



Université Cadi Ayyad
Faculté des Sciences et Techniques
Département des Sciences de la Terre
Marrakech



Waman Consulting

*Master Sciences et Techniques
« Eau et Environnement »*



Mémoire de fin d'études

*Contribution à l'étude hydrogéologique de l'aquifère exploité dans la
plaine de Guelmim*

Réalisé par : M^{elle} Meryem TOUZANI

Encadré par:

- Mr L. HANICH
- Mr A. BOUGADRA

Soutenu, le 27 février 2012, devant le jury composé de Mrs :

- Pr. L. HANICH- Faculté des Sciences et Techniques Marrarech : Encadrant
- Mr A. BOUGADRAA- Waman Consulting: Encadrant
- Pr M. AGOUSSINE - Faculté des Sciences et Techniques Marrarech : Examineur
- Pr A. BACHNOU - Faculté des Sciences et Techniques Marrarech : Examineur

2011/2012

Dédicaces

*Je dédie ce travail à ma famille avec tous mes
sentiments de respect, d'amour, de gratitude et de
reconnaissance pour tous les sacrifices déployés pour m'
élever dignement et assurer mon éducation dans les meilleurs
conditions,*

*À mes Professeurs et encadrants sans exception,
À tout ce qui ont participé, de près ou de loin, à
l'aboutissement de mes efforts ; Et à tous mes amis... ..*

Remerciement

Au terme de ce travail, il m'est agréable de rendre hommage à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à son élaboration.

Mes sincères remerciements vont à mon encadrant professionnel Mr Abdelaziz Bougadra, Ingénieur et Directeur du Bureau d'Etude « Waman Consulting » qui, après avoir accepté, comme stagiaire, au sein de Waman Consulting. Il m'a permis de travailler très librement sur ce projet. Qu'il trouve ici l'expression profonde de ma sincère reconnaissance.

Merci à toute l'équipe de Waman Consulting et à Mr Jalal.

Ma gratitude va également à mon encadrant pédagogique Mr Hanich, pour ses qualités d'enseignant, son côté humaine, son soutien et ses recommandations qui m'ont été indispensables pour finaliser mon travail. Qu'il soit assuré de mes vifs remerciements.

Je tiens à remercier également mes professeurs Mr AGOUSSINE et Mr BACHNOU qui ont acceptés de juger ce travail. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma vive reconnaissance.

Un grand merci à mes parents, ma sœur, mon frère, et mes amis qui m'ont toujours aidé et encouragé durant toute la période d'études.

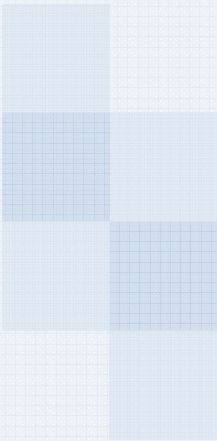
Table des matières

INTRODUCTION ET METHODOLOGIE ADOPTEE.....	7
Introduction.....	8
▪ Objectif de l'étude.....	8
▪ Méthodologie Adoptée	8
1/ Collecte des données	9
2 /Enquête de terrain	10
3/Système d'information hydrogéologique	10
CHAPITRE I : CADRE GENERAL	12
I-1PRESENTATION DE LA ZONE DE L'ETUDE	13
I.1.1 Cadre Administratif	13
I.2.2 Cadre physique.....	14
I.2 ASPECT SOCIO-ECONOMIQUE.....	17
I.2.1 Population	17
I.2.2 Activités économiques	18
I.2.2.1 l'agriculture:	18
I.2.2.2 Industrie :	18
I.2.2.3 Activités Commerciales :	19
I.2.2.4 Le tourisme.....	19
CHAPITRE II : CADRE PHYSIQUE.....	20
II.1 INTRODUCTION	21
II.2 HYDROCLIMATOLOGIE	21
II.2.1 Climatologie	21
II.2.1.1 Pluviométrie	21
II.2.3 Le calcul des pluies moyennes :	22
II.2.3 Température :	26
II.2.4 Evaporation :	27
II.2.5 Vents.....	27
II.3 HYDROLOGIE	29
II.4 GEOLOGIE	31
II.4.1 Introduction.....	31
II.4.2 Structure de la zone d'étude.....	31
II.4.3 Lithostratigraphie	31
➤ Lithostratigraphie de la zone d'étude « Bassin de Guelmim ».....	32
A- Zone du socle.....	32
B- Terrains plioquaternaires de Guelmim	33
II.4.4 Travaux de reconnaissances de la structure profonde du bassin de Guelmim.....	36
II.4.4.1 Gravimétrie	36
II.4.4.2 Etudes géoélectriques.....	36
II.4.4.3 Etude par sismique réflexion haute résolution de la plaine de Guelmim.....	37

II.4.5 Synthèse géologique dans la région de Guelmim	40
CHAPITRE III : HYDROGEOLOGIE.....	41
III.1 INTRODUCTION	42
III.2 DESCRIPTION DES AQUIFERES.....	42
III.2.1NAPPES PROFONDES.....	42
III.2.1.1 Nappe « adoudounienne ».....	42
III.2.1.2 Nappe géorgienne (Cambrien inférieur)	43
III.2.2 Nappe phréatique	45
III.2.2.1 Limite et extension	45
III.2.2.2 Description lithologique de l'aquifère Plio-Quaternaire	45
III. 2.3 Structure du système aquifère.....	45
III.2.3.1 Carte du Substratum de la nappe phréatique.....	45
III.2.3.2Epaisseur des formations plio-quaternaires	47
III.2.3.3 Variations latérales des formations formant le système aquifère.....	49
III.3 Description de la nappe.....	61
III.3.1 Profondeur de la nappe.....	61
III.3.2 Epaisseur de la nappe.....	61
III.3.3 Piézométrie	64
III.3.4 Paramètres hydrodynamiques de la nappe	70
a/ Transmissivité	70
b/ Perméabilité	70
c/ Coefficient d'emmagasinement.....	70
III.3.5 Productivité des ouvrages	74
III.4 Evaluation des ressources en eau de la nappe phréatique.....	76
III.4. 1 Recharge de la nappe	76
a/ Recharge de la nappe par infiltration des précipitations	76
b/ Alimentation à partir des bordures	76
c/ Recharge de la nappe par infiltration des eaux des oueds et des zones d'épandage des crues	77
d/ Alimentation à partir du retour des eaux d'irrigation	77
III.4.2 Sorties de la nappe	77
a/ Drainage des sources	78
b/ Prélèvements par pompage.....	78
c/ Evaporation directe de l'eau de la nappe	83
d/ Flux aval sortant vers la mer	83
III.5 Qualité chimique de l'eau	84
III.5.1 CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES	85
III.5.2 Faciès hydrogéochimiques	85

Listes des figures

FIGURE 1: CARTE DE DECOUPAGE ADMINISTRATIF DU BASSIN HYDRAULIQUE DE GUELMIM.	1
FIGURE 2: SITUATION GEOGRAPHIQUE DU BASSIN HYDRAULIQUE DE GUELMIM	1
FIGURE 3 : PRECIPITATION MOYENNE MENSUELLE EN (MM) SUR LA PERIODE DE 1984 A 2005	22
FIGURE 4 : PRECIPITATION MOYENNE ANNUELLE EN (MM) SUR LA PERIODE DE 1984 A 2005	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
FIGURE 5: PLUIE MOYENNE SUR LE BASSIN D'ASSAKA	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
FIGURE 6: CARTE ISOHYETES DE 1936-2005 DU BASSIN DE GUELMIM.....	1
FIGURE 7: CADRE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE LA PLAINE DE GUELMIM.....	1
FIGURE 8 : COLONNE LITHO-STRATIGRAPHIQUE SCHEMATIQUE DU BASSIN DE GUELMIM (GEOATLAS, 1997)	34
FIGURE 9: CARTE GEOLOGIQUE SIMPLIFIEE (D'APRES LA CARTE GEOLOGIQUE DE LA TERMINAISON OCCIDENTALE DE L'ANTI-ATLA 1/200.000)	1
FIGURE 10 : PLAN DE SITUATION DES PROFILS SISMIQUES "ETUDE SISMIQUE REFLEXION 1998"	37
FIGURE 11: CARTE DU TOIT DES CALCAIRES SUPERIEURS D'AGE CAMBRIEN DANS LA PLAINE DE GUELMIM (GEOPHYSIQUE.1997).....	1
FIGURE 12: COUPE SCHEMATIQUE ILLUSTRANT L'ORIGINE PROFONDE DE LA SOURCE D'ABAYNOU	42
FIGURE 13 : CARTE DES ISOHYPES DU TOIT DU SUBSTRATUM DE LA NAPPE DE GUELMIM	1
FIGURE 14 : EPAISSEURS DES FORMATIONS PLIO-QUATERNAIRES DU BASSIN DE GUELMIM.....	1
FIGURE 15 : CARTE DE SITUATION DES COUPES	1
FIGURE 16 : CARTE DE LA PROFONDEUR DE LA NAPPE PAR RAPPORT AU SOL (JUILLET 2005).....	1
FIGURE 17 : CARTE DES EPAISSEURS DE LA NAPPE DE GUELMIM	1
FIGURE 18 : CARTE PIEZOMETRIQUE DE LA NAPPE PHREATIQUE DE GUELMIM (JUILLET 2005)	1
FIGURE 19 : CARTE DE SITUATION DU RESEAU DE CONTROLE PIEZOMETRIQUE DE LA NAPPE DE GUELMIM	1
FIGURE 20 : FLUCTUATION DE LA SURFACE PIEZOMETRIQUE PRES DE LA VILLE DE GUELMIM.....	67
FIGURE 21 : FLUCTUATION DE LA SURFACE PIEZOMETRIQUE DANS LA VALLEE D'OUERGNOUN	68
FIGURE 22 : FLUCTUATION DE LA SURFACE PIEZOMETRIQUE AU SUD DE TAGANT	68
FIGURE 23 : FLUCTUATION DE LA SURFACE PIEZOMETRIQUE AU NE DE LA NAPPE	69
FIGURE 24 : FLUCTUATION DE LA SURFACE PIEZOMETRIQUE AU NORD DE LA PLAINE	69
FIGURE 25 : FLUCTUATION DE LA SURFACE PIEZOMETRIQUE AU SUD D'ABAYNOU	69
FIGURE 26 : REPARTITION SPATIALE DES VALEURS DE LA TRANSMISSIVITE DE LA NAPPE DE GUELMIM (DONNEES : SOURCE ABHSM)	1
FIGURE 27 : REPARTITION SPATIALE DES VALEURS DE LA PERMEABILITE DE LA NAPPE DE GUELMIM	1
FIGURE 28 : REPARTITION SPATIALE DES VALEURS DU COEFFICIENT D'EMMAGASINEMENT DE LA NAPPE DE GUELMIM	1
FIGURE 29 : REPARTITION SPATIALE DE LA PRODUCTIVITE DES OUVRAGES CAPTANT DE LA NAPPE DE GUELMIM.....	1
FIGURE 30 : CARTE DE LOCALISATION DES SOURCES ET KHETTARA DANS LA PLAINE DE GUELMIM.....	1
FIGURE 31 : REPARTITION SPATIAL DES PRELEVEMENTS POUR L'IRRIGATION DANS LA PLAINE DE GUELMIM	1
FIGURE 32 : REPARTITION SPATIAL DES CAPTAGES ONEP DANS LA PLAINE DE GUELMIM.....	1
FIGURE 33 : DIAGRAMME TRIANGULAIRE DE PIPER.....	1



INTRODUCTION ET METHODOLOGIE ADOPTEE

Introduction

Le bassin de Guelmim constitue un espace où se définit une problématique spécifique de l'aménagement des ressources en eau et où s'expriment de nombreux enjeux. Le grand paradoxe de cette zone est que le contexte de pénurie a déclenché un processus, non pas d'économie, mais tout au contraire de surexploitation de cette ressource. C'est le cas de la nappe phréatique de Guelmim, principal potentiel en eau mobilisable assurant l'alimentation en eau potable des villes de Guelmim et de Tan Tan, cette nappe est sollicitée en plus par des pompes agricoles, ce qui s'est traduit ces dernières années par une baisse croissante de son niveau piézométrique.

Ainsi, le développement de la région passe par la mise en œuvre d'une gestion rationnelle des ressources en eau qui consiste à définir un plan d'actions permettant de pallier au problème de pénuries d'eau, et de proposer un nouveau schéma d'aménagement des ressources en eau susceptible d'améliorer, d'élever le niveau de la population, de réduire sa marginalisation géographique, économique et sociale et de l'intégrer à l'économie nationale.

Plusieurs mesures sont avancées : réduction de la pression sur les ressources en eau souterraines, encouragement des techniques d'irrigation par épandage, pratique de nouveaux assolements, mise en place d'une nouvelle agriculture.

▪ Objectif de l'étude

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la reconnaissance approfondie du système aquifère existant dans le bassin de Guelmim, et vise entre autres les objectifs suivants :

1. Compréhension du fonctionnement hydrodynamique du système aquifère de la plaine de Guelmim.
2. Evaluation du potentiel en eau souterraine de la plaine de Guelmim et études des possibilités de mise à jour de nouvelles ressources ainsi que l'impact de tout aménagement futur sur les ouvrages existants notamment ceux utilisés pour l'alimentation en eau potable.

▪ Méthodologie Adoptée

Ce présent rapport a été réalisé en quatre étapes :

- Collecte des données et enquête sur le terrain
- Synthèse géologique
- Synthèse hydrogéologique

1/ Collecte des données

Cette phase consiste à rassembler toute la documentation disponible au niveau des différents organismes qui ont une activité en rapport avec la zone étudiée (ONEP, DRPE, ABH Souss Massa, Services Eau d' Agadir et de Guelmim, DPA, DREF, Province, Communes Rurales, les Industriels, les ONG ...).

Données cartographiques

- Cartes topographiques
- Cartes géologiques
- Cartes pédologiques
- Cartes d'occupation des sols
- Photos aériennes et satellitaires

Données relatives aux Systèmes d'AEP (SAEP) existants :

- Eaux de surfaces (drains, barrage, dayas, oueds,...)
- Eaux souterraines (forages, puits, sources, galeries,...)
- Démographie et besoins en eau
- Adduction, distribution

Données relatives à l'aquifère

- Géologie
- Géophysique
- Climatologie
- Hydrologie
- Caractéristiques hydrodynamiques (transmissivité, perméabilité, coefficient d'emménagement, rayon d'action,...)
- Historiques piézométriques
- Qualité de l'eau (analyses chimiques)

Données relatives aux captages :

- Caractéristiques des forages : localisation, coupes géologiques et techniques, historique de réalisation, digraphie, pompage d'essais
- Historiques des prélèvements, des niveaux statiques et dynamiques et de la qualité de l'eau
- Productivités des captages (débit d'exploitation, courbe caractéristique, pertes de charge, zone d'influence...)

Dans cette partie, l'ensemble des données ont été analysées et ont fait l'objet d'une synthèse en vue de son intégration dans une base de données globale.

2 /Enquête de terrain

Elle a été menée de front la collecte des données recueillies auprès des différents départements avec les enquêtes de terrain. Un grand nombre d'informations recueillies au cours de ces visites ont été intégrées à la base de données.

Cette enquête de terrain avait pour objectifs de compléter et d'actualiser les données collectées. Elle a permis aussi de réaliser:

- géologie du terrain
- Inventaire des points d'eau ; puits, forages, sources, dayas, citerne
- Inventaire d'occupation des sols.

Les informations collectées au cours de ces enquêtes ont permis de compléter la base de données déjà établie.

3/ Base de données et SIG

Ce travail a été formalisé sous forme de fiches constituées d'une base de données à deux échelles:

- En premier, il a été procédé aux étapes suivantes :
 - o Etablir des fiches de bases de données pour chaque point d'eau comprenant :
 - Les caractéristiques techniques et physiques du point d'eau
 - Les essais de pompage
 - Analyses physico-chimiques
 - o Réalisation d'une mise au propre des fiches de bases de données dans le logiciel Access en liens "ODBC" avec le logiciel du SIG ARCGIS
- Dans un deuxième temps, il a été consacré à l'exploitation du SIG (et cartographie dynamique) et ces différentes données.

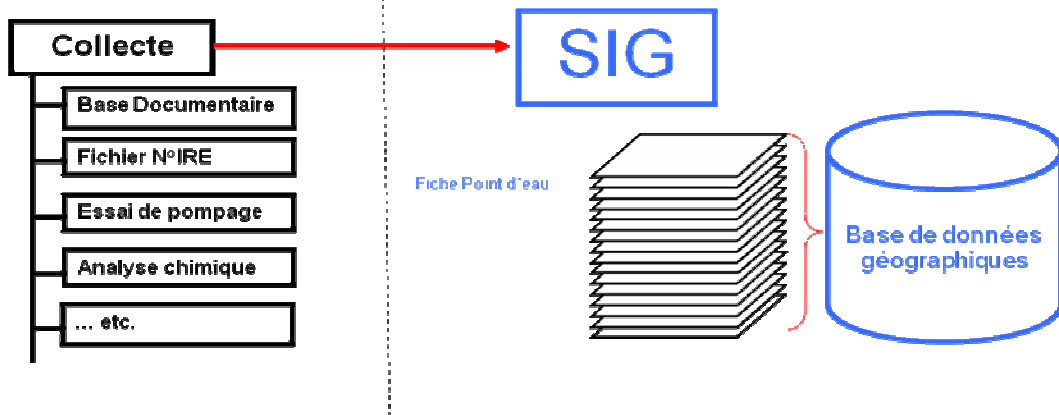


Figure 1 : Organigramme structurel de la base de données et SIG de l'étude

4/ Traitement et exploitation des données :

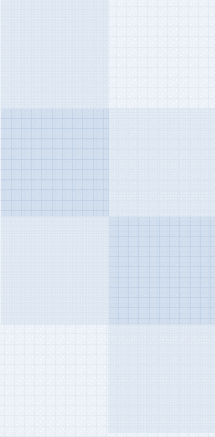
La présente étude s'est consacrée aussi à l'élaboration des différentes cartes structurales et hydrogéologique des niveaux aquifères étudiés (toit du substratum, épaisseur du Plioquaternaire, puissance de la nappe, piézométrie, etc.....)

La mise en œuvre de ces cartes a nécessité :

- d'une part, l'exploitation des données du fichier IRE, de la géophysique, de la géologie que l'on rapporte à des coordonnées géographiques précises (latitude / longitude) ;
- d'autre part, un outil d'interpolation permettant de calculer la répartition spatiale de certaines données de mesure (profondeur/TN ou NGM en tout point de la zone).

Les cartes d'isovaleurs ont été établies à partir de la base de données déjà structuré dans le SIG.

Jbel tayert qui constitue la partie d'affleurement du socle existant au centre de la plaine où le système de nappe est absent il a été considéré comme une zone exclue de l'unité de la plaine de Guelmim.



CHAPITRE I : CADRE GENERAL

I-1PRESENTATION DE LA ZONE DE L'ETUDE

I.1.1 Cadre Administratif

La province de Guelmim a été créée par le Dahir n°1-74-688, le 3 avril 1975. Elle fait partie de la région de Guelmim-Smara, elle est délimitée (Fig.2) :

- Au Nord par la province de Tiznit;
- À l'Est par la province d'Assa Zag;
- Au Sud par les provinces de Tan Tan et d'Assa Zag;
- À l'Ouest par l'océan atlantique.

Elle compte 166 685 habitants selon le recensement de 2004 répartis sur 2 communes urbaines et 18 CR rurales. Elle s'étend sur une superficie de 10 783 km². Le découpage administratif se présente comme suit :

- Les municipalités :
 - Bouizakarne;
 - Guelmim.
- Les communes rurales par cercle :
 - Cercle de Bouizakarne regroupe 7 communes rurales ;
 - Cercle de Guelmim regroupe 11 communes rurales.

Le tableau qui suit récapitule les communes rurales par cercle à l'échelle de la province :

Tableau 1 : commune rurales de la province de Guelmim

Cercle	Commune rurale
Bouizakarne	Tagante, Ait Boufoulne, Ifrane, Timoulay, Taghjicht, Aday, Ametdi
Guelmim	Asrir, Afrket, Fask, Tiglite, Ksabi, Abainou, Labiar, Tiliouine, Ras Oumlil, Chati El Abied, Targa Ouassay

Au niveau des communes rurales relevant des cercles de la province de Guelmim, l'évolution de leur population ainsi que le taux d'accroissement de la population sont données ci-après dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Population et taux de croissance par cercle

Cercle	Population 1994	Population 2004	Taux d'accroissement
Bouizakarne	50 980	50 485	-0,10%
Guelmim	96 144	116 200	1,91%

I.2.2 Cadre physique

La plaine de Guelmim fait partie de l'Anti Atlas occidental. Elle se présente comme une cuvette limitée au nord par les plateaux de Lakhsass, et par les chaînons du massif d'Ifni, au sud par le Jbel Taïssa. L'ensemble s'étend sur une superficie d'environ 10000 Km² (Fig. 3).

La plaine de Guelmim est occupée au centre par Jbel Tayert qui sépare les bassins de l'oued d'Oum Al Achar au nord et celui des oueds Seyad et Ouerguennoun au sud. Cette plaine comprend plusieurs dépressions ou Feijas dont :

- Au nord la grande «Feija interne» de Guelmim Bouizakarne qui suit la retombée sud des calcaires primaires de l'Anti Atlas ; elle va en s'élargissant d'Est en Ouest, jusqu'à atteindre 7 à 10 Km dans la vallée de l'oued Oum Al Achar, entre le massif d'Aït Ba Amrane et le Jbel Tayert ; son altitude diminue du nord (600 m) vers le sud (200 m) ;
- Au centre la vallée de l'oued Seyyad Ouerguennoun entre le Bani et le Jbel GuirTaïssa constitués de massifs précambriens et géorgiens, forme une «Feija externe» large de 5Km en moyenne ;
- Au SW le flanc nord du Jbel GuirTaïssa où apparaissent des gouttières étroites et parallèles entre les crêtes quartzitiques de la partie supérieure de l'Acadien et celles de l'Ordovicien des Aït Lahssen qui atteignent 350 à 550 m d'altitude.

Les ressources en eau sont en nette diminution dans certaines zones de la plaine du fait de cycles de sécheresse prolongés et récurrents et surtout en raison d'une dégradation des ressources naturelles (érosion des sols, recul des forêts, etc.) et d'un exode rural et agricole survenus depuis plus d'un demi- siècle.

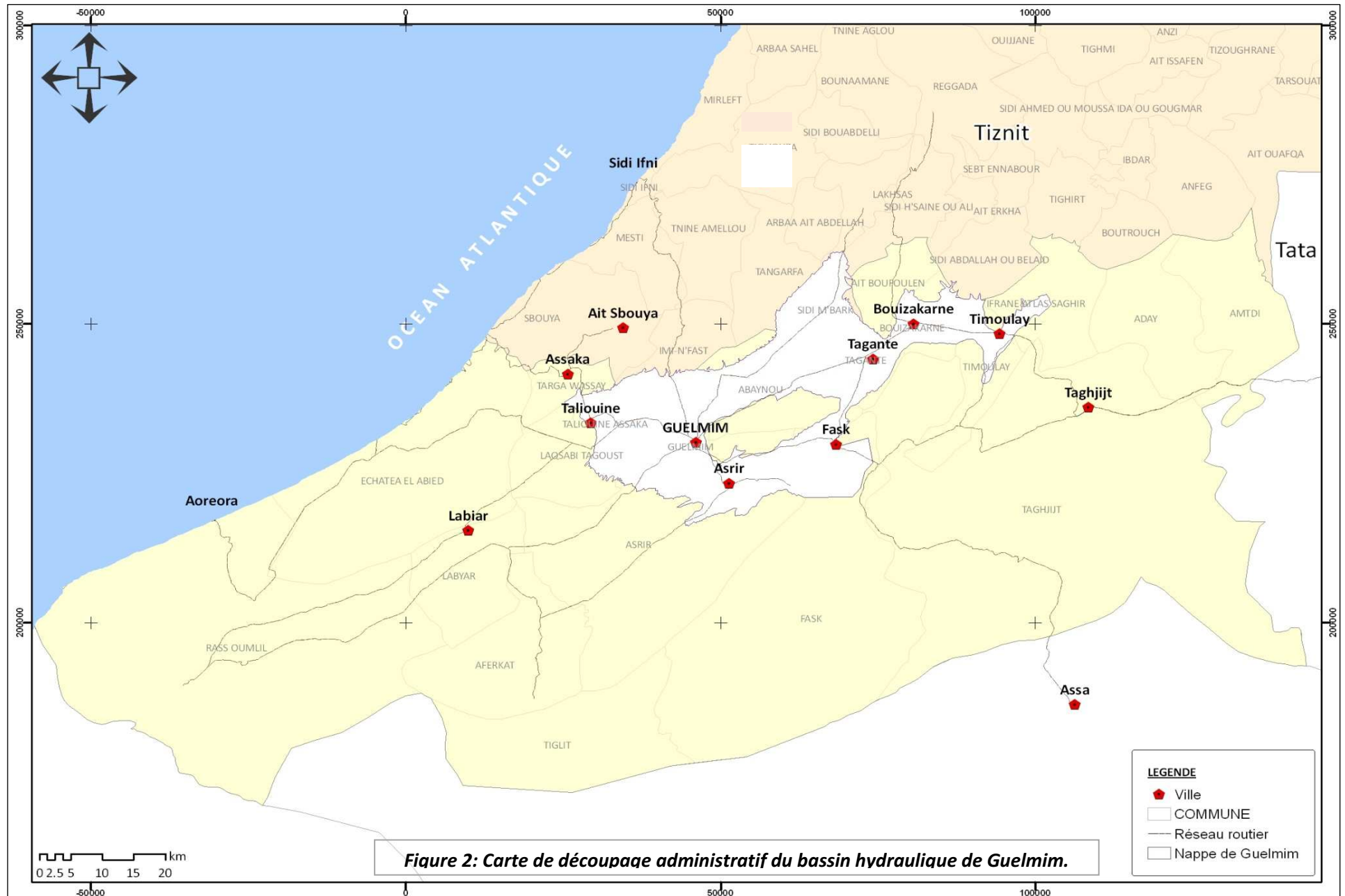




Figure 3: *Situation géographique du bassin hydraulique de Guelmim*

I.2 ASPECT SOCIO-ECONOMIQUE

I.2.1 Population

L'aire de l'étude correspond au Bassin Hydraulique de Guelmim coïncidant avec le territoire de la province de Guelmim, d'une superficie de 10000 km² ; il est situé au sud du Royaume, entre les bassins de Tiznit – Sidi Ifni et Sous Massa au Nord et celui de Draa au Sud et à l'Est.

