'après les données disponibles, on constate que la région d'étude est caractérisée par des vents faibles.

III.2.3.3-Sirocco

La fréquence du sirocco est une des données caractéristiques du climat.

Les valeurs du tableau n°III-9 permettent de constater que la durée du sirocco est très variables, essentiellement un phénomène d'été avec cependant des fréquences relativement importantes au début de l'Automne (Septembre et Octobre).

Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Année
5.20	3.60	1.60	0.20	0.00	0.30	1.30	1.50	2.40	4.00	8.50	8.80	37.30

Tableau n°14 : Nombre moyen de jours de sirocco à la station de Tizi-Ouzou (P.seltzer ;1913/1938)

III.2.4- Etude de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration est l'une des plus importantes composantes du bilan hydrologique.

L'évapotranspiration est la restitution de l'eau sous forme de vapeur de la surface terrestre quelque soit sa nature à l'atmosphère à partir de l'eau de surface (lacs, mers,...) souterraines (nappes aquifères) et de transpiration des plantes. Ce paramètre climatique conditionne l'abondance ou la disette en eau pour la végétation.

L'évapotranspiration est un paramètre difficile à mesurer, il dépend de plusieurs paramètres facteurs variant dans le temps et dans l'espace. Les principaux paramètres qui conditionnent l'évapotranspiration sont : la température, les précipitations, l'état du sol et la végétation.

L'évapotranspiration est la combinaison de deux phénomènes :

- L'évapotranspiration potentielle (ETP) qui représente la quantité d'eau maximale qui pourrait évaporée au niveau d'un sol saturé c-à-d l'évapotranspiration potentielle est employée lorsque la surface évaporante est convenablement alimentée en eau.
- L'évapotranspiration réelle (ETR) qui désigne la quantité d'eau effectivement évaporée et transpiré c-à-d l'ETR désigne l'évaporation sans tenir compte de l'abondance de l'eau de l'abondance de l'eau à la surface évaporante.

III.2.4.1- Calcul de l'évapotranspiration réelle

Des nombreux auteurs ont établi des formules empiriques donnant une approximation de l'ETP à partir de paramètres climatiques facilement accessibles.

La formule THORNTHWAITE c'est une des plus anciennes formules mises au point, elle reste très employée, car sa résolution nécessite que la connaissance de la température moyenne journalière de l'air. L'évapotranspiration potentielle se calcule à partir de la relation suivante :

$$ETP = 1.6 \left(10 \frac{T}{I} \right)^a$$

$$I = \sum_1^{12} i \quad i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

$$a = (0.016 * I) + 0.5 \quad \text{avec : } T=17.30^\circ\text{c.}$$

ETP : évapotranspiration potentielle (mm).

T : Température moyenne annuel ;

I : indice thermique annuel ;

i : indice thermique mensuel ;

Les valeurs mensuelles de l'ETP ainsi calculées sont multipliées par un facteur de correction K qui tient compte à la fois du nombre de jours par mois et de la durée du jour en fonction de latitude.

Les résultats obtenus par cette méthode sont reportés sur le tableau n°17 :

AEH	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T° c	21.40	16.20	10.80	7.00	6.20	7.00	9.00	11.60	15.30	19.80	25.00	25.60
i	9.04	5.90	3.19	1.65	1.37	1.68	2.43	3.58	5.44	8.00	11.47	11.48
ETP(mm)	103.15	62.91	29.76	14.83	12.71	15.34	27.09	42.81	72.19	107.94	158.35	148.22
K	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16
ETPc	106.24	61.02	25.59	12.45	11.05	13.09	27.90	47.09	87.34	131.67	196.35	164.97

Agribs	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T° c	21.60	17.10	12.05	8.40	7.60	8.40	10.20	12.70	16.30	20.00	23.70	24.60
i	9.16	6.43	3.79	2.17	1.88	2.19	2.94	4.08	5.98	2.88	10.55	11.16
ETP(mm)	105.56	69.83	36.47	20.46	18.38	20.89	33.95	50.21	81.02	39.33	146.21	144.71
K	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16
ETPc	108.73	67.73	31.36	17.19	15.99	17.76	34.97	55.23	98.03	47.98	181.3	167.86

LNR	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T° c	21.40	15.90	11.00	7.00	6.40	7.40	9.40	12.50	16.70	20.40	24.90	26.60
i	9.00	5.76	3.28	1.65	1.45	1.79	2.58	3.79	6.18	8.37	11.37	11.82
ETP(mm)	101.88	60.36	29.77	14.22	12.94	15.72	27.81	4.26	80.95	111.91	156.22	152.18
K	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16
ETPc	104.94	58.55	25.57	11.94	11.26	13.36	28.64	4.69	97.95	136.53	193.71	176.53
Tizi-Ouzou	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A

T° c	24.23	19.10	14.67	10.85	10.05	10.63	12.21	13.90	17.63	22.46	25.51	26.16
i	10.90	7.62	5.10	3.23	2.87	3.13	3.86	4.70	6.73	9.72	11.79	12.24
ETP(mm)	113.9	73.6	45.69	26.55	23.13	25.58	32.83	41.46	63.61	98.36	123.70	129.43
K	1.03	0.97	0.85	0.84	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16
ETPc	117.32	71.39	38.84	22.30	20.12	17.49	33.81	45.61	76.97	120	153.39	150.14

Tableau n°15: valeur de l'ETP d'après la méthode de THORNTHWAITE

III.2.4.2- Calcul de l'évapotranspiration réelle

L'estimation de l'ETR est facilement accessible grâce à des formules empiriques qui utilise les données faciles à quantifier comme la température et les précipitations.

a) Méthode de Turc :

Selon Turc, l'ETR est fonction de quantité de la précipitation moyenne annuelle du bassin versant et d'un paramètre, L lui-même fonction de la température moyenne annuelle (t) du bassin versant .

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 \quad \text{avec :}$$

ETR : Evaporation réelle moyenne annuelle (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

T : Température moyenne annuelle (C°).

L : Pouvoir évaporant

Soit $L=991.38$ et $P=865\text{mm}$ avec $T=17.30^\circ\text{c}$ On aura : $ETR = 671.10\text{mm}$.

b) Méthode de coutagne :

D'après cet auteur, l'ETR est déduite en fonction des précipitations moyennes annuelles P(m) et de la température moyenne annuelle T(C°).

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

Avec : $\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T}$ cette formule exige une condition d'application : $\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$

D : déficit d'écoulement (m/an)

P : Hauteur moyenne des précipitations en m.

T : température moyenne annuelle en (C°).

Dans notre cas la condition est satisfaisante puisque $P=0.86\text{m}$ et $1/\lambda=0.4$ et $1/2\lambda = 1.61$ c- ad $(0.4 < 0.8 < 1.61)$. On déduit : $ETR=630\text{mm}$

c) Méthode de Wundt :

C'est une méthode graphique, elle est basée sur l'utilisation de l'abaque de la figure n°17 c'est une méthode qui est en fonction de la température et de la précipitation.

Dans notre cas pour une précipitation de 865mm portée sur l'axe des ordonnées et une température de $T=17.3^{\circ}\text{C}$ portée en abscisse, le déficit d'écoulement lu sur le diagramme, est de 670mm.

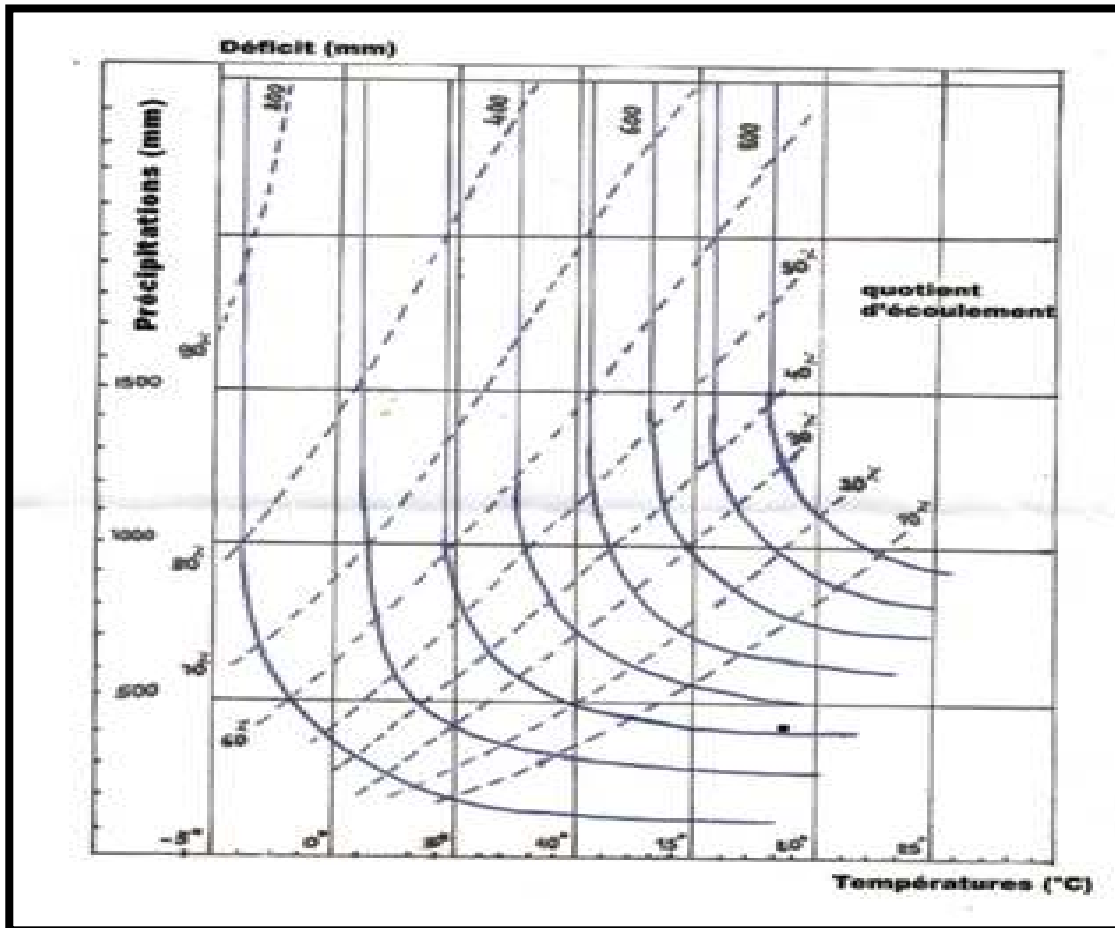


Figure n°17 : Abaque de Wundt modifié par Coutagne

- Comparaison des résultats de l'évapotranspiration réelle ETR :

Les résultats obtenus de l'évapotranspiration réelle (ETR) par les trois méthodes sont donnés dans le ci-dessous.

Méthode	TURC	COUTAGNE	WUNDT	MOYENNE
ETR(mm)	671.10mm	630mm.	670mm.	657.03

Tableau n°16 : Résultats de l'ETR obtenu par les trois méthodes.

Nous constatons que les valeurs de l'ETR obtenues par les trois méthodes citées ci-dessus, sont assez proches, nous retenons pour le calcul du bilan hydrologique, la méthode de Turc qui s'applique à tout les climats, les deux autres méthodes s'appliquent généralement pour les climats humides.

III.3- Hydrologie de surface

Un bassin hydrographique se définit comme la surface topographique drainée par un cours d'eau et ces affluents de telle façon que tout écoulement prenant naissance à l'intérieur de cette surface suive son trajet jusqu'à l'exutoire. En l'occurrence, c'est la mer méditerranéenne qui constitue l'exutoire du sébaou.

L'hydrologie de surface, s'intéresse, justement à la fraction de lame d'eau précipitée sur le bassin versant et drainée par le réseau hydrographique.

III.3.1- Station et données hydrométriques

Le bassin versant du sébaou compte six stations hydrométriques dont les caractéristiques sont consignées dans le tableau n°19.

Les données mensuelles et journalières aux stations hydrométriques du Sébaou ont été collectées à l'ANRH de Blida.

Oued	Nom de la station	Code	Superficie (Km ²)	Date de mise en service	Cordonnées lambert		
					X	Y	Z(m)
Boubhir	Boubroune	02.15.13	482	17/10/1987	645.600	382.600	140
Dis	Fréha	02.16.15	96	01/04/1973	642.950	384.250	130
Aissi	RN 30	02.15.17	445	15/10/1979	627.100	374.600	110
Sébaou	Belloua	02.18.03	1465	20/03/1973	623.300	381.200	90
Bougdoura	RN 25	02.19.09	296	25/04/1973	610.200	375.750	80
Sébaou	Baghlia	02.20.01		Depuis 1949	603.750	390.100	25

Tableau n°17: caractéristiques des différentes stations hydrométriques.

III.3.2- Estimation des sources en eau de surface

Les ressources en eau de surface annuelles disponibles dans le Sébaou, sont estimées à la station hydrométrique de Baghlia durant la période (1986-1999) à 466.73 Hm³ soit un débit moyen annuel de 14.8m³/s. Cette valeur correspond à une lame d'eau écoulée de 187mm répartie sur l'ensemble du bassin, soit environ 23% des précipitations.

La répartition des débits moyens mensuels enregistrés à la station de jaugeage de Baghlia située à l'exutoire du bassin versant pour une période de 13 ans, est représentée dans l'hydrogramme de crue figure n°13, ce dernier est établi à partir des données du tableau n°20 et montre que le débit de l'oued Sébaou est fort au mois de décembre jusqu'en mai et faible durant les mois de juin jusqu'en novembre au point où se tarit complètement au mois d'août.

III.3.3- Régime des apports

III.3.3.1- Régime mensuel des apports

Les histogrammes des débits moyens mensuels (figure n°18 et 19) tracés à partir des données consignées dans le tableau n°20 montre une croissance des valeurs de septembre à février suivie d'une décroissance.

Le maximum des débits mensuels pour deux stations de Belloua et de Baghlia ; exutoires respectifs du haut et du bas Sébaou ; est enregistré aux mois de novembre à avril. Par contre le minimum d'apport est enregistré aux mois de juillet à octobre.

	S	O	N	D	J	F	M	A	m	J	J	A
Baghlia	0.22	0.40	6.45	28.35	38.20	39.92	24.89	19.95	15.17	3.88	0.19	0
Belloua	0.23	0.58	2.53	16.03	22.23	26.62	16.47	15.08	9.59	1.78	0.28	0.15

Tableau n° 18 : débits moyens mensuels des stations de Baghlia et de Belloua

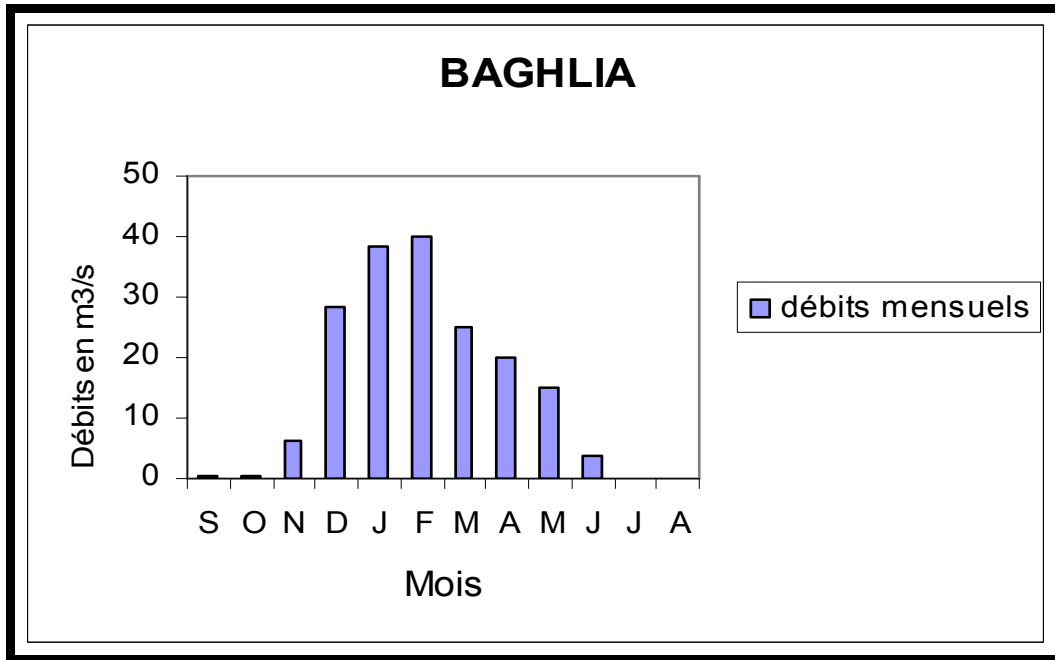


Figure N°18 : Variation mensuelle des apports de l'oued à la station de Baghlia (1986/1999)

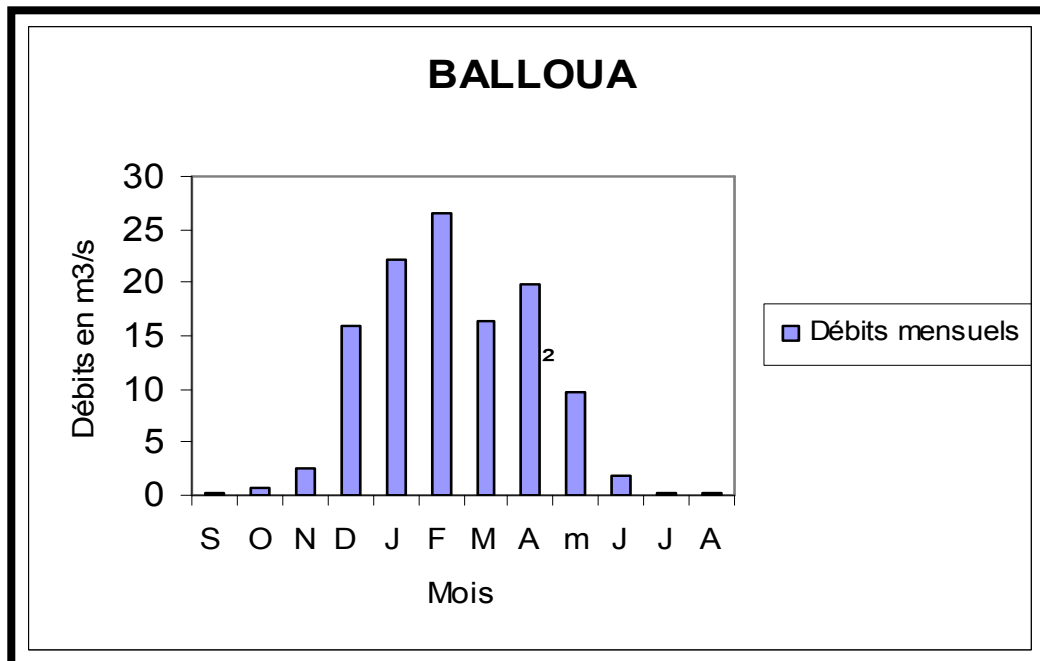


Figure N°19 : Variation mensuelle des apports de l'oued à la station de Belloua (1986/1999)

En outre, on constate que les sommets des histogrammes des débits moyens mensuels sont observés au mois de février, cela peut-être expliqué par l'apport supplémentaire provenant de la fonte des neiges.

Sur un autre plan, on note une grande différence entre le maximum enregistré au mois de Février à la station de Baghlia (39.92 m³/s) et celui enregistré à la station de Belloua avec 26.62 m³/s seulement.

III.3.3.2 Relation entre les précipitations et les débits évacués:

Le diagramme de la figure n°20 construit à partir des données de débit et de pluviométrie enregistrées à la station de Baghlia durant la période 1986/1999 (tableau n°21) montre une concordance entre les variations interannuelles de ces deux paramètres traduisant ainsi une alimentations de l'oued par les pluies.

donnée	86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99
P(mm)	769.1	606.3	658.6	523.6	725.1	766.1	679.6	516.6	733.7	767.1	499.6	1031.2	737.7
Q(m ³ /s)	34.21	4.09	8.40	2.43	26.75	13.76	11.68	4.87	17.45	17.15	2.31	27.5	21.90

Tableau n°19 : Corrélation précipitation/Débits évacués à la station Baghlia

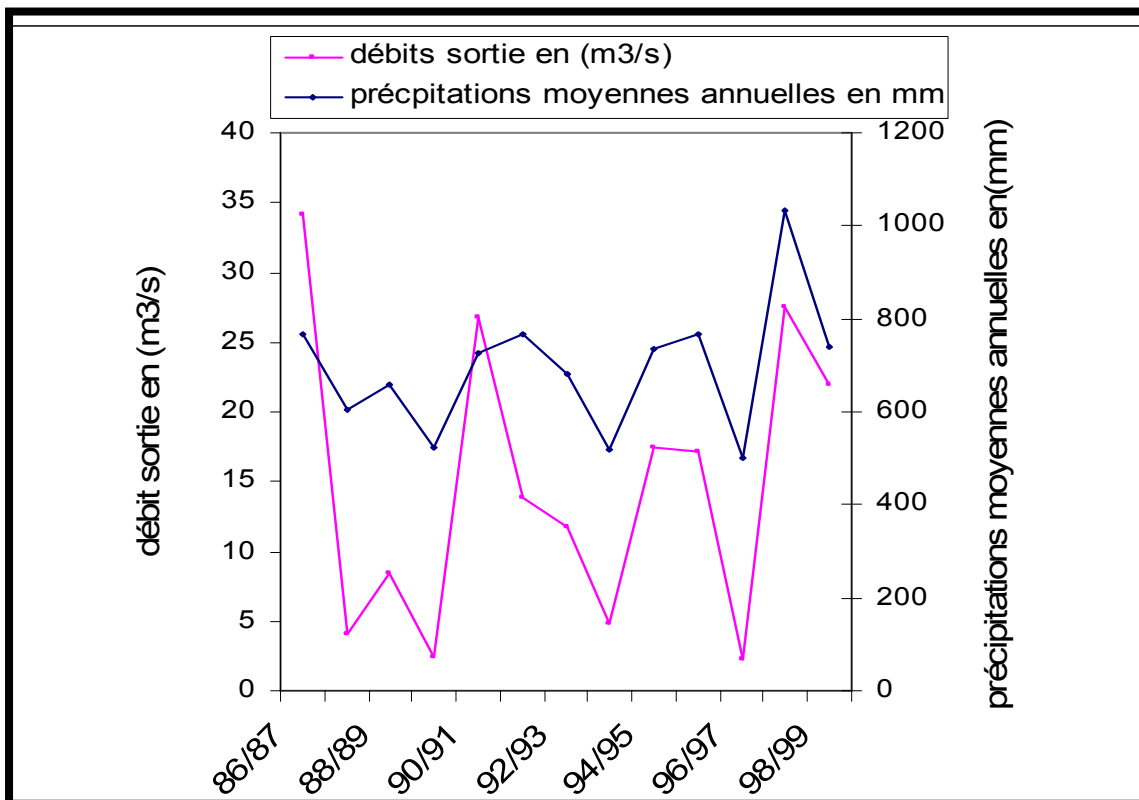


Figure n°20: Corrélation précipitations- Débits évacués à la station de Baghlia

III.3.4- Détermination de la lame d'eau ruisselée(R)

III.3.4.1- Méthode de Tixeront-Berkaloff

C'est une méthode empirique applicable en zones arides, et la précision est d'autant meilleure dans le cas d'un bassin versant énorme avec des faibles précipitations ($p < 300\text{mm/an}$).sa formation est la suivante :

$$R = \frac{p^3}{3(ETP)^2} \text{ Où}$$

R : ruissellement superficiel moyen annuel (en mm). P : précipitations moy. Annu. (en mm).

ETP : Evapotranspiration potentielle moyenne annuelle (en mm).

Dans le cas du bassin versant du Sébaou, cette méthode donne le résultat suivant :

$$P = 865 \text{ mm} \quad ETP = 872 \text{ mm} \quad \text{d'où} \quad R = 283.7\text{mm}$$

La lame d'eau ruisselée déterminée par la méthode de Texeront-Berkaloff est égale à 28.7% des précipitations.

III.3.4.2- Méthode de l'hydrogramme

Le tracé de l'hydrogramme s'effectue en reportant les débits (m^3/s) en ordonnées et les temps (jour) en abscisses. Les données utilisées pour le tracé de cet hydrogramme figurent dans le tableau n°22.

Pour séparer les trois composantes du ruissellement, on procède de la façon suivante :

Nous transformons le temps (mois) en jour, puis nous reportons sur un papier semi-logarithmique les débits (m^3/s) en fonction du temps de la période d'avril à août (partie décroissante de l'hydrogramme).

Les débits étant en ordonnées à l'échelle logarithmique et le temps en abscisses à l'échelle arithmétique, nous observons deux points de brisure que nous appellerons S_1 et S_2 (figures n°21 et 23) : S_1 marque la fin du ruissellement superficiel et S_2 marque la fin du ruissellement hypodermique et le début de l'écoulement de base.

Aux points S_1 et S_2 correspondent deux temps t_1 et t_2 en abscisses. On reporte ces deux temps sur l'hydrogramme, puis les joint par les droites 1 et 2 au point de départ de l'hydrogramme (figure n°22 et 24)

En suite, on procède au planimitrage du domaine de ruissellement et nous trouvons le ruissellement (R).

Les résultats obtenus par cette méthode sont :

- Le ruissellement est estimé à 182mm soit 21% des précipitations globales.
- L'infiltration (assimilé à l'écoulement de base) est estimée à 5mm soit 0.58% des précipitations moyennes à l'échelle du bassin de Sébaou.

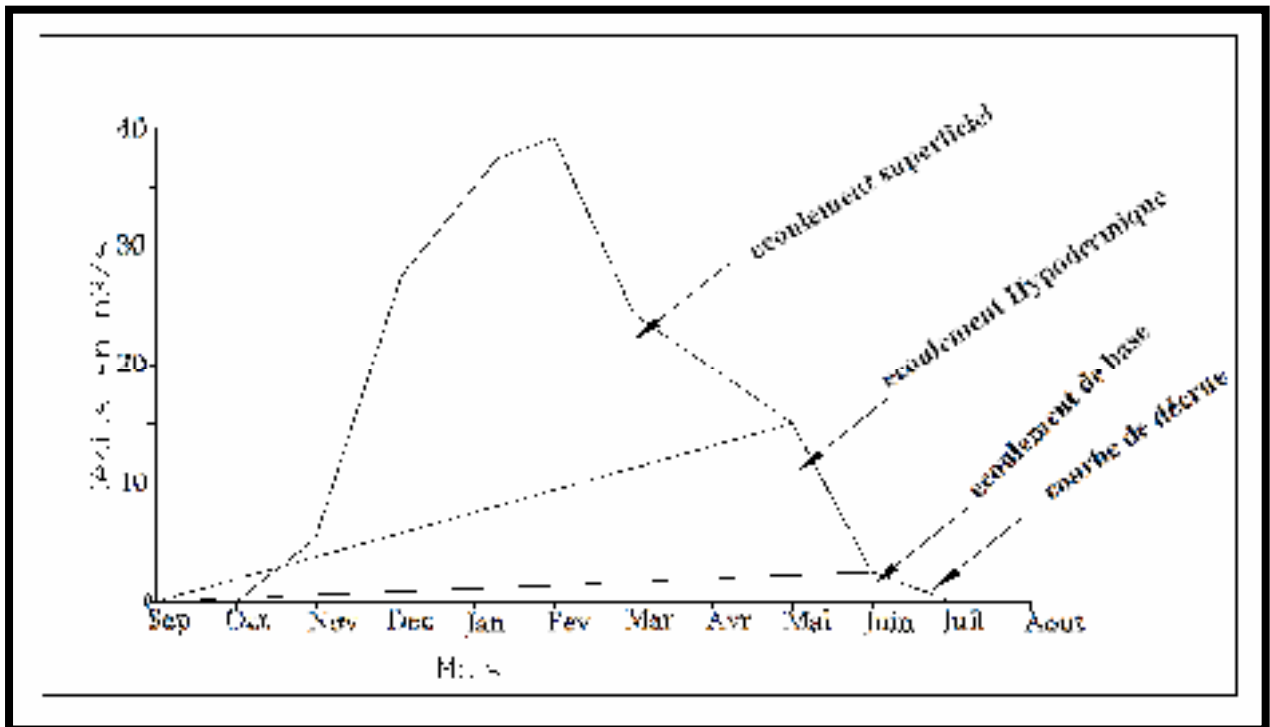


Figure N°21: Hydrogramme de crue de la station de Baghlia

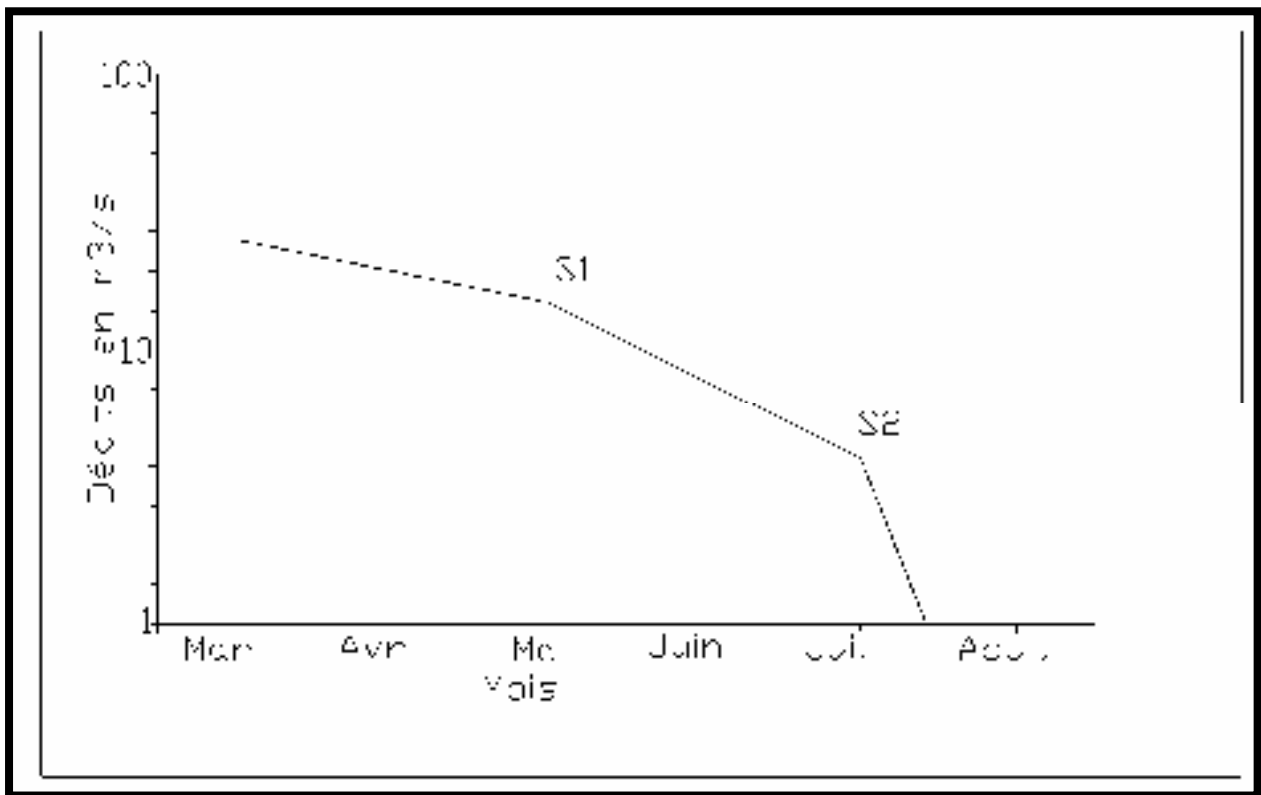


Figure N°22 : Courbe de séparation des écoulements à la station de Baghlia

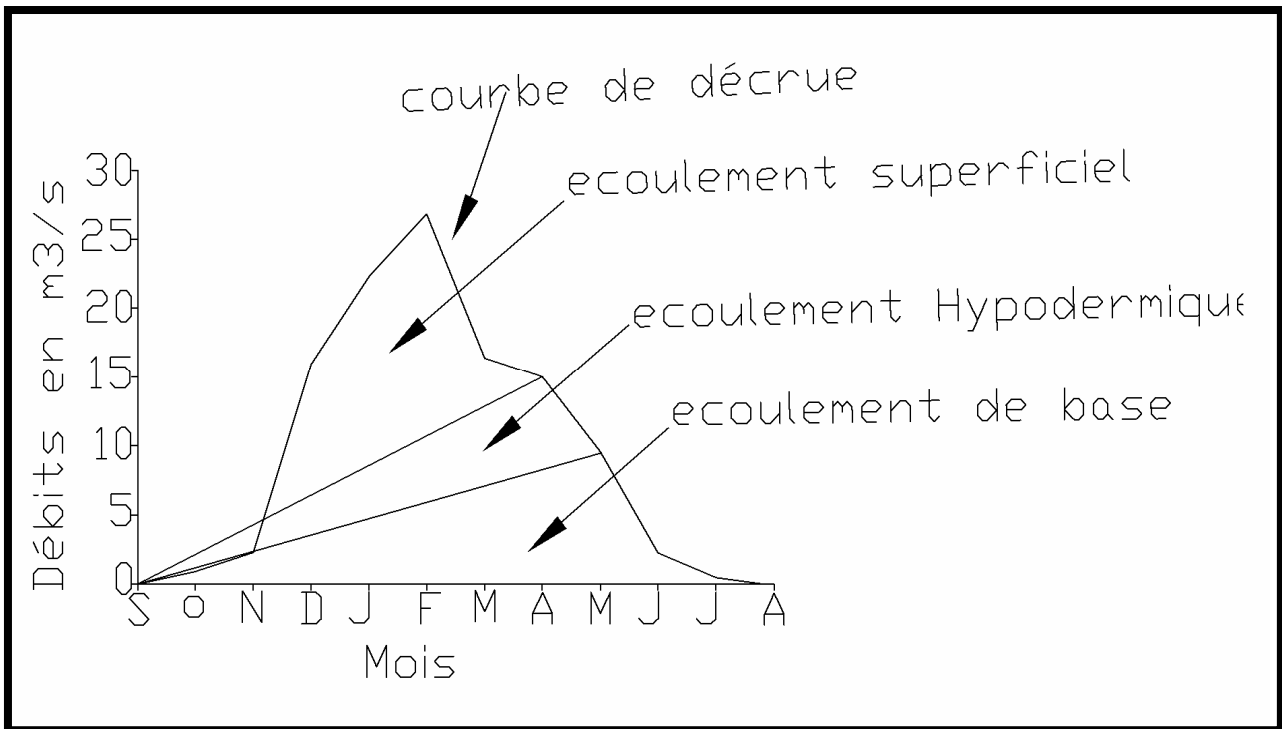


Figure N°23 : Hydrogramme de crue de la station de Belloua

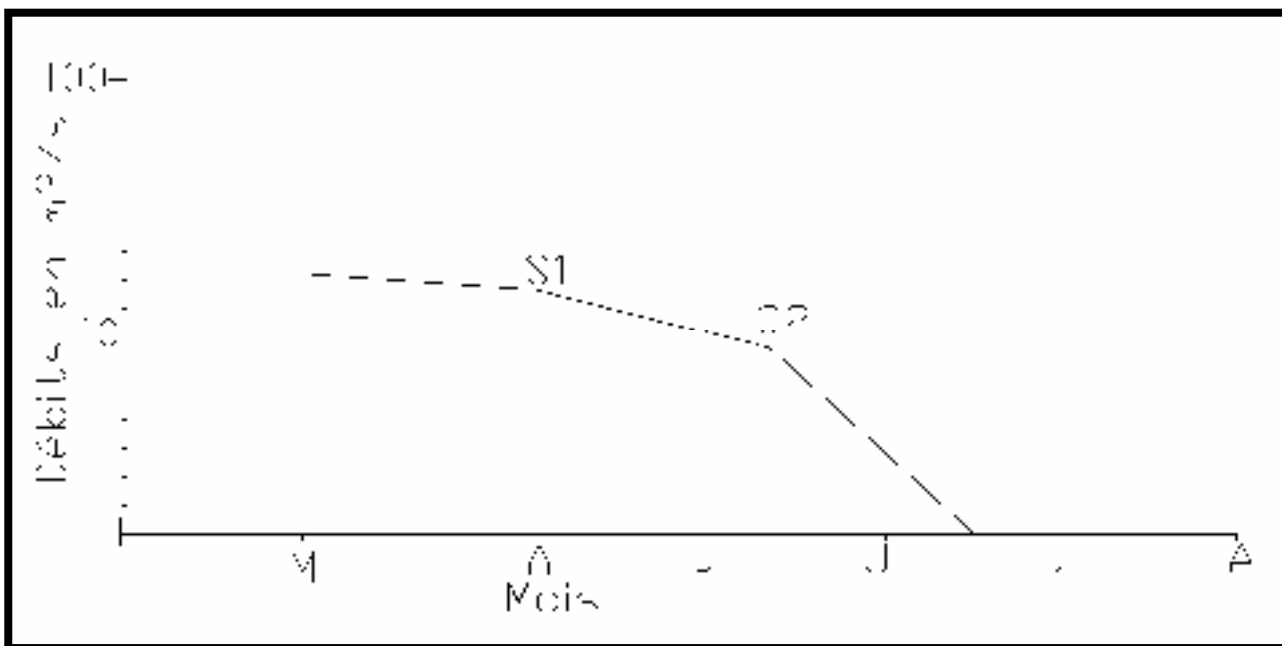


Figure N°24: Courbe de séparation des écoulements à la station de Belloua

III.3.5- Le bilan hydrologique

La formule du bilan hydrologique peut être exprimée de la manière suivante :

$$P = ETR + R + I \pm \Delta S$$

Ou :

P : Précipitation moyenne annuelle (mm). ETR : Evapotranspiration réelle (mm).

R : Ruissellement moyen annuel (mm).

ΔS = La variation des réserves que nous supposons nulles.

Pour déterminer le bilan il faut déterminer deux paramètres inconnus R et I.

Les paramètres du bilan hydrologique ont été calculés à partir des méthodes empiriques, sauf les précipitations qui elles ont été mesurées au moyen direct sur le terrain.

Apports (mm)		Exhaures (mm)				Ecart apport exhaure (mm)
Précipitations	Total des apports	ETR	R	I	Total des Exhaures	
865	865	671	182	5	858	7

Tableau n°20 : Les valeurs de Ruissellement et l'infiltration.

En général l'équation hydrologique est relativement équilibrée, toutefois, on constate un léger écart qui peut être à cause de :

- Erreur de manipulation c-a-d erreur de mesure des paramètres climatiques telle que la précipitation et la température.
- L'utilisation des méthodes empiriques dans le calcul des paramètres du bilan.
- La négligence des précipitations solides (la neige) qui sont des apports latéraux qui peuvent influencer les écoulements surtout en absence de stations pluviométriques dans en hautes altitudes.

III.4- Conclusion

L'examen des données climatiques nous a permis de définir deux périodes différentes :

- Une saison sèche, avec un climat sec qui s'étend de mai à septembre.
- Une saison froide, avec un climat humide tempéré s'étend d'octobre à avril.
- La température moyenne est d'environ de 17.30°C.
- La valeur de lame d'eau précipitée est de 865mm.
- Le régime climatique du bassin versant du Sébaou est humide et tempéré ; il a été déterminé par la méthode de Martonne qui tient compte des précipitations et des températures.

La valeur de la lame d'eau ruisselée calculée par la méthode de l'hydrogramme est plus représentative et cette méthode est plus fiable et donne toutes les composantes de l'écoulement, alors que les résultats obtenus par la méthode Txiront-Berkaloff ne sont pas représentatifs pour notre bassin car cette dernière est plus adaptée pour les bassins versants situés dans des zones semi-arides à aride.

Les résultats du bilan hydrologique que nous avons établi montrent que plus de 77% des précipitations moyennes sont reprises par l'évapotranspiration réelle, le ruissellement et l'infiltration sont estimés respectivement à 21% et 0.58% des précipitations globales.

CHAPITRE IV :

SYNTHÈSE GEOLOGIQUE

IV-1- Introduction

Le secteur d'étude est en grande partie inclus dans la partie septentrionale de l'atlas tellien, qui forme une zone complexe constituée de nappes mises en place au Miocène inférieur et qui, du point de vue géologique, se rattache au grand système alpin méditerranéen, dont la formation est liée au déplacement de l'Afrique par rapport à l'Eurasie, qui se produit depuis plus de 150 millions d'années.

IV.2- Cadre géologique régional

La vallée de l'oued Sébaou est située au nord de la grande Kabylie. Elle correspond à un bassin miocène occupant la grande zone synclinale qui s'étend principalement d'Azazga à Dellys et fait partie de la chaîne des Maghrébins résultant des cycles orogéniques hercyniens et Alpains (Fig. n°20 et 21). Selon la structure, on distingue trois ensembles géologiques représentés par :

- Les zones internes ou ‘ ‘ Domaine kabyle’ ’;
- La zone des flyschs;
- Les zones externes ou ‘ ‘ Telliennes’ ’.

IV.2.1- Les zones internes ou ‘ ‘Domaine kabyle’ ’

Le secteur d'étude appartient aux zones internes dans lesquelles on distingue le socle cristallophyllien Kabyle, sa couverture sédimentaire paléozoïque peu ou pas métamorphisée et la dorsale Kabyle essentiellement carbonatée datée du permo-trias à l'Oligocène (Durand-Delga, 1969 in bouadjel 2006)

- Le socle kabyle d'âge paléozoïque ou même plus ancien, constitué des formations cristallophylliennes. Ces terrains sont représentés par des gneiss, des micaschistes, des schistes, des amphibolites et des granulites.
- La couverture sédimentaire paléozoïque est discordante sur le socle, elle correspond à une formation essentiellement grésopélitiques à intercalations carbonatées regroupant des séries allant du cambrien supérieur au carbonifère moyen.

La dorsale kabyle ou chaîne calcaire (Glangeaud, 1932) discordante sur le socle kabyle, représentant sa couverture. Elle comprend des faciès argilo-gréseux d'âge Triasique, des calcaires et marono-calcaire Jurassique et des niveaux détritiques éocènes.

- Quant à l'oligo-miocène Kabyle, celui-ci correspond à une mollasse résultant de l'érosion des reliefs après l'orogénèse éocène (ou pyrénéenne). Elle est discordante sur les écaillés de la dorsale ou sur le socle kabyle.

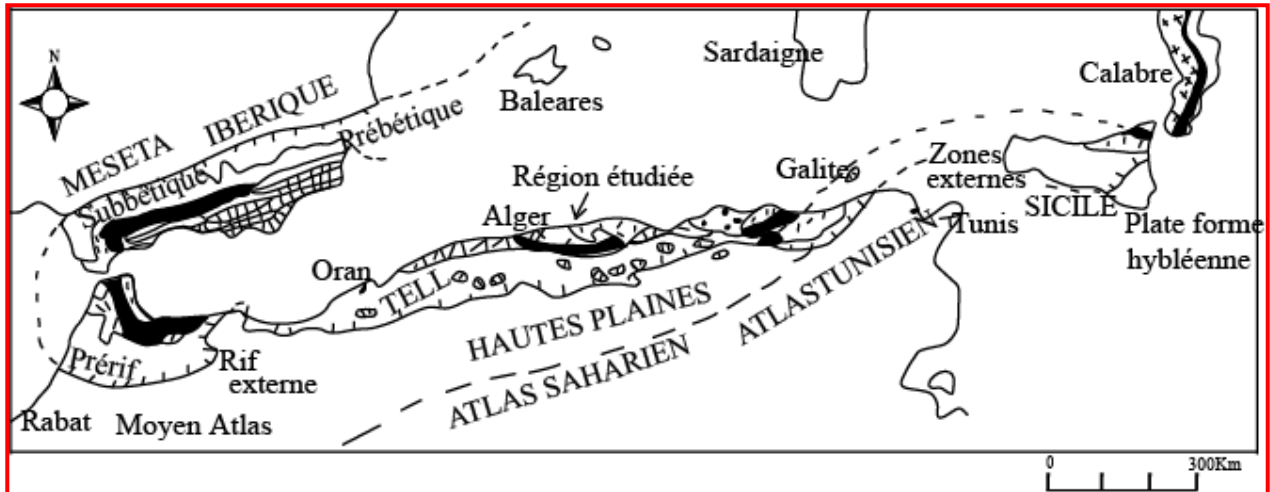


Fig. n°25 : Situation de la zone étudiée dans l'orogène alpin périméditerranéen (D'après M. Durand Delga, 1969)

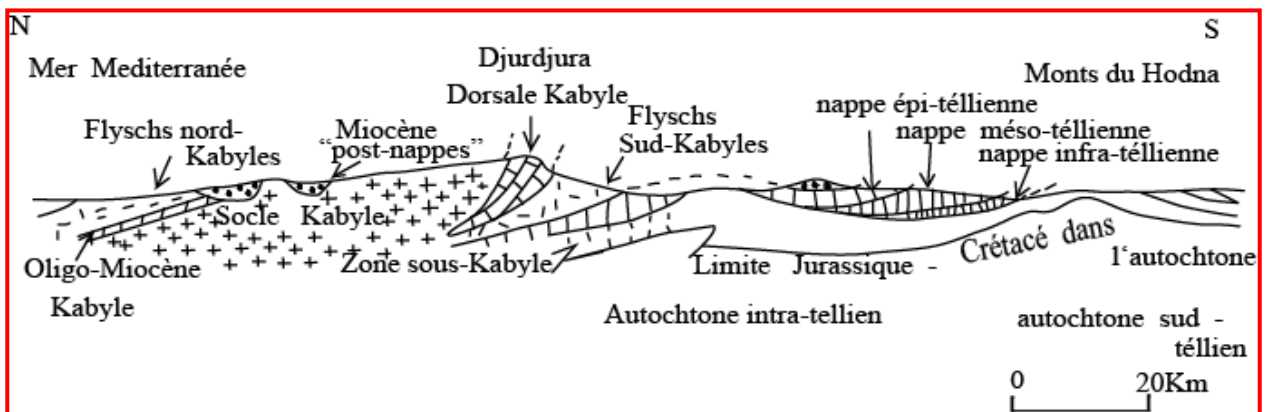


Fig. n°26 : Rapport entre les grandes unités structurales sur le méridien de la grande Kabylie (D'après M. Durand Delga, 1969)

IV.2.2- Le domaine des Flyschs

Il est formé par un ensemble de nappes à matériel détritique (quartzo pélitique, conglomérats, marno-calcaires et microbrèche), cet ensemble regroupe des formations allant du Jurassique moyen à l'Eocène. Ces flyschs sont en contact anormal sur l'Oligo-miocène kabyle pour les uns, ou sous la dorsale kabyle pour les autres.

IV.2.3- Les zones externes ou Tellienne

Les zones externes forment une large bande entre les zones internes et l'avant pays préatlasique, on y observe :

- Les unités autochtones ou para- autochtones (massif à schistosité) constitués par des séries paléozoïques et mésozoïques souvent métamorphiques
- Les nappes Telliennes ou masses allochtones, constituées de terrains essentiellement marno-calcaires d'âge crétacé-éocène.

IV.3. Géologie de la région étudiée (Fig. n°21 et 22)

La vallée du Sébaou correspond à un bassin dans lequel sont accumulés des sédiments Mio-plio-quadernaires.

IV.3.1- La lithostratigraphie

L'extrait de la carte géologique à l'échelle 1/50.000^{ème} montre que la région d'étude est caractérisée par les formations lithostratigraphiques suivantes :

- Le socle cristallophyllien;
- La chaîne calcaire;
- L'oligo-miocène;
- L'unité Numidienne;
- Les flyschs;
- L'unité Tellienne de Dellys;
- L'Olistostrome ou "argiles à blocs" :
- Les formations post-nappes ;
- Les formations quaternaires.

IV.3.1.1- Le socle kabyle

Il est formé de terrains constitués par la superposition de roches cristallophylliennes d'âge protérozoïque et paléozoïque inférieur, c'est le substratum de la dorsale kabyle, il est composé de trois ensembles :

- Le cristallophyllien inférieur, constitué essentiellement de gneiss à intercalation de marbres et d'amphibolites, recoupé par des filons de quartz et de tourmaline.
- Le cristallophyllien supérieur, représenté par des schistes satinés ou phyllades à quartz alternant avec des grès, des porphyroïdes ocellés et des lentilles de calcaires métamorphiques.
- *La couverture sédimentaire paléozoïque, est caractérisée par des formations gréseuses et carbonatées, discordantes sur les phyllades. Elle est d'âge cambrien supérieur à carbonifère moyen.*

IV.3.1.2- La dorsale kabyle (Durand- Delga, 1969 in Bouadjel 2006)

Limite le domaine interne au nord du domaine des flyschs, elle est constituée par un empilement d'écailles, d'après la lithostratigraphie, les auteurs définissent une dorsale interne, médiane et externe (Fig. n°20)

La dorsale interne : isolée au nord du massif de Chellata, séparée des autres par de larges affleurements du socle. Elle constitue l'unité de Berkaiss, peu tectonisée.

La dorsale médiane : occupant la partie centrale du massif de Chellata, elle est limitée au nord ouest par le socle cristallophyllien et au sud-est par un accident de direction sud-ouest nord-est.

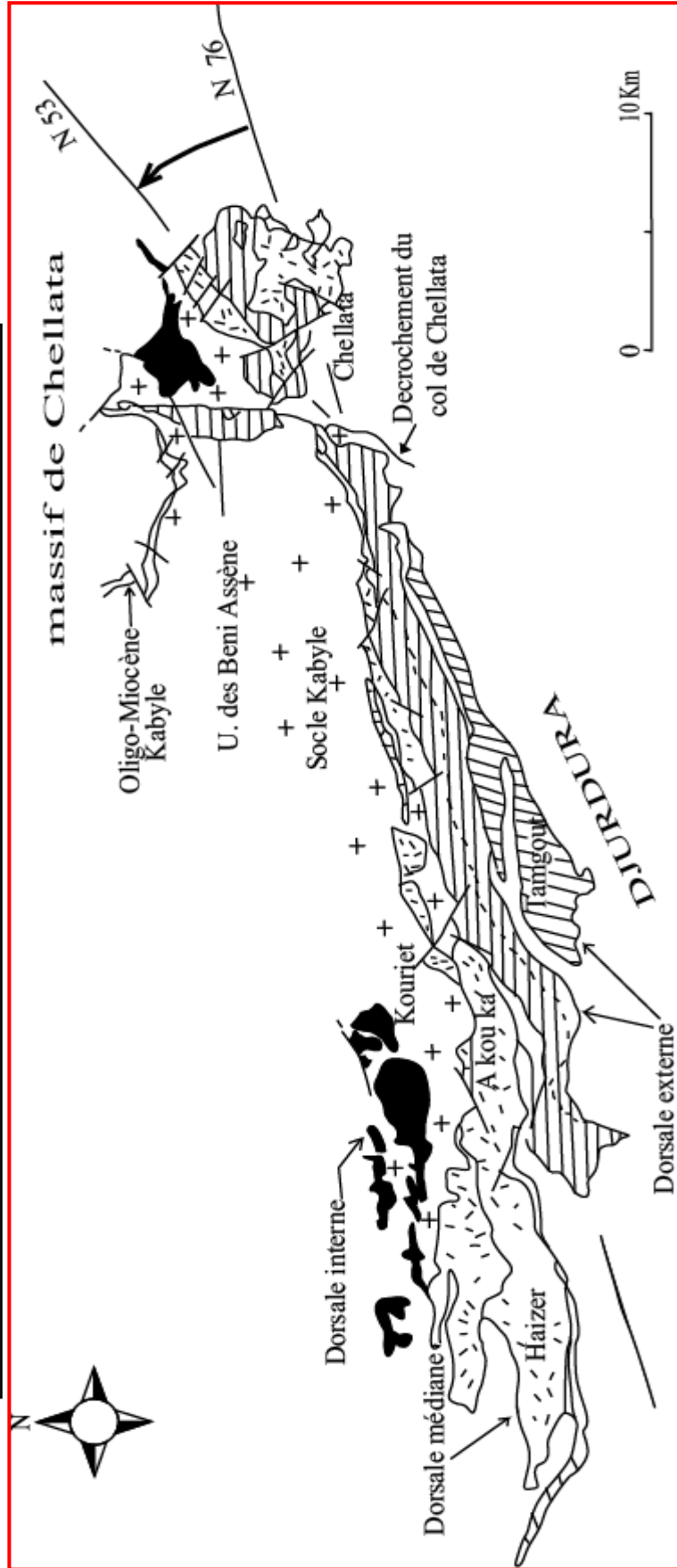
La dorsale externe : elle correspond au remplissage de la partie sud du massif de Chellata. La figure 21 résume la colonne lithostratigraphique synthétique.

IV.3.1.3- L'oligo-miocène Kabyle

Cet ensemble géologique est défini par les auteurs comme étant des faciès détritiques datés de l'oligocène terminal au miocène basal (Burdigalien inférieur), il est en discordance avec le socle kabyle. Cette formation est constituée de la base au sommet par Des conglomérats surmontés par des argiles riches en débris de socle et parfois silicifiés, selon les lieux.

L'oligo-miocène Kabyle affleure à Aïn El Bir au nord-ouest du Djebel Belloua, à Kouanine à Azib Bou Moussa, dans la région de Draâ El Mizane, Ouadhias et dans la région de Tabouda-Mréira (D.Raymond, 1976; J.P.Gélard, 1979)

**Fig 20 : Carte schématique interprétative de la dorsale de la Grande Kabylie
(J.P. Gélard, 1979)**



IV.3.1.4- L'unité Numidienne

C'est une série de type flysch, d'âge oligo-miocène caractérisée par la succession de trois termes de la série Numidienne, qui sont de bas en haut (*J. P. Gélard, 1979*):

- les argiles sous numidiennes de couleur brune à Tubotomaculum fréquents d'âge Oligocène.
- les grès numidiens qui sont quartzeux à granulométrie grossière, intercalés de pelites d'âge Aquitanien.
- les formations supra-numidiennes constituées d'argiles et de marnes intercalées de silexites d'âge Aquitanien supérieur- Burdigalien inférieur.

Cette unité affleure principalement dans les massifs d'Akfadou, à l'est de Azazga et dans la forêt de Mizrana.

IV.3.1.5- Les flyschs

On désigne par les flyschs, l'ensemble des formations associées aux flyschs terrigènes Maghrébins d'âge Jurassique moyen à Eocène (Fig.21). Classiquement, ils sont subdivisés en deux types, le flysch maurétanien et le flysch massylien.

Le flysch maurétanien : se caractérise par les types de faciès suivants :

- Grès de faciès "Guerrouch" puissants d'âge Barrémo-aptien;
- Repère quartzitique vert bouteille et calcaires microbréchiques d'âge Cénomaniens à silicifications blanches;
- Calcaires microbréchiques, marnes rouges et conglomérats grossiers d'âge Sénono-éocène;
- Calcaire à microcodium d'âge paléocène;
- Couverture grés-micacée d'âge Stampien-Aquitanien.

Le flysch massylien : constitué de la base au sommet par :

- Flysch périto-quartzitique d'âge Albo-aptien;
- Calcaires fins jaunâtres en petits bancs d'âge Albien supérieur-Cénomaniens inférieur;
- Phtanites d'âge Turonien inférieur;
- Flysch argilo-marneux à plaquettes microbréchiques d'âge Campanien;
- Marnes rouges et calcaires sableux d'âge Maestrichtien Eocène (*J. P. Gélard, 1979*)

Au sein des flyschs; le maurétanien et le massylien représentent les deux pôles extrêmes. Le matériel qu'ils remanient respectivement confirme leur éloignement paléogéographique : le premier est chargé de débris de dorsale (à partir du Crétacé supérieur), le second en fragments qui proviennent des zones externes (*de type Babors*). (*J. P. Gélard, 1979*).

Il existe des séries mixtes, intermédiaires entre les séries types massyliennes et maurétaniennes, ce sont :

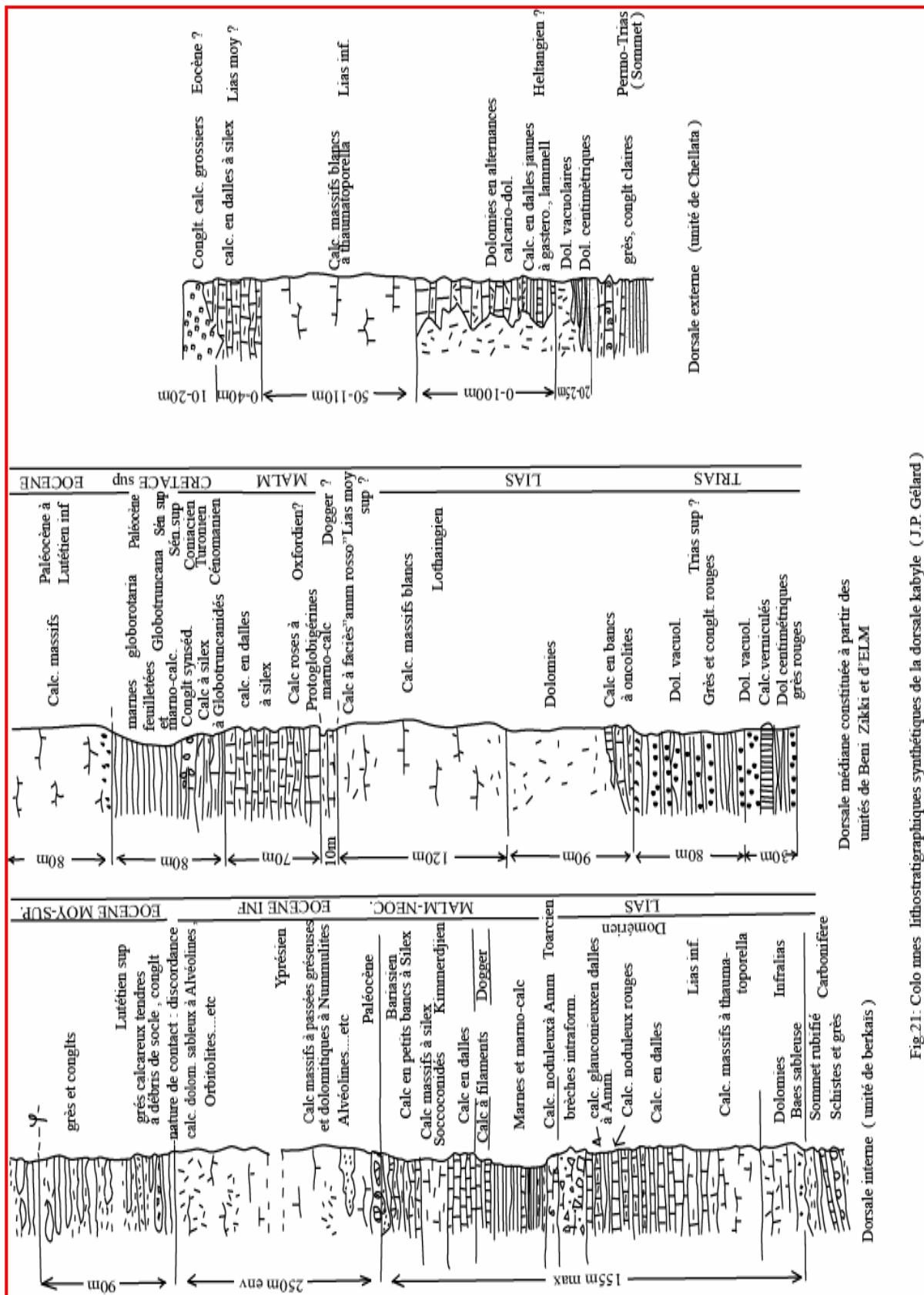


Fig.21: Colo nnes lithostratigraphiques synthétiques de la dorsale kabyle (J.P. Géliard)

IV.3.1.5.1. Le flysch du haut Sébaou - Azazga

Ce flysch présente des affinités à la fois avec le Massylien et le Maurétanien. Il s'agit généralement d'un flysch où le faciès argileux est dominant.

Sur les calcaires fins, datés du berriasien moyen-supérieur, on distingue :

- Un ensemble essentiellement argileux formé par :
 - Une puissante série argileuse accompagnée de bancs de grès ou de grès quartzitiques.
 - Des grès en bancs réguliers séparés par des pelites sombres (Aptien supérieur-Albien).
 - Des marnes et argiles bleutées à passées rouges d'âge Aptien-Albien supérieur.
- Des calcaires fins interstratifiés par fois avec des phtanites peu épaisses et souvent argileuses.
- Des argiles et marnes grises ou bleutées présentant des passés rougeâtres. Elles sont datées du Maestrichtien.
- Des marnes roses ou rouges et des bancs de calcaires organoclastiques datées du Sénonien terminal-Paléocène supérieur.

IV.2.1.5.2. Le flysch d'Afir-Azeffoun

Ce flysch affleure au SE de Dellys, dans la région d'Afir et dans la région d'Azeffoun; il est composé de trois unités :

a. L'unité inférieure d'Afir :

C'est un complexe comportant de bas en haut :

- Un flysch pélito-quartzitique d'âge Crétacé inférieur;
- Un mince niveau de Phtanites cénomaniennes;
- Un complexe d'épaisseur réduite avec des argiles et microconglomérats et des calcaires fins d'âge Crétacé supérieur. (*D. Raymond, 1976*).

b. L'unité supérieure d'Afir :

C'est un complexe débutant par des Phtanites cénomaniennes, surmontées d'un flysch crétacé supérieur, tendre, où alternent des argiles et microconglomérats à ciment argileux ("flysch à microbrèches") (*D. Raymond, 1976*).

c. Le flysch du haut Sébaou :

C'est un flysch pelito-calcaro-microconglomératique verdâtre, extrêmement chaotique d'âge Crétacé supérieur.

IV.3.1.6- L'unité tellienne de Dellys

Cette unité est représentée essentiellement dans le secteur situé entre Baghlia et Ait Raouana. Elle est d'âge Crétacé supérieur à Eocène.

L'unité est formée d'une puissante série à sédimentation rythmique, composée de calcaires et de marnes, on distingue en fait :

- Des marnes intercalées de calcaires marneux (Turonien-Sénonien)
- Des calcaires marneux à rares silex et calcaires silicifiés (Yprésien-Lutitien inférieur)
- Des marnes noires d'âge Lutitien.

IV.3.1.7. L'Olistostrome (ou argiles à blocs)

C'est une accumulation sédimentaire Chaotique, leur formation est liée à la mise en place des nappes sur le domaine interne.

Leur mode de sédimentation, serait dû au glissement par gravité, sur une pente sous-marine d'une molasse sédimentaire ou à la dilacération d'un front de nappe, ou encore à la conjugaison des deux.

Cette formation est constituée par une matrice tendre (argileuse, marneuse ou pélitique) dans laquelle sont dispersés de menus débris qu'accompagnent des blocs (Olistolites) de taille variable d'âge Aquitainien supérieur-Burdigalien inférieur (*J.P.Bouillin, 1973*). Cette formation affleure à Kouanine et Draa Karrouch. Il affleure aussi sur la route joignant El Kalaâ et Boudjima et sur la route d'Azazga - Aïn El Hammam.

IV. 3.1.8. Les formations post-nappes

Ces formations comprennent des terrains d'âge Miocène à Pliocène.

Le miocène : il est très étendu dans la zone synclinale comprise entre Azazga et Dellys.

Au Burdigalien terminal, il présente à sa base des marnes puis des conglomérats surmontés par de la molasse et se termine par des marnes.

Au Langhien-Sérravallien, le miocène présente des grès discordants sur le socle, on trouve enfin les marnes qui tapissent l'ensemble du synclinal de Tizi-Ouzou, ces dernières constituent le substratum des formations alluviales aquifères.

Les roches volcaniques : on rencontre dans le miocène mollassique un cortège de roches volcaniques (basaltes, rhyodacites, rhyolites et tufs). Ces formations sont en relation avec le centre éruptif de cap Djenet et affleurent aux régions de Guennana et au versant nord du massif de Naciria.

Le pliocène : le pliocène vient en discordance sur le Burdigalien supérieur, il est constitué de marnes grises claires affleurant dans la région de Dellys, dans la vallée de l'oued El Arba et à Djarabet.

IV.3.1.9- Les formations quaternaires

Elles correspondent au remplissage alluvionnaire ancien, récent et actuel de la vallée de l'oued Sébaou. Il s'agit de dépôts de galets, sables grossiers et fins, graviers, limons et argiles qui se présentent sous formes de terrasses emboîtées ou étagées.

Les sondages mécaniques et les forages de reconnaissances ont permis de mettre en évidence les niveaux suivants constatés de haut en bas :

- Limons de surface ;
- Alluvions grossières, sables, graviers et galets ;
- Niveaux marneux (substratum).

On assiste par ailleurs, que la fraction des éléments fins tend à prédominer l'ensemble et ce, au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'embouchure de l'oued Sébaou.

IV.4.- Structure tectonique et évolution paléogéographique

Dans cette étude, nous essayons de décrire succinctement les grands évènements tectoniques ayant marqué l'histoire géologique de la région d'étude et d'en retracer chronologiquement les processus importants qui ont accompagné la mise en place des différents ensembles géologiques actuels de la grande Kabylie.

IV.4.1- Crétacé inférieur-Eocène supérieur

Le socle Kabyle est émergé, à partir de ce dernier s'ordonneraient du nord vers le sud les grandes zones suivantes :

- La dorsale (individualisée dès le Lias) ;
- Flysch maurétanien ;
- Flysch intermédiaire (série d' Afir, Azeffoun et Flysch du haut Sébaou ... etc);
- Flysch massylien;
- Ultra tellien.

On assiste en principe à un phénomène de charriage vers le nord, sous le domaine Kabyle, du substratum océanique du flysch massylien.

L'évènement principal qui a marqué cette époque, serait le rapprochement de la marge continentale africaine, représentée par le sillon tellien et de la marge Kabyle (*D.Raymond, 1976*).

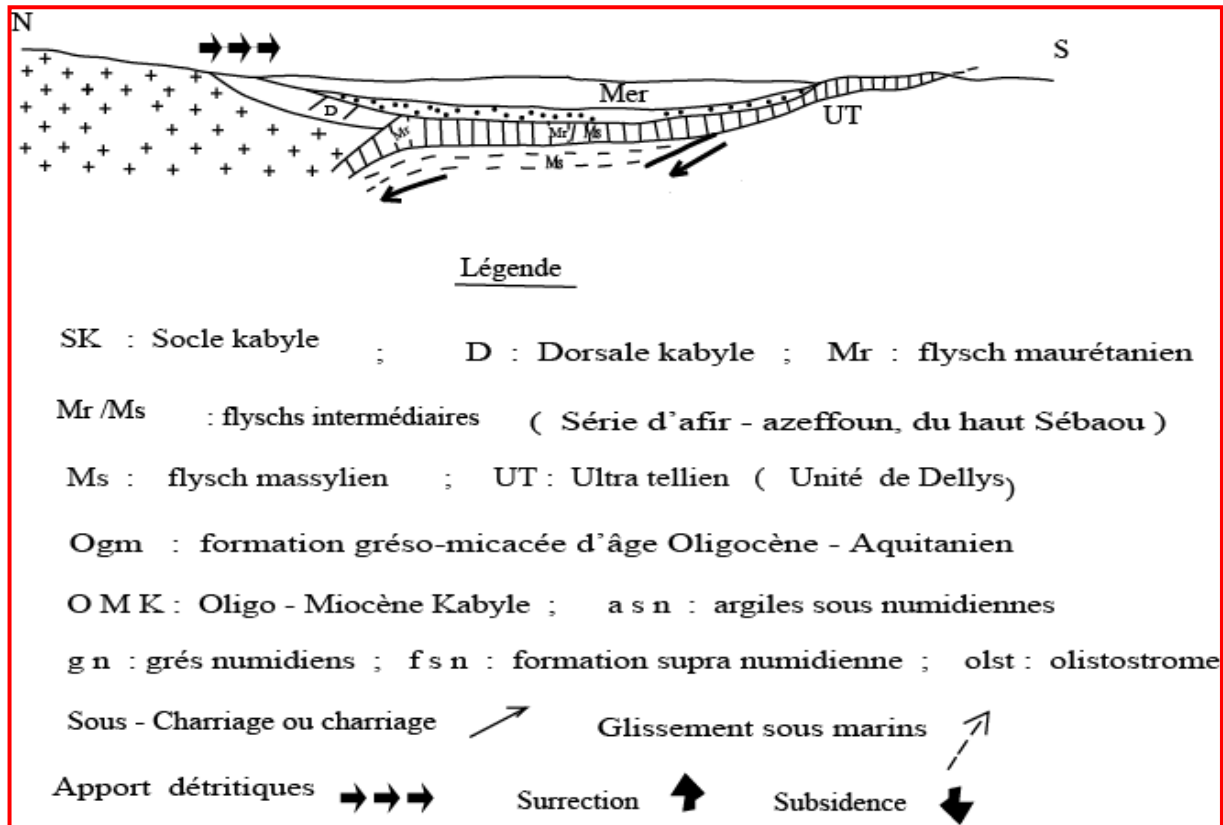
IV.4.2- Eocène supérieur Burdigalien terminal

IV.4.2.1- Oligocène inférieur

- *Sédimentation* : dépôts de grès micacés (oligocène inférieur)

- *Tectonique* : sous charriage du flysch massylien et de l'ultra tellien

- Emergence du socle kabyle ;
- Ecaillage de la dorsale kabyle ;
- Les flyschs maurétanien et intermédiaires reçoivent une couverture grésomiacé concordante;
- Flysch massylien, domaine ultra-tellien et leurs soubassements respectifs : probablement déjà largement sous-charriés sous les flyschs maurétanien et intermédiaires (*J. P. Bouillin, 1975*).