La population totale de la zone d'étude (Province de Guelmim) s'élevait, en 2004, à 166 685 habitants (soit 0,56 % de la population totale du Royaume), répartis par milieu de résidence comme suit:

- 114 714 habitants en milieu urbain (soit 0,7 % de la population urbaine du Royaume et 69 % de la population totale de la province) ;
- 51 971 habitants en milieu rural (soit 0,39 % de la population rurale du Royaume et 31 % de la population totale de la province) ;

La population des centres urbains de la zone du projet, telle qu'elle ressort des trois derniers Recensements dans le Tableau 1 ci-après :

Tableau 3 : Population des centres urbains, d'après les différents RGPH

Centres	1982	1994	2004	Taux d'accroissement (82-94) (%)	Taux d'accroissement (94-04) (%)
Guelmim	38140	72 563	95 749	5,51	2,81
Bouizakarne	4 746	8 638	11 982	5,12	3,33
Taghijjt	4 500	7 243	6 983	4,05	-0,36
Total centres urbains	47 386	88 444	114 714	5,34	2,63

La population urbaine de la zone d'étude, qui n'était que de 47 400 habitants en 1982, a atteint environ 114 725 habitants en 2004, soit un facteur multiplicatif d'environ 2,5 fois, en l'espace de 22 ans et un TAIM global de 4,11 %;

- ✓ La ville de Guelmim abritait 95 750 habitants en 2004, soit 83,5 % de la population urbaine de la province de Guelmim ;

Tableau 4 : Projection de la population de la zone étudiée jusqu'à l'horizon 2030

Centres	2004	2010	2015	2020	2025	2030
Guelmim	95 749	111 691	125140	140208	154801	170913
Bouizakarne	11 982	14 307	16187	18314	20220	22325
Taghijjt	6 983	7 636	8226	8862	9547	10285
Total centres urbains	114 714	133634	149553	167384	184568	203523

I.2.2 Activités économiques

I.2.2.1 l'agriculture:

La superficie agricole utile dans la province s'élève à plus de 50 000 ha, d'après le RGA de 1996. L'activité agricole est développée en général dans les oasis, les lits des oueds, les founs et les zones d'épandage. L'agriculture dans la zone est dominée par une importante activité pastorale.

La surface agricole totale atteinte est de 50193 ha pour 7 566 exploitations selon le PDAIRE 2005.

D'après le RGA, la superficie totale irriguée pour la campagne du recensement, y compris par les eaux de crue, atteint 28 410 ha, soit 57 % de la SAU.

La production végétale est faible dans la province de Guelmim ; le climat est aride avec la présence des tempêtes de sable, la pluviométrie reste faible.

A la faveur d'une nappe productive et facilement accessible au niveau de la plaine, de sols assez fertiles et d'un climat doux notamment en hiver, de nombreuses exploitations se sont installées dans ladite plaine de Guelmim depuis une quinzaine d'années. Le volume prélevé dans la nappe en 1989 pour irriguer ces fermes était de 5 Mm³ avec une superficie de 500 ha environ. Actuellement et d'après la DPA, cette superficie ne dépasse pas 1 000 ha. La mise en valeur agricole dans ces fermes est orientée vers des productions maraichères.

La production animale reste la principale activité dans la Province. On distingue deux types d'élevage dans la région :

- l'élevage intéressant essentiellement les caprins et les bovins
- l'élevage concernant les camelins, les ovins

L'élevage reste l'activité agricole dominante en raison de ses multiples fonctions de rente (valorisation des ressources pastorales collectives), de trésorerie et d'utilisation à des fins domestiques. Cet élevage tire l'essentiel de son alimentation des parcours.

A côté de cet élevage conduit de façon traditionnelle, l'élevage des bovins s'est développé dans les zones de pompage avec le développement des cultures fourragères : luzerne, mais fourrager. (*Recensement général de l'Agriculture de 1996 (RGA)*)

I.2.2.2 Industrie :

L'activité industrielle à Guelmim reste peu développée ; on recense une minoterie qui emploie 130 personnes et une activité minière très peu développée et se limitant aux gisements d'argile de Taghjijt.

1.2.2.3 Activités Commerciales :

L'activité commerciale reste dominante dans la province de Guelmim, cette région est connue par son important trafic commercial caravanier durant les siècles précédents.

En effet, cette région, a été un carrefour d'échanges commerciaux (route de l'or et du sel) entre le Nord (Marrakech, Fès, Sijilmassa, etc.) et le Sud (l'actuel Sénégal, Mali et le Niger).

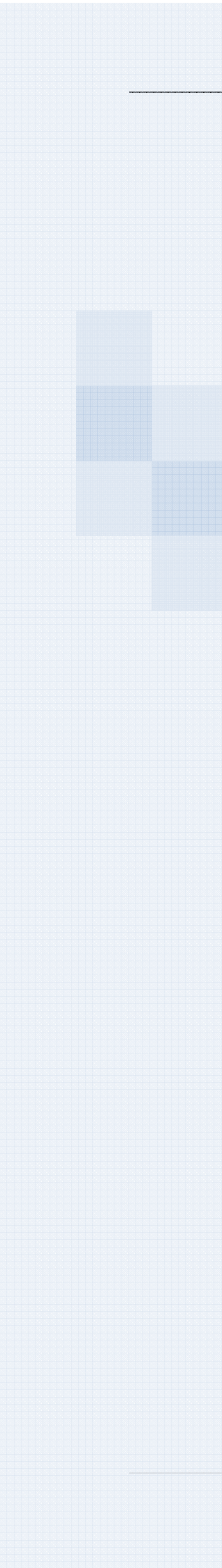
Depuis, le commerce reste une activité importante dans la région, surtout dans le milieu urbain.

L'artisanat reste une activité locale peu développée; la ville de Guelmim qui est une destination touristique a vu se développer un artisanat local ; on y travaille le cuivre, l'argent ainsi que le cuir.

1.2.2.4 Le tourisme

Malgré les potentialités touristiques très importantes de la plaine de Guelmim tels que les plages, les dunes de sable, le soleil, la pêche et autres tels que l'embouchure de l'oued Draâ, la plage Blanche... Le taux de visiteurs reste faible.

En effet, la Province de Guelmim compte un seul hôtel classé, on signale que la Plage Blanche a été retenue comme site pour le développement du tourisme balnéaire (Plan Azur).



CHAPITRE II : CADRE PHYSIQUE

II.1 INTRODUCTION

La zone d'étude est caractérisée par un climat aride, Les vents sont très fréquents provoquant des accumulations de sables

Dans ce chapitre, on aborde l'étude des ressources en eau à l'échelle globale de la région pour donner une idée sur le contexte hydroclimatologique de la région ainsi que le contexte géologique et structural.

II.2 HYDROCLIMATOLOGIE

II.2.1 Climatologie

II.2.1.1 Pluviométrie

L'évolution mensuelle des précipitations montre l'existence de deux saisons pluviométriques distinctes :

- La saison humide, allant de novembre à mars, durant laquelle la région reçoit 70 à 75 % de la pluie annuelle ;
- La saison sèche, allant d'avril à octobre durant laquelle la région reçoit de 25 à 30% de la pluie annuelle. (Fig. 4),

Les précipitations sur la région d'étude présentent une grande variabilité spatiale et temporelle, les pluies enregistrées dans les stations montrent que la saison des pluies s'étale de Novembre jusqu'à Avril en général, avec une moyenne maximale au mois de Décembre (30 mm) La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 120 mm à Guelmim, mais avec une irrégularité très importante variante entre 15 mm et 300 mm. (Fig.5)

A cet effet, des stations réparties au niveau de la plaine ont été choisies de manière à couvrir toute la zone.

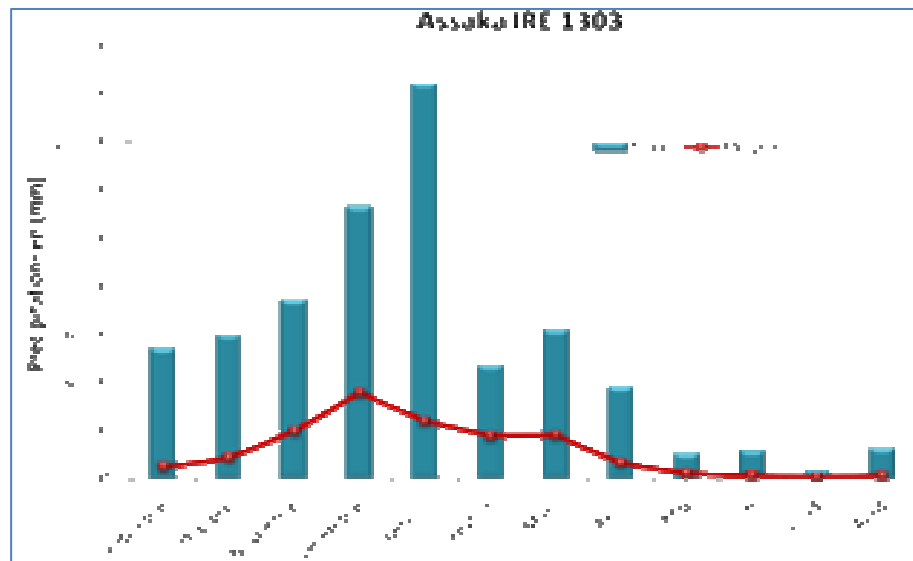
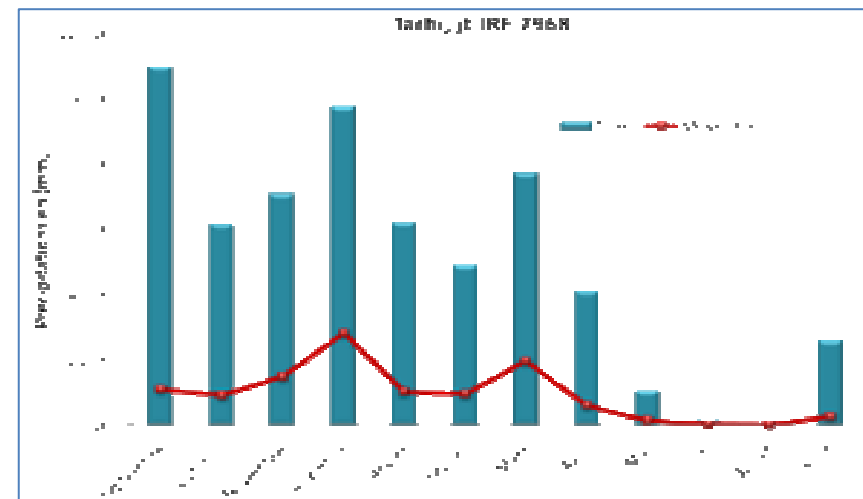
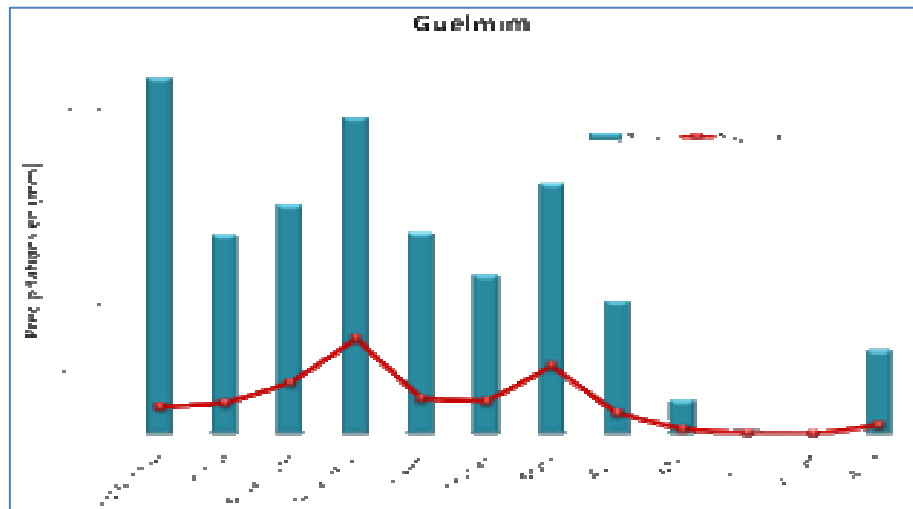


Figure 4 : Précipitation moyenne mensuelle en (mm) sur la période de 1984 à 2005 au niveau du BV.de l'oued assaka

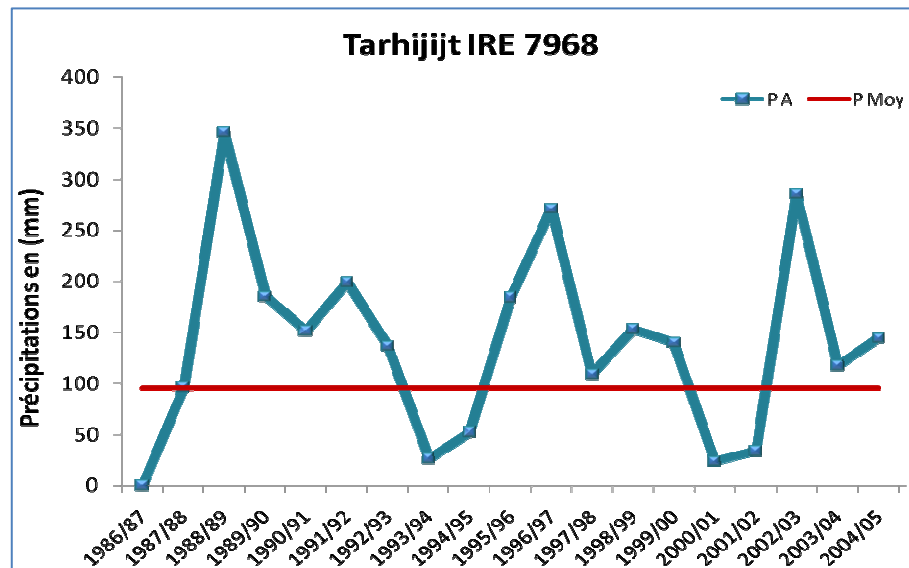
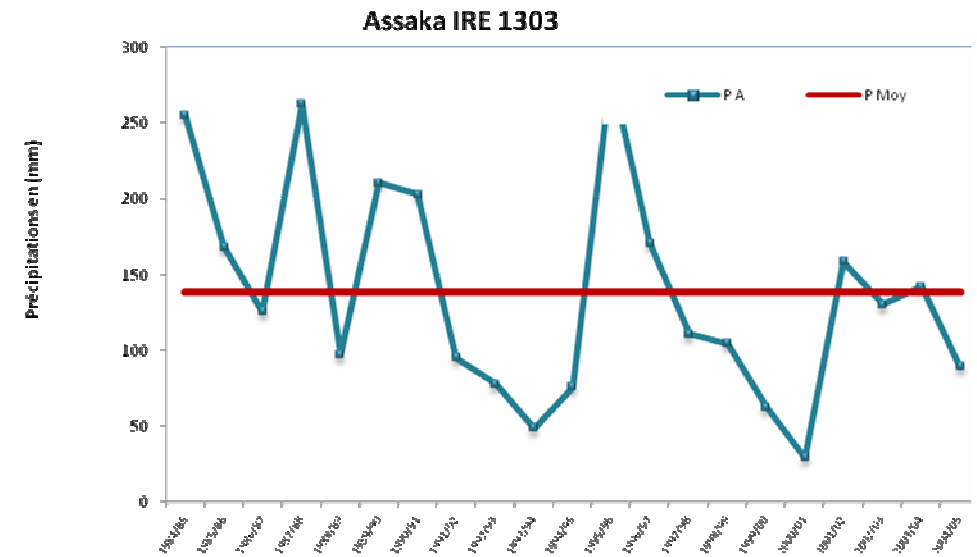
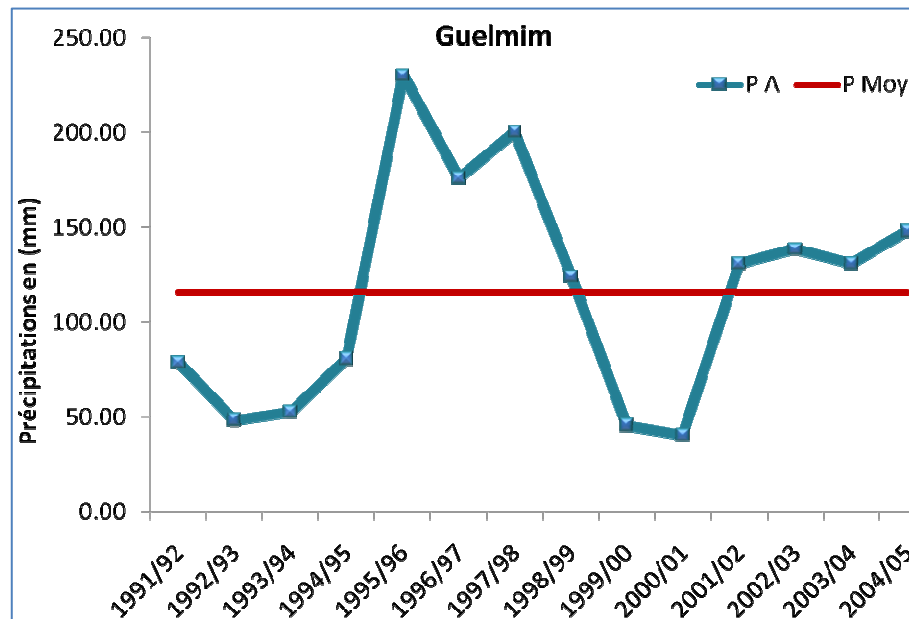


Figure 5 : Précipitation moyenne annuelle en (mm) sur la période de 1984 à 2005 au niveau du BV.de l'oued assaka

II.2.3 Le calcul des pluies moyennes :

Deux méthodes ont été utilisées :

- Méthode arithmétique
- Méthode de Thiessen

a) Méthode arithmétique

Cette méthode consiste à calculer la moyenne arithmétique des précipitations observées dans chaque station.

La moyenne des précipitations annuelles déterminée par cette méthode est de 120mm.

b) Méthode de Thiessen

Cette méthode consiste à attribuer à chaque station pluviométrique une zone d'influence de manière qu'un point quelconque situé dans cette surface soit plus près en distance horizontale de ce poste que des autres.

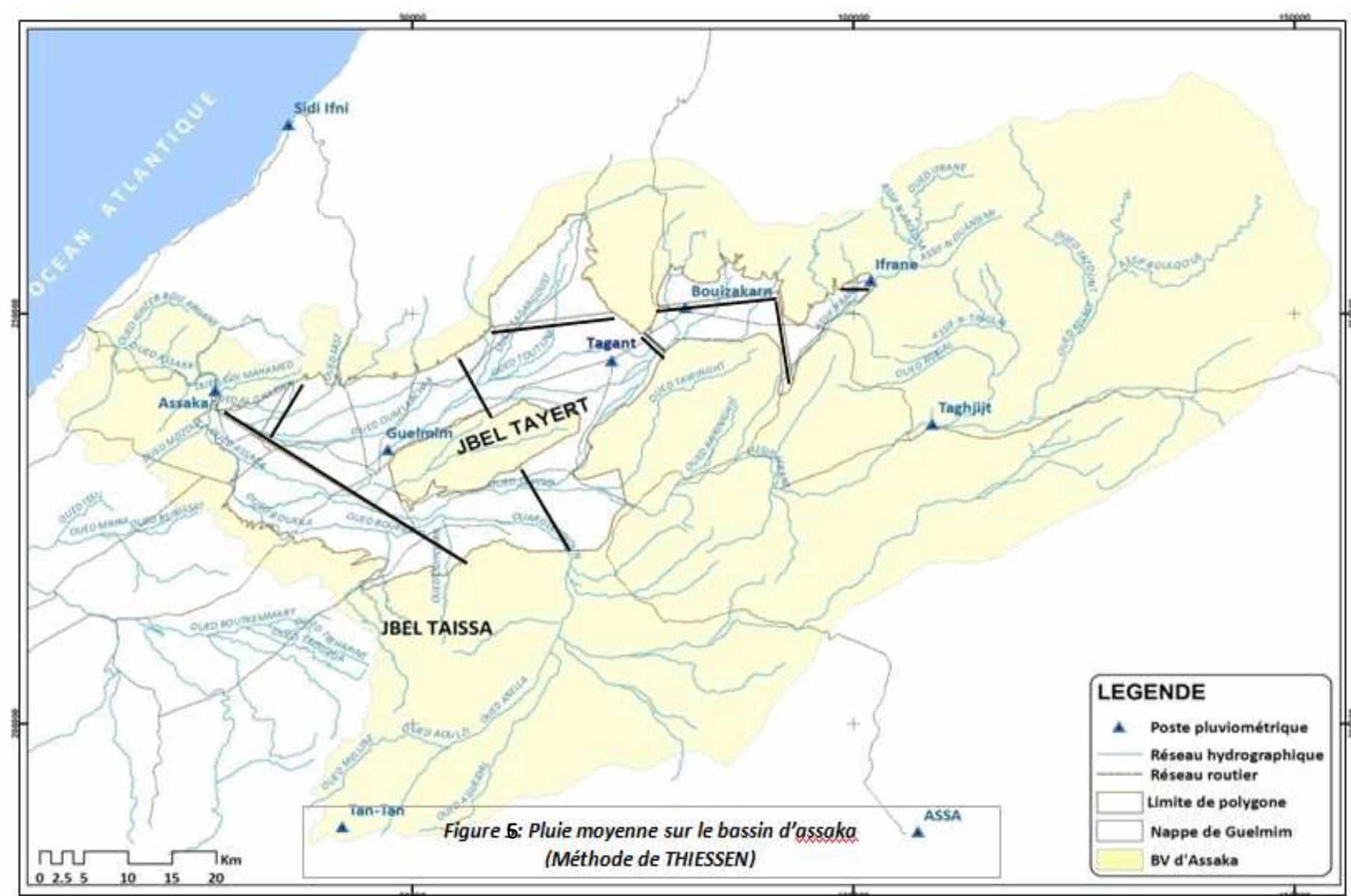
Sur une carte, nous situerons les différentes stations que l'on reliera par des droites dont les médiatrices correspondantes déterminent une surface polygonale autour de chaque poste (fig.6). Le planimétrage de ces polygones permet d'obtenir les résultats reportés dans le tableau 5.

En supposant que la pluviométrie moyenne annuelle à chaque station est uniformément répartie sur le polygone correspondant, la lame d'eau moyenne précipitée sur le bassin est :

$$P_t = \sum P_i S_i / S = V_t / S = 119 \text{ mm}$$

Tableau 5 : Stations hydroclimatologique du bassin de Guelmim

Nom Station	X (m)	Y (m)	Z (m)	Moyen Annuel (mm)	Surface du polygone (Km ²)
Assaka	27700	240600	145	134,1	19.53
Bouizakarne	81000	250700	570	132	80.95
Guelmim	47232	233393	300	116,02	368.6
Tagant	73 000	243000	570	107.5	323
Ifrane	102000	254000	800	127,7	35.94



II.2.3 Température :

L'analyse de la température a été faite au niveau de 3 stations climatiques (Guelmim, Taghjijt et Barrage Youssef Ben Tachefine). Les caractéristiques des séries de ces stations sont comme suit :

Tableau 6 : Caractéristiques des stations climatologiques étudiées

Nom Station	IRE	X (m)	Y (m)	Z (m)	Période
Guelmim	3 960	47 232,2	233 393,7	300	1992-2005
Taghjijt	7972	108 708,2	236 178,2	570	1987 -2005
Youssef Ben Tachefine	8900	104 034,3	323 640,1	110	1968-1998

Le tableau suivant récapitule les statistiques descriptives de la température dans les stations précitées.

Tableau 7 : Statistiques descriptives des variables relatives à la température

Station	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
Guelmim	19.59	3.16	11.96	28.72
Taghjijt	20.03	4.18	10.31	35.25

La moyenne mensuelle de maxima atteint 35 à 36°C en Juillet-Août, avec des pointes dépassant 38°C. Les minima descendent à 11° en Janvier-Février, parfois jusqu'à 7°. La saison chaude pendant laquelle les maxima dépassent 28° dure cinq mois (Juin-Octobre).

L'amplitude thermique est en moyenne de 12°. Sur les reliefs, les températures peuvent descendre en dessous de 0°C en hiver, et dépassent les 40°C en été.

Les données des températures à Guelmim sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 8 : Températures moyennes à Guelmim de 1992 à 2005 (Source : DPA Guelmim)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temp.moy.max	20,83	22,56	25,07	25,16	26,42	29,09	32,26	33,34	30,84	28,68	24,75	21,57
Temp.moy.min	8,65	9,73	11,87	12,66	14,32	16,12	17,70	18,22	16,95	15,48	11,97	9,82
Temp.moy	14.7	16.3	17.8	18.5	19.4	21.2	24.3	24.0	23.0	21.0	18.4	15.5

Malgré sa proximité de l'océan atlantique, la région de Guelmim est l'une des régions les plus chaudes du Maroc. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 19,6°C sur tout le bassin versant de Guelmim. La température moyenne et l'écart thermique augmentent notablement du Nord-Ouest vers le Sud-Ouest, compte tenu de la diminution de l'influence océanique.

II.2.4 Evaporation :

Les résultats d'évaluation de l'ETP pour les trois stations: Guelmim, Taghijit et BYBT, sont présentées dans le tableau suivant. Les séries s'étendent de 1975 à 2005.

Tableau 9 : Statistiques descriptives des variables relatives à l'évapotranspiration de 1975 à 2005

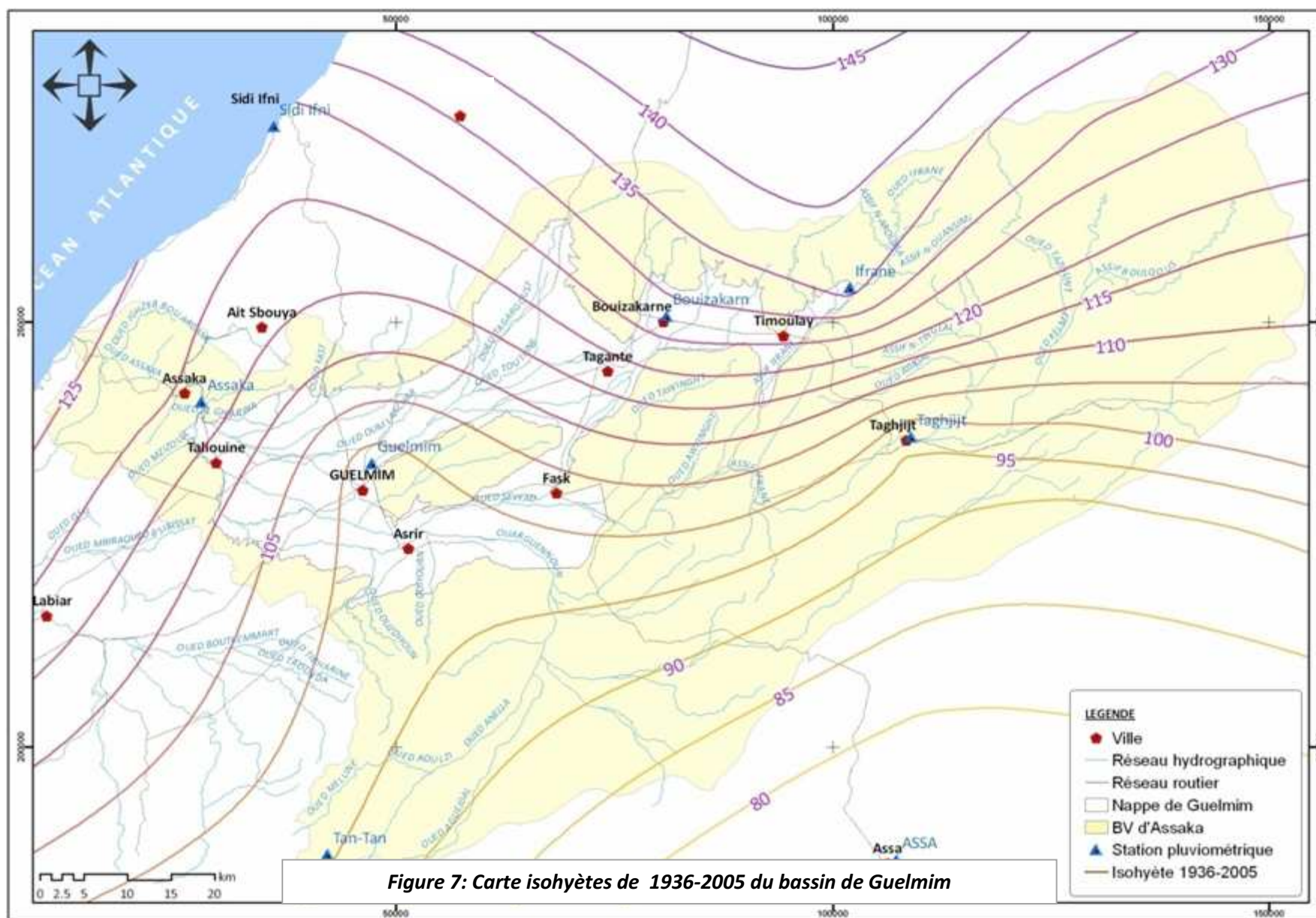
Station	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
BYBT	1765	95	1378	1935
Guelmim	1506	92	1176	1731
Taghijit	1582	132	1195	2051

L'évaporation est très importante dans la région ; l'évaporation moyenne mesurée au bac à la station Taghijit est de 3165 mm/an et au Piche est de 3630 mm/an. Et pour la station de Guelmim, l'évaporation au pic est de 1945 mm/an. L'évaporation annuelle sur toute la zone de Guelmim est estimée à 2505 mm/an.

II.2.5 Vents

Les vitesses du vent et le taux d'humidité relative mesurés à la station de Tarhijit 1987/1998 varient respectivement de 1,42 à 4,70 m/s et de 25 à 63%. La région connaît régulièrement de violentes tempêtes de sable.

Les vents dominants sont de secteurs du NORD-OUEST et de l'OUEST (origine océanique) ,ils sont doux et humides .pendant l'été ,un vent chaud et sec (chergui) souffle des secteurs EST et SUD-EST (Agoussine, 1993).



II.3 HYDROLOGIE

Le réseau hydrographique y est constitué de 4 principaux oueds (figure 8) :

- Oued Oum Laachar prend naissance à partir du nord anti atlasique (versant sud du massif des Akhsas), sa longueur est de 62 Km avec un bassin de 930 km². Ses principaux affluents sont situés en plaine. Les crues sont dérivées en rive droite par le barrage Oum Laachar situé en amont avec l'Oued Sayed,
- Oued Seyad prend naissance sur les versants sud de l'Anti-Atlas, il coule en direction Est-Ouest sur toute sa longueur et reçoit de nombreux affluents au niveau de sa rive droite dont les plus importants sont : Kelmt, Tanzirt, Taouimarht, Ifrane, Ben Rhezrou et Oum Aachar ; la superficie de son bassin versant est de 3 175 km² avec une longueur de 147 km. Les barrages implantés pour dériver les eaux de crue au niveau de cet oued sont : Ait Ahmed, Ait Messaoud, Ait M'Hand, Oum Aghanim et Ouaroun,
- Oued Ouerg Noun draine la zone sud de l'Anti Atlas, la superficie de son bassin versant est de 2240 km² pour une longueur de 143 Km et son bassin versant totalise 2 240 km². Ses affluents sont oued N'Mait, Taiddan, Annella, Tizgui.
- Oued Assaka prend départ au niveau de la zone côtière à partir de la confluence de trois oueds : Oum El Achar, Sayed et Ouergnoun, drainant une superficie de 6500 km². Les apports calculés au niveau de l'oued Assaka sont de 62 Mm³/an. » (Résing, 2006)

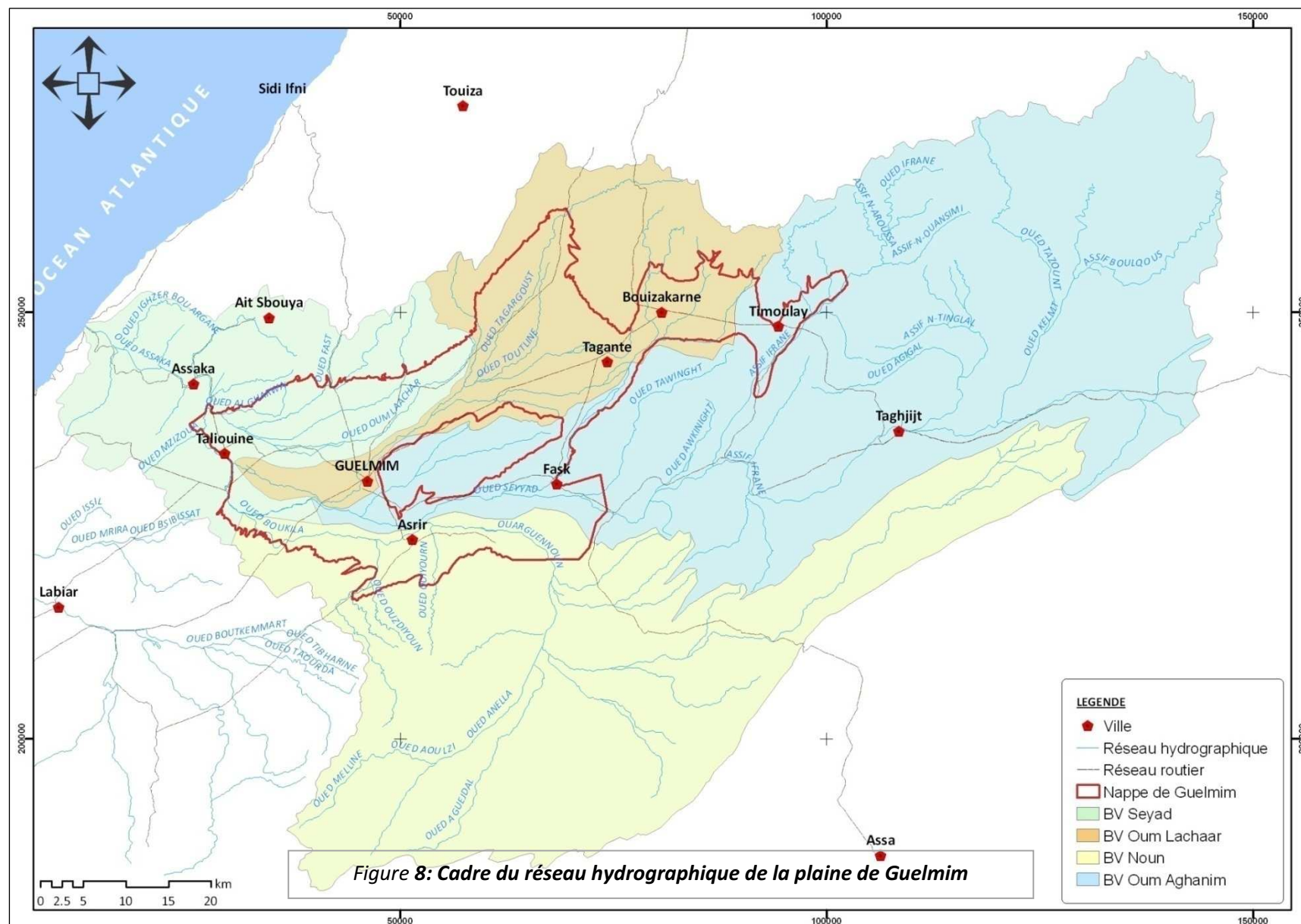
A l'exception des écoulements engendrés par les précipitations limitées dans le temps et en intensité, les eaux de surface sont rares. La qualité des ressources en eau de surface dépend de la nature des terrains traversés et de la durée de contact de l'eau avec les terrains.

Ces cours d'eau sont non pérennes et la plupart du temps asséchés. Pendant la période allant de Décembre à Mars, leur lit permet le transport des eaux de crues.

Tableau 10 : Evaluation des apports moyens annuels

Bassins partiels	Superficie (km ²)	Apports moyens (Mm ³)
Oued Seyad jusqu'à Tarhijjt	1 400	14
De Tarhijjt à Fask	1 060	11
De Fask à Guelmim	460	5
De Oum El Achar à Taghant	280	3
De Taghant à Guelmim	650	7
Oued Ouergnoun	1 740	13
Bassin complémentaire jusqu'à Assaka	910	9
Total	6 500	62

Source : Plan directeur d'aménagement des eaux des bassins sud atlasiques



II.4 GEOLOGIE

II.4.1 Introduction

La plaine de Guelmim résulte de l'érosion intense qu'ont subi les formations anti-atlasique dans la terminaison sud-ouest de la chaîne, puis du remplissage plio-quaternaire de cette importante dépression.

La chaîne de l'Anti-Atlas est considérée comme des montagnes renfermant des terrains les plus anciens du Maroc . ils sont constitués d'un matériel ancien d'âge paléozoïque inférieur au précambrien .ces formation apparaissent en boutonnières qui correspondent à des bombements du socle cristallin (boutonnières d'Ifni ,du bas daraa , de Kerdous etc ...).

Dans ce chapitre, après avoir décrit l'histoire géologique de la région , nous nous limiterons à l'identification des rôles hydrogéologique que ces formations peuvent jouer .

II.4.2 Structure de la zone d'étude

La structure de la région est sous forme d'un synclinal entouré au Nord, à l'Ouest et au Sud par trois boutonnières anticlinales qui sont Kerdous, Ifni et Jbel Guir. Le cœur du synclinal est représenté par les affleurements de l'Acadien supérieur formé généralement de schistes et dont la partie terminale est constituée de barres quartzitiques qui apparaissent au centre de la plaine au niveau du Jbel Tayert. Les schistes de l'Acadien supérieurs surmontent les calcaires du Géorgien, qui reposent à leur tour sur les terrains anciens du Précambrien. Les schistes qui constituent ainsi, le substratum des dépôts plioquaternaires, affleurent au niveau des bordures de la plaine de Guelmim où apparaissent aussi les terrains les plus anciens.

Au niveau de la plaine, les dépôts Plioquaternaires masquent le substratum schisteux de l'Acadien. (GEOATLAS, 1997)

II.4.3 Lithostratigraphie

Dans la zone d'étude, les formations lithologiques sont orientées suivant une direction NE-SW et présentent une structure synclinale dont le centre est constitué par le Jbel Tayert. Les formations primaires les plus récentes datées de l'Acadien occupent le centre de la plaine (Jbel Tayert) et les plus anciennes d'âge Précambrien affleurent au niveau des bordures (boutonnières d'Ifni, Kerdous, Jbel Taïssa...)

➤ ***Lithostratigraphie de la zone d'étude « Bassin de Guelmim »***

A- Zone du socle

a- Précambrien

Il est constitué de formations rhyolitiques, andésitiques et basaltiques témoignant d'une activité volcanique importante dans le massif d'Ifni. Ces formations sont les plus anciennes et affleurent dans les boutonnières d'Ifni et de Kerdous ainsi qu'au niveau de Jbel Taïssa. Toutes les couches de ces formations sont compactes dans leur masse, mais présentent des fissurations superficielles importantes et des zones d'altération ou d'accumulation détritique.

b- Infracambrien

➤ **Série de base**

Les formations cristallines du Précambrien sont transgressées par des conglomérats grossiers à éléments éruptifs surmontés eux même par la série schisteuse de base épaisse d'une centaine de mètres. Ces conglomérats de base attribués à l'Adoudounien inférieur affleurent particulièrement le long de la route de Guelmim-Ifni et au nord d'Abaynou à l'entrée du village de Tagounfil, où leur épaisseur dépasse 100 m.

➤ **Calcaires « Inférieurs »**

Cette série, d'âge Adoudounien inférieur, est formée essentiellement par des calcaires dolomitiques et dolomies avec quelques intercalations schisteuses à la base. La puissance de la série varie entre 3000 m aux Akhsas et 1000 m à l'est, où les intercalations schisteuses de base disparaissent.

Il s'agit de bancs métriques formant des montagnes à reliefs mous entourant la boutonnière d'Ifni. Ces faciès s'observent bien le long de la piste menant d'Abaynou à Tagounfil.

➤ **Série lie de vin**

Elle est de nature calcaire à l'ouest d'Akhsas et schisto-calcaire et argileuse vers l'est et le Sud. La puissance de la série est de 600 m à l'ouest et diminue vers l'Est et le Sud. Cette série est décrite dans cette région comme des dolomies à intercalations schisteuses, attribué au Talwinien et constituant une zone tendre dans la géomorphologie.

➤ **Géorgien**

La série infracambrienne se poursuit sans discontinuité lithologique dans le Cambrien inférieur et la limite stratigraphique est donc difficile à préciser. La série est connue sous le nom de calcaires supérieurs.

Dans la partie supérieure, à l'entrée de la gorge empruntée par la route Guelmim-Ifni, on observe des bancs épais de calcaires noirs. La série présenterait au total une épaisseur de 400 à 500 m au sud d'Abaynou. Cette unité se distingue par des reliefs plus accentués, avec une couleur claire caractéristique sur les images satellites.

Le Géorgien se termine par une série schisto-calcaire avec des niveaux de schistes (parfois bien développés) et des grès au nord de la plaine de Guelmim et surtout dans la plaine d'Asrir au sud (Jbel Taïssa). Les grès terminaux ou grès d'Asrir, recouvrent cette unité. Ils affleurent bien sur le flanc sud du synclinal de Guelmim.

➤ **Acadien**

La série acadienne comprend deux termes principaux :

- A la base, les schistes verts ou schistes de Féijas internes constituant le substratum de la plaine. Ce sont les schistes à Paradoxidès qui apparaissent très localement, sur la route menant vers la plage blanche où à la faveur des petites collines jalonnant souvent les accidents tectoniques dans la plaine de Guelmim.
La puissance de cette série a été estimée par Dijon et al (1986) entre 500 et 1000 m. Selon l'étude de sismique réflexion (GéoAtlas, 1997), cette formation atteint 2500 m d'épaisseur à Guelmim.
- Au sommet, on trouve des grès et quartzites qui affleurent au niveau du Jbel Tayert. Cette unité est dénommée barre de Guelmim.

B- Terrains plioquaternaires de Guelmim

La stratigraphie des formations Plioquaternaires de la plaine de Guelmim est analysée grâce aux résultats des différentes campagnes de forages et de géophysique.

La structure générale du bassin de Guelmim est constituée de la succession lithologique suivante de bas en haut :

- un niveau argileux et argilo-sableux, comportant parfois des traces d'alluvions très perméables ;
- deux niveaux se présentent le plus souvent en alternance :
 - un niveau calcaire plus ou moins marneux, quelquefois encroûté en surface;
 - Un niveau marneux, marno-argileux ou marno-calcaire mais à forte teneur en marnes, remplacé par un horizon de marnes sableuses dans la région de Bouizakarène;
- un niveau constitué de formations récentes peu épaisses comportant des alluvions polygéniques, des limons d'épandage, des galets et des sables hétérogènes.

Ces différents niveaux lithologiques présentent tous d'importantes variations d'épaisseur qui varie entre 10 et 90 m et sont parfois totalement absents, comme c'est le cas de la bordure N-E de la plaine.

La carte de la lithologie montre que le Plioquaternaire est représenté par des regs et éboulis aux pieds des reliefs, des alluvions autour des oueds, des affleurements de calcaires lacustres encroûtés en surface dans la zone d'Andja et Bouizakarène et des limons salins localisés en amont d'Ouerguenoun. Le reste de la plaine est couvert de limons d'épandage.

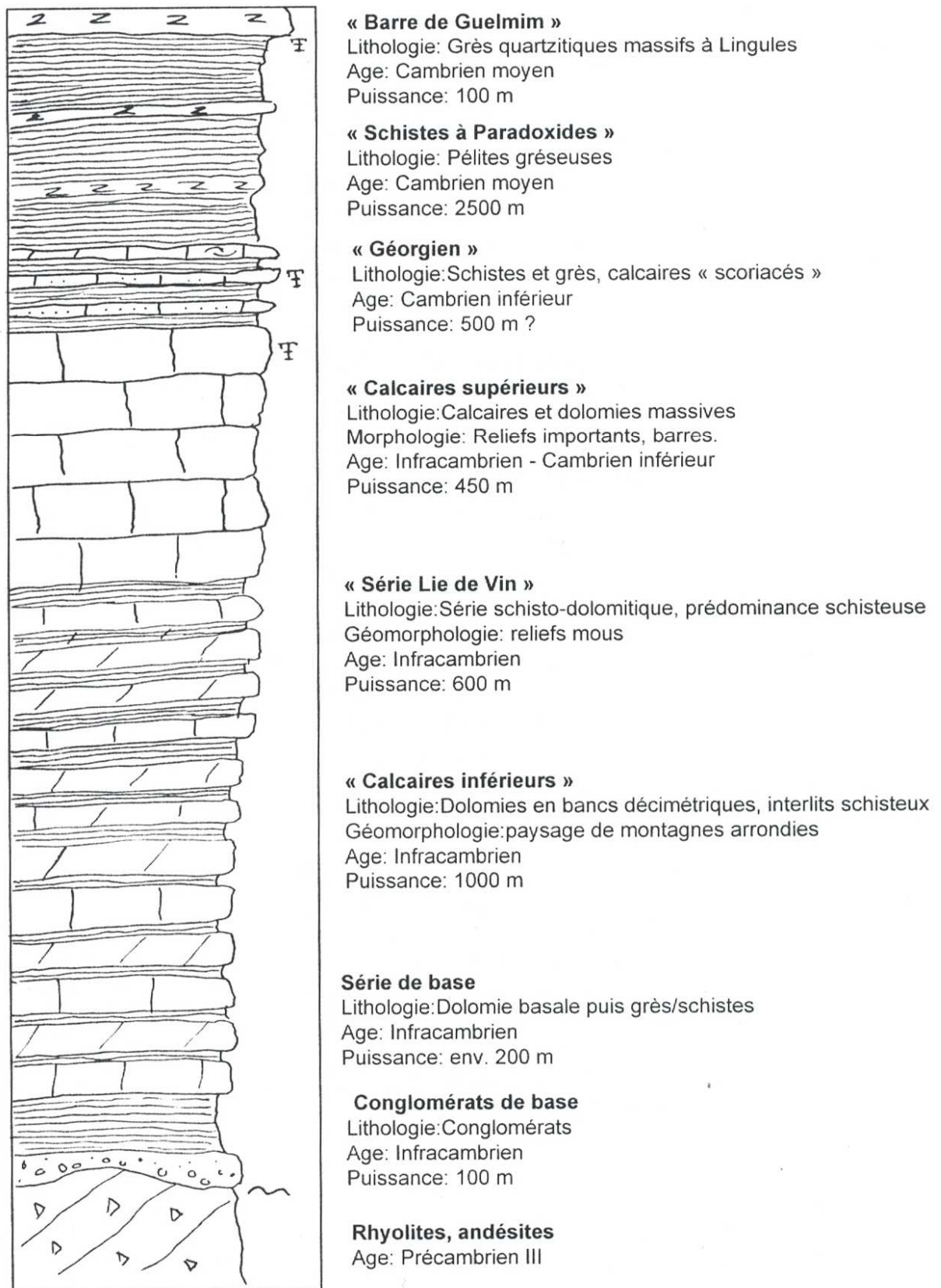
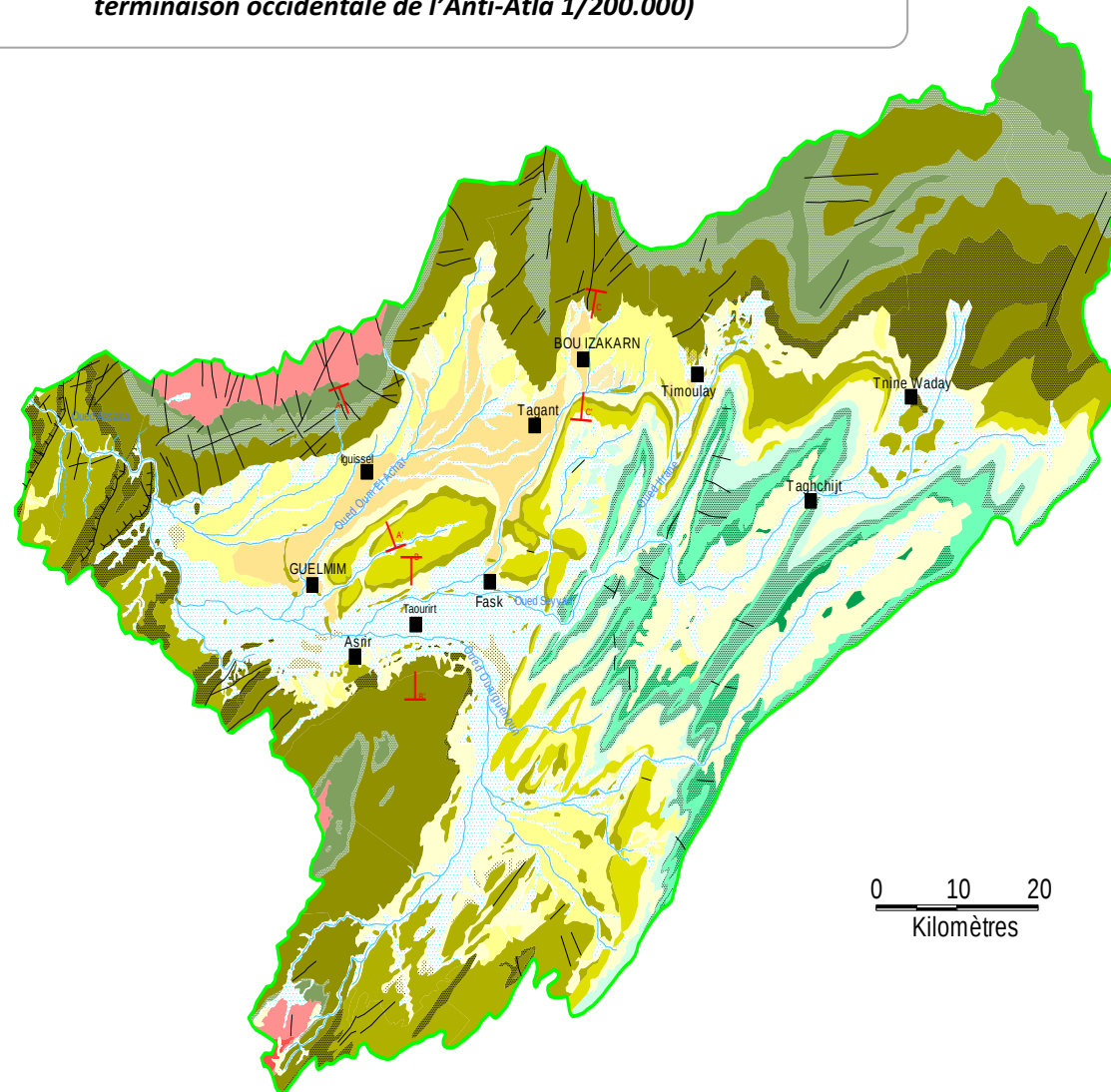