IV.4.2.2- Oligocène supérieur

- *Sédimentation* : dépôt de grès micacés à lépidocyclines en position interne et les argiles sous-numidiennes en position externe.
- *Tectonique* : glissement vers le sud de la partie distale (sud) du domaine des flyschs intermédiaires avant le dépôt des argiles sous numidiennes.

IV.4.2.3- Miocène inférieur

- Sédimentation* : *Dépôt de grès numidiens (Aquitanien), début de dépôt de l'Oligo-miocène kabyle en position interne.*
- Tectonique* : *La partie radicale du domaine des flyschs intermédiaires est intensément tectonisée.*

IV.4.2.4- Aquitanien terminal Burdigalien basal

- Sédimentation* : *Dépôts des formations supra numidiennes en position externe y compris les derniers niveaux de l'Oligo-miocène kabyle en position interne.*
- tectonique* : *les éléments ultra Kabyles ont amorcé leurs glissements par-dessus le domaine Kabyle.*

IV.4.2.5- Burdigalien inférieur

- *Sédimentation* : dépôt de l'Olistostromes nord kabyles.
- *Tectonique* :
 - La zone comprise entre le domaine kabyle et l'axe Babors-Biban est soumise à un serrage.

- Glissement d'éléments citra-Kabyles vers le nord par dessus le domaine Kabyle, avec évolution en nappes sous numidiennes.

IV.4.2.6- Langlinien-Sérravalien-Pliocène

- *Sédimentation* : Dépôts de formations post-nappes

IV.4.3- Structure du Miocène post nappe

Le Miocène se trouve dans le socle sous-jacent affecté par les plis. Les principales structures tectoniques affectant aussi bien le Miocène "post-nappe" que le socle Kabyle sont représentées par une série d'anticlinaux et de synclinaux d'orientation N70E. Les plis d'ampleur plurikilométrique ont une orientation sud-nord, on distingue cependant :

- *Le synclinal de Tizi Ouzou-Oued Aguer gour;*
- L'anticlinal de Aissa-Mimoun, Djebel Belloua qui prolonge à l'ouest celui de Sidi Ali Bounab;
- Le synclinal de l'oued Stita-Tadmaït;
- L'anticlinal de Draa Karrouch prolongé à l'ouest par celui de Naciria;
- Au nord, les chaînons littoraux (Dj.Takdempt et Bouberak) montrent un système plis N70E déversé vers le nord.

Quant à la fracturation influençant la structure post-nappe; elle est peu prononcée dans le bas que dans le haut Sébaou. Probablement, quelques failles peuvent être observées dans les niveaux compétents des molasses et conglomérats aux Djebel El Gueblia et Bouberak.

L'analyse tectonique des formations post-nappe, se résume principalement par une phase de distension suivie d'une phase de compression.

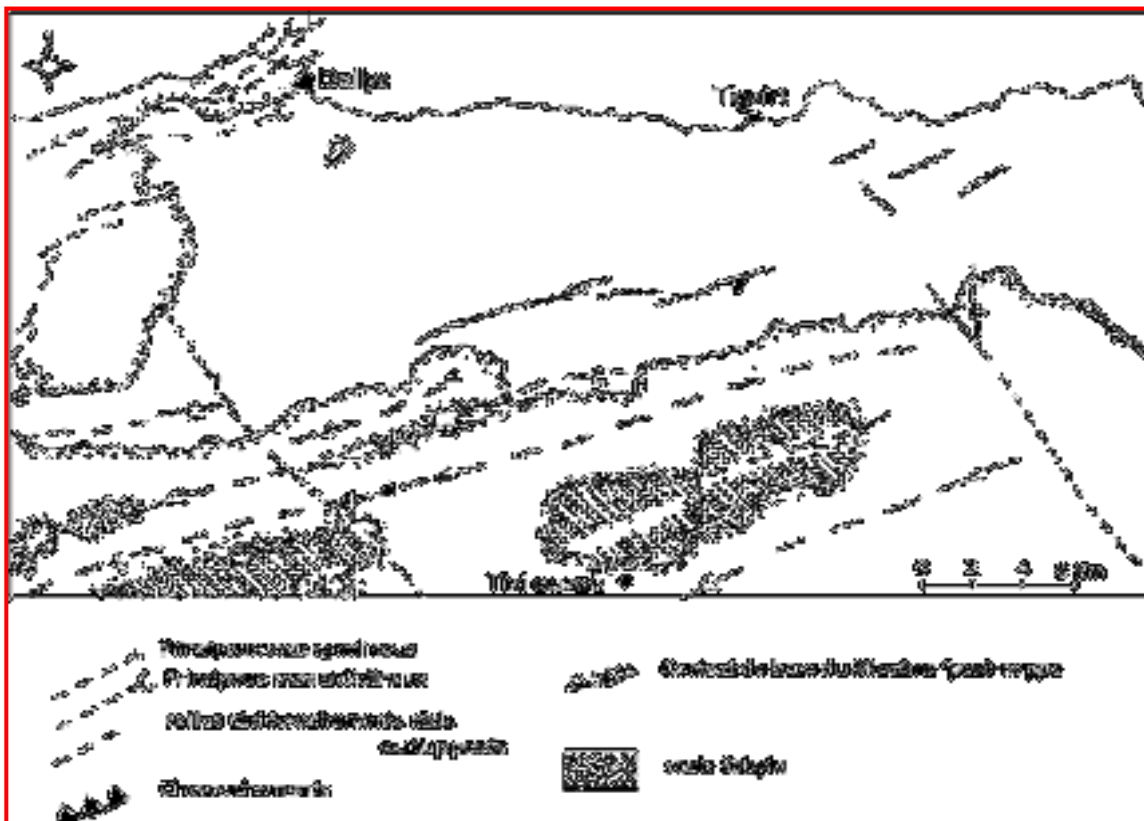


Fig.30 : Principales structures "post-nappes" dans le Nord Ouest de la grande Kabylie (D. Raymond, 1976)

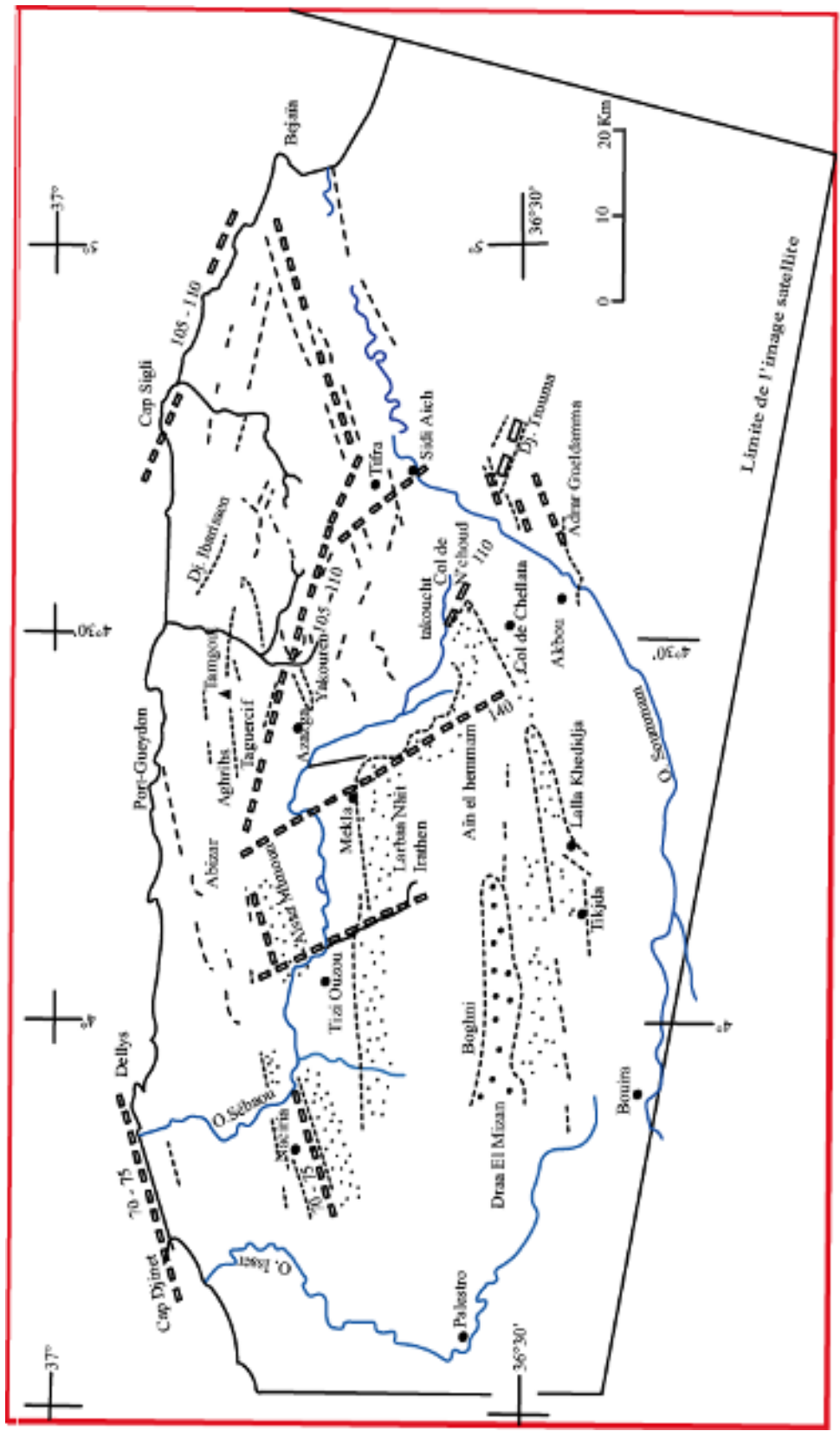


Fig.25 : Interprétation schématique des principaux linéaments affectants la Grabne Kabylie d'après l'image satellite Landsat I (J.p. Gélard, 1979)

IV.5- Conclusion

La vallée de l'oued Sébaou occupe la grande zone synclinale miocène qui s'étend d'Azazga à Dellys.

De point de vue structural, la région d'étude est constituée essentiellement par des formations dites "post nappes "et des terrains quaternaires qui sont limités de part et d'autre par des accidents de quelques anticlinaux (Naciria, sidi Ali Bounab, . Belloua et Aissa Mimoun). L'analyse structurale du miocène post-nappe à permis de mettre en évidence une phase tectonique distensive, responsable de la mise en place du réseau de fracturation, suivie d'une phase de compression qui se manifeste essentiellement par le plissement du socle et de sa couverture mollassique.

Connaissons la nature lithologique, relevant de l'aspect hydrogéologique (perméabilité, porosité..) des différentes formations du bassin versant du Sébaou, il nous y paraît possible d'envisager les formations susceptibles d'être aquifères, ainsi d'en établir la classification suivante :

Le Miocène marneux : Son aspect fin et très peut perméable justifie qu'il ne présente pratiquement aucun intérêt hydrogéologique (points de vue emmagasinement des ressources). Ce niveau constitue, d'ailleurs, le substratum imperméable de la nappe alluviale de l'oued Sébaou.

Bien qu'il soit fracturé est altéré, le socle métamorphique demeure comme un réservoir modeste. En effet, les gneiss et les schistes contiennent certaines sources mais leur débit reste assez faible.

Le massif de Djurdjura : avec sa morphologie Karstique, constitue, certainement, un réservoir important, étant donnée que l'oued Sébaou et ces affluents prennent leurs sources depuis ce massif.

Le remplissage alluvionnaire quaternaire : essentiellement fluvatile, constitue l'aquifère le mieux identifié, mais également le plus important réservoir de la région. Vu son développement et ces bonnes caractéristiques hydrogéologiques, il est classé comme le principal pourvoyeur de la ressource en eau exploité pour l'AEP, l'irrigation et l'industrie.

CHAPITRE V :

HYDROGEOLOGIE

V.1- Introduction

L'hydrogéologie est la science qui concerne la recherche, l'exploitation, la gestion et la protection des eaux.

Le principal objectif de notre étude hydrogéologique, est d'identifier et de décrire les unités géologiques ayant une importance du point de vue ressources en eau de la plaine du Sebaou

V.2- Principaux aquifères de Sebaou

Dans le bassin de la grande Kabylie se distingue quatre grands ensembles géologiques présentant des caractéristiques aquifères importantes :

- a)- l'ensemble des formations carbonatées de la chaîne calcaire situées dans la partie sud du bassin versant. Cet aquifère s'étendant sur une superficie de 120Km² (Hiadihine et Menadmi ,1996) est formé de calcaires et dolomies à circulation de fissures et de chenaux Karstiques . Sur les altitudes supérieures à 1500m, il reçoit près de 2m de précipitation tombant surtout sous forme de neige. L'aquifère est très peu étudié et n'est exploité que par captage des sources qui sont nombreuses surtout sur le flanc Nord de la chaîne.
- b)- le domaine de formations métamorphiques constituant le socle qui couvre une superficie de 960 Km². Ce sont des formations où les circulations d'eaux souterraines se font à travers les fissures qui les affectent même en profondeurs. C'est un aquifère caractérisé par des émergences de sources dont le débit moyen ne dépasse pas 1l/s. les niveaux altérés superficiels perméables forment de petites nappes qui sont exploitées par des puits domestiques de profondeur maximale égale à 25m.
- c)- l'ensemble des affleurements des grès du miocène post-nappe qui s'étendent sur une superficie de 796Km² au Nord-Ouest, à l'Est et au Sud- Ouest du bassin versant du sebaou. Ces grès, peu étudiés, présentent un intérêt hydrogéologique malgré leur faible capacité d'infiltration (djemai, 1980). Les sources qui émergent de cet aquifère sont peu nombreuses et ont un débit moyen de 5 l/s.
- d)- les alluvions de remplissage des plaines alluviales : Ce sont des formations du quaternaire ancien et récent, constituées de dépôts détritiques alluvionnaires (galets, sables gros et fins, graviers, limon et argiles). Dans le sebaou, ces dépôts constituent le réservoir le plus exploité de toute la région. C'est pourquoi, nous leur avons accordés un intérêt particulier pour l'étude et la cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la nappe qu'ils constituent. (SAID. R ,1999)

V.3- Caractérisation des aquifères

V.3.1- Etude piézométrique

V.3.1.1- Inventaire des points d'eau

La synthèse des différents inventaires a été rendue possible grâce aux travaux réalisés depuis plusieurs années. La première campagne piézométrique qui a couvert toute la vallée du Sébaou (septembre, octobre 1972 et mars, avril 1973) a été réalisée par Y. Chadrin, Le tableau N°23 donne un aperçu sur les différentes campagnes qui ont suivi à nos jours.

V.3.1.2- Identification des points d'eaux

Les points d'eaux choisis sont généralement des puits paysans qui sont pour la plupart des ouvrages artisanaux construits en briques ou en pierres, non couverts, ils servent pour la majorité à l'irrigation et très peu à l'alimentation en eau potable ; ces puits ne captent pas la totalité de l'aquifère alluviale. Les forages riverains sont généralement en exploitation, ce qui rend les mesures de niveau statique impossible.

Période et auteur	Région d'étude		
	Bas Sébaou	Moyen Sébaou	Haut Sébaou
1972 - 1973 (Y.Chadrine.ANRH)	Hautes eaux Basses eaux	Hautes eaux Basses eaux	Hautes eaux Basses eaux
1980 (Bouzar-USTB mémoire d'ingénieur)			Basses eaux
1981 (M.DjamaiUSTB. mémoire d'ingénieur)		Basse eaux	
1981 (Aigoune, USTB mémoire d'ingénieur)	Région de Baghlia (Basses eaux)		
1982-1983 (M.Djemai, Grenoble, Thèse de Magister)			Hautes eaux Basses eaux
1992 (Sais et Si Mohamed, USTB, Ingénieur)	De Baghlia à l'embouchure (Octobre-Novembre)		
1999 (Bouadjla - ANRH)			Hautes eaux Basses eaux
2000, 2001, 2002, 2003, 2004 (Bouadjla. ANRH)	Hautes eaux Basses eaux	Hautes eaux Basses eaux	Hautes eaux Basses eaux
2006(Bouadjla, ANRH) 2008 (Bouadjla, ANRH)	Hautes eaux Basses eaux	Hautes eaux Basses eaux	Hautes eaux Basses eaux

Tableau N°21: Les mesures piézométriques effectuées dans la plaine alluviale du sebaou

V.3.1.3- Interprétation des cartes piézométriques

Cette interprétation va permettre de :

- définir l'écoulement souterrain des eaux de l'aquifère.
- définir la relation hydraulique qui pourrait exister entre les différentes terrasses.
- calculer les gradients hydrauliques, importants dans la quantification des différents apports latéraux.

Les cartes piézométriques établies par différents auteurs pour différentes périodes (Chadrine 1975, Djemai 1980 et 1983 et ANRH 2004 et 2008) ne montrent pas de grandes variations dans la position des équipotentielles (figures 31, 32, 33, 34, 35, 36 et 37)

D'après les cartes piézométriques réalisées par l'ANRH de Tizi-Ouzou en 2004. On peut conclure que dans le haut Sébaou, les écoulements souterrains se font dans la direction Sud-Nord dans sa partie Est jusqu'aux environs de Freha où ils prennent la direction Est-Ouest pour traverser la cluse de Belloua. Dans la partie moyenne du sebaou à partir de boukhalfa l'écoulement convergent vers une dépression formée par le champ du captage de Boudid ,au-delà de Draà Ben Khedda l'écoulement prend la direction Est-Ouest. Dans la partie basse du Sébaou, à partir de Tadmaït l'écoulement devient Sud-Nord.

Sur les bordures, les lignes de courant convergent vers l'axe de la vallée alluviale.

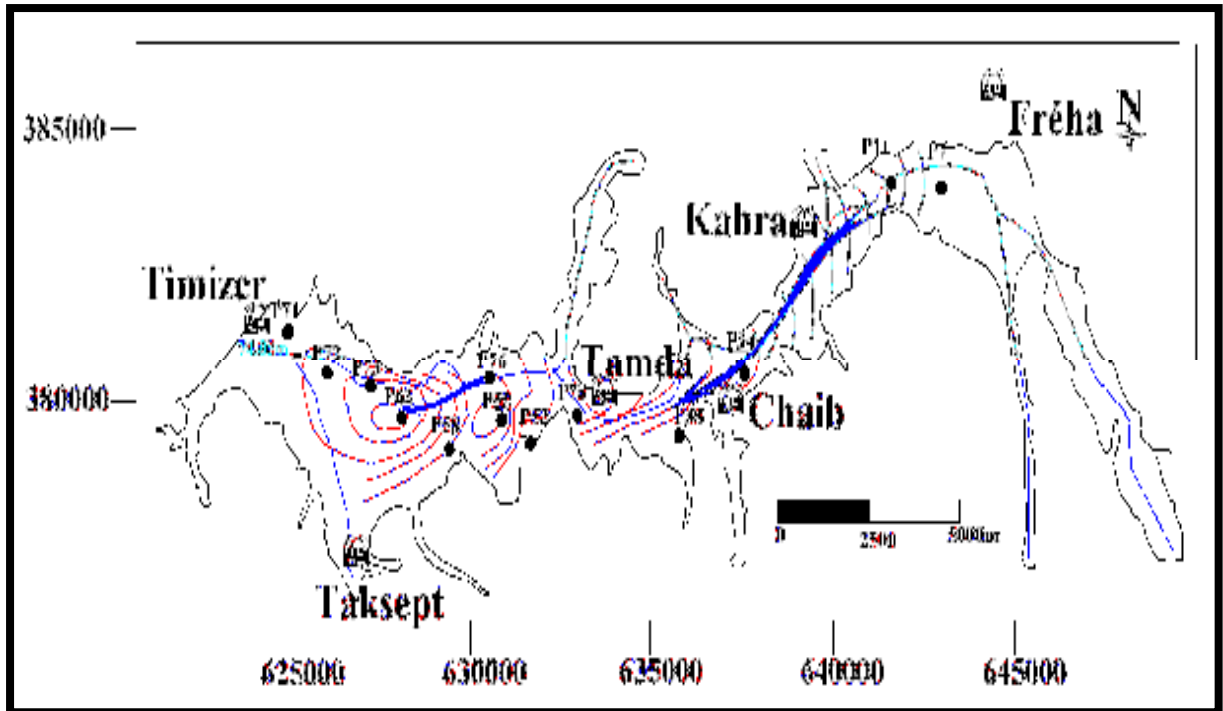


Figure N°2 : Carte piézométrique (Haut Sébaou, Basses eaux)

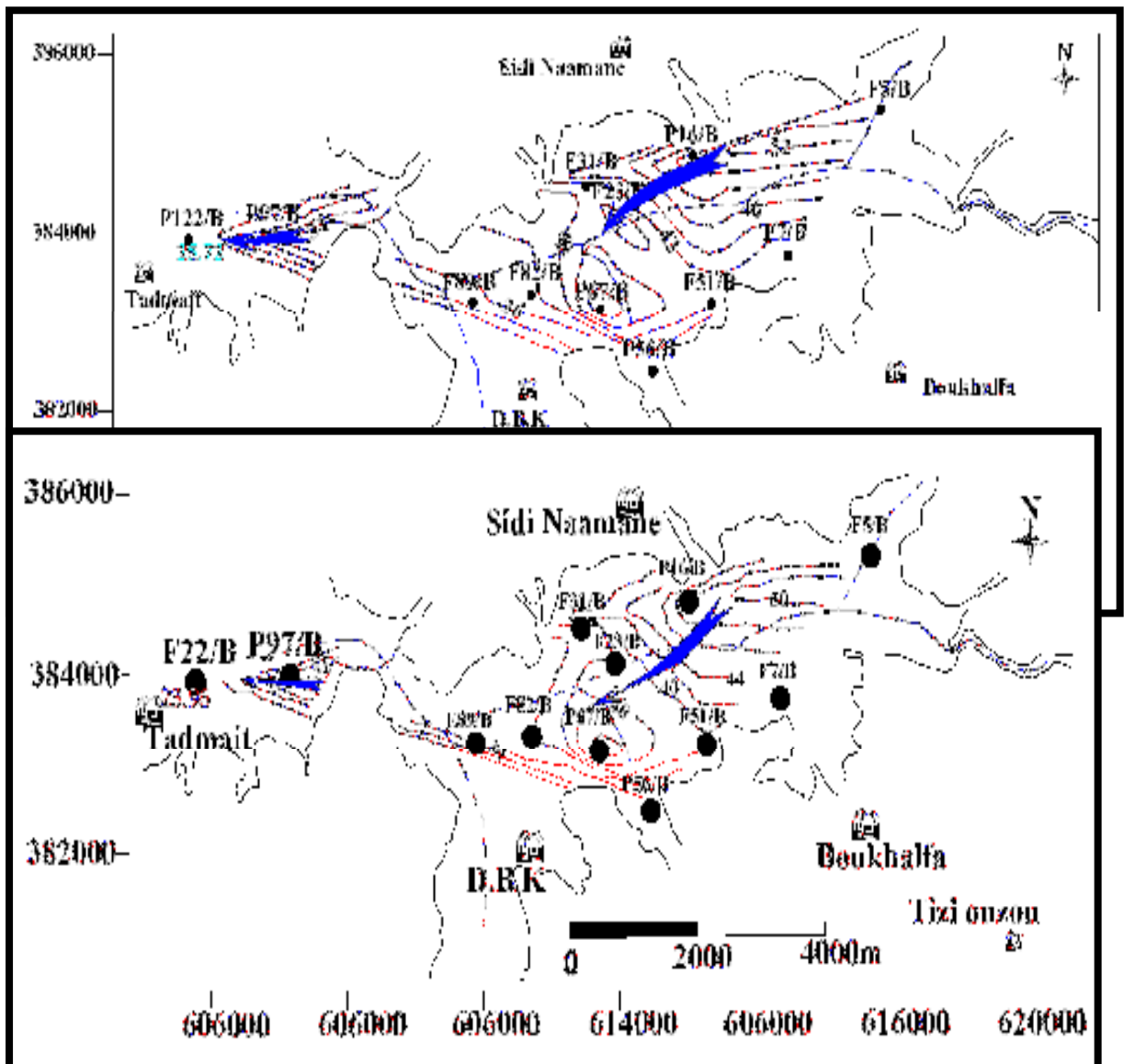


Figure N°3 : Carte piézométrique (Moyen Sébaou, Hautes eaux) Année 2004

Figure N°4 : Carte piézométrique (Moyen Sébaou, Basses eaux) Année 2004

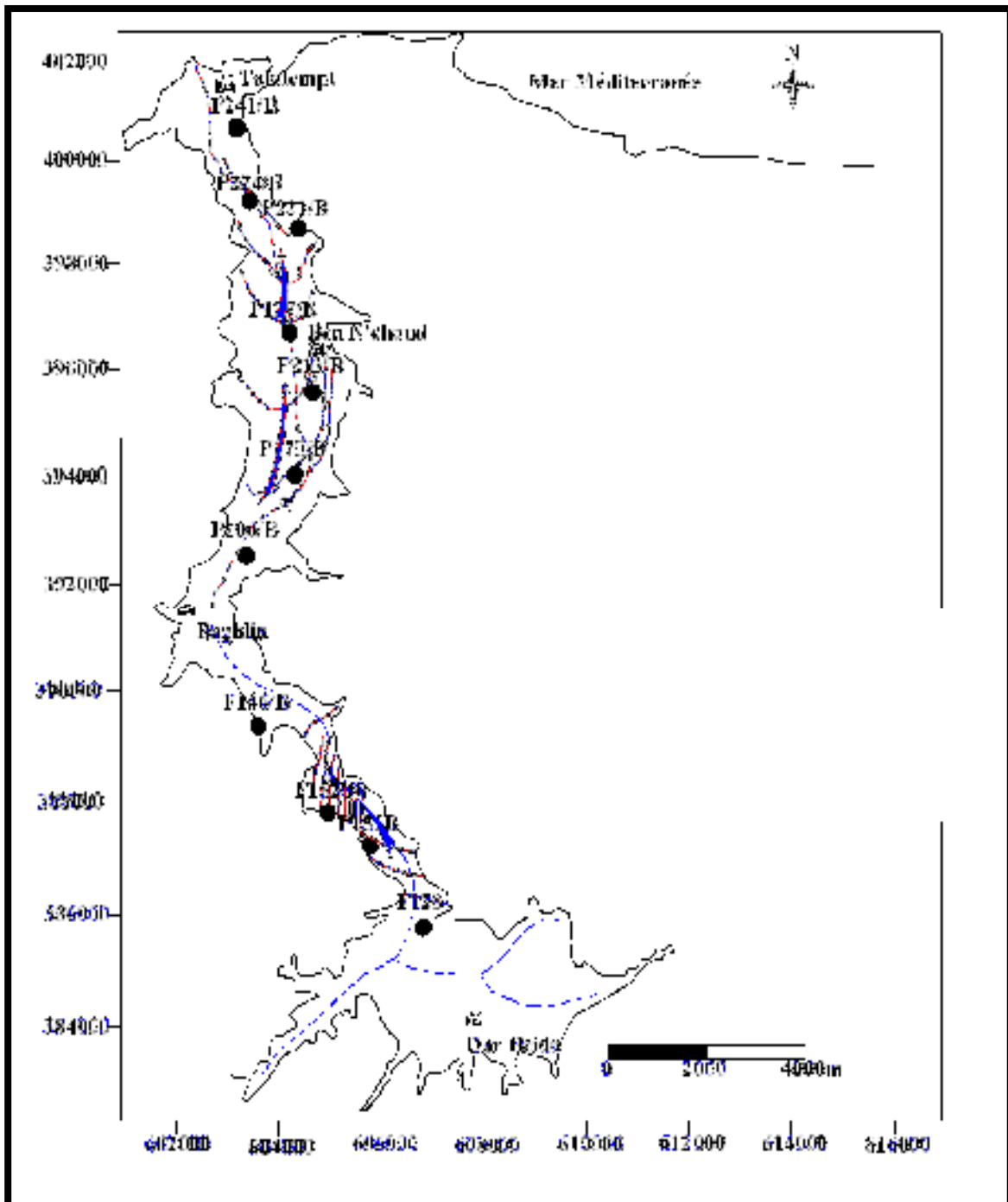


Figure N°5 : Carte piézométrique (Bas Sébaou, basses eaux) Année 2004

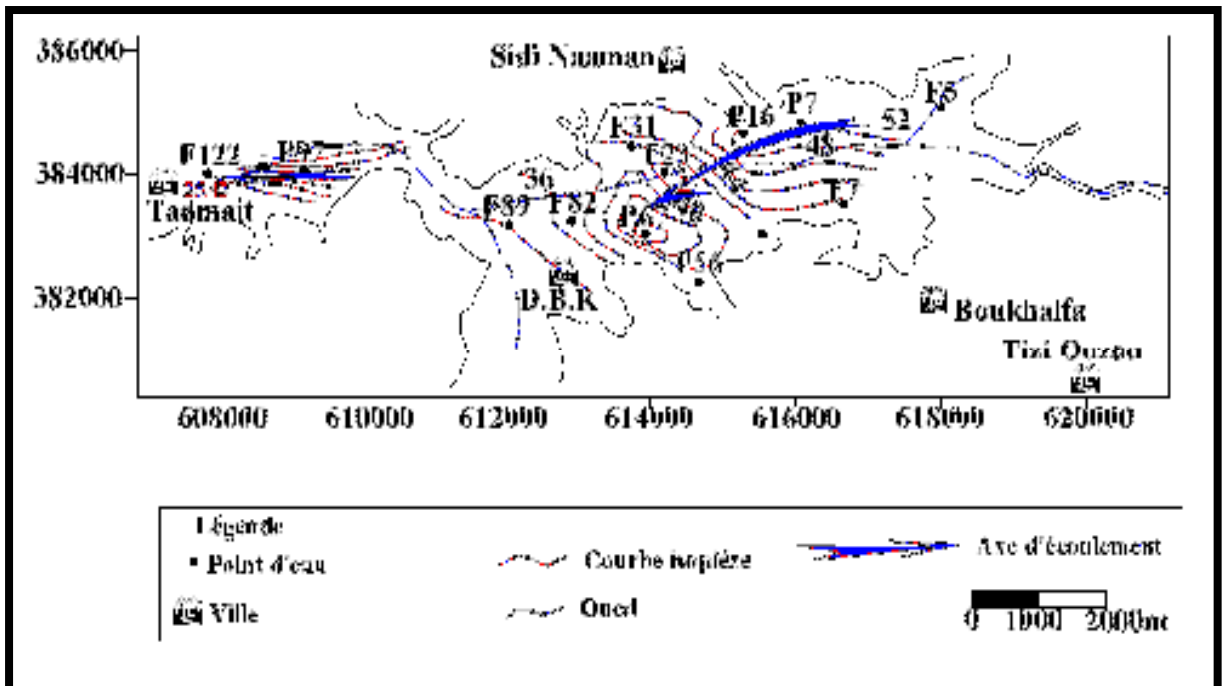
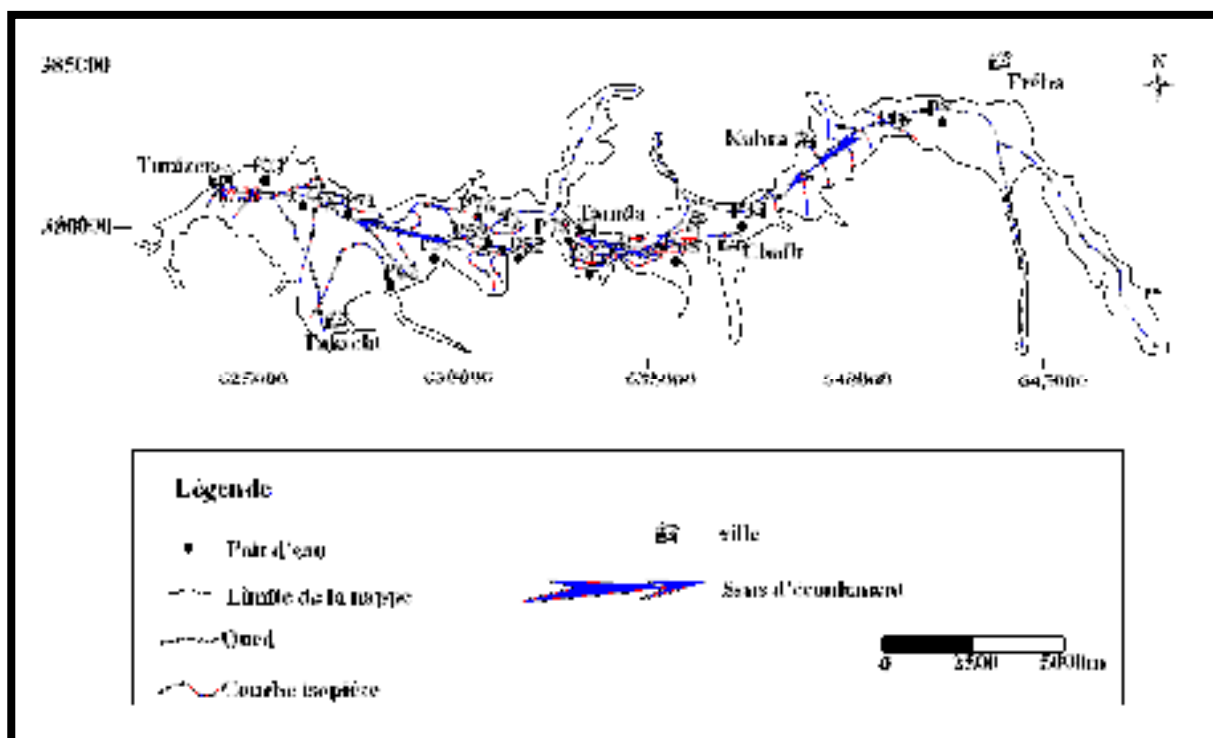


Figure N°6 : Carte piézométrique (Haut Sébaou ,Avril2006)

Figure N°7: Carte piézométrique (Moyen Sébaou ,Avril 2006)



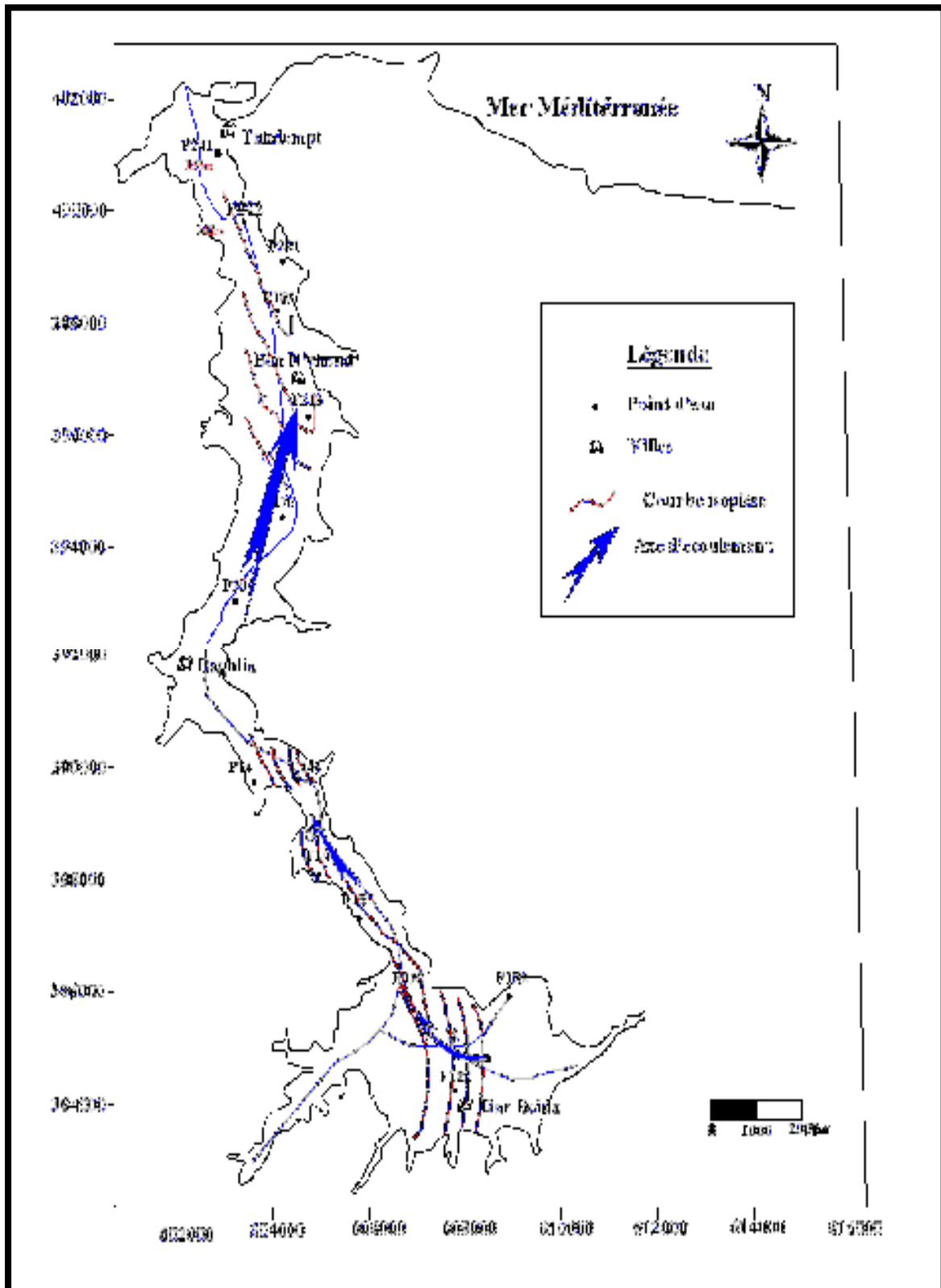
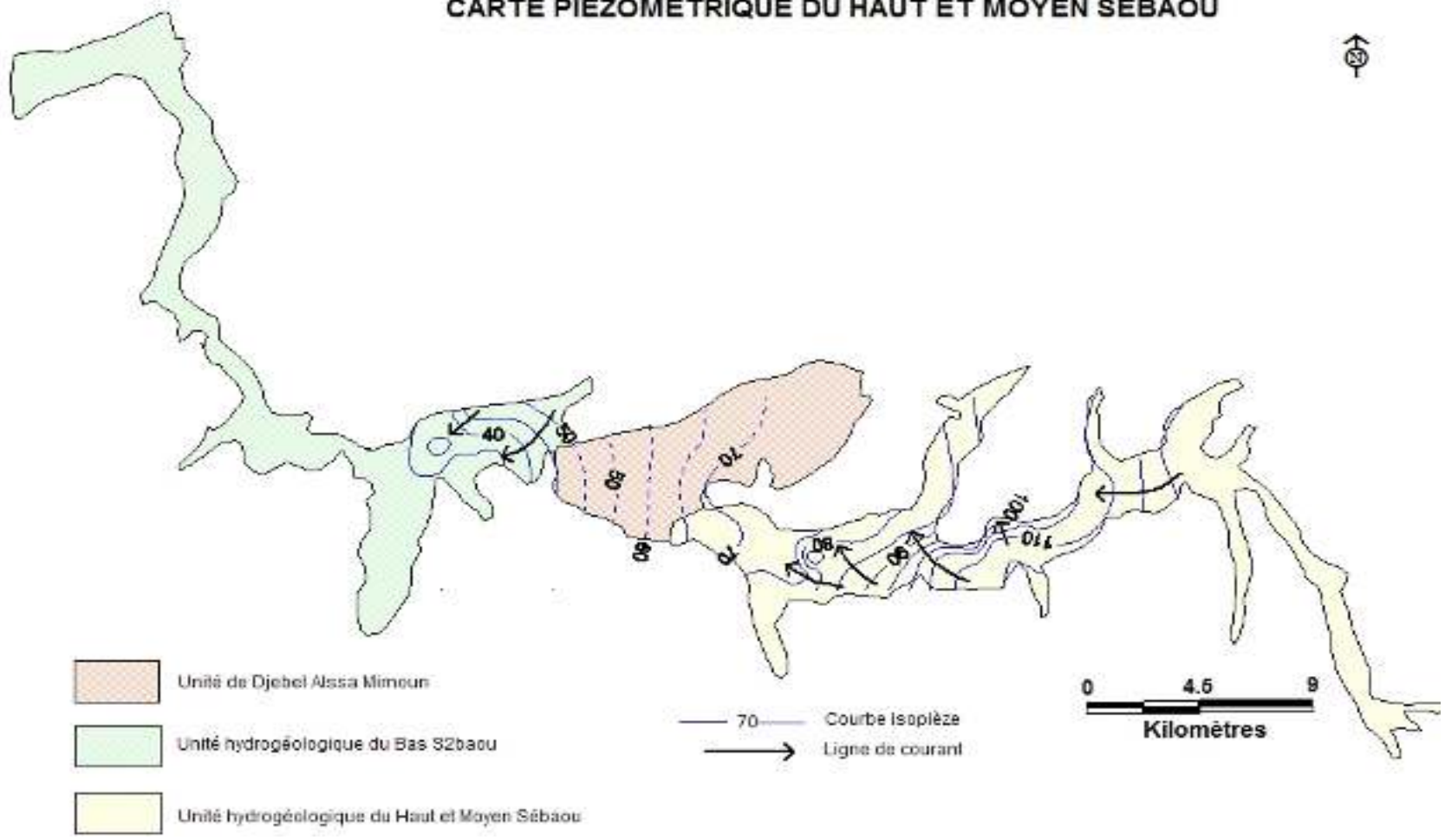


Figure N°8: Carte piézométrique (Bas Sébaou ,Avril 2006)

CARTE PIEZOMETRIQUE DU HAUT ET MOYEN SEBAOU



Cette carte a été réalisée grâce à des données récentes (2008) qui nous ont été fournies par l'ANRH de Tizi Ouzou. On remarque qu'il n'y a pas de changement dans la direction de l'écoulement des eaux souterraines en comparant avec la carte ANRH, réalisée en 2004.

V.3.2- Hydrochimies

L'étude hydrochimique de la nappe du Sébaou a été entreprise afin de mieux comprendre le mécanisme d'alimentation de l'aquifère. La connaissance détaillée de la chimie des eaux de la nappe permettra également de mieux les utiliser en particulier en irrigation et en alimentation en eau potable.

A cet égard, l'ANRH (secteur de Tizi-Ouzou) effectue des prélèvements d'échantillons d'eau en guise de qualification et de contrôle de pollution de l'eau. Dans ce sens, nous signalons que pour notre région d'étude, la campagne d'échantillonnage a été effectuée sur vingt quatre points d'eau répartis sur l'ensemble de la plaine comme suit :

- 14 points d'eau dans le haut Sébaou;
- 10 points d'eau dans le bas Sébaou. (Compagnes des hautes eaux 2006).

Les analyses chimiques ont été effectuées au niveau du laboratoire de la DRC/ANRH de BLIDA, et ont porté principalement sur les éléments majeurs à savoir :

- Cation : Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ .
- Anion : Cl^- , SO_4^- , HCO_3^- , CO_3^- , NO_3^- .

Les résultats de ces analyses sont consignés dans le tableau N° 1 en annexe B.

V.3.2.1- Caractéristiques physico-chimiques des eaux de la nappe alluviale :

L'étude hydro-chimique s'orientera vers deux buts :

Le premier, c'est avoir une idée globale sur la qualité actuelle des eaux de la zone étudiée.

Le second, c'est l'analyse de l'évolution spatiale de chaque élément à travers l'aquifère afin de :

- Distinguer les phénomènes qui influent sur le teneur d'un élément.
- Détecter les zones qui présentent des anomalies en rapport avec la concentration.
- Apprécier les mécanismes des écoulements des eaux souterraines ainsi que leur origine.

Pour s'y faire, on a établie pour chaque élément des cartes d'égale teneur superposée sur un fond géologique et topographique en s'appuyant sur les analyses physico-chimiques effectuées par l'ANRH.

a. La conductivité :

Elle exprime la propriété de l'eau à conduire le courant électrique, donc traduit sa teneur en sels dissous. La conductivité de l'eau est exprimée en $\mu\text{mho}/\text{cm}$ ou mmho/cm . L'appréciation de la conductivité d'une eau permet donc de qualifier sa minéralisation.

Les résultats d'analyses des échantillons d'eau prélevés dans la plaine de Sébaou, montrent des conductivités des eaux oscillant entre 0.38 et 1.77 mmhos/cm en hautes eaux, entre 0.8 et 2.54 mmhos/cm en basses eaux. En générale, toutes les valeurs sont modérées variant entre 0.5 et 1,2 mmho/cm . Exception faite pour les points situés à l'embouchure (P222/B, P218/B,...).

Nous constatons sur les cartes figure n°10 et 11, une augmentation progressive des valeurs de conductivité de l'amont vers aval.

- Dans le haut Sébaou, les fortes valeurs se rencontrent dans les ouvrages F63,

P73 situés entre les régions à fortes agglomérations de Tamda et Timizer.

- Dans le bas Sébaou, c'est au niveau des puits circonscrits dans la région côtière que sont enregistrées les fortes valeurs de conductivités.

Ces fortes valeurs peuvent être expliquées par :

- le lessivage des terrains sédimentaires traversés par l'eau ;
- l'évaporation que subissent les eaux peu profondes de la nappe aquifères en bordure de la vallée, se traduit par une augmentation de la concentration en sels dissouts dans le sens de l'écoulement, les eaux se charge en sel tout au long de leur trajet ;
- des rejets d'eaux usées d'origine domestique et industrielle ;
- des engrais chimiques et pesticides utilisées en agriculture ;
- à l'embouchure de l'oued Sebaou, par le phénomène de l'intrusion marine.

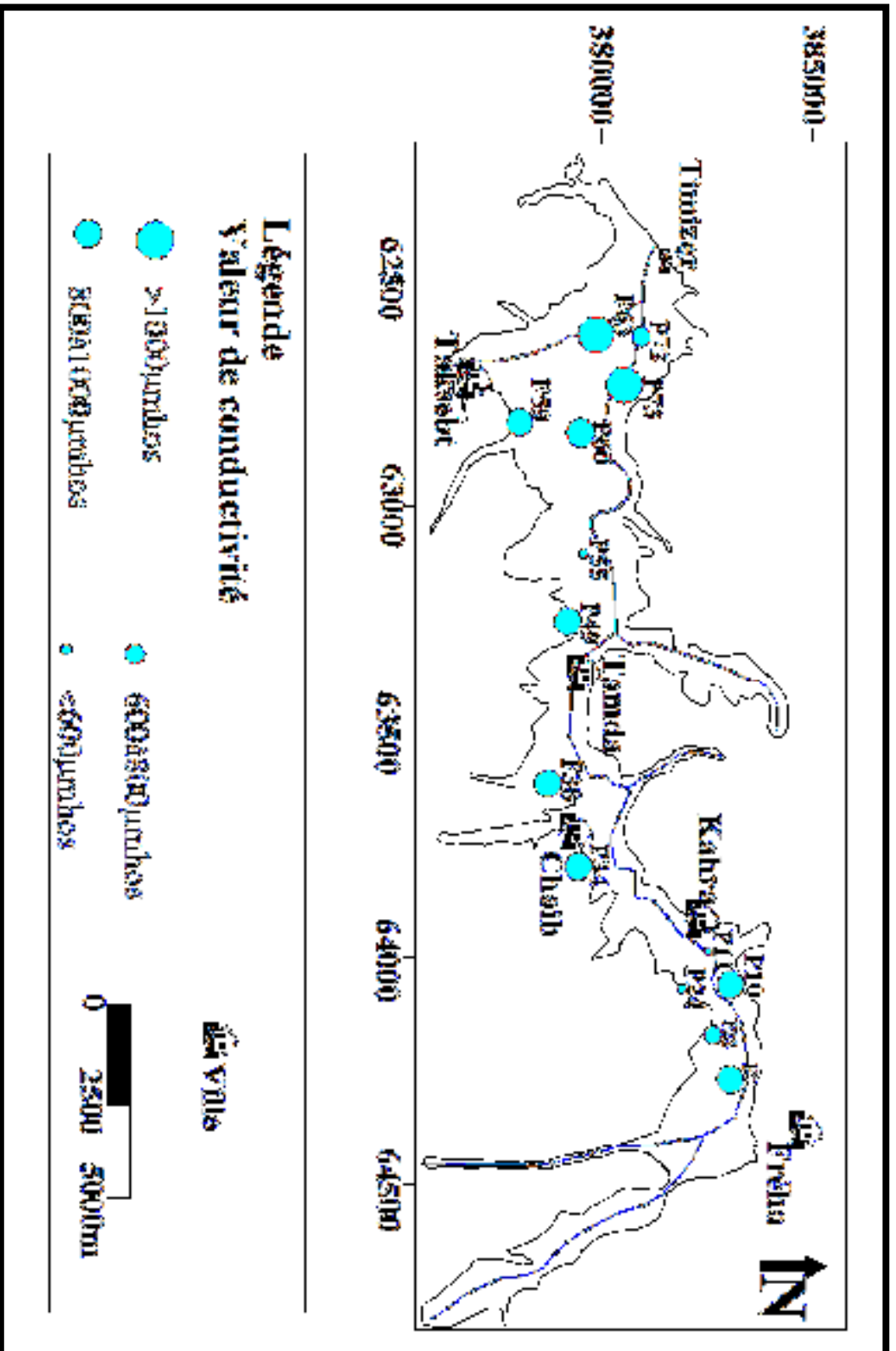


Figure N°10: carte de conductivité (Haut Sébaou ,Avril2006)

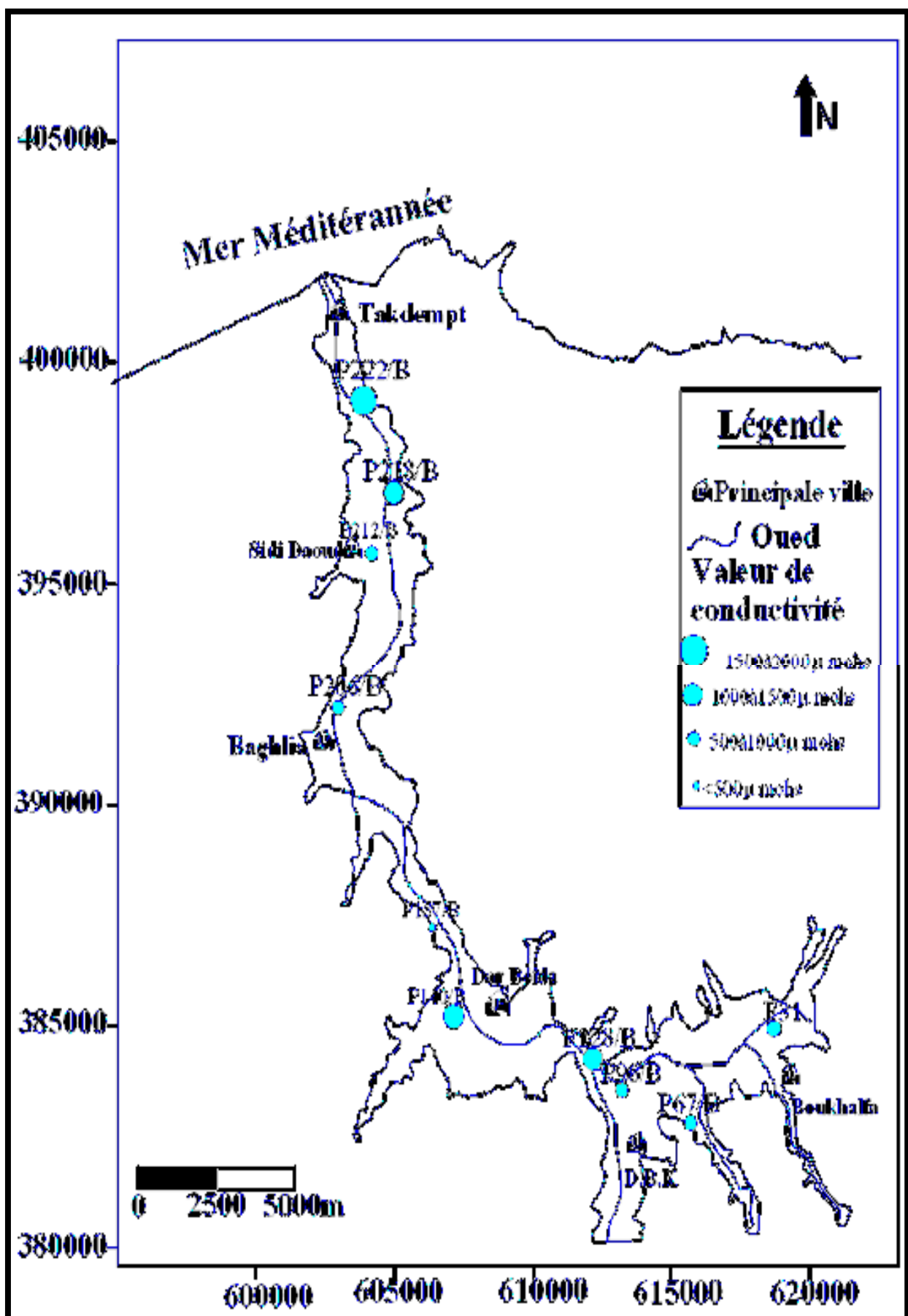


Figure N°11 : Carte de conductivité de la basse vallée du Sébaou (Avril 2006)

b. Degré hydrométrique total des eaux DHT (dureté) :

La potabilité d'une eau est aussi évaluée à l'aide du degré hydrotimétrique qui correspond à la teneur en sel de Ca^{2+} et Mg^{2+} exprimée en degrés français.

$$\text{T.H} = (\text{rCa}^{2+} + \text{rMg}^{2+}) \times 5^\circ\text{F}$$

Pour les eaux de la nappe alluviale du Sébaou le degrés hydrotimétrique varie en hautes eaux de 15 à 62 F°, en basses eaux il varie de 34 à 63 F°, sauf pour le point p231 situé en aval de la nappe dont l'eau présente une dureté de 86 d°F.

Les valeurs de DHT sont consignées dans le tableau en annexe.

Classe de D.H.T (°F)	Dureté de l'eau	Haut Sébaou	Bas Sébaou
<10	Douce	0%	0%
10 à 20	Moyennement douce	14.29%	10%
20 à 35	Dure	50%	50%
>35	Très dure	35.71%	40%

Tableau N°22 : duretés des eaux de la nappe alluviale du Sébaou.

En considérant les normes françaises qui donnent une limite acceptable à 35 d°F et d'après ce tableau nous pouvons noter que la majorité des eaux souterraines de la nappe alluviale du Sébaou sont assez douces à dures (Bouadjel, C, 2007).

Notons que les forages qui se situent à l'aval de la nappe alluviale (Takdempt - Sidi Daoud); tel que P222/B et P218/B; présentent les duretés les plus élevées, ceci est certainement dû à l'avancée du biseau salé dans la nappe côtière.

c. PH mesuré et PH d'équilibre (le potentiel hydrogène)

Le PH d'une solution varie en fonction de la concentration en ion $[\text{H}_3\text{O}^+]$ ou $[\text{H}^+]$ c-a-d Le pH est le cologarithme de la concentration de l'ion H^+ ou H_3O^+ EL permet la connaissance de l'état d'équilibre d'une eau.

$$\text{PH} = \log \frac{1}{[\text{H}_3\text{O}^+]}$$

On remarque que :

- Les valeurs de pH mesuré sont généralement supérieures à 7.0 ;
- La valeur moyenne calculée sur 24 points d'eau est de 7.7 ;
- La valeur minimum est de 7.4 qui correspond au puit P59 située à Taksept ;
- La valeur maximum est de 8.2 qui correspond au puit P222 située à Takdempt ;

Le pH d'équilibre est déduit directement des représentations des analyses sur les diagrammes de Schoeller-Berkaloff tout enjoignant par une droite la teneur de CO_3^{--} et celle de Ca^{++} .

Le tableau suivant est le résultat de la comparaison du pH d'équilibre déduit du diagramme semi-logarithmique de Schoeller-Berkaloff et celui mesuré au laboratoire (Tableau N°V-2).

Catégories d'eau	Catégories d'eau	Haut Sébaou	Bas Sébaou	Vallée de Sébaou
pH < pH _{Éq}	Agressive	7.14%	10%	8.33%
pH > pH _{Éq}	Incrustante	85.71%	90%	87.5%
pH = pH _{Éq}	Neutre	7.14%	0%	4.16%

Tableau N°23 : Tableau du comparaison du PH

pH < pH_{Éq} : dissolution des carbonates de calcium CaCO₃ ;

pH > pH_{Éq} : dépôt des carbonates de calcium CaCO₃ ;

D'après les résultats précédents Les pH d'équilibre sont en majorité inférieurs aux pH mesurés au laboratoire, les eaux de la vallée du Sébaou sont en majorité incrustantes : Elles auront tendance à déposer des carbonates qui ont un effet corrosif sur les réseaux de conduite (Bouadjel, C, 2007).

d. Les Résidus sec :

Le résidu sec représente la totalité des sels dissous et la matière organique et correspond à la minéralisation totale d'une eau. Dans la nappe alluviale du Sébaou le résidu sec varie de 350 à 784mg/l en hautes eaux et de 312 à 1213 mg/l, en basses eaux .

les fortes teneurs sont observées en aval de la nappe alluviale notamment au niveau des points P222/B et F63, qui présentent une forte minéralisation (Figure N°12 et 13). Les résultats d'analyse du bas et haut Sébaou concernant la conductivité et le résidu sec donnent des valeurs presque identiques.

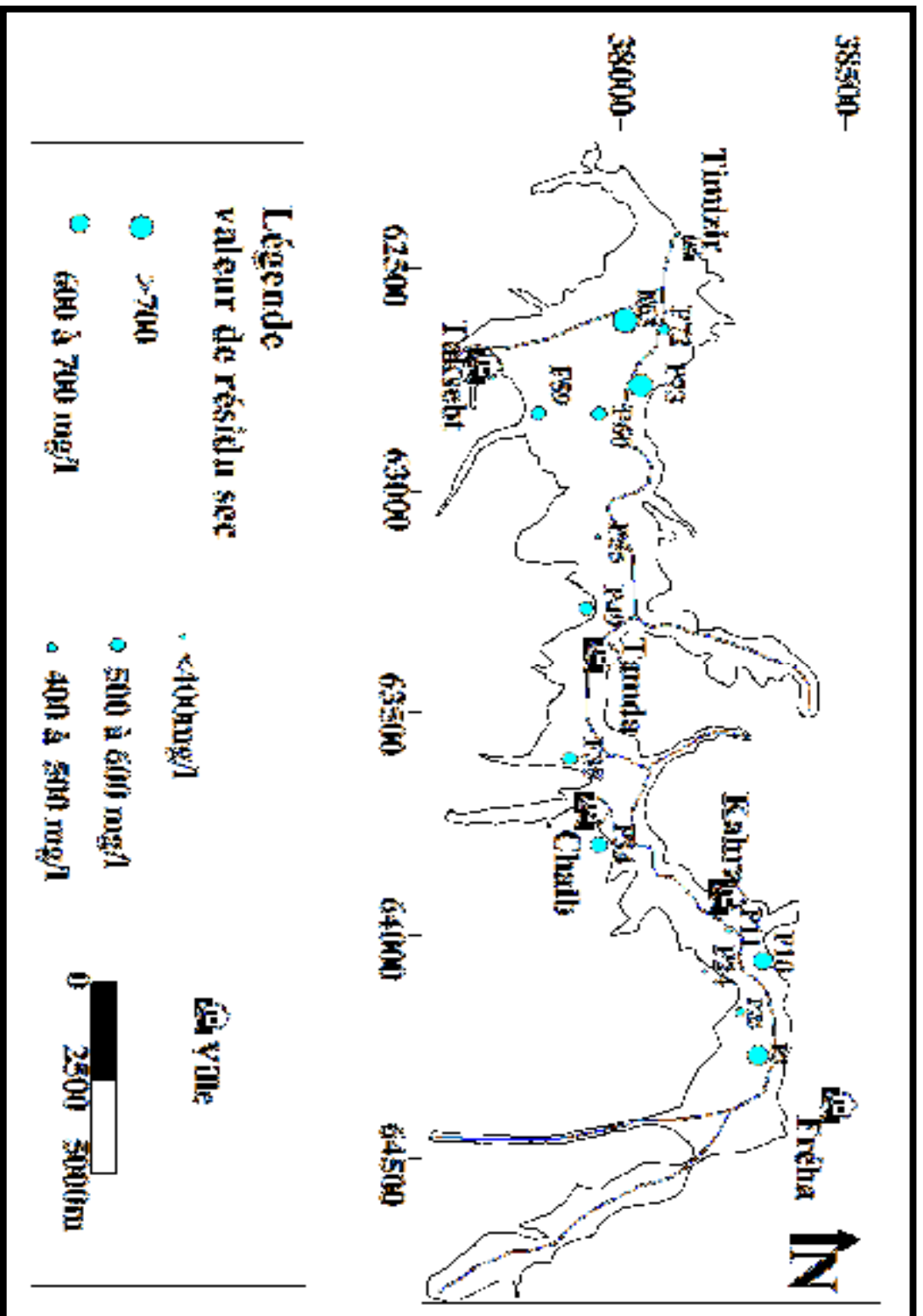


Figure N°12: carte de résidu sec (Haut Sébaou ,Avril2006)

V.3.2.2- Classification des eaux

a. Classification d'après la formule caractéristique

La classification des eaux d'après Stabler consiste en premier lieu à calculer le pourcentage de chaque ion par rapport à la concentration totale en utilisant la formule dite caractéristique définie par Stabler comme suit :

$$r \% = \frac{100}{C} \times r$$

$r\%$: pourcentage de chaque élément par rapport à la concentration total

C : concentration totale

r : concentration de l'élément considéré

L'étape suivante consiste à classer séparément les anions et les cations par ordre décroissant de leur teneur de gauche à droite. Les résultats obtenus; mentionnés dans le tableau en annexe permettent de distinguer les différents faciès chimiques des eaux de la nappe du Sébaou.

N° de forage	Formule caractéristique	Faciès des eaux
P73 P72	$rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$ $rCa > r(Na + K) > rMg$	Bicarbonaté calcique
P11 P22 P24 P55 P60 F59 F63	$rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl + NO_3)$ $rCa > rMg > r(Na + K)$	Bicarbonaté calcique
P10	$rHCO_3 > r(Cl + NO_3) > rSO_4$ $rCa > rMg > r(Na+K)$	Bicarbonaté calcique
P49	$rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+ NO_3)$ $rMg > rCa > r(Na+K)$	Bicarbonaté magnésien
P72	$rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+ NO_3)$ $r(Na + K) > rCa > rMg$	Bicarbonaté sodique
P34	$rSO_4 > r(Cl + NO_3) > rHCO_3$ $rCa > r(Na+K) > rMg$	Sulfaté calcique
F38	$rSO_4 > r(Cl + NO_3) > rHCO_3$ $rCa > rMg > r(Na + K)$	Sulfaté calcique
P7	$rSO_4 > rHCO_3 > r(Cl + NO_3)$ $rMg > rCa > r(Na + K)$	Sulfaté magnésien

Tableau N°24 : Classification des eaux de la haute vallée du Sébaou selon les formules caractéristiques de Stabler

N°de forage	Formule caractéristique	Faciès des eaux
F31/B P157/B	$rHco_3 > rSo_4 > r(Cl + NO_3)$ $rCa > rMg > r(Na + K)$	Bicarbonaté calcique
P96/ B P14	$rHco_3 > r(Cl + NO_3) > rSo_4$ $rCa > r(Na + K) > rMg$	
F128/B	$rHco_3 > rSo_4 > r(Cl + NO_3)$ $rCa > r(Na + K) > rMg$	
P2 12/ B	$rHco_3 > r(Cl + NO_3) > rSo_4$ $rCa > rMg > r(Na + K)$	
P67/B	$rHco_3 > r(Cl + NO_3) > rSo_4$ $r(Na + K) > rMg > rCa$	Bicarbonaté sodique
P206/B	$rSo_4 > r(Cl + NO_3) > rHco_3$ $rCa > r(Na + K) > rMg$	Sulfaté calcique
P222/B	$r(Cl + NO_3) > rSo_4 > rHco_3$ $rCa > rMg > r(Na + K)$	Chloruré calcique

Tableau°25: Classification des eaux de la basse vallée du Sébaou selon les formules caractéristiques Stabler

D'après cette classification, on distingue trois (3) types de faciès chimiques :

- *Le faciès bicarbonaté* : qui est le plus répandu. Les bicarbonates ont une origine géologique, ils se forment par l'intermédiaire du CO_2 contenu dans les eaux d'infiltration qui dissout les carbonates. Ce faciès caractérise les points d'eau situés dans les zones où l'alimentation se fait par infiltration directe notamment dans les régions de D.B.K, Sidi Namane et Dar Beida ;

- *Le faciès sulfaté* : Il caractérise les points d'eau P34, F38 et P7 situés dans la région de Chaib à Tamda ;

Le faciès chloruré : se rencontre dans le puits P222/B situé à Takdempt; dans la nappe côtière du bas Sébaou. Ce puits est caractérisé par une teneur anormalement élevée en chlorures qui reflète certainement l'influence des eaux saumâtres sur les eaux de la basse vallée de Sébaou (problème d'intrusion marin)

PARTIE 3

CHAPITRE II :

APPLICATION DE LA METHODE DRIST (DRASTIC AMELIOREE)

II.1 Introduction

Dans cette partie, nous appliquons la méthode DRIST (DRASTIC améliorée). C'est une méthode qui a été appliquée en 2003 par Sinan et Al en 2003 dans le bassin du Haouz de Marrakech au Maroc, en supprimant certains paramètres que fait intervenir la méthode DRASTIC universellement connue et appliquée dans différentes régions du monde. Elle fait partie du groupe des méthodes d'évaluation (de la vulnérabilité des aquifères) pondérées, basées sur l'attribution d'une notation aux différents paramètres utilisés (variant généralement entre 1 et 10) et leurs groupement dans des classes différentes. Une pondération est également attribuée selon l'importance relative de chacun des paramètres utilisés.

L'application de cette méthode a nécessité l'utilisation d'un SIG (Système d'information géographique), donc mise en place d'une base de données, avec les logiciels Surfer et Mapinfo 7.5.

II.2- Présentation de la méthodologie proposée pour l'évaluation de la vulnérabilité a la pollution d'une nappe d'eau souterraine

Contrairement à la méthode DRASTIC qui fait intervenir les paramètres relatifs à la fois à la recharge, à la zone non saturée et saturée d'un aquifère, la méthodologie que nous proposons ici est basée sur les seuls paramètres relatifs à la recharge, au sol (pente et nature lithologique) et à la zone non saturée (nature et épaisseur). En effet, nous considérons que seuls ces paramètres interviennent dans la transmission de la pollution vers la nappe à partir de la surface du sol.

Les mêmes poids, notes et classes que celles définis par la méthode DRASTIC, ont été attribués (dans la méthode proposée) aux paramètres utilisés. L'indice de vulnérabilité vertical I_v est calculé en faisant la somme des produits : note et poids de chaque paramètre pris en compte :

$$\text{Avec: } I_v = (R_r \times R_w) + (T_r \times T_w) + (S_r \times S_w) + (I_r \times I_w) + (D_r \times D_w)$$

R,T,S,I,D : représentent respectivement les paramètres pris en compte: recharge, pente du sol, nature du sol, nature de la zone non saturée et profondeur de la surface de la nappe.

r et w : représentent respectivement le poids et la note attribués à chaque paramètre pris en compte.

L'indice I_v peut varier entre les valeurs extrêmes suivantes: 27 (I_v minimum) et 166 (I_v maximum).

Cinq classes de vulnérabilité différentes ont été définies (M. Sinan et al; 2003). Selon la valeur de l'indice I_v ; leurs limites s'établissent comme suit:

- $27 < I_v \leq 50$: Très faible vulnérabilité (couleur bleue)
- $50 < I_v \leq 80$: Faible vulnérabilité (couleur verte)
- $80 < I_v \leq 110$: Moyenne vulnérabilité (couleur jaune)
- $110 < I_v \leq 140$: Forte vulnérabilité (couleur orange)
- $140 < I_v \leq 166$: Très forte vulnérabilité (couleur rouge)

II.3- Présentation de la méthodologie proposée pour l'évaluation de la sensibilité à la pollution d'une nappe d'eau souterraine

La sensibilité d'une nappe à la pollution est une notion non mesurable dépendant des paramètres propres de la nappe, car elle est définie par rapport à une pollution qui a déjà atteint la nappe, à partir de la non saturée ou d'un ouvrage d'eau souterraine (puits, forage, etc).

Nous avons utilisé les trois paramètres suivants pour caractériser cette sensibilité à la pollution des nappes :

- *Qualité de l'eau* : plus cette qualité est importante, plus grande est la sensibilité à la pollution de la nappe;
- *Productivité* : plus la productivité est importante, plus grandes seront les conséquences socio-économiques de la pollution de l'eau;
- *Vitesse de déplacement de l'eau* : plus la vitesse est grande, plus vite se fera-le déplacement de la pollution dans l'espace et donc la sensibilité à la pollution devient importante.

Une pondération a été attribuée à chacun des paramètres ci-dessus, basée essentiellement sur l'importance relative de chacun d'eux pour la caractérisation de la sensibilité d'une nappe à la pollution. Ces poids sont de 5 pour la qualité globale de l'eau (étant donné l'importance de ce paramètre, notamment pour une eau destinée à l'alimentation en eau potable), 4 pour la productivité et 3 (identique au poids attribué par la méthode DRASTIC à la perméabilité de la nappe) pour la vitesse de l'eau de la nappe.

II.3.1- Vitesse de l'eau souterraine (Ve)

$$Ve \text{ (m/s)} = K \cdot i / ne$$

Avec : K = coefficient de perméabilité de Darcy en m/s.

- i = gradient hydraulique calculé à partir de la carte piézométrique de la nappe.

- ne = porosité efficace de la nappe (vides occupés par l'eau gravitaire), équivalente au coefficient d'emmagasinement (S) des nappes libres.

Cinq classes de vitesse ont été définies auxquelles les notes suivantes ont été attribuées :

Classe de vitesse effective (Ve) de l'eau souterraine en E-4 m/s Note.

$Ve \geq 5$	10
$3 \leq Ve < 4$	7
$2 \leq Ve < 3$	5
$1 \leq Ve < 2$	3
$Ve < 1$	1

II.3.2- Qualité globale des eaux souterraines

Cette qualité devra être représentée par la potabilité de l'eau. En l'absence de mesures de ce paramètre (dont l'obtention est assez coûteuse) sur l'ensemble de l'étendue de la nappe, cette qualité peut être représentée par la conductivité électrique de l'eau, qui dépend uniquement de la concentration totale en sels dissous dans l'eau, dont la mesure est très facile.

Cinq classes de conductivité ont été définies auxquelles les notes suivantes ont été attribuées:

Classe de conductivité (C) de l'eau souterraine en $\mu\text{s/cm}$ Note.

$C < 400$	10
$400 \leq C < 1\ 300$	8
$1\ 300 \leq C < 2\ 700$	5
$2\ 700 \leq C < 3\ 000$	3
$C \geq 3\ 000$	1

II.3.3- Productivité de la nappe

Cette productivité peut être représentée par la transmissivité, par le débit des ouvrages ou par leurs débits spécifiques. Nous optons pour ce dernier paramètre, en raison d'une part de la disponibilité (généralement) de ses valeurs et d'autre part parce qu'il prend en compte la productivité du couple. Nappe + ouvrage, qui reflète mieux la réalité du terrain.

Cinq classes de débit-spécifique ont été définies, auxquelles les notes suivantes ont été attribuées (Sinan et Al, 2003) :

Classe des débits spécifiques (Q/s en l/s/m) des ouvrages captant la nappe note :

$Q/s \geq 5.0$	10
$2.0 \leq Q/s < 5.0$	7
$0.5 \leq Q/s < 2.0$	5
$0.0 \leq Q/s < 0.5$	3
$Q/s = 0.0$	0

Une fois les différentes classes définies et leurs notes attribuées, on calcule l'indice de sensibilité de la nappe à la pollution (I_s) en faisant la somme des produits de la note de chaque paramètre utilisé et de son poids:

$$I_s = (C_r \times C_w) + (P_r \times P_w) + (V_r \times V_w)$$

Avec:

C : conductivité de l'eau

P : productivité de la nappe (ou débits spécifiques des ouvrages la captant)

V : vitesse de déplacement de l'eau dans la nappe.

r et w : représentent respectivement le poids et la note attribués à chaque paramètre ci-dessus.

Les valeurs de l'indice I_s varient entre 20 (I_s minimal) et 120 (I_s maximal).

L'établissement de la carte de sensibilité d'une nappe à la pollution consiste à calculer et à reporter la répartition spatiale des valeurs de l'indice I_s ci-dessus et leur groupement dans cinq classes différentes (Sinan, et Al, 2003).

$20 < I_s \leq 40$:	Très faible sensibilité (couleur bleue)
$40 < I_s \leq 60$:	Faible sensibilité (couleur verte)
$60 < I_s \leq 80$:	Moyenne sensibilité (couleur jaune)
$80 < I_s \leq 100$:	Forte sensibilité (couleur orange)
$100 < I_s \leq 120$:	Très forte sensibilité (couleur rouge)

II.4- Présentation de la méthodologie proposée pour l'évaluation de la vulnérabilité-sensibilité à la pollution d'une nappe aquifère.

La vulnérabilité-sensibilité (ou vulnérabilité globale) à la pollution d'une nappe est une notion qui intègre à la fois:

- la facilité avec laquelle la pollution peut transiter à travers le sol et la zone non saturée pour atteindre la surface de la nappe (ou vulnérabilité verticale).
- la vitesse de propagation horizontale de cette pollution dans la zone saturée et les conséquences socio-économiques engendrées par cette pollution des ressources en eau (ou sensibilité) de la nappe.

C'est donc une notion qui n'est pas mesurable et qui dépend à la fois des paramètres relatifs à la recharge, au sol, à la zone non saturée et à la zone saturée de l'aquifère (Sinan,et Al,2003).

L'obtention de l'indice (Ivs), de vulnérabilité- sensibilité à la pollution d'une nappe, se fait en faisant une simple sommation (à chaque point de la nappe) de la valeur de l'indice Iv de la vulnérabilité et de celle de l'indice Is de la sensibilité à la pollution. Cet indice Ivs peut donc varier entre 47 (Ivs minimum) et 286 (Ivs maximum).

Les valeurs obtenues de l'indice Ivs sont réparties dans 5 classes différentes, comme ci-dessous:

47 < Ivs ≤ 90 : Très faible vulnérabilité-sensibilité (couleur bleue)

90 < Ivs ≤ 140 : Faible vulnérabilité- sensibilité (couleur verte)

140 < Ivs ≤ 190 : Moyenne vulnérabilité-sensibilité (couleur jaune)

190 < Ivs ≤ 240 : Forte vulnérabilité-sensibilité (couleur orange)

240 < Ivs ≤ 286 : Très forte vulnérabilité-sensibilité (couleur rouge)

II.5- Application de la méthodologie développée à la nappe alluviale du haut sebaou

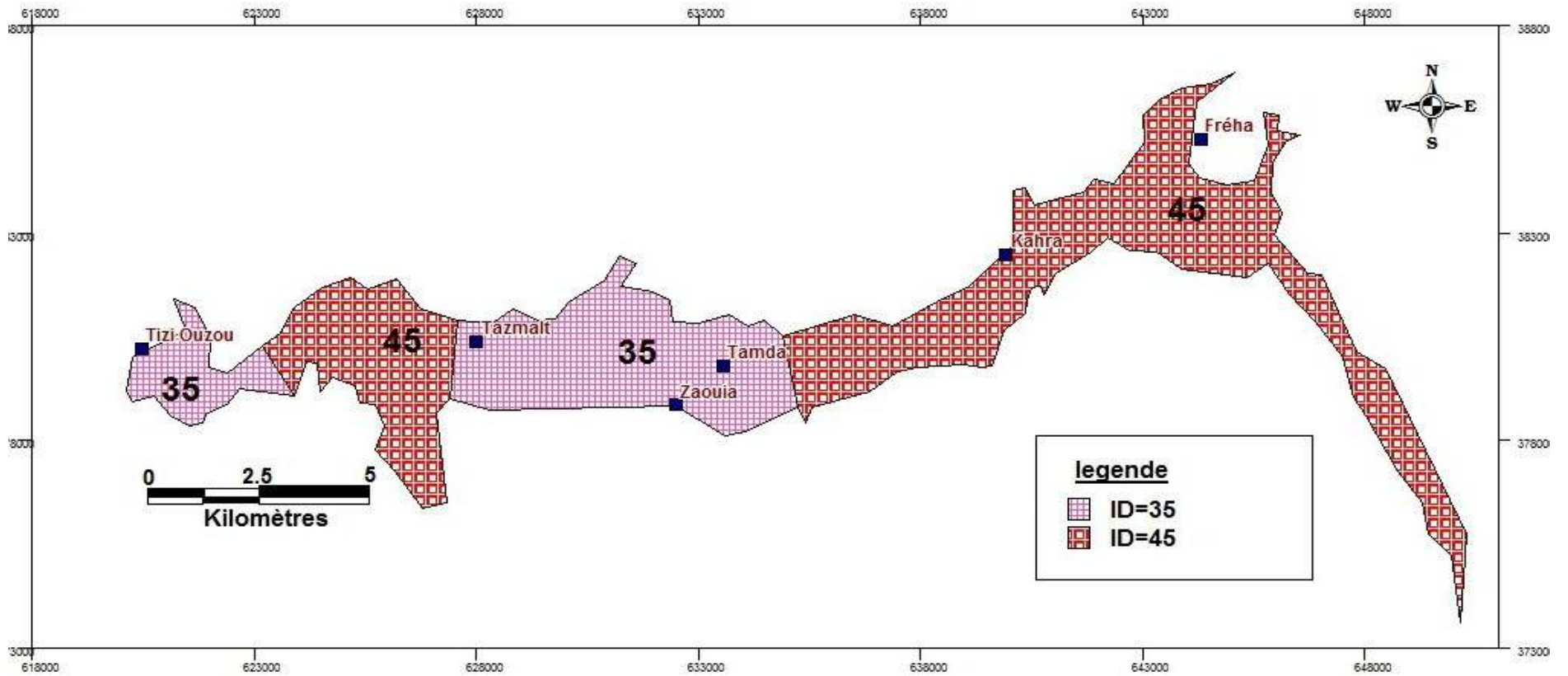
II.5.1- Présentation de la carte de vulnérabilité verticale à la pollution de la nappe du haut sebaou

Après avoir établie les cartes des indices partiels qui englobent les paramètres suivants :

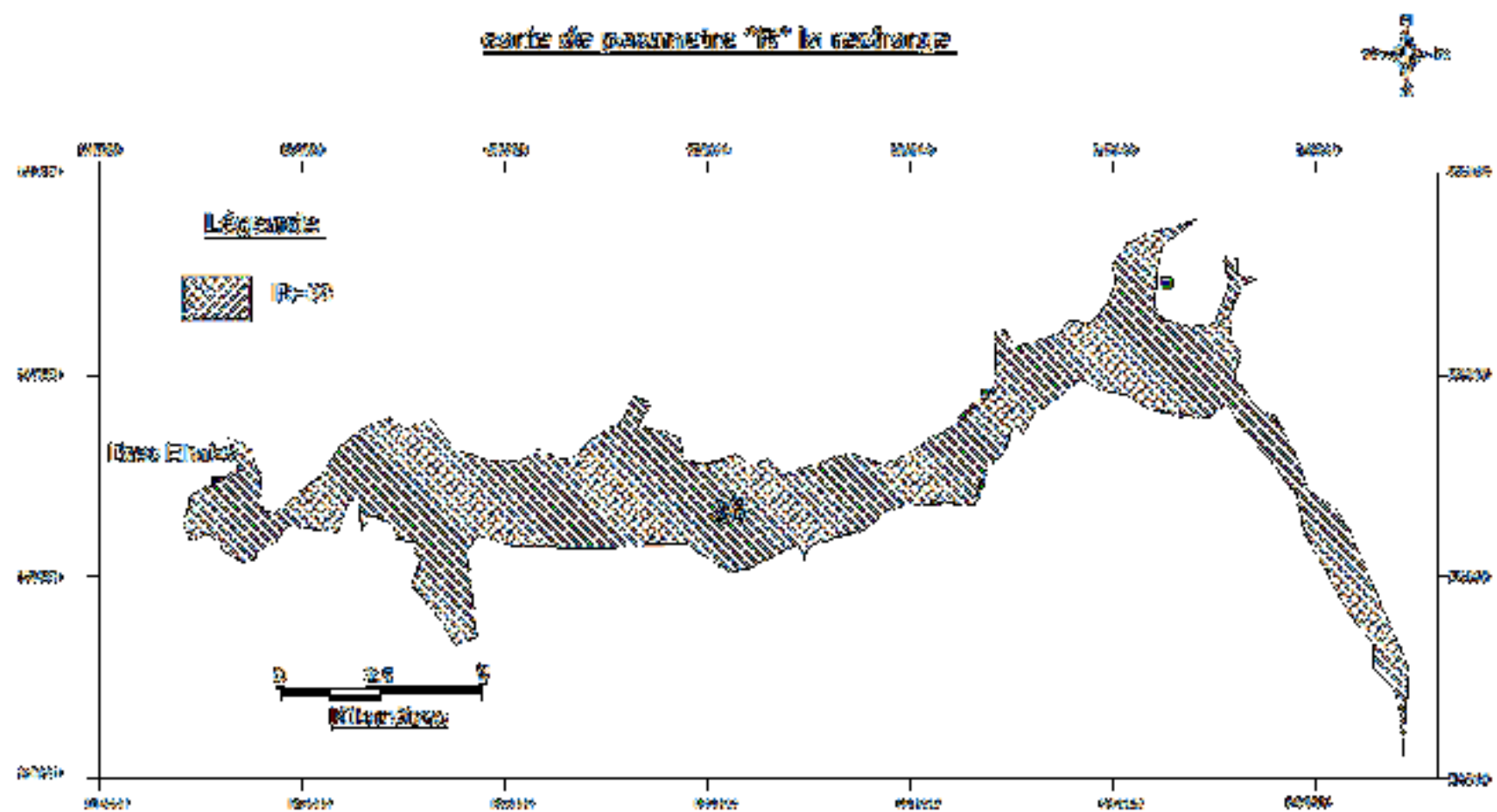
- La profondeur de la nappe ; (Figure n°52)
- La recharge nette ; (Figure n°53)
- La zone non saturée. (Figure n°54)
- Le type de sol ; (Figure n°55)
- La topographie ; (Figure n°56)

L'assemblage par superposition des 5 cartes paramétriques obtenues, nous a permis d'élaborer la carte de vulnérabilité verticale, à l'aide du logiciel Mapinfo 7.5

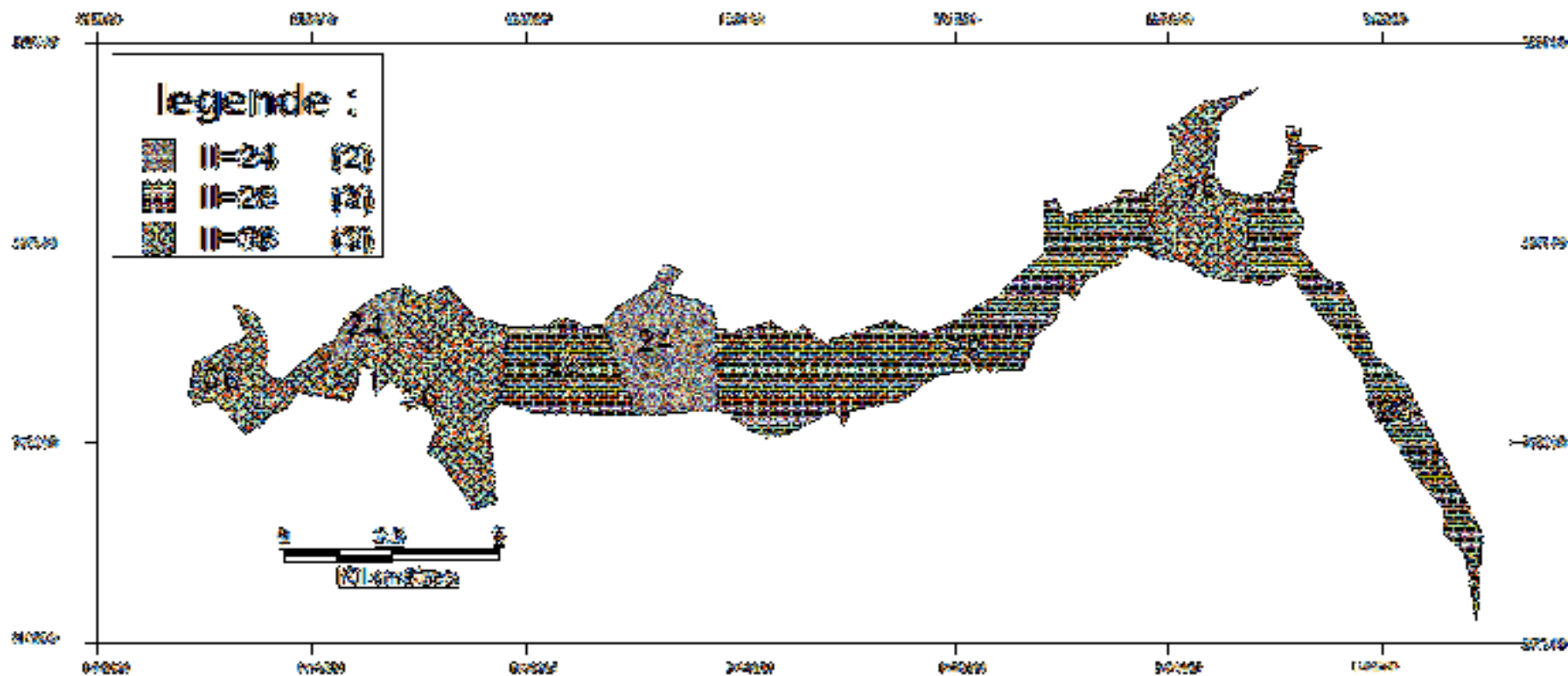
CARTE DE PARAMETRE "D" RELATIVE A LA PROFONDEUR DE LA NAPPE

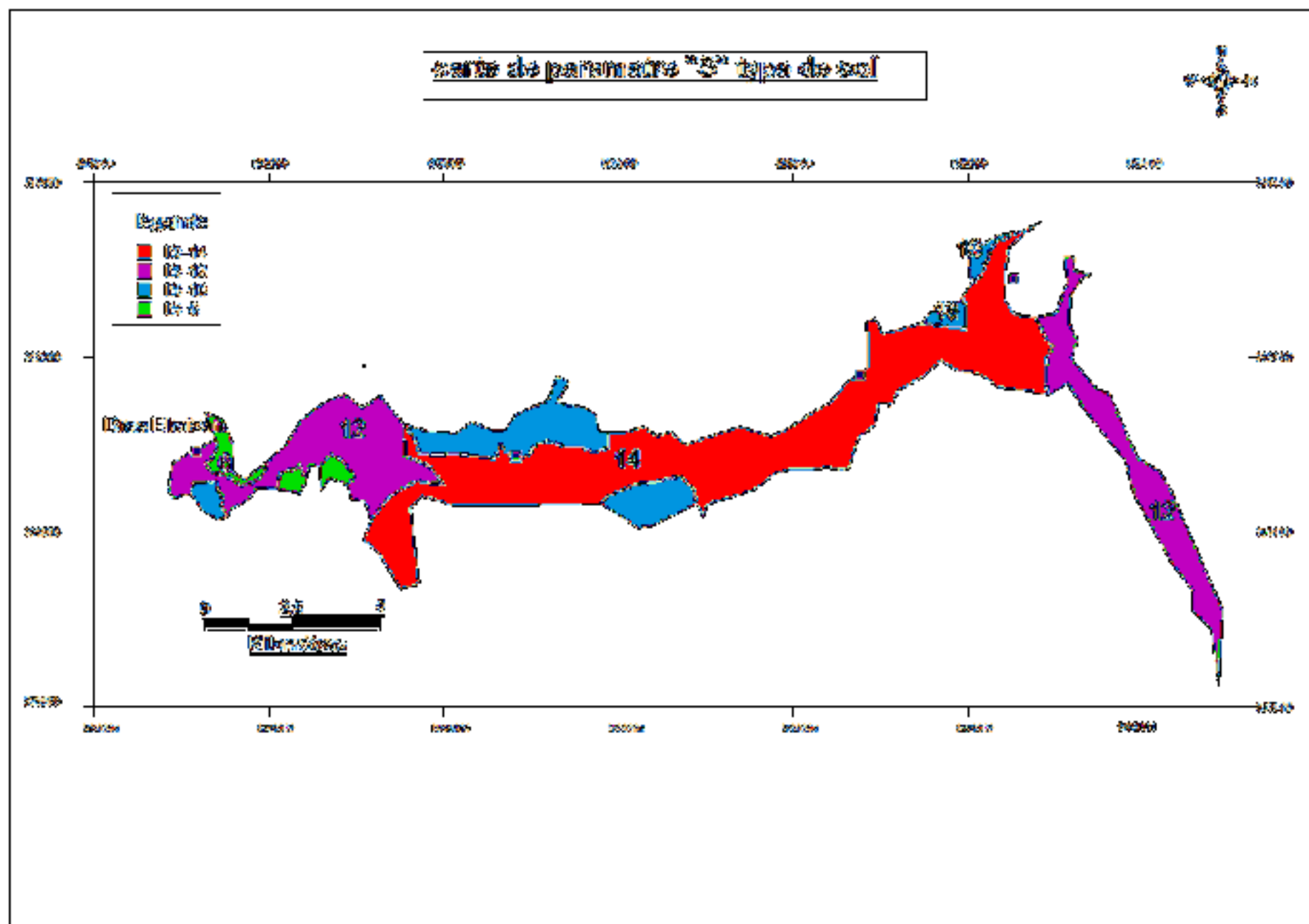


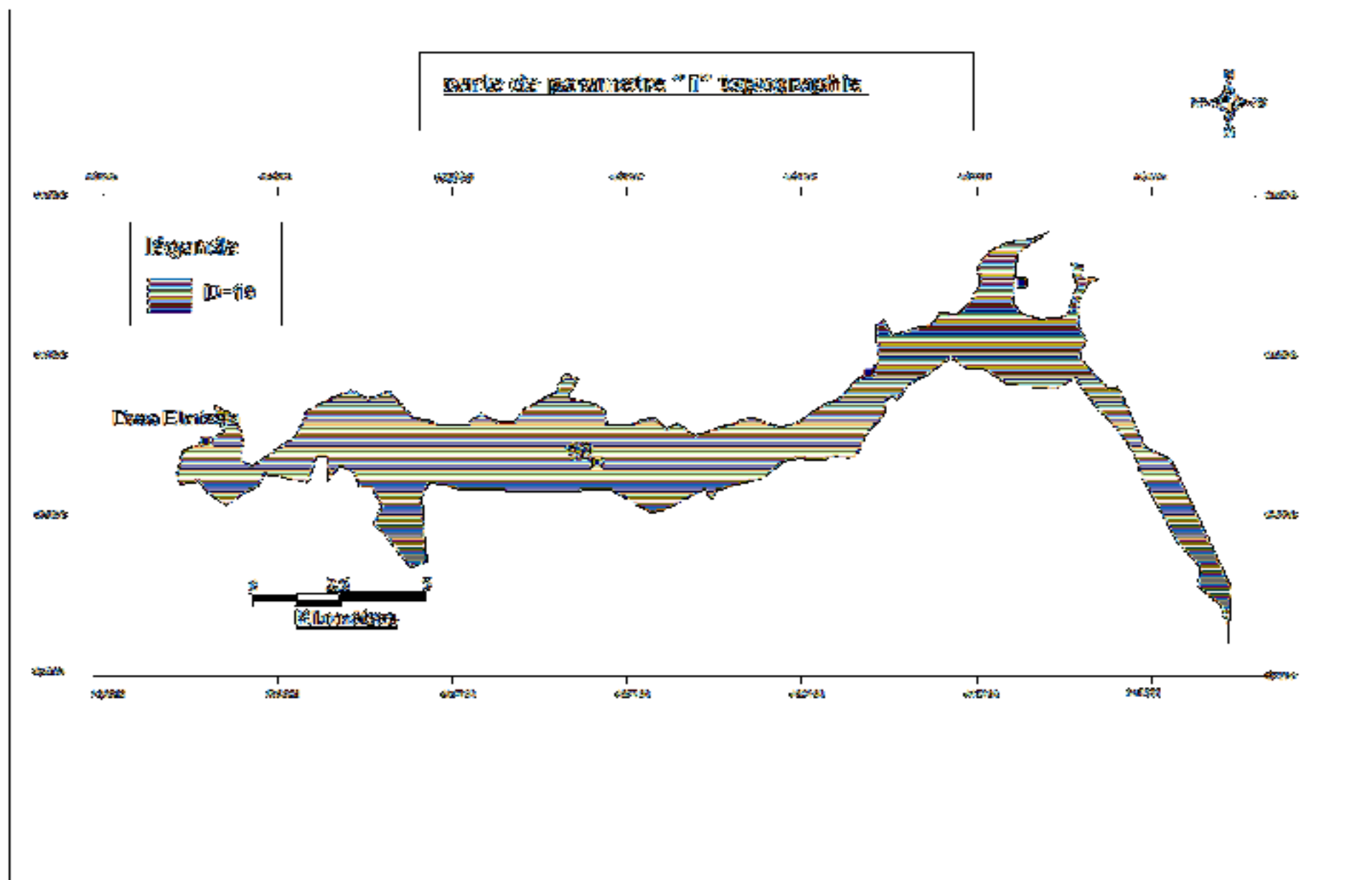
carte de répartition "IS" la méditerranée



carte de parametre "l" relative a la zone non sature



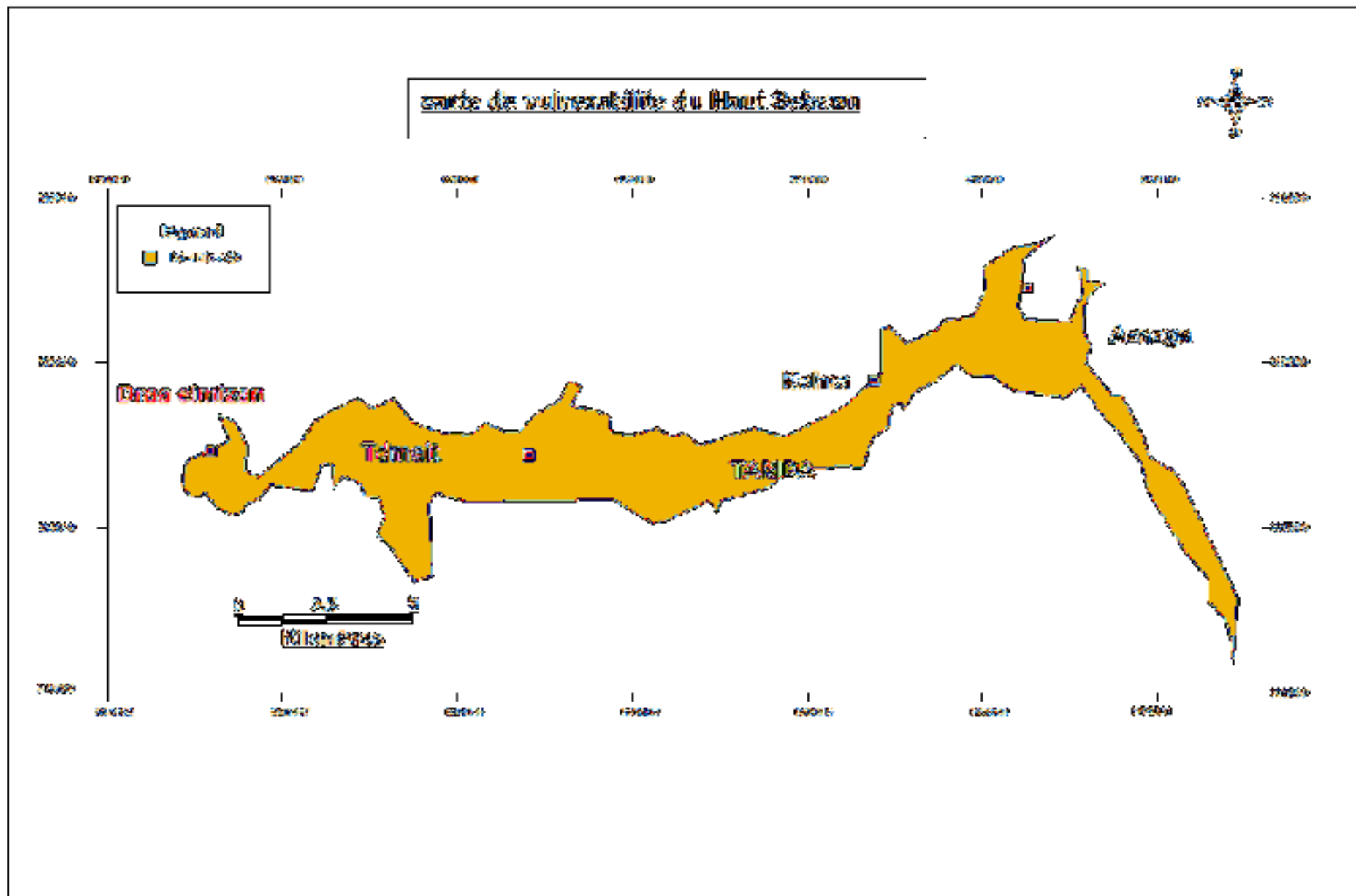




Les normes de la classification de la vulnérabilité par la méthode DRIST et les couleurs attribuées sont les suivantes :

- $27 < Iv \leq 50$: Très faible vulnérabilité (couleur bleue).
- $50 < Iv \leq 80$: Faible vulnérabilité (couleur verte).
- $80 < Iv \leq 110$: Moyenne vulnérabilité (couleur jaune).
- $110 < Iv \leq 140$: Forte vulnérabilité (couleur orange).
- $140 < Iv \leq 166$: Très forte vulnérabilité (couleur rouge).

Les valeurs de l'indice de vulnérabilité (Iv) (Figure n°57) de la nappe du Haut Sebaou varient de 115 à 140. Ces valeurs permettent de distinguer une zone de vulnérabilité. La vulnérabilité de la nappe à la pollution est globalement à forte vulnérabilité.



II.5.2- Caractérisation de la sensibilité à la pollution de l'aquifère du Haut Sebaou

II.5.2.1- Préparation des données

Les cartes des paramètres pris en compte, pour l'élaboration de la carte de sensibilité à la pollution de la nappe sont la qualité de l'eau, vitesse des écoulements souterrains et productivité de la nappe.

► Vitesse des écoulements souterrains :

Nous distinguons sur la carte (Figure n°58) deux (2) zones distinctes :

- une zone à l'extrême Ouest et la région de Tamda dont on attribue un indice $IV=15$
- la deuxième zone englobant la région de Tizi Ouzou, Tadmait, Friha et Azazga avec un indice $IV=30$.

► Qualité de l'eau :

Pour l'établissement de la carte de la qualité de l'eau, nous avons utilisé les valeurs de la conductivité électrique, donnée obtenue à partir de l'étude pédologique réalisée par le service pédologique de l'ANRH d'Alger en 2006.

Les valeurs de la conductivité relevées dans notre région d'étude varient entre $116\mu\text{s}/\text{cm}$ et $250\mu\text{s}/\text{cm}$ ou même $< 400\mu\text{s}/\text{cm}$ donc on attribue un indice de $IC=50$ pour toute la région.

De ce fait nous obtenons une carte caractérisée par une seule plage de couleur rose (figure n°59).

► La productivité

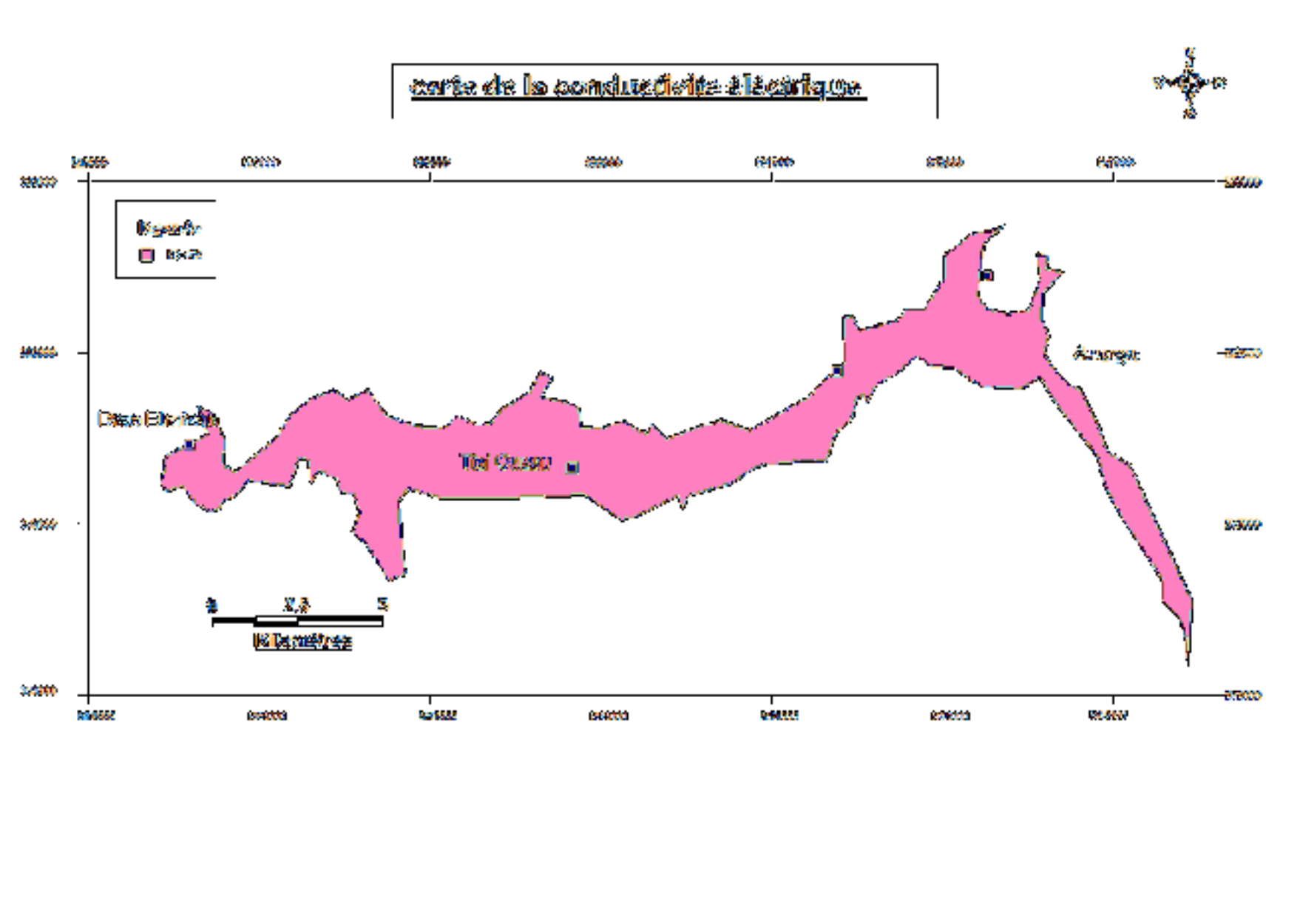
Pour établir la carte de productivité (Figure n°60), on a utilisé le débit spécifique, la seule donnée disponible.

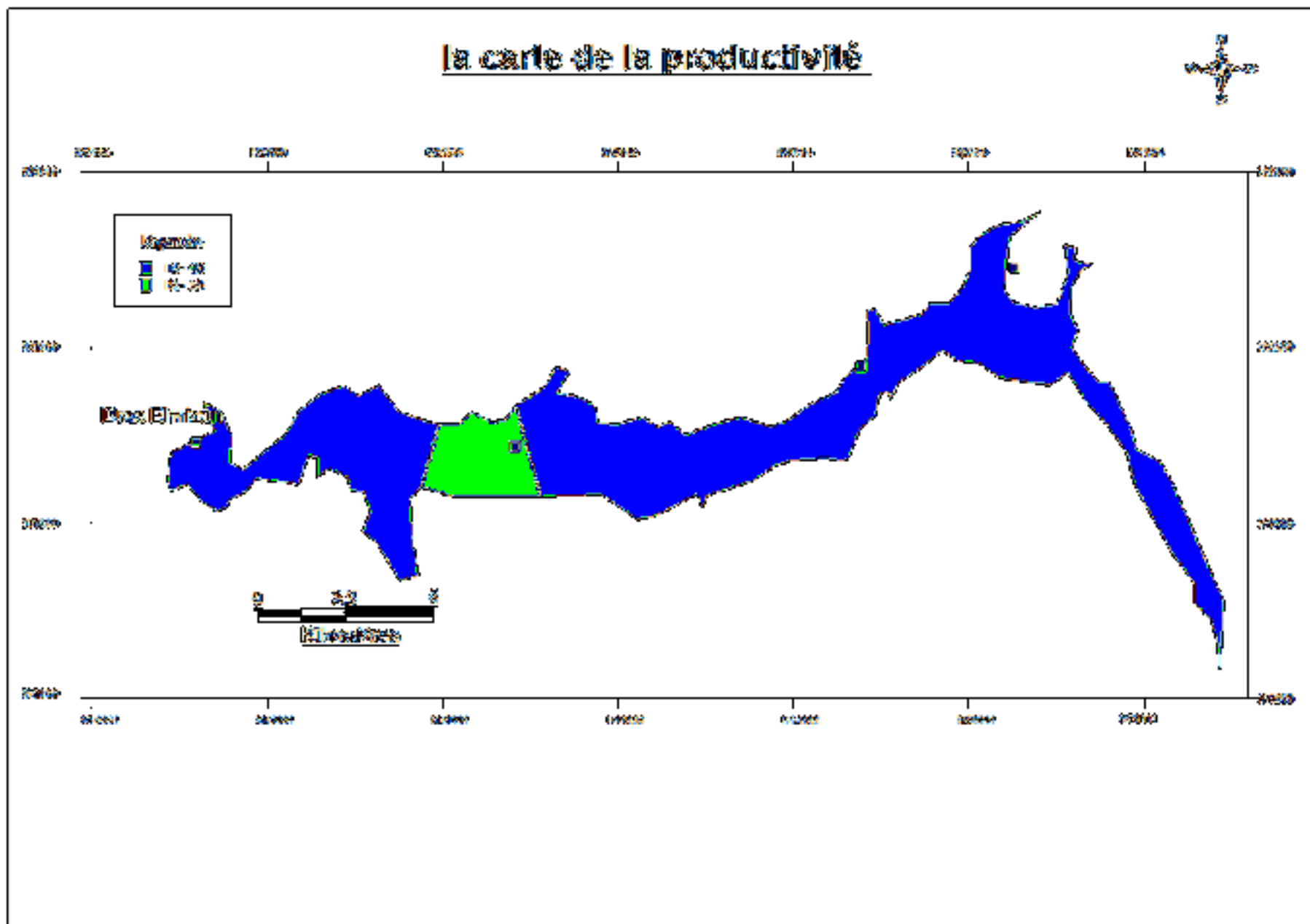
Sur cette carte on délimite deux (2) zones distinctes :

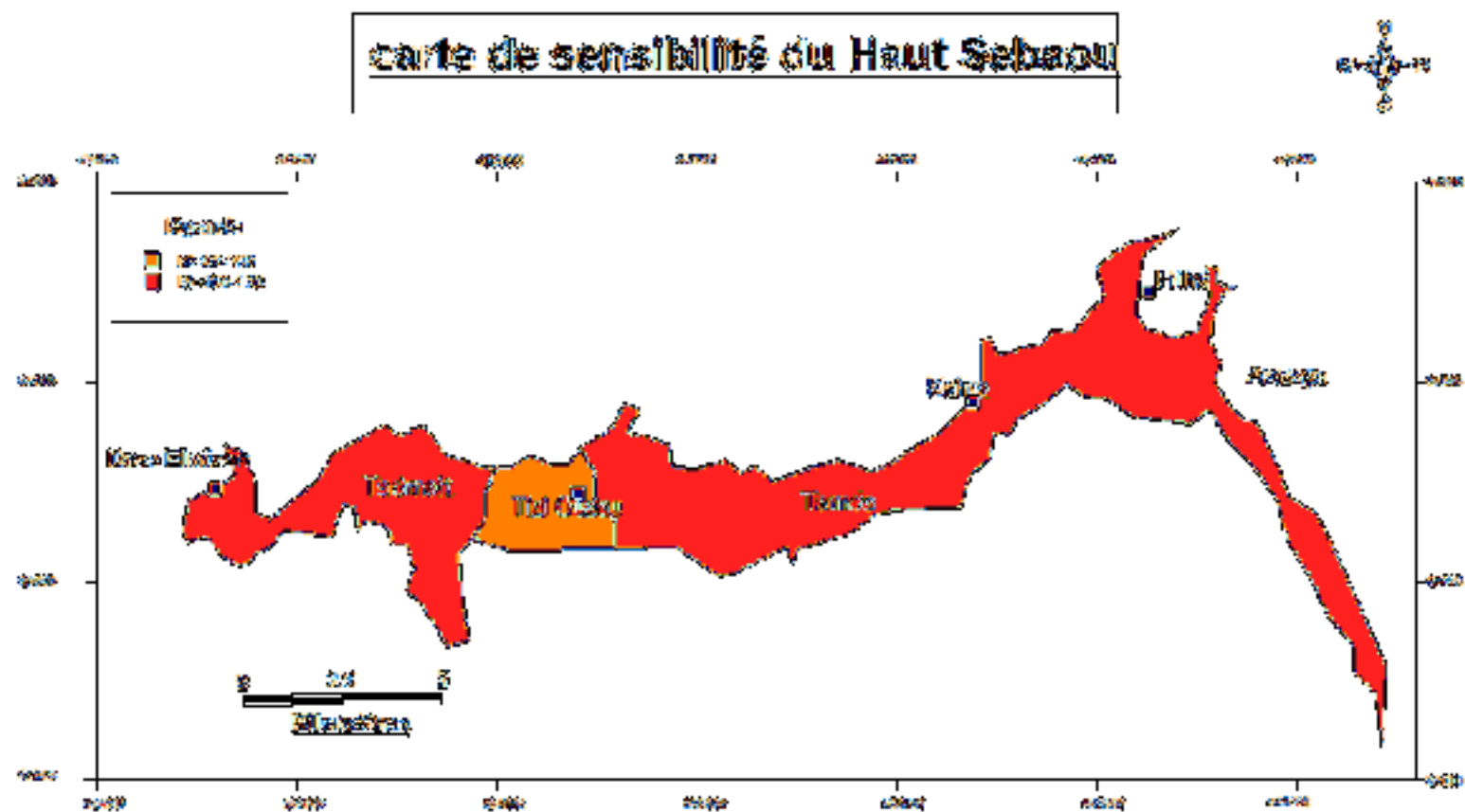
- une zone au centre (dans la région de Tizi Ouzou) avec un indice $IQ=20$;
- le reste de notre zone d'étude ; représentant la majorité de la superficie ; on lui attribue un indice $IQ=40$.

II.5.2.2- Présentation de la carte de sensibilité (Figure n°61) à la pollution de la nappe du Haut Sebaou

Les valeurs de l'indice de sensibilité (I_s) varient entre 100 et 120. Ces valeurs permettent de distinguer deux (2) classes différentes de sensibilité. Globalement la nappe du Sebaou est fortement sensible à la pollution qui l'atteint. Cette forte sensibilité s'explique notamment par les vitesses généralement grandes de l'eau souterraine car l'aquifère se constitue des sables et de graviers dans toute sa superficie.

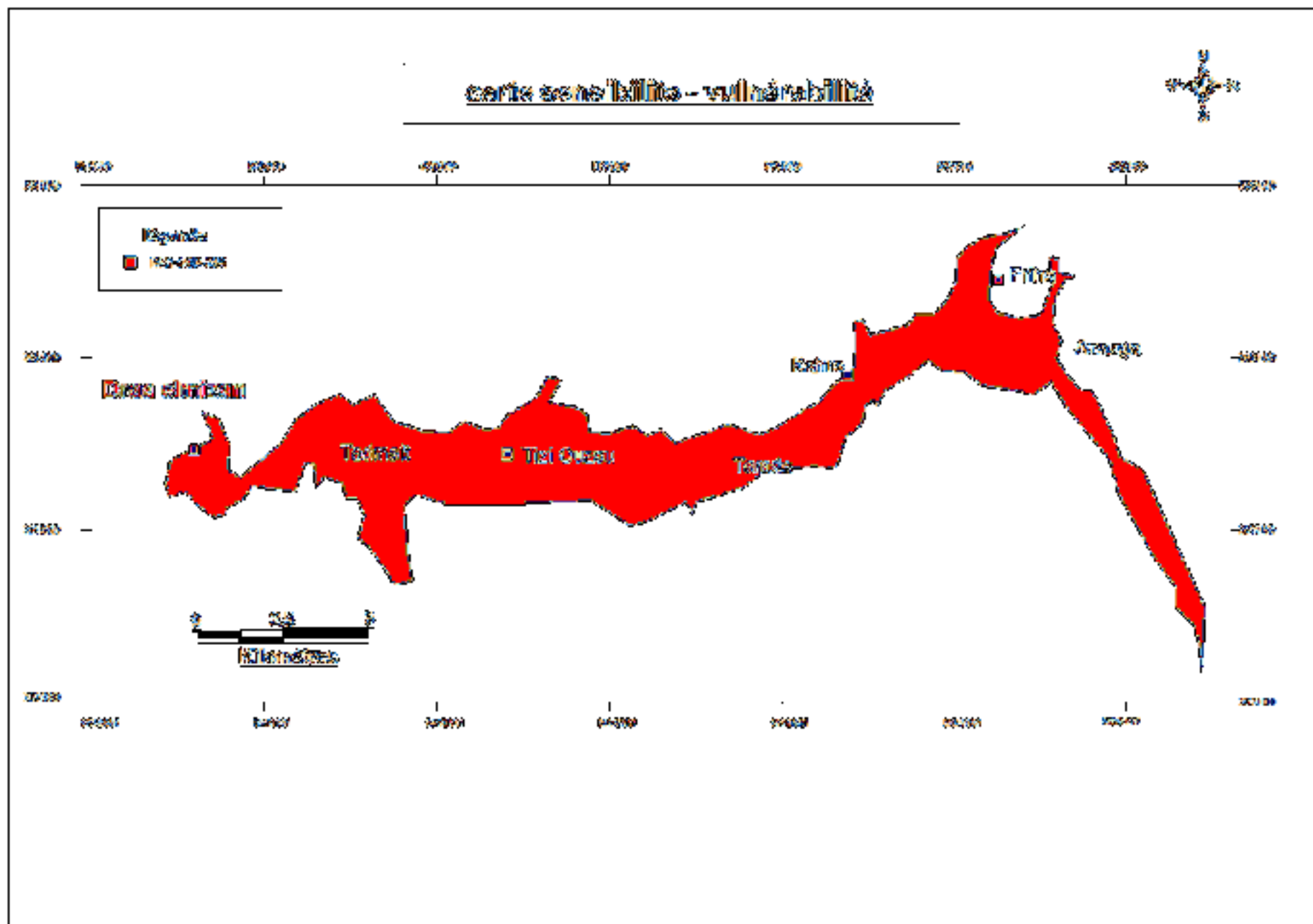






II.5.2.3- Caractérisation de la vulnérabilité-sensibilité (Figure n°62) à la pollution de la nappe du Haut Sebaou

Les valeurs de l'indice I_{vs} de la vulnérabilité-sensibilité à la pollution de la nappe du Haut Sebaou ont été calculées en faisant la somme des indices de vulnérabilité (I_v) et de sensibilité (I_s) à la pollution. Ces valeurs varient entre 240 et 286 (très forte sensibilité – vulnérabilité) ; ce qui ne met en exergue qu'une seule classe de sensibilité – vulnérabilité sur toute l'étendu de la plaine du Haut Sebaou.



II.6- Conclusion

Une nouvelle méthodologie a été proposée pour la caractérisation de la vulnérabilité globale à la pollution d'une nappe d'eau souterraine. Elle constitue une amélioration de la méthode DRASTIC universellement utilisée. Cette vulnérabilité globale est basée à la fois sur les paramètres relatifs à la recharge, au sol, à la zone non saturée et à la zone saturée de l'aquifère.

La caractérisation de la vulnérabilité verticale des nappes à la pollution (provenant de la surface du sol et traversant sa zone non saturée) est basée uniquement sur les paramètres relatifs à la recharge, au sol (pente et nature) et à la zone non saturée (faciès et épaisseur) de l'aquifère.

La caractérisation de la vulnérabilité des nappes au transfert horizontal de la pollution l'ayant atteinte (appelée aussi sensibilité à la pollution) est basée uniquement sur les paramètres relatifs à la zone saturée : vitesse des écoulements souterrains, qualité de l'eau et productivité de la nappe.

Cette méthodologie a été appliquée à la nappe du Haut Sebaou dans la willaya de Tizi-Ouzou. Cette nappe joue un rôle capital dans le développement socio-économique de la région de Beni Douala et d'autre part pour l'alimentation en eau potable et industrielle.

Cette méthode nous montre que cette nappe a une très forte sensibilité –vulnérabilité à la pollution.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE :

Dans un avenir relativement proche le problème de l'eau en Algérie risque de devenir gravissime tant par les effets combinés de la sécheresse et de la gestion irrationnelle de cette ressource que par le phénomène de désertification. Une meilleure gestion de l'eau s'impose à cause de son insuffisance et du coût élevé de sa mobilisation.

Située à environ 80Km à l'Est d'Alger, le bassin versant du Sébaou couvre une superficie de 2500 Km². Il est de forme allongée et son altitude moyenne s'élève à 504m.

Du point de vue hydroclimatologie; la région d'étude jouit d'un climat méditerranéen caractérisé par une température moyenne de 17,30°C et des précipitations moyennes de 865mm dont 670mm s'évaporent, 05mm s'infiltrent et 182mm s'écoulent pour déboucher vers la mer.

La cartographie est le moyen le plus commode et aussi la meilleure illustration pour expliquer et représenter les conditions hydrogéologiques qui exposent ou au contraire protègent plus ou moins les eaux souterraines vis- à-vis des pollutions d'origine superficielle.

La carte de vulnérabilité de la nappe alluviale du Sebaou établie par la méthode DRASTIC ainsi que la carte sensibilité – vulnérabilité réalisée par la méthode DRIST (DRASTIC améliorée) est facilement révisable et actualisable et par conséquent modifiable en fonction des nouvelles conditions hydrogéologiques et des objectifs à atteindre sans contraintes d'échelles.

La carte de vulnérabilité DRASTIC est obtenue par la superposition des sept cartes thématiques tracées dans la partie trois. L'interprétation de cette carte fait ressortir trois unités hydrogéologiques :

- Unité hydrogéologique (2A) à vulnérabilité très élevée avec un indice DRASTIC qui varie entre 180 et 199. Ces unités se trouvent dans la partie Ouest, Draa El Mizan, et Kahra.
- Unité hydrogéologique (2B) à vulnérabilité élevée avec un indice DRASTIC qui varie entre 160 et 179.
- Unité hydrogéologique (2C) à vulnérabilité moyenne avec un indice DRASTIC variant entre 140 et 159, occupe la partie centrale dans la région de Tizi-Ouzou.

La deuxième méthode qui a été utilisée pour la détermination de la sensibilité-vulnérabilité est la méthode DRIST. D'après la classification de cette dernière on a pu détecter une seule zone sur toute la surface du Haut Sebaou, c'est une zone à très forte sensibilité-vulnérabilité.

Les résultats obtenus montrent que la nappe alluviale du Haut Sebaou est très sensible à la pollution. A cet effet, la carte de sensibilité obtenue révèle une similitude avec les zones de fortes activités anthropiques. Ainsi, il est impératif que les pouvoirs publics prennent des décisions qui s'avèrent urgentes afin de protéger et de préserver cette réserve tarissable.

Recommandations

- Appliquer la méthode DRIST sur plusieurs aquifères judicieusement choisis en fonction de leurs conditions hydrogéologiques.
- Placer des piézomètres sur tout long de la surface pour des résultats fiables pour les niveaux statique et dynamique.
- Effectuer des nouveaux essais de pompage pour déterminer les caractéristiques hydrodynamiques de l'ensemble de l'aquifère.
- Création d'une banque de données et d'information pour la gestion et la cartographie de la vulnérabilité.

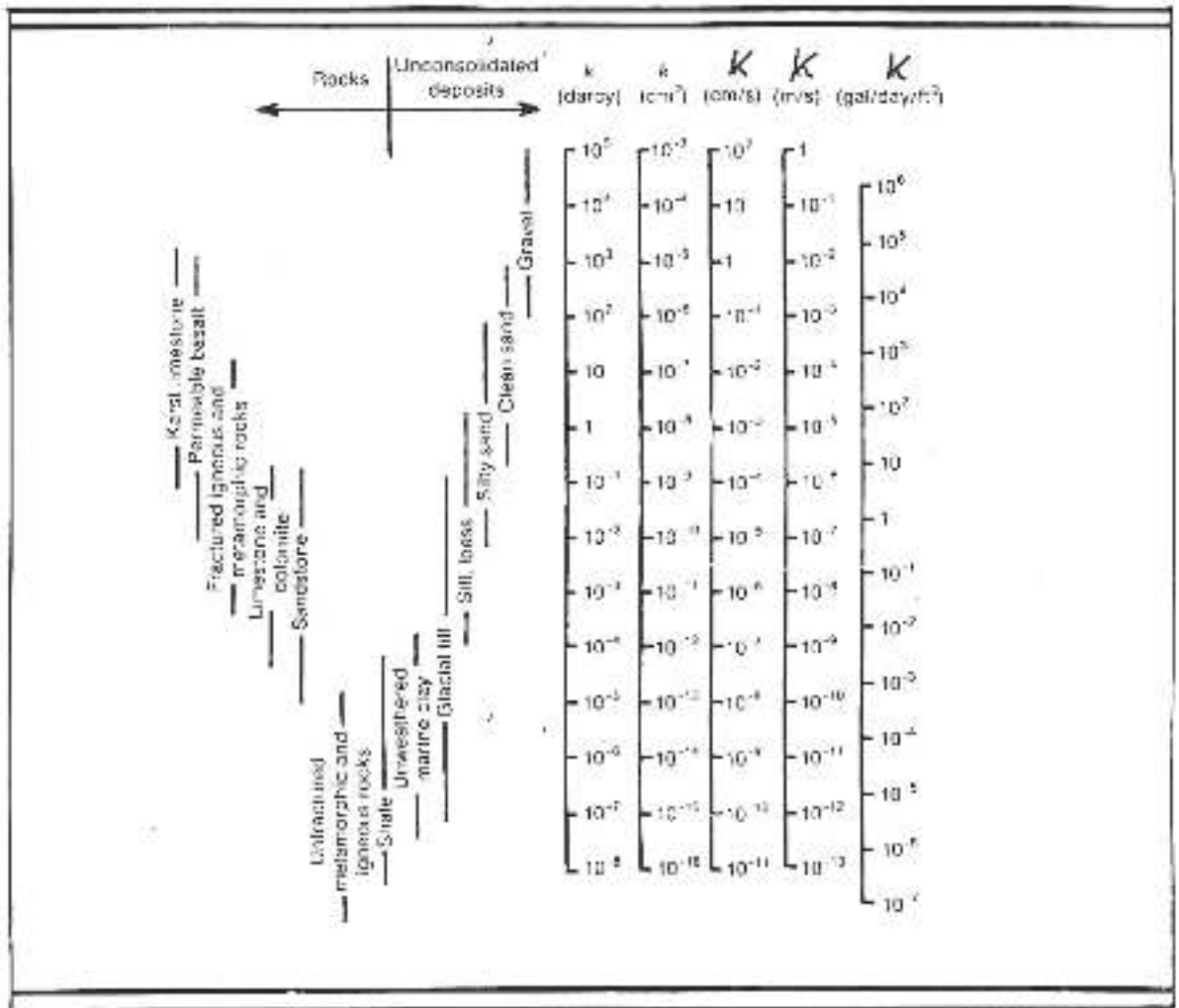
Bibliographie

Bibliographie

- (1) **Djoudar/Hallal,D.,2003**:Vulnérabilité et protection des nappes aquifères en région côtière. Application aux alluvions de la Mitidja Orientale. Mémoire de Magistère. FSTGAT/IST/USTHB/Babazzouar116p.
- (2) **Said,R.,1999**:Vulnérabilité et risques de pollution des eaux souterraines. Méthodologie et cartographie. (Application aux aquifères du moyen Sébaou et de la Mitidja Centrale).Mémoire de Magistère, IST/USTHB/Babazzouar
- (3) **Bouadjel, C, 2007** : contribution a l'étude hydrogéologique de la vallée du sebaou. Mémoire d'ingénieur .ENSH/Blida
- (4) **Nabil,R/Saad,M,2006** : contribution a l'étude hydrogéologique de la valle de sebaou ,impact de l'activité humaine . Mémoire d'ingénieur, USTHB/ Babazzouar
- (5) **Benhassaine M.**, 1980 Recherche sur les modèles des reliefs et les formations superficielles dans la nappe de l'Oued Sébaou. Thèse de 3^{ème} cycle.
- (6) **Chadrine, Y.1972** : Etude hydrogéologique de la nappe alluviale du sébaou Mémoire d'ingénieur .ANRH, Alger.
- (7) **Alious .S** ,2004 : Méthodologie de la cartographie de la vulnérabilité à la pollution du Sébaou.Mémoire d'ingénieur, USTHB.
- (8) **ANRH** : Méthodologie et la cartographie de la vulnérabilité a la pollution des eaux souterraines ; application a la nappe alluvial de sebaou
- (9) **Ikezouhane, B, 1974** : enquête sur les débits extraits
- (10) **Mohamed. S, Rachid .M et Moumtaz .R, 2003** : Utilisation des SIG pour la caractérisation de la vulnérabilité et de la sensibilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. Application à la nappe du Haouz de Marrakech, Maroc

annexe

RANGE OF VALUES OF HYDRAULIC CONDUCTIVITY AND PERMEABILITY
(FREEZE AND CHERRY, 1979)



CONVERSION FACTORS FOR PERMEABILITY AND HYDRAULIC CONDUCTIVITY
UNITS (FREEZE AND CHERRY, 1979)

	Permeability, k			Hydraulic conductivity, K		
	cm ²	ft ²	darcy	m/s	ft/s	U.S. gal/day/ft ²
cm ²	1	1.09×10^{-3}	1.01×10^8	9.83×10^7	3.22×10^7	1.85×10^9
ft ²	9.29×10^8	1	9.42×10^{15}	9.11×10^8	2.99×10^8	1.71×10^{12}
darcy	9.87×10^{-9}	1.06×10^{-11}	1	9.66×10^{-6}	3.17×10^{-5}	1.82×10^4
m/s	1.02×10^{-11}	1.10×10^{-9}	1.04×10^5	1	3.28	2.12×10^5
ft/s	3.11×10^{-12}	3.35×10^{-10}	3.15×10^4	3.05×10^{-1}	1	6.46×10^4
U.S. gal/day/ft ²	5.42×10^{-12}	5.63×10^{-10}	5.49×10^4	4.72×10^{-7}	1.55×10^{-6}	1

* To obtain k in ft², multiply k in cm² by 1.09×10^{-3} .

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

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE L'HYDRAULIQUE
«ARBAOUI Abdellah »

DEPARTEMENT SPECIALITES

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN HYDRAULIQUE.

Spécialité : Conception Des Systèmes d'alimentation en eau potable

THEME :

**Cartographie de la vulnérabilité /sensibilité a la
pollution des eaux de la nappe alluviale du Haut
Sébaou
Wilaya de Tizi Ouzou**

Présenté par :
Melle : SAKET ZAHIA

Promoteur :
M^{me} D.DJODAR

Devant le jury composé de :

Présidente : M :Khetal

**Examineurs : M^r Rassoul
M^r Kahlarass
M^{me} Foudil Cherif
M^r Belhafid**

Juin 2009

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

♣ *A la mémoire de mon cher père*

♣ *A ma très chère mère qui ma parodique amour et affection*

♣ *A mes très chères sœurs Nadia et Reziqa*

♣ *A mes cher frères Mohamed, Mourad et Hamid*

♣ *A mon cher fiancé Ismail qui à toujours cru en moi, mon beau père Dahman ,ma belle mère Aldjia ,mes belles sœurs et beau frères*

♣ *A ma très chère copine Yasmine*

♣ *Tous ceux qui me sont chères*

♣ *A toute ma famille, en particulier ma tante Hada*

♣ *A tous mes amis (es)*

Remerciement

Au terme de ce modeste travaille il ma y agréable d'exprimer toute ma reconnaissance aux personnes qui m'ont aidé dans sa réalisation par leur enseignement, leur soutien permanent, leurs conseils et encouragement, en particulier ma famille .

Je remercie madame Djoudar pour avoir bien voulu m'encadrer ainsi que pour ces précieux conseils son orientation et son aide.

Mes remerciements vont également :

Le service étude de ANRH pour collaboration : Mr Belaidi ,Mr Raissi ,en particulier :

Mr M. Bouadjla, ingénieur d'état en hydrogéologie (ANRH de Tizi Ouzou) qui ma accueillit dans sans bureau, malgré ses nombreuses occupations.

A la fin tous ceux qui ont contribué de près et de loin à la réalisation de ce modeste travail sans oublier toute la promotion 2008/2009

من لحظة اكتشاف الخطر الذي يهدد الطبيعة نتيجة للتلوث أصبحت حماية الموارد المائية و خصوصا اتجوفية منها من الاولويات التي تقع على عاتق المسيرين ليجسدوها في السياسة المحلية للتسيير التخطيط. إن تحديد الخصائص الداخلية الملوثة للمياه الجوفية أصبحت وسيلة متعارف عليها . معرضة للتطور في يد الهيدروجيولوجيين لقد قمنا بدراسة على طبقة المياه الجوفية في واد سيباوو و ستكون وسيلة مساعدة للمسيرين في الموارد المائية و التهوية العمرانية و لكي يتحقق ذلك لجانا إل محورين هامين اولهما هي طريقة DRASTIC و الثانية DRASTIC محسنة ينصبان كلاهما في تحديد درجة التلوث من جهة و تأثيرهما على حساسية الطبقة الجوفية .

هاتان الطريقتين مطبقتين على طبقة المياه الجوفية لواد سيباوو في الجزائر الذي يمتد على مساحة حوالي 1432 كم مربع التي تمثل عنصر هام في التطور الاجتماعي الاقتصادي للمنطقة سواء في إمداد المنطقة بالمياه الصالحة للشرب أو المستعملة في الزراعة أو الصناعة. تمثل المياه الصالحة المصدر الاساسي لتجديد هذه الطبقة بما فيها كل المؤثرات الملوثة لهذه المياه . المقارنة بين هاتين الطريقتين المذكورتين سالفًا تبين ان الاولى تنتج ثلاثة وحدات هيدروجيولوجية (متوسطة قوية و قوية اكثر) اما الطريقة الثانية فتنتج وحدة هيدروجيولوجية وحيدة ذات حساسية اكثر قوة و هادًا ما يجعل تطبيق هذه الطريقة يبين درجة عالية من التلوث.

Résumé :

A l'heure où l'on découvre les vertus de l'environnement, la protection de la ressource en eau, et plus précisément de celle souterraine, apparaît être un objectif majeur que doivent intégrer les gestionnaires du territoire dans les politiques locales de gestion et planification

La caractérisation de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines est un excellent outil de plus en plus développé et connu par les chercheurs en hydrogéologie. Nous avons menée une étude sur la nappe alluviale du Sébaou qui a permis de fournir un outil d'aide à la prise de décision par les gestionnaires des ressources en eau et de l'aménagement du territoire. Pour ce faire, nous avons utilisé deux méthodes d'approche de la vulnérabilité, la première est la méthode DRASTIC, la deuxième, une amélioration de DRASTIC, elle consiste à caractériser la vulnérabilité / sensibilité.

Ces deux méthodes ont été appliquées à la nappe alluviale du Sébaou en Algérie, qui s'étend sur une superficie d'environ de 1432 Km², circulant dans des dépôts alluvionnaires d'âge quaternaire constituant le remplissage d'un synclinal à cœur miocène. Cette nappe joue un rôle capital dans le développement socio-économique de la région d'étude que ce soit pour l'alimentation en eau potable, agricole ou industrielle. La nappe du haut Sébaou est libre et alimentée principalement par les eaux superficielles et par les affluents principaux donc sujette à tous types de pollution.

La comparaison des cartes obtenues, par les deux méthodes, montre que la première fait ressortir trois unités hydrogéologiques à moyenne, forte et très forte vulnérabilité ; alors que la deuxième a tendance à surestimer la vulnérabilité du moment qu'on a obtenu une carte avec une seule unité hydrogéologique à très forte vulnérabilité.

Abstract:

At a time when we discover the virtues of the environment, protection of water resources and more specifically the underground appears to be a major objective that managers must incorporate the territory in local policy management and planning.

The characterization of the intrinsic vulnerability of groundwater is an excellent tool; more and more developed and experienced by researchers in hydrogeology. We conducted a study on the alluvial aquifer of Sebaou which provided a tool to help managers of water resources and land use in their decision making. To do this, we used two approaches, the first is the DRASTIC method, the second, DRASTIC improvement, it is to characterize the vulnerability / sensitivity.

Both methods were applied to the alluvial aquifer of Sebaou in Algeria, which covers an area of approximately 1432 km², flowing through alluvial deposits of Quaternary age . This water plays a role in the socio-economic development of the region, whether the supply with drinking water, agricultural or industrial. The water of high Sebaou driven mainly by surface water and the main tributaries therefore subject to all types of pollution.

The comparison of maps obtained by the two methods shows that the first highlights three hydrogeologic units at medium, high and very high vulnerability, while the second tends to overestimate the vulnerability since we got only one map with only one hydrogeologic unit with very high vulnerability.