Figure 9 : Colonne litho-stratigraphique schématisée du bassin de Guelmim (Oliva ,1972)

Figure 10: Carte géologique simplifiée (d'après la carte géologique de la terminaison occidentale de l'Anti-Atla 1/200.000)



LEGENDE

QUATERNAIRE

- Quat récent
- qr : Alluvions , limons (terrasses)
 - D : Sables des dunes
 - tuf : Tuf, calcaire lacustre
- Quat moyen
- qm : Limons, conglomérats, éboulis (regs, cônes de déjection)
- Quat ancien
- qa : Conglomérats (regs, cônes de déjection)

TERTIAIRE

- Plio-Quaternaire
- pq : Calcaires lacustres

PRIMAIRE

- Silurien
- s : Schistes argileux à niveaux grés-calcaires
- Ordovicien sup
- o4 : Grès, quartzites du 2ème Bani
 - o3 : Schistes des Kiaoua
- Ordovicien inf
- o2 : Quartzites du 1er Bani
 - o1 : Schistes des Fezouata
- Cambrien moy
- km2 : Grès
 - km1 : Schistes
- Cambrien inf
- ki2 : Grès
 - ki1 : Calcaires dolomitiques
- } **Acadien**

PRECAMBRIEN

- Taliwinien
- tw : Calcaires à intercalations péliques
- Adoudounien
- Ad : Dolomies
- Précambrien III
- xli : Schistes, grès, conglomérats, quartzites
- Précambrien II
- xi : Migmatites, micschistes, gneiss

Signes structuraux

- Faille
- Chevauchement
- Coupe géologique

II.4.4 Travaux de reconnaissances de la structure profonde du bassin de Guelmim

La reconnaissance de la structure profonde du substratum sous les dépôts Plioquaternaires, a pu être analysée essentiellement sur la base des travaux de géophysiques et de forages de reconnaissances profonds réalisés dans la zone du bassin de Guelmim.

- Les travaux de géophysiques réalisés dans le bassin de Guelmim ont consisté en :
 - deux campagnes gravimétriques (CAG) de 1963-1992 ;
 - Une campagne géoélectrique (GéoAtlas) en 1994 ;
 - Une étude de sismique réflexion, haute résolution (GéoAtlas) en 1997.

Ces études ont permis d'améliorer les connaissances sur la structure profonde de ce bassin.

II.4.4.1 Gravimétrie

Elle a été réalisée en février 1992, et a pour but de mettre en évidence les variations majeures de la structure du socle ou des bassins sédimentaires et de rechercher les secteurs possédant un fort potentiel de fracturation.

Cette étude a permis de mettre en évidence un certain nombre d'anomalies et de linéaments gravimétriques dont l'interprétation proposée est basée sur la géologie de surface.

II.4.4.2 Etudes géoélectriques

Une première campagne de prospection électrique a été réalisée dans la région en 1963 par la CAG dans l'objectif de déterminer l'allure et la composition du substratum imperméable. Comme certains résultats se sont avérés inexacts lors des campagnes récentes des forages, un deuxième essai de cartographie du toit de substratum résistant a été réalisé par Géoatlas en Juin 1994, en employant une densité plus importante par sondages électriques.

Cette campagne avait pour objectif entre autres de déterminer la géométrie du toit d'une formation résistante, attribuée en grande partie aux schistes acadiens, constituant le substratum imperméable des formations plio-quaternaires aquifères. En effet, les forages de reconnaissance qui ont atteint le substratum résistant montrent que ce dernier est d'âge géorgien dans la zone d'Andja (schisto-calcaires et schistes gréseux) et Acadien (schisteux) partout ailleurs sous la plaine de Guelmim.

II.4.4.3 Etude par sismique réflexion haute résolution de la plaine de Guelmim

La campagne de prospection sismique haute résolution a été réalisée en novembre 1998. Elle visait la reconnaissance de la structure des calcaires adoudouniens et géorgiens recouverts par les schistes géorgiens et acadiens ; ainsi que la localisation des failles pouvant les affecter.

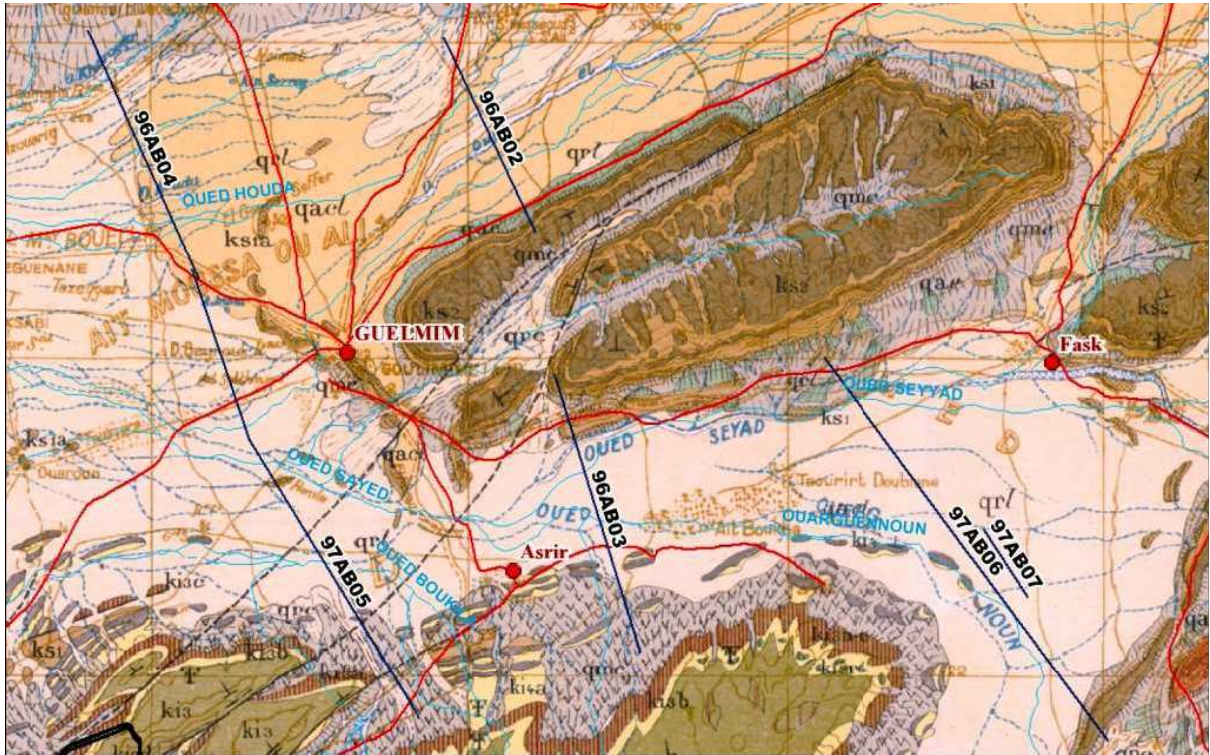


Figure 11 : Plan de situation des profils sismiques "Etude sismique réflexion 1998"

➤ Structure profonde des formations du substratum

- Interprétation des coupes sismiques

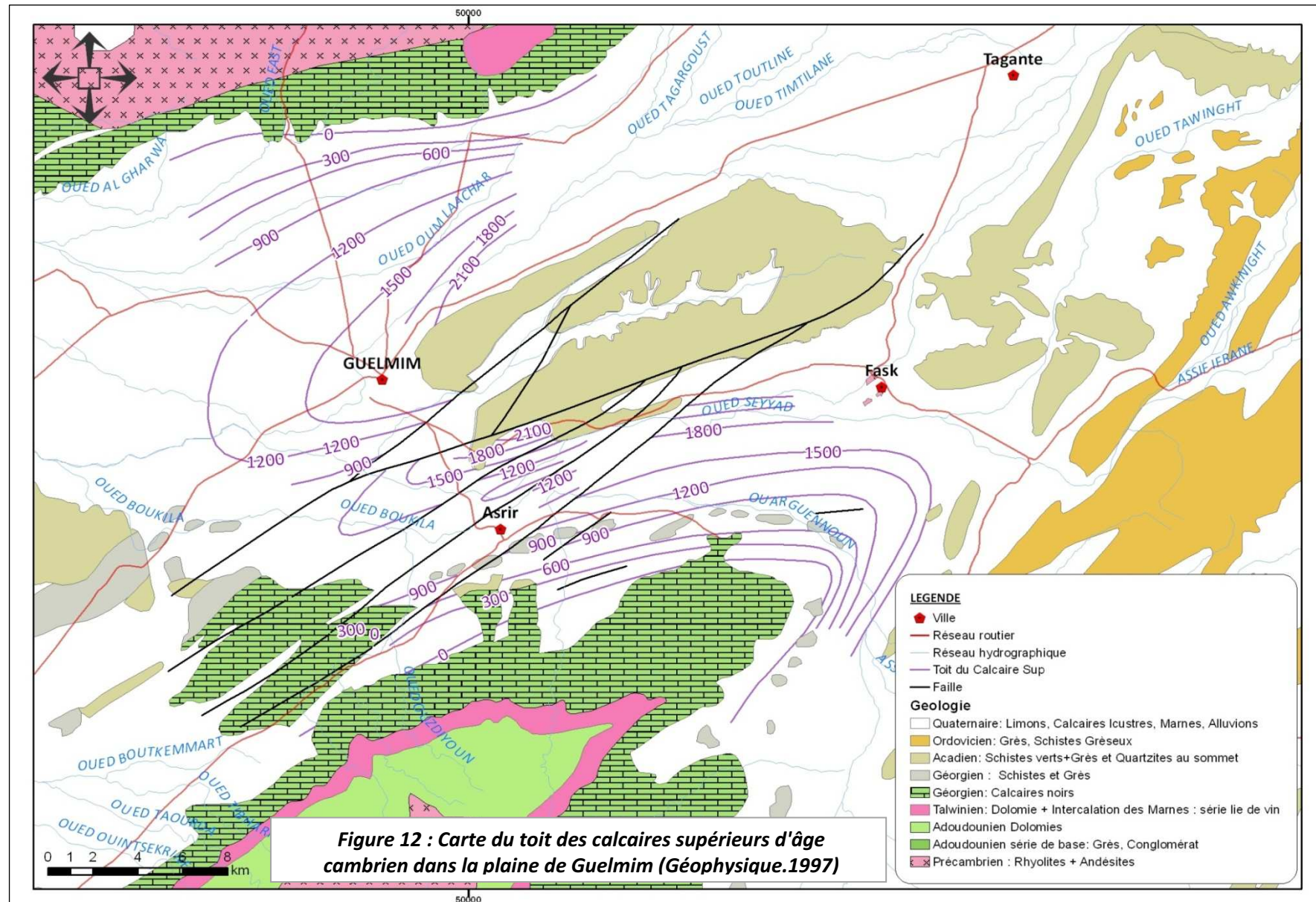
Sur la base de ces coupes sismiques, la structure synclinale du bassin de Guelmim a été confirmée, dont le centre coïncide avec le Jbel Tayert. L'axe de ce synclinal, passe sous la ville de Guelmim ; il est d'orientation ENE-WSW. La puissance de la série cambrienne et infracambrienne est estimée à 1500 m ; le toit des calcaires adoudouniens serait ainsi situé, à plus de 2000 m de profondeur par rapport au sol.

La fracturation est également mise en évidence par cette étude, où un système de failles affecte les formations calcaires du Géorgien entre les Jbels Tayert et Taïssa et où des écailles chevauchantes vers le Sud (dont l'axe semble être de direction NE-SW) apparaissent nettement.

- **Toit des calcaires supérieurs**

Les profils sismiques réalisés ont servi à l'élaboration de la carte de la profondeur/sol du toit des calcaires supérieurs du Géorgien. L'analyse de cette carte montre l'approfondissement de cette série calcaire depuis, la bordure de l'Anti-Atlas d'Abaynou au Nord jusqu'au Sud du bassin de Guelmim. En effet :

- avec un pendage de 25 à 35° vers le Sud, les calcaires géorgiens sont situés à plus de 2000 m au dessous de la ville Guelmim et à quelques centaines de mètres seulement au dessous de la voûte anticlinale de Jbel Taïssa.
- entre les Jbel Tayert et Jbel Taïssa, ces calcaires sont très tectonisés, avec cependant une absence de failles remontant jusqu'à la base des schistes acadiens. Seuls les calcaires en bordure nord de la plaine, où l'épaisseur des formations schisteuses sus-jacentes n'est pas importante, permettent un contact avec les formations du Plioquaternaire.



II.4.5 Synthèse géologique dans la région de Guelmim

Les données sur la géologie ont permis d'améliorer les connaissances sur la structure profonde du bassin de Guelmim.

En effet, il s'agit d'un synclinorium, dont le centre est représenté par le Jbel Tayert. Ce dernier est couronné par les barres quartzitiques (ou «barres de Guelmim») qui constituent le membre terminal de l'Acadien. Les terrains de part et d'autre de ces reliefs sont constitués par les dépôts de couverture du Plioquaternaire qui surmonte les schistes acadiens du substratum.

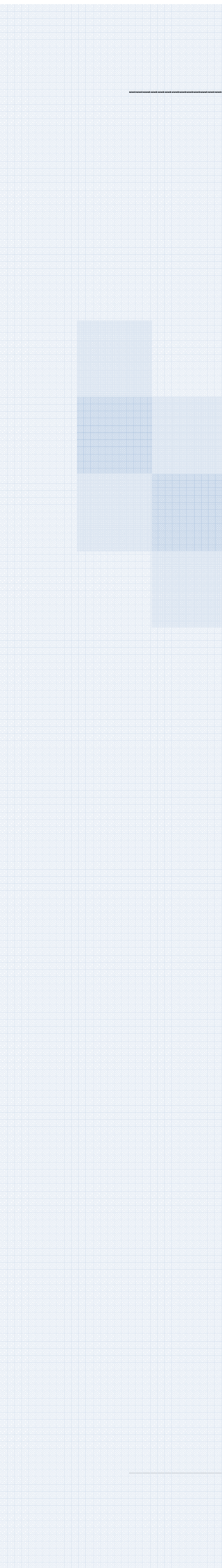
Les bordures de la plaine sont constituées par des terrains plus anciens qui correspondent à des cœurs d'anticlinaux qui font remonter le Précambrien du côté des boutonnières d'El Kerdous au NE et d'Ifni au NW et au niveau des Jbels Taïssa et Guir au SW. Au SE, affleurent des terrains plus récents datés de l'Ordovicien, correspondant au flanc SE de l'anticlinal, dont le cœur serait situé dans l'axe de Jbel Taïssa.

Concernant la déformation cassante, les failles détectées par la géophysique, montrent qu'elles n'affectent que les calcaires de l'Infracambrien (Adoudounien) et du Géorgien. Sans atteindre les schistes de l'Acadien.

L'absence des failles dans les schistes acadiens qui sont situés entre les calcaires du Géorgien et les dépôts du Plioquaternaire empêche toute communication entre ces deux niveaux à capacité aquifère importante. Toutefois, dans les zones de bordure de la plaine, ces dépôts sont en contact direct avec les calcaires du Géorgien ; cela suppose leur alimentation éventuelle à partir de ces calcaires en ces endroits.

Quant aux dépôts plioquaternaires, leur importance a été mise en évidence essentiellement sur la base de l'analyse des résultats des forages réalisés. Ces dépôts peuvent atteindre une centaine de mètres de puissance. Les formations dominantes du plioquaternaire sont constituées principalement de calcaires lacustres (notamment dans la partie nord de la plaine), de marno-calcaires et des marnes sableuses qui dominent la partie sud du bassin.

L'examen des coupes lithologiques des forages et des sondages de reconnaissance, réalisés dans cette zone a révélé que seulement quelques forages atteignent le substratum et sont situés essentiellement au niveau des bordures de la plaine de Guelmim (forages n°IRE 652/88, 961/88, 966/88 au nord et 578/88, 1330 et 854/88 au sud).



CHAPITRE III : HYDROGEOLOGIE

III.1 INTRODUCTION

Le bassin hydrogéologique de Guelmim renferme deux principaux aquifères superposés d'importance très variable :

- Nappes phréatiques
- Nappes profondes

Dans la présente étude, on va s'intéresser uniquement à l'hydrogéologie de la nappe phréatique, ceci est dicté par le niveau de reconnaissance de la nappe à travers beaucoup de données (géophysique, travaux de reconnaissances, forages d'exploitation,...), par contre il y a une méconnaissance des nappes profondes dans la zone d'étude suite à la rareté des données.

III.2 DESCRIPTION DES AQUIFERES

III.2.1 Nappes profondes

Ce sont des nappes qui sont associées aux formations cambriennes :

III.2.1.1 Nappe « Adoudounienne »

Elle circule dans des formations carbonatées (calcaires dolomitiques et dolomies). Leur épaisseur est très importante, dépassant 1000 m.

Ces formations affleurent au nord de la plaine au niveau du plateau de Lakhssas et au sud au droit du Jbel Guir.

L'eau circule aussi dans des fissures et fractures affectant les calcaires et dolomies.

Cette nappe est surmontée par une formation schisto-calcaire (série « Lie de Vin »), constituant son toit quasi- étanche.

La source d'Abaynou est une émergence de cette nappe adoudounienne apparaissant au niveau de la limite nord du bassin de Guelmim (figure 13). Les eaux de cette source se présentent avec une température de 38°C et un faciès sulfato-calcique. Son origine est profonde et apparaît probablement au niveau d'une faille affectant les calcaires géorgiens à l'W de Ouggoug. Son débit mesuré en 1984 est de 8.1 l/s.

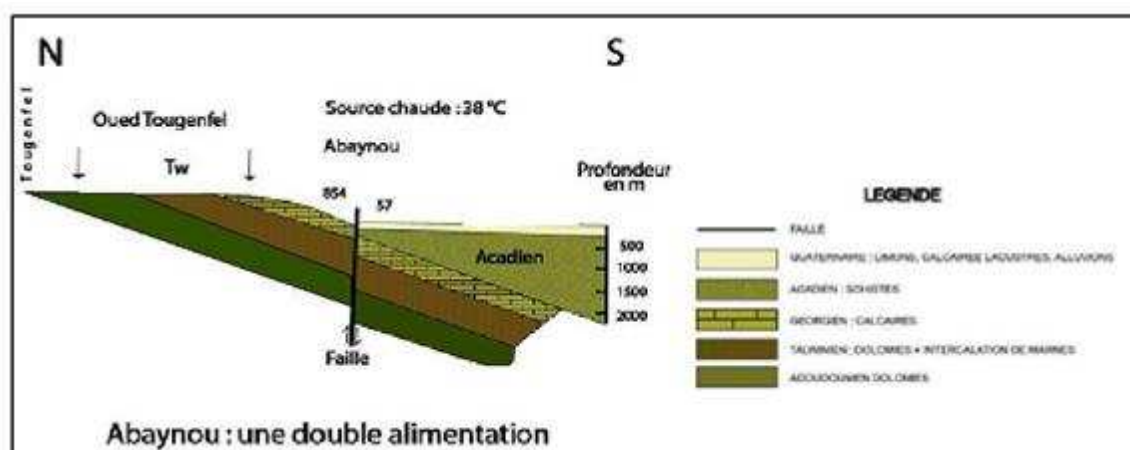


Figure 13: Coupe schématique illustrant l'origine profonde de la source d'Abaynou

Les forages du tableau ci-dessous ont atteint les calcaires et dolomies de l'Adoudounien au niveau de la limite nord (N° IRE 578/88 et 854/88) et sud (N° IRE 1330/88) du bassin de Guelmim. Leur productivité est faible, de quelques l/s.

Tableau 11 : Caractéristiques des forages ayant atteint les calcaires de l'Adoudounien sous la plaine de Guelmim (PDAIRE, 2009)

N°IRE	X	Y	Z	PT (m)	NP (m)	Débit (l/s)	Profondeur/sol du toit des calcaires (m)	Date
578/88	43 600	241 900	360	80	-	-	51	1982
854/88	50 200	242 350	450	53	12,93	7,0	27	1984
1330/88	67 060	222 150	331	800	Artésien	17,8	70	1992

III.2.1.2 Nappe géorgienne (Cambrien inférieur)

Elle est associée aux calcaires et dolomies du Cambrien inférieur, d'épaisseur dépassant 500m (Agoussine, 1993), Ces formations affleurent sur une grande étendue de l'Anti-Atlas occidental (reliefs de Lakhssas, Ait Erkha et Ifrane) au nord du bassin de Guelmim et dans le massif du Bas-Drâa (Jbels Guir et Taïssa).

Les caractéristiques des forages ayant atteint la nappe géorgienne dans le bassin de Guelmim sont synthétisées dans le tableau ci-dessous. Leur débit unitaire est faible, inférieur à 5 l/s.