SOMMAIRE

Introduction général

Première partie

Chapitre I : pollution des eaux souterraines et superficielle

13- introduction	3
14- critère de pollution d'une eau.....	3
15- pollution directe ou indirecte.....	3
16- nature de la pollution	3
17- caractérisation de la pollution	3
18- classification des polluants.....	4
6-1- en fonction de l'origine de la pollution	4
6-2- en fonction de la répartition géographique.....	4
6-3- en fonction de la répartition dans le temps	4
6-4- en fonction de la nature des polluants	4
6-5- en fonction de nombre de polluants.....	4
6-6- en fonction de comportement de polluant dans l'eau.....	4
7- paramètre spécifique de pollution	5
8- type de polluants	5

Chapitre II : mécanisme de transport et d'atténuation de polluant en milieu souterrain

1- mécanisme de transport	6
1-1- classification des polluants par leur propriété de transport.....	6
1-2- mécanisme de transport et d'accumulation.....	6
2- mécanisme d'atténuation.....	9
2-1- le processus physique	9
2-2- le processus chimique et biochimique	11

Chapitre III : méthode d'évaluation de la vulnérabilité

1- Introduction	12
2- notion de vulnérabilité.....	12
3- différentes méthode d'estimation de vulnérabilité.....	13
3-1- méthodes orientées sur les systèmes de cotation numérique	13
3-2- méthodes orientées sur des documents cartographiques.....	14
3-3- méthodes générales ou mixtes.....	15
4- Conclusion.....	15

Chapitre IV : aspect théorique et pratique de la méthode DRASTIC

1- Introduction	16
2- définition de la méthode DRASTIC.....	16
5- description et aspect théorique et pratique de la méthode DRASTIC.....	16
4- calcul de l'indice DRASTIC	17
5- Interprétation de l'indice DRASTIC	18
6- description du paramètre de la méthode DRASTIC	18
6-1- Les critères de la méthode DRASTIC.....	18
6-2- profondeur de la nappe.....	19
6-3- recharge nette	19
6-4- matériaux de l'aquifère.....	19
6-5- matériaux du sol.....	20
6-6- topographie	21
6-7- impacte de la zone non sature.....	21
7- indice et classe de vulnérabilité.....	21

Deuxième partie

Chapitre I : la situation géographique

1- cadre géographique de la région d'étude.....	23
2- développement socio-économique de la région d'étude.....	23
2-1 potentielle humain	23
2-2 potentielle agricole.....	23
2-3 potetille industrielle	26
2-4 activités extractives	26
2-5 les influence hydraulique.....	26

Chapitre II : étude géomorphologique

1- Introduction	27
2- les grands ensembles morphologiques	27
2-1 la chaine de Djurdjura.....	27
2-2 le socle kabyle	27
2-3 le synclinale de tizi ouzou.....	27
3- lithologie	29
4- le couvert végétale.....	29
5- le réseau hydrographique	29
6- les paramètres physiques et géomorphologiques du bassin versant de sébaou.....	30
6-1 paramètres géométriques	31
6-2 les paramètres de relief	31
6-3 les paramètres de forme	33
7- Conclusion	35

Chapitre III : étude hydrologique

1- Introduction	35
2-analyse des paramètres climatiques.....	37
2-1 les précipitations.....	37
2-2 températures.....	41
2-3 régime climatique	42
2-4 étude de l'évapotranspiration.....	44
3- hydrologie de surface.....	48
3-1 station et données hydrométrique.....	48
3-2 estimations des sources en eau de surface.....	48
3-3 régime des apports.....	48
3-4 déterminations de la lame ruisselée.....	51
3-5 le bilan hydrologique	54
4-Conclusion	54

Chapitre IV : synthèse géologique

1-Introduction	55
2- cadre géologique régional	55
2-1 les zones internes	55
2-2 le domaine de flysch	56
2-3 les zones externes.....	56
3- géologie de la région d'étude.....	56
3-1 litho stratigraphique.....	57
4- structure tectonique et évolution paléogéographique	64
4-1 crétacé inférieur –éocène supérieur.....	64
4-2 éocènes supérieurs Burdigalein terminal	64
4-3 structures du Miocène post nappe	66
5- Conclusion	68

Chapitre V : hydrogéologie

1-Introduction.....	69
2- principaux aquifère de sébaou.....	69
3- caractéristique hydrochimique des aquifère.....	69
3-1 étude piézométrique.....	69
3-2 hydrochimies.....	77

Troisième partie

Chapitre I: évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines par la méthode Drastic

1- Introduction.....	87
2. Cartographie assistée par ordinateur	87
3-Etape à suivre pour la cartographie de la vulnérabilité	87
3.1. Acquisition de données.....	88
3.2. Description des paramètres et réalisation des cartes Thématiques.....	88
4- Identification des unités hydrogéologiques et commentaire de la carte de Vulnérabilité	100
5- Conclusion	100

Chapitre II : application de la méthode Drist (Drastic améliorée)

1- Introduction.....	101
2-présentation de la méthodologie proposée pour l'évaluation de la vulnérabilité a la pollution d'une nappe d'eau souterraine.....	101
3.- présentation de la méthodologie proposée pour l'évaluation de la sensibilité a la pollution d'une nappe d'eau souterraine.....	102
3.1 Vitesse de l'eau souterraine (Ve).....	102
3.2 Qualité globale des eaux souterraines.....	102
3.3 Productivité de la nappe.....	103
4- présentation de la méthodologie proposée pour l'évaluation de la vulnérabilité-sensibilité a la pollution d'une nappe à la pollution... ..	104
5- application de la méthodologie développée à la nappe alluviale du haut sebaou	104
5-1- Présentation de la carte de vulnérabilité verticale à la pollution de la nappe du haut sebaou.....	104
5-2- Caractérisation de la sensibilité à la pollution de l'aquifère du Haut Sebaou	112
6- Conclusion.....	119

Conclusion générale

La liste des figures

N°	page
Fig-1 mécanisme et facteurs de la pollution de l'eau souterraine (Castany ,1982 in Djoudar ,2003).....	6
Fig-2 schémas des mecanisme de pollution en nappe libre et en nappe captive (l'allemand-Bare, 1989 in Djoudar,2003)	8
Fig-3 mécanisme de pollution en milieu fissuré (l'allemand-Bare ,1989 in Djoudar,2003).....	9
Fig-4 origine, transport et évolution des polluants, de la surface de sol aux l'écoulements (Castany ,1975 in Djoudar,2003)	10
Fig-5 transfert des polluants dans l'aquifère (Aller et Al, 1987 in Touileb ,1997 in Djoudar,2003	10
Fig- 6 : Diagramme des classes de vulnérabilité. Selon la méthode DRASTIC.....	18
Fig7 la situation géographique du bassin versant de sebaou	24
Fig-8 les grandes unités morphostructurale de la Kabylie (M. Bouhassaine ,1980).....	27
Fig-9 le réseau hydrogrlaphique du bassin versant de sebaou	29
Fig-10 les sous bassin versant de sebaou	31
Fig-11 courbe hypsométrique de sebaou d'apprêt (B.AKPAMOLI)	32
Fig-12 repartition des stations pluviométrique et hydrométrique dans le bassin versant de sebaou.....	36
Fig-13évaluation des précipitations annuelles a la station de Tizi Ouzou	37
Fig-14précipitation moyen annuelle	39
Fig-15 évaluation des précipitations mensuelles a la station de Tizi Ouzou	40
Fig-16 précipitation moyenne mensuelles des stations pluviométriques (1980/2005).....	40
Fig-17comparaison des séries anciennes (1913-1938) et récente (1968-2002) de température a la station de Tizi Ouzou	42
Fig-18 abaque de WUNDT modifie par Cotagne.....	47
Fig-19 Variation mensuelle des apports de l'oued à la station de Bghlia(1986/1999)	49
Fig-20 Variation mensuelle des apports de l'oued à la station de Baghlia(1986/1999)	49
Fig-21 corrélation précipitations- Débits évacués à la station de Baghlia.....	50
Fig-22 Hydrogramme de crue de la station de Baghlia.....	52
Fig-23 Courbe de séparation des écoulements à la station de Baghlia.....	52
Fig-24 Hydrogramme de crue de la station de Belloua.....	53
Fig-25 Courbe de séparation des écoulements à la station de Belloua.....	53
Fig-26 Situation de la zone étudiée dans l'orogène alpin périméditerranéen (D'après M. Durand Delga, 1969)	56
Fig-27 :Rapport entre les grandes unités structurales sur le méridien de la grande Kabylie (D'après M. Durand Delga, 1969)	56
Fig-28 carte schématique interprétative de la dorsale de la grande Kabylie (J.P.Gélard ,1979).	58
Fig-29 colonne lithostratigraphique synthétique de la dorsale Kabyle (J.P.Gélard, 1979).....	60
Fig-30 Colonnes lithostratigraphiques des flyschs massylien et maurétanien (J.P. Gélard, 1979).....	62
Fig.31 : Principales structures "post-nappes" dans le Nord Ouest de la grande Kabyle (D. Raymond, 1976).....	66
Fig-32 interprétation schématiques des principaux linéaments affectant la grande Kabylie d'apprêt l'image satellite landsat I (J.P.Gélard ,1979).....	67

Fig-33 Carte piézométrique (Haut Sébaou, hautes eaux).....	71
Fig-34 Carte piézométrique (Haut Sébaou, Basses eaux).....	71
Fig-35 Carte piézométrique (Moyen Sébaou, Hautes eaux) Année 2004.....	72
Fig-36 Carte piézométrique (Moyen Sébaou, Basses eaux) Année 2004.....	72
Fig-37 Carte piézométrique (Moyen Sébaou, Basses eaux) Année 2004	73
Fig-38 Carte piézométrique (Haut Sébaou, Avril2006)	74
Fig-39 Carte piézométrique (Moyen Sébaou, Avril 2006).....	74
Fig-40 Carte piézométrique (Bas Sébaou, Avril 2006).....	75
Fig-41 Carte piézométrique (Haut Sébaou, oct. 2008).....	76
Fig-42 carte de conductivité (Haut Sébaou, Avril2006).....	79
Fig-43 carte de conductivité de la basse vallée du Sébaou(Avril2006).....	80
Fig-44 carte de résidu sec (Haut Sébaou, Avril2006).....	83
Fig-45 carte du résidu sec de la basse vallée du Sébaou(Avril2006).....	84

La liste des tableaux

N°	page
Tab- 1 : Couleurs utilisées pour les exercices de cartographie des paramètres DRASTIC (Aller et al, 1987, in Touileb, 1997).....	21
Tabl- 2 : Code international des couleurs pour les intervalles de l'indice DRASTIC (Aller et al ; 1987 modifié, in Touileb,1997).....	22
Tab-1 Répartition des superficies par sous bassin.....	30
Tab-2 Altitudes moyennes.....	30
Tab-3 Altitudes caractéristiques.....	32
Tab-4 Paramètres de forme (Source ANRH).....	33
Tab-5 Les paramètres morphologiques du bassin versant du Sébaou (Source ANRH de Tizi-Ouzou).....	34
Tab-6 caractéristiques des stations pluviométriques utilisées. (ANRH Blida).....	35
Tab-7 précipitations moyennes annuelles.....	38
Tab-8 Précipitation moyennes mensuelles annuelles (1980-2005).....	40
Tab-9Température moyennes mensuelles (P.Seltzer 1913/1938).....	41
Tab-10 Températures moyennes mensuelles annuelles de la station de Tizi-Ouzou (1968-2002).....	42
Tab-11 Valeur de l'indice de Marthone (station de Tizi-Ouzou).....	43
Tab-12 Moyenne mensuelle de l'humidité (1989-1994).....	43
Tab-13 Moyenne mensuelles des vitesses des vents.....	43
Tab-14 Nombre moyen de jours de sirocco à la station de Tizi-Ouzou (P.seltzer ; 1913/1938).....	44
Tab-15 valeur de l'ETP d'après la méthode de THORNTHWAITE.....	46
Tab-16 Résultats de l'ETR obtenu par les trois méthodes.....	46
Tab-17 caractéristiques des différentes stations hydrométriques.....	47
Tab-18 débits moyens mensuels des stations de Baghlia et de Belloua.....	48

Tab-19 : Corrélation précipitation/Débits évacués à la station Baghlia.....	50
Tab-20 Les valeurs de Ruissellement et l'infiltration.....	54
Tab-21 les mesures piézométriques effectuées dans la plaine alluviale du sébaou	70
Tab-22 duretés des eaux de la nappe alluviale du Sébaou.....	81
Tab-23 Tableau de comparaison du PH.....	82
Tab-24 classification des eaux de la haute vallée du Sébaou selon les Formules Caractéristiques de Stabler.....	85
Tab-25 classification des eaux de la basse vallée du Sébaou selon les formules caractéristiques Stabler.....	86
Tab-26 Principales sources d'informations.....	88

la liste des cartes

Liste des cartes

La méthode DRASTIC

La carte de paramètre « D »	90
La carte de paramètre « R »	91
La carte de paramètre « A »	92
La carte de paramètre « I »	93
La carte de paramètre « S »	95
La carte de paramètre « T »	96
La carte de paramètre « C »	97
La carte de vulnérabilité de Haut Sebaou	99

La méthode DRIST

La carte de paramètre « D »	105
La carte de paramètre « R »	106
La carte de paramètre « I »	107
La carte de paramètre « S »	108
La carte de paramètre « T »	109
La carte de vulnérabilité du Haut Sebaou	111
La carte de la vitesse d'écoulement « V »	113
La carte de la conductivité électrique	114
La carte de la productivité « Q »	115
La carte de sensibilité du Haut Sebaou	116
La carte sensibilité-vulnérabilité	118

introduction générale

Introduction générale

Le début du 21^{ème} siècle s'annonce sous le signe d'une aggravation des pénuries d'eau ; le monde en général et l'Algérie en particulier sont en train de subir ces dernières années des changements climatiques défavorables (précipitations faibles, évaporations intenses,...etc.).

L'impact négatif de ces conditions sur l'ensemble des activités socio-économiques révèle que la politique de l'eau doit être considérée comme un élément essentiel dans la stratégie du développement.

La recherche des ressources en eau est toujours plus importante pour les besoins humains, elle conduit, de plus en plus, à l'implantation de captages. Les eaux théoriquement protégées proviennent des nappes souterraines. Ces ressources, lorsqu'elles sont potables, sont « idéales » pour la consommation. Mais, malheureusement, elles sont, de plus en plus, soumises aux contaminations chimiques (Nitrates, détergents, pesticides, métaux,...etc.) et parfois microbiennes provoquées par le développement des industries, de l'agriculture et des rejets domestiques.

Le mécanisme de pollution des eaux souterraines est un processus évolutif dans l'espace et dans le temps, difficilement maîtrisable ; c'est pourquoi, il est préférable de le rattacher au concept de vulnérabilité qui exprime la sensibilité de l'aquifère face à une régression par une contamination.

Aussi, est-il indispensable de mettre à la disposition des gestionnaires de la ressource en eau un moyen de prévention et d'intervention.

Afin d'assurer de manière rigoureuse la gestion des moyens naturels et anthropiques, l'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) s'avèrent le moyen le mieux adapté.

En effet ces systèmes (SIG) permettent de prendre en charge une multitude d'informations d'origines diverses, de les mettre à jour, d'optimiser leurs échanges et de générer de nouvelles couches d'informations par le biais de leur croisement. Par ailleurs, ils assurent la restitution des cartes thématiques et les analyses qui en résultent.

Il s'agit donc d'un outil puissant et efficace d'aide à la décision notamment dans le domaine de la planification et de la gestion des ressources naturelles.

Pour l'évaluation de la vulnérabilité environnementale d'une nappe phréatique, la

combinaison du modèle DRASTIC et des systèmes d'informations géographiques (SIG) et aussi la méthode DRIST (DRASTIC améliorée) ont été utilisés. Ces méthodes sont basées sur la description et la représentation de la répartition spatiale des paramètres hydrogéologiques, climatiques et physiques du système aquifère.

La démarche entreprise dans ce travail a consisté à appliquer ces deux méthodes sur la plaine du haut Sébaou qui s'étend depuis la source (actif N'boubhir) jusqu'à la cluse du Belloua (passant par Friha , Azzazga, Kahra, Tamda et Tizi rached)

Pour la réalisation de cette étude, on a subdivisé notre travail en trois parties :

- La première partie porte sur la définition de la pollution, ses origines, les mécanismes de transport et d'atténuation du polluant ; définition de la vulnérabilité et des méthodes d'évaluation de cette dernière en tenant compte de différentes approches.
- La deuxième partie définit le cadre physique de l'étude et en précise les particularités géologiques. Elle met en évidence les formations lithostratigraphiques perméables et les rassemble en structures hydrogéologiques économiquement exploitable et donc à protéger. La localisation en profondeur ainsi que l'extension géographique des aquifères sont matérialisées à l'aide de coupes hydrogéologiques établies sur la base de données géologiques, géophysiques et hydrodynamiques.
- La troisième partie a porté sur la cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de l'aquifère du Sébaou afin d'identifier les zones à haut risque de contamination, indépendamment du type de polluant.

Enfin, on terminera par une conclusion générale qui mettra en exergue les résultats obtenus suite aux applications citées ci-dessus, ce qui nous permettra d'émettre des recommandation

PARTIE 1

CHAPITRE I :

POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES ET SUPERFICIELLES

I.1- Introduction

Un polluant est un facteur physique, chimique ou bactériologique résultant de l'activité humaine et provoquant sous une intensité ou une concentration anormale, une altération de la qualité de l'eau naturelle (Billault .C ,1989)

La qualité de l'eau peut être altérée par plusieurs polluants avec l'homme comme facteur principal de la pollution.

I.2- Critère de pollution d'une eau :

L'eau souterraine est dite polluée lorsqu'elle contient des substances non liées à la structure naturelle des terrains ou elle a séjourné, c'est-à-dire des substances introduites de façon direct ou indirect par l'activité humaine et en particulier lorsque les concentrations des constituants en suspension dépassent les concentrations maximales admissibles fixées par les normes nationales ou internationales

I.3- Pollution directe ou indirecte :

La pollution générée par l'homme est directe lorsqu'elle a lieu sur le toit de la nappe souterraine. C'est le cas par exemple d'un rejet de produit organique dans un puits. La pollution est indirecte lorsqu'elle se fait en direction des eaux souterraines, à travers les autres eaux du cycle, d'autres eaux souterraines, ou à travers l'environnement inerte. Le déversement sur le sol d'un pesticide est une pollution indirecte sur les eaux souterraine car pour que le contaminant parvienne à la nappe, il traversera le sol et la zone non saturée de l'aquifère.

I.4- Nature de la pollution :

La pollution pourra être :

Quantitative : accroissement ou diminution du flux d'eau ou de flux de chaleur qui pourra être cause par la perméabilité de sol, le colmatage des berges ...etc

Qualitative : bactérienne, chimique, radioactivité et thermique.

I.5- Caractérisation de la pollution :

La pollution est caractérisée par le « **DEFI** » c'est-à-dire sa durée, son étendue, sa fréquence et son intensité. (Parascandola ,1980)

- **Durée** : la durée de l'émission polluante est très variable en fonction de son origine, des moyens de détection et de lutte pour son atténuation.
- **Etendue** : l'étendue de la propagation d'un polluant dépend de sa source, du volume du polluant, des possibilités de détection et des moyens utilisés pour la stopper.
- **Fréquence** : la fréquence d'un phénomène de pollution est directement liée à l'activité humaine à laquelle elle se rapporte, aux mesures prises dans le sens de diminution des actes volontaires ou involontaires de pollution et à l'existence d'infrastructure.
- **Intensité** : est fonction de la toxicité des contaminants et de leurs concentrations. L'intensité maximale peut être estimée par le produit de la concentration maximale et de la toxicité.

I.6- Classification des polluants :

Les polluants peuvent être classés suivant différents critères :

I.6.1- En fonction de l'origine de la pollution

- La pollution *urbaine*, elle comprend :
 - les eaux usées domestique trop chargées
 - les eaux usées pluviales ou eaux de ruissellement
- La pollution *industrielle*

Les rejets industriels sont très variables en nature, ils sont plus ou moins chargés en fonction du type d'industrie et les volumes d'eau rejetée.
- La pollution *agricole*

Elle résulte de l'utilisation des pesticides, des produits phytosanitaires, des eaux d'infiltration de drainage et de ruissellement sous aires cultivées, de la pratique de l'élevage ... etc

I.6.2- En fonction de la répartition géographique

- La pollution *diffuse* : Le polluant se répand dans le milieu par petite quantité mais de façon régulière et parfois sur de très longues périodes.
- La pollution *ponctuelle* : La pollution est introduite à un endroit bien précis et restreint dans l'espace et le temps

I.6.3- En fonction de la répartition dans le temps

- La pollution *permanente* ou *chronique*
- La pollution *accidentelle*
- La pollution *saisonnnière* (sels de déneigement, utilisation des engrais azotés dans certaine culture saisonnière)

I.6.4- En fonction de la nature des polluants

- La pollution *physique* (chaleur, radioactivité, matières en suspension)
- La pollution *chimique* (sels minéraux, détergent, pesticide, solvants, métaux lourds, hydrocarbures)
- La pollution *microbiologique* (micro-organisme, virus, bactérie)
- La pollution *mixte*

I.6.5- En fonction de nombre de polluants

- La pollution *poly-produite* (industrie chimique)
- La pollution *mono-produite* (dépôt d'essence)

I.6.6- En fonction du comportement du polluant dans l'eau

- La pollution *miscible* (sels minéraux, métaux)
- La pollution *non miscible* (huiles, hydrocarbure)

I.7- Paramètre spécifique de pollution :

Selon les possibilités de pollution, on distingue :

- Les éléments insolubles séparable physiquement (décantation, filtration, flottation)
- Les éléments séparable par voie chimique (précipitation, adsorption ...)
- Les éléments oxydables chimiquement (mesure de DCO)
- Les éléments biodégradable (mesure de DBO)
- Les éléments toxiques (les micropolluants tels que le zinc, le cuivre, le mercure ...)
- Les colorants

I.8- Type de polluant

Les principaux types de polluants sont :

- Les polluants *physiques*
- Les polluants *chimiques*
- Les polluants *organiques*
- Les polluants *microbiologiques*

Ces polluants n'ont pas la même toxicité ainsi leur introduction dans l'eau, à des concentrations plus ou moins élevées, pourra entraîner des conséquences allant d'une légère altération jusqu'à la rendre impropre à la consommation.

CHAPITRE II :

MECANISME DE TRANSPORT ET D'ATTÉNUATION DU POLLUANT EN MILIEU SOUTERRAIN

II.1- Mécanisme de transport

II.1.1- Classification des polluants par leur propriété de transport

La densité, la viscosité, la solubilité, la stabilité chimique et d'autres caractéristiques affectent la dispersion des polluants dans le sol. Les polluants peuvent atteindre l'eau souterraine, soit dissoute dans l'eau (miscible) ou comme une phase liquide immiscible dans l'eau. Quelques polluants comme les métaux lourds, peuvent être adsorbés sur des particules fines et être transportés en suspension. Suivant la taille des particules, on peut les considérer dissoutes ou non dans le milieu poreux. Les solutions qui restent stable dans l'eau et ne change pas à cause des processus physiques, biologiques ou chimiques sont appelées conservatifs. Un exemple typique de ce type de soluté est la fluorescéine, largement utilisé dans les tests de migration. Considérer un constituant conservatif, dépend du rapport entre le facteur de migration et le temps de réaction. Par exemple, un contaminant qui réagit et change lentement, dans un aquifère avec une vitesse de transport élevé peut être considéré conservatif. Les solutés conservatives qui ne changent pas de densité ni de viscosité de l'eau d'une manière significative peuvent y être utilisés comme traceur.

Les traceurs sont utilisés dans les tests de migration pour déterminer la direction et la vitesse du transport. Normalement, la concentration détermine si le soluté change les propriétés physiques de l'eau. Le meilleur exemple d'un soluté qui change les propriétés de l'eau souterraine est le sel dans la zone de transition entre l'eau douce et l'eau de la mer. (Pollution des Sols/A.M., 2002)

II.1.2- Mécanisme de transport et d'accumulation

Les facteurs prépondérants à la recharge des eaux souterraines sont essentiellement représentés par l'infiltration des eaux de précipitation, l'irrigation de surface et les différences de charges hydrauliques. Dans la zone saturée, les polluants sont transportés uniquement sous forme dissoute (Fig. 1) contrairement à la zone non saturée, où les processus responsables du transport sont plus variés et représentés essentiellement par : l'advection, la dispersion mécanique et la diffusion moléculaire liquide (Villeneuve *et al*, 1985, in Touileb, 1997).

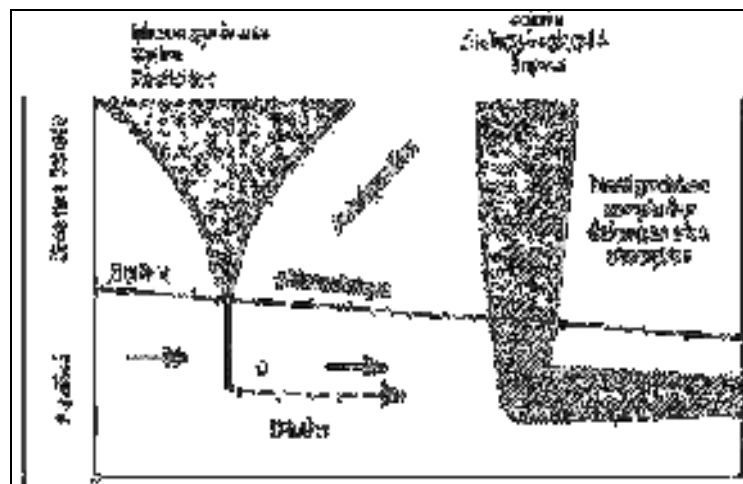


Fig. 11 : Mécanismes et facteurs de la pollution de l'eau souterraine (Castany, 1982 in Djoudar, 2003).

II.1.2.1- Dans une nappe libre

Une pollution se produisant à la surface du sol peut s'infiltrer jusqu'à la nappe. Mais, avant d'atteindre son toit, le polluant traverse. La zone non saturée, comprise entre le sol et la surface de l'eau, celle-ci de nature très diverse suivant le type de roche la constituant, conditionnera en grande partie le transfert vers la nappe. La perméabilité des terrains déterminera la vitesse de propagation du polluant. Les rejets peuvent atteindre la nappe si leurs volumes qui s'infiltreront est supérieur à la capacité de rétention du volume de terrain non saturé affecté par la pollution.

En raison des hétérogénéités des textures et de compositions inhérentes aux aquifères, il peut s'avérer difficile de délimiter avec précision l'étendue d'une éventuelle contamination de l'eau souterraine.

Dans la majorité des cas, il semble que la contamination ne soit découverte que lorsqu'un puit d'alimentation d'eau potable est atteint, la décantation est généralement difficile pour un usage, car les concentrations usuelles très faibles (de l'ordre de $\mu\text{g/l}$) n'ont pas d'effet toxiques immédiat et passant souvent inaperçue.

Les concentrations des contaminants, lessivés et pénétrant dans le sol ou dans la zone non saturée d'un aquifère, dépendent des conditions suivantes : (Brereton et Wilkinson, 1976)

- le volume du polluant répandu en surface ;
- les changements chimiques pouvant se produire dans le temps entre le polluant et le milieu récepteur ;
- la solubilité des polluants ou de ses métabolites ;
- la recharge (importance de l'infiltration).

Dans la zone saturée, les transferts sont essentiellement latéraux selon la direction générale d'écoulement de la nappe. Dans cette zone, les processus responsables du transport moléculaire liquide. Dans cette zone, également le polluant se dissiperait, partiellement ou complètement, dans l'eau ou flotterait en fonction de la densité des composants formant le polluant.

II.1.2.2- Dans une nappe captive

La pollution ne peut provenir que d'injections volontaires de déchets liquides par forages ou de mise en communication de nappes par des ouvrages non étanches (ex : Forages profonds d'eau, hydrocarbure ou forages « sauvages »)

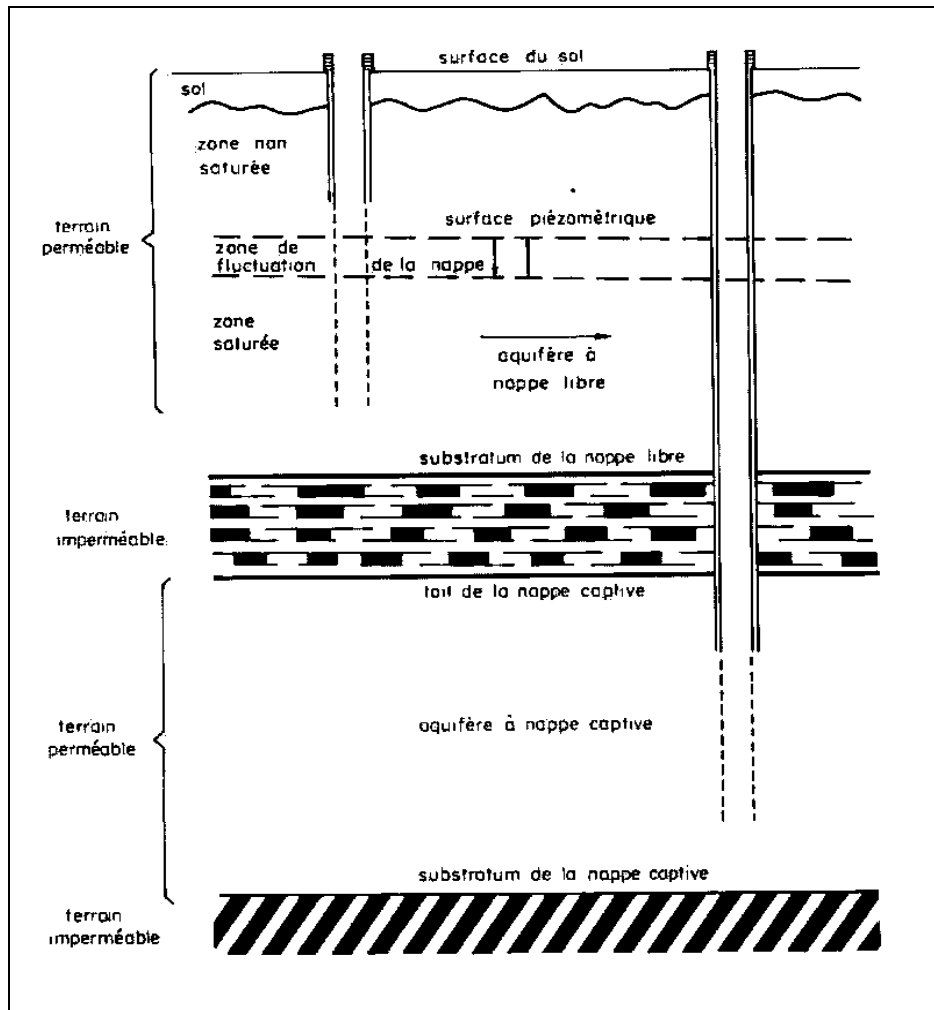


Fig. 12 : Schéma des mécanismes de pollution en nappe libre et en nappe captive (Lallemand-Barres, 1989 in Djoudar, 2003).

II.1.2.3- Dans un aquifère fissuré

La pollution est introduite par les bêttoires et puits par l'intermédiaire de la zone non saturée. Ces mécanismes sont schématisés sur la figure 3.

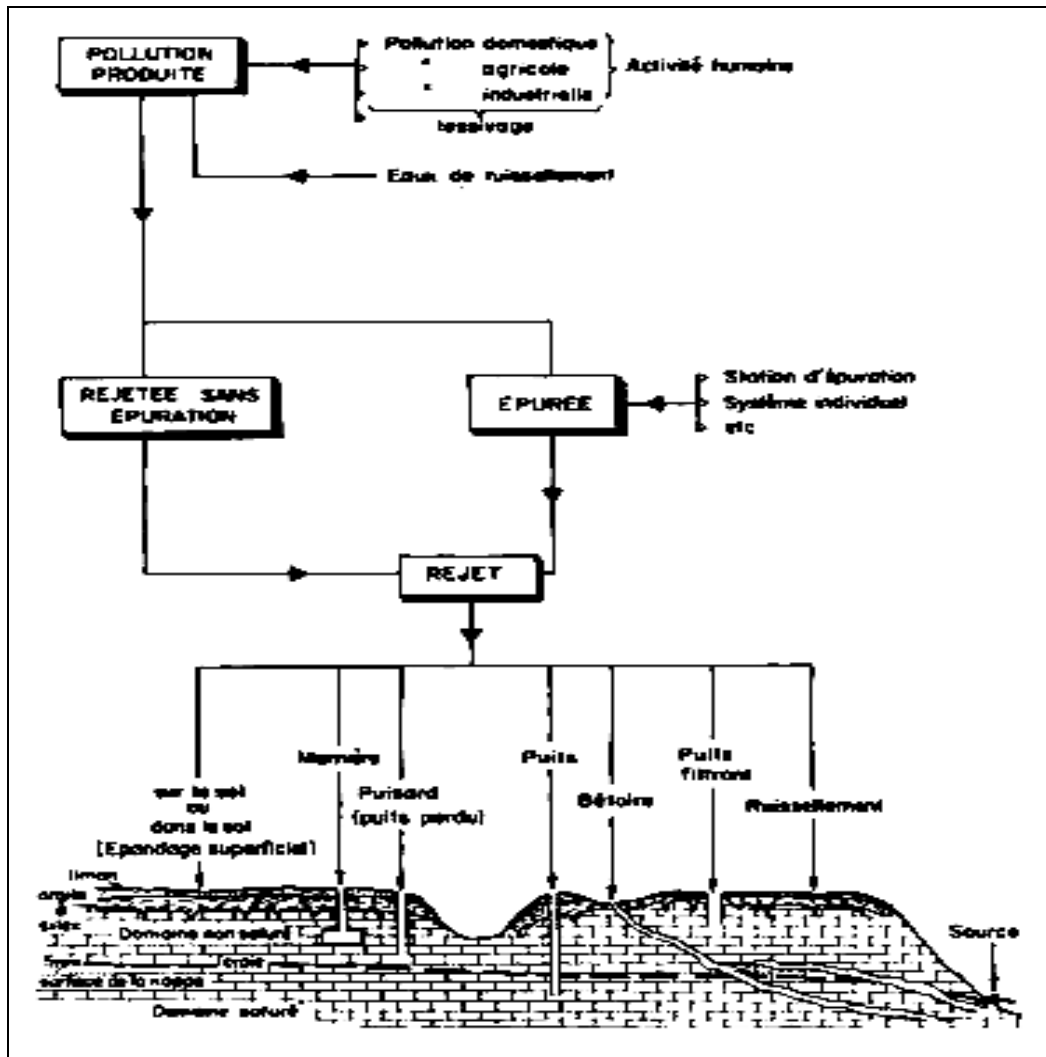


Fig. 13 : Mécanismes de pollution en milieu fissuré (Lallemand-Barres, 1989 in Djoudar ,2003)

II- 2 Mécanisme d'atténuation

L'occurrence ainsi que le mouvement de l'eau souterraine sont contrôlés presque entièrement par la topographie et la géologie. Les hétérogénéités géologiques, spécialement celles relevant de la porosité et de la perméabilité, les conditions physico-chimiques et biochimiques du milieu, ainsi que les caractéristiques propres aux polluants sont également des paramètres pouvant influencer sur l'étendue d'une éventuelle pollution des eaux souterraines.

Les principaux mécanismes de transformation et d'atténuation du polluant traversant le milieu souterrain sont :

II.2.1- Les processus physiques

La *volatilisation* : certains produits sont transférés de la surface du sol vers l'atmosphère. Dans le contexte des eaux souterraines, la volatilisation ne constitue pas un processus efficace de dissipation si le polluant a migré au-dessous de la surface du sol.

Le *lessivage* : il est régi en grande partie par les caractéristiques intrinsèques du sol et de la zone non saturée tel que la porosité, le pH, le taux d'humidité, la teneur en argile et en matière organique, de même que par les conditions météorologiques.

La *filtration* : les milieux poreux jouent le rôle de filtre pour les rejets en piégeant une

partie organique en suspension et des micro-organismes.

La *rétenion capillaire* : une partie de la charge polluante peut être retenue dans l'eau capillaire de la zone non saturée.

La *dispersion / dilution* : la dispersion s'applique aux substances solubles et aux substances pouvant se mettre en suspension. Elle est liée à :

- La vitesse de l'eau, à la perméabilité et à la porosité efficace du milieu.
- La dispersivité du milieu (qui se fait dans les trois directions de l'espace, a pour effet d'accroître le volume marqué par la présence du polluant en fonction du temps (Fig. 4)

La *flottation* : ce phénomène se rapporte aux produits insolubles ou à faible solubilité tels les hydrocarbures qui sont plus légers que l'eau (Fig. 5)

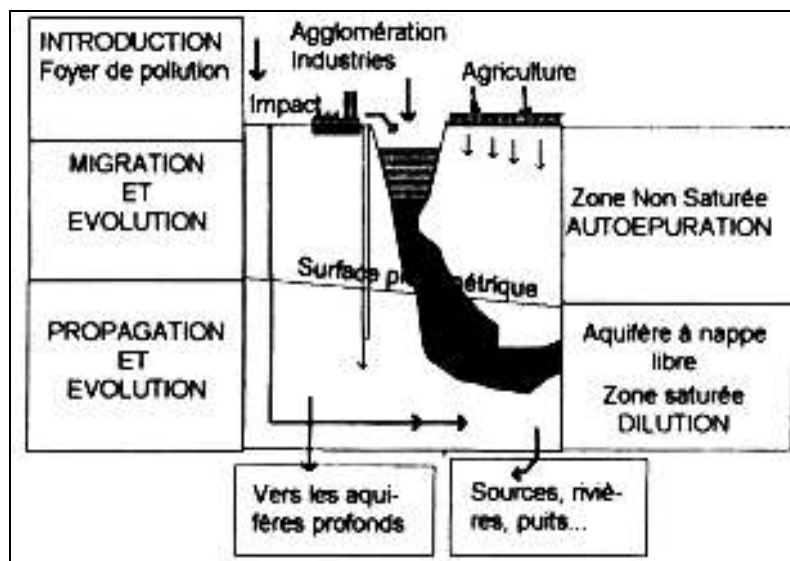


Fig. 14 : Origine, transport et évolution des polluants, de la surface du sol aux écoulements (Castany, 1975 in Djoudar, 2003)

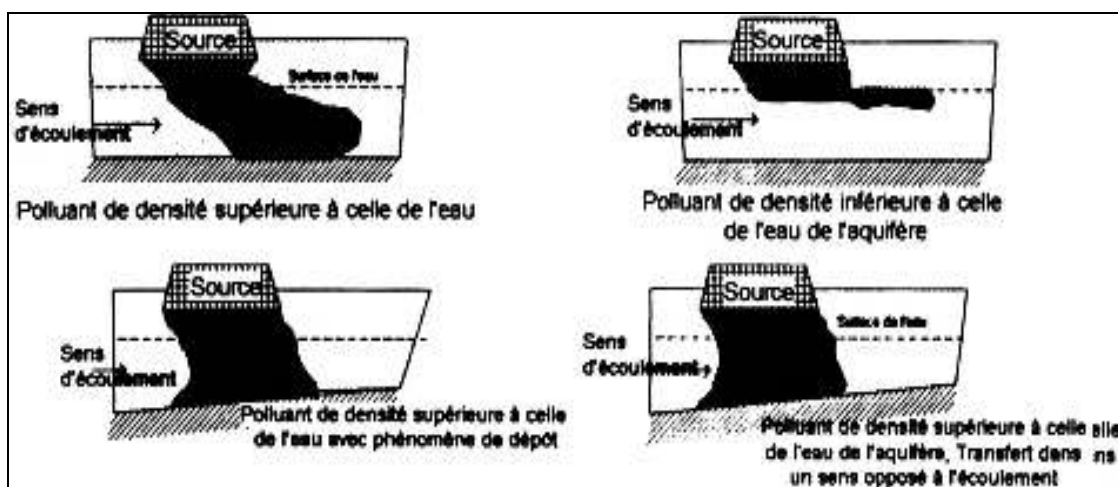


Fig. 15 : Transfert des polluants dans l'aquifère (Aller et al, 1987 in Touileb 1997 in Djoudar, 2003)

II.2.2- Les processus chimiques et biochimiques

Dégradation chimique : les réactions chimiques les plus probables dans le milieu souterrain sont engendrées par les processus d'hydrolyses des polluants, se produisant habituellement par l'intermédiaire d'acides ou de bases, lesquels jouent le rôle de catalyseurs.

Adsorption / désorption : les constituants du sol les plus susceptibles d'être impliqués dans ce processus sont ceux qui possèdent une grande surface spécifique (cas des argiles), ou encore des sites très réactifs sur lesquels peuvent se fixer diverses substances (matières organiques). Le degré d'adsorption d'un polluant est fortement lié à sa nature chimique (grosseur de la molécule, polarité, position de ses groupements fonctionnels, ...etc).

Biodégradation : c'est le résultat de l'ensemble des processus dynamiques impliqués dans la distinction biologique des composés organiques par les micro-organismes contenus dans le milieu souterrain. Cette auto épuration est fonction de plusieurs paramètres (température, teneur en oxygène dissous, pourcentage de la matière organique ...etc).

Dégradation par les plantes : lorsque les végétaux sont mis en présence d'un milieu nutritif renfermant une certaine quantité de pesticides, une fois absorbés, ces derniers peuvent subir des transformations sous l'influence de métabolisme de la plante hôte, ce qui retarde leur migration vers les eaux souterraines.

Précipitation : Dans les précipités, des cations polluants peuvent être piégés : en effet, des modifications de corps de température et de pH entraînent la précipitation de certains composés, dans lesquels peuvent être piégés des éléments en traces tel que Cu, Zn et Pb, associés parfois à des hydroxydes de Fer (Fe) et de Manganèse (Mn).

CHAPITRE III :

METHODES D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE

III.1- Introduction

La vulnérabilité des nappes d'eau souterraines est une donnée locale qui peut servir à la protection de la ressource en eau, à la planification rationnelle de l'utilisation du Territoire et à la prévention de l'environnement. L'accroissement de la population et le développement économique entraîne une augmentation des volumes d'eau consommés et plus encore une détérioration de sa qualité. Les eaux souterraines, de même que pour les eaux de surface, sont susceptibles d'être contaminées par les activités humaines.

Les phénomènes de filtration et les réactions qui se produisent dans les sols, offrent cependant un certain niveau de protections des nappes contre les polluants déversés à la surface du sol. Cette protection varie en fonction de la nature des matériaux constituant le sol et des conditions hydrogéologiques locales. Dans ce sens, de nombreux pays européens et américains ont conçu une ou plusieurs méthodologies d'évaluation et de cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution.

Plusieurs méthodes ont été développées : française, anglaise, allemande et américaine.

III.2- Définition de vulnérabilité

La vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine est une notion complexe par le nombre de facteurs qu'elle fait intervenir et par l'importance variable qui peut être attribuée à chacun. Dans la littérature, nous pouvons rencontrer plusieurs définitions de la vulnérabilité des nappes à la pollution bien que convergeant vers le même sens.

* En 1968, J. MARGAT indiquait qu'on pouvait la définir « *comme le fait pour une nappe souterraine d'être plus ou moins exposée par les conditions naturelles à un risque donné d'être polluée* ».

* En 1970, M. ALBINET, reprend cette définition sous la forme suivante « *la vulnérabilité des nappes correspond aux possibilités de pénétration et de propagation des polluants dans les terrains rencontrés en surface et pour les réservoirs dans lesquels sont contenus la première nappe d'eau souterraine généralement libre* ».

* En 1980, Melle M.F PARASCANDOLA précisait que « *définir le degré de vulnérabilité suppose que l'on ait su caractériser les agressions et les défenses, que l'on ait su convoler les fonctions d'agressions et de défenses, que l'on ait défini une fonction de vulnérabilité que l'on ait fixé une échelle de vulnérabilité* ».

* En 1982, G.CASTANY écrivait « *la vulnérabilité des nappes à la pollution est leur sensibilité aux différents facteurs physiques stables, déterminant la mesure où elles sont, dans des conditions naturelles, plus ou moins exposées à la pollution à partir de la surface du sol. Elle étudie les possibilités de propagation dans l'espace souterrain. Celle-ci est, en premier lieu, liée à l'autoépuration naturelle du sol, donc à la présence de conditions indispensables à son action. En second lieu, elle est favorisée par la circulation de l'eau.* »

III.3- Différentes méthodes d'estimation de la vulnérabilité :

Les premières cartes de vulnérabilité à la pollution sont apparues dans les années soixante dix (Albinet et Margat, 1970). Ces dernières constituent des synthèses de quelques grandeurs et peuvent être rangées en trois (03) groupes fondamentaux selon les méthodes utilisées :

- Méthodes orientées sur un système de cotation numérique.
- Méthodes orientées sur les documents cartographiques.
- Méthodes générales ou mixtes.

III.3.1- Méthodes orientées sur les systèmes de cotation numérique

L'intérêt de ces méthodes consiste à donner une approche synthétique et interprétative lors de l'évaluation de la vulnérabilité. L'intégration des paramètres physiques de l'aquifère est très importante pour une bonne estimation du domaine souterrain.

III.3.1.1- Méthode de SILKA (1978)

Celle-ci est plus facile à réaliser et économique en temps. Elle tient compte de la qualité du polluant. Ses différents paramètres sont répartis comme suit :

- Une description de la zone non saturée (une côte de 1 à 10).
- Une caractérisation de l'extension de l'aquifère (une côte de 1 à 5).
- Une caractérisation physico-chimique de l'eau (une côte de 1 à 5).

Dans le cas de la présence de pesticides, une côte variable de 5 à 8 est mise en place selon cinq critères : La *toxicité*, la *mobilité*, la *persistance*, le *volume* et la *concentration* du produit.

Pour désigner la distance d'une région vulnérable localisée à proximité d'un point d'eau, on affecte une côte de 9. L'évaluation du degré de confiance est réalisée par l'introduction d'une lettre d'appréciation (exemple A : bonne estimation).

Cette méthode n'envisage aucune représentation cartographique, l'index de vulnérabilité permet la classification des régions selon leur degré de vulnérabilité

III.3.1.2- Méthode de THORHIL (DRASTIC) 1985

La méthode a été développée par la NWIA'A (National Water ;Veil Association), son intérêt est d'évaluer les risques de dégradation de la qualité des eaux souterraines. C'est une méthode empirique fondée sur trois (03) axes :

- Son domaine d'application à l'échelle régionale.
- La source initiale de pollution se répand dans le milieu à partir de la surface du sol par l'infiltration.
- La qualité du contaminant n'intervient pas sur le degré de vulnérabilité.

Le terme DRASTIC est l'abrégié des sept (07) paramètres de la méthode. Des côtes sont attribuées pour chaque valeur des paramètres sous forme de tableau. Ensuite, on élabore l'indice DRASTIC qui est égal à la somme des poids par cotes :

$$\text{Indice DRASTIC général} = (Dc.Dp)+(Rc.Rp)+(Ac.Ap)+(Sc.Sp)+(Tc.Tp)+(Ic.Ip)+(Cc.Cp)$$

L'indice permet d'estimer le risque de contamination d'une formation aquifère, ce risque augmente avec la valeur de cet indice

III.3.1.3- Méthode GOD (Foster et Hirata, 1991)

Dans cette méthode, la vulnérabilité est réalisée suivant l'inaccessibilité dans la zone non saturée au sens de l'identification du polluant, cette dernière est basée sur trois (03) éléments -

- Identification de la nature de l'aquifère selon son degré de confiance (Ci)
- La profondeur de la nappe (Cp).
- La particularité de la zone non saturée (porosité, perméabilité, contenu en eau), (Ca).

Dans cette méthode, l'indice de vulnérabilité est le suivant ($IGOD = C_i * C_p * C_a$)

III.3.1.4- Méthode PRAST

Dans cette méthode, on voit l'apparition d'un nouvel élément (P pouvoir épurateur du sol) qui regroupe trois paramètres (D, I, C) de la méthode DRASTIC. En effet, cette démarche facilite la méthode précédente (DRASTIC). Le pouvoir épurateur du sol (P) correspond aux phénomènes de l'autoépuration naturelle du sol qui est le paramètre le plus important dans la méthode.

Les éléments de la méthode sont donnés ci-dessous :

- Le pouvoir épurateur du sol (P).
- La recharge(R)
- Type de l'aquifère (A).
- Type du sol (S).
- La topographie (T)

Comme pour la méthode DRASTIC, chaque paramètre est assigné d'un poids de 1 à 8 et d'une cote de 1 à 10 qui correspond à son importance dans l'atténuation des polluants

III.3.1.5- Méthode du pouvoir épurateur du sol (Rehse, 1977)

Le pouvoir épurateur du sol, puis celui de la zone non saturée, est important pour éviter la propagation d'une pollution en direction des nappes. La méthode, proposée par Rehse, tient compte de divers mécanismes qui sont étroitement liés. Ce sont les processus physiques, mécaniques et biochimiques qui agissent sur le transport des bactéries sur la dégradation des composés organiques et chimiques qui interfèrent sur le transfert du soluté (SAID .R ,1999)

III.3.2- Méthodes orientées sur des documents cartographiques

Dans ces méthodes, on tient compte en premier lieu des conditions suivantes :

- La nature du recouvrement (sol et sous sol)
- La profondeur de la nappe:

En seconde partie, on prend en considération l'intercalation des formations aquifères vis-à-vis du polluant; donc tous ces éléments ont été déduits à partir des documents cartographiques

III.3.2.1- Méthode d'Albinet et de Margat (1970)

Cette méthode se résume à une représentation globale des éléments qui contrôlent la vulnérabilité, à savoir :

- La profondeur de la nappe.
- Le drainage de surface.
- La nature lithologique du sous-sol

En effet, le degré de vulnérabilité est évalué sous forme de classes avec des valeurs bien déterminées.

III.3.2.2- Méthode wipp (1982)

Cette méthode tient compte des critères suivants :

- La profondeur de la nappe.

-
- La déplacement de l'eau.
 - La perméabilité du sol.
 - L'utilisation de l'eau

Cette dernière donne trois catégories de vulnérabilité (Forte, Moyenne, Faible).

III.3.2.3- Méthode anglaise NRA (National River Authority)

Elle a été évaluée par la NRA en 1992. Ses grands axes de réalisation sont :

- La pédologie (caractéristiques du sol)
- Le contaminant et son rôle comme l'élément principal
- L'épaisseur de la nature de la zone non saturée.

III.3.3- Méthodes générales ou mixtes

Ces méthodes donnent une approximation globale à partir d'une analyse des critères de la protection des nappes. Elle tient compte de la géologie et de l'hydrogéologie

III.3.3.1- Méthode de Vierhuff (1982)

Cette dernière dépend des paramètres suivants :

- La nature du sol et la zone non saturée.
- La profondeur de la nappe.
- Le régime hydrologique.

Ces paramètres précédents ont été groupés par Vier Huff en cinq (05) classes (de forte à très forte vulnérabilité).

III.3.3.2- Méthode de Villumsen et Sonderskov (1982)

Ces derniers ont proposé quatre (04) paramètres, l'un d'eux compte de la variation du niveau piézométrique échelonné sur des cotes correspondantes, les autres dépendent de:

- La capacité d'adsorption du sol
- La zone saturée et ses caractéristiques.

III.3.3.3- Méthode de Haerté (1983)

Dans cette méthode deux critères essentiels sont retenus :

- L'épaisseur de la zone vadose (zone non saturée).
- La perméabilité de la formation aquifère.

Cette méthode est classée suivant l'épaisseur des formations et leur nature lithologique ; en effet le domaine de classification varie entre faible, moyenne et haute.

III.4- Conclusion

En conclusion, on peut dire que les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité se rapprochent entre elles, cela est dû dans la majorité des cas à la convergence de leurs critères d'évaluation de base. Parmi toutes ces méthodes, la méthode DRASTIC qui se caractérise par une structure très efficace et une accessibilité aisée des données de base reste très utilisée dans le monde (AIT OUALI, 2003).

Toutes ces méthodes permettent d'évaluer la vulnérabilité, mais, la méthode la plus utilisée est la méthode DRASTIC et cela pour sa facilité et sa précision.

CHAPITRE IV :

**ASPECT THEORIQUE ET PRATIQUE DE LA METHODE
DRASTIC**

IV.1- Introduction

La méthode DRASTIC est d'origine américaine, développée par NWWA (National Water Well Association), entre 1983 et 1987 comme base pour l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines.

Elle est basée sur un système de cotation numérique et permet l'établissement des cartes de vulnérabilité, qui sont la synthèse des connaissances lithologique, pédologique et hydrogéologique d'une région.

IV.2- Définition de la méthode DRASTIC

Cette méthode a été développée par la NWWA (National Water Well Association) dans le but d'évaluer les risques de dégradation de la qualité des eaux souterraines (Aller et al, 1987).

L'approximation de son évaluation dépend essentiellement de la nature, de la qualité et de la fiabilité des données; donc elle est empirique, est définie par les trois (03) axes suivants :

- Elle s'applique à l'échelle régionale.
- La source initiale de pollution se répand dans le milieu à partir de la surface.
- La qualité du contaminant n'intervient pas sur le degré de vulnérabilité.

IV.3- Description de la méthode « Drastic »

La première étape de la méthode DRASTIC est la définition des unités hydrogéologiques à partir d'un ensemble de caractéristiques qui influent directement ou indirectement sur l'écoulement des eaux souterraines depuis la surface du sol jusqu'à la nappe en passant par la formation aquifère. Ces unités sont obtenues après superposition de différentes zones caractérisées chacune par un indice partiel propre à chacun des paramètres DRASTIC.

Chaque unité hydrogéologique a ses propres caractéristiques physiques qui peuvent faire augmenter ou atténuer la pollution potentielle des eaux souterraines. Une large bande de dispositions techniques est considérée vu l'importance relative de nombreux caractères physiques qui peuvent conditionner la pollution potentielle. Les agents que renferme l'aquifère sont la chimie, la température, la transmissivité, la tortuosité les phases gazeuses transportées et bien d'autres qui peuvent être évalués. La disponibilité de données cartographiables a été également considérée. Comme résultat de cette évaluation, les plus importants paramètres cartographiables qui influencent la pollution potentielle sont:

La profondeur de la nappe (D), le recharge nette (R), les matériaux de l'aquifère (A), les matériaux du sol (S), la topographie (pente) (T), l'impact de la zone non saturée (I) et la conductivité hydraulique de l'aquifère (C).

L'indice DRASTIC est basé donc sur l'évaluation de ces sept (07) paramètres hydrogéologiques. Chaque paramètre est assigné d'un poids relatif fixe qui correspond à son importance dans la définition du degré de vulnérabilité ou de la pollution potentielle.

Le tableau n°1 (Annexe A) donne les poids concernés par le cas de la pollution des eaux souterraines par les nitrates (engrais azotés, rejets urbains et industriels: agro-alimentaires et papeteries). Un deuxième tableau spécialement conçu pour le cas de la pollution par les pesticides, donne aussi les poids qui faciliteront le calcul (Annexe A : Tableau n°2).

Poids des paramètres

Chaque paramètre a été évalué selon son importance par rapport aux autres aussi il lui a été assigné un poids relatif compris entre 1 et 5 (Annexe A : Tableau n°1). Le paramètre significatif dans l'évaluation de la pollution potentielle a un poids de 5 et le moins important sera coté à 1. Ces poids sont constants et ne peuvent être changés. D'autres poids ont été déterminés (Annexe A : Tableau n°2) et ils reflètent l'usage des pesticides dans l'agriculture.

Rang:

Chaque paramètre DRASTIC a été subdivisé en plusieurs rangs ou en type de matériaux significatifs ayant un impact dans l'estimation de la pollution potentielle (Annexe A : tableaux n°3 à 9). Une description des matériaux types est consignée dans le paragraphe 7 « matériaux du sol, matériaux de l'aquifère, Impact des matériaux de la zone non saturée. Les rangs des matériaux types, dans les graphes (figures n°1 à 7), montrent la linéarité ou la non - linéarité de ces paramètres.

Cote:

Chaque rang pour chaque paramètre a été évalué selon son importance par rapport aux autres aussi il lui a été assigné une cote relative comprise entre 1 et 10. Il a été assigné à tous les paramètres une seule valeur par rang sauf pour les matériaux de l'aquifère et pour l'impact des matériaux de la zone non saturée à qui il a été attribué une cote typique et une gamme variable de cote. Cette variation de cote permet à l'utilisateur de choisir soit la valeur typique soit d'ajuster la valeur sur la base de données spécifique.

La cote est semblable que ce soit pour l'indice DRASTIC et pour l'indice DRASTIC modifié pour les pesticides.

IV.4- Calcul de l'indice « DRASTIC »

L'indice DRASTIC est numérique. Il représente la somme pondérée de sept (07) cotes correspondant aux sept (07) paramètres hydrogéologiques cités au tableau n°1. A chaque paramètre est associée une cote variant de 1 à 10 en fonction des conditions locales.

En outre, à chacun est attribué un poids relatif fixe et prédéterminé qui correspond à son importance dans le processus de lixiviation et d'atténuation des polluants. Ainsi, un paramètre prépondérant dans le processus de contamination se voit assigner d'un poids de cinq (05), alors qu'un paramètre ayant moins d'impact se voit attribuer un poids de un (01).

Les tableaux (n° 3 à 9) de l'annexe A permettent aux paramètres considérés l'attribution de cotes en fonction de leurs valeurs locales. L'indice local de chaque paramètre est partiel. Il est obtenu en multipliant sa cote par son poids relatif.

L'indice DRASTIC = Pollution potentielle

Indice DRASTIC général : $(Dc.Dp) + (Rc.Rp) + (Ac.Ap) + (Sc.Sp) + (Tc.Tp) + (Ic.Ip) + (Cc.Cp)$

c : côte du paramètre considéré ; **Dc** : la côte du paramètre **D** ; **Dp** : son poids

IV.5- Interprétation de l'indice DRASTIC

L'indice de vulnérabilité DRASTIC représente une évaluation du niveau de risque de contamination d'une formation aquifère. Ce risque augmente avec la valeur de l'indice. Celui-ci peut prendre une valeur maximale de 226 et une valeur minimale de 23. Son appréciation n'est possible que par l'analyse comparative entre différents sites ou unités hydrogéologiques.

A cet effet, le groupe JRB (1982) a développé un système de représentation permettant aux utilisateurs une visualisation immédiate du degré de vulnérabilité. Le principe consiste à diviser la valeur indicelle de chaque zone par le score maximum pouvant être atteint (226) en le

multipliant par 100 afin d'exprimer la vulnérabilité en pourcentage ce qui a permis (Fig. n°6) de définir cinq classes de vulnérabilité.

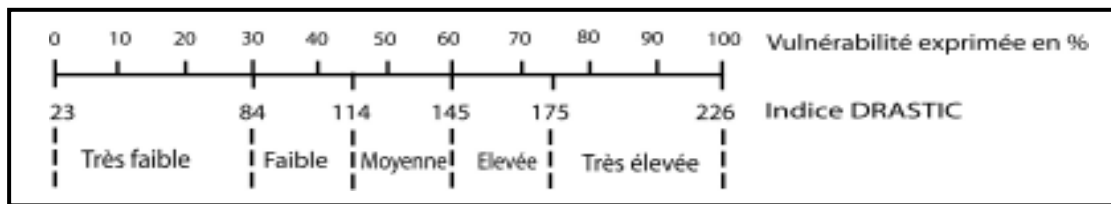


Fig. n°06 : Diagramme des classes de vulnérabilité. Selon la méthode DRASTIC

Ce système ou cette équation permet à l'utilisateur de déterminer une valeur numérique pour n'importe quel site hydrogéologique. Une fois l'indice DRASTIC calculé, il est possible de connaître les zones qui ont, par rapport aux autres, plus de chance d'être susceptibles à une contamination des eaux souterraines. Un indice DRASTIC élevé implique une grande pollution potentielle.

C'est ainsi que les valeurs extrêmes sont:

Index DRASTIC maximum = 226 (très vulnérable).
 Index DRASTIC minimum = 23 (invulnérable).

L'indice DRASTIC « pesticides » peut être utilisé dans les régions où on note une intense activité agricole et où les eaux souterraines sont susceptibles d'être polluées par les pesticides. Il représente un cas spécial de l'indice DRASTIC. La seule différence réside en une attribution différente aux valeurs des poids de quelques paramètres. En effet puisque le sol joue un rôle important dans l'agriculture il lui a été assigné un poids de 5 alors qu'il était à 2. La topographie, l'impact des matériaux de la zone non saturée et la conductivité hydraulique de l'aquifère ont été légèrement changés parce qu'ils ont leur importance dans l'atténuation ou dans la facilité de passage des pesticides. Le poids des autres paramètres ainsi que les rangs et les cotes restent semblables, sans changement.

IV.6- Description des paramètres de la méthode Drastic

IV.6.1- Les critères de la méthode DRASTIC

DRASTIC et l'indice DRASTIC modifié pour les pesticides a été développé selon les principaux critères:

1. Le polluant est introduit dans la surface du sol;
2. Le polluant atteint les eaux souterraines par l'infiltration des eaux de pluies;
3. Le polluant a une mobilité dans l'eau
4. La zone utilisée pour l'évaluation de l'indice DRASTIC est supérieure à 41 ares.

La méthode suppose que le polluant est déversé à la surface du sol, entre dans le sol, traverse la zone non saturée et entre dans l'aquifère en atteignant les eaux souterraines.

IV.6.2- Profondeur de la nappe

La profondeur de la nappe est importante, premièrement parce qu'elle détermine l'épaisseur du matériel à travers lequel un polluant doit passer avant d'arriver à l'aquifère et il peut aider à déterminer la durée de contact avec les matériaux environnants. En général, il y a de forte chance que le polluant s'atténue plus la profondeur de la nappe augmente parce que plus le niveau de l'eau est profond plus cela implique une durée de traversée plus grande. La présence

d'une couche à faible perméabilité peut rendre captif l'aquifère et limiter la traversée du polluant vers l'aquifère.

IV.6.3 - Recharge nette

La première source d'alimentation des eaux souterraines est l'infiltration des eaux de pluies à travers le sol et la zone non saturée. La recharge nette représente la somme des eaux, par unité de surface, qui pénètre dans le sous sol et arrive à la nappe. Ces eaux infiltrées véhiculent le polluant verticalement vers la zone saturée puis horizontalement dans l'aquifère. Par conséquent, ces eaux sont le principal véhicule pour filtrer et transporter un polluant solide ou liquide vers la nappe. Donc plus nous avons une infiltration importante plus il faut s'attendre à une pollution conséquente des eaux souterraines. Cette évidence est valable jusqu'au point où la recharge est assez grande pour causer une dilution du polluant à un tel degré que la potentielle pollution cesse d'augmenter et commence à diminuer.

IV.6.4 - Matériaux de l'aquifère

L'écoulement d'eau dans un aquifère est conditionné par les matériaux de l'aquifère. Le cheminement que doit suivre un polluant est donc dépendant du système d'écoulement d'un aquifère. La longueur du cheminement est importante pour maîtriser la détermination du temps nécessaire à l'atténuation du processus de contamination d'une nappe par adsorption, par réaction chimique et par dispersion. En général plus les grains sont grands, plus les fractures sont grandes et nombreuses, donc plus la perméabilité est grande et plus la capacité d'atténuation de la pollution de l'aquifère est petite.

Les matériaux de l'aquifère ont été décrits par cette méthode. Chaque matériau est listé en fonction de l'accroissement de la pollution potentiel

- a. *Argiles schisteuses massives*: C'est des couches épaisses d'argiles schisteuses indurées et argiles qui sont considérés comme des formations sèches. Seulement une petite quantité d'eau est stockée dans les fractures et les feuillés quand elles existent, donc la pollution potentielle est vraiment petite. La pollution potentielle est influencée surtout par le degré de fracturation.
- b. *Roches métamorphiques et éruptives*: C'est des roches consolidées métamorphiques ou éruptives qui originellement contiennent ou non une faible porosité primaire et qui donne de l'eau seulement par les fractures à l'intérieur de la roche. Généralement dans ce type de roche les forages ou les puits donnent de faible débit et la pollution potentielle est fonction du degré de fracturation.
- c. *Roches métamorphiques et éruptives altérées*: C'est des roches altérées ou non consolidées qui dérivent et se trouvent habituellement sur des roches consolidées saines. En plus des vides créés par l'altération elles possèdent une porosité primaire par conséquent la pollution potentielle peut être nettement plus importante.
- d. *Terres de glacier* : C'est des couches non consolidées avec une mixture de graviers, de sables, de limons et d'argiles qui sont mal triées et mal stratifiées. La faible perméabilité de cette terre fait que les ouvrages hydrauliques donnent de faible débit. Ces derniers sont généralement peu profonds ce qui fait donc qu'ils sont susceptibles d'être pollués. Les fractures dans ces terres peuvent influencer la potentielle pollution.
- e. *Séquences de couches de grés, calcaires et d'argiles schisteuses*: C'est généralement des séquences de couches peu épaisses de roches sédimentaires. La pollution potentielle est fonction du degré de fracturation.

-
- f. *Grès massif*: C'est des couches de grès consolidés qui contiennent une porosité primaire et une porosité secondaire et qui sont généralement plus épaisses que le type précédent (e). La pollution potentielle est largement contrôlée par les deux types de porosité des grès.
 - g. *Calcaires massifs*: C'est des couches de calcaires et de dolomies caractérisées par des bancs généralement épais comme « f ». La pollution potentielle est largement fonction du degré de fracturation, des cavités et du nombre de dolines.
 - h. *Sables et graviers*: C'est des couches non consolidées formées de sables et de graviers qui contiennent une grande concentration de particules fines. En général, plus les matériaux sont propres et grossiers plus la pollution potentielle est grande.
 - i. *Basalte*: C'est des formations éruptives consolidées qui contiennent des fractures et une porosité de fente en général. La pollution potentielle est fonction des intercommunications des ouvertures qui se sont formés lors du refroidissement des laves. Le polluant a peu de chance d'être atténué une fois celui-ci à l'intérieur des fractures.
 - j. *Formations karstiques*: C'est des couches de calcaires consolidés. La dissolution de la roche par l'eau au niveau des ouvertures a entraîné leur agrandissement avec formation de cavités et de galeries intercommunicant entre eux. C'est un cas typique aux roches calcaires. La pollution potentielle est généralement très grande et surpassant tous les autres.

L'utilisateur de la méthode peut choisir pour l'évaluation de n'importe quel aquifère dans une région, seulement un aquifère à la fois. Dans un multicouche, il doit décider du choix de l'aquifère selon les matériaux appropriés.

Concernant la cote (rating) des matériaux de l'aquifère, le tableau donne des fourchettes de valeur et l'utilisateur doit savoir prendre la valeur la plus appropriée à l'aquifère qu'il étudie. Si les matériaux de celui-ci sont semblables à ceux décrit, il doit opter pour la cote type si cela diffère, en fonction de ses observations, il décide de la côte à donner. A titre d'exemple si c'est des calcaires massifs avec une fracturation moyenne il doit donner la valeur 6, plus la fracturation augmente et tend vers la karstification plus la valeur à donner doit tendre vers 9. Dans le cas, ou c'est le contraire, c'est des calcaires massifs faiblement fracturés, la valeur la plus appropriée es

IV.6.5 - Matériaux du sol

Les matériaux du sol concernent la partie la plus superficielle de la zone non saturée qui est caractérisée par une importante activité biologique. Le sol est communément considéré comme la partie formée par des produits d'altérations et constituant la zone superficielle de la terre et sa profondeur moyenne fait 183 cm ou moins à partir de la surface de la terre. Le sol a un impact significatif sur la totalité de la recharge qui peut s'infiltrer dans le sous sol et ce en dehors de la capacité du polluant à pénétrer verticalement dans la zone non saturée. La présence de matériaux à texture fine comme les limons et les argiles diminue la perméabilité du sol ce qui limite la migration d'un polluant. La matière organique en grande quantité dans le sol peut être aussi un facteur important, particulièrement dans l'atténuation des pesticides. Les composés humiques sont également principalement responsable de l'adsorption.

IV.6.6 - Topographie

Le terme topographie, ici, veut dire la pente et sa variation dans une région. La topographie conditionne en général l'infiltration de la pluie et de n'importe quel polluant. En effet quand celui-ci se trouve sur une pente raide, il a tendance plutôt à ruisseler et quand il est sur une surface plane

IV.6.7 - Impact de la zone non saturée

La zone non saturée est définie comme la zone se trouvant au-dessus de la surface piézométrique et qui n'est pas saturée en eau. Elle renferme une phase solide (la roche), une phase liquide (l'eau) et une phase gazeuse (l'air). La biodégradation, la neutralisation, la filtration mécanique, les réactions chimiques, la volatilisation et la dispersion sont autant de processus qui caractérisent la zone non saturée. La biodégradation et la volatilisation diminuent avec la profondeur. Les matériaux jouent également un rôle important par leur constitution et leur agencement dans l'atténuation d'une pollution ou par la facilité du passage que peuvent procurer les fractures.