Tableau 12 : Caractéristiques des forages ayant atteint les calcaires du Géorgien sous la plaine de Guelmim (PDAIRE, 2009)

Forage N°IRE	X	Y	Z	Région	PT(m)	Profondeur/sol du toit des calcaires (m)	NP (m)	Date	Débit (l/s)
56/88	67.75	253.05	550	Andja	427	136	6	1949	2.2
652/88	68.55	257.25	645	Andja	45	31	624	1975	-
961/88	76.65	247.25	590	Tagante	-	48	639	1984	-
966/88	68.12	254.20	586	Andja	197	116	561	1984	3.0

La profondeur sous la plaine du toit de ces calcaires est indiquée dans la figure 12 ci-dessous. Elle montre qu'elle varie entre 0 m au niveau des limites nord (au voisinage d'Abaynou) et sud du bassin (bordure du Jbel Taïssa) et environ 2000 m dans sa partie centrale au voisinage du Jbel Tayert et de la ville de Guelmim

Au niveau de la plaine de Guelmim, la nappe des calcaires du Géorgien se manifeste à travers des sources situées au niveau des bordures nord et nord-est (sources Timoulay et Iguissel au N-E). Dans ces secteurs, les formations aquifères sont en contact direct avec la couverture plioquaternaire, siège de la nappe phréatique.

Le tableau 13 illustre les débits des sources drainant les nappes calcaires et dolomitiques du Cambrien (Géorgien et Adoudounien). Le débit total de ces sources, mesuré en 2004, s'élève à 152.7 l/s (soit environ 4.8/ Mm3/an). (PDAIRE, 2009)

Tableau 13 : Débit des sources des formations calcaires et dolomitiques du Cambrien du bassin de Guelmim (PDAIRE, 2009)

Source	IRE	Qmoy en l/s	Q en Mm3/an
LABIAR (*)	259/88	51,3	1,6
TAGHJIJTE	50/89	36,7	1,2
TIMOULAY	04/88	25,6	0,8
TASKALLA (*)	30/88	10,3	0,3
ABAYNOU	57/88	8,1	0,3
AGUINAN AISSI	193/88	7,3	0,2
ANAMER	192/88	3,7	0,1
TEGHERBINE	191/88	3,6	0,1
AZEMOUR	10/88	3,3	0,1
ZAOUIT	11/88	1,6	0
IGUIN MAKOURNE (*)	228/88	1,3	0
TOTAL		152,7	4,8

III.2.2 Nappe phréatique

III.2.2.1 Limite et extension

C'est une nappe généralisée au niveau de toute la plaine de Guelmim, l'aquifère principal est constitué par le remplissage plioquaternaire, Il s'étend sur une superficie d'environ 1000 km² entre les limites suivantes :

- les affleurements des formations géorgiennes (calcaires supérieurs et schisto-calcaire) au nord et au nord-est;
- les affleurements des schistes et grès acadiens à l'ouest, constituant le Jbel Ait Lahcen ;
- les affleurements des calcaires dolomitiques de l'Adoudounien au sud, au niveau des Jbels Guir et Taissa ;
- les affleurements quartzitiques (de l'Ordovicien) du Bani plissé au sud-est.

Dans la partie centrale de la plaine, on notera l'affleurement du socle (Schistes et grès acadiens) constituant le Jbel Tayert.

III.2.2.2 Description lithologique de l'aquifère Plio-Quaternaire

Les eaux de la nappe phréatique circulent notamment dans :

- des calcaires lacustres au Nord et au NE. Ces calcaires se présentent sous forme de bancs durs avec présence de travertins le long des bordures d'affleurements desdits calcaires, témoignant d'une bonne alimentation de la nappe. Les calcaires lacustres sont souvent le siège d'une circulation karstique au niveau de la plaine ;
- des calcaires marneux au nord de Guelmim ;
- des marnes sableuses et des marno-calcaires dans la partie sud du bassin le long des vallées des oueds Seyad et Ouergnoun;
- des alluvions plus ou moins grossières dans les principales vallées des oueds du bassin.

III. 2.3 Structure du système aquifère

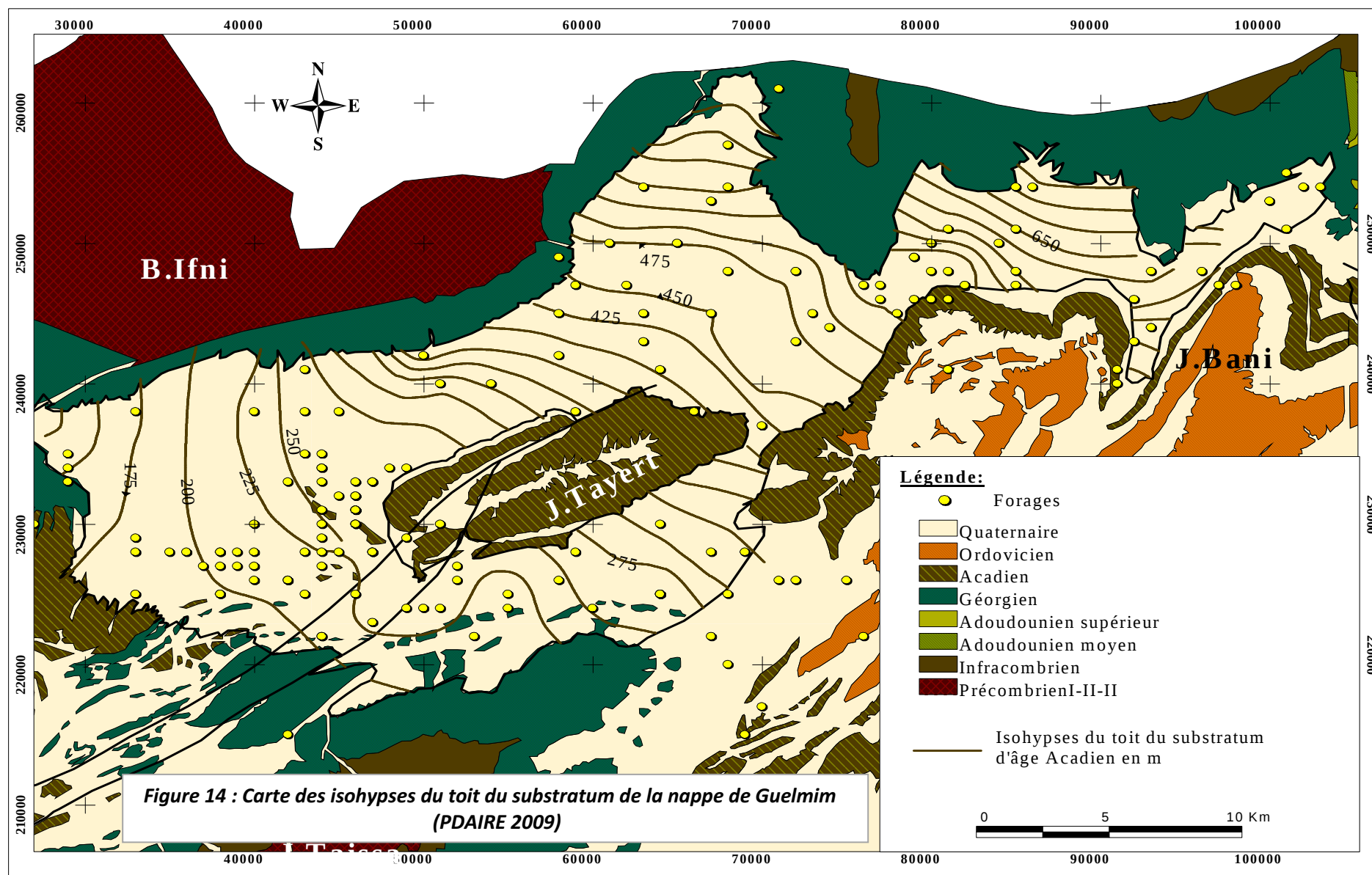
III.2.3.1 Carte du Substratum de la nappe phréatique

Le substratum de la nappe est assuré en grande partie par les schistes acadiens. Un tracé de la carte du toit de ce substratum a été établi dans le cadre de cette étude à partir des forages de reconnaissances et de la géophysique exécutés au niveau de la plaine (figure 14).

L'allure du toit du substratum montre que les schistes affleurant sur les bordures s'enfoncent progressivement sous la plaine en direction ouest de la plaine. Vers l'Est, le bassin est limité par les affleurements primaires d'âge ordovicien.

Au sud du bassin entre les Jbel Tayert et Taissa, la surface du substratum est assez homogène, se situant généralement entre 200 et 300 m.

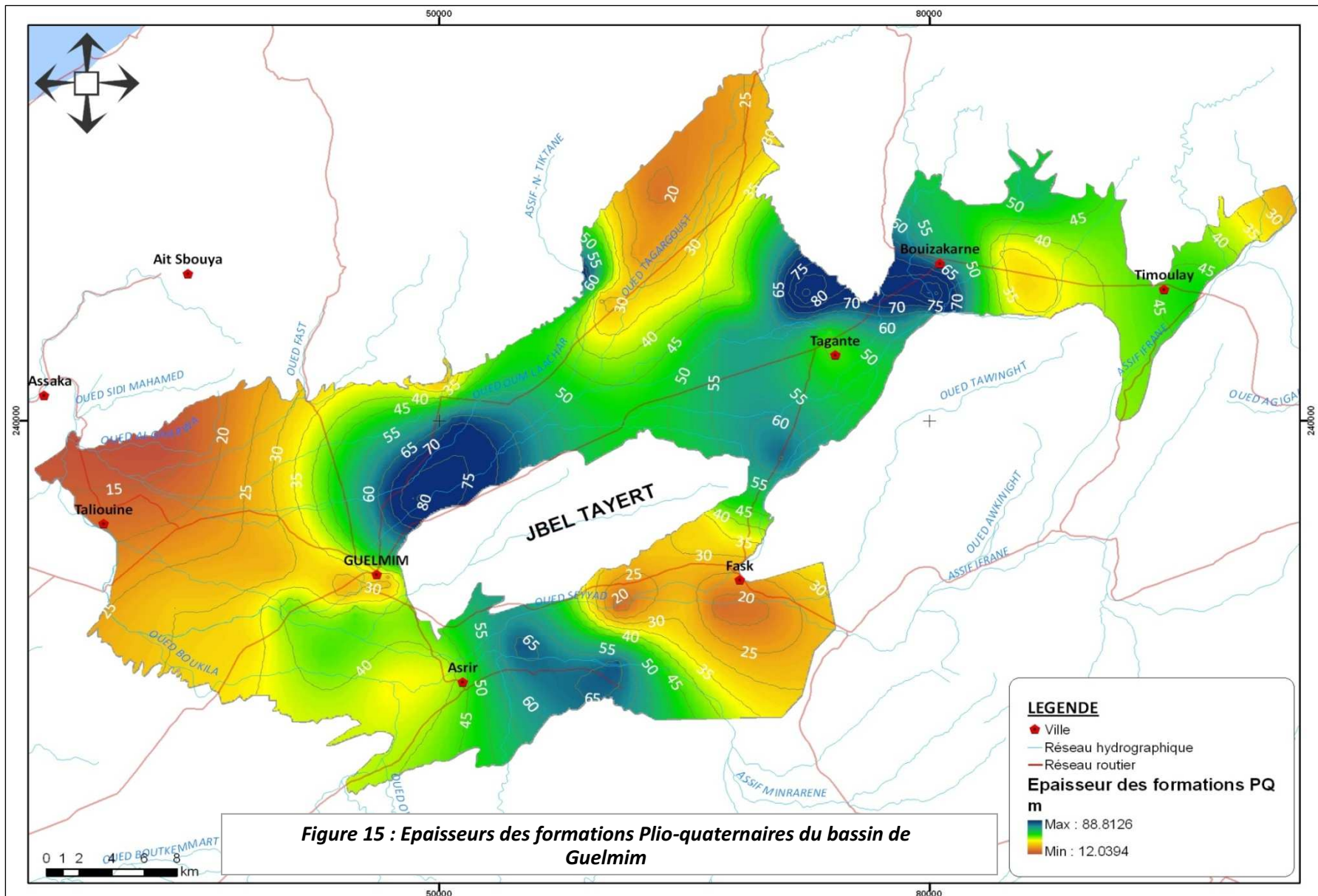
Le tracé de ladite carte montre qu'il s'agit d'un paléorelief dégageant des zones plus basses que d'autres (plus ou moins 50m).



III.2.3.2 Épaisseur des formations plio-quaternaires

La carte des épaisseurs réalisée dans le cadre de cette étude (figure 15) montre qu'une variation de la puissance de la couverture plioquaternaire varie entre 10 et plus de 100 m, avec adoption d'une épaisseur moyenne de 45 m.

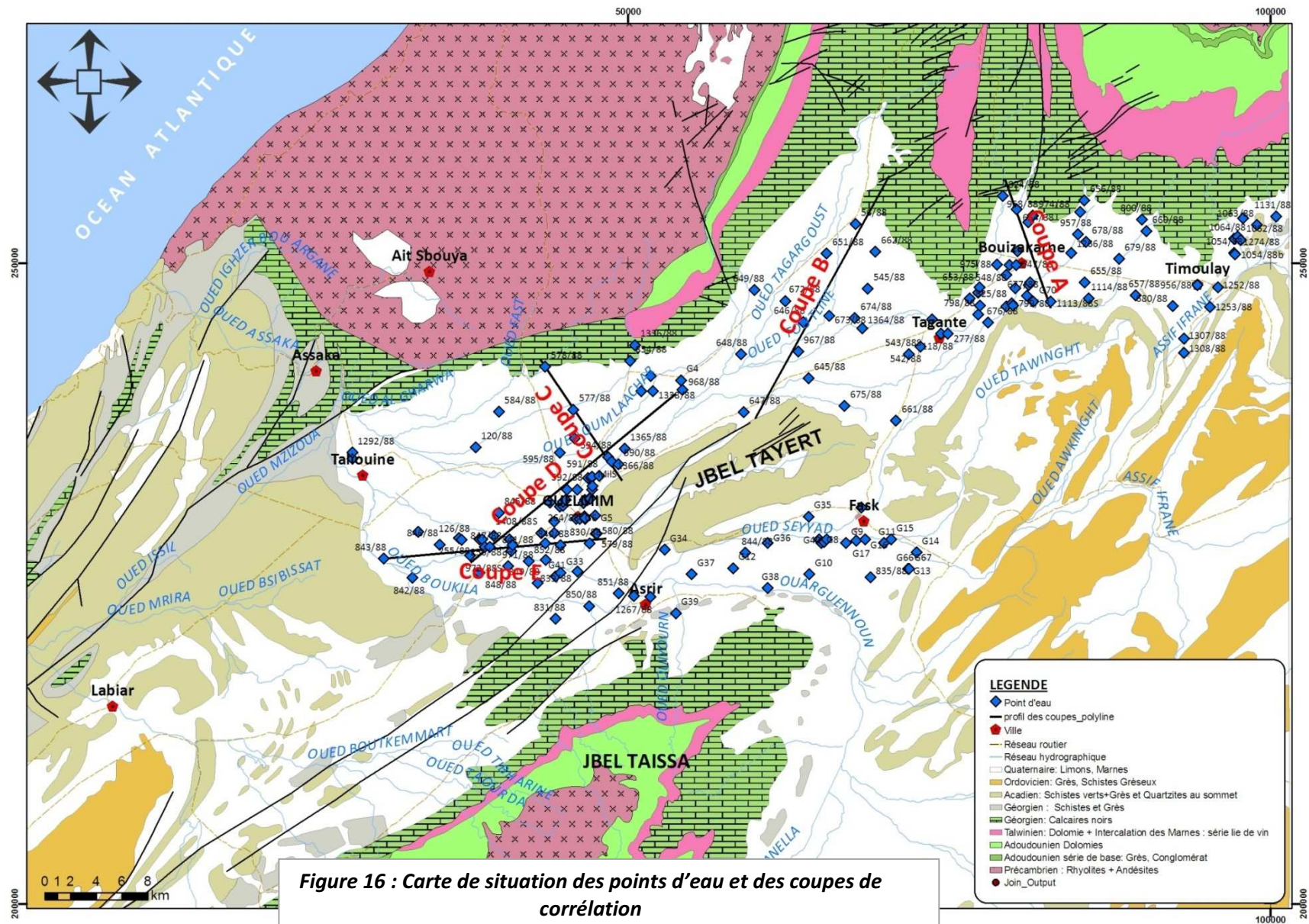
Les zones de fortes épaisseurs sont situées au nord du Jbel Tayert (dans l'axe compris entre Guelmim au SW et Tagante au NE) et le long des bordures nord et sud du bassin. Les secteurs W et NW et SW sont au contraire caractérisés par de faibles épaisseurs (généralement inférieures à 30 m), résultat de la remontée du substratum schisteux acadien et géorgien dans ces zones.



III.2.3.3 Variations latérales des formations formant le système aquifère

Afin de suivre cette variation, un ensemble de coupes ont été établies en effectuant des corrélations des coupes géologiques de forages et de sondages de reconnaissance réalisés dans la plaine de Guelmim .

La position des forages et des profils sont illustrés par la Figure 16, et les corrélations par les coupes A, B, C, D et E.



Coupe A :

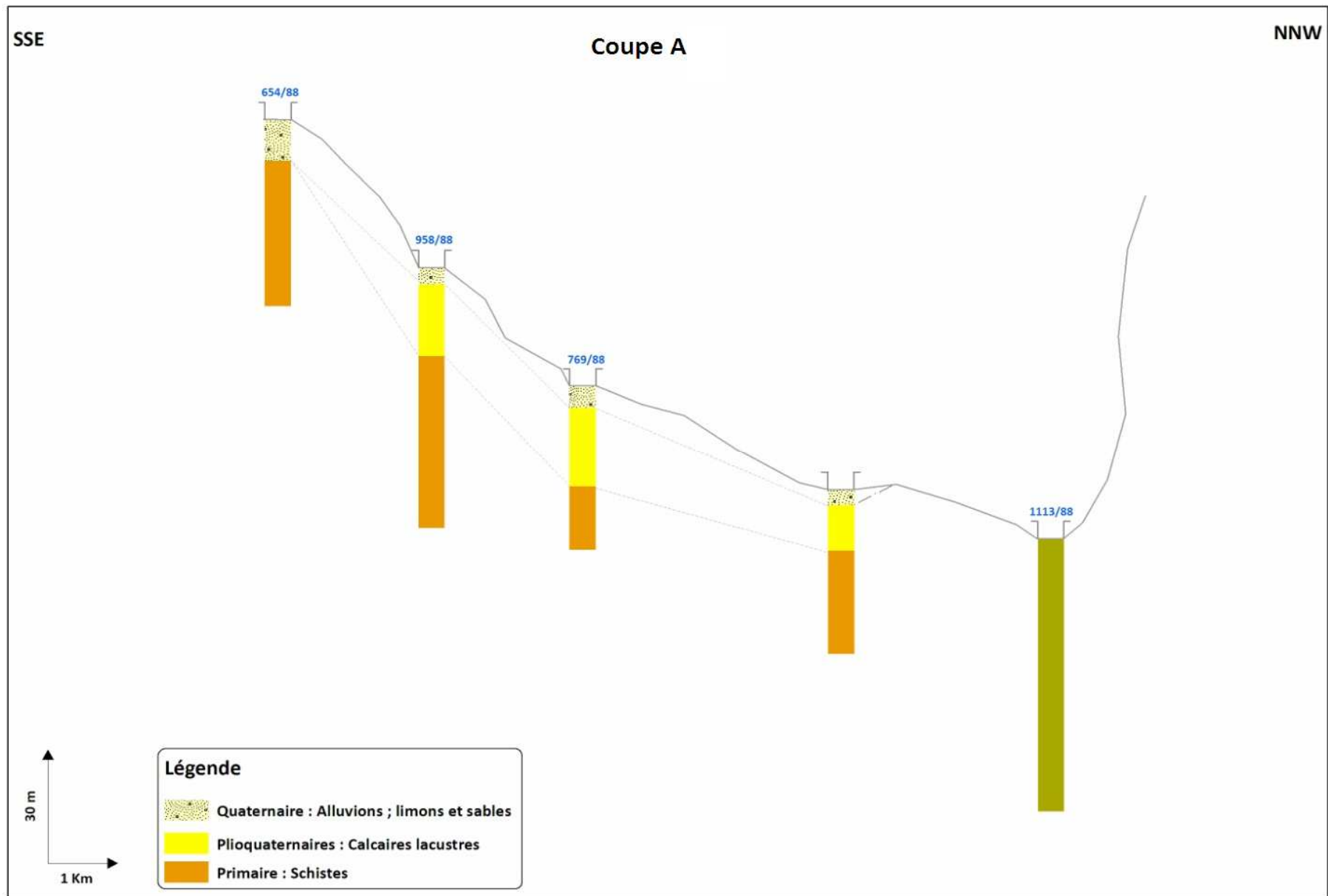
Cette coupe est tracée à travers la plaine, d'orientation NE-SW passant du côté E du centre Bouizakarne à partir des affleurements calcaires dolomitique cambrien inférieur au NE et les schistes du cambrien moyen au SW

La coupe A montre qu'au niveau de la plaine, il ya existence des calcaires lacustres constituant le réservoir potentiel de la plaine, l'épaisseur de ces calcaires varie entre 10 et 40 m, ces calcaires vont s'amincir jusqu'à disparaître dans la partie NE et SW (sondage N° IRE 654/88 et N°IRE 1113/88), au niveau des affleurements du socle.

La coupe montre une variation du substratum schisteux avec des profondeurs variantes entre 20 m (sondage n° IRE 797/88) et 51m (sondage n° IRE 654/88) jusqu' à affleurer dans la partie NE et SW ; ce substratum est constitué essentiellement de schistes et grès acadien, la tranche altérée et fracturé de ce substratum peut contenir de l'eau mais avec des productivités insignifiantes.

Pour les calcaires lacustres constituant le niveau aquifères principale du système de nappe de Guelmim, il existe avec une épaisseur variante entre 10 et 40 m avec disparition de ces niveaux vers les directions NE et SW, cette formation présente des productivités variantes entre 0.2 a 5l /s,

Le reste du système aquifère est constitué par du remplissage Quaternaire d'épaisseur variant entre (1m à 20m) ; la productivité de ces formations est faible.



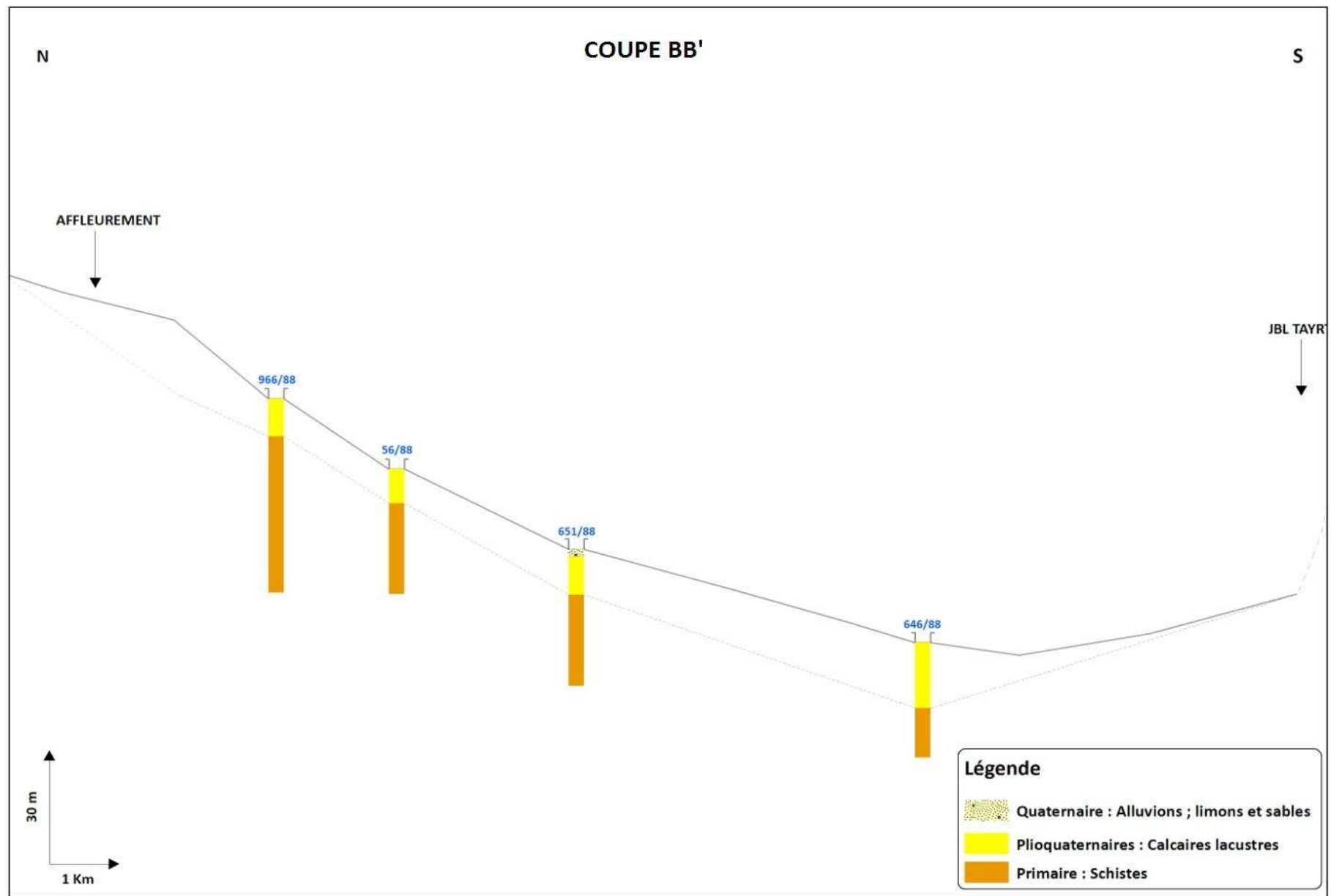
Coupe B :

Cette coupe est tracée aussi à travers la plaine, d'orientation N-S passant depuis l'amont de l'oued Tagargouste affluent de l'oued Oum Laâchar ou on note aussi des affleurements calcaires dolomitique du Cambrien inférieur au N jusqu'aux schistes et grès acadien de jbel Tayrt au S.