IV.7 Construction de la carte de vulnérabilité (Aller *et al*, 1987)

Les méthodologies DRASTIC et PRAST sont axées sur une cotation numérique de la vulnérabilité. Elles permettent l'établissement des cartes de vulnérabilité qui forment une synthèse des connaissances lithologiques, pédologiques et hydrogéologiques d'une région.

L'établissement d'une carte de vulnérabilité selon l'une des deux méthodes se fait selon les étapes suivantes :

- 1- Constitution d'une banque de données, de la région d'étude, sur la base :
 - D'un inventaire du patrimoine documentaire par une bonne recherche bibliographique permettant d'évaluer tous les paramètres ;
 - Des investigations éventuelles de terrains pour compléter ou actualiser certaines données telles que la profondeur de l'eau qui varie en fonction des saisons ;
- 2- Attribution d'une côte à chaque paramètre, ensuite la côte de chaque paramètre propre à chaque méthodologie est multiplié par un poids relatif (voir annexe 1)
- 3- Une carte thématique réalisée pour chacun des paramètres considérés par la méthode utilisée.
- 4- Sur chaque carte sont délimitées les zones en fonction des intervalles établies par le système de cotation DRASTIC ou PRAST
- 5- On utilise pour chaque carte thématique d'un paramètre considéré une couleur

Paramètres DRASTIC	Couleur
Profondeur	Noir
Recharge nette	Vert
Milieu aquifère	Rouge
Type de sol	Bleu
Topographie	Violet
Impact de la zone non saturée	Jaune
Conductivité hydraulique	Orange

Tableau 1 : Couleurs utilisées pour les exercices de cartographie des paramètres DRASTIC (Aller *et al*, 1987, in Touileb, 1997).

- 6- Réalisation d'une série de superpositions de sept couches afin de visualiser les intersections des grandes unités hydrogéologiques ainsi que les sous-unités correspondantes ;
- 7- Calcul de l'indice de vulnérabilité général pour chaque unité hydrogéologique obtenue et chaque sous-unité déduite ;

8- Représenter les limites des différentes unités hydrogéologiques sur un fond topographique et porter à l'intérieur de ces unités leurs numéros d'identification ainsi que la valeur de l'indice général de vulnérabilité correspondant ;

9- L'identification des unités qui se fait par une lettre et des chiffres (exemple : 2A₃²¹) qui représentent le code du bassin versant (2), l'unité hydrogéologique (A), la sous-unité hydrogéologique (3) et l'indice global de vulnérabilité (21) ;

10- L'attribution des couleurs conventionnelles (Tableau 6) aux différentes unités hydrogéologiques, permettra de lire la carte synthétique de vulnérabilité ainsi qu'une visualisation graduelle du degré de vulnérabilité : les couleurs rouge, orange, et jaune indiquent les sites à fort potentiel de vulnérabilité et les couleurs bleu, indigo et violet caractérisent les zones moins sensibles.

Intervalles de l'indice global	Couleurs
Méthode DRASTIC	
< 79	Violet
080 – 099	Indigo
100 – 119	Bleu
120 - 139	Vert foncé
140 - 159	Vert clair
160 – 179	Jaune
180 – 199	Orange
> 200	Rouge

Tableau 2 : Code international des couleurs pour les intervalles de l'indice DRASTIC (Aller et al ; 1987 modifié, in Touileb,1997).

PARTIE 2

CHAPITRE I :

SITUATION GEOGRAPHIQUE

I.1- Cadre géographique de la région d'étude

Administrativement, la plaine alluviale du Sébaou se situe dans les Wilaya de Tizi-Ouzou et de Boumerdés, à 80Km à l'Est d'Alger (Figure N°01).

La surface drainée par l'oued Sébaou et ses affluents (bassin versant) est limitée entre les altitudes 36°27 ' et 36°55 ' Nord et les longitudes 3°55 ' et 4°53 ' Est. S'étalant sur une superficie de 2500Km²; le bassin versant du Sébaou est caractérisé par un relief typiquement montagneux, couvrant 82% de la superficie totale, il est limité :

-
- Au nord ouest par la mer méditerranée ;
 - Au nord et nord Est par la chaîne littorale ;
 - Au sud et sud Est par la chaîne de Djurdjura (chaîne calcaire) ;
 - A l'ouest par les chaînons de Naciria et Sidi-Ali-Bounab orienté ENE –WSW ;

I.2- Développement socio-économique de la région d'étude

La wilaya de Tizi-Ouzou recèle de nombreuses potentialités socio-économique principalement en matière d'agriculture et industrielle, mais aussi humaine. Chacune de ces potentialités nécessite pour leurs subsistances et leur développement une quantité d'eau considérable. Or, la tendance du climat actuel est vers la sécheresse : diminution et irrégularité des précipitations depuis presque deux décennies et le problème de la qualité de l'eau souterraine constamment menacée dans la région par les conséquences d'une agriculture productiviste et des effluents industriels et urbains, rendent la tâche de satisfaire ces multiples besoins en eau de plus en plus délicat.

I.2.1- Potentiels humains

D'après le dernier recensement général de la population et de l'habitat effectué en 2002, la population total de la wilaya de Tizi-Ouzou est estimée à 1212600 habitants répartis sur l'ensemble du territoire d'étude avec un taux de 67,30% soit 868.600 habitants dans les zones rurales et 32,70% soit 34.400 habitants dans les zones urbaines. La ville de Tizi-Ouzou, chef lieu de la wilaya située au cœur la plaine du Sébaou, est le lieu privilégié d'une forte concentration humaine en raison de la disponibilité des infrastructures socio-économique de base.

I.2.2- Potentiels agricoles

Le système de production mis en place dans la wilaya est la polyculture à dominante arboriculture et élevage. En dépit, de son statut vital, l'agriculture ne représente pas une activité dynamique, néanmoins la région dispose d'un appréciable potentiel agricole. La surface agricole totale est de 203227ha, répartie de façon inégale dans la région, cependant la majorité des terres fertiles et irriguées se localisent dans la plaine soit 5000 ha, où se développent les cultures maraîchères, qui nécessitent une quantité énorme d'engrais chimiques et de fertilisants que les sources en eau considérables. Quand aux zones montagneuses les terres agricoles disponibles sont très morcelées et reposent sur des sols pauvres, dénudés et ravinés ce qui les limitent principalement à l'arboriculture (Olivier, figuiers.....)

Pour ce qui est la production animale, l'élevage ovin prédomine avec 50% des effectifs, notons que les petits élevages, comme l'aviculture et l'apiculture, sont les plus indiqués pour la région, en raison de son relief accidenté et l'exiguïté des exploitations.

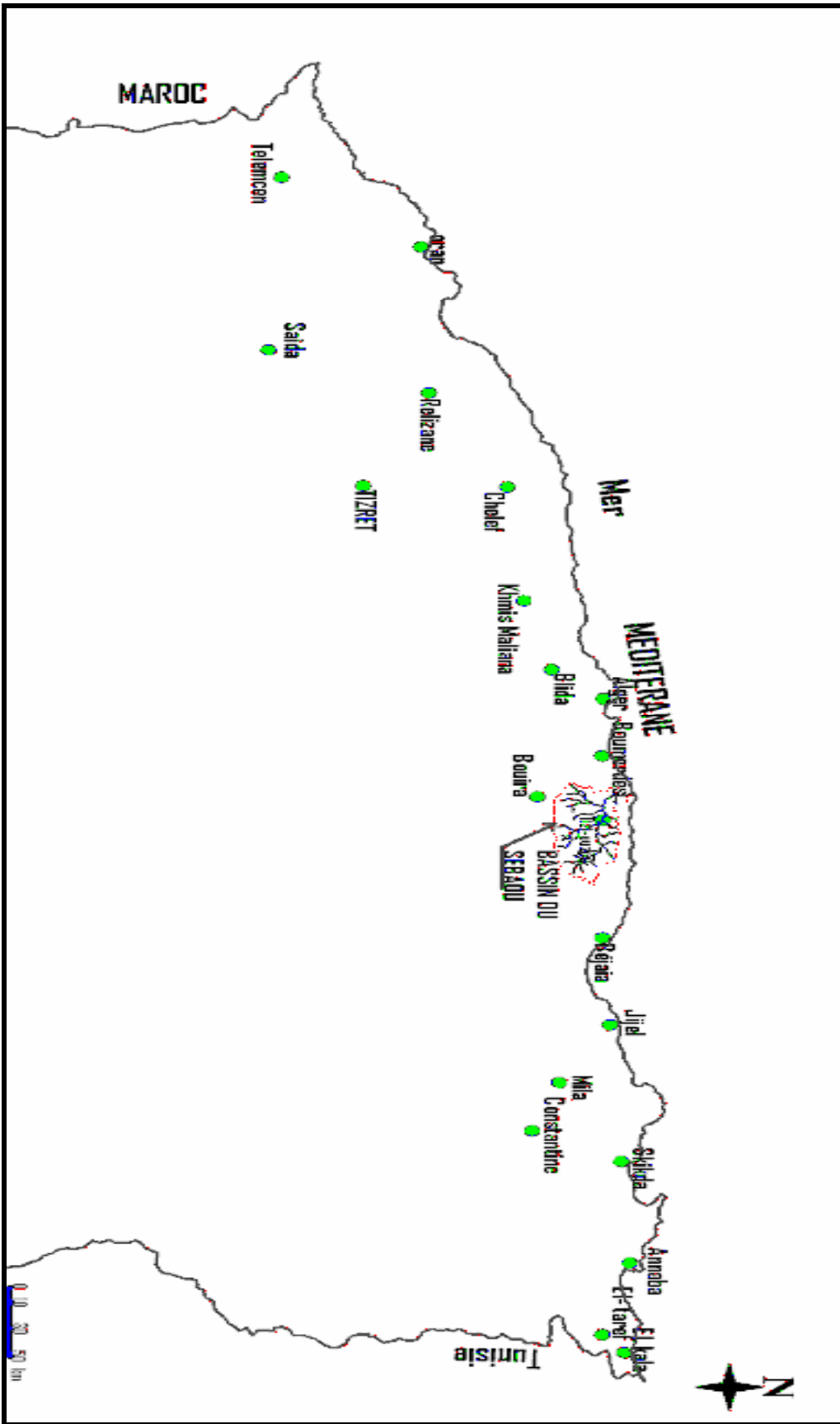


Figure N°-7 : situation géographique du Bassin versant du Sébaou

I.2.3- Potentiels industriels

Le tissu industriel existant dans la région d'étude est situé principalement sur l'axe Draa Ben Khedda, Azazga, où enregistre plusieurs unités agro-industrielles et agroalimentaire et agroindustrielles telle que l'ORLAC, ENIEM, des limonaderies ainsi que 528 huileries qui se parsèment sur toute la région.

I.2.4- Activité extractive

Cette activité est fortement sollicitée dans la vallée du Sébaou. Plusieurs sablières sont mises en œuvre sur le lit de l'oued, notamment à proximité des ouvrages de captages exploitants le sable et le TVO (tout venant de l'oued). Ces extractions sont autant profondes et anarchiques qu'elles portent préjudice à la nappe alluviale et rendent celle-ci vulnérable à la pollution par les eaux usées.

I.2.5- Les infrastructures hydrauliques

Le secteur d'étude dispose d'un potentiel hydrique non négligeable dont le principal est le barrage de Taksebt. Ce dernier est implanté sur l'oued Aissi, affluent du Sébaou situé à environ 10Km au Sud-Est de la ville de Tizi-Ouzou, aux points de coordonnées Lambert suivants :

$$X = 627.000Km, \quad Y = 376.100Km, \quad Z = 95.5m.$$

Sur les territoires ruraux des communes d'Irdjen, Larbaâ Nath Irathen, Beni Aissi, Beni Douala et Ait Mahmoud, le barrage de Taksebt représente une importante ressource superficielle, sa capacité est de 175 millions de m³ permettant une régularisation de 180 millions de m³ destinées à l'alimentation en eau potable dont :

- 57 millions de m³ pour la wilaya de Tizi-Ouzou.
- 123 millions de m³ pour la wilaya d'Alger.

CHAPITRE II :

ETUDE GEOMORPHOLOGIQUE

II.1- Introduction

La climatologie, l'hydrologie de surface et souterraine sont étroitement tributaires des caractéristiques physiques, morphologiques de reliefs et morphométriques des bassins versants. Aussi, il apparaît nécessaire voire indispensable de quantifier ces paramètres.

II.2.- Les grands ensembles morphologiques

Le paysage de la région d'étude est diversifié, caractérisé par un relief montagneux très accidenté. Les chapelets de surélévations rudes et accentuées apparaissent dans toute la région.

Le grand bassin versant du Sébaou est limité au Nord par la chaîne littorale et au Sud par le massif Kabyle. Cette double masse surélevée délimite un couloir étroit d'orientation générale Est-ouest, formant la vallée de l'oued Sébaou, qui s'étend d'Azazga à l'est jusqu'au Dellys à l'Ouest.

Nous distinguons trois (03) unités morphostructurales nettement différenciées (Fig n°2):

II.2.1- La chaîne du Djurdjura

Elle fait partie de la dorsale calcaire des Maghribides, délimite au sud notre domaine d'étude et représenté par un ensemble morphologique très compétant d'âge secondaire et tertiaire, formant des escarpements considérables, dont les points les plus culminants atteignent 2308m à Lala Khadîdja et 2305m à Ras Timedouine.

II.2.2- Le socle kabyle

Constitue le relief intermédiaire qui fait l'union entre le synclinale de Tizi-Ouzou au Nord et la chaîne du Djurdjura au sud. La chaîne littorale surplombant la plaine alluviale au nord, culmine des altitudes de 600m à l'Ouest et 1278m à l'Est (Dj. Tamgout).

Cet ensemble morphologique est caractérisé par des formations plus ou moins tendres et compartimentées d'âges récents ou anciens. C'est là qu'on voit se succéder les différents types d'érosion, allant du plus simple (ravinement plus simple) au plus complexe (mouvement de masse, éboulement, glissements).

II.2.3- Le synclinal de Tizi-Ouzou

C'est le seul matériel autochtone dans la région, représenté essentiellement par les grès et les marnes du miocène "Post-nappe" (M. Ben Hassainne, 1980).

Dans sa partie médiane, s'allonge une série de chaînons de socle aligné, que l'oued Sébaou traverse orthogonalement, il s'agit de :

- Massif de Naciria ;
- Massif de Draâ Karouche ;
- Sidi-Ali Bounab, Belloua et massif de Aïssa Mimoun.

Et à l'intérieur de cette cuvette, s'étale la plaine alluviale du Sébaou, qui se présente sous forme d'une bande étroite à fond plat orienté E-W, constituée d'un remplissage alluvionnaire d'âge quaternaire.

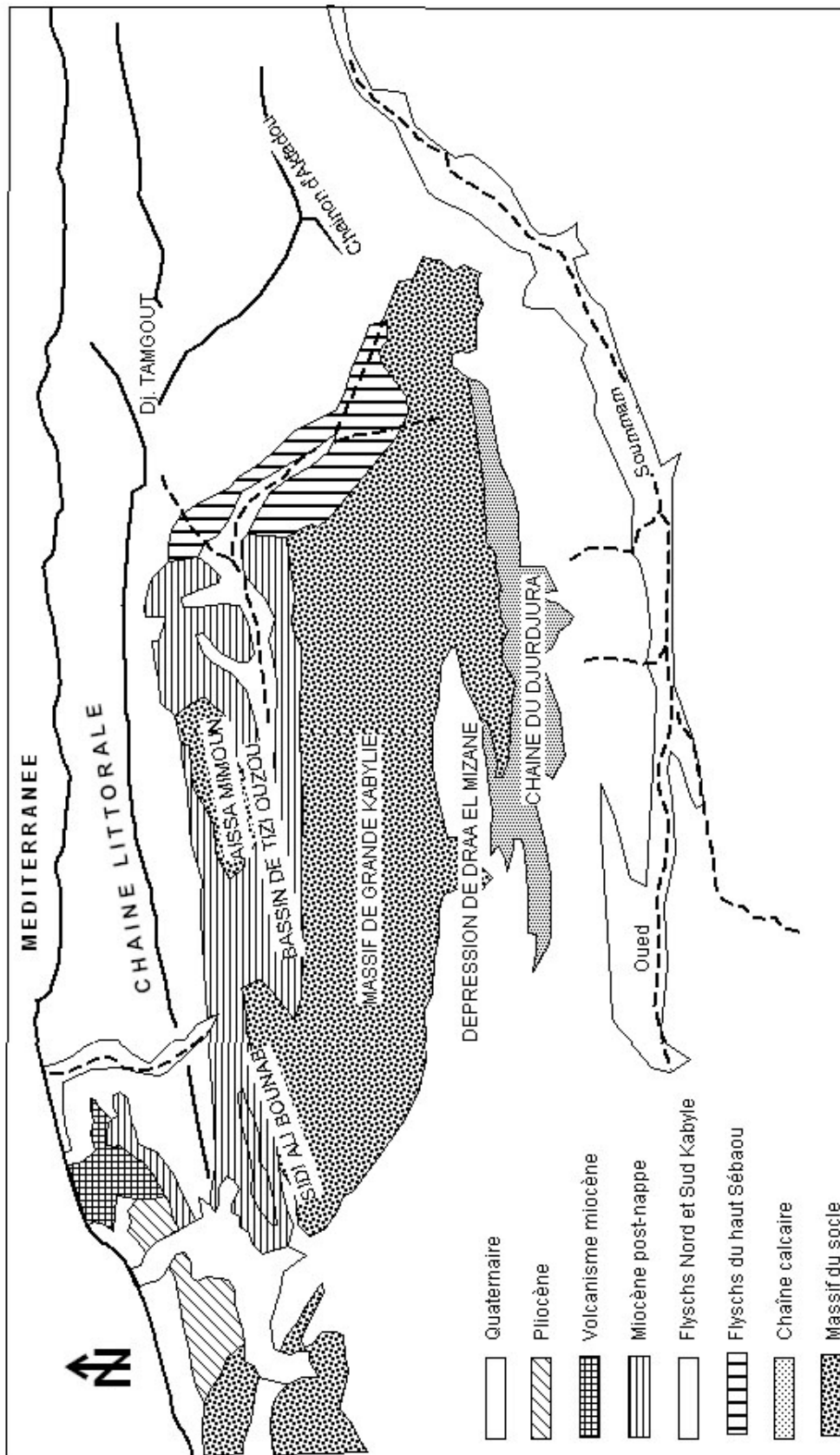


Fig.N° 02 : Les grandes unités morphostructurales de la grande Kabylie (M. Benhassaine, 1980)

II.3- Lithologie

La perméabilité du sol et de sous-sol d'un bassin versant est liée à la nature géologique qui conditionnera l'infiltration, le ruissellement ainsi que l'évaporation.

Mise à part les formations perméables de la chaîne calcaire de la plaine alluviale de l'oued Sébaou, les autres formations telles que celles du socle Kabyle, de Miocène post nappe et des flyschs qui occupent la majeure partie de la surface du bassin versant, sont généralement "imperméables".

II.4- Le couvert végétal

Le couvert végétal joue un rôle extrêmement important, dans la protection des sols contre l'érosion par son action atténuante des crues et des averses particulières, en réduisant et en freinant le ruissellement superficiel.

La végétation de la région d'étude est de type méditerranéen, caractérisée dans son ensemble par trois étages bioclimatiques bien distincts :

Les **cultures** : elles sont concentrées dans les plains et représentées par l'arboriculture et les superbes champs des cultures maraîchères, aux quelles s'ajoutent laurier rose et le roseau dominant les zones incultes et inondables.

Les **maquis** : caractérisant en particulier les zones intermédiaires, constitués essentiellement de très denses champs d'oliviers et de petites parcelles de figuiers (îlot de Aissa Mimoun) et par quelque peuplement de chêne liège (la chaîne littorale) et de chêne vert, complétés par une végétation arbustive assez basse qui reflète l'état de dégradation de la végétation dans la région.

Les **forêts** : occupant les zones montagneuses et représentées généralement par le chêne vert, le chêne liège et le pin d'alépe.

Malgré sa diversification, le couvert végétal de notre région d'étude demeure très dégradé et n'occupe que 19% (soit 55.025 ha) de la surface totale. Cette dégradation due indubitablement à l'activité humaine (défrichements, coupes, incendies...) expose la région à une forte érosion et une déperdition accélérée des sols fertiles surtout en haute montagne.

II.5- Réseau hydrographique

Le bassin versant de Sébaou, présente un réseau hydrographique très développé en forme de patte d'oie, très ondulé et fortement ramifié notamment en rive gauche où le réseau hydrographique est hiérarchisé et nous y dénombrons des talwegs d'ordre 4 (selon la classification d'Horton) (Fig.3). De ce fait, le drainage dans cette région est très dense et s'effectue par une multitude d'oueds plus ou moins longs, dont les principaux sont :

- *En rive droite* : L'oued Dis est le torrent le plus important, provient de la chaîne littorale et s'étend sur une quinzaine de Kilomètres. Il prend sa source au Djebel Tamgout qui culmine (1278m) et débouche dans l'oued Sébaou juste après le premier coude majeur de celui-ci au niveau de Fréha.
- *En rive gauche* : l'oued Bougdoura, l'oued Aissi et l'oued Boubhir en amont sont les principaux affluents de l'oued Sébaou, qui prennent leur source dans la chaîne du Djurdjura, au sud du bassin versant, à des altitudes variant de 1900 à 2000m.

La confluence de ces affluents qui s'écoulent de part et d'autre de la montagne, forme l'oued Sébaou qui traverse une plaine étroite mais très allongée sur une longueur de 110Km. Depuis sa naissance à l'est (Djurdjura) jusqu'à l'embouchure à la mer méditerranée, l'oued Sébaou s'allonge sous trois formes de direction :

- *Dans la partie amont* : l'oued suit une direction SSE-NNW jusqu'à un coude majeur, situé à Fréha.

II.6.1- Paramètres géométriques

Le bassin versant de la vallée de Sébaou (code 02 au répertoire de l'ANRH) couvre une superficie de 2500 Km² avec un périmètre de 250.4Km, subdivisé en 06 sous bassins réparties de façon inégale sur le Haut, Moyen et le Bas Sébaou (Fig. n°04). Cette répartition est représentée dans le tableau suivant :

	Code des sousbassins versants de Sébaou	Superficie en Km ²	Périmètre en Km
Haut Sébaou	02-15	532	102.4
	02-16	432	112
	02-17	468	98.6
Moyen Sébaou	02-18	304	82
	02-19	544	94.2
Bas Sébaou	02-20	220	62.6

Tableau n°01 : Répartition des superficies par sous bassin

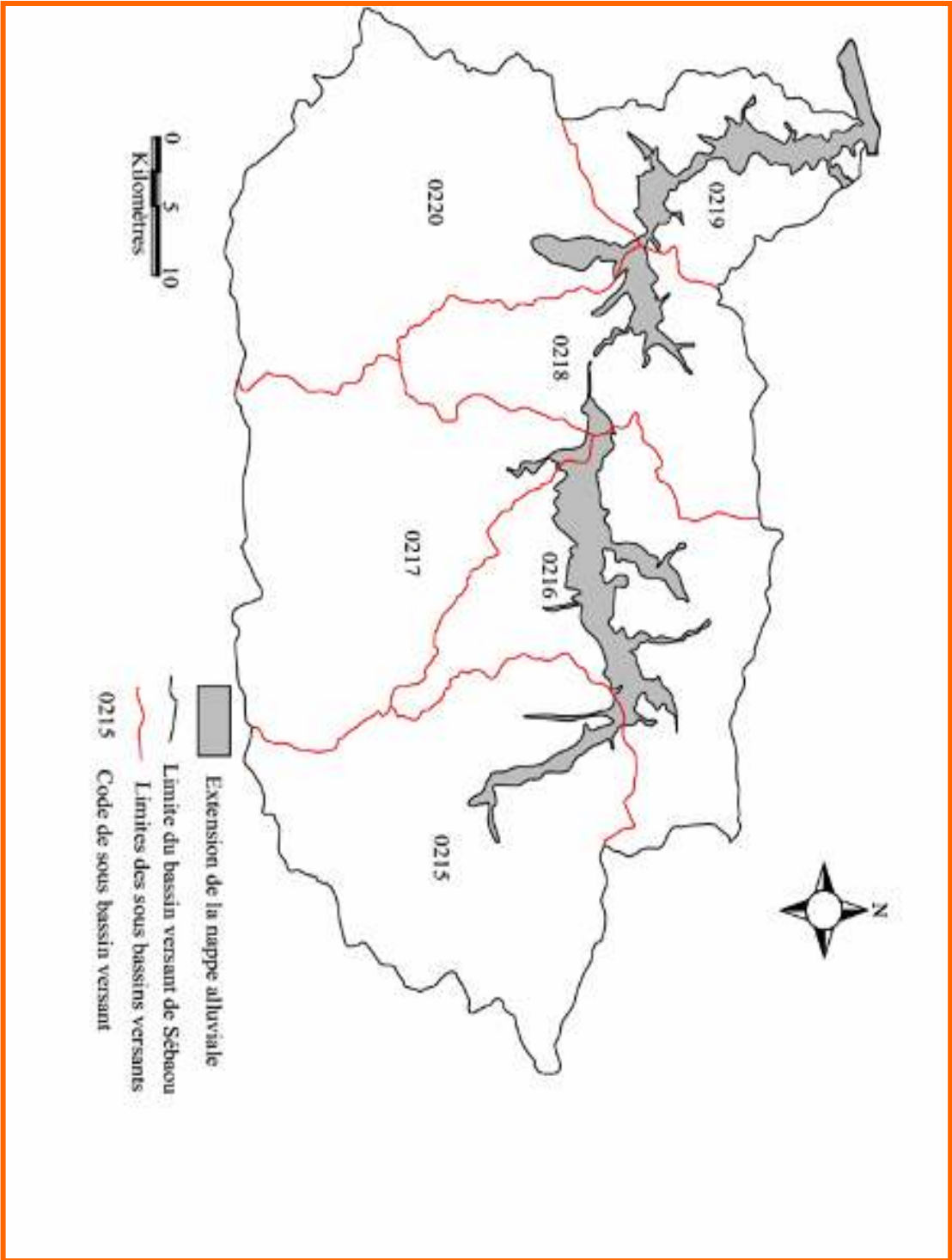
II.6.2- Les paramètres de relief

Courbe hypsométrique : cette courbe a été établie sur la base des données statistiques du tableau ci-dessous. Qui représente la répartition altimétrique par tranche de 100 m d'altitude pour tout le bassin versant du Sébaou.

Classes d'altitude (m)	Moyennes des classes (h _i)	Nombre de points d'altitude (a _i)	a _i . h _i	a _i cumulé	% surfaces cumulées
0-100	50	16	800	164	100
101-200	150	17	2550	148	90.24
201-300	250	25	6250	131	79.87
301-400	350	24	8400	106	64.63
401-500	450	20	9000	82	50.00
501-600	550	12	6600	62	37.80
601-700	650	11	7150	50	30.48
701-800	750	6	4500	39	23.78
801-900	850	10	8500	33	20.12
901-1000	950	5	4750	23	14.02
1001-1100	1050	4	4200	18	10.97
1101-1200	1150	3	3450	14	8.53
1201-1300	1250	5	6250	11	6.70
1301-1400	1350	1	1350	6	3.63
1401-1500	1450	1	1450	5	3.04
1501-1600	1550	3	4650	4	2.43
1601-1700	1650	1	1600	1	0.60
			Σ a _i =164	Σ a _i .h _i = 81500	

Tableau n°02 : Altitudes moyennes

Figure n°09 : les sous bassins versant du sébaou



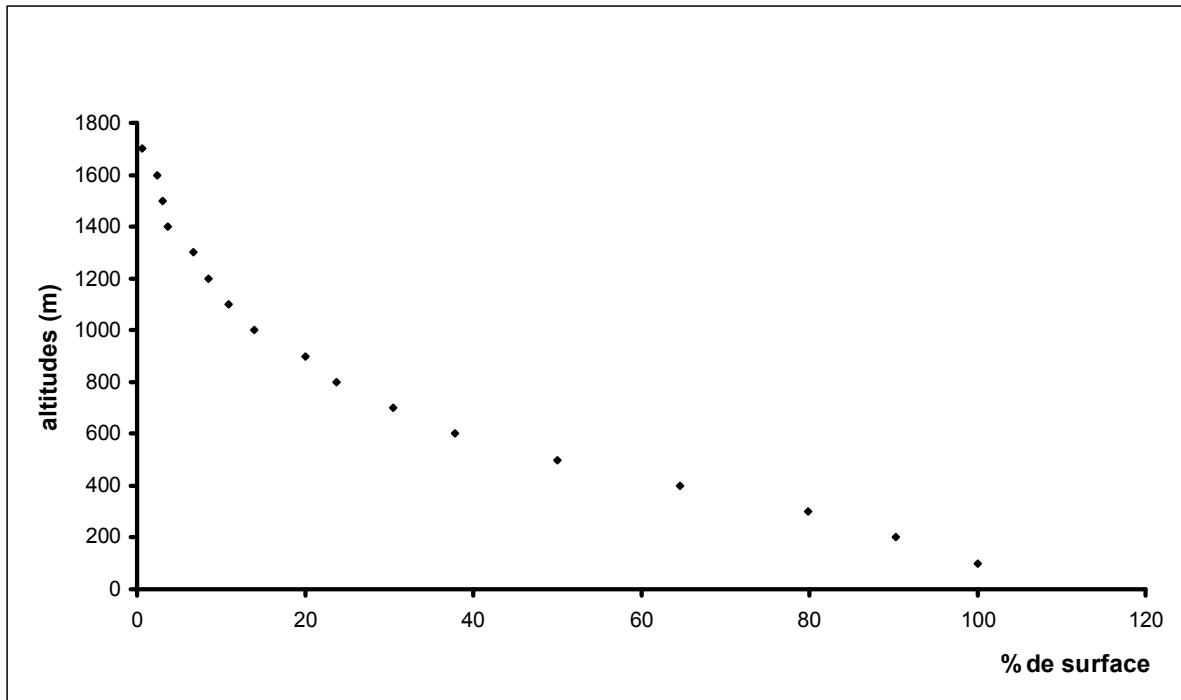


Figure n°10: Courbe hypsométrique du Sébaou d'après (B.Akpamoli)

L'altitude moyenne :

$$H = \frac{\sum ai \times hi}{\sum ai}$$

Le tracé de la courbe hypsométrique nous a permis d'estimer les altitudes caractéristiques reportées dans le tableau ci-après :

Altitude de fréquence (H5%)	Altitude de fréquence (H95%)	Altitude de fréquence (H50%)	Altitude maximale (m)	Altitude minimale (m)	Altitude moyenne (m)
1300	150	440	1650	50	497

Tableau n°03 : Altitudes caractéristiques

Le tableau n°05 montre, que les basses altitudes dans le Sébaou sont prédominantes, du fait que l'altitude de fréquence 1/2 et l'altitude moyenne présentent des valeurs rapprochées.

II.6.3- Les paramètres de forme

II.6.3.1- Indice de compacité de Gravelius (K_C)

La forme allongée ou ramassée d'un bassin versant est caractérisée par cet indice, il est exprimé par la formule suivante :

$$Kc = \frac{0.28 P}{\sqrt{A}} \text{ Avec :}$$

P : périmètre du bassin (Km)

A : surface (Km²)

Les valeurs de K_C pour l'ensemble du bassin versant de Sébaou ainsi pour ces sous

bassins, sont mentionnées dans le tableau suivant :

Bassin versant		Périmètre (Km)	Surface (Km ²)	Kc
Haut Sébaou	02-15	102.4	532	1.24
	02-16	112	432	1.50
	02-17	98.6	468	1.27
Moyen Sébaou	02-18	82	304	1.31
	02-19	94.2	544	1.13
Bas Sébaou	02-20	62.6	220	1.18
Le grand bassin		250.4	2500	1.40

Tableau n°04 : Paramètres de forme (Source ANRH)

Les valeurs de Kc, aussi bien pour le grand bassin, que pour ces sous bassins sont supérieur à l'unité, suggérant a priori une forme allongée pour l'ensemble, donc la concentration des eaux à l'exutoire se fait lentement, ce qui favorise l'infiltration sur le ruissellement.

II.6.3.2. Dimensions du rectangle équivalent

Le principe consiste à dimensionner un bassin fictif de forme rectangulaire, ayant les mêmes paramètres de forme que le bassin considéré, la détermination des dimensions du rectangle équivalent s'effectue par la formule empirique suivante :

$$L = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.22} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right]$$

$$l = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.22} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right]$$

L : longueur du rectangle équivalent (Km)

I : largeur du rectangle équivalent (Km)

Pour Kc = 1.40 et A = 2500 Km²

$$L = 100\text{Km} \quad \text{et} \quad l = 25\text{Km}$$

II.6.3.3- Indice de pente globale (Ig)

$$Ig = \frac{H5\% - H95\%}{L}$$

Avec :

H5% : altitude de fréquence $\frac{1}{4} = 1300$

H95% : altitude de fréquence $\frac{3}{4} = 150$

L : longueur du rectangle équivalent = 100 m

Pour ces données on a : Ig = 1.15%

II.7- Conclusion

Le bassin versant de l'oued Sébaou est de forme allongée, de direction E.W, il couvre une superficie de 2500 km², dont l'altitude moyenne est de 504m.

La nappe alluviale représente environ 36% de la surface totale du bassin, dont l'altitude est inférieure à 200 m.

Les différents paramètres morphologiques du bassin versant du Sébaou sont récapitulés dans le tableau suivant :

Paramètres morphologiques	Valeurs
Surface	2500 km ²
Périmètre	240km
Longueur	93Km
Largeur	27Km
Altitude maximale	2305m
Altitude moyenne	504m
Altitude de fréquence ½	510m
Altitude la plus fréquente	300m
Indice de compacité de Gravelius	1,40
Indice de pente globale (Ig)	1,15 %

Tableau 05 : Les paramètres morphologiques du bassin versant du Sébaou
(Source ANRH de Tizi-Ouzou).

CHAPITRE III :

ETUDE HYDROLOGIQUE

III.1- Introduction

Dans le présent chapitre, nous analyserons les paramètres climatologiques. Les objectifs majeurs de notre étude étant de rechercher et d'évaluer l'ensemble des éléments climatologiques et aussi la manière dont les différents composants du climat se comportent l'un par rapport à l'autre.

Pour mieux caractériser le régime climatique dans la région d'étude, nous avons choisi quatre stations climatiques, systématiquement sur la surface du bassin versant (figure N°06), couvrant une période de 30ans (1972-2002), les différentes caractéristiques relatives à ces stations sont regroupées dans le tableau n°01.

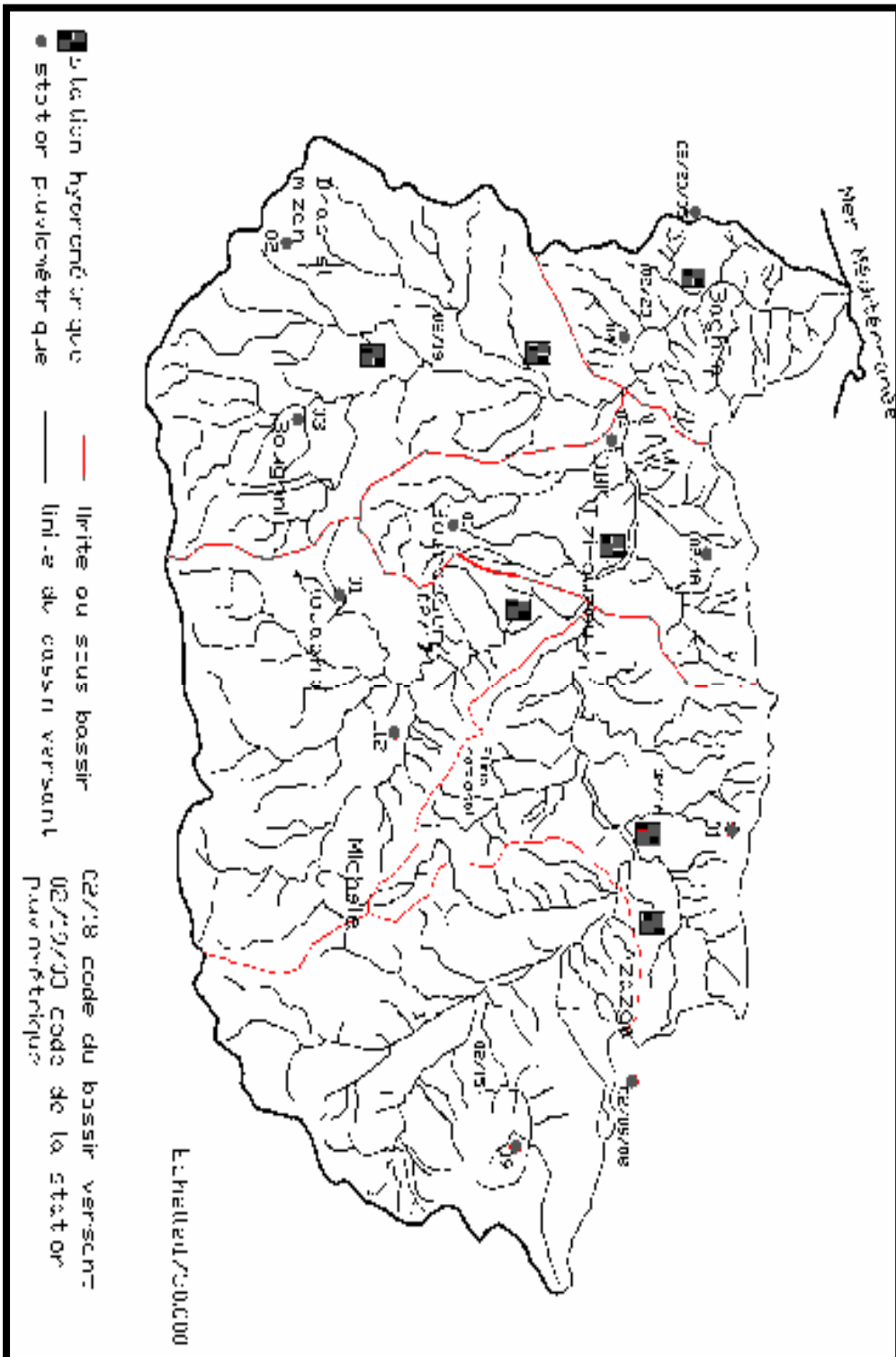
Bien que le nombre et la répartition de ces stations paraissent, à première vue, satisfaisantes pour mener une étude climatique sérieuse et bien définie. La réalité est autre car les informations que fournissent ces stations sont incomplètes pour la période d'observation considérée, exception faite pour les précipitations.

En raison des lacunes que comporte certains de ces stations climatiques, on s'est retrouvé contraint de nous référer aux données antérieures élaborées par P.SELTZER (1913-1983).

Station pluviométrie	Code (ANRH)	Coordonnées		Altitudes (m)	Période de fonctionnement
		X	Y		
Azazga école	02-15-04	449.4	384	430	1970-actuel
Ain El Hammam	02-17-03	644.15	364.5	1200	1971-actuel
Draâ El Mizan	02-19-02	601.5	360.15	460	1970-actuel
Baghlia ville	02-20-02	603.5	391.15	30	1968-actuel

Tableau n°06: Caractéristiques des stations pluviométriques utilisées. (ANRH Blida)

Figure N°11 : répartition des stations pluviométriques et hydrométriques dans le bassin versant du sébaou



III.2- Analyse des paramètres climatiques

III.2.1- Les précipitations

Les précipitations constituent la composante fondamentale de l'hydrologie et la connaissance de cet apport d'eau au sol est essentiel pour appréhender l'état des réserves en eau du sol, la recharge des nappes et le régime des cours d'eau.

Le bassin du Sébaou reçoit, en général, deux formes de précipitation bien distinctes :

- La première est la pluie, la forme la plus répandue dans tout le bassin ;
- La seconde est la neige, la forme la plus localisée dans le temps et dans l'espace, elle se produit principalement sur les reliefs montagneux du Djurdjura au sud, la chaîne littorale au nord.

L'utilité avantageuse de la neige apparaît surtout dans l'écoulement, elle le ralentit relativement et laisse le sol s'imbiber d'une façon continue et donc l'eau à largement le temps de s'infiltrer.

Malgré cet intérêt indéniable qu'apporte aux ressources en eau, la neige reste le facteur le moins étudié dans le bassin du Sébaou en l'absence de station d'observation appropriée en hautes montagnes (pluviomètre totaliseur).

III.2.1.1- Variation des précipitations

Le bassin versant de l'oued Sébaou possède un réseau pluviométrique très dense (26 stations), les données anciennes sont parfois manquantes, selon les stations.

a) variation annuelle :

La figure n°11, nous montre l'évolution des précipitations en dents de scie à la station de Tizi-Ouzou, durant la période allant de 1984/1985 à 2002/2003, nous constatons que depuis l'année hydrologique 1988/1999, les apports en quantité de pluie annuelle ne cessent pas de diminuer, elle s'échelonne de 1113.2mm en 1997/1998 jusqu'à 461.8 mm en 2001/2002.

Au cours de l'année 2002/2003, il y a eu une nette augmentation des précipitations qui ont atteint 1217.5 mm à la station de Tizi Ouzou.

La moyenne annuelle enregistrée à l'échelle du bassin versant de l'oued Sébaou, pour la période 2002/2003 est de 1321.5 mm, ceci dépasse largement la moyenne annuelle des années précédentes, ce qui est exceptionnel. Les données pluviométriques sont consignées dans le tableau en annexe.

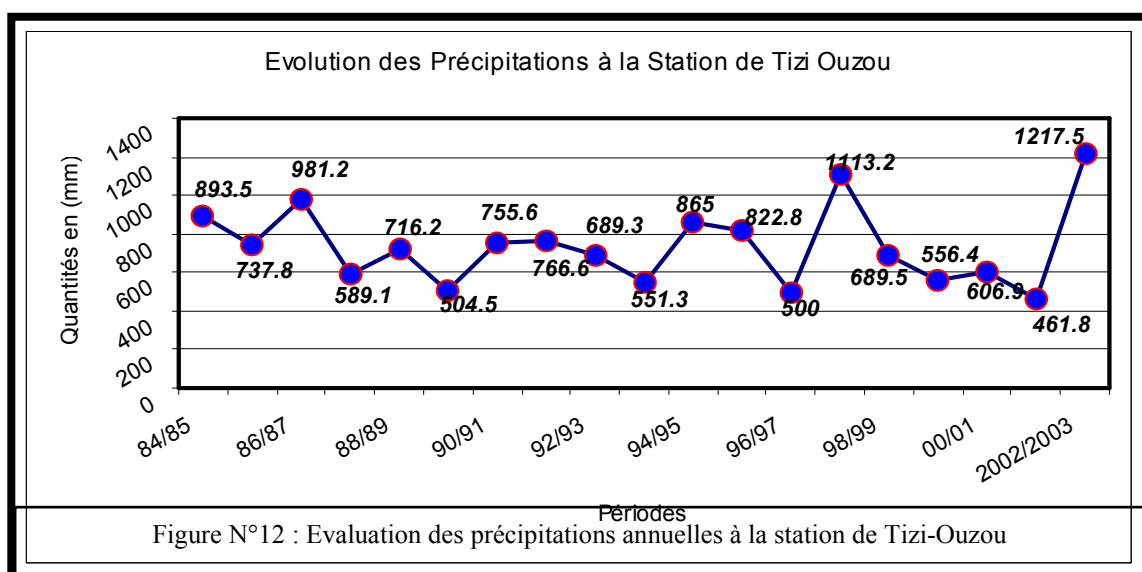


Figure N°12 : Evaluation des précipitations annuelles à la station de Tizi-Ouzou

Sur un autre plan, le diagramme de la figure n°12 établit à partir des données pluviométriques enregistrées au niveau des stations Azazga, Tizi-Ouzou, Baghlia, Beni Yenni et

Yakouren, N'Boubhir montre que les variations interannuelles des précipitations durant la période s'étalant depuis 1980/1981 à 2004/2005 sont assez concordantes.

Année	TIZI-OUZOU	BENI YENNI	BAGHLIA	AZAZGA	TN'BOUHIR	TIGHZERT
1980/1981		1037	763.5	930.8	930.7	1249.1
1981/1982		914.3	597.2	894.2	956.3	1042.5
1982/1983		777.1	688.9	865.5	1040.9	1077.1
1983/1984		885.6	550.3	926.1	909.3	1209.6
1984/1985	893.5	1008.6	799.1	1237.1	1155.8	1360.5
1985/1986	727.8	868.5	751.1	930.7	897.8	1144.6
1986/1987	981.2	1030	769.1	1106	1201.6	1342.4
1987/1988	589.7	691.6	606.3	689	790.1	829.4
1988/1989	715.2	765.2	658.6	819.2	926.2	890.3
1989/1990	504.5	521.5	523.6	542.9	665.9	719.8
1990/1991	755.6	841.8	725.1	826.9	913.2	1163.2
1991/1992	759.7	725.6	766.1	805	908.5	1014.6
1992/1993	689.3	710.8	679.6	867.7	925.1	1033.2
1993/1994	549.7	614.9	516.6	679	785.3	805.4
1994/1995	857.5	886.9	733.7	973.8	1135.2	1173.6
1995/1996	823.1	883.4	767.1	1093.6	1133.7	1174.3
1996/1997	500	505.5	499.6	591.8	707.7	696
1997/1998	1111.4	1177.2	1031.2	1317.9	1237.2	1663
1998/1999	661.3	765	737.7	855.3	774.8	988.7
1999/2000	555.6	614.3	568.6	780.6	520	831.6
2000/2001	602.9	758	620.7	826.6	808.9	961.1
2001/2002	520.7	479.6	446.9	521	628.9	634.6
2002/2003	1217.5	1417.2	1108.4	1537.4	1359.9	1700.1
2003/2004	865.6	818.8	846.1	1039.6		1209.5
2004/2005	758.1	879.5	713.6	987.2	883.8	1066.9

Tableau n°07: précipitations moyennes annuelles

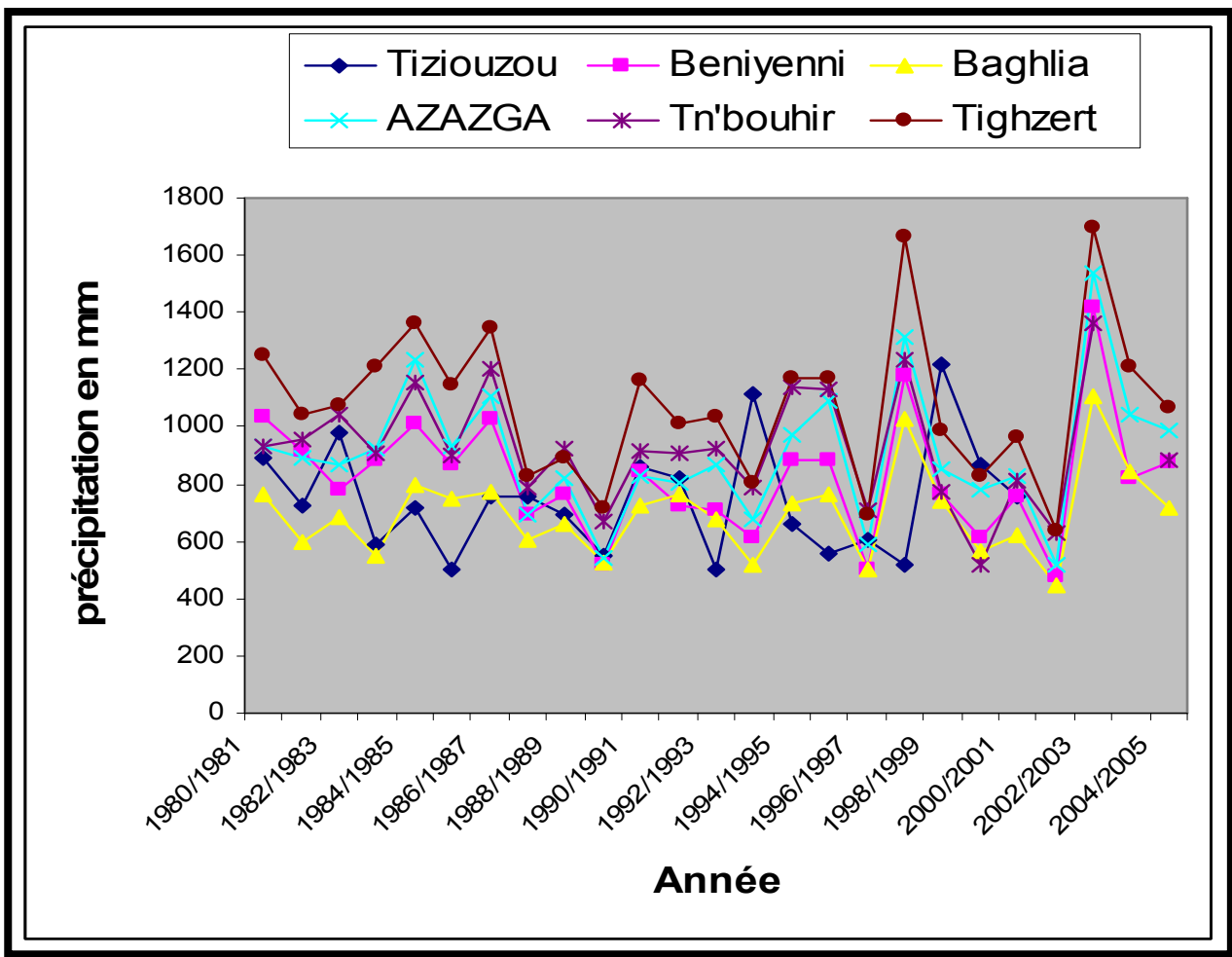


Figure N°13 : Evaluation des précipitations annuelles à différentes stations

b) *Variation mensuelle* : Le bassin versant de la grande Kabylie, jouie d'un climat méditerranéen, dont on distingue deux périodes à savoir, une période sèche allant du mois de mai au mois de septembre et une période humide allant du mois d'octobre au mois d'avril. L'évolution des précipitations à la station de Tizi-Ouzou montre bien ces deux périodes durant l'année 2002/2003. (Figure n°13)

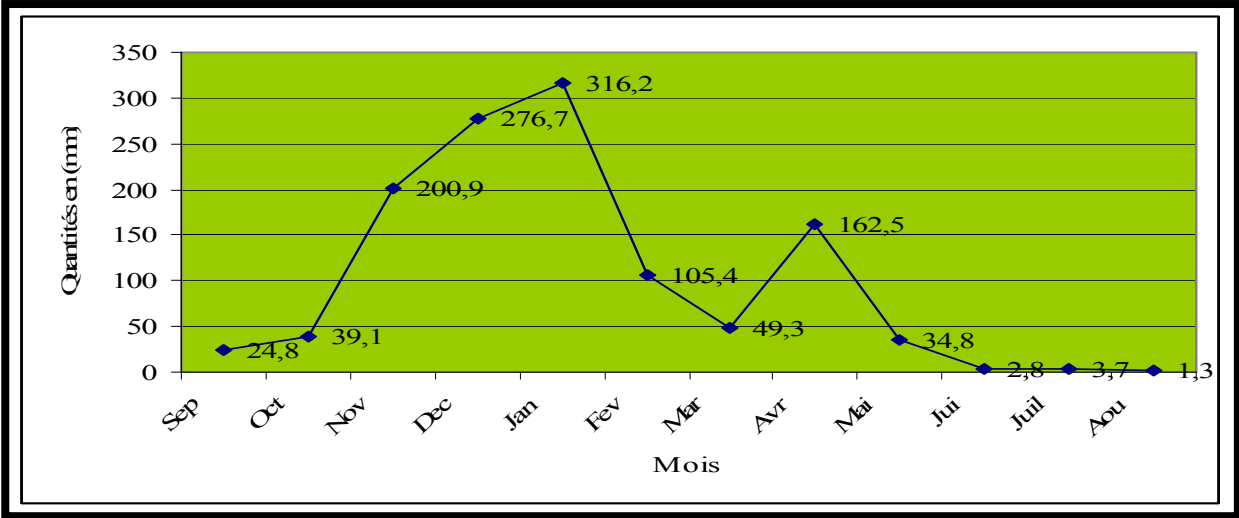


Figure n°14 : Précipitation moyen annuelle.

Les hauteurs moyennes des précipitations mensuelles enregistrées au niveau du bassin versant du Sébaou durant la période (1980-2005), pour les stations d'observation de Ain El Hammam, Azazga, Draa El Mizane, Baghlia village sont reportées dans le tableau n°08.

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	O	Année
Ain El Hammam	41.84	82.70	127.16	162.32	118.92	148.61	158.82	117.84	72.19	21.79	5.02	14.99	1072.2
Azazga	44.04	77.11	101.16	164.09	132.58	118.78	105.29	82.63	54.43	11.82	5.36	6.60	902.27
Draa El Mizan	36.11	55.12	39.40	103.57	88.44	90.35	55.37	51.93	6.30	9.43	3.64	9.57	550
Baghlia	35.85	65	99.68	118.15	96.79	99.92	75.70	68.05	43.32	9.03	3.42	8.24	724.75

Tableau n°8 : Précipitation moyennes mensuelles annuelles (1980-2005)

Les résultats des quatre stations, marquées dans le tableau ci-dessus, confirment les résultats de la station de Tizi-Ouzou donc les précipitations sont réparties sur deux saisons :

- Une saison pluvieuse humide s'étalant du mois d'octobre à avril avec un maximum enregistré au mois de décembre.
- Une saison sèche s'étalant du mois de mai au mois de septembre. (Figure N°09)

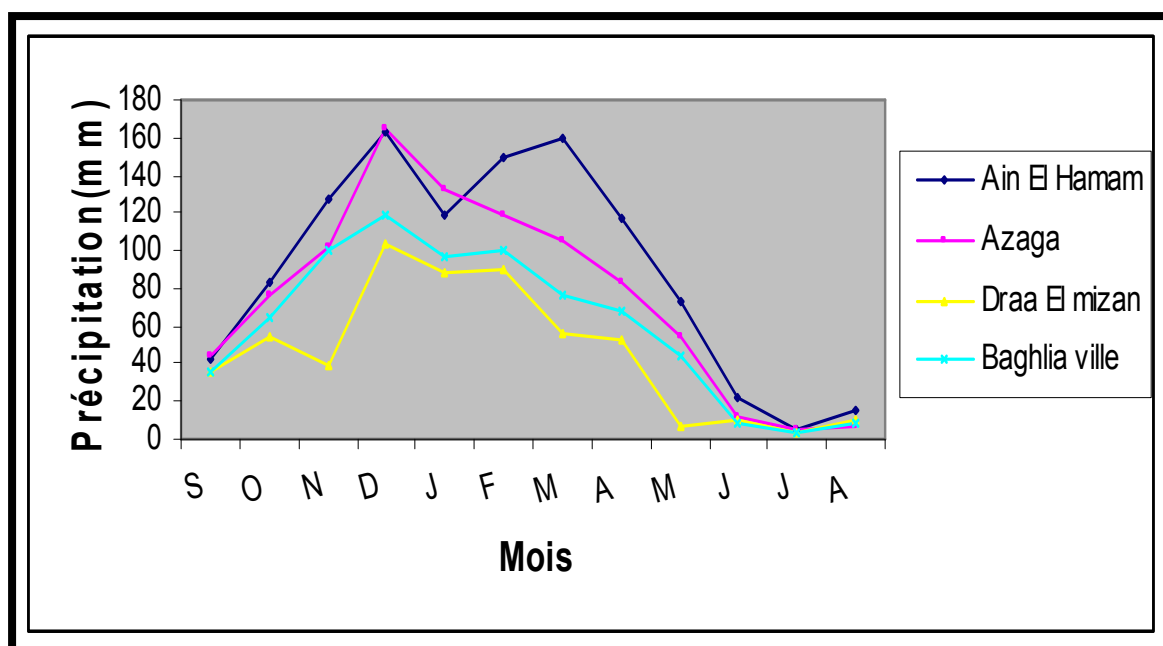


Figure N° 15: précipitations moyennes mensuelles des stations pluviométriques (1980/2005)

Le graphe de la figure n°09, montre que l'évolution saisonnière des précipitations est similaire dans toutes les stations. Toutefois, nous constatons que la région la plus arrosée est celle de Ain El Hammam avec une moyenne annuelle de 1062.2mm, cela peut s'expliquer par sa position très élevée par rapport aux autres stations d'une part et l'influence maritime d'autre part.

En revanche, la station de Draa El Mizane, qui est relativement loin de la mer, reçoit le minimum de pluie soit une lame d'eau précipitée de 550mm par an.

III.2.2- Température

Les températures conditionnent le déficit d'écoulement ainsi que son estimation et encore jouent un rôle dans le processus de condensation et d'évaporation de l'eau.

C'est pourquoi, ces études sont nécessaires dans le cadre de l'établissement du bilan hydrologique et la détermination du caractère climatique d'une région.

Pour une meilleure approche de ce paramètre, nous avons considéré les anciennes données de la série de P. Selzer (1913-1938) et les plus récentes de la station de Tizi-Ouzou (1968-2002) dans le but d'établir une comparaison.

III.2.2.1- Les données anciennes (1913-1938)

Les données de cette période sont relevées au niveau des stations de Tizi-ouzou, Ain El Hammam, Larbaa, Nath Irathen et Aghribs.

	Larabaa Neth Irathen	Aghrib	Ain El Hammam	Tizi-Ozou
Septembre	21.40	21.60	21.40	25.00
Octobre	15.90	17.10	16.20	19.50
Novembre	11.00	12.05	10.80	14.30
Décembre	7.00	8.40	7.00	10.50
Janvier	6.40	7.60	6.20	9.00
Février	7.40	8.40	7.00	11.20
Mars	9.40	10.20	9.00	13.00
Avril	12.50	12.70	11.60	15.20
Mai	16.70	16.30	15.30	18.90
Juin	20.40	20.00	19.80	23.00
Juillet	24.90	23.70	25.00	27.20
Août	26.60	24.60	25.60	27.70
Année	14.97	15.22	14.58	17.89

Tableau n°9 : Température moyennes mensuelles (P.Seltzer 1913/1938).

La comparaison des températures moyennes annuel mensuel tableau n°09 des différentes stations montre une concordance :

- Une décroissance rapide de Septembre à Janvier ;
- Une croissance modérée et régulière de Janvier à Août ;
- Les mois les plus froids sont par ordres : Janvier, Décembre et Février ;
- Les mois les plus chauds sont par ordre : Août, Juillet et Septembre ;
- L'écart de la température moyenne entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud est selon la station :
 - Tizi-Ouzou 18.7°C.
 - Aghrib 17°C.
 - Ain El Hammam 18.6°C.
 - Larbaâ Nath Irathen 19.6°C.

III.2.2.2- Les données récentes (1968-2002)

Les seules données mises à notre disposition au niveau de l'ONM, sont celles mesurée à la station de Tizi-Ouzou pour la période 1968-2002.

La présentation de ces mesures est mentionnée dans le tableau ci-dessus :

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Année
T° (C°)	24.23	19.13	14.67	10.95	10.05	10.63	12.21	13.90	17.63	22.46	25.51	26.16	17.30

Tableau n°10 : Températures moyennes mensuelles annuelles de la station de Tizi-Ouzou (1968-2002)

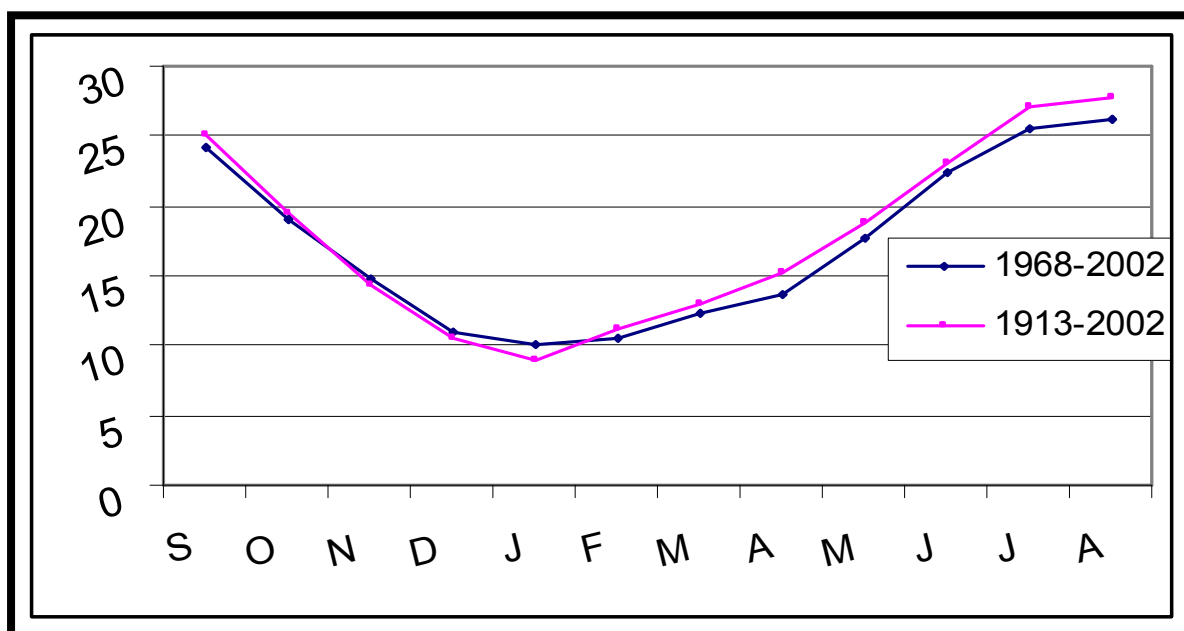


Figure N°16: Comparaison des séries anciennes (1913-1938) et récentes (1968-2002) des températures à la station de Tizi -Ouzou

La figure n°16 montre qu'au niveau de la station de Tizi-Ouzou, Il n y a pas une différence caractéristique entre la série ancienne (1913-1938) et la série récente (1968-2002).

La moyenne arithmétique des températures moyennes annuelles relatives aux deux périodes (anciennes et récentes) donne une température moyenne de 17°C.

III.2.3- Régime climatique

De Martonne (1923), partant de la notion empirique d'aridité, a conçu un indice caractérisé par la formule suivante :

$$A = \frac{P_i}{\theta + 10} \quad \text{Avec :}$$

P_i : précipitation moyenne en mm ; θ : Température moyenne en(C°);

A : indice de Marthone ;

Les valeurs de l'indice de Marthone permettent de correspondre à chaque région un étage bioclimatique. On distingue, ainsi, les cas suivants :

- $A < 5$, correspond à une période aride ;
- $5 < A < 20$, correspond à une période semi aride ;

- $20 < A < 30$, correspond à une période tempérée ;

Les résultats mentionnés dans le tableau N°III-6 montre, à l'échelle mensuelle, l'existence de deux périodes :

- Une période tempérée (décembre, janvier, février et mars) ;
- Une période aride (juin, juillet, et août) ;

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
T(C°)	25.00	19.50	14.30	10.50	9.70	11.15	13.00	15.20	18.20	23.00	27.15	27.7	17.87
P(mm)	32.10	57.90	87.70	120.30	97.50	96.80	91.20	69.70	37.60	10.60	4.80	7.90	714.10
A	11.01	23.55	43.31	70.42	59.39	54.92	47.58	33.19	16.00	3.85	1.5	2.51	25.63

Tableau n°11 : Valeur de l'indice de Marthone (station de Tizi-Ouzou).

III.2.3.1- L'humidité relative de l'air

L'humidité relative de l'air est le rapport, exprimé en %, de la tension de vapeur d'eau à la tension de vapeur d'eau saturante, c'est un élément atmosphérique très important puisqu'il donne le taux de condensation de l'atmosphère. Les seuls enregistrements disponibles pour ce paramètre sont ceux effectués à la station de Tizi-Ouzou pour une période de six ans (1989-1994) et dont les valeurs sont consignés dans le tableau ci-après :

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Humidité(%)	58	71	76	78	74	76	71	70	60	58	51	50

Tableau n°12: Moyenne mensuelle de l'humidité (1989-1994).

Le tableau ci-dessus indique une humidité relative moyenne de l'air de 66% pour la période 1989-1994. Sur un autre plan, ces résultats montrent que l'humidité de l'air est relativement faible à partir du mois de mai jusqu'au moi de septembre avec un minimum de 50% au moi d'août et sensiblement élevée du mois d'octobre jusqu'au mois d'avril, caractérisant la saison humide avec un maximum de 78% au mois de décembre.

III.2.3.2- Le vent

Le vent est l'un des éléments caractéristiques du climat régissant l'évaporation à la surface du sol et de la végétation. Les résultats des moyennes mensuelles de la vitesse du vent enregistré au niveau de la station de Tizi-Ouzou sont présentés dans le tableau n°15

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Vitesse (km/h)	1.92	1.63	1.45	1.75	1.57	1.63	1.57	1.85	2.13	2.63	2.21	2.07

Tableau n°13 : Moyenne mensuelles des vitesses des vents.

D'après les données de l'ONM on constate que les vents dans la zone d'étude sont généralement d'orientation Ouest à Sud-Ouest.

Force des vents :

Elle est estimée d'après une échelle télégraphique dont les degrés sont les suivants :

- 0 : vent calme ;
- 1-2 : vent faible ;
- 3-4 : vent modéré ;
- 5-6 : vent assez fort ;
- 7-8 : vent fort ;
- 9 : vent violent ;

D'après les données disponibles, on constate que la région d'étude est caractérisée par des vents faibles.

III.2.3.3-Sirocco

La fréquence du sirocco est une des données caractéristiques du climat.

Les valeurs du tableau n°III-9 permettent de constater que la durée du sirocco est très variables, essentiellement un phénomène d'été avec cependant des fréquences relativement importantes au début de l'Automne (Septembre et Octobre).

Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Année
5.20	3.60	1.60	0.20	0.00	0.30	1.30	1.50	2.40	4.00	8.50	8.80	37.30

Tableau n°14 : Nombre moyen de jours de sirocco à la station de Tizi-Ouzou (P.seltzer ;1913/1938)

III.2.4- Etude de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration est l'une des plus importantes composantes du bilan hydrologique.

L'évapotranspiration est la restitution de l'eau sous forme de vapeur de la surface terrestre quelque soit sa nature à l'atmosphère à partir de l'eau de surface (lacs, mers,...) souterraines (nappes aquifères) et de transpiration des plantes. Ce paramètre climatique conditionne l'abondance ou la disette en eau pour la végétation.

L'évapotranspiration est un paramètre difficile à mesurer, il dépend de plusieurs paramètres facteurs variant dans le temps et dans l'espace. Les principaux paramètres qui conditionnent l'évapotranspiration sont : la température, les précipitations, l'état du sol et la végétation.

L'évapotranspiration est la combinaison de deux phénomènes :

- L'évapotranspiration potentielle (ETP) qui représente la quantité d'eau maximale qui pourrait évaporée au niveau d'un sol saturé c-à-d l'évapotranspiration potentielle est employée lorsque la surface évaporante est convenablement alimentée en eau.
- L'évapotranspiration réelle (ETR) qui désigne la quantité d'eau effectivement évaporée et transpiré c-à-d l'ETR désigne l'évaporation sans tenir compte de l'abondance de l'eau de l'abondance de l'eau à la surface évaporante.

III.2.4.1- Calcul de l'évapotranspiration réelle

Des nombreux auteurs ont établi des formules empiriques donnant une approximation de l'ETP à partir de paramètres climatiques facilement accessibles.

La formule THORNTHWAITE c'est une des plus anciennes formules mises au point, elle reste très employée, car sa résolution nécessite que la connaissance de la température moyenne journalière de l'air. L'évapotranspiration potentielle se calcule à partir de la relation suivante :

$$ETP = 1.6 \left(10 \frac{T}{I} \right)^a$$

$$I = \sum_1^{12} i \quad i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

$$a = (0.016 * I) + 0.5 \quad \text{avec : } T=17.30^\circ\text{c.}$$

ETP : évapotranspiration potentielle (mm).

T : Température moyenne annuel ;

I : indice thermique annuel ;

i : indice thermique mensuel ;

Les valeurs mensuelles de l'ETP ainsi calculées sont multipliées par un facteur de correction K qui tient compte à la fois du nombre de jours par mois et de la durée du jour en fonction de latitude.

Les résultats obtenus par cette méthode sont reportés sur le tableau n°17 :

AEH	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T° c	21.40	16.20	10.80	7.00	6.20	7.00	9.00	11.60	15.30	19.80	25.00	25.60
i	9.04	5.90	3.19	1.65	1.37	1.68	2.43	3.58	5.44	8.00	11.47	11.48
ETP(mm)	103.15	62.91	29.76	14.83	12.71	15.34	27.09	42.81	72.19	107.94	158.35	148.22
K	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16
ETPc	106.24	61.02	25.59	12.45	11.05	13.09	27.90	47.09	87.34	131.67	196.35	164.97

Agribs	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T° c	21.60	17.10	12.05	8.40	7.60	8.40	10.20	12.70	16.30	20.00	23.70	24.60
i	9.16	6.43	3.79	2.17	1.88	2.19	2.94	4.08	5.98	2.88	10.55	11.16
ETP(mm)	105.56	69.83	36.47	20.46	18.38	20.89	33.95	50.21	81.02	39.33	146.21	144.71
K	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16
ETPc	108.73	67.73	31.36	17.19	15.99	17.76	34.97	55.23	98.03	47.98	181.3	167.86

LNR	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T° c	21.40	15.90	11.00	7.00	6.40	7.40	9.40	12.50	16.70	20.40	24.90	26.60
i	9.00	5.76	3.28	1.65	1.45	1.79	2.58	3.79	6.18	8.37	11.37	11.82
ETP(mm)	101.88	60.36	29.77	14.22	12.94	15.72	27.81	4.26	80.95	111.91	156.22	152.18
K	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16
ETPc	104.94	58.55	25.57	11.94	11.26	13.36	28.64	4.69	97.95	136.53	193.71	176.53
Tizi-Ouzou	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A

T° c	24.23	19.10	14.67	10.85	10.05	10.63	12.21	13.90	17.63	22.46	25.51	26.16
i	10.90	7.62	5.10	3.23	2.87	3.13	3.86	4.70	6.73	9.72	11.79	12.24
ETP(mm)	113.9	73.6	45.69	26.55	23.13	25.58	32.83	41.46	63.61	98.36	123.70	129.43
K	1.03	0.97	0.85	0.84	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16
ETPc	117.32	71.39	38.84	22.30	20.12	17.49	33.81	45.61	76.97	120	153.39	150.14

Tableau n°15: valeur de l'ETP d'après la méthode de THORNTHWAITE

III.2.4.2- Calcul de l'évapotranspiration réelle

L'estimation de l'ETR est facilement accessible grâce à des formules empiriques qui utilisent les données faciles à quantifier comme la température et les précipitations.

a) Méthode de Turc :

Selon Turc, l'ETR est fonction de la quantité de la précipitation moyenne annuelle du bassin versant et d'un paramètre, L lui-même fonction de la température moyenne annuelle (t) du bassin versant.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 \quad \text{avec :}$$

ETR : Evaporation réelle moyenne annuelle (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

T : Température moyenne annuelle (C°).

L : Pouvoir évaporant

Soit $L=991.38$ et $P=865\text{mm}$ avec $T=17.30^\circ\text{C}$ On aura : $ETR = 671.10\text{mm}$.

b) Méthode de Coutagne :

D'après cet auteur, l'ETR est déduite en fonction des précipitations moyennes annuelles P(m) et de la température moyenne annuelle T(C°).

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

Avec : $\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T}$ cette formule exige une condition d'application : $\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$

D : déficit d'écoulement (m/an)

P : Hauteur moyenne des précipitations en m.

T : température moyenne annuelle en (C°).

Dans notre cas la condition est satisfaisante puisque $P=0.86\text{m}$ et $1/\lambda=0.4$ et $1/2\lambda=1.61$ c-à-d ($0.4 < 0.8 < 1.61$). On déduit : $ETR=630\text{mm}$

c) Méthode de Wundt :

C'est une méthode graphique, elle est basée sur l'utilisation de l'abaque de la figure n°17 c'est une méthode qui est en fonction de la température et de la précipitation.

Dans notre cas pour une précipitation de 865mm portée sur l'axe des ordonnées et une température de $T=17.3^{\circ}\text{C}$ portée en abscisse, le déficit d'écoulement lu sur le diagramme, est de 670mm.

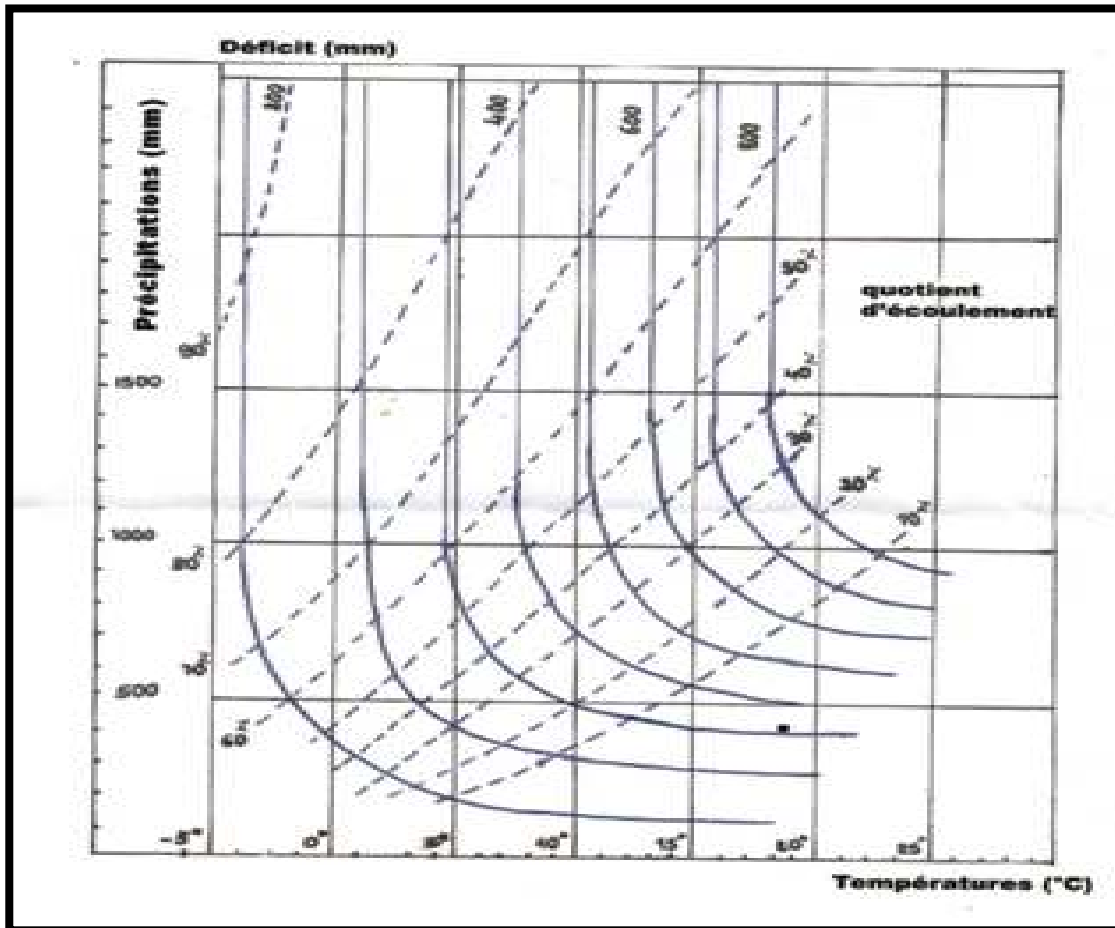


Figure n°17 : Abaque de Wundt modifié par Coutagne

- Comparaison des résultats de l'évapotranspiration réelle ETR :

Les résultats obtenus de l'évapotranspiration réelle (ETR) par les trois méthodes sont donnés dans le ci-dessous.

Méthode	TURC	COUTAGNE	WUNDT	MOYENNE
ETR(mm)	671.10mm	630mm.	670mm.	657.03

Tableau n°16 : Résultats de l'ETR obtenu par les trois méthodes.

Nous constatons que les valeurs de l'ETR obtenues par les trois méthodes citées ci-dessus, sont assez proches, nous retenons pour le calcul du bilan hydrologique, la méthode de Turc qui s'applique à tout les climats, les deux autres méthodes s'appliquent généralement pour les climats humides.

III.3- Hydrologie de surface

Un bassin hydrographique se définit comme la surface topographique drainée par un cours d'eau et ces affluents de telle façon que tout écoulement prenant naissance à l'intérieur de cette surface suive son trajet jusqu'à l'exutoire. En l'occurrence, c'est la mer méditerranéenne qui constitue l'exutoire du sébaou.

L'hydrologie de surface, s'intéresse, justement à la fraction de lame d'eau précipitée sur le bassin versant et drainée par le réseau hydrographique.

III.3.1- Station et données hydrométriques

Le bassin versant du sébaou compte six stations hydrométriques dont les caractéristiques sont consignées dans le tableau n°19.

Les données mensuelles et journalières aux stations hydrométriques du Sébaou ont été collectées à l'ANRH de Blida.

Oued	Nom de la station	Code	Superficie (Km ²)	Date de mise en service	Cordonnées lambert		
					X	Y	Z(m)
Boubhir	Boubroune	02.15.13	482	17/10/1987	645.600	382.600	140
Dis	Fréha	02.16.15	96	01/04/1973	642.950	384.250	130
Aissi	RN 30	02.15.17	445	15/10/1979	627.100	374.600	110
Sébaou	Belloua	02.18.03	1465	20/03/1973	623.300	381.200	90
Bougdoura	RN 25	02.19.09	296	25/04/1973	610.200	375.750	80
Sébaou	Baghlia	02.20.01		Depuis 1949	603.750	390.100	25

Tableau n°17: caractéristiques des différentes stations hydrométriques.

III.3.2- Estimation des sources en eau de surface

Les ressources en eau de surface annuelles disponibles dans le Sébaou, sont estimées à la station hydrométrique de Baghlia durant la période (1986-1999) à 466.73 Hm³ soit un débit moyen annuel de 14.8m³/s. Cette valeur correspond à une lame d'eau écoulée de 187mm répartie sur l'ensemble du bassin, soit environ 23% des précipitations.

La répartition des débits moyens mensuels enregistrés à la station de jaugeage de Baghlia située à l'exutoire du bassin versant pour une période de 13 ans, est représentée dans l'hydrogramme de crue figure n°13, ce dernier est établi à partir des données du tableau n°20 et montre que le débit de l'oued Sébaou est fort au mois de décembre jusqu'en mai et faible durant les mois de juin jusqu'en novembre au point où se tarit complètement au mois d'août.

III.3.3- Régime des apports

III.3.3.1- Régime mensuel des apports

Les histogrammes des débits moyens mensuels (figure n°18 et 19) tracés à partir des données consignées dans le tableau n°20 montre une croissance des valeurs de septembre à février suivie d'une décroissance.

Le maximum des débits mensuels pour deux stations de Belloua et de Baghlia ; exutoires respectifs du haut et du bas Sébaou ; est enregistré aux mois de novembre à avril. Par contre le minimum d'apport est enregistré aux mois de juillet à octobre.

	S	O	N	D	J	F	M	A	m	J	J	A
Baghlia	0.22	0.40	6.45	28.35	38.20	39.92	24.89	19.95	15.17	3.88	0.19	0
Belloua	0.23	0.58	2.53	16.03	22.23	26.62	16.47	15.08	9.59	1.78	0.28	0.15

Tableau n° 18 : débits moyens mensuels des stations de Baghlia et de Belloua

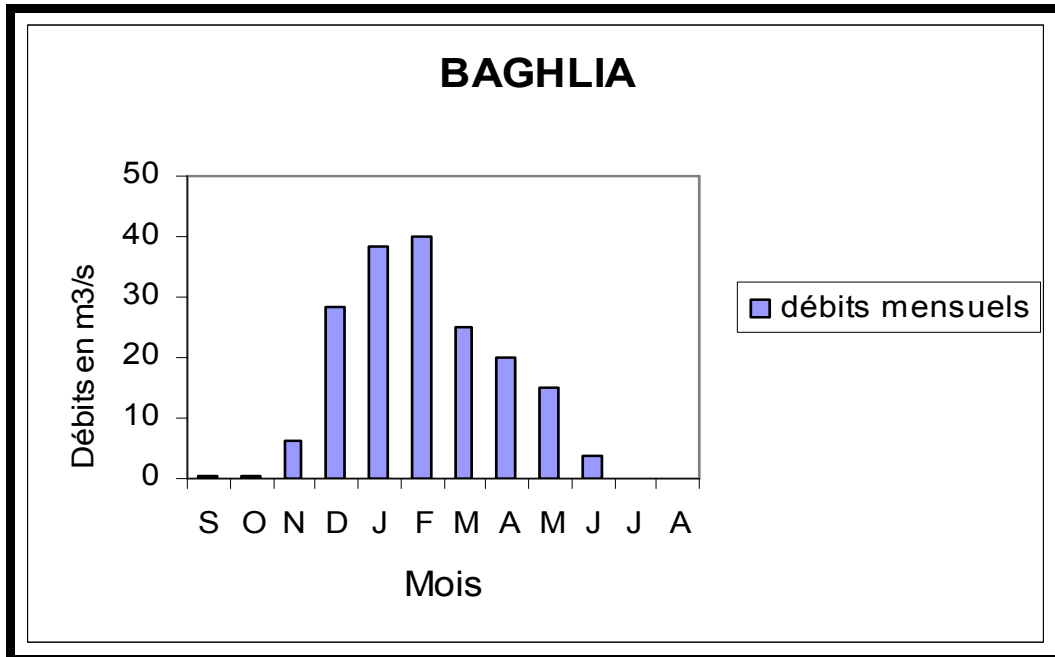


Figure N°18 : Variation mensuelle des apports de l'oued à la station de Baghlia (1986/1999)

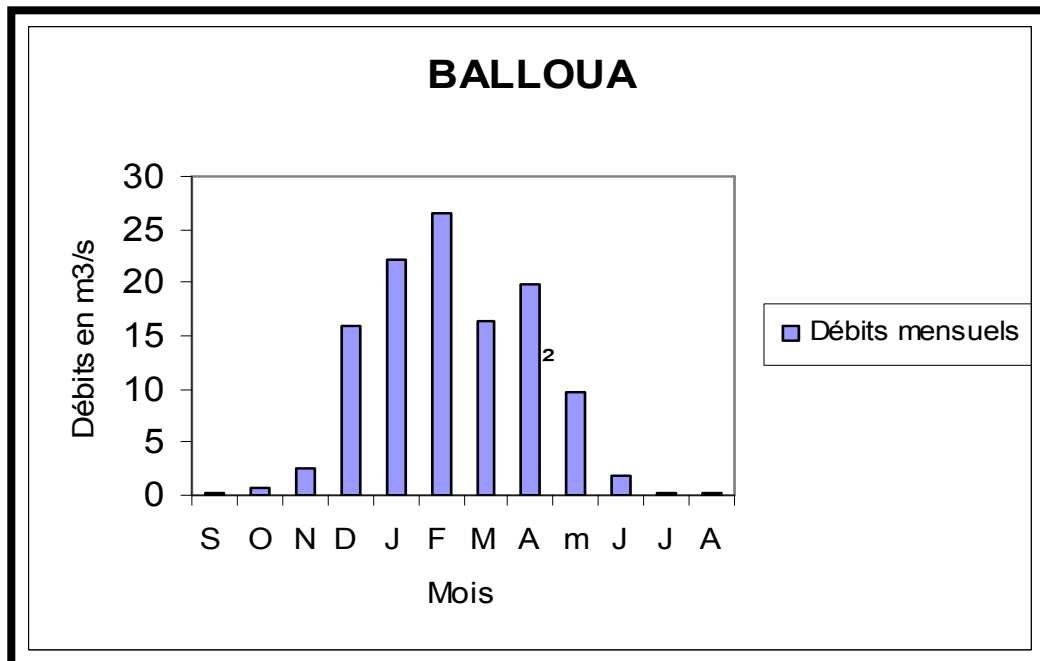


Figure N°19 : Variation mensuelle des apports de l'oued à la station de Belloua (1986/1999)

En outre, on constate que les sommets des histogrammes des débits moyens mensuels sont observés au mois de février, cela peut-être expliqué par l'apport supplémentaire provenant de la fonte des neiges.

Sur un autre plan, on note une grande différence entre le maximum enregistré au mois de Février à la station de Baghlia (39.92 m³/s) et celui enregistré à la station de Belloua avec 26.62 m³/s seulement.

III.3.3.2 Relation entre les précipitations et les débits évacués:

Le diagramme de la figure n°20 construit à partir des données de débit et de pluviométrie enregistrées à la station de Baghlia durant la période 1986/1999 (tableau n°21) montre une concordance entre les variations interannuelles de ces deux paramètres traduisant ainsi une alimentations de l'oued par les pluies.

donnée	86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99
P(mm)	769.1	606.3	658.6	523.6	725.1	766.1	679.6	516.6	733.7	767.1	499.6	1031.2	737.7
Q(m ³ /s)	34.21	4.09	8.40	2.43	26.75	13.76	11.68	4.87	17.45	17.15	2.31	27.5	21.90

Tableau n°19 : Corrélation précipitation/Débits évacués à la station Baghlia

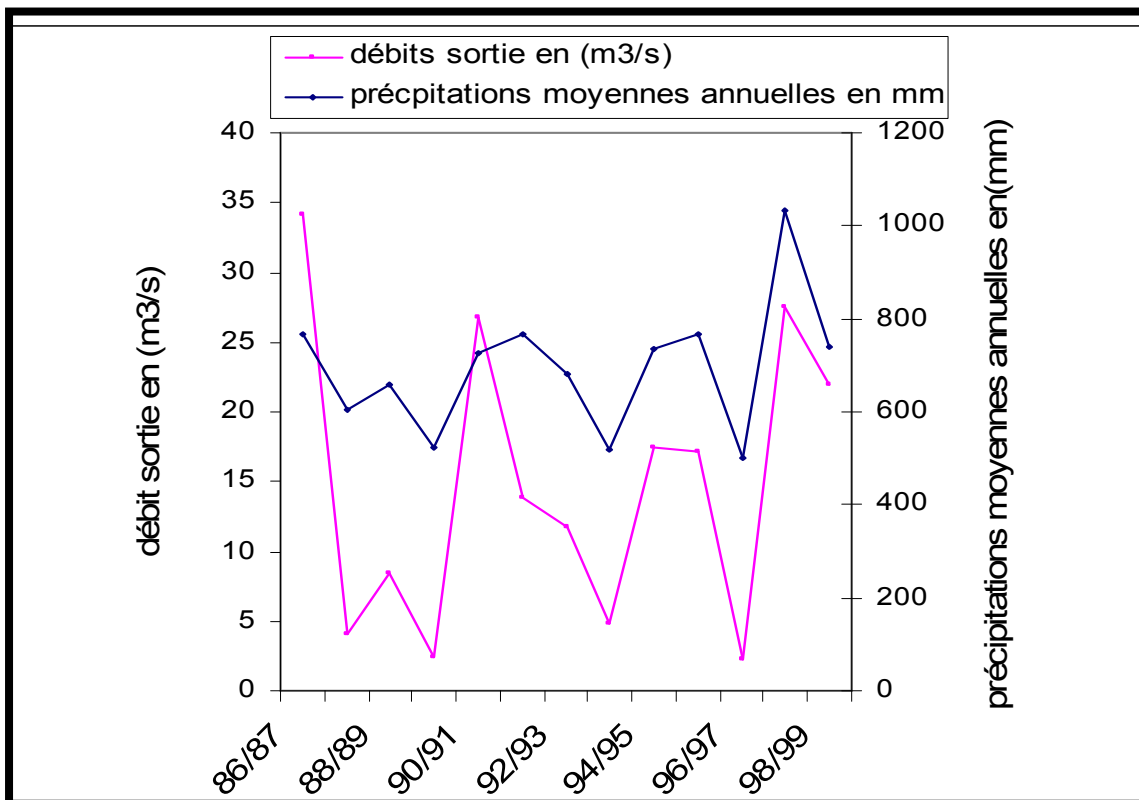


Figure n°20: Corrélation précipitations- Débits évacués à la station de Baghlia

III.3.4- Détermination de la lame d'eau ruisselée(R)

III.3.4.1- Méthode de Tixeront-Berkaloff

C'est une méthode empirique applicable en zones arides, et la précision est d'autant meilleure dans le cas d'un bassin versant énorme avec des faibles précipitations ($p < 300\text{mm/an}$).sa formation est la suivante :

$$R = \frac{p^3}{3(ETP)^2} \text{ Où}$$

R : ruissellement superficiel moyen annuel (en mm). P : précipitations moy. Annu. (en mm).

ETP : Evapotranspiration potentielle moyenne annuelle (en mm).

Dans le cas du bassin versant du Sébaou, cette méthode donne le résultat suivant :

$$P = 865 \text{ mm} \quad ETP = 872 \text{ mm} \quad \text{d'où} \quad R = 283.7\text{mm}$$

La lame d'eau ruisselée déterminée par la méthode de Texeront-Berkaloff est égale à 28.7% des précipitations.

III.3.4.2- Méthode de l'hydrogramme

Le tracé de l'hydrogramme s'effectue en reportant les débits (m^3/s) en ordonnées et les temps (jour) en abscisses. Les données utilisées pour le tracé de cet hydrogramme figurent dans le tableau n°22.

Pour séparer les trois composantes du ruissellement, on procède de la façon suivante :

Nous transformons le temps (mois) en jour, puis nous reportons sur un papier semi-logarithmique les débits (m^3/s) en fonction du temps de la période d'avril à août (partie décroissante de l'hydrogramme).

Les débits étant en ordonnées à l'échelle logarithmique et le temps en abscisses à l'échelle arithmétique, nous observons deux points de brisure que nous appellerons S_1 et S_2 (figures n°21 et 23) : S_1 marque la fin du ruissellement superficiel et S_2 marque la fin du ruissellement hypodermique et le début de l'écoulement de base.

Aux points S_1 et S_2 correspondent deux temps t_1 et t_2 en abscisses. On reporte ces deux temps sur l'hydrogramme, puis les joint par les droites 1 et 2 au point de départ de l'hydrogramme (figure n°22 et 24)

En suite, on procède au planimitrage du domaine de ruissellement et nous trouvons le ruissellement (R).

Les résultats obtenus par cette méthode sont :

- Le ruissellement est estimé à 182mm soit 21% des précipitations globales.
- L'infiltration (assimilé à l'écoulement de base) est estimée à 5mm soit 0.58% des précipitations moyennes à l'échelle du bassin de Sébaou.

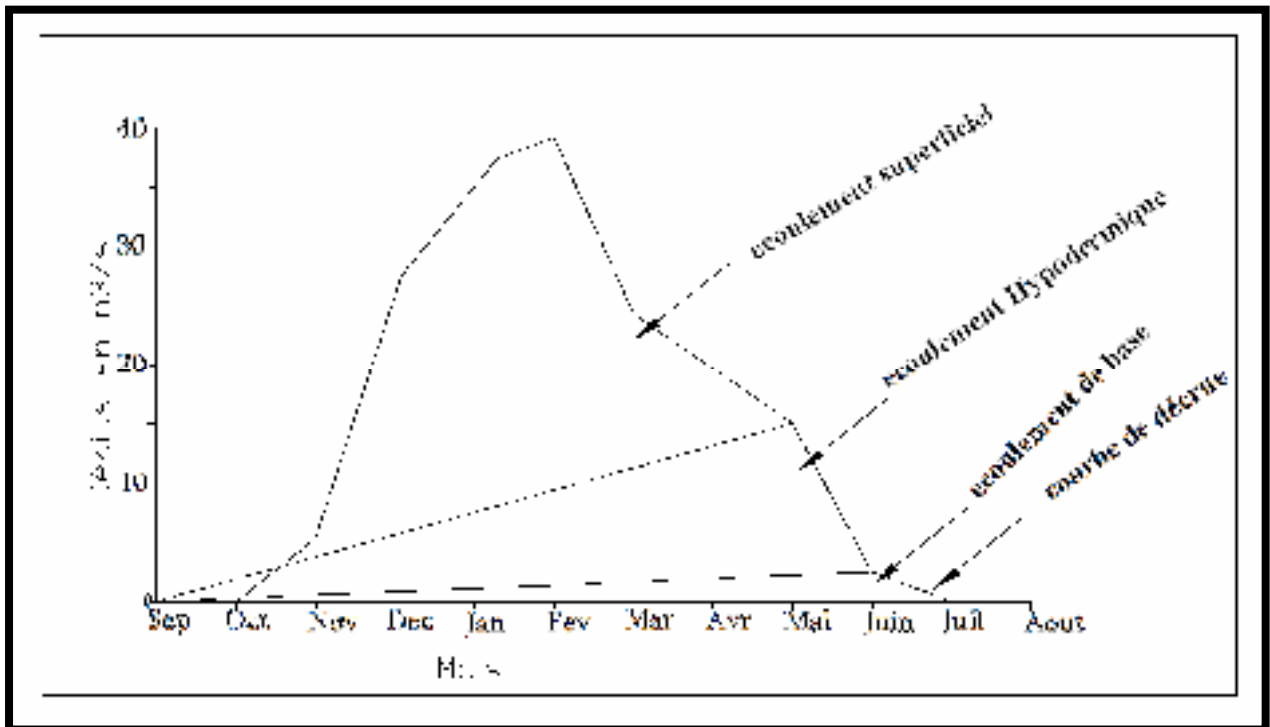


Figure N°21: Hydrogramme de crue de la station de Baghlia

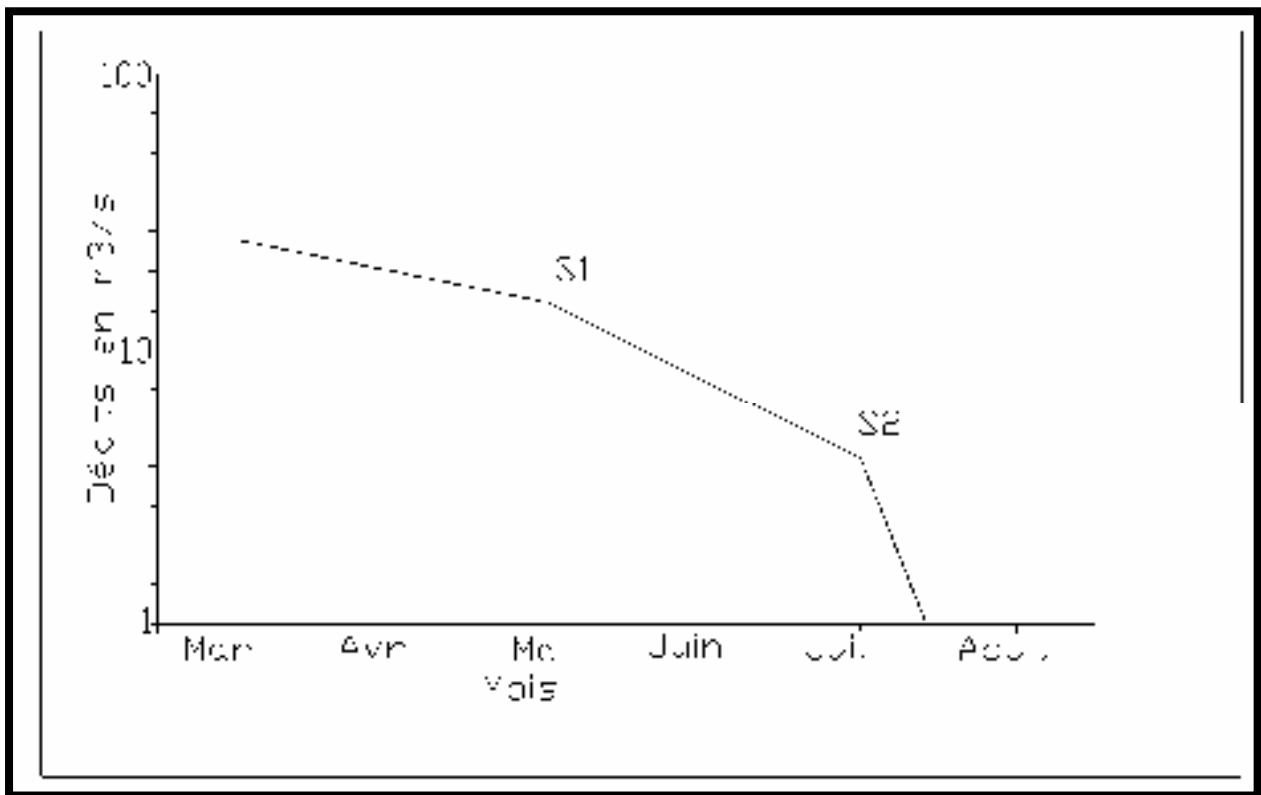


Figure N°22 : Courbe de séparation des écoulements à la station de Baghlia

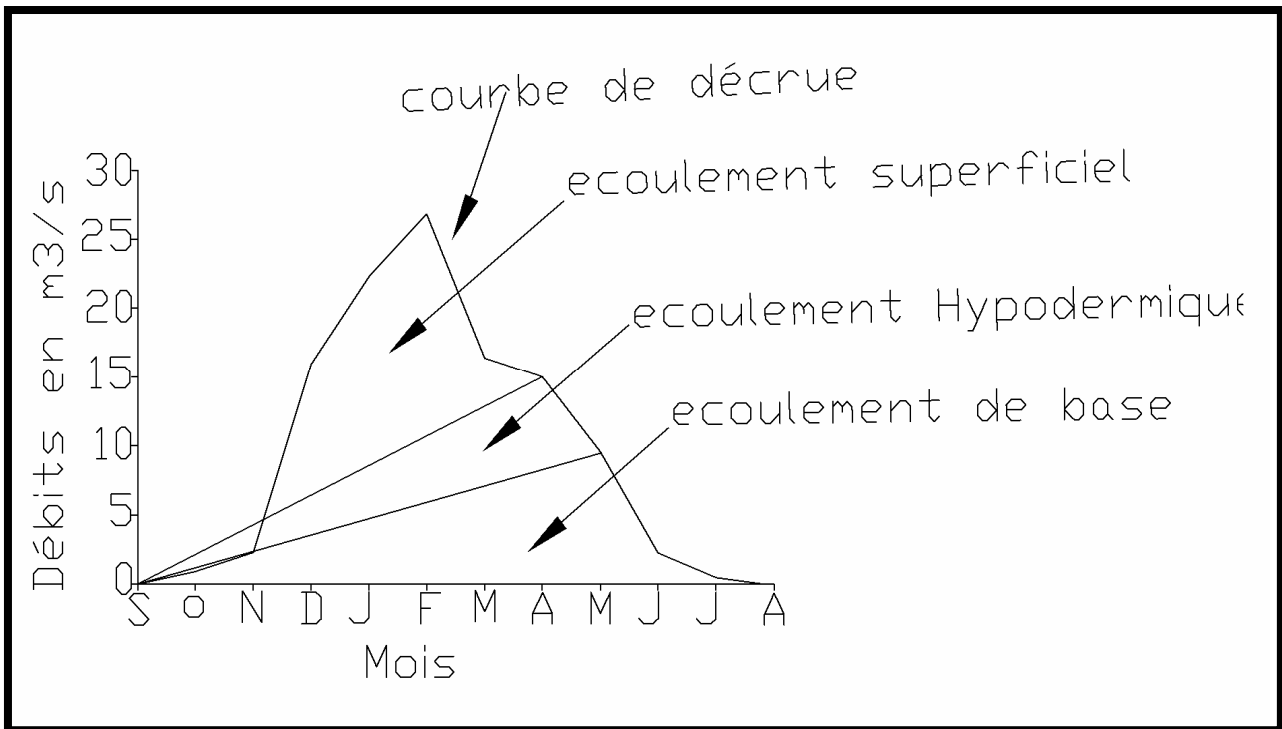


Figure N°23 : Hydrogramme de crue de la station de Belloua

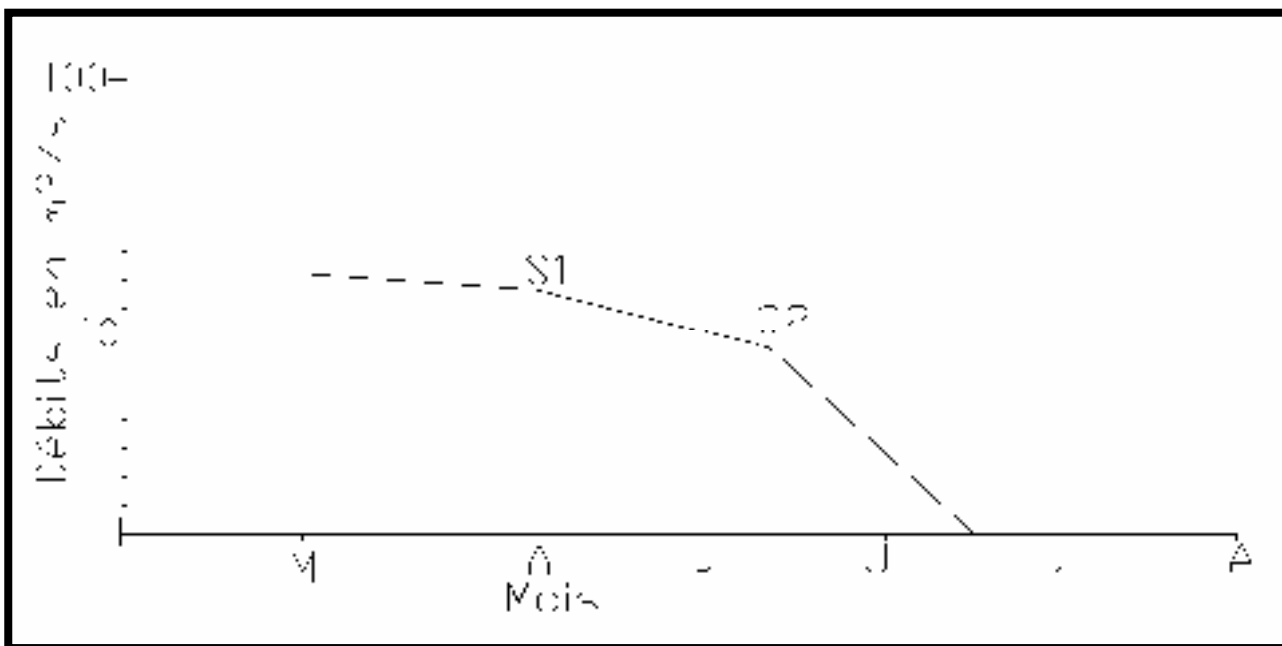


Figure N°24: Courbe de séparation des écoulements à la station de Belloua

III.3.5- Le bilan hydrologique

La formule du bilan hydrologique peut être exprimée de la manière suivante :

$$P = ETR + R + I \pm \Delta S$$

Ou :

P : Précipitation moyenne annuelle (mm). ETR : Evapotranspiration réelle (mm).

R : Ruissellement moyen annuel (mm).

ΔS = La variation des réserves que nous supposons nulles.

Pour déterminer le bilan il faut déterminer deux paramètres inconnus R et I.

Les paramètres du bilan hydrologique ont été calculés à partir des méthodes empiriques, sauf les précipitations qui elles ont été mesurées au moyen direct sur le terrain.

Apports (mm)		Exhaures (mm)				Ecart apport exhaure (mm)
Précipitations	Total des apports	ETR	R	I	Total des Exhaures	
865	865	671	182	5	858	7

Tableau n°20 : Les valeurs de Ruissellement et l'infiltration.

En général l'équation hydrologique est relativement équilibrée, toutefois, on constate un léger écart qui peut être à cause de :

- Erreur de manipulation c-a-d erreur de mesure des paramètres climatiques telle que la précipitation et la température.
- L'utilisation des méthodes empiriques dans le calcul des paramètres du bilan.
- La négligence des précipitations solides (la neige) qui sont des apports latéraux qui peuvent influencer les écoulements surtout en absence de stations pluviométriques dans en hautes altitudes.

III.4- Conclusion

L'examen des données climatiques nous a permis de définir deux périodes différentes :

- Une saison sèche, avec un climat sec qui s'étend de mai à septembre.
- Une saison froide, avec un climat humide tempéré s'étend d'octobre à avril.
- La température moyenne est d'environ de 17.30°C.
- La valeur de lame d'eau précipitée est de 865mm.
- Le régime climatique du bassin versant du Sébaou est humide et tempéré ; il a été déterminé par la méthode de Martonne qui tient compte des précipitations et des températures.

La valeur de la lame d'eau ruisselée calculée par la méthode de l'hydrogramme est plus représentative et cette méthode est plus fiable et donne toutes les composantes de l'écoulement, alors que les résultats obtenus par la méthode Txiront-Berkaloff ne sont pas représentatifs pour notre bassin car cette dernière est plus adaptée pour les bassins versants situés dans des zones semi-arides à aride.

Les résultats du bilan hydrologique que nous avons établi montrent que plus de 77% des précipitations moyennes sont reprises par l'évapotranspiration réelle, le ruissellement et l'infiltration sont estimés respectivement à 21% et 0.58% des précipitations globales.

CHAPITRE IV :

SYNTHÈSE GEOLOGIQUE

IV-1- Introduction

Le secteur d'étude est en grande partie inclus dans la partie septentrionale de l'atlas tellien, qui forme une zone complexe constituée de nappes mises en place au Miocène inférieur et qui, du point de vue géologique, se rattache au grand système alpin méditerranéen, dont la formation est liée au déplacement de l'Afrique par rapport à l'Eurasie, qui se produit depuis plus de 150 millions d'années.

IV.2- Cadre géologique régional

La vallée de l'oued Sébaou est située au nord de la grande Kabylie. Elle correspond à un bassin miocène occupant la grande zone synclinale qui s'étend principalement d'Azazga à Dellys et fait partie de la chaîne des Maghrébins résultant des cycles orogéniques hercyniens et Alpains (Fig. n°20 et 21). Selon la structure, on distingue trois ensembles géologiques représentés par :

- Les zones internes ou ‘ ‘ Domaine kabyle’ ’;
- La zone des flyschs;
- Les zones externes ou ‘ ‘ Telliennes’ ’.

IV.2.1- Les zones internes ou ‘ ‘Domaine kabyle’ ’

Le secteur d'étude appartient aux zones internes dans lesquelles on distingue le socle cristallophyllien Kabyle, sa couverture sédimentaire paléozoïque peu ou pas métamorphisée et la dorsale Kabyle essentiellement carbonatée datée du permo-trias à l'Oligocène (Durand-Delga, 1969 in bouadjel 2006)

- Le socle kabyle d'âge paléozoïque ou même plus ancien, constitué des formations cristallophylliennes. Ces terrains sont représentés par des gneiss, des micaschistes, des schistes, des amphibolites et des granulites.
- La couverture sédimentaire paléozoïque est discordante sur le socle, elle correspond à une formation essentiellement grésopélitiques à intercalations carbonatées regroupant des séries allant du cambrien supérieur au carbonifère moyen.

La dorsale kabyle ou chaîne calcaire (Glangeaud, 1932) discordante sur le socle kabyle, représentant sa couverture. Elle comprend des faciès argilo-gréseux d'âge Triasique, des calcaires et marono-calcaire Jurassique et des niveaux détritiques éocènes.

- Quant à l'oligo-miocène Kabyle, celui-ci correspond à une mollasse résultant de l'érosion des reliefs après l'orogénèse éocène (ou pyrénéenne). Elle est discordante sur les écaillés de la dorsale ou sur le socle kabyle.

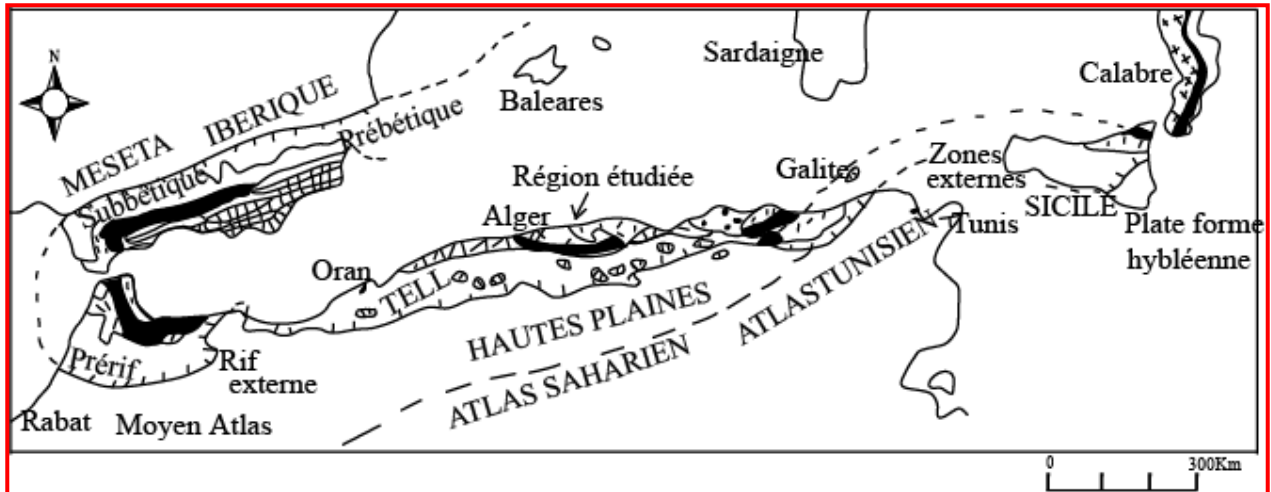


Fig. n°25 : Situation de la zone étudiée dans l'orogène alpin périméditerranéen (D'après M. Durand Delga, 1969)

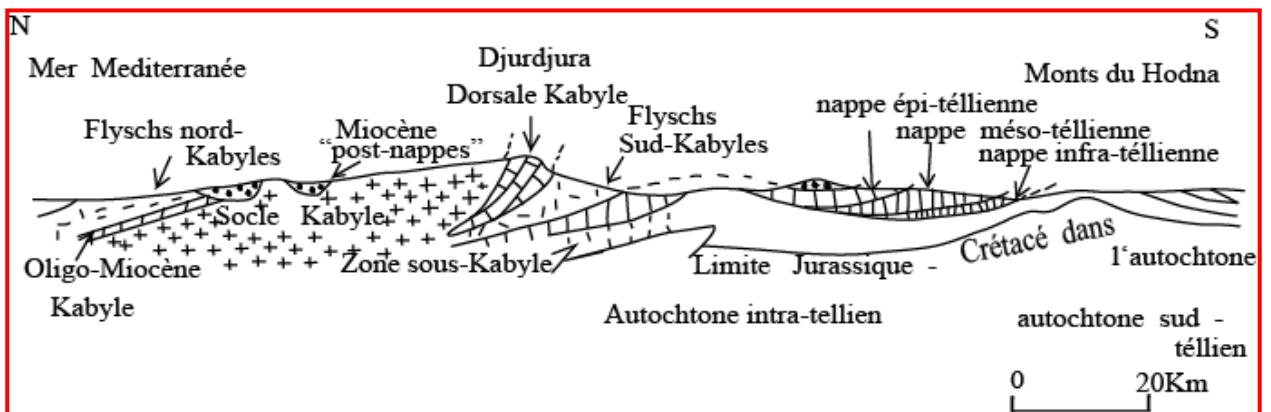


Fig. n°26 : Rapport entre les grandes unités structurales sur le méridien de la grande Kabylie (D'après M. Durand Delga, 1969)

IV.2.2- Le domaine des Flyschs

Il est formé par un ensemble de nappes à matériel détritique (quartzo pélitique, conglomérats, marno-calcaires et microbrèche), cet ensemble regroupe des formations allant du Jurassique moyen à l'Eocène. Ces flyschs sont en contact anormal sur l'Oligo-miocène kabyle pour les uns, ou sous la dorsale kabyle pour les autres.

IV.2.3- Les zones externes ou Tellienne

Les zones externes forment une large bande entre les zones internes et l'avant pays préatlasique, on y observe :

- Les unités autochtones ou para- autochtones (massif à schistosité) constitués par des séries paléozoïques et mésozoïques souvent métamorphiques
- Les nappes Telliennes ou masses allochtones, constituées de terrains essentiellement marno-calcaires d'âge crétacé-éocène.

IV.3. Géologie de la région étudiée (Fig. n°21 et 22)

La vallée du Sébaou correspond à un bassin dans lequel sont accumulés des sédiments Mio-plio-quadernaires.

IV.3.1- La lithostratigraphie

L'extrait de la carte géologique à l'échelle 1/50.000^{ème} montre que la région d'étude est caractérisée par les formations lithostratigraphiques suivantes :

- Le socle cristallophyllien;
- La chaîne calcaire;
- L'oligo-miocène;
- L'unité Numidienne;
- Les flyschs;
- L'unité Tellienne de Dellys;
- L'Olistostrome ou "argiles à blocs" :
- Les formations post-nappes ;
- Les formations quaternaires.

IV.3.1.1- Le socle kabyle

Il est formé de terrains constitués par la superposition de roches cristallophylliennes d'âge protérozoïque et paléozoïque inférieur, c'est le substratum de la dorsale kabyle, il est composé de trois ensembles :

- Le cristallophyllien inférieur, constitué essentiellement de gneiss à intercalation de marbres et d'amphibolites, recoupé par des filons de quartz et de tourmaline.
- Le cristallophyllien supérieur, représenté par des schistes satinés ou phyllades à quartz alternant avec des grès, des porphyroïdes ocellés et des lentilles de calcaires métamorphiques.
- *La couverture sédimentaire paléozoïque, est caractérisée par des formations gréseuses et carbonatées, discordantes sur les phyllades. Elle est d'âge cambrien supérieur à carbonifère moyen.*

IV.3.1.2- La dorsale kabyle (Durand- Delga, 1969 in Bouadjel 2006)

Limite le domaine interne au nord du domaine des flyschs, elle est constituée par un empilement d'écailles, d'après la lithostratigraphie, les auteurs définissent une dorsale interne, médiane et externe (Fig. n°20)

La dorsale interne : isolée au nord du massif de Chellata, séparée des autres par de larges affleurements du socle. Elle constitue l'unité de Berkaiss, peu tectonisée.

La dorsale médiane : occupant la partie centrale du massif de Chellata, elle est limitée au nord ouest par le socle cristallophyllien et au sud-est par un accident de direction sud-ouest nord-est.

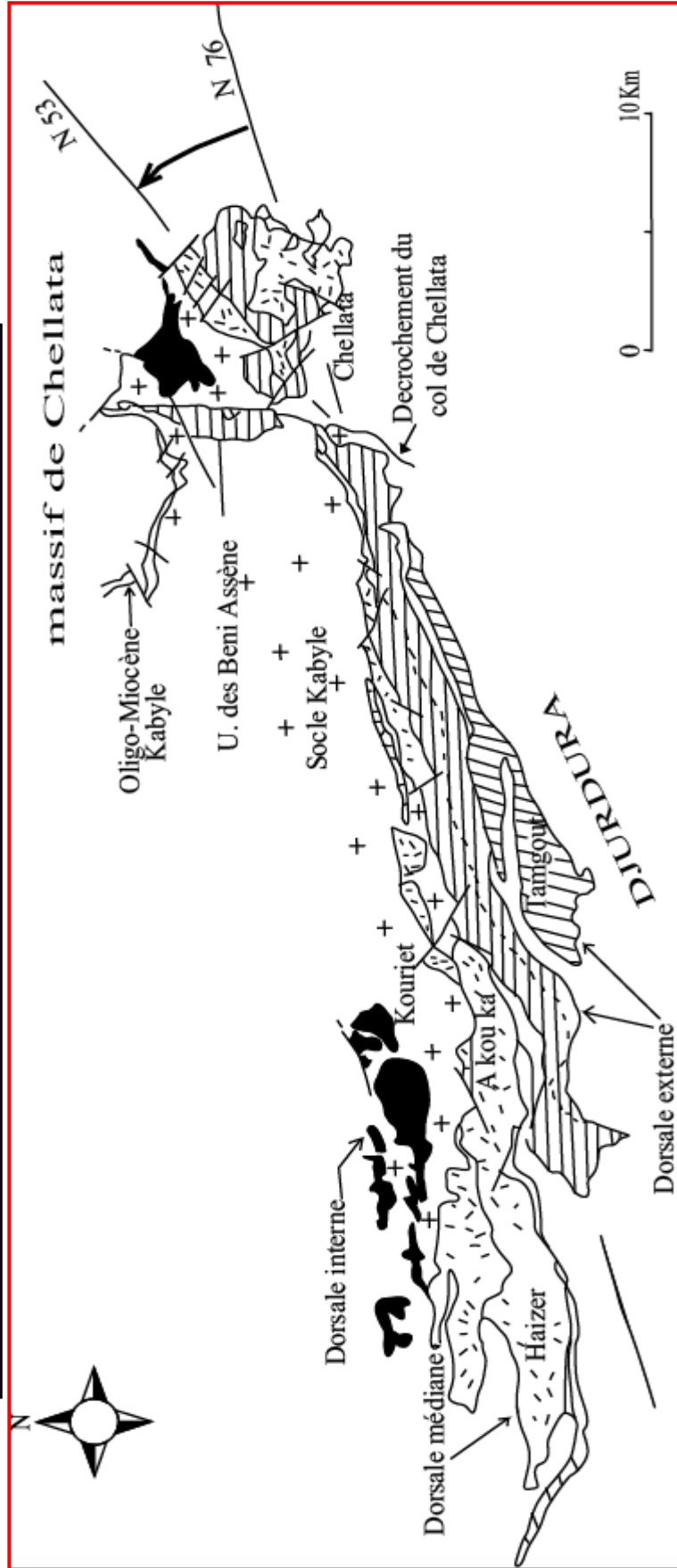
La dorsale externe : elle correspond au remplissage de la partie sud du massif de Chellata. La figure 21 résume la colonne lithostratigraphique synthétique.

IV.3.1.3- L'oligo-miocène Kabyle

Cet ensemble géologique est défini par les auteurs comme étant des faciès détritiques datés de l'oligocène terminal au miocène basal (Burdigalien inférieur), il est en discordance avec le socle kabyle. Cette formation est constituée de la base au sommet par Des conglomérats surmontés par des argiles riches en débris de socle et parfois silicifiés, selon les lieux.

L'oligo-miocène Kabyle affleure à Aïn El Bir au nord-ouest du Djebel Belloua, à Kouanine à Azib Bou Moussa, dans la région de Draâ El Mizane, Ouadhias et dans la région de Tabouda-Mréira (D.Raymond, 1976; J.P.Gélard, 1979)

Fig 20 : Carte schématique interprétative de la dorsale de la Grande Kabylie (J.P. Gélard, 1979)



IV.3.1.4- L'unité Numidienne

C'est une série de type flysch, d'âge oligo-miocène caractérisée par la succession de trois termes de la série Numidienne, qui sont de bas en haut (*J. P. Gélard, 1979*):

- les argiles sous numidiennes de couleur brune à Tubotomaculum fréquents d'âge Oligocène.
- les grès numidiens qui sont quartzeux à granulométrie grossière, intercalés de pelites d'âge Aquitanien.
- les formations supra-numidiennes constituées d'argiles et de marnes intercalées de silexites d'âge Aquitanien supérieur- Burdigalien inférieur.

Cette unité affleure principalement dans les massifs d'Akfadou, à l'est de Azazga et dans la forêt de Mizrana.

IV.3.1.5- Les flyschs

On désigne par les flyschs, l'ensemble des formations associées aux flyschs terrigènes Maghrébins d'âge Jurassique moyen à Eocène (Fig.21). Classiquement, ils sont subdivisés en deux types, le flysch maurétanien et le flysch massylien.

Le flysch maurétanien : se caractérise par les types de faciès suivants :

- Grès de faciès "Guerrouch" puissants d'âge Barrémo-aptien;
- Repère quartzitique vert bouteille et calcaires microbréchiques d'âge Cénomaniens à silicifications blanches;
- Calcaires microbréchiques, marnes rouges et conglomérats grossiers d'âge Sénono-éocène;
- Calcaire à microcodium d'âge paléocène;
- Couverture grés-micacée d'âge Stampien-Aquitanien.

Le flysch massylien : constitué de la base au sommet par :

- Flysch périto-quartzitique d'âge Albo-aptien;
- Calcaires fins jaunâtres en petits bancs d'âge Albien supérieur-Cénomaniens inférieur;
- Phtanites d'âge Turonien inférieur;
- Flysch argilo-marneux à plaquettes microbréchiques d'âge Campanien;
- Marnes rouges et calcaires sableux d'âge Maestrichtien Eocène (*J. P. Gélard, 1979*)

Au sein des flyschs; le maurétanien et le massylien représentent les deux pôles extrêmes. Le matériel qu'ils remanient respectivement confirme leur éloignement paléogéographique : le premier est chargé de débris de dorsale (à partir du Crétacé supérieur), le second en fragments qui proviennent des zones externes (*de type Babors*). (*J. P. Gélard, 1979*).

Il existe des séries mixtes, intermédiaires entre les séries types massyliennes et maurétaniennes, ce sont :

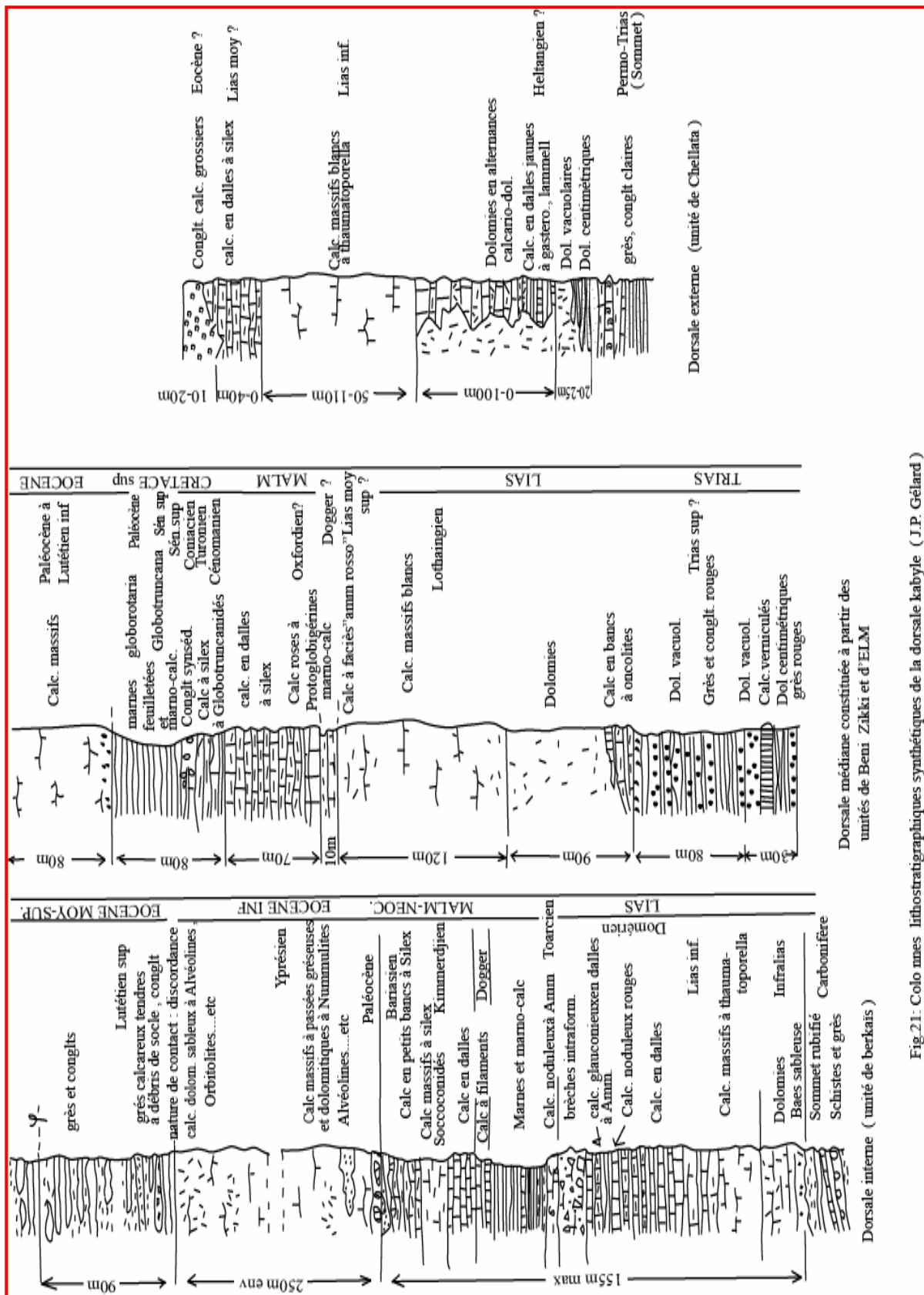


Fig.21: Colo nnes lithostratigraphiques synthétiques de la dorsale kabyle (J.P. Géliard)

IV.3.1.5.1. Le flysch du haut Sébaou - Azazga

Ce flysch présente des affinités à la fois avec le Massylien et le Maurétanien. Il s'agit généralement d'un flysch où le faciès argileux est dominant.

Sur les calcaires fins, datés du berriasien moyen-supérieur, on distingue :

- Un ensemble essentiellement argileux formé par :
 - Une puissante série argileuse accompagnée de bancs de grès ou de grès quartzitiques.
 - Des grès en bancs réguliers séparés par des pelites sombres (Aptien supérieur-Albien).
 - Des marnes et argiles bleutées à passées rouges d'âge Aptien-Albien supérieur.
- Des calcaires fins interstratifiés par fois avec des phtanites peu épaisses et souvent argileuses.
- Des argiles et marnes grises ou bleutées présentant des passés rougeâtres. Elles sont datées du Maestrichtien.
- Des marnes roses ou rouges et des bancs de calcaires organoclastiques datées du Sénonien terminal-Paléocène supérieur.

IV.2.1.5.2. Le flysch d'Afir-Azeffoun

Ce flysch affleure au SE de Dellys, dans la région d'Afir et dans la région d'Azeffoun; il est composé de trois unités :

a. L'unité inférieure d'Afir :

C'est un complexe comportant de bas en haut :

- Un flysch pélito-quartzitique d'âge Crétacé inférieur;
- Un mince niveau de Phtanites cénomaniennes;
- Un complexe d'épaisseur réduite avec des argiles et microconglomérats et des calcaires fins d'âge Crétacé supérieur. (*D. Raymond, 1976*).

b. L'unité supérieure d'Afir :

C'est un complexe débutant par des Phtanites cénomaniennes, surmontées d'un flysch crétacé supérieur, tendre, où alternent des argiles et microconglomérats à ciment argileux ("flysch à microbrèches") (*D. Raymond, 1976*).

c. Le flysch du haut Sébaou :

C'est un flysch pelito-calcaro-microconglomératique verdâtre, extrêmement chaotique d'âge Crétacé supérieur.

IV.3.1.6- L'unité tellienne de Dellys

Cette unité est représentée essentiellement dans le secteur situé entre Baghlia et Ait Raouana. Elle est d'âge Crétacé supérieur à Eocène.

L'unité est formée d'une puissante série à sédimentation rythmique, composée de calcaires et de marnes, on distingue en fait :

- Des marnes intercalées de calcaires marneux (Turonien-Sénonien)
- Des calcaires marneux à rares silex et calcaires silicifiés (Yprésien-Lutitien inférieur)
- Des marnes noires d'âge Lutitien.

IV.3.1.7. L'Olistostrome (ou argiles à blocs)

C'est une accumulation sédimentaire Chaotique, leur formation est liée à la mise en place des nappes sur le domaine interne.

Leur mode de sédimentation, serait dû au glissement par gravité, sur une pente sous-marine d'une molasse sédimentaire ou à la dilacération d'un front de nappe, ou encore à la conjugaison des deux.

Cette formation est constituée par une matrice tendre (argileuse, marneuse ou pélitique) dans laquelle sont dispersés de menus débris qu'accompagnent des blocs (Olistolites) de taille variable d'âge Aquitainien supérieur-Burdigalien inférieur (*J.P.Bouillin, 1973*). Cette formation affleure à Kouanine et Draa Karrouch. Il affleure aussi sur la route joignant El Kalaâ et Boudjima et sur la route d'Azazga - Aïn El Hammam.

IV. 3.1.8. Les formations post-nappes

Ces formations comprennent des terrains d'âge Miocène à Pliocène.

Le miocène : il est très étendu dans la zone synclinale comprise entre Azazga et Dellys.

Au Burdigalien terminal, il présente à sa base des marnes puis des conglomérats surmontés par de la molasse et se termine par des marnes.

Au Langhien-Sérravallien, le miocène présente des grès discordants sur le socle, on trouve enfin les marnes qui tapissent l'ensemble du synclinal de Tizi-Ouzou, ces dernières constituent le substratum des formations alluviales aquifères.

Les roches volcaniques : on rencontre dans le miocène mollassique un cortège de roches volcaniques (basaltes, rhyodacites, rhyolites et tufs). Ces formations sont en relation avec le centre éruptif de cap Djenet et affleurent aux régions de Guennana et au versant nord du massif de Naciria.

Le pliocène : le pliocène vient en discordance sur le Burdigalien supérieur, il est constitué de marnes grises claires affleurant dans la région de Dellys, dans la vallée de l'oued El Arba et à Djarabet.

IV.3.1.9- Les formations quaternaires

Elles correspondent au remplissage alluvionnaire ancien, récent et actuel de la vallée de l'oued Sébaou. Il s'agit de dépôts de galets, sables grossiers et fins, graviers, limons et argiles qui se présentent sous formes de terrasses emboîtées ou étagées.

Les sondages mécaniques et les forages de reconnaissances ont permis de mettre en évidence les niveaux suivants constatés de haut en bas :

- Limons de surface ;
- Alluvions grossières, sables, graviers et galets ;
- Niveaux marneux (substratum).

On assiste par ailleurs, que la fraction des éléments fins tend à prédominer l'ensemble et ce, au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'embouchure de l'oued Sébaou.

IV.4.- Structure tectonique et évolution paléogéographique

Dans cette étude, nous essayons de décrire succinctement les grands évènements tectoniques ayant marqué l'histoire géologique de la région d'étude et d'en retracer chronologiquement les processus importants qui ont accompagné la mise en place des différents ensembles géologiques actuels de la grande Kabylie.

IV.4.1- Crétacé inférieur-Eocène supérieur

Le socle Kabyle est émergé, à partir de ce dernier s'ordonneraient du nord vers le sud les grandes zones suivantes :

- La dorsale (individualisée dès le Lias) ;
- Flysch maurétanien ;
- Flysch intermédiaire (série d' Afir, Azeffoun et Flysch du haut Sébaou ... etc);
- Flysch massylien;
- Ultra tellien.

On assiste en principe à un phénomène de charriage vers le nord, sous le domaine Kabyle, du substratum océanique du flysch massylien.

L'évènement principal qui a marqué cette époque, serait le rapprochement de la marge continentale africaine, représentée par le sillon tellien et de la marge Kabyle (*D.Raymond, 1976*).

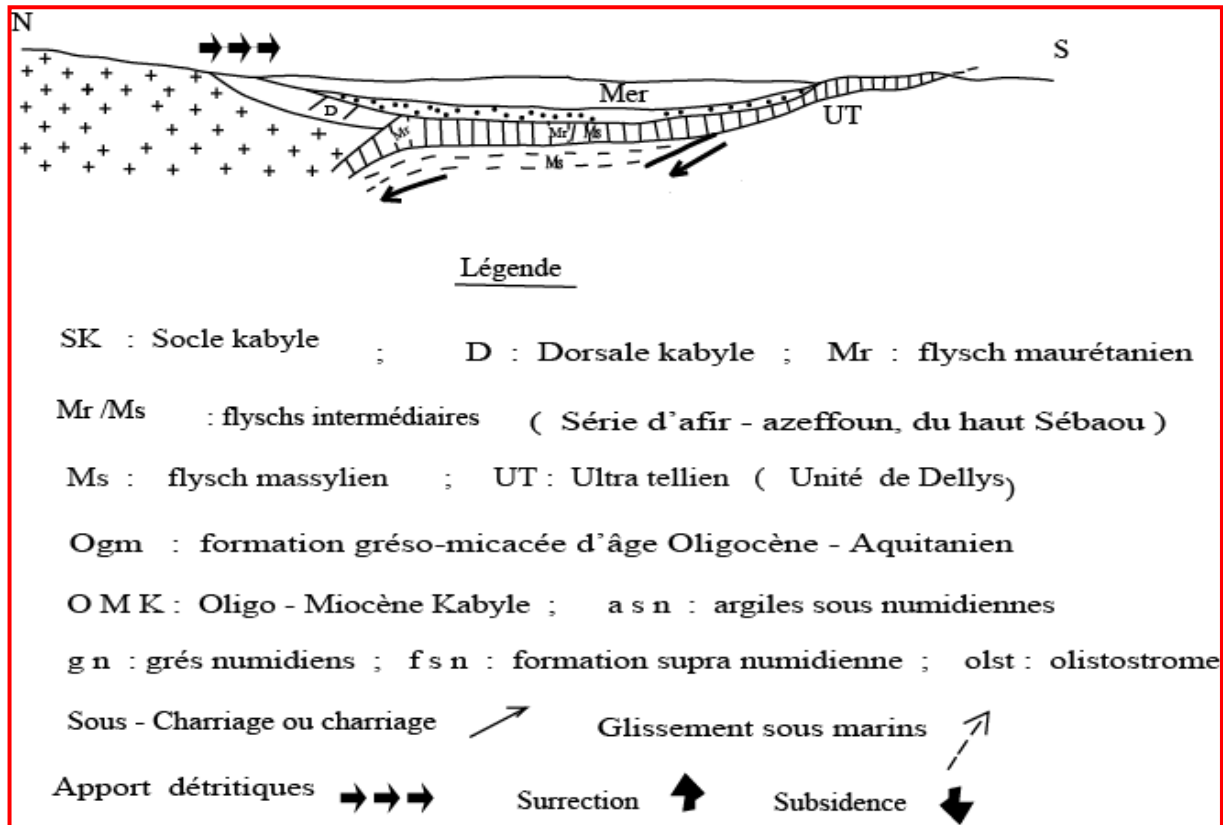
IV.4.2- Eocène supérieur Burdigalien terminal

IV.4.2.1- Oligocène inférieur

- *Sédimentation* : dépôts de grès micacés (oligocène inférieur)

- *Tectonique* : sous charriage du flysch massylien et de l'ultra tellien

- Emergence du socle kabyle ;
- Ecaillage de la dorsale kabyle ;
- Les flyschs maurétanien et intermédiaires reçoivent une couverture grésomiacé concordante;
- Flysch massylien, domaine ultra-tellien et leurs soubassements respectifs : probablement déjà largement sous-charriés sous les flyschs maurétanien et intermédiaires (*J. P. Bouillin, 1975*).



IV.4.2.2- Oligocène supérieur

- *Sédimentation* : dépôt de grès micacés à lépidocyclines en position interne et les argiles sous-numidiennes en position externe.
- *Tectonique* : glissement vers le sud de la partie distale (sud) du domaine des flyschs intermédiaires avant le dépôt des argiles sous numidiennes.

IV.4.2.3- Miocène inférieur

- *Sédimentation* : *Dépôt de grès numidiens (Aquitanien), début de dépôt de l'Oligo-miocène kabyle en position interne.*
- *Tectonique* : *La partie radicale du domaine des flyschs intermédiaires est intensément tectonisée.*

IV.4.2.4- Aquitanien terminal Burdigalien basal

- *Sédimentation* : *Dépôts des formations supra numidiennes en position externe y compris les derniers niveaux de l'Oligo-miocène kabyle en position interne.*
- *tectonique* : *les éléments ultra Kabyles ont amorcé leurs glissements par-dessus le domaine Kabyle.*

IV.4.2.5- Burdigalien inférieur

- *Sédimentation* : dépôt de l'Olistostromes nord kabyles.
- *Tectonique* :
 - La zone comprise entre le domaine kabyle et l'axe Babors-Biban est soumise à un serrage.

- Glissement d'éléments citra-Kabyles vers le nord par dessus le domaine Kabyle, avec évolution en nappes sous numidiennes.