Dans la partie nord de la coupe, les forages réalisés ressortent un substratum rencontré à des profondeurs faibles (20m atteinte au forage N°IRE 966/88) ; ces profondeurs deviennent importantes en direction sud essentiellement au niveau du centre de la plaine (40, N°IRE 646/88) jusqu'au point D de la coupe ou on note l'affleurement du socle (grès et quartzites) au niveau du Jbel Tayer.

Cette coupe renseigne aussi sur les variations spatiales des calcaires lacustre considéré aussi dans cette zone comme l'aquifère principal, l'épaisseur de ces calcaires est importante au centre de la plaine atteignant 40m au droit du forage N°IRE 646/88 avec une productivité importante de ($\geq 5l/s$), par ailleurs cet épaisseur devient faible jusqu'à disparaître dans la partie nord et sud de la coupe (Forages N°IRE 966/88 et 645/88), lithologiquement ces formations se présentent sous forme de bancs durs se chargeant au niveau travertineux au voisinage des calcaires cambriens à la limite Nord de la plaine.

De même, on notera une variation latérale des facies argileux, marneux et calcaires marneux du remplissage



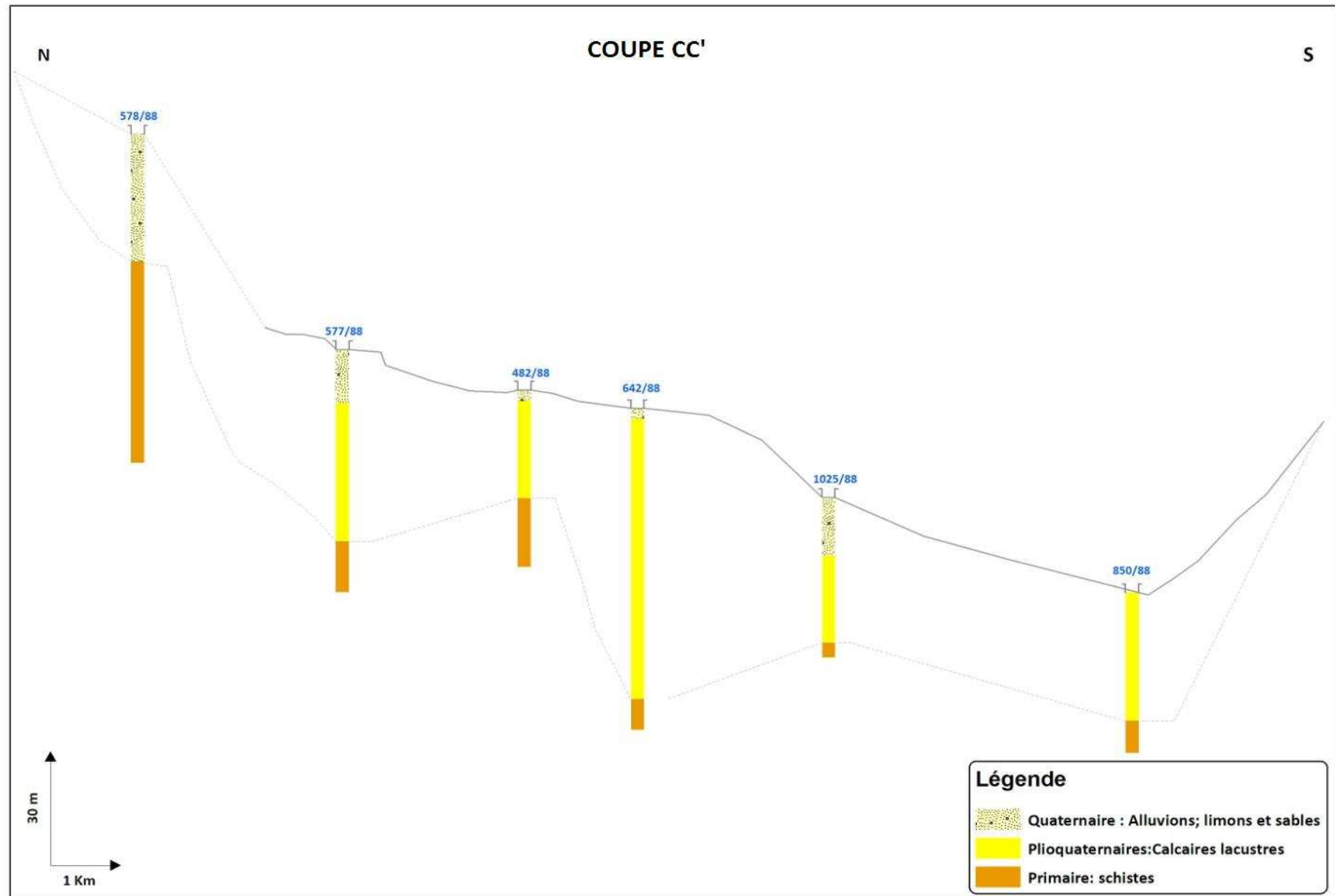
Coupe C :

Cette coupe C est tracée à travers la plaine, d'orientation N-S passant près du centre Guelmim, à partir des affleurements des calcaires dolomitiques adoudouniens au nord jusqu'aux cambrien moyen schisteux au sud, Cette coupe traverse aussi les vallées des oueds Oum Laâchar et oued Seyad .

La profondeur du substratum est aussi importante dans la partie centrale de la plaine (75m forage n°IRE 642/88) devenant de plus en plus faible de part et d'autres de ce sondage, avec des profondeurs variantes entre 25m (Sondage N°IRE 578/88) et 35m (sondage N°IRE 850/88), au nord et au sud on notera le soulèvement du socle schisteux.

La coupe tracée montre aussi une variation notable des épaisseurs des calcaires lacustres variantes entre 20m (Sondage N°IRE 578/88) et 74m (Sondage N°IRE 642/88) au niveau du centre de la plaine, ces niveaux calcaires disparaissent vers le Nord et le Sud. Ces calcaires constituent aussi dans cette zone l'aquifère principal de cette unité hydrogéologique avec une productivité importante enregistrée au niveau du forage N°IRE 642/88 qui est de 10l/s.

Le remplissage plioquaternaire existe au niveau de la plaine avec des épaisseurs moins importantes que la partie Est de la plaine, cet épaisseur varie entre 5 à 10m ; du point de vu lithologique ce remplissage est constitué par du limon, graviers et sable et fait partie aussi du système aquifère de la plaine de Guelmim.



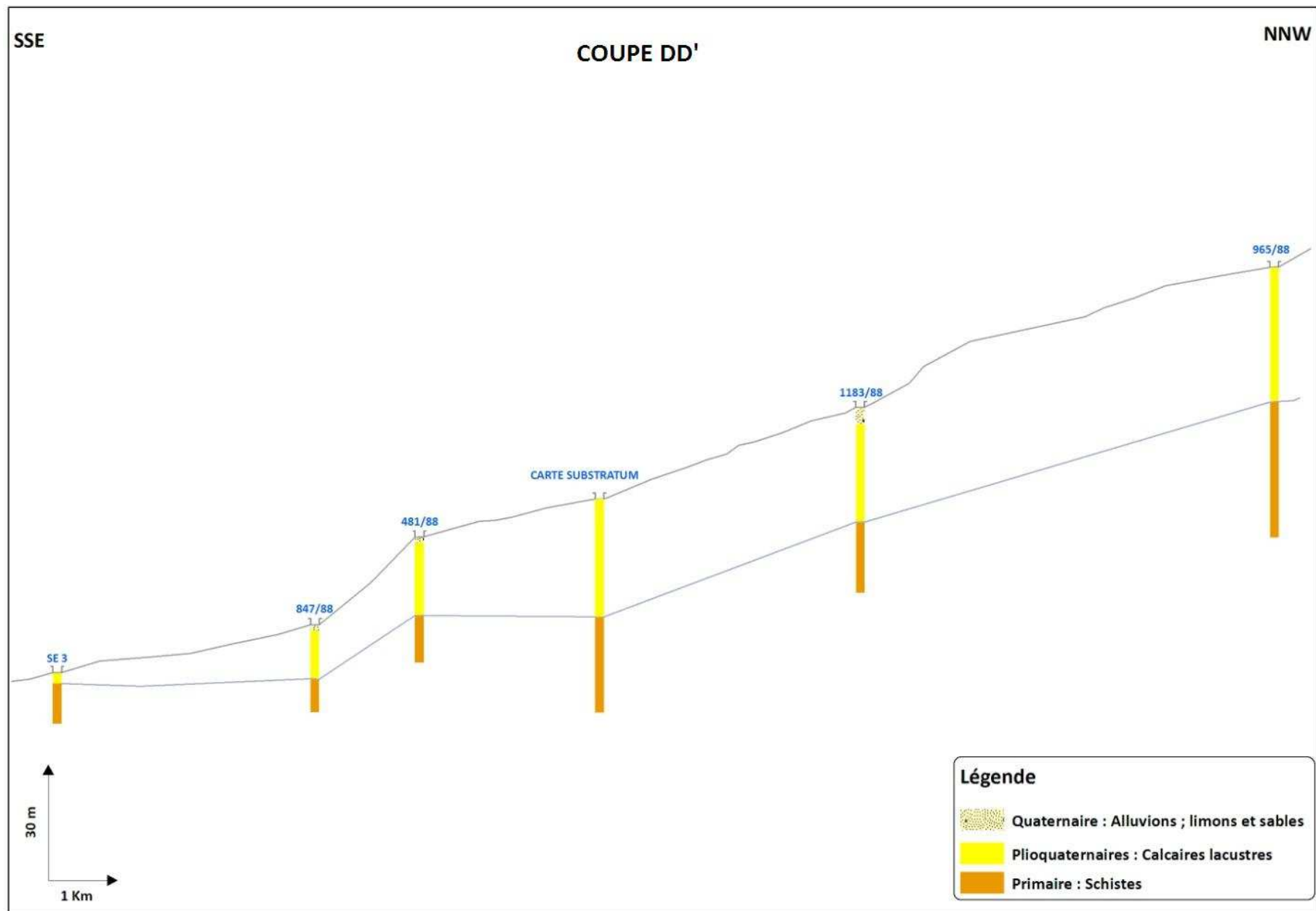
Coupe D :

Cette coupe est tracée le long de la plaine, d'orientation SSE -NNW ;

La profondeur des schistes acadiens est très importante au centre de la plaine, elle varie entre 10m (donné par le sondage électrique) position dans la carte et 82m (sondage N°IRE 965/88 au centre de la plaine).

Les épaisseurs des calcaires lacustres, varient entre 5m (sondage et position) et 70 m (N°IRE 1183/88et position), avec une productivité fluctuante entre 1.5l/s et 5l/s.

La coupe montre aussi une variation latérale des remplissages quaternaires constitue des argiles et des calcaire marneux.



Coupe E :

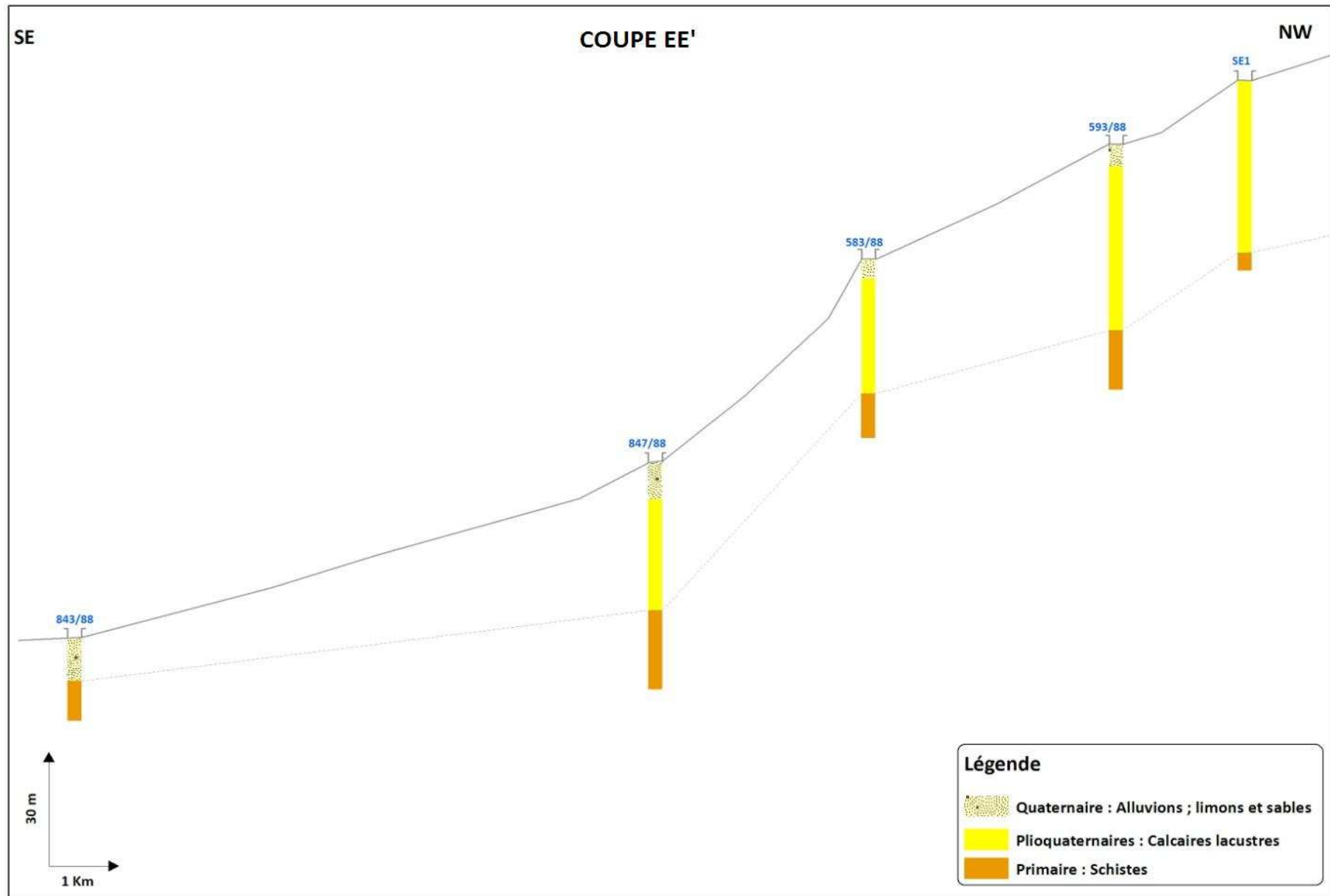
Cette coupe est tracée le long de la plaine, d'orientation SE -NW ;

La profondeur des schistes acadiens varie entre 13m (sondage N°IRE 843/88) au SE non loin des affleurements du cambrien à la limite Sud de la plaine et 45m (sondage N°IRE 593 /88) au cœur de la plaine.

L'analyse de cette coupe montre aussi une variation des épaisseurs des calcaires lacustres entre SE et NW allant entre 5(forage N°IRE) et 40 m (forage N°IRE 593/88).

-Ces calcaires constituent aussi dans cette zone l'aquifère principal de cette unité hydrogéologique avec une productivité importante enregistrée au niveau du forage N°IRE 593/88 qui est de 10l/s.

Le remplissage quaternaire montre aussi une variation latérale notable du SE au NW.



III.3 Description de la nappe

III.3.1 Profondeur de la nappe

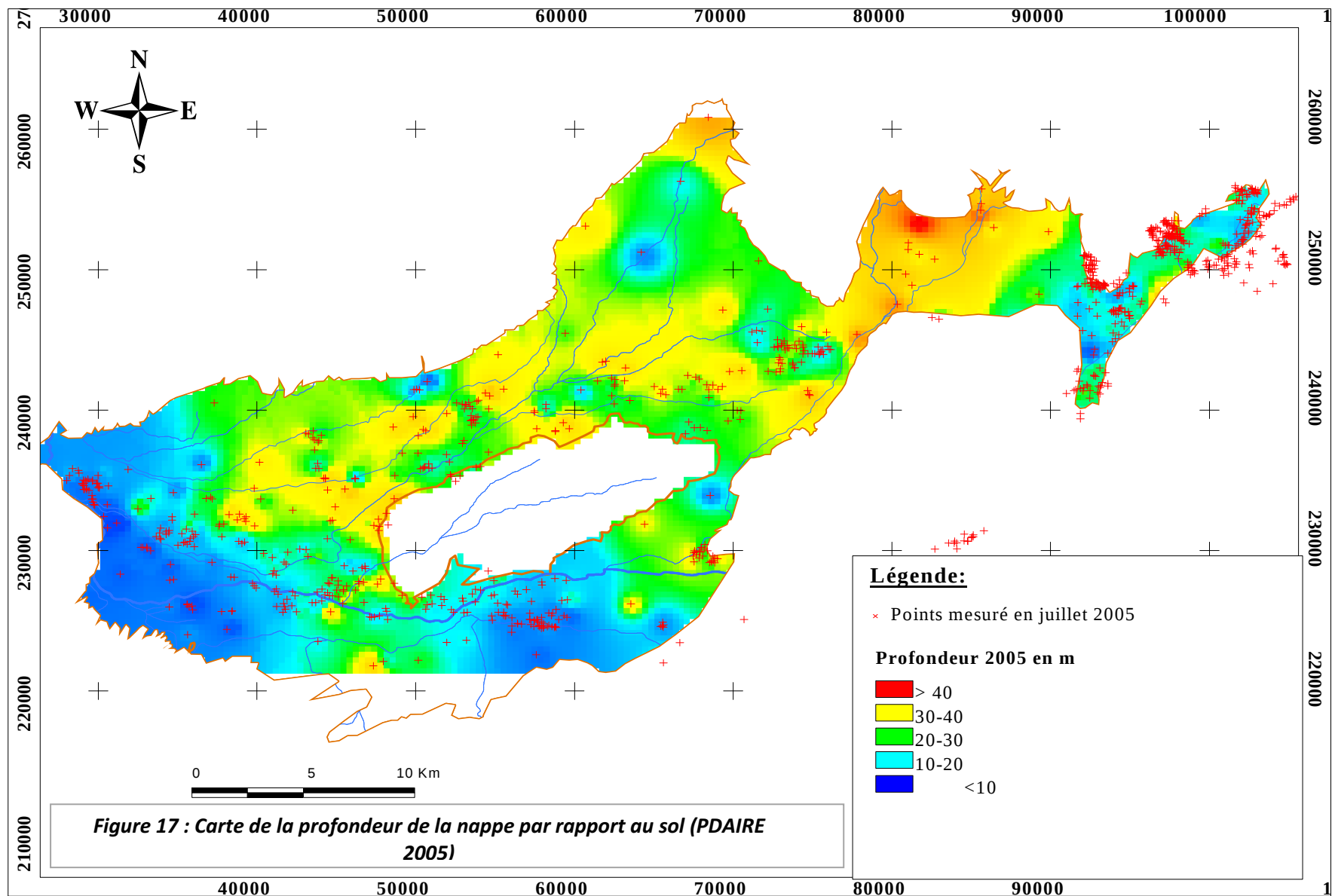
Dans la grande partie du bassin, la profondeur de la nappe se situe entre 3 et 40 m par rapport au sol. D'une manière générale, cette profondeur diminue du NE vers le SW et au niveau des bordures en direction du centre du bassin. Les plus faibles profondeurs (<10m) sont situées dans la partie ouest du bassin. La profondeur moyenne de l'eau se situe à environ 17 m.(fig.17)

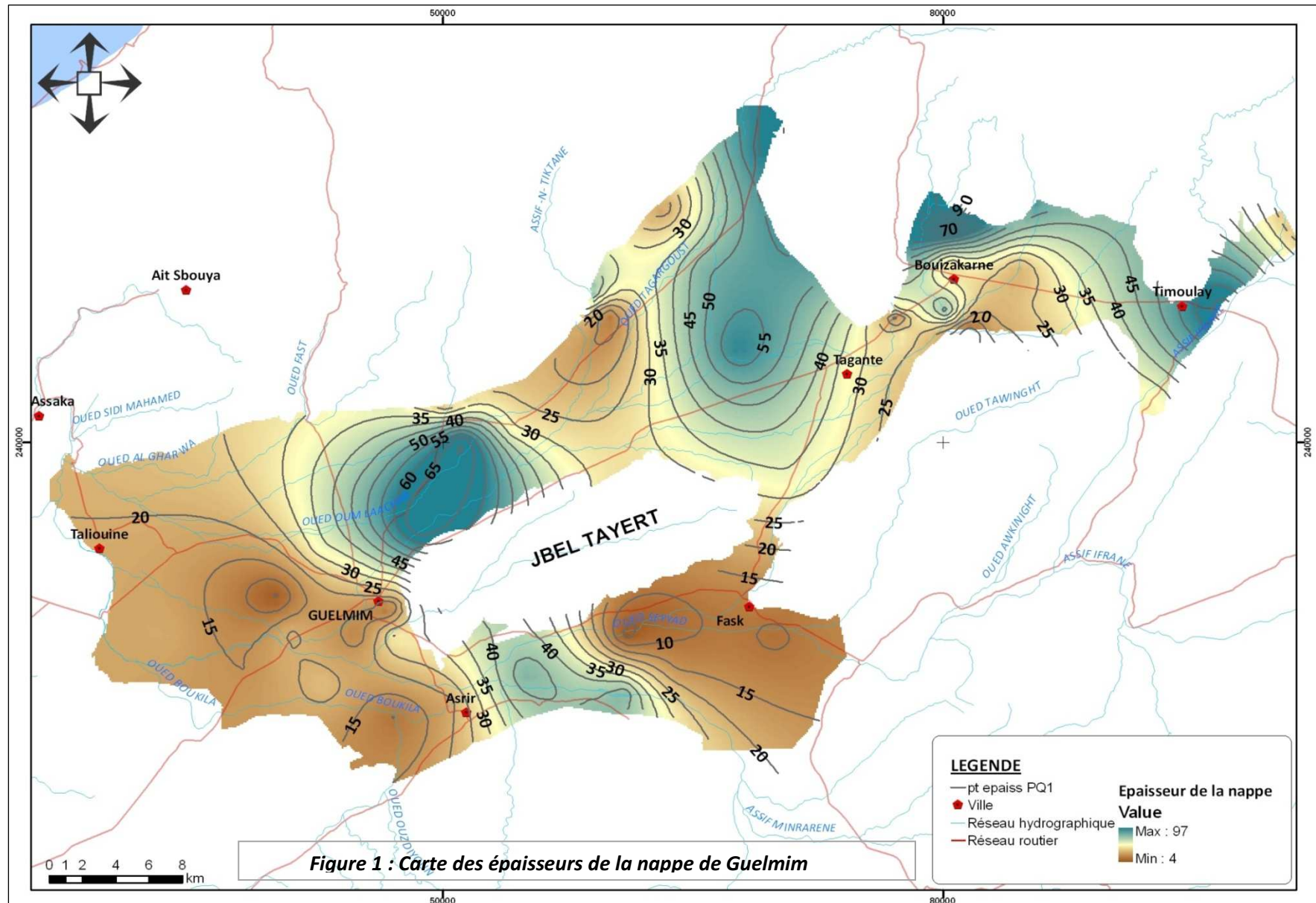
III.3.2 Epaisseur de la nappe

La carte isopache tracé dans le cadre de cette étude montre que la puissance de la nappe plioquaternaire se situe entre 4 et 90 m. Les plus fortes épaisseurs se trouvent au nord de la nappe au voisinage de Andja et Bouizakarne (où elles dépassent 50 m), et au Sud d'Abaynou.

Les plus faibles épaisseurs (<10 m) se trouvent au SW de la nappe (secteurs de Ouaroun et Abouda), au SE d'Asrir .