IV.4.2.6- Langlinien-Sérravalien-Pliocène

- *Sédimentation* : Dépôts de formations post-nappes

IV.4.3- Structure du Miocène post nappe

Le Miocène se trouve dans le socle sous-jacent affecté par les plis. Les principales structures tectoniques affectant aussi bien le Miocène "post-nappe" que le socle Kabyle sont représentées par une série d'anticlinaux et de synclinaux d'orientation N70E. Les plis d'ampleur plurikilométrique ont une orientation sud-nord, on distingue cependant :

- *Le synclinal de Tizi Ouzou-Oued Aguer gour;*
- L'anticlinal de Aissa-Mimoun, Djebel Belloua qui prolonge à l'ouest celui de Sidi Ali Bounab;
- Le synclinal de l'oued Stita-Tadmaït;
- L'anticlinal de Draa Karrouch prolongé à l'ouest par celui de Naciria;
- Au nord, les chaînons littoraux (Dj.Takdempt et Bouberak) montrent un système plis N70E déversé vers le nord.

Quant à la fracturation influençant la structure post-nappe; elle est peu prononcée dans le bas que dans le haut Sébaou. Probablement, quelques failles peuvent être observées dans les niveaux compétents des molasses et conglomérats aux Djebel El Gueblia et Bouberak.

L'analyse tectonique des formations post-nappe, se résume principalement par une phase de distension suivie d'une phase de compression.

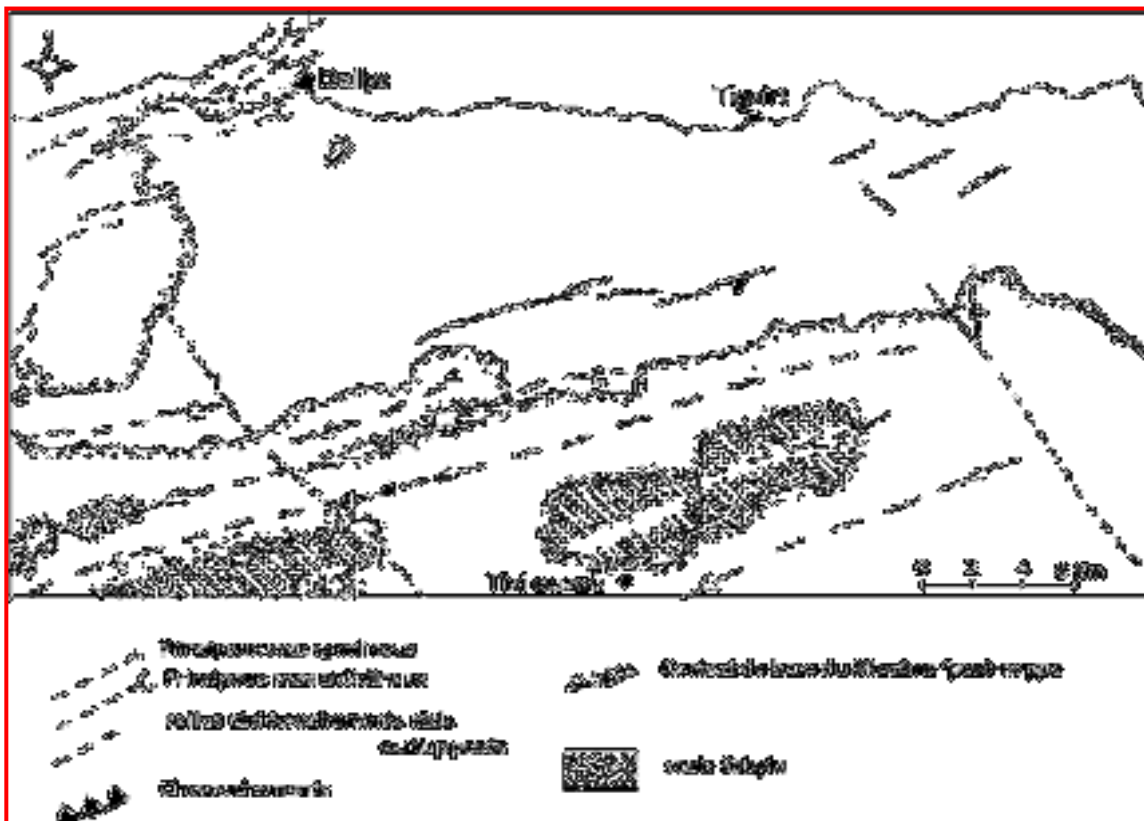


Fig.30 : Principales structures "post-nappes" dans le Nord Ouest de la grande Kabylie (D. Raymond, 1976)

IV.5- Conclusion

La vallée de l'oued Sébaou occupe la grande zone synclinale miocène qui s'étend d'Azazga à Dellys.

De point de vue structural, la région d'étude est constituée essentiellement par des formations dites "post nappes "et des terrains quaternaires qui sont limités de part et d'autre par des accidents de quelques anticlinaux (Naciria, sidi Ali Bounab, . Belloua et Aissa Mimoun). L'analyse structurale du miocène post-nappe à permis de mettre en évidence une phase tectonique distensive, responsable de la mise en place du réseau de fracturation, suivie d'une phase de compression qui se manifeste essentiellement par le plissement du socle et de sa couverture mollassique.

Connaissions la nature lithologique, relevant de l'aspect hydrogéologique (perméabilité, porosité..) des différentes formations du bassin versant du Sébaou, il nous y parait possible d'envisager les formations susceptibles d'être aquifères, ainsi d'en établir la classification suivante :

Le Miocène marneux : Son aspect fin et très peut perméable justifie qu'il ne présente pratiquement aucun intérêt hydrogéologique (points de vue emmagasinement des ressources). Ce niveau constitue, d'ailleurs, le substratum imperméable de la nappe alluviale de l'oued Sébaou.

Bien qu'il soit fracturé est altéré, le socle métamorphique demeure comme un réservoir modeste. En effet, les gneiss et les schistes contiennent certaines sources mais leur débit reste assez faible.

Le massif de Djurdjura : avec sa morphologie Karstique, constitue, certainement, un réservoir important, étant donnée que l'oued Sébaou et ces affluents prennent leurs sources depuis ce massif.

Le remplissage alluvionnaire quaternaire : essentiellement fluvatile, constitue l'aquifère le mieux identifié, mais également le plus important réservoir de la région. Vu son développement et ces bonnes caractéristiques hydrogéologiques, il est classé comme le principal pourvoyeur de la ressource en eau exploité pour l'AEP, l'irrigation et l'industrie.

CHAPITRE V :

HYDROGEOLOGIE

V.1- Introduction

L'hydrogéologie est la science qui concerne la recherche, l'exploitation, la gestion et la protection des eaux.

Le principal objectif de notre étude hydrogéologique, est d'identifier et de décrire les unités géologiques ayant une importance du point de vue ressources en eau de la plaine du Sebaou

V.2- Principaux aquifères de Sebaou

Dans le bassin de la grande Kabylie se distingue quatre grands ensembles géologiques présentant des caractéristiques aquifères importantes :

- a)- l'ensemble des formations carbonatées de la chaîne calcaire situées dans la partie sud du bassin versant. Cet aquifère s'étendant sur une superficie de 120Km² (Hiadihine et Menadmi ,1996) est formé de calcaires et dolomies à circulation de fissures et de chenaux Karstiques . Sur les altitudes supérieures à 1500m, il reçoit près de 2m de précipitation tombant surtout sous forme de neige. L'aquifère est très peu étudié et n'est exploité que par captage des sources qui sont nombreuses surtout sur le flanc Nord de la chaîne.
- b)- le domaine de formations métamorphiques constituant le socle qui couvre une superficie de 960 Km². Ce sont des formations où les circulations d'eaux souterraines se font à travers les fissures qui les affectent même en profondeurs. C'est un aquifère caractérisé par des émergences de sources dont le débit moyen ne dépasse pas 1l/s. les niveaux altérés superficiels perméables forment de petites nappes qui sont exploitées par des puits domestiques de profondeur maximale égale à 25m.
- c)- l'ensemble des affleurements des grès du miocène post-nappe qui s'étendent sur une superficie de 796Km² au Nord-Ouest, à l'Est et au Sud- Ouest du bassin versant du sebaou. Ces grès, peu étudiés, présentent un intérêt hydrogéologique malgré leur faible capacité d'infiltration (djemai, 1980). Les sources qui émergent de cet aquifère sont peu nombreuses et ont un débit moyen de 5 l/s.
- d)- les alluvions de remplissage des plaines alluviales : Ce sont des formations du quaternaire ancien et récent, constituées de dépôts détritiques alluvionnaires (galets, sables gros et fins, graviers, limon et argiles). Dans le sebaou, ces dépôts constituent le réservoir le plus exploité de toute la région. C'est pourquoi, nous leur avons accordés un intérêt particulier pour l'étude et la cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la nappe qu'ils constituent. (SAID. R ,1999)

V.3- Caractérisation des aquifères

V.3.1- Etude piézométrique

V.3.1.1- Inventaire des points d'eau

La synthèse des différents inventaires a été rendue possible grâce aux travaux réalisés depuis plusieurs années. La première campagne piézométrique qui a couvert toute la vallée du Sébaou (septembre, octobre 1972 et mars, avril 1973) a été réalisée par Y. Chadrin, Le tableau N°23 donne un aperçu sur les différentes campagnes qui ont suivi à nos jours.

V.3.1.2- Identification des points d'eaux

Les points d'eaux choisis sont généralement des puits paysans qui sont pour la plupart des ouvrages artisanaux construits en briques ou en pierres, non couverts, ils servent pour la majorité à l'irrigation et très peu à l'alimentation en eau potable ; ces puits ne captent pas la totalité de l'aquifère alluviale. Les forages riverains sont généralement en exploitation, ce qui rend les mesures de niveau statique impossible.

Période et auteur	Région d'étude		
	Bas Sébaou	Moyen Sébaou	Haut Sébaou
1972 - 1973 (Y.Chadrine.ANRH)	Hautes eaux Basses eaux	Hautes eaux Basses eaux	Hautes eaux Basses eaux
1980 (Bouzar-USTB mémoire d'ingénieur)			Basses eaux
1981 (M.Djamai USTB. mémoire d'ingénieur)		Basse eaux	
1981 (Aigoune, USTB mémoire d'ingénieur)	Région de Baghlia (Basses eaux)		
1982-1983 (M.Djemai, Grenoble, Thèse de Magister)			Hautes eaux Basses eaux
1992 (Sais et Si Mohamed, USTB, Ingénieur)	De Baghlia à l'embouchure (Octobre-Novembre)		
1999 (Bouadjla - ANRH)			Hautes eaux Basses eaux
2000, 2001, 2002, 2003, 2004 (Bouadjla. ANRH)	Hautes eaux Basses eaux	Hautes eaux Basses eaux	Hautes eaux Basses eaux
2006(Bouadjla, ANRH) 2008 (Bouadjla, ANRH)	Hautes eaux Basses eaux	Hautes eaux Basses eaux	Hautes eaux Basses eaux

Tableau N°21: Les mesures piézométriques effectuées dans la plaine alluviale du sebaou

V.3.1.3- Interprétation des cartes piézométriques

Cette interprétation va permettre de :

- définir l'écoulement souterrain des eaux de l'aquifère.
- définir la relation hydraulique qui pourrait exister entre les différentes terrasses.
- calculer les gradients hydrauliques, importants dans la quantification des différents apports latéraux.

Les cartes piézométriques établies par différents auteurs pour différentes périodes (Chadrine 1975, Djemai 1980 et 1983 et ANRH 2004 et 2008) ne montrent pas de grandes variations dans la position des équipotentielles (figures 31, 32, 33, 34, 35, 36 et 37)

D'après les cartes piézométriques réalisées par l'ANRH de Tizi-Ouzou en 2004. On peut conclure que dans le haut Sébaou, les écoulements souterrains se font dans la direction Sud-Nord dans sa partie Est jusqu'aux environs de Freha où ils prennent la direction Est-Ouest pour traverser la cluse de Belloua. Dans la partie moyenne du sebaou à partir de boukhalfa l'écoulement convergent vers une dépression formée par le champ du captage de Boudid ,au-delà de Draà Ben Khedda l'écoulement prend la direction Est-Ouest. Dans la partie basse du Sébaou, à partir de Tadmaït l'écoulement devient Sud-Nord.

Sur les bordures, les lignes de courant convergent vers l'axe de la vallée alluviale.

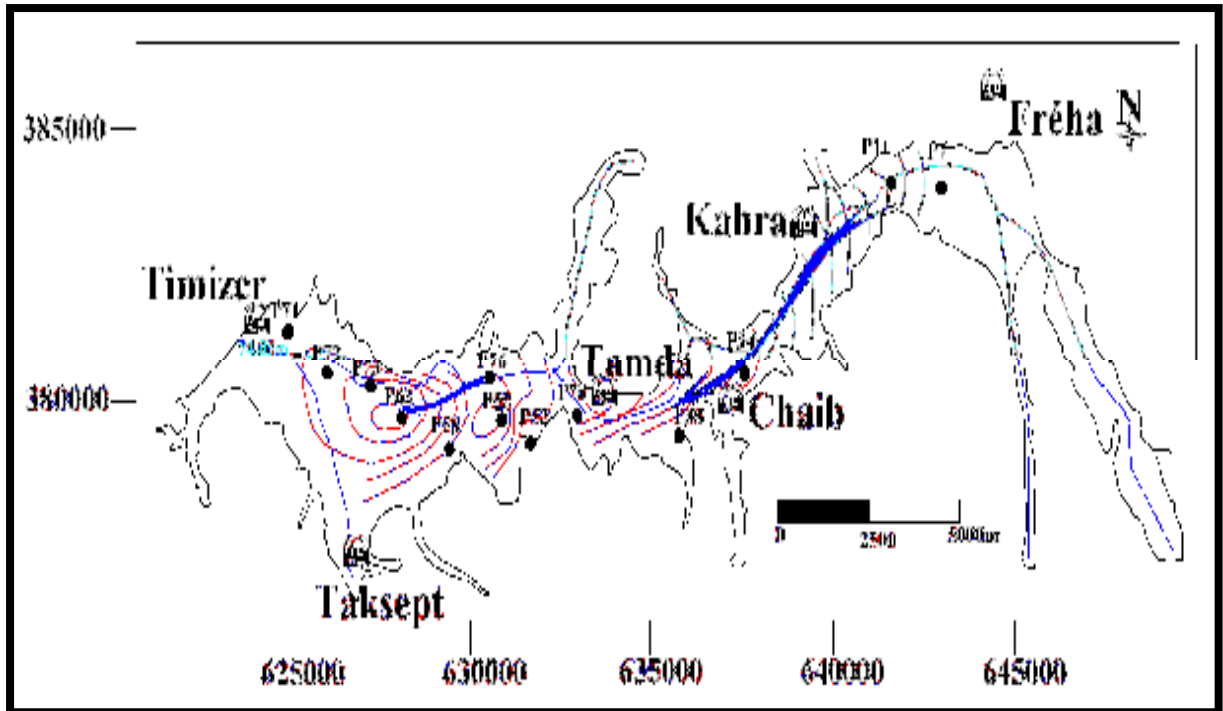


Figure N°2 : Carte piézométrique (Haut Sébaou, Basses eaux)

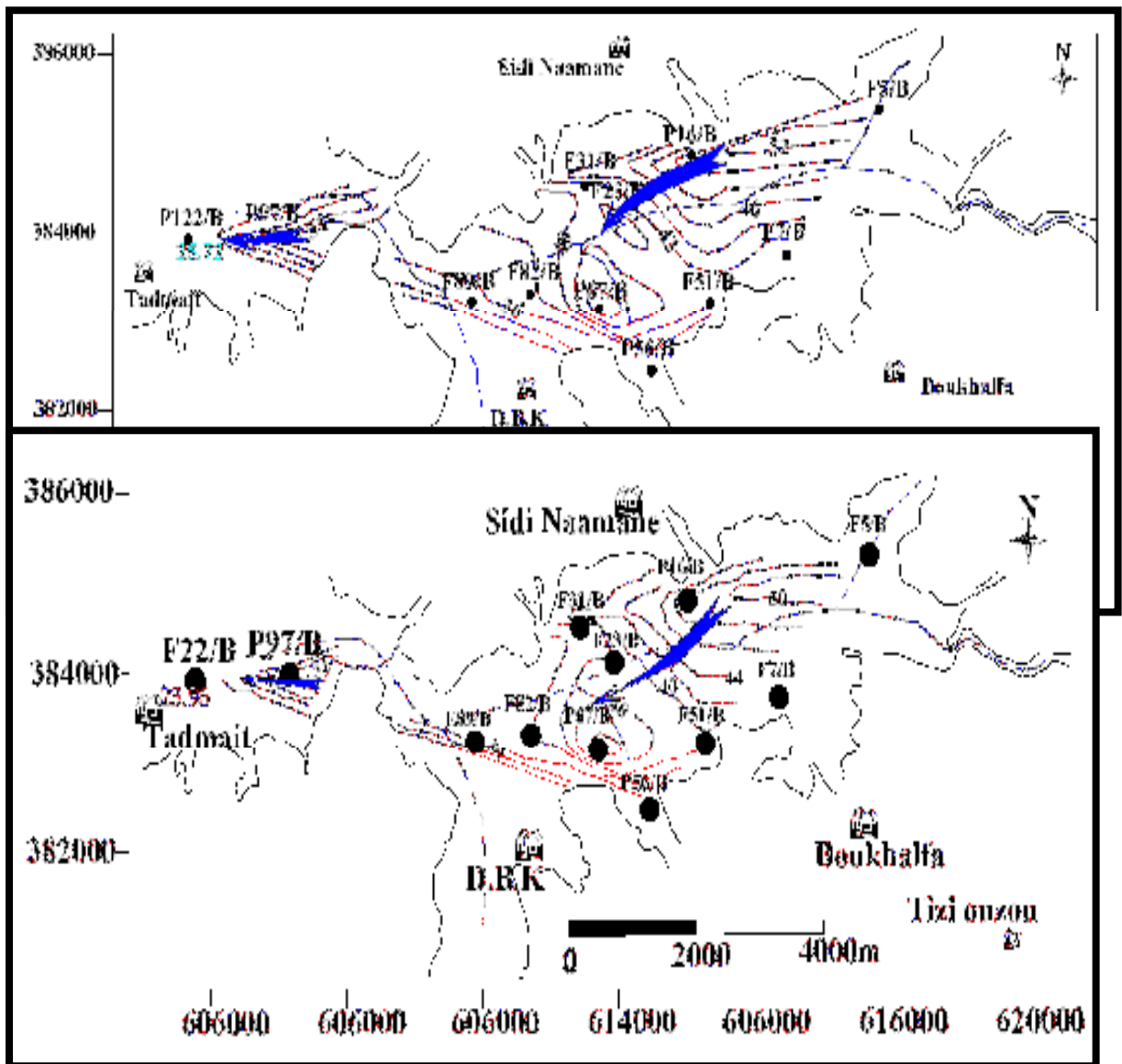


Figure N°3 : Carte piézométrique (Moyen Sébaou, Hautes eaux) Année 2004

Figure N°4 : Carte piézométrique (Moyen Sébaou, Basses eaux) Année 2004

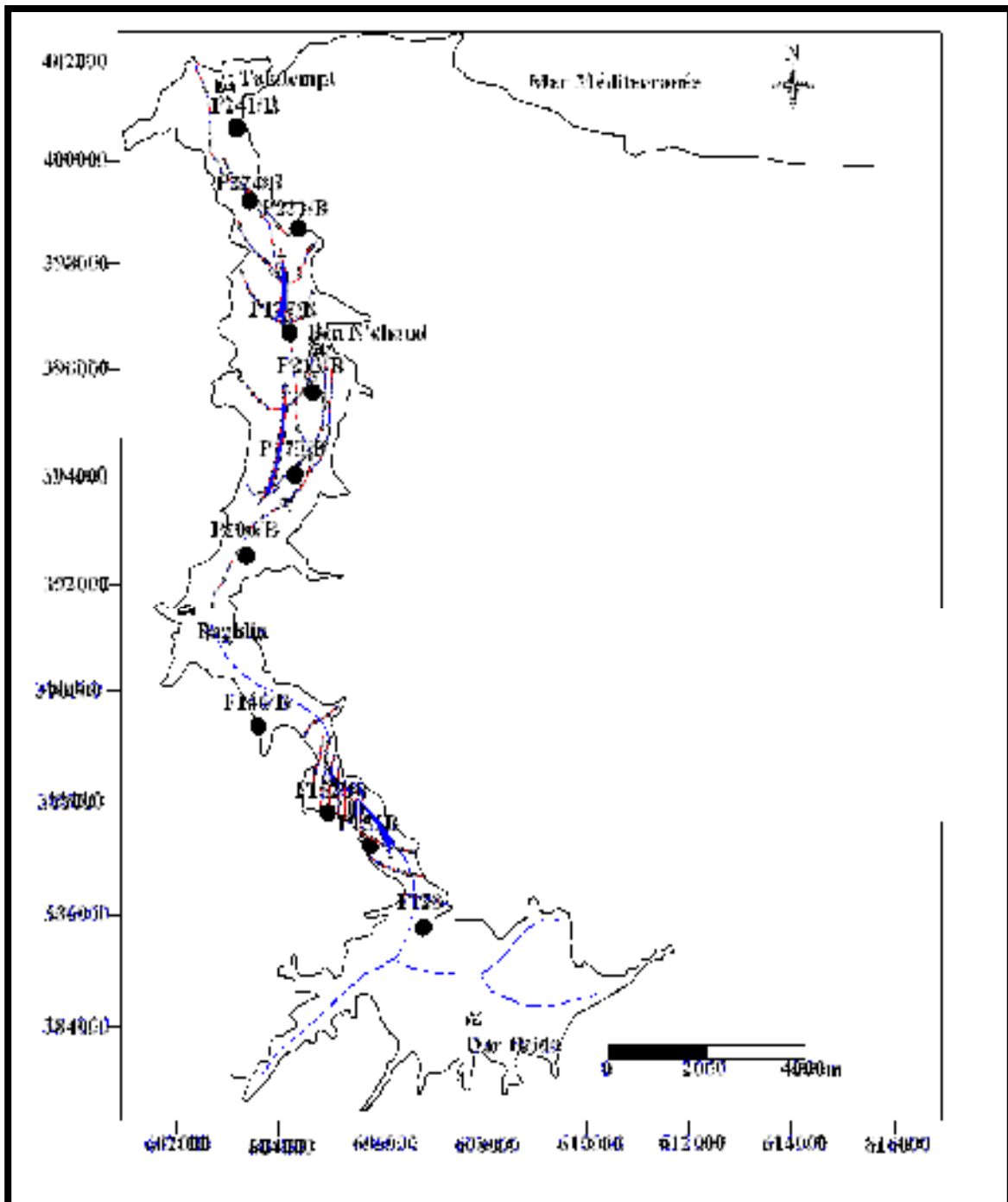


Figure N°5 : Carte piézométrique (Bas Sébaou, basses eaux) Année 2004

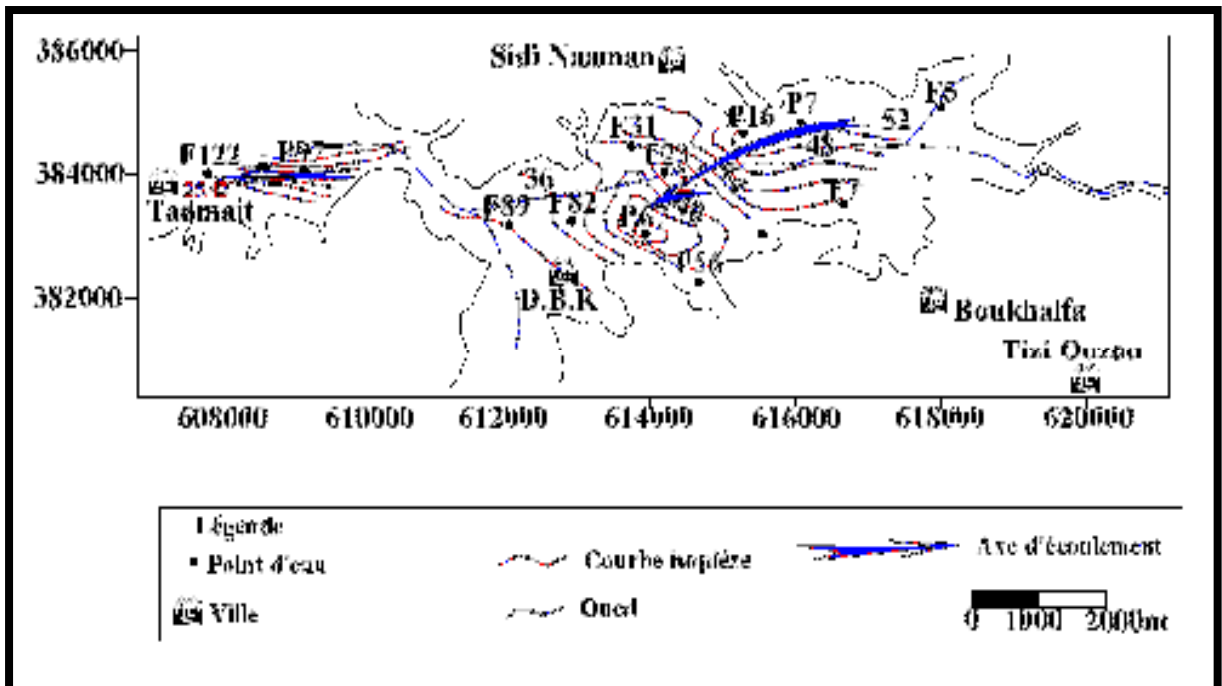
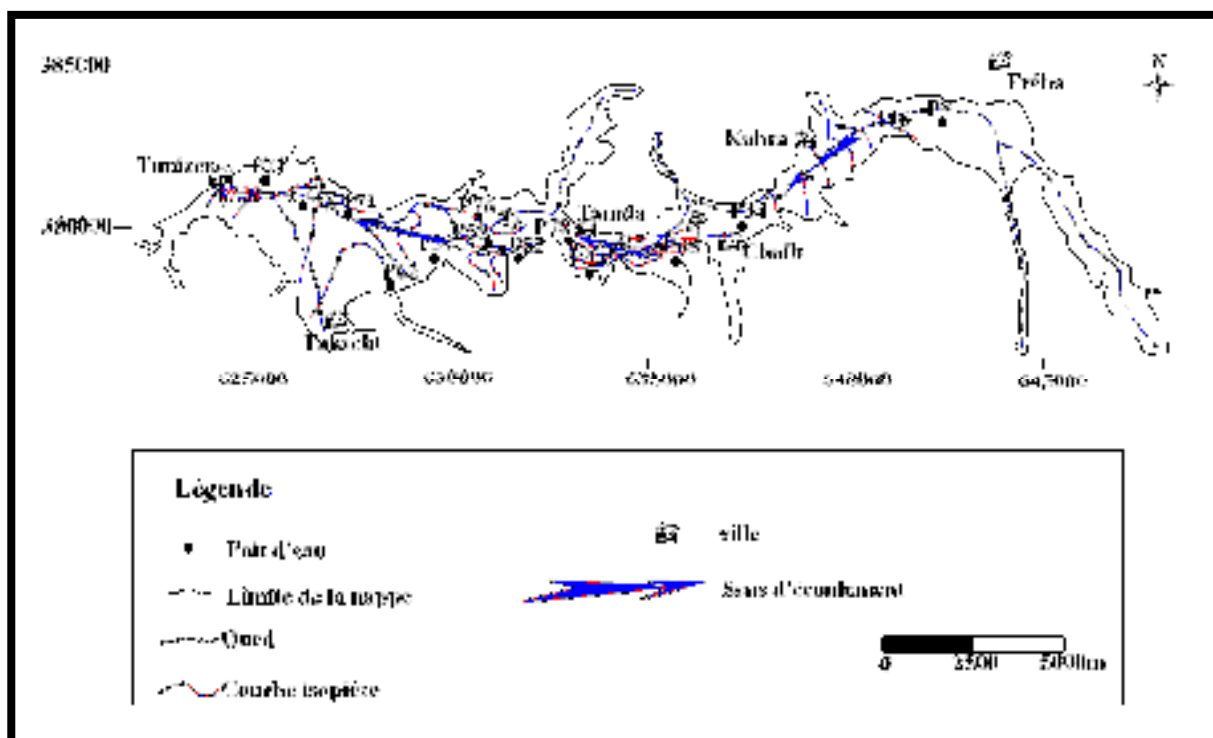


Figure N°6 : Carte piézométrique (Haut Sébaou ,Avril2006)

Figure N°7: Carte piézométrique (Moyen Sébaou ,Avril 2006)



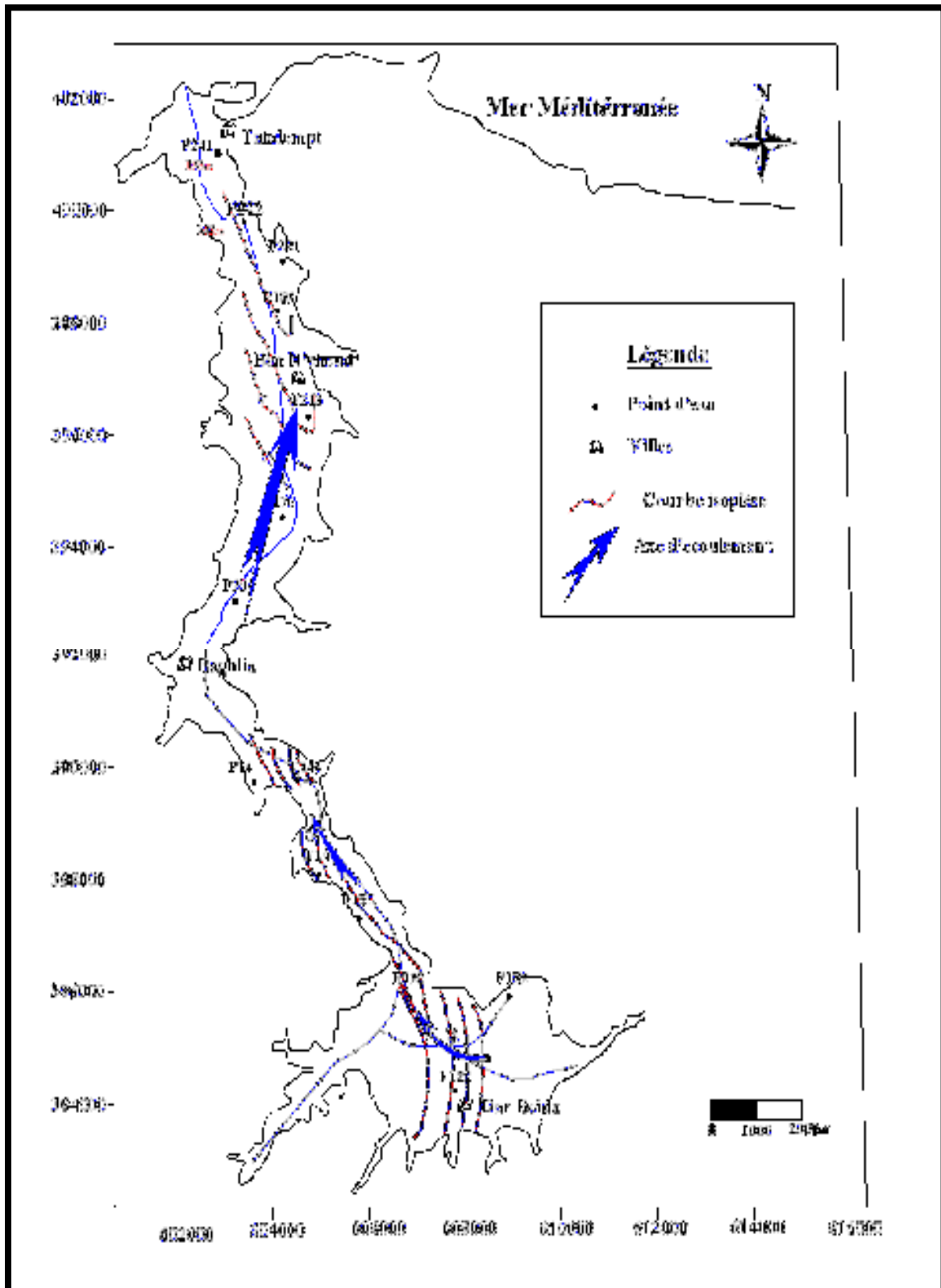
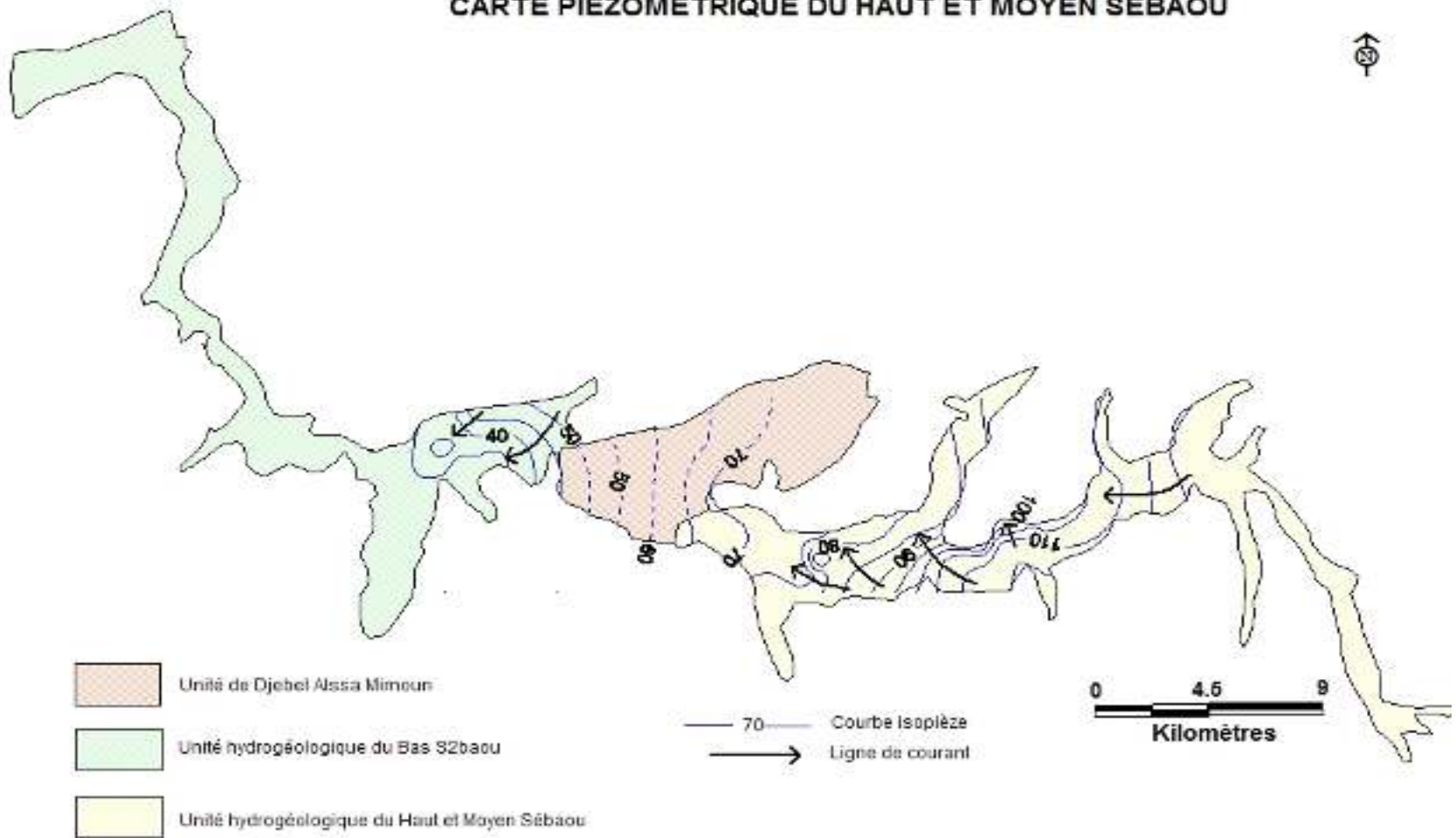


Figure N°8: Carte piézométrique (Bas Sébaou ,Avril 2006)

CARTE PIEZOMETRIQUE DU HAUT ET MOYEN SEBAOU



Cette carte a été réalisée grâce à des données récentes (2008) qui nous ont été fournies par l'ANRH de Tizi Ouzou. On remarque qu'il n'y a pas de changement dans la direction de l'écoulement des eaux souterraines en comparant avec la carte ANRH, réalisée en 2004.

V.3.2- Hydrochimies

L'étude hydrochimique de la nappe du Sébaou a été entreprise afin de mieux comprendre le mécanisme d'alimentation de l'aquifère. La connaissance détaillée de la chimie des eaux de la nappe permettra également de mieux les utiliser en particulier en irrigation et en alimentation en eau potable.

A cet égard, l'ANRH (secteur de Tizi-Ouzou) effectue des prélèvements d'échantillons d'eau en guise de qualification et de contrôle de pollution de l'eau. Dans ce sens, nous signalons que pour notre région d'étude, la campagne d'échantillonnage a été effectuée sur vingt quatre points d'eau répartis sur l'ensemble de la plaine comme suit :

- 14 points d'eau dans le haut Sébaou;
- 10 points d'eau dans le bas Sébaou. (Compagnes des hautes eaux 2006).

Les analyses chimiques ont été effectuées au niveau du laboratoire de la DRC/ANRH de BLIDA, et ont porté principalement sur les éléments majeurs à savoir :

- Cation : Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ .
- Anion : Cl^- , SO_4^- , HCO_3^- , CO_3^- , NO_3^- .

Les résultats de ces analyses sont consignés dans le tableau N° 1 en annexe B.

V.3.2.1- Caractéristiques physico-chimiques des eaux de la nappe alluviale :

L'étude hydro-chimique s'orientera vers deux buts :

Le premier, c'est avoir une idée globale sur la qualité actuelle des eaux de la zone étudiée.

Le second, c'est l'analyse de l'évolution spatiale de chaque élément à travers l'aquifère afin de :

- Distinguer les phénomènes qui influent sur le teneur d'un élément.
- Détecter les zones qui présentent des anomalies en rapport avec la concentration.
- Apprécier les mécanismes des écoulements des eaux souterraines ainsi que leur origine.

Pour s'y faire, on a établie pour chaque élément des cartes d'égale teneur superposée sur un fond géologique et topographique en s'appuyant sur les analyses physico-chimiques effectuées par l'ANRH.

a. La conductivité :

Elle exprime la propriété de l'eau à conduire le courant électrique, donc traduit sa teneur en sels dissous. La conductivité de l'eau est exprimée en $\mu\text{mho}/\text{cm}$ ou mmho/cm . L'appréciation de la conductivité d'une eau permet donc de qualifier sa minéralisation.

Les résultats d'analyses des échantillons d'eau prélevés dans la plaine de Sébaou, montrent des conductivités des eaux oscillant entre 0.38 et 1.77 mmhos/cm en hautes eaux, entre 0.8 et 2.54 mmhos/cm en basses eaux. En générale, toutes les valeurs sont modérées variant entre 0.5 et 1,2 mmho/cm . Exception faite pour les points situés à l'embouchure (P222/B, P218/B,...).

Nous constatons sur les cartes figure n°10 et 11, une augmentation progressive des valeurs de conductivité de l'amont vers aval.

- Dans le haut Sébaou, les fortes valeurs se rencontrent dans les ouvrages F63,

P73 situés entre les régions à fortes agglomérations de Tamda et Timizer.

- Dans le bas Sébaou, c'est au niveau des puits circonscrits dans la région côtière que sont enregistrées les fortes valeurs de conductivités.

Ces fortes valeurs peuvent être expliquées par :

- le lessivage des terrains sédimentaires traversés par l'eau ;
- l'évaporation que subissent les eaux peu profondes de la nappe aquifères en bordure de la vallée, se traduit par une augmentation de la concentration en sels dissouts dans le sens de l'écoulement, les eaux se charge en sel tout au long de leur trajet ;
- des rejets d'eaux usées d'origine domestique et industrielle ;
- des engrais chimiques et pesticides utilisées en agriculture ;
- à l'embouchure de l'oued Sebaou, par le phénomène de l'intrusion marine.

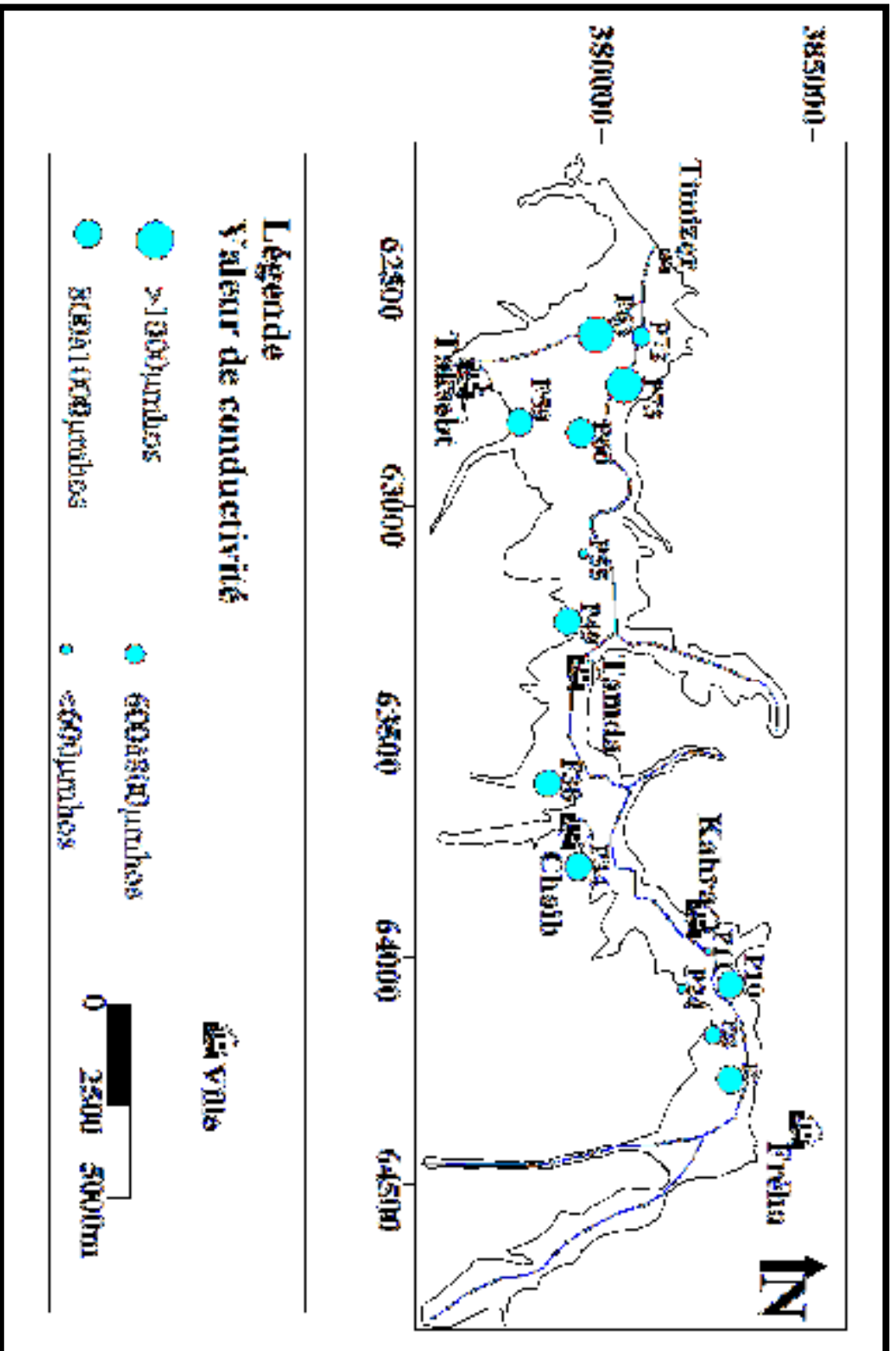


Figure N°10: carte de conductivité (Haut Sébaou ,Avril2006)

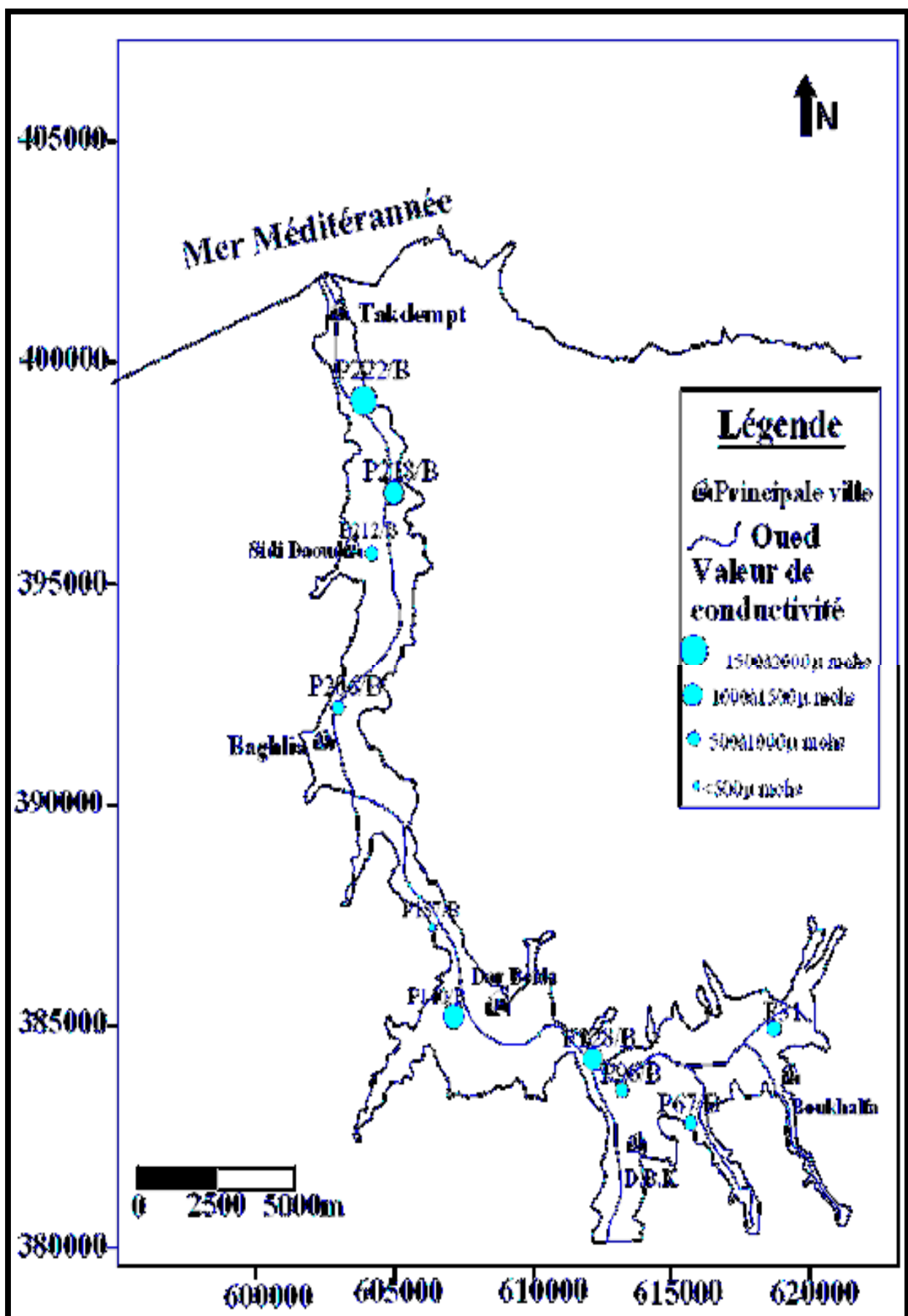


Figure N°11 : Carte de conductivité de la basse vallée du Sébaou (Avril2006)

b. Degré hydrométrique total des eaux DHT (dureté) :

La potabilité d'une eau est aussi évaluée à l'aide du degré hydrotimétrique qui correspond à la teneur en sel de Ca^{2+} et Mg^{2+} exprimée en degrés français.

$$\text{T.H} = (\text{rCa}^{2+} + \text{rMg}^{2+}) \times 5^\circ\text{F}$$

Pour les eaux de la nappe alluviale du Sébaou le degrés hydrotimétrique varie en hautes eaux de 15 à 62 F°, en basses eaux il varie de 34 à 63 F°, sauf pour le point p231 situé en aval de la nappe dont l'eau présente une dureté de 86 d°F.

Les valeurs de DHT sont consignées dans le tableau en annexe.

Classe de D.H.T (°F)	Dureté de l'eau	Haut Sébaou	Bas Sébaou
<10	Douce	0%	0%
10 à 20	Moyennement douce	14.29%	10%
20 à 35	Dure	50%	50%
>35	Très dure	35.71%	40%

Tableau N°22 : duretés des eaux de la nappe alluviale du Sébaou.

En considérant les normes françaises qui donnent une limite acceptable à 35 d°F et d'après ce tableau nous pouvons noter que la majorité des eaux souterraines de la nappe alluviale du Sébaou sont assez douces à dures (Bouadjel, C, 2007).

Notons que les forages qui se situent à l'aval de la nappe alluviale (Takdempt - Sidi Daoud); tel que P222/B et P218/B; présentent les duretés les plus élevées, ceci est certainement dû à l'avancée du biseau salé dans la nappe côtière.

c. PH mesuré et PH d'équilibre (le potentiel hydrogène)

Le PH d'une solution varie en fonction de la concentration en ion $[\text{H}_3\text{O}^+]$ ou $[\text{H}^+]$ c-a-d Le pH est le cologarithme de la concentration de l'ion H^+ ou H_3O^+ EL permet la connaissance de l'état d'équilibre d'une eau.

$$\text{PH} = \log \frac{1}{[\text{H}_3\text{O}^+]}$$

On remarque que :

- Les valeurs de pH mesuré sont généralement supérieures à 7.0 ;
- La valeur moyenne calculée sur 24 points d'eau est de 7.7 ;
- La valeur minimum est de 7.4 qui correspond au puit P59 située à Taksept ;
- La valeur maximum est de 8.2 qui correspond au puit P222 située à Takdempt ;

Le pH d'équilibre est déduit directement des représentations des analyses sur les diagrammes de Schoeller-Berkaloff tout enjoignant par une droite la teneur de CO_3^{--} et celle de Ca^{++} .

Le tableau suivant est le résultat de la comparaison du pH d'équilibre déduit du diagramme semi-logarithmique de Schoeller-Berkaloff et celui mesuré au laboratoire (Tableau N°V-2).

Catégories d'eau	Catégories d'eau	Haut Sébaou	Bas Sébaou	Vallée de Sébaou
pH < pH _{Éq}	Agressive	7.14%	10%	8.33%
pH > pH _{Éq}	Incrustante	85.71%	90%	87.5%
pH = pH _{Éq}	Neutre	7.14%	0%	4.16%

Tableau N°23 : Tableau du comparaison du PH

pH < pH_{Éq} : dissolution des carbonates de calcium CaCO₃ ;

pH > pH_{Éq} : dépôt des carbonates de calcium CaCO₃ ;

D'après les résultats précédents Les pH d'équilibre sont en majorité inférieurs aux pH mesurés au laboratoire, les eaux de la vallée du Sébaou sont en majorité incrustantes : Elles auront tendance à déposer des carbonates qui ont un effet corrosif sur les réseaux de conduite (Bouadjel, C, 2007).

d. Les Résidus sec :

Le résidu sec représente la totalité des sels dissous et la matière organique et correspond à la minéralisation totale d'une eau. Dans la nappe alluviale du Sébaou le résidu sec varie de 350 à 784mg/l en hautes eaux et de 312 à 1213 mg/l, en basses eaux .

les fortes teneurs sont observées en aval de la nappe alluviale notamment au niveau des points P222/B et F63, qui présentent une forte minéralisation (Figure N°12 et 13). Les résultats d'analyse du bas et haut Sébaou concernant la conductivité et le résidu sec donnent des valeurs presque identiques.

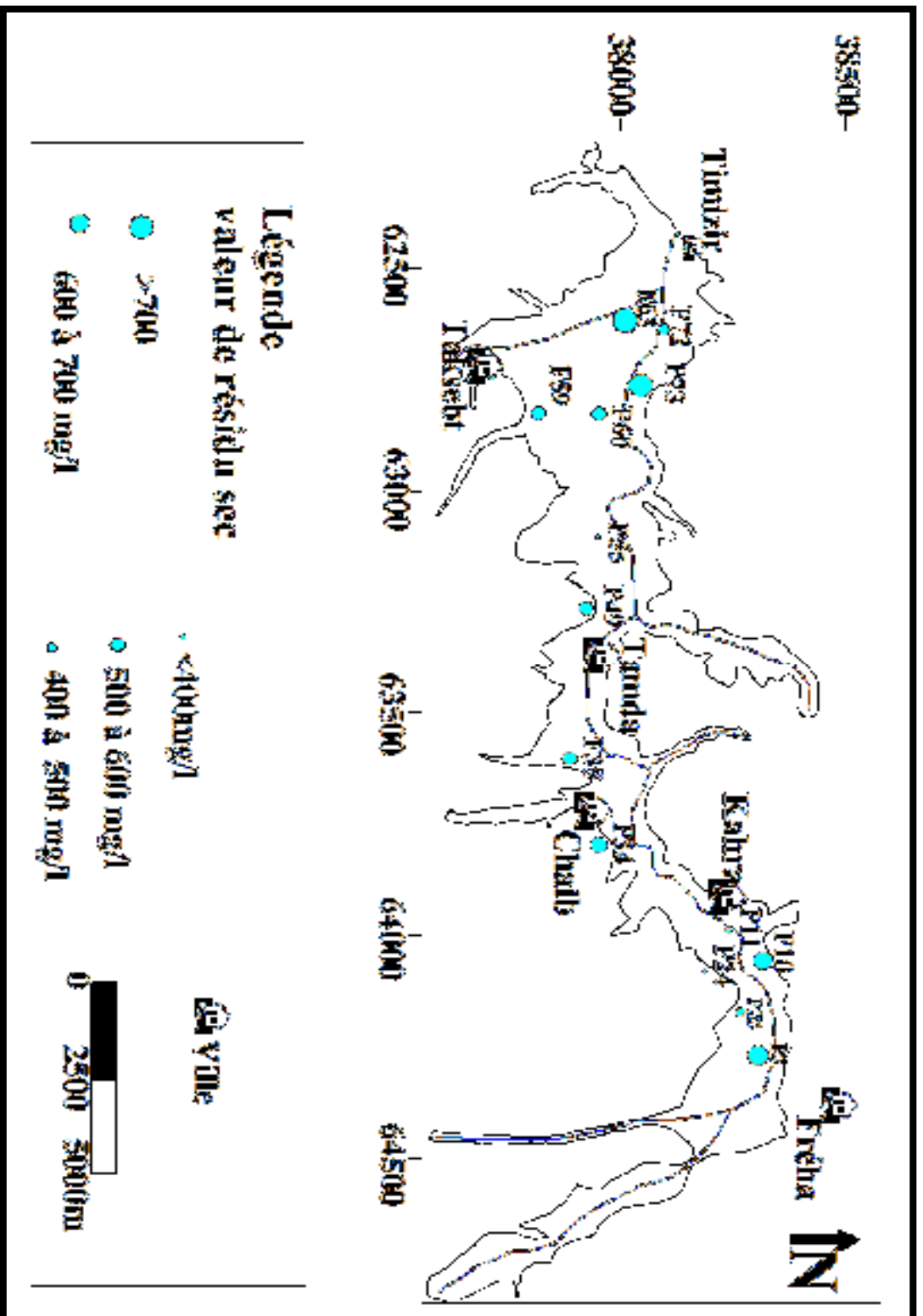


Figure N°12: carte de résidu sec (Haut Sébaou ,Avril2006)

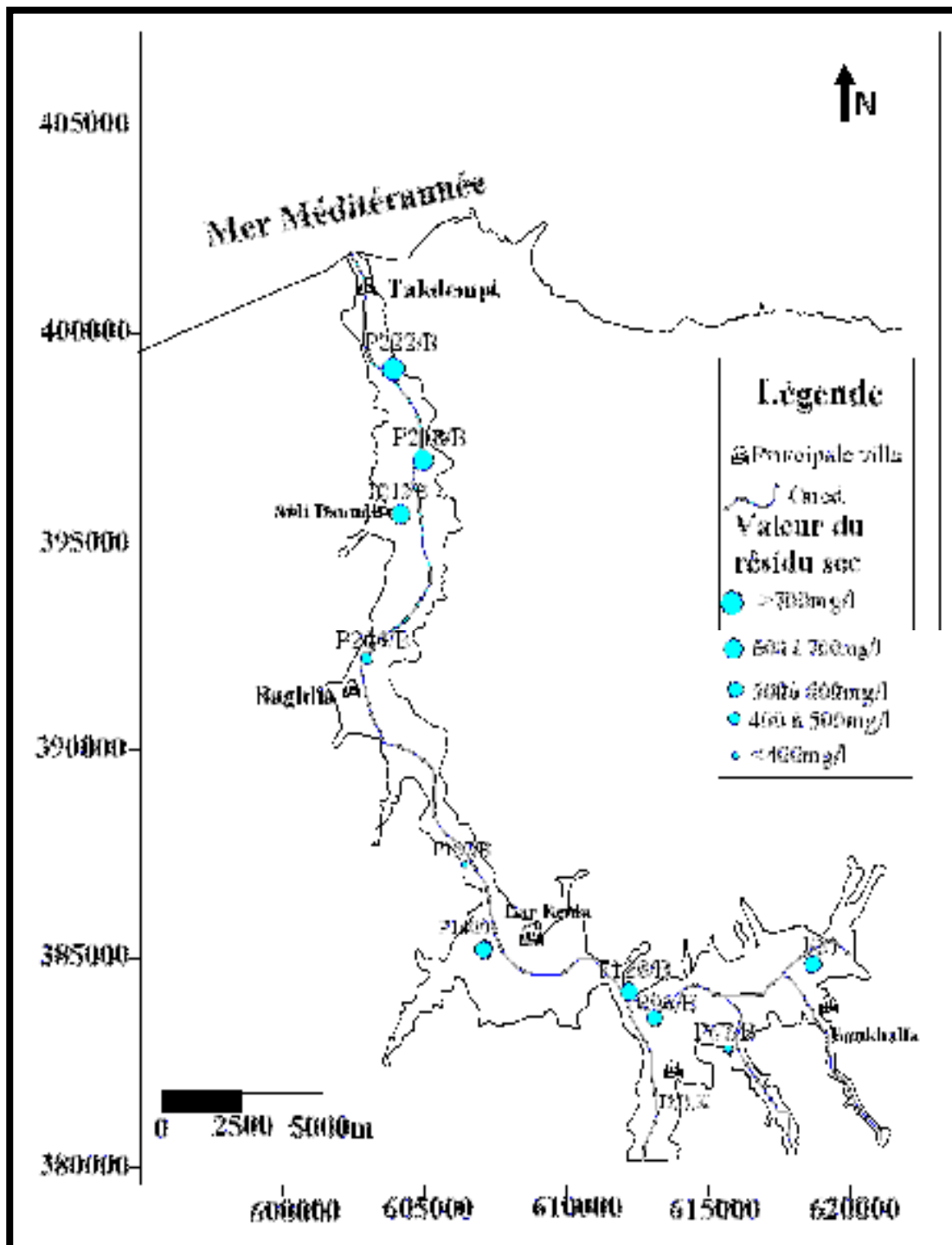


Figure N°13 : carte du résidu sec de la basse vallée du Sébaou(Avril2006)

V.3.2.2- Classification des eaux

a. Classification d'après la formule caractéristique

La classification des eaux d'après Stabler consiste en premier lieu à calculer le pourcentage de chaque ion par rapport à la concentration totale en utilisant la formule dite caractéristique définie par Stabler comme suit :

$$r \% = \frac{100}{C} \times r$$

$r\%$: pourcentage de chaque élément par rapport à la concentration total

C : concentration totale

r : concentration de l'élément considéré

L'étape suivante consiste à classer séparément les anions et les cations par ordre décroissant de leur teneur de gauche à droite. Les résultats obtenus; mentionnés dans le tableau en annexe permettent de distinguer les différents faciès chimiques des eaux de la nappe du Sébaou.

N° de forage	Formule caractéristique	Faciès des eaux
P73 P72	$rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$ $rCa > r(Na + K) > rMg$	Bicarbonaté calcique
P11 P22 P24 P55 P60 F59 F63	$rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl + NO_3)$ $rCa > rMg > r(Na + K)$	Bicarbonaté calcique
P10	$rHCO_3 > r(Cl + NO_3) > rSO_4$ $rCa > rMg > r(Na+K)$	Bicarbonaté calcique
P49	$rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+ NO_3)$ $rMg > rCa > r(Na+K)$	Bicarbonaté magnésien
P72	$rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+ NO_3)$ $r(Na + K) > rCa > rMg$	Bicarbonaté sodique
P34	$rSO_4 > r(Cl + NO_3) > rHCO_3$ $rCa > r(Na+K) > rMg$	Sulfaté calcique
F38	$rSO_4 > r(Cl + NO_3) > rHCO_3$ $rCa > rMg > r(Na + K)$	Sulfaté calcique
P7	$rSO_4 > rHCO_3 > r(Cl + NO_3)$ $rMg > rCa > r(Na + K)$	Sulfaté magnésien

Tableau N°24 : Classification des eaux de la haute vallée du Sébaou selon les formules caractéristiques de Stabler

N°de forage	Formule caractéristique	Faciès des eaux
F31/B P157/B	$rHco_3 > rSo_4 > r(Cl + NO_3)$ $rCa > rMg > r(Na + K)$	Bicarbonaté calcique
P96/ B P14	$rHco_3 > r(Cl + NO_3) > rSo_4$ $rCa > r(Na + K) > rMg$	
F128/B	$rHco_3 > rSo_4 > r(Cl + NO_3)$ $rCa > r(Na + K) > rMg$	
P2 12/ B	$rHco_3 > r(Cl + NO_3) > rSo_4$ $rCa > rMg > r(Na + K)$	
P67/B	$rHco_3 > r(Cl + NO_3) > rSo_4$ $r(Na + K) > rMg > rCa$	Bicarbonaté sodique
P206/B	$rSo_4 > r(Cl + NO_3) > rHco_3$ $rCa > r(Na + K) > rMg$	Sulfaté calcique
P222/B	$r(Cl + NO_3) > rSo_4 > rHco_3$ $rCa > rMg > r(Na + K)$	Chloruré calcique

Tableau°25: Classification des eaux de la basse vallée du Sébaou selon les formules caractéristiques Stabler

D'après cette classification, on distingue trois (3) types de faciès chimiques :

- *Le faciès bicarbonaté* : qui est le plus répandu. Les bicarbonates ont une origine géologique, ils se forment par l'intermédiaire du CO_2 contenu dans les eaux d'infiltration qui dissout les carbonates. Ce faciès caractérise les points d'eau situés dans les zones où l'alimentation se fait par infiltration directe notamment dans les régions de D.B.K, Sidi Namane et Dar Beida ;

- *Le faciès sulfaté* : Il caractérise les points d'eau P34, F38 et P7 situés dans la région de Chaib à Tamda ;

Le faciès chloruré : se rencontre dans le puits P222/B situé à Takdempt; dans la nappe côtière du bas Sébaou. Ce puits est caractérisé par une teneur anormalement élevée en chlorures qui reflète certainement l'influence des eaux saumâtres sur les eaux de la basse vallée de Sébaou (problème d'intrusion marin)

PARTIE 3

CHAPITRE II :

APPLICATION DE LA METHODE DRIST (DRASTIC AMELIOREE)

II.1 Introduction

Dans cette partie, nous appliquons la méthode DRIST (DRASTIC améliorée). C'est une méthode qui a été appliquée en 2003 par Sinan et Al en 2003 dans le bassin du Haouz de Marrakech au Maroc, en supprimant certains paramètres que fait intervenir la méthode DRASTIC universellement connue et appliquée dans différentes régions du monde. Elle fait partie du groupe des méthodes d'évaluation (de la vulnérabilité des aquifères) pondérées, basées sur l'attribution d'une notation aux différents paramètres utilisés (variant généralement entre 1 et 10) et leurs groupement dans des classes différentes. Une pondération est également attribuée selon l'importance relative de chacun des paramètres utilisés.

L'application de cette méthode a nécessité l'utilisation d'un SIG (Système d'information géographique), donc mise en place d'une base de données, avec les logiciels Surfer et Mapinfo 7.5.

II.2- Présentation de la méthodologie proposée pour l'évaluation de la vulnérabilité a la pollution d'une nappe d'eau souterraine

Contrairement à la méthode DRASTIC qui fait intervenir les paramètres relatifs à la fois à la recharge, à la zone non saturée et saturée d'un aquifère, la méthodologie que nous proposons ici est basée sur les seuls paramètres relatifs à la recharge, au sol (pente et nature lithologique) et à la zone non saturée (nature et épaisseur). En effet, nous considérons que seuls ces paramètres interviennent dans la transmission de la pollution vers la nappe à partir de la surface du sol.

Les mêmes poids, notes et classes que celles définis par la méthode DRASTIC, ont été attribués (dans la méthode proposée) aux paramètres utilisés. L'indice de vulnérabilité vertical I_v est calculé en faisant la somme des produits : note et poids de chaque paramètre pris en compte :

$$\text{Avec: } I_v = (R_r \times R_w) + (T_r \times T_w) + (S_r \times S_w) + (I_r \times I_w) + (D_r \times D_w)$$

R,T,S,I,D : représentent respectivement les paramètres pris en compte: recharge, pente du sol, nature du sol, nature de la zone non saturée et profondeur de la surface de la nappe.

r et w : représentent respectivement le poids et la note attribués à chaque paramètre pris en compte.

L'indice I_v peut varier entre les valeurs extrêmes suivantes: 27 (I_v minimum) et 166 (I_v maximum).

Cinq classes de vulnérabilité différentes ont été définies (M. Sinan et al; 2003). Selon la valeur de l'indice I_v ; leurs limites s'établissent comme suit:

- $27 < I_v \leq 50$: Très faible vulnérabilité (couleur bleue)
- $50 < I_v \leq 80$: Faible vulnérabilité (couleur verte)
- $80 < I_v \leq 110$: Moyenne vulnérabilité (couleur jaune)
- $110 < I_v \leq 140$: Forte vulnérabilité (couleur orange)
- $140 < I_v \leq 166$: Très forte vulnérabilité (couleur rouge)

II.3- Présentation de la méthodologie proposée pour l'évaluation de la sensibilité à la pollution d'une nappe d'eau souterraine

La sensibilité d'une nappe à la pollution est une notion non mesurable dépendant des paramètres propres de la nappe, car elle est définie par rapport à une pollution qui a déjà atteint la nappe, à partir de la non saturée ou d'un ouvrage d'eau souterraine (puits, forage, etc).

Nous avons utilisé les trois paramètres suivants pour caractériser cette sensibilité à la pollution des nappes :

- *Qualité de l'eau* : plus cette qualité est importante, plus grande est la sensibilité à la pollution de la nappe;
- *Productivité* : plus la productivité est importante, plus grandes seront les conséquences socio-économiques de la pollution de l'eau;
- *Vitesse de déplacement de l'eau* : plus la vitesse est grande, plus vite se fera-le déplacement de la pollution dans l'espace et donc la sensibilité à la pollution devient importante.

Une pondération a été attribuée à chacun des paramètres ci-dessus, basée essentiellement sur l'importance relative de chacun d'eux pour la caractérisation de la sensibilité d'une nappe à la pollution. Ces poids sont de 5 pour la qualité globale de l'eau (étant donné l'importance de ce paramètre, notamment pour une eau destinée à l'alimentation en eau potable), 4 pour la productivité et 3 (identique au poids attribué par la méthode DRASTIC à la perméabilité de la nappe) pour la vitesse de l'eau de la nappe.

II.3.1- Vitesse de l'eau souterraine (V_e)

$$V_e \text{ (m/s) } = K \cdot i / n_e$$

Avec : K = coefficient de perméabilité de Darcy en m/s.

- i = gradient hydraulique calculé à partir de la carte piézométrique de la nappe.

- n_e = porosité efficace de la nappe (vides occupés par l'eau gravitaire), équivalente au coefficient d'emmagasinement (S) des nappes libres.