L'épaisseur moyenne de la nappe adoptée est d'environ 32 m. (fig.18)





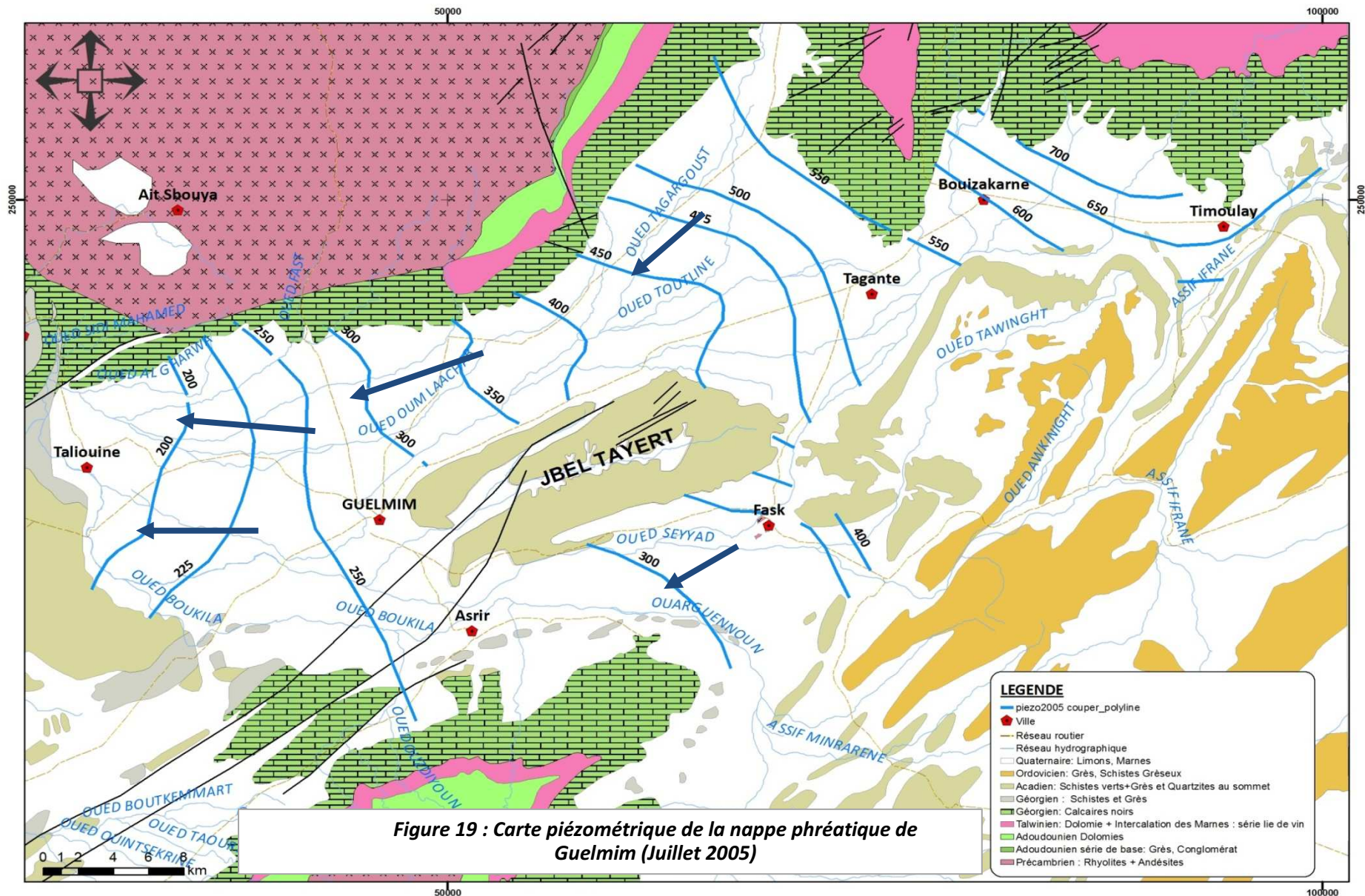
III.3.3 Piézométrie

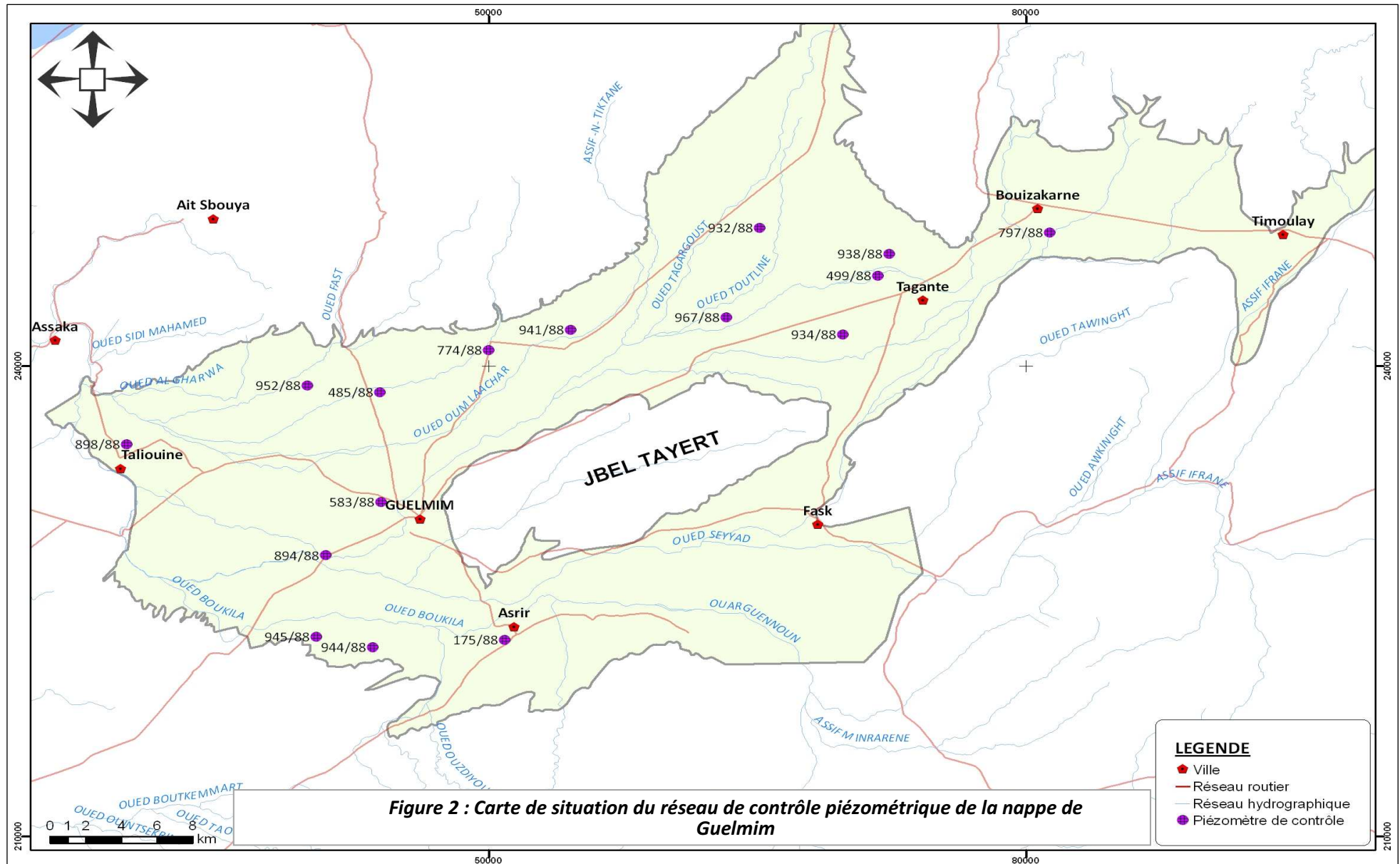
a- Carte piézométrique

La carte piézométrique de la zone d'étude a été retracée et actualisée dans le cadre de cette étude à partir des données des campagnes de mesures 2005.

L'analyse de ladite carte montre :

- Un écoulement général de la nappe qui suit globalement celui des eaux superficielles, NE–SW au niveau du bassin Oum Laachar. et de l'Est vers l'Ouest au niveau du bassin Seyad. On notera l'existence d'une ligne de partage des eaux ou il y a divergence des écoulements à proximité de Tagante (NE du Jbel Tayert).
- Des axes de drainage des écoulements souterrains mis en évidence dans la partie centrale de la plaine de direction majeure NE-SW, longeant généralement les cours des oueds Oum Laâchar au nord et Oued Ouergnoun- Seyad au sud. Ces axes constituent des zones d'exutoires de la nappe de Guelmim.
- une alimentation importante de la nappe qui se fait au niveau de la bordure NE du bassin, cette zone est caractérisée par un apport latérale qui s'exécute au contact direct en affleurement des
- calcaires géorgiens et le remplissage plioquaternaire de la plaine.
- des limites à flux nul (étanches) au reste des bordures de la nappe.
- Une drainance de sortie de la nappe vers la mer dans la partie Ouest de la plaine.
- Un gradient hydraulique très fort (2%) au niveau de la zone de bordure correspondant à la zone d'alimentation (NE), témoignant d'une zone de faible transmissivité, par contre le gradient hydraulique est moins fort (5‰) de part et d'autres du Jbel Tayert (bassins Oum Laachar et Ouergnoun Seyad) et deviendra faible plus à l'aval au droit de la confluence Ouergnoun-Seyad (4‰) renseignant sur la bonne transmissivité de la nappe audroit de (5‰) es secteurs.
- Une concavité des équipotentielles vers l'amont des écoulements, cela veut dire que l'oued draine une partie des eaux de la nappe et cela vraie au niveau de tous les oueds de la zone d'étude.





b- Fluctuations piézométriques

Ces fluctuations ont été étudiées à partir d'un réseau piézométrique réparti sur toute la plaine de Guelmim, les campagnes de mesures piézométriques de la nappe ont démarrées depuis 1976.

Pour caractériser le régime des fluctuations de la surface piézométrique de la nappe de Guelmim, des historiques piézométriques allant de 1990 à 2009 ont été constitués à partir des relevés mensuels effectués par la DPE Guelmim.

Les piézomètres situés dans la vallée de l'oued Seyyad et entre Fask et Guelmim enregistrent des baisses importantes des niveaux de la nappe à partir de 1990 : 5 à 14 m dans la région de Guelmim (IRE 583/88 et 894/88), 2 à 3 m dans la vallée de l'oued Ouergnoun et au sud de Tagant (IRE 934/88).

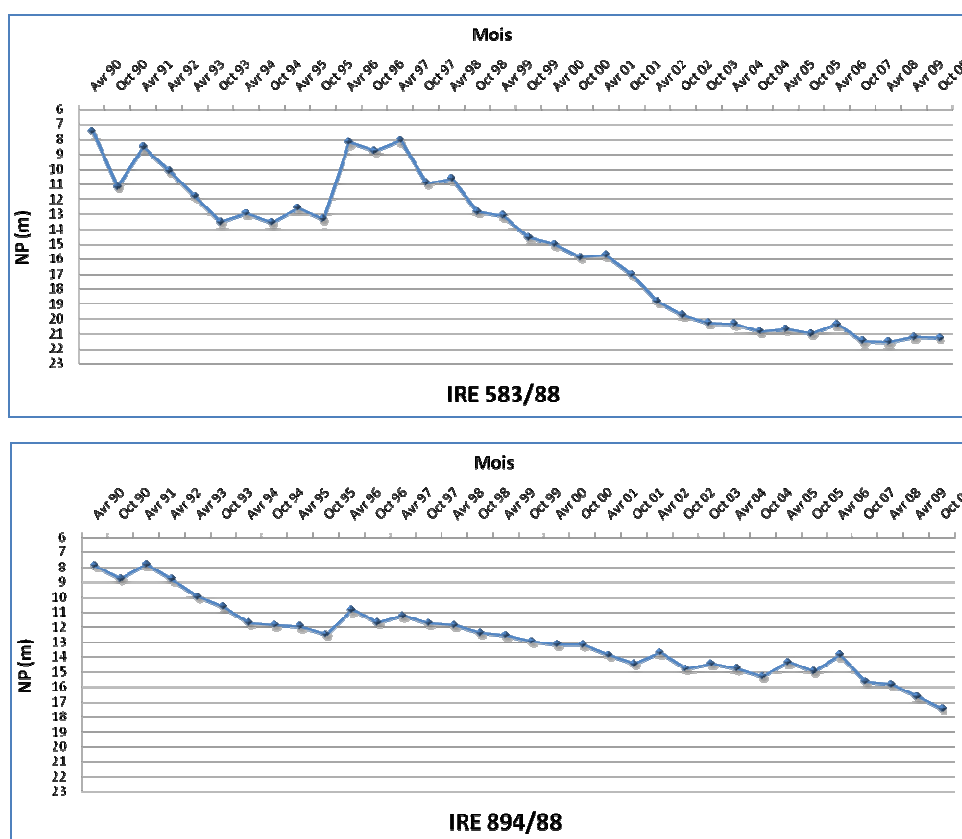


Figure 21: Fluctuation de la surface piézométrique près de la ville de Guelmim

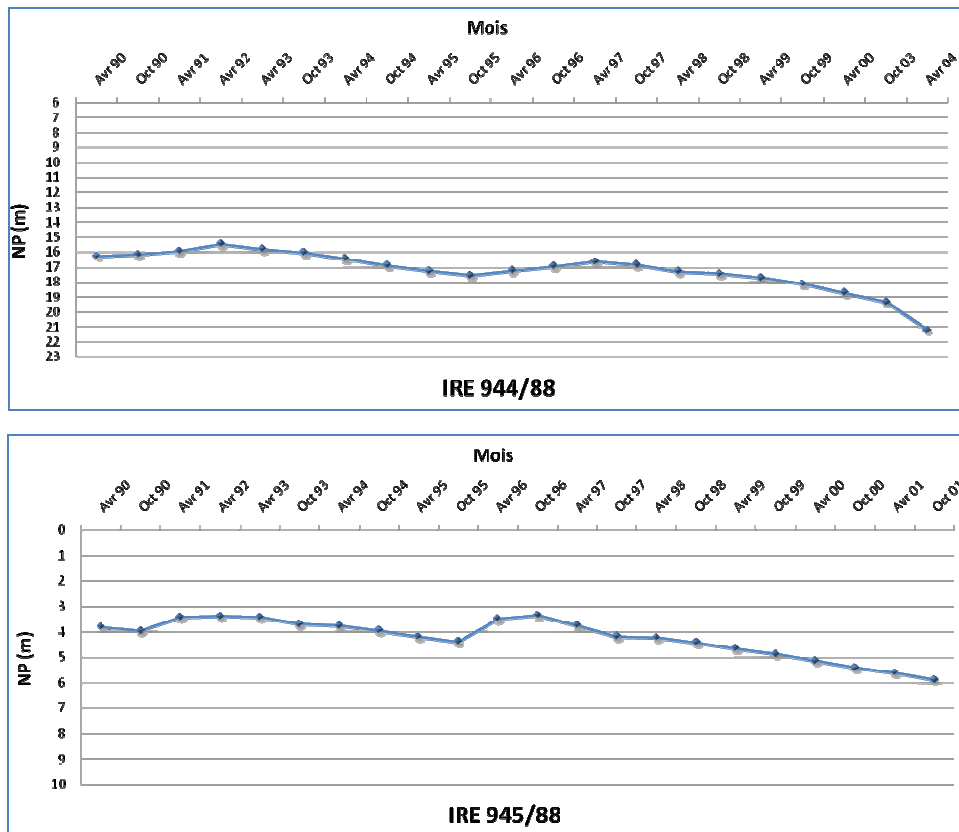


Figure 22 : Fluctuation de la surface piézométrique dans la vallée d'Ouernoun

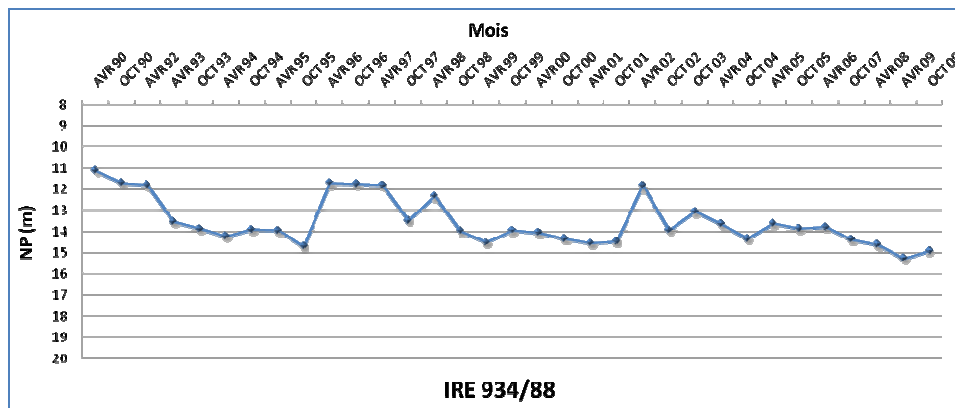


Figure 23 : Fluctuation de la surface piézométrique au sud de Tagant

Dans la partie nord du bassin les historiques piézométriques montrent une stabilisation et même une remontée des niveaux de la nappe (IRE 797/88). Ces piézomètres sont tous situés à proximité des cours d'eau, ce qui laisse supposer que la nappe est probablement réalimentée en ces endroits par l'infiltration des eaux des épandages des crues de ces oueds.

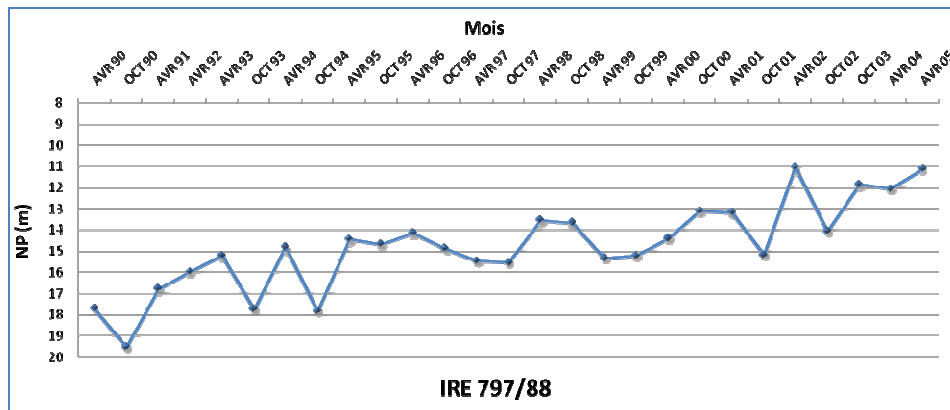


Figure 24: Fluctuation de la surface piézométrique au NE de la nappe

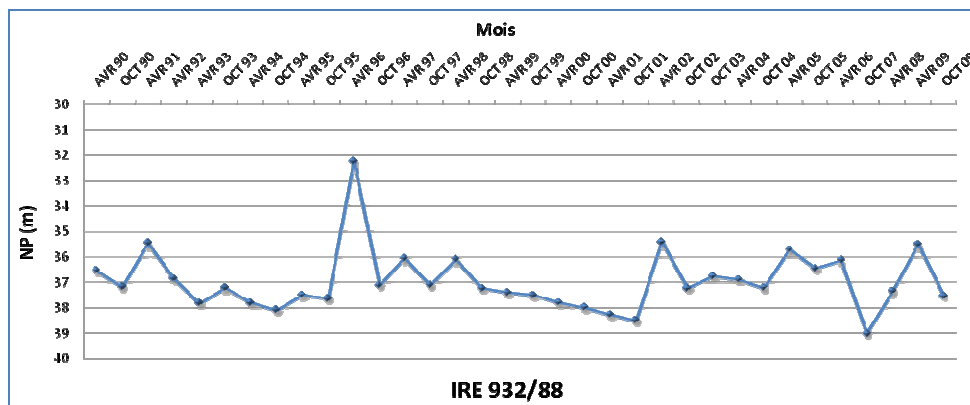


Figure 25 : Fluctuation de la surface piézométrique au Nord de la plaine

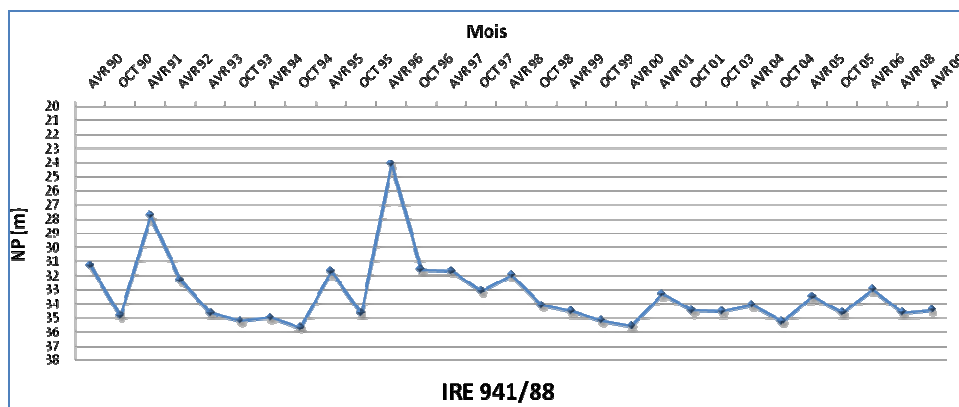


Figure 3 : Fluctuation de la surface piézométrique au sud d'Abaynou

II.3.4 Paramètres hydrodynamiques de la nappe

Les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe ont été déterminées à partir des résultats de l'interprétation des tests hydrauliques à savoir : essais de pompage réalisés par la DRHSM au droit des points d'eau (forages et puits) et des essais à l'air lift réalisés au moment de l'exécution des sondages de reconnaissances.

a/ Transmissivité

Les valeurs de la transmissivité de la nappe varient dans l'ensemble entre $3 \cdot 10^{-4}$ à $3 \cdot 10^{-2}$ m²/s.

Les plus fortes transmissivités ($> 10^{-2}$ m²/s) sont localisées au SE de la ville de Guelmim, le long du cours aval de l'oued Seyad, et au NE de Tagant ($T \geq 3 \cdot 10^{-2}$ m²/s). Ces secteurs sont caractérisés généralement par un faible gradient hydraulique de la nappe. Par contre le bassin des oueds Seyyad-Ouernoun est caractérisé par des transmissivités comprises entre $2 \cdot 10^{-3}$ m²/s et $6 \cdot 10^{-3}$ m²/s.

Les faibles valeurs ($\leq 10^{-3}$ m²/s), sont localisées dans le Nord et le SW de la plaine caractérisées par de forts gradients hydrauliques (figure 27).