Cinq classes de vitesse ont été définies auxquelles les notes suivantes ont été attribuées :

Classe de vitesse effective (V_e) de l'eau souterraine en $E-4$ m/s Note.

$V_e \geq 5$	10
$3 \leq V_e < 4$	7
$2 \leq V_e < 3$	5
$1 \leq V_e < 2$	3
$V_e < 1$	1

II.3.2- Qualité globale des eaux souterraines

Cette qualité devra être représentée par la potabilité de l'eau. En l'absence de mesures de ce paramètre (dont l'obtention est assez coûteuse) sur l'ensemble de l'étendue de la nappe, cette qualité peut être représentée par la conductivité électrique de l'eau, qui dépend uniquement de la concentration totale en sels dissous dans l'eau, dont la mesure est très facile.

Cinq classes de conductivité ont été définies auxquelles les notes suivantes ont été attribuées:

Classe de conductivité (C) de l'eau souterraine en $\mu\text{s/cm}$ Note.

$C < 400$	10
$400 \leq C < 1\ 300$	8
$1\ 300 \leq C < 2\ 700$	5
$2\ 700 \leq C < 3\ 000$	3
$C \geq 3\ 000$	1

II.3.3- Productivité de la nappe

Cette productivité peut être représentée par la transmissivité, par le débit des ouvrages ou par leurs débits spécifiques. Nous optons pour ce dernier paramètre, en raison d'une part de la disponibilité (généralement) de ses valeurs et d'autre part parce qu'il prend en compte la productivité du couple. Nappe + ouvrage, qui reflète mieux la réalité du terrain.

Cinq classes de débit-spécifique ont été définies, auxquelles les notes suivantes ont été attribuées (Sinan et Al, 2003) :

Classe des débits spécifiques (Q/s en l/s/m) des ouvrages captant la nappe note :

$Q/s \geq 5.0$	10
$2.0 \leq Q/s < 5.0$	7
$0.5 \leq Q/s < 2.0$	5
$0.0 \leq Q/s < 0.5$	3
$Q/s = 0.0$	0

Une fois les différentes classes définies et leurs notes attribuées, on calcule l'indice de sensibilité de la nappe à la pollution (I_s) en faisant la somme des produits de la note de chaque paramètre utilisé et de son poids:

$$I_s = (C_r \times C_w) + (P_r \times P_w) + (V_r \times V_w)$$

Avec:

C : conductivité de l'eau

P : productivité de la nappe (ou débits spécifiques des ouvrages la captant)

V : vitesse de déplacement de l'eau dans la nappe.

r et w : représentent respectivement le poids et la note attribués à chaque paramètre ci-dessus.

Les valeurs de l'indice I_s varient entre 20 (I_s minimal) et 120 (I_s maximal).

L'établissement de la carte de sensibilité d'une nappe à la pollution consiste à calculer et à reporter la répartition spatiale des valeurs de l'indice I_s ci-dessus et leur groupement dans cinq classes différentes (Sinan, et Al, 2003).

$20 < I_s \leq 40$:	Très faible sensibilité (couleur bleue)
$40 < I_s \leq 60$:	Faible sensibilité (couleur verte)
$60 < I_s \leq 80$:	Moyenne sensibilité (couleur jaune)
$80 < I_s \leq 100$:	Forte sensibilité (couleur orange)
$100 < I_s \leq 120$:	Très forte sensibilité (couleur rouge)

II.4- Présentation de la méthodologie proposée pour l'évaluation de la vulnérabilité-sensibilité à la pollution d'une nappe aquifère.

La vulnérabilité-sensibilité (ou vulnérabilité globale) à la pollution d'une nappe est une notion qui intègre à la fois:

- la facilité avec laquelle la pollution peut transiter à travers le sol et la zone non saturée pour atteindre la surface de la nappe (ou vulnérabilité verticale).
- la vitesse de propagation horizontale de cette pollution dans la zone saturée et les conséquences socio-économiques engendrées par cette pollution des ressources en eau (ou sensibilité) de la nappe.

C'est donc une notion qui n'est pas mesurable et qui dépend à la fois des paramètres relatifs à la recharge, au sol, à la zone non saturée et à la zone saturée de l'aquifère (Sinan,et Al,2003).

L'obtention de l'indice (Ivs), de vulnérabilité- sensibilité à la pollution d'une nappe, se fait en faisant une simple sommation (à chaque point de la nappe) de la valeur de l'indice Iv de la vulnérabilité et de celle de l'indice Is de la sensibilité à la pollution. Cet indice Ivs peut donc varier entre 47 (Ivs minimum) et 286 (Ivs maximum).

Les valeurs obtenues de l'indice Ivs sont réparties dans 5 classes différentes, comme ci-dessous:

47 < Ivs ≤ 90 : Très faible vulnérabilité-sensibilité (couleur bleue)

90 < Ivs ≤ 140 : Faible vulnérabilité- sensibilité (couleur verte)

140 < Ivs ≤ 190 : Moyenne vulnérabilité-sensibilité (couleur jaune)

190 < Ivs ≤ 240 : Forte vulnérabilité-sensibilité (couleur orange)

240 < Ivs ≤ 286 : Très forte vulnérabilité-sensibilité (couleur rouge)

II.5- Application de la méthodologie développée à la nappe alluviale du haut sebaou

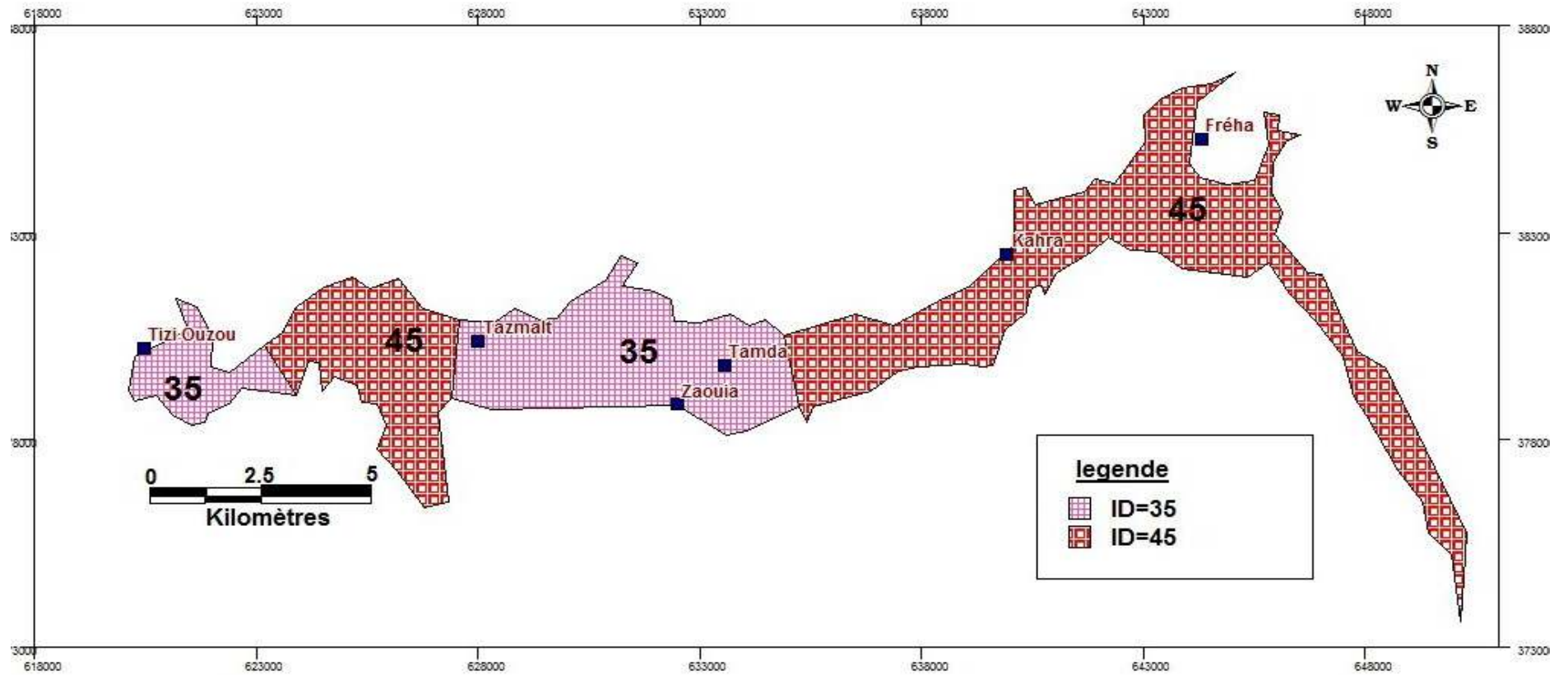
II.5.1- Présentation de la carte de vulnérabilité verticale à la pollution de la nappe du haut sebaou

Après avoir établie les cartes des indices partiels qui englobent les paramètres suivants :

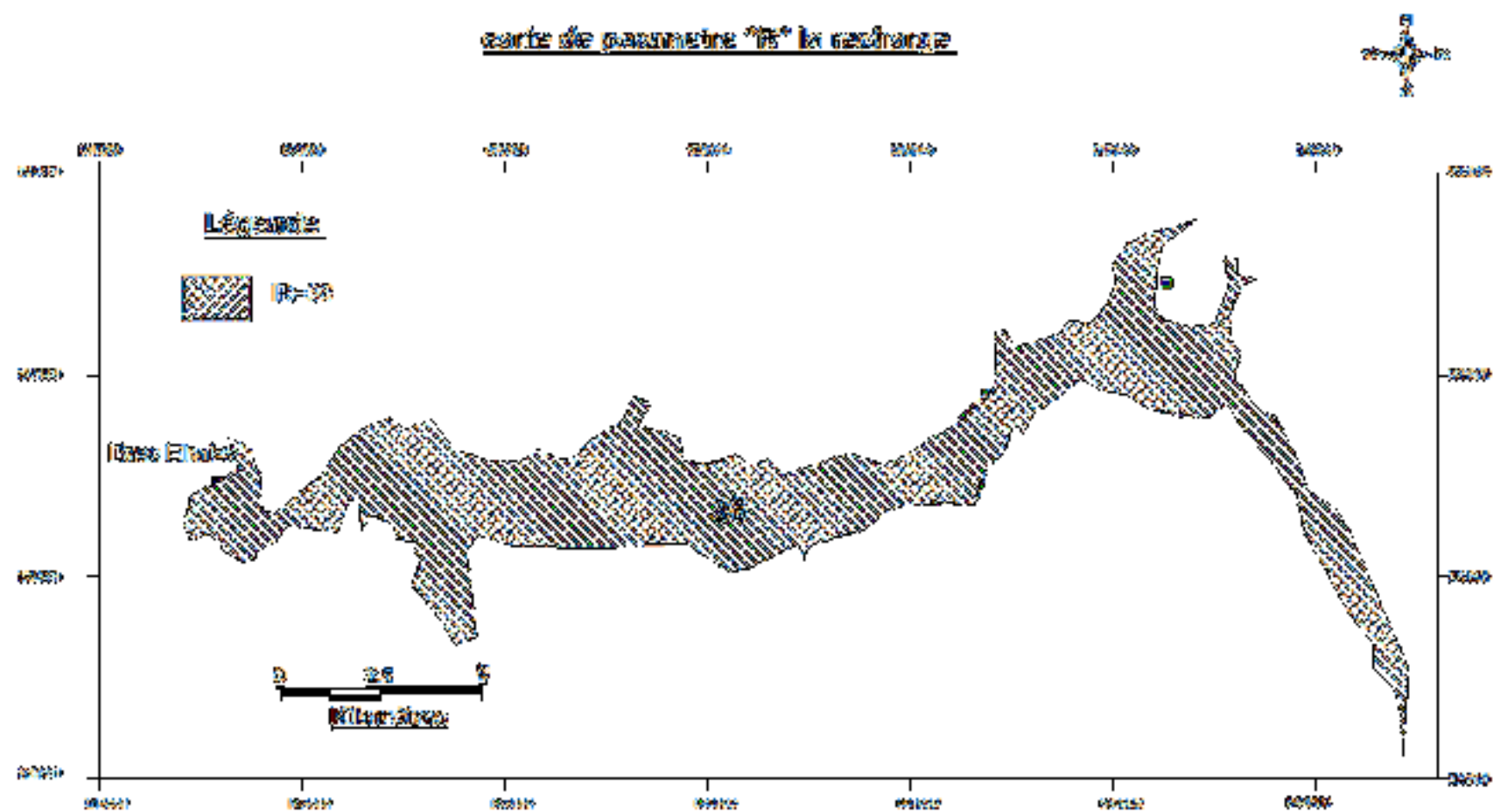
- La profondeur de la nappe ; (Figure n°52)
- La recharge nette ; (Figure n°53)
- La zone non saturée. (Figure n°54)
- Le type de sol ; (Figure n°55)
- La topographie ; (Figure n°56)

L'assemblage par superposition des 5 cartes paramétriques obtenues, nous a permis d'élaborer la carte de vulnérabilité verticale, à l'aide du logiciel Mapinfo 7.5

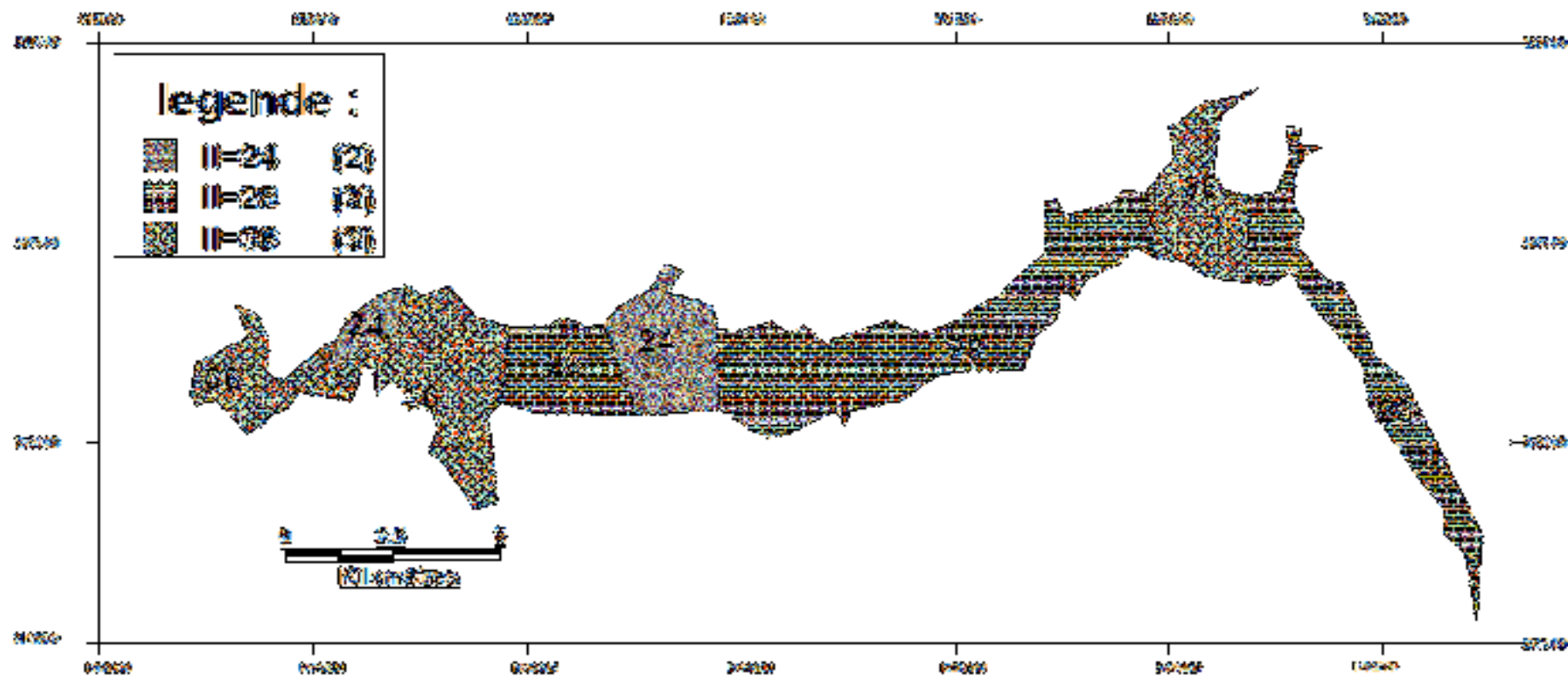
CARTE DE PARAMETRE "D" RELATIVE A LA PROFONDEUR DE LA NAPPE

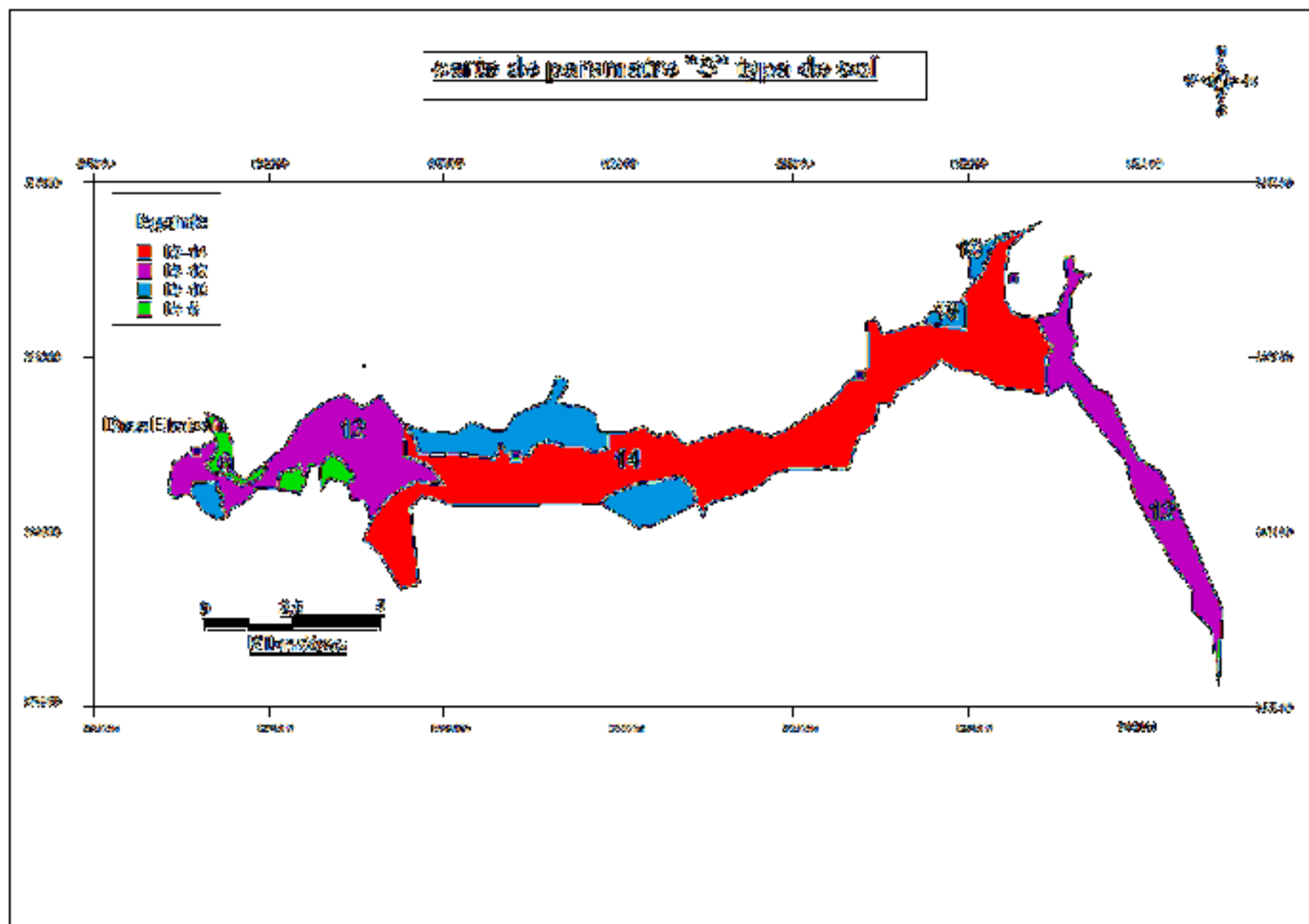


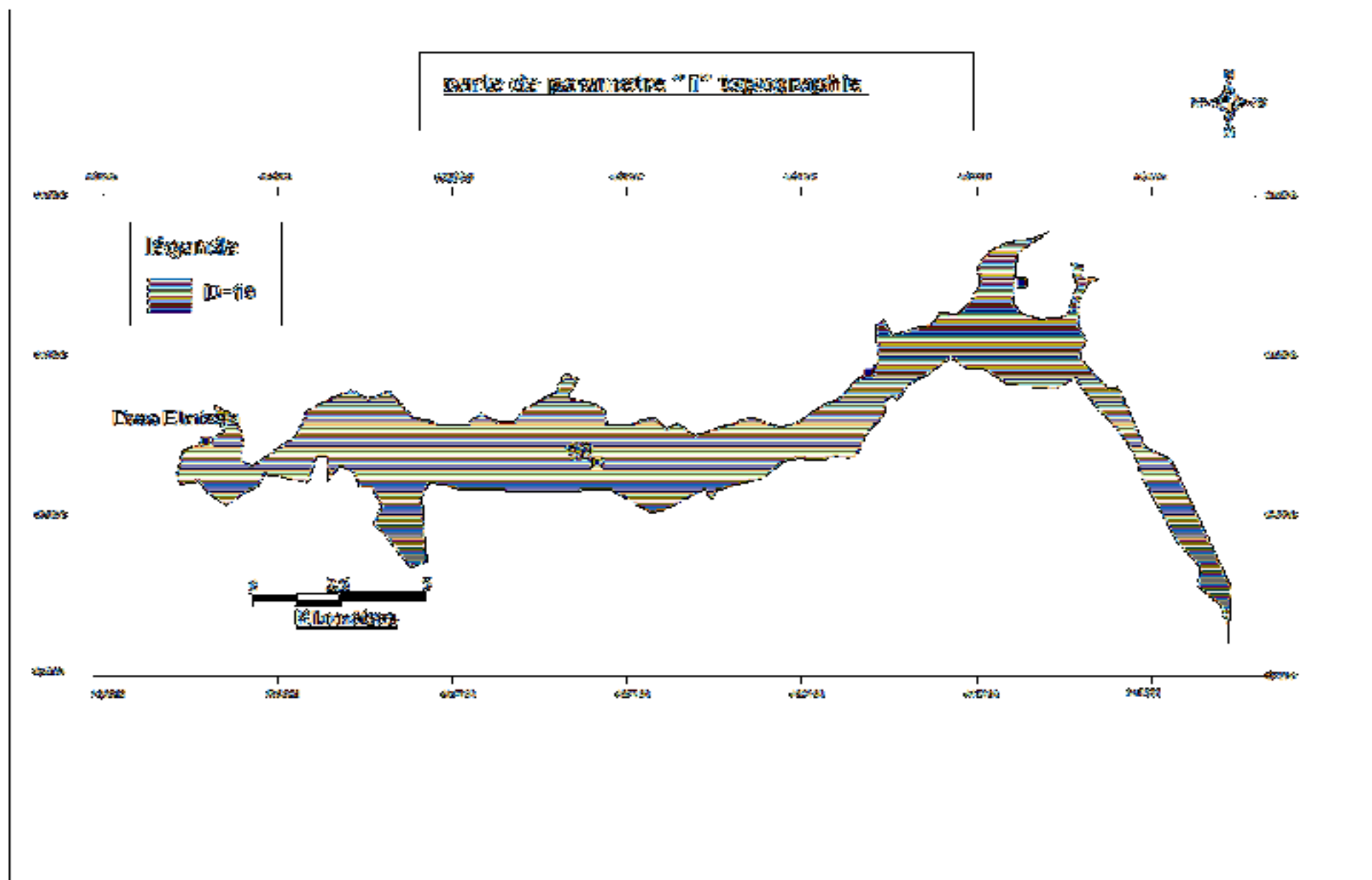
carte de répartition "IS" la méditerranée



carte de parametre "l" relative a la zone non sature



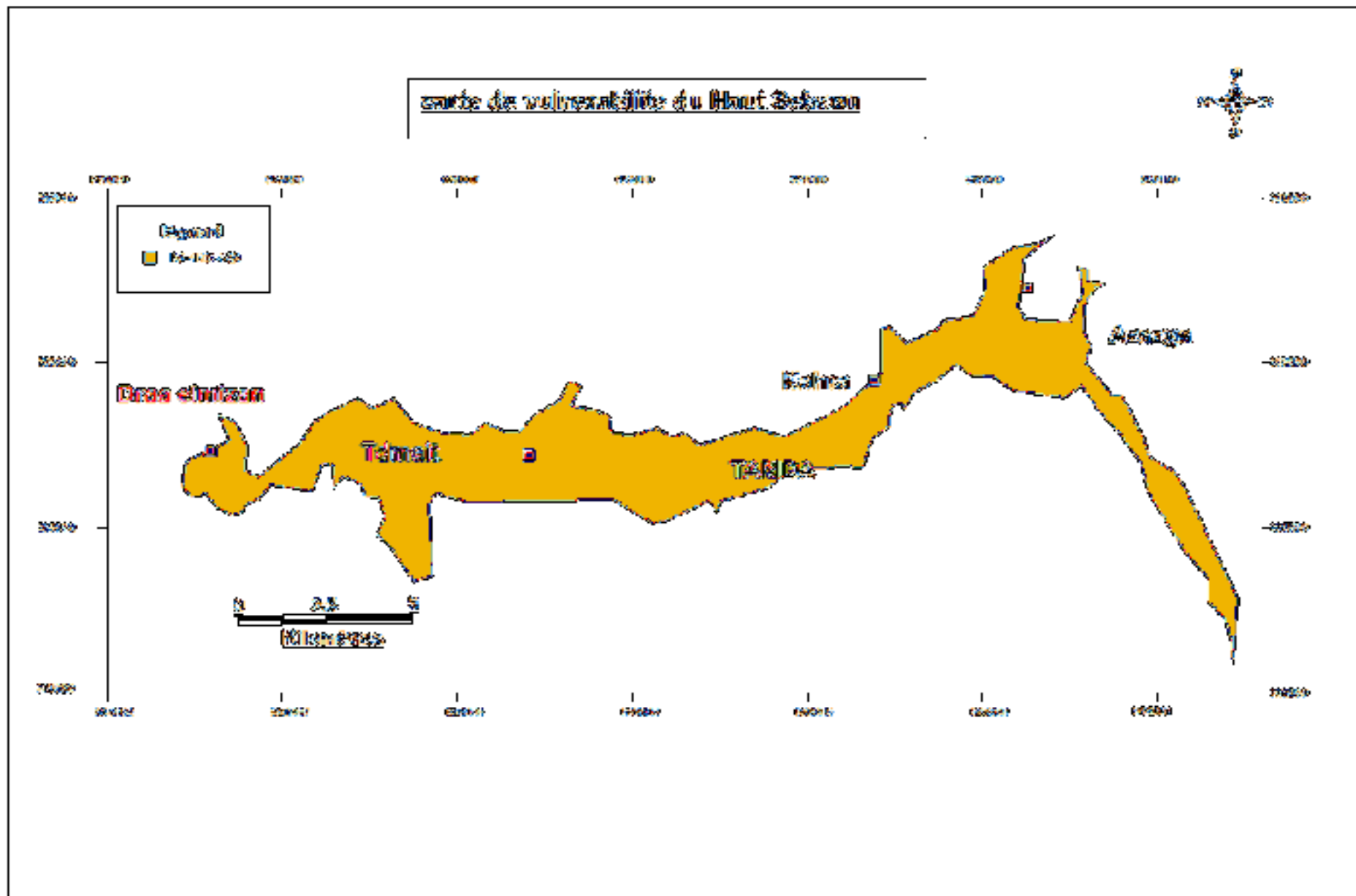




Les normes de la classification de la vulnérabilité par la méthode DRIST et les couleurs attribuées sont les suivantes :

- $27 < Iv \leq 50$: Très faible vulnérabilité (couleur bleue).
- $50 < Iv \leq 80$: Faible vulnérabilité (couleur verte).
- $80 < Iv \leq 110$: Moyenne vulnérabilité (couleur jaune).
- $110 < Iv \leq 140$: Forte vulnérabilité (couleur orange).
- $140 < Iv \leq 166$: Très forte vulnérabilité (couleur rouge).

Les valeurs de l'indice de vulnérabilité (Iv) (Figure n°57) de la nappe du Haut Sebaou varient de 115 à 140. Ces valeurs permettent de distinguer une zone de vulnérabilité. La vulnérabilité de la nappe à la pollution est globalement à forte vulnérabilité.



II.5.2- Caractérisation de la sensibilité à la pollution de l'aquifère du Haut Sebaou

II.5.2.1- Préparation des données

Les cartes des paramètres pris en compte, pour l'élaboration de la carte de sensibilité à la pollution de la nappe sont la qualité de l'eau, vitesse des écoulements souterrains et productivité de la nappe.

► Vitesse des écoulements souterrains :

Nous distinguons sur la carte (Figure n°58) deux (2) zones distinctes :

- une zone à l'extrême Ouest et la région de Tamda dont on attribue un indice $IV=15$
- la deuxième zone englobant la région de Tizi Ouzou, Tadmait, Friha et Azazga avec un indice $IV=30$.

► Qualité de l'eau :

Pour l'établissement de la carte de la qualité de l'eau, nous avons utilisé les valeurs de la conductivité électrique, donnée obtenue à partir de l'étude pédologique réalisée par le service pédologique de l'ANRH d'Alger en 2006.

Les valeurs de la conductivité relevées dans notre région d'étude varient entre $116\mu\text{s}/\text{cm}$ et $250\mu\text{s}/\text{cm}$ ou même $< 400\mu\text{s}/\text{cm}$ donc on attribue un indice de $IC=50$ pour toute la région.

De ce fait nous obtenons une carte caractérisée par une seule plage de couleur rose (figure n°59).

► La productivité

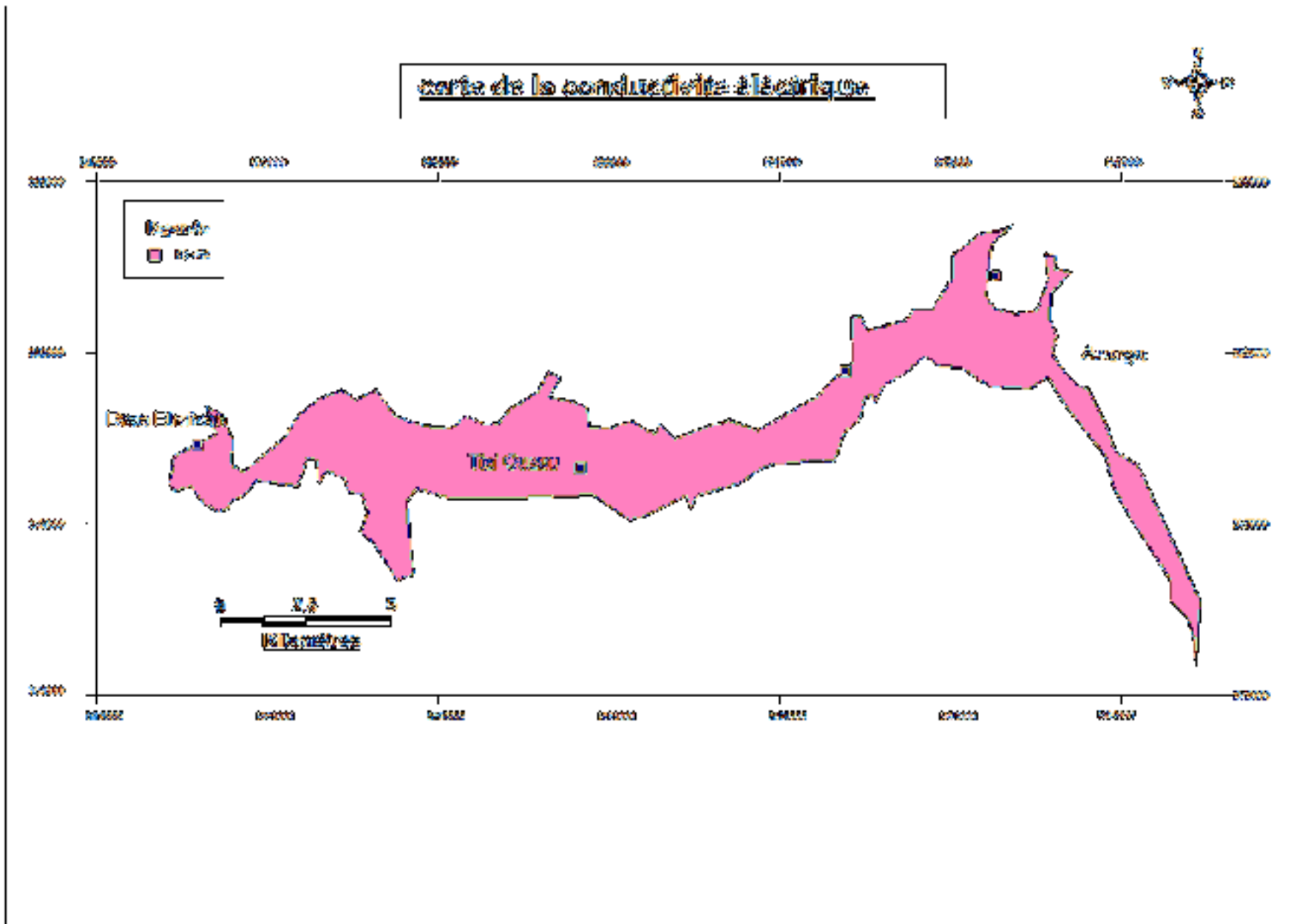
Pour établir la carte de productivité (Figure n°60), on a utilisé le débit spécifique, la seule donnée disponible.

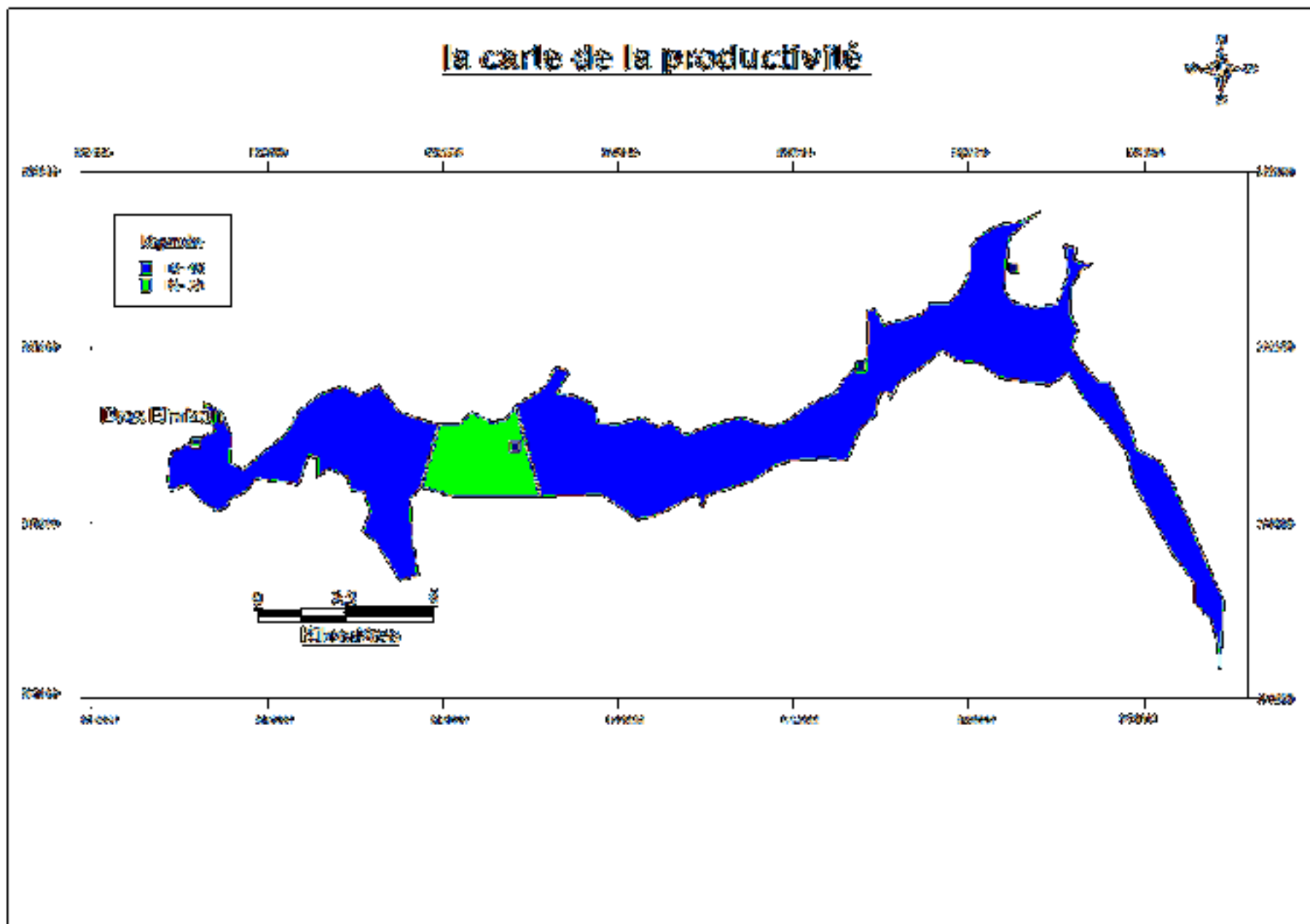
Sur cette carte on délimite deux (2) zones distinctes :

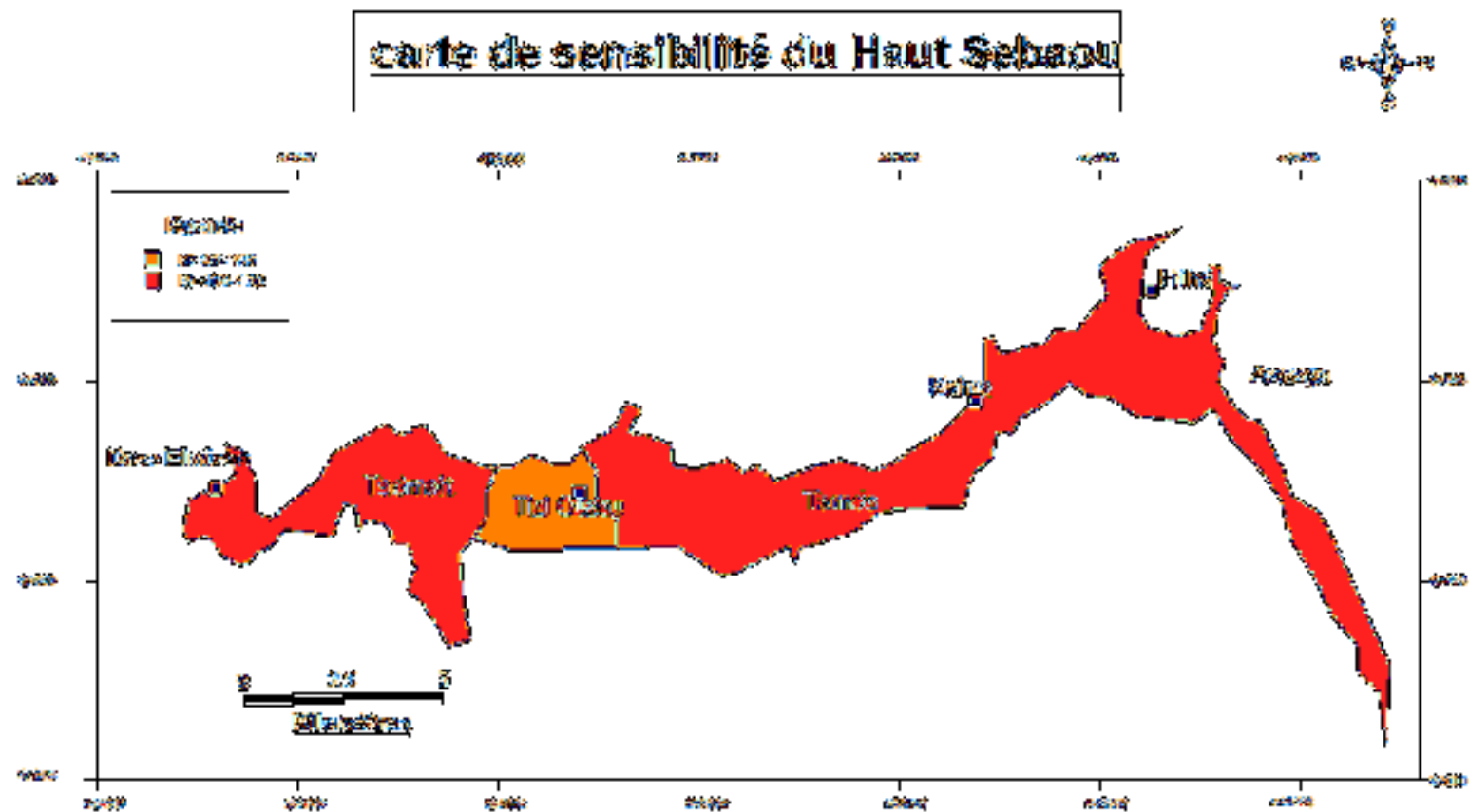
- une zone au centre (dans la région de Tizi Ouzou) avec un indice $IQ=20$;
- le reste de notre zone d'étude ; représentant la majorité de la superficie ; on lui attribue un indice $IQ=40$.

II.5.2.2- Présentation de la carte de sensibilité (Figure n°61) à la pollution de la nappe du Haut Sebaou

Les valeurs de l'indice de sensibilité (I_s) varient entre 100 et 120. Ces valeurs permettent de distinguer deux (2) classes différentes de sensibilité. Globalement la nappe du Sebaou est fortement sensible à la pollution qui l'atteint. Cette forte sensibilité s'explique notamment par les vitesses généralement grandes de l'eau souterraine car l'aquifère se constitue des sables et de graviers dans toute sa superficie.

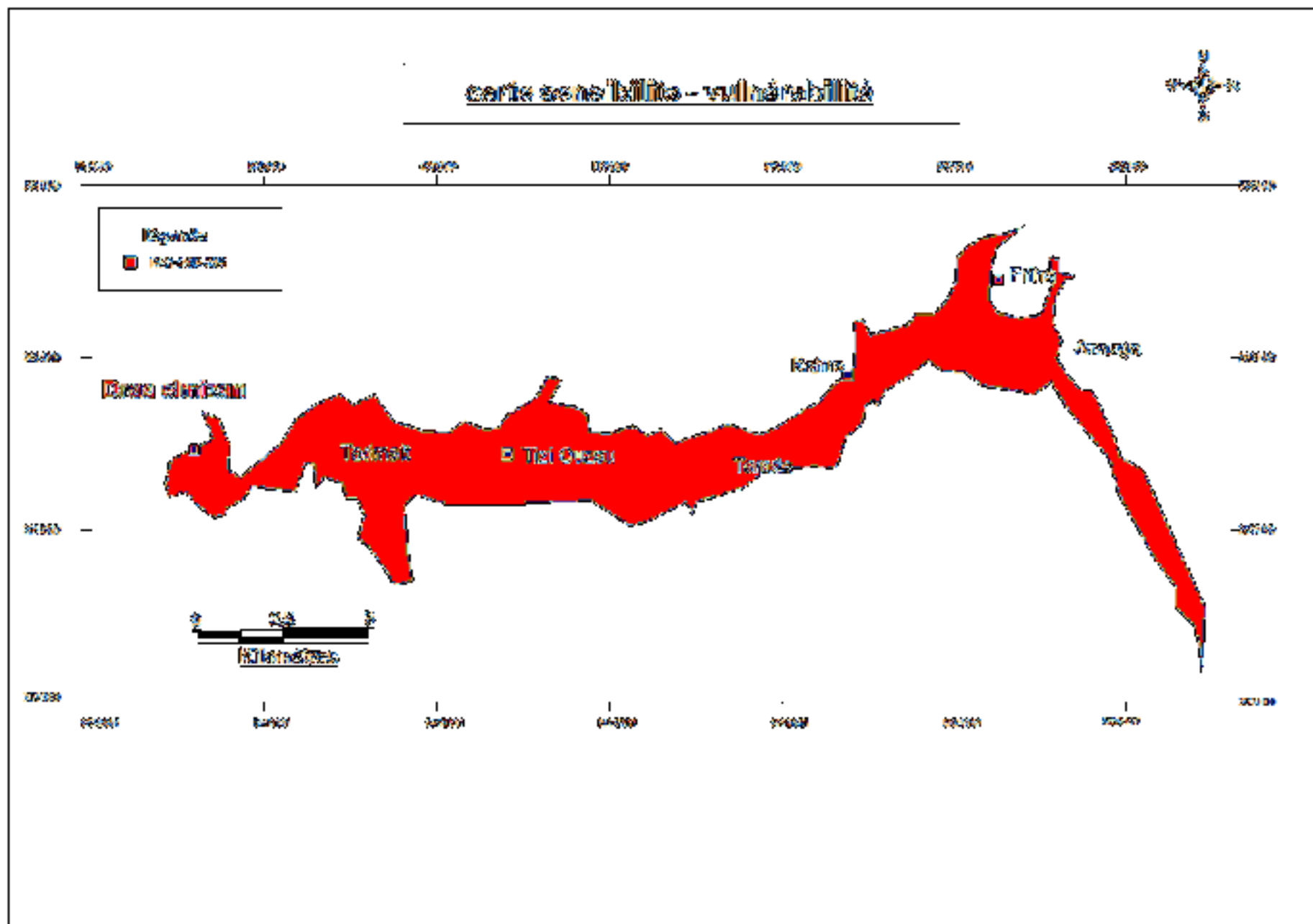






II.5.2.3- Caractérisation de la vulnérabilité-sensibilité (Figure n°62) à la pollution de la nappe du Haut Sebaou

Les valeurs de l'indice I_{vs} de la vulnérabilité-sensibilité à la pollution de la nappe du Haut Sebaou ont été calculées en faisant la somme des indices de vulnérabilité (I_v) et de sensibilité (I_s) à la pollution. Ces valeurs varient entre 240 et 286 (très forte sensibilité – vulnérabilité) ; ce qui ne met en exergue qu'une seule classe de sensibilité – vulnérabilité sur toute l'étendu de la plaine du Haut Sebaou.



II.6- Conclusion

Une nouvelle méthodologie a été proposée pour la caractérisation de la vulnérabilité globale à la pollution d'une nappe d'eau souterraine. Elle constitue une amélioration de la méthode DRASTIC universellement utilisée. Cette vulnérabilité globale est basée à la fois sur les paramètres relatifs à la recharge, au sol, à la zone non saturée et à la zone saturée de l'aquifère.

La caractérisation de la vulnérabilité verticale des nappes à la pollution (provenant de la surface du sol et traversant sa zone non saturée) est basée uniquement sur les paramètres relatifs à la recharge, au sol (pente et nature) et à la zone non saturée (faciès et épaisseur) de l'aquifère.

La caractérisation de la vulnérabilité des nappes au transfert horizontal de la pollution l'ayant atteinte (appelée aussi sensibilité à la pollution) est basée uniquement sur les paramètres relatifs à la zone saturée : vitesse des écoulements souterrains, qualité de l'eau et productivité de la nappe.

Cette méthodologie a été appliquée à la nappe du Haut Sebaou dans la willaya de Tizi-Ouzou. Cette nappe joue un rôle capital dans le développement socio-économique de la région de Beni Douala et d'autre part pour l'alimentation en eau potable et industrielle.

Cette méthode nous montre que cette nappe a une très forte sensibilité –vulnérabilité à la pollution.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE :

Dans un avenir relativement proche le problème de l'eau en Algérie risque de devenir gravissime tant par les effets combinés de la sécheresse et de la gestion irrationnelle de cette ressource que par le phénomène de désertification. Une meilleure gestion de l'eau s'impose à cause de son insuffisance et du coût élevé de sa mobilisation.

Située à environ 80Km à l'Est d'Alger, le bassin versant du Sébaou couvre une superficie de 2500 Km². Il est de forme allongée et son altitude moyenne s'élève à 504m.

Du point de vue hydroclimatologie; la région d'étude jouit d'un climat méditerranéen caractérisé par une température moyenne de 17,30°C et des précipitations moyennes de 865mm dont 670mm s'évaporent, 05mm s'infiltrent et 182mm s'écoulent pour déboucher vers la mer.

La cartographie est le moyen le plus commode et aussi la meilleure illustration pour expliquer et représenter les conditions hydrogéologiques qui exposent ou au contraire protègent plus ou moins les eaux souterraines vis- à-vis des pollutions d'origine superficielle.

La carte de vulnérabilité de la nappe alluviale du Sebaou établie par la méthode DRASTIC ainsi que la carte sensibilité – vulnérabilité réalisée par la méthode DRIST (DRASTIC améliorée) est facilement révisable et actualisable et par conséquent modifiable en fonction des nouvelles conditions hydrogéologiques et des objectifs à atteindre sans contraintes d'échelles.

La carte de vulnérabilité DRASTIC est obtenue par la superposition des sept cartes thématiques tracées dans la partie trois. L'interprétation de cette carte fait ressortir trois unités hydrogéologiques :

- Unité hydrogéologique (2A) à vulnérabilité très élevée avec un indice DRASTIC qui varie entre 180 et 199. Ces unités se trouvent dans la partie Ouest, Draa El Mizan, et Kahra.
- Unité hydrogéologique (2B) à vulnérabilité élevée avec un indice DRASTIC qui varie entre 160 et 179.
- Unité hydrogéologique (2C) à vulnérabilité moyenne avec un indice DRASTIC variant entre 140 et 159, occupe la partie centrale dans la région de Tizi-Ouzou.

La deuxième méthode qui a été utilisée pour la détermination de la sensibilité-vulnérabilité est la méthode DRIST. D'après la classification de cette dernière on a pu détecter une seule zone sur toute la surface du Haut Sebaou, c'est une zone à très forte sensibilité-vulnérabilité.

Les résultats obtenus montrent que la nappe alluviale du Haut Sebaou est très sensible à la pollution. A cet effet, la carte de sensibilité obtenue révèle une similitude avec les zones de fortes activités anthropiques. Ainsi, il est impératif que les pouvoirs publics prennent des décisions qui s'avèrent urgentes afin de protéger et de préserver cette réserve tarissable.

Recommandations

- Appliquer la méthode DRIST sur plusieurs aquifères judicieusement choisis en fonction de leurs conditions hydrogéologiques.
- Placer des piézomètres sur tout long de la surface pour des résultats fiables pour les niveaux statique et dynamique.
- Effectuer des nouveaux essais de pompage pour déterminer les caractéristiques hydrodynamiques de l'ensemble de l'aquifère.
- Création d'une banque de données et d'information pour la gestion et la cartographie de la vulnérabilité.

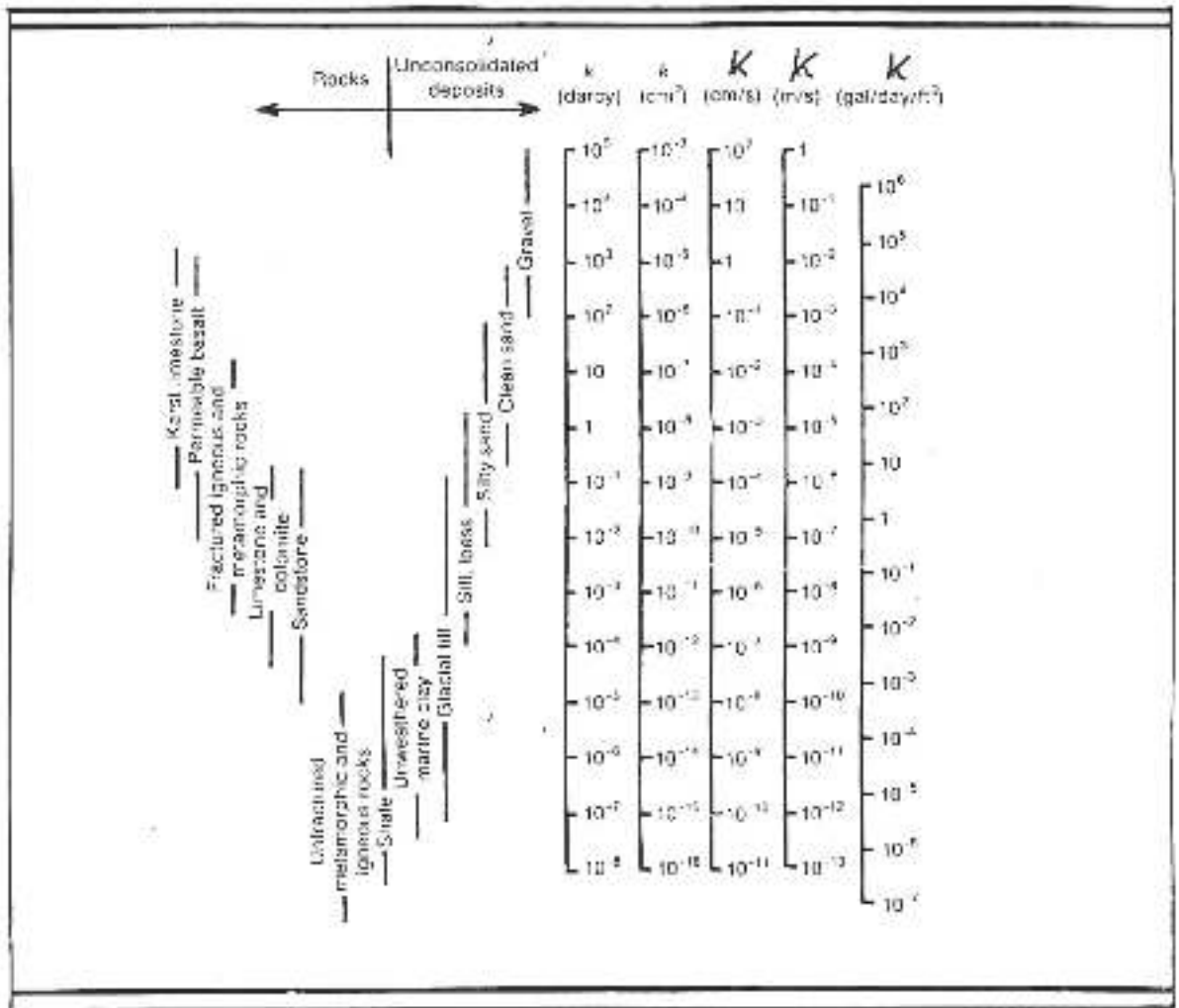
Bibliographie

Bibliographie

- (1) **Djoudar/Hallal,D.,2003**:Vulnérabilité et protection des nappes aquifères en région côtière. Application aux alluvions de la Mitidja Orientale. Mémoire de Magistère. FSTGAT/IST/USTHB/Babezzouar116p.
- (2) **Said,R.,1999**:Vulnérabilité et risques de pollution des eaux souterraines. Méthodologie et cartographie. (Application aux aquifères du moyen Sébaou et de la Mitidja Centrale).Mémoire de Magistère, IST/USTHB/Babezzouar
- (3) **Bouadjel, C, 2007** : contribution a l'étude hydrogéologique de la vallée du sebaou. Mémoire d'ingénieur .ENSH/Blida
- (4) **Nabil,R/Saad,M,2006** : contribution a l'étude hydrogéologique de la valle de sebaou ,impact de l'activité humaine . Mémoire d'ingénieur, USTHB/ Babezzouar
- (5) **Benhassaine M.**, 1980 Recherche sur les modèles des reliefs et les formations superficielles dans la nappe de l'Oued Sébaou. Thèse de 3^{ème} cycle.
- (6) **Chadrine, Y.1972** : Etude hydrogéologique de la nappe alluviale du sébaou Mémoire d'ingénieur .ANRH, Alger.
- (7) **Alious .S** ,2004 : Méthodologie de la cartographie de la vulnérabilité à la pollution du Sébaou.Mémoire d'ingénieur, USTHB.
- (8) **ANRH** : Méthodologie et la cartographie de la vulnérabilité a la pollution des eaux souterraines ; application a la nappe alluvial de sebaou
- (9) **Ikezouhane, B, 1974** : enquête sur les débits extraits
- (10) **Mohamed. S, Rachid .M et Moumtaz .R, 2003** : Utilisation des SIG pour la caractérisation de la vulnérabilité et de la sensibilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. Application à la nappe du Haouz de Marrakech, Maroc

annexe

**RANGE OF VALUES OF HYDRAULIC CONDUCTIVITY AND PERMEABILITY
(FREEZE AND CHERRY, 1979)**



**CONVERSION FACTORS FOR PERMEABILITY AND HYDRAULIC CONDUCTIVITY
UNITS (FREEZE AND CHERRY, 1979)**

	Permeability, k			Hydraulic conductivity, K		
	cm ²	ft ²	darcy	m/s	ft/s	U.S. gal/day/ft ²
cm ²	1	1.09×10^{-3}	1.01×10^8	9.83×10^7	3.22×10^7	1.85×10^9
ft ²	9.29×10^8	1	9.42×10^{15}	9.11×10^8	2.99×10^8	1.71×10^{12}
darcy	9.87×10^{-9}	1.06×10^{-11}	1	9.66×10^{-6}	3.17×10^{-5}	1.82×10^4
m/s	1.02×10^{-1}	1.10×10^{-8}	1.04×10^8	1	3.28	2.12×10^8
ft/s	3.11×10^{-4}	3.35×10^{-7}	3.15×10^4	3.05×10^{-1}	1	6.46×10^5
U.S. gal/day/ft ²	5.42×10^{-12}	5.63×10^{-10}	5.49×10^{-1}	4.72×10^{-7}	1.55×10^{-6}	1

* To obtain k in ft², multiply k in cm² by 1.09×10^{-3} .

Haut Sébaou avril 2006																		
Analyse	Ca		Mg		Na		K		$\sum r^+$	Cl		So ₄		Hco ₃		No ₃		$\sum r^-$
	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l		mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	
F63	151	7.55	34	2.79	18	0.78	0	0.00	11.12	63	1.77	205	4.27	274	4.49	31	0.5	11.03
P72	42	2.10	22	1.80	96	4.17	0	0.00	8.07	27	0.76	74	1.54	310	5.08	15	0.24	7.62
P73	98	4.90	35	2.87	78	3.39	1	0.025	11.18	85	2.39	147	3.06	316	5.18	08	0.12	10.75
P7	76	3.80	47	3.86	81	3.52	1	0.025	11.20	105	2.95	185	3.85	222	3.63	07	0.11	10.54
P10	86	4.30	42	3.45	53	2.30	1	0.025	14.07	105	2.95	143	3.10	227	3.72	45	0.72	10.49
P11	53	2.65	18	1.48	19	0.82	2	0.05	5.00	25	0.70	42	0.87	240	3.93	02	0.03	5.53
P22	70	3.50	33	2.71	35	1.52	0	0.00	7.73	36	1.01	100	2.08	273	4.47	16	0.25	7.81
P24	50	2.50	21	1.72	21	0.91	4	0.10	5.23	13	0.36	41	0.85	229	3.75	11	0.17	5.13
P34	90	4.50	20	1.64	95	4.13	3	0.076	10.34	99	2.78	183	3.81	185	3.03	49	0.79	10.41
P38	84	4.20	29	2.38	23	1.00	4	0.10	7.68	91	2.56	176	3.66	140	2.29	32	0.51	9.02
P46	63	3.15	40	3.28	52	2.26	0	0.00	8.69	43	1.22	122	2.54	317	5.19	13	0.20	9.14
P55	40	2.00	23	1.89	24	1.04	2	0.05	4.98	20	0.56	38	0.79	238	3.90	14	0.22	5.47
F59	93	4.65	29	2.38	38	1.65	4	0.10	8.78	41	1.15	113	2.35	226	5.34	41	0.66	9.5
P60	61	3.05	37	3.04	44	1.91	2	0.05	8.05	42	1.18	108	2.25	314	5.14	04	0.06	8.63
Bas Sébaou avril 2006																		
F31/B	118	5.90	35	2.87	11	0.74	0	0.00	9.24	29	0.81	185	3.85	321	5.26	4	0.06	9.98
P67/B	23	1.15	27	2.22	99	4.30	0	0.00	7.67	40	1.12	69	1.41	328	5.37	20	0.32	8.22
P96/B	104	5.20	20	1.64	53	2.30	0	0.00	9.14	44	1.23	48	1.00	348	5.70	28	0.45	8.38
F128/B	81	4.05	34	2.79	78	3.39	2	0.05	10.28	90	2.53	182	3.79	245	4.01	19	0.30	10.63
P140	131	6.55	29	2.38	59	2.56	5	0.12	11.61	84	2.36	154	3.20	300	4.91	65	1.05	11.52
P157/B	54	2.70	17	1.39	12	2.52	0	0.00	4.61	16	0.45	42	0.87	176	2.88	0	0.00	4.20
P212/B	81	4.05	30	2.46	48	2.08	0	0.00	8.59	70	1.97	91	1.89	224	3.67	19	0.30	7.83
P206/B	75	3.80	15	1.23	46	2.00	1	0.02	7.05	61	1.71	149	3.10	84	1.37	22	0.35	6.53
P218/B	89	4.45	50	4.11	73	3.17	5	0.12	11.85	150	4.22	127	2.64	325	5.32	53	0.85	13.03
P222/B	188	9.40	42	3.45	77	3.34	0	0.00	16.19	292	8.22	226	4.70	231	3.78	22	0.35	17.05

ANNEXE B

Annexe -1 :Résultats d'analyses chimiques (Sébaou,Avril 2006)/source ANRH

Haut Sébaou (Avril 2006)							
Analyse	CEmmohs	Minéralisation mg/l	R.Sec mg/l	PH d'équilibre	PH mesuré	TH °F	TAC °F
F63	1.04	645	784	7.1	7.9	52	22
P72	0.78	484	499	7.5	7.6	20	25
P73	1.00	619	773	7.2	8.0	39	25
P7	0.98	608	629	7.6	7.8	39	18
P10	0.93	577	614	7.3	7.8	39	18
P11	0.49	304	381	7.5	7.8	21	19
P22	0.68	422	449	7.3	7.8	31	22
P24	0.53	329	350	7.5	7.8	21	18
P34	0.88	546	575	7.4	7.7	31	15
P38	0.86	532	516	7.5	7.6	33	11
P46	0.85	527	561	7.3	7.8	32	26
P55	0.53	329	350	7.4	7.5	20	19
P59	0.82	508	541	7.15	7.4	36	26
P60	0.86	533	568	7.30	7.7	31	25
Bas Sébaou (Avril 2006)							
F31/B	0.99	614	653	7.1	7.7	44	26
P67/B	0.69	428	399	7.6	8.1	17	26
P76/B	0.89	552	587	7.1	7.7	34	28
F128/B	1.02	632	673	7.3	8.1	34	20
P140	1.06	658	657	7.0	7.8	45	24
P157/B	0.41	254	312	7.6	8.0	21	14
P212/B	0.79	490	630	7.3	7.9	33	18
P206/B	0.69	428	455	7.6	7.5	25	7
P218/B	1.13	701	746	7.2	7.6	43	26

P222/B	1.84	1140	1213	7.0	8.2	65	19
---------------	------	------	------	-----	-----	----	----

Annexe -2 :Résultats d'analyses chimiques (Sébaou,Avril 2006)/source ANRH

Annexe A :

Tableau n° 1: Paramètres DRASTIC et leur poids relatif.

NUMERO	PARAMETRES	POIDS (Weight)
1	profondeur de la nappe (Depth to groundwater)	5
2	recharge nette (Recharge)	4
3	matériaux de l'aquifère (Aquifer media)	3
4	matériaux du sol (Soil media)	2
5	topographie (Topography)	1
6	impact de la zone non saturée (Impact of vadose zone media)	5
7	conductivité hydraulique de l'aquifère (Conductivities of aquifer media)	3

Cas particulier:

Tableau n°2: Paramètres DRASTIC et leur poids (cas des pesticides)

NUMERO	PARAMETRES	POIDS (Weight)
1	profondeur de la nappe (Depth to groundwater)	5
2	recharge nette (Recharge)	4
3	matériaux de l'aquifère (Aquifer media)	3
4	matériaux du sol (Soil media)	5
5	topographie (Topography)	3
6	impact de la zone non saturée (Impact of vadose zone media)	4
7	conductivité hydraulique de l'aquifère (Conductivities of aquifer media)	2

Estimation des cotes ou « Rating » :

Tableau n°3: - Cotes (Rating) de la profondeur de la nappe (Depth to groundwater)

RANG (Range)		COTE (Rating)
en mètre	en pied (feet)	
0 - 1,52	0 - 5	10
1,52 - 4,57	5 - 15	9
4,57 - 9,14	15 - 30	7
9,14 - 15,24	30 - 50	5
15,24 - 22,85	50 - 75	3
22,85 - 30,47	75 - 100	2
> 30,47	> 100	1

Tableau n°4: - Cotes (Rating) de la recharge nette

RANG (Range)		COTE (Rating)
en centimètre	inches (pouces)	
0 - 5,08	0 - 2	1
5,08 - 10,16	2 - 4	3
10,16 - 17,78	4 - 7	6
17,78 - 25,4	7 - 10	8
>25,4	>10	9

Tableau n°5: - Cotes (Rating) des matériaux de l'aquifère

RANG (Range)	COTE (Rating)	COTE TYPE (Typical rating)
- argiles schisteuses massives (massive schale)	1-3	2
- roches métamorphiques ou ignées (métamorphic / Igneous)	2-5 3-5	3 4
- roches métamorphiques ou éruptives altérées (weathered métamorphic / Igneous)	4-6	5
- terre de glacier	5-9	6
- séquences de couches peu épaisses de grès, calcaires et schistes en alternance (thin bedded sandstone, limestone, shale séquences)	4-9 4-9	6 6
- grès massif (massive sandstone)	6-9	8
- calcaire massif (massive limestone)	2-10	9

- sables et graviers (sand and gravel) - basalte (basalt) - calcaire karstifié (karst limestone)	9-10	10
--	------	----

Tableau n°6: - Cotes (Rating) des matériaux du sol

RANG (Range)	COTE (Rating)
- peu épais ou absent (thin or absent)	10
- graviers (gravel)	10
- sables (sand)	9
- tourbe, matières organiques non décomposées (peat)	8
- couches très minces et /ou en association de couches d'argiles (shrinking and/ or aggregated clay)	7
- terre grasse, limono-sableuses (sandy loam)	6
- terre grasse équilibré en argile, limon, sables (loam)	5
- terre vaseuses, limoneuses (silty loam)	4
- terres argileuses, limono-argileuses (clay loam)	3
- matières organiques décomposés (muck)	2
- argile non épais et non en association (Non schrinking and non aggregated clay)	1

Tableau n°7: - Cotes (Rating) de la Topographie

RANG (Range) en % (percent slope)	COTE (Rating)
0 - 2%	10
2 - 6	9
6 - 12	6
12 - 18	3
>18	1

Tableau n°8: - Cotes (Rating) de l'impact des matériaux de la zone non saturée

RANG (Range)	COTE (Rating)	COTE TYPE (Typical rating)
- couches captives	1	1
- Limon /Argile (silt / clay)	1 - 2	1
- Schiste (shale)	2 - 5	3
- Calcaire (limestone)	2 - 7	6
- Grés (Sandstone)	4 - 8	6

- Couches de calcaires , grés , et schistes en alternance (bedded limestone , sandstone , shale)	4 - 8	6
- Roche métamorphique - gneis (éruptive) (métamorphic /ignéous)	4 - 8 6 - 9 2 - 10	6 8 9
- Sables et graviers (sands and gravels)	8 - 10	10
- Basalte (basalt)		
- Calcaire karstifié (karst limestone)		

Tableau n°9: - Cotes (Rating) de la conductivité hydraulique (perméabilité)

(Range)		COTE
RANG		(Rating)
m/s	galon per day/ feet2 (gpd/ft2)	
4,72.10-7 - 4,72.10-5	1 - 100	1
4,72.10-5 - 1,416.10-4	100 - 300	2
1,416.10-4 - 3,304.10-4	300 - 700	4
3,304.10-4 - 4,720.10-4	700 - 1000	6
4,720.10-4 - 9,44.10-4	1000 - 2000	8
> 9,44.10-4	>	10