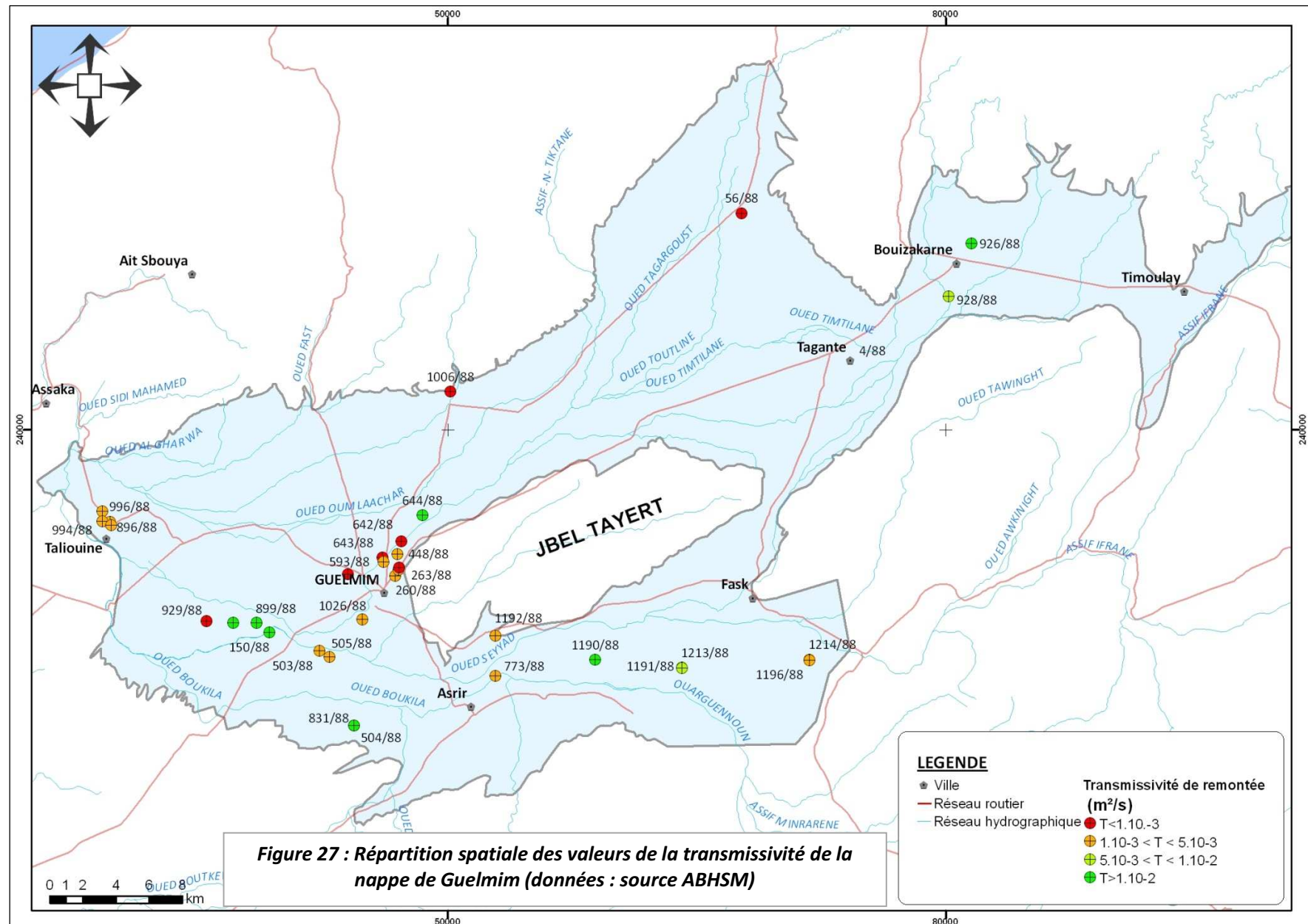
b/ Perméabilité

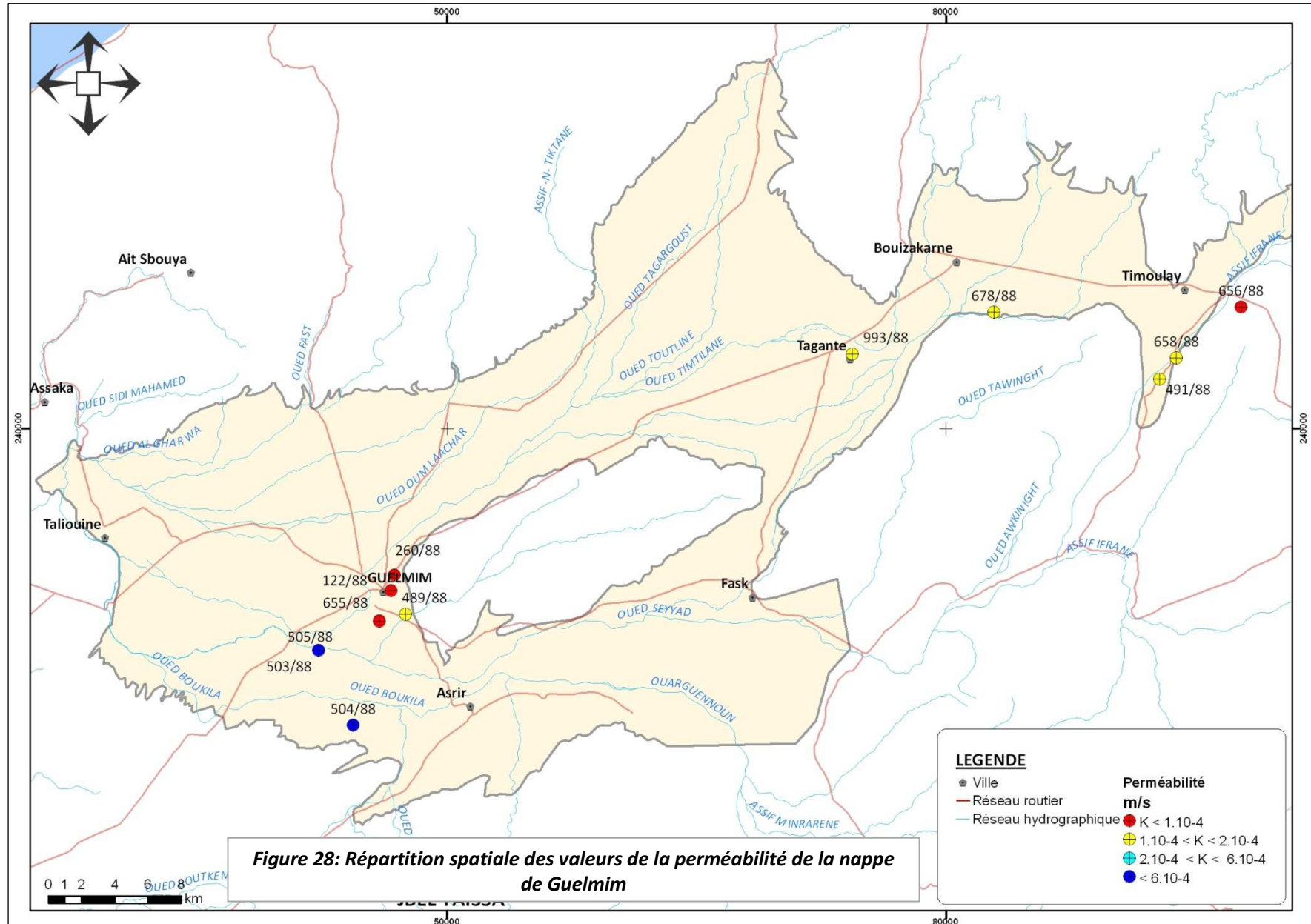
La plupart des valeurs déduites à partir des valeurs des transmissivités sont inférieures à 10^{-4} m/s. Les plus fortes perméabilités de la nappe ($> 10^{-4}$ m/s) sont situées au voisinage des cours d'eau situés au Sud et au SE de Guelmim et au NE de Tagant (figure 28).

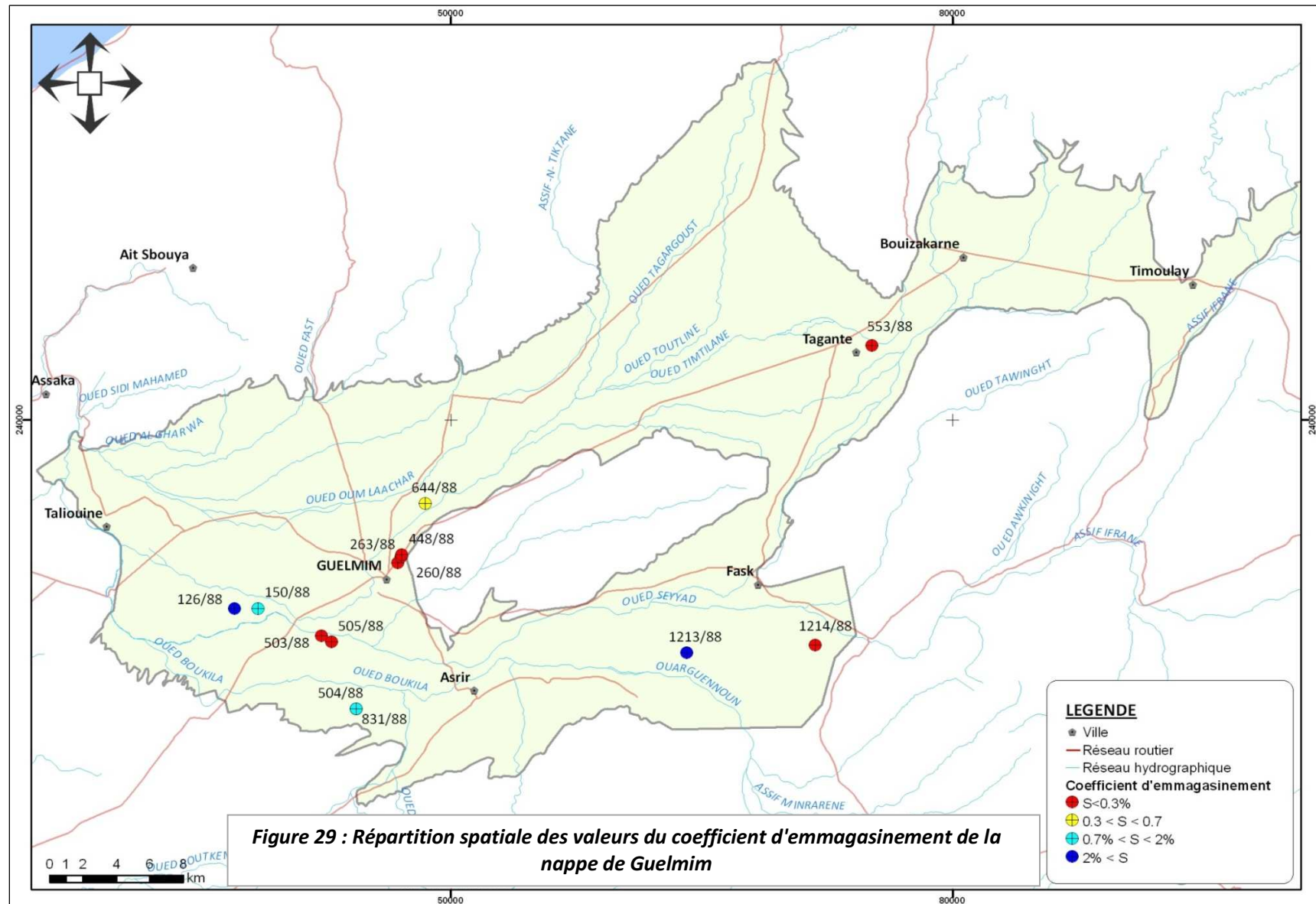
c/ Coefficient d'emmagasinement

Le coefficient d'emmagasinement varie entre 0,01 et 0.3 % à proximité de Guelmim. Dans le bassin de Seyyad-Ouernoun (au sud du Jbel Tayert), les valeurs disponibles sont supérieures à 2%.

Le coefficient d'emmagasinement moyen de la nappe (calculé à partir des valeurs disponibles) est de 0.5%.(figure 29).





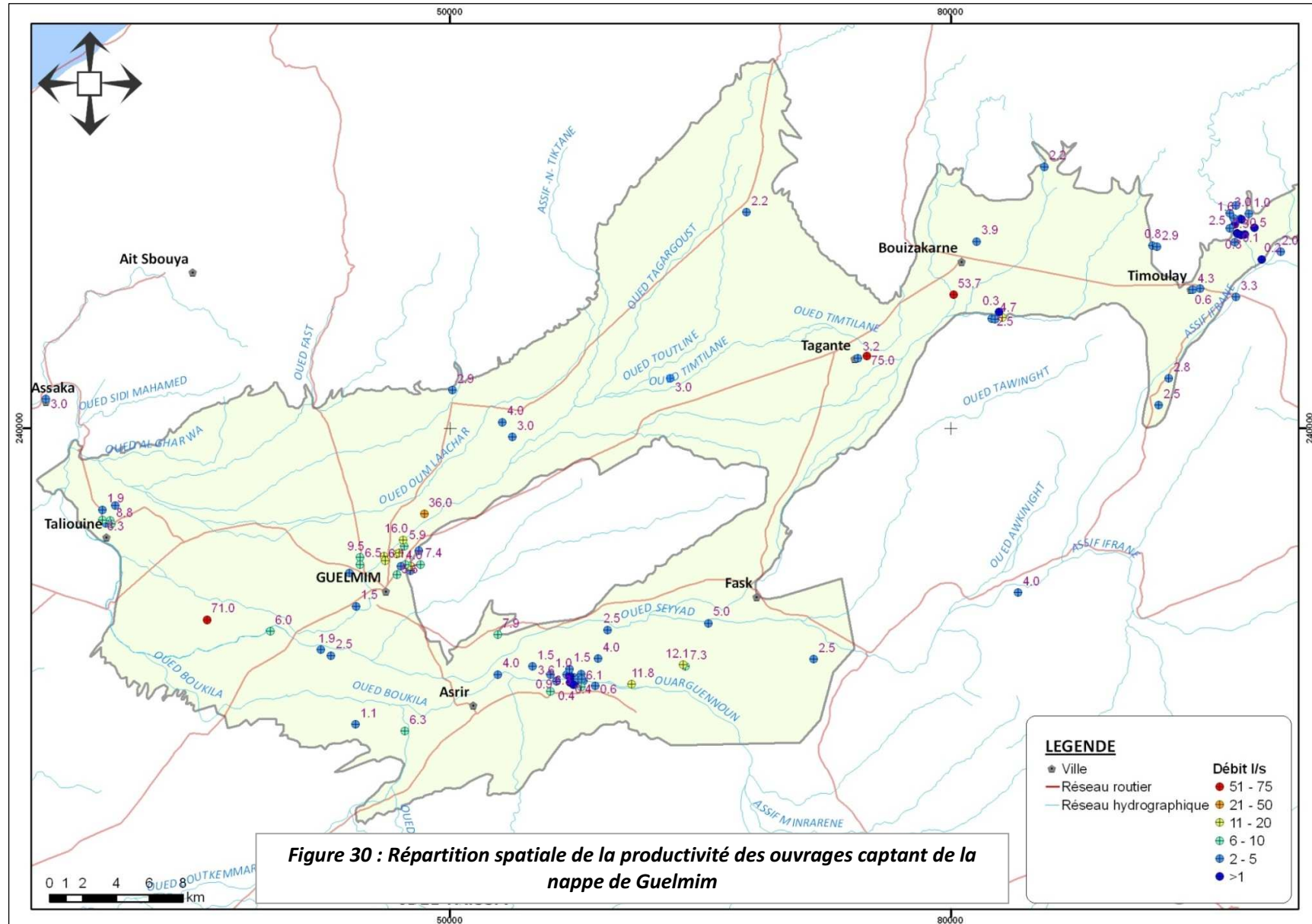


II.3.5 Productivité des ouvrages

Les débits des ouvrages (obtenus par des tests hydrauliques) varient généralement entre 1 à 20 l/s, avec une prédominance des débits inférieurs à 10 l/s. La base de données de la DRHSM indique cependant des débits très importants au niveau de certains ouvrages (Voir caractéristiques des ouvrages). Tous ces ouvrages sont situés à proximité des lits d'affluents de l'oued Oum Laâchar, captant généralement des calcaires lacustres se présentant avec une karstification très développée lui favorisant une perméabilité plus élevée que celle des autres faciès de la nappe phréatique de Guelmim.

La productivité des ouvrages est très hétérogène, en raison de la variation spatiale des faciès lithologiques de la nappe et du degré de karstification des calcaires lacustres, siège d'un écoulement du type karstique.

Les premières venues d'eau sont généralement rencontrées entre les profondeurs 20 et 40 mètres, correspondant le plus souvent aux calcaires lacustres, alluvions et sables.(fig.30)



III.4 Evaluation des ressources en eau de la nappe phréatique

Par ailleurs, les réserves en eau de la nappe varient énormément dans l'espace, en raison de l'importante variation spatiale de l'épaisseur saturée, notamment entre le secteur nord (compris entre Andja et Bouizakarene, caractérisé par une forte épaisseur comprise entre 30 et 50 m) et les secteurs sud et ouest (caractérisés par une très faible épaisseur, généralement inférieure à 10 m).

En considérant une superficie moyenne d'environ 1000 km², une épaisseur moyenne de 32 m et un coefficient d'emménagement moyen de 0.5%, les réserves totales de la nappe se situeraient à environ 160 Mm³ d'eau.

III.4. 1 Recharge de la nappe

La recharge de la nappe se fait selon les procédures suivantes :

- Infiltration directe des eaux de pluie au niveau de la plaine ;
- Recharge par les infiltrations des eaux des crues au niveau des lits des oueds et des zones d'épandage;
- Recharge par réinfiltration des eaux d'irrigation et du surplus non utilisés des eaux de sources ;
- Apports latéraux par abouchement à partir des bordures, notamment le long de la limite NE de la nappe au niveau des contacts avec les calcaires du Géorgien.

a/ Recharge de la nappe par infiltration des précipitations

Une évaluation de la recharge a été effectuée dans le cadre de la présente étude en prenant en considération le paramètre coefficient d'infiltration fixé dans les études antérieures (Agoussine, 1993) et aussi en fonction de la lithologie des différents types de terrain rencontrés au niveau de la plaine.

Ledit coefficient est fixé à une moyenne de 6% soit une recharge évalué à 7,3 mm/an, Pour le cas de la nappe de Guelmim et pour une superficie moyenne de 1000 Km², le débit infiltré à partir des eaux de pluie serait de 238 l/s.

b/ Alimentation à partir des bordures

L'évaluation des entrées à la nappe à partir des bordures proviennent de l'abouchement de la nappe avec la nappe géorgienne (Calcaires dolomitiques) ; d'après la carte piézométrique, ces entrées ont été identifiées au NE de la plaine entre Andja et Bouizakarne et au sud dans la région de Fask.

Le débit transité à partir de ces bordures a été calculé à partir de ladite carte piézométrique en appliquant la loi de Dary : $Q = T \times i \times L$

Avec : Q = Débit d'entrée ; I =Gradient hydraulique au niveau de la limite ; L =Largeur de front d'écoulement. Le débit global transitant à partir de ces bordures est de 410 l/s.

c/ Recharge de la nappe par infiltration des eaux des oueds et des zones d'épandage des crues

En l'absence de jaugeages différentiels, la valeur de la recharge de la nappe par les eaux de crues a été estimée à 40 l/s (Agoussine, 1993).

d/ Alimentation à partir du retour des eaux d'irrigation

Le débit des sources du bassin de Guelmim est utilisé en grande partie pour des besoins agricoles, le mode d'irrigation gravitaire est le plus pratiqué dans la plaine de Guelmim, on considère qu'une partie de ce débit évalué à 10% retourne à la nappe soit un débit de 9.5 l/s.

SYNTHESE DES ENTREES A LA NAPPE :

Les différentes entrées à la nappe sont détaillées comme suit :

RECHARGE DE LA NAPPE	DEBITS
Infiltration à partir des eaux de pluie	206 l/s
Alimentation à partir des bordures	410 l/s
Infiltration à partir des eaux de crues et d'épandage	70 l/s
Infiltration à partir des eaux des sources	9.5 l/s
Réinfiltration des eaux d'Irrigation prélevées dans la nappe	40 l/s
Le total des entrées est :	735.5 l/s

III.4.2 Sorties de la nappe

Elles sont constituées par :

- Les écoulements naturels : le drainage des sources, le flux aval au niveau de la limite ouest de la nappe et l'évaporation de l'eau au niveau de la limite ouest de la nappe caractérisée des faibles profondeurs des niveaux d'eau par rapport à la surface du sol ;
- Prélèvements agricoles et d'Alimentation en Eau Potable (AEP).

a/ Drainage des sources

Les calcaires lacustres de la plaine de Guelmim sont le siège d'écoulements karstiques se manifestant par quelques sources (fig. 24), dont le débit dépend de l'importance de la pluviométrie de la région.

Ces exutoires sont :

- Source WAOUTELTE	N°IRE : 112/88	débit mesuré : 1,0 l/s
- Source TOUTLINE	N°IRE : 113/88	débit mesuré : 0,4 l/s
- Source ZAKARYA	N°IRE : 13/88	débit mesuré : 2,5 l/s
- Source TAOURIRTE	N°IRE : 14/88	débit mesuré : 19 l/s
- Source WAGHINOUSTE	N°IRE : 19/88	débit mesuré : 4,00 l/s
- Source TARAOUARTE	N°IRE : 31/88	débit mesuré : 2,0 l/s
- Source TABAOULOUTE	N°IRE : 358/88	débit mesuré : 1,15 l/s
- Source IGUISSEL	N°IRE : 359/88	débit mesuré : 1,52 l/s
- Source TEGHMERTE	N°IRE : 360/88	débit mesuré : 40,00 l/s
- Source TAGANT	N°IRE : 4/88	débit mesuré : 25,5 l/s

Des jaugeages se font mensuellement par la DPE Guelmim auprès de toutes les sources précitées. Le *débit total drainé est évalué à 97 l/s*.

b/ Prélèvements par pompage

❖ Prélèvements agricoles

Les superficies agricoles sont en progression depuis 1989, passant de 200 ha en 1976 à 3480 ha en 2002 et 2005, d'après une récente enquête DPA, ces superficies deviennent en nette régression atteignant une superficie irriguée à partir des eaux souterraines en 2010 qui ne dépasse pas 1000 ha correspondant à *un débit prélevé de 400 l/s*.

❖ Prélèvements d'eau potable (AEP)

L'alimentation en eau potable de la ville de Guelmim (Tan-Tan en partie) et centres urbains se trouvant dans la plaine se fait exclusivement à partir des eaux souterraines, par le biais de puits et de forages. La production et la distribution sont assurées par l'ONEP.

Tous les captages d'AEP sont concentrés le long des vallées :

- Champs captant le long de la vallée d'Oum Laachar (6 puits équipés opérationnels)
- Champs captant le long de la vallée d'oued Seyad (4 puits opérationnels, 2 autres abandonnés à cause de la salinité ; 5 forages équipés opérationnels et 5 autres non équipés).

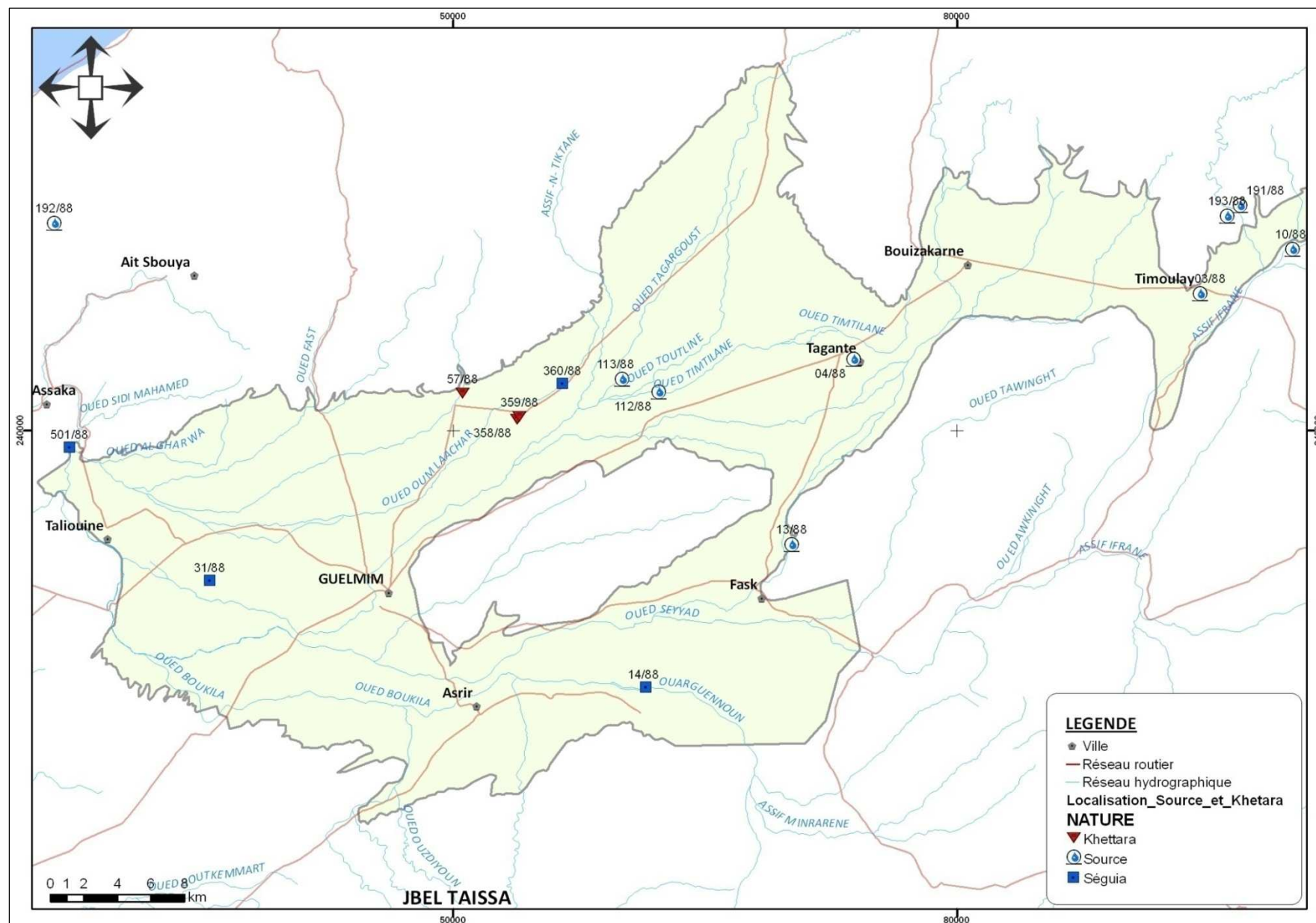


Figure 31 : Carte de localisation des sources et khattara dans la plaine de Guelmim

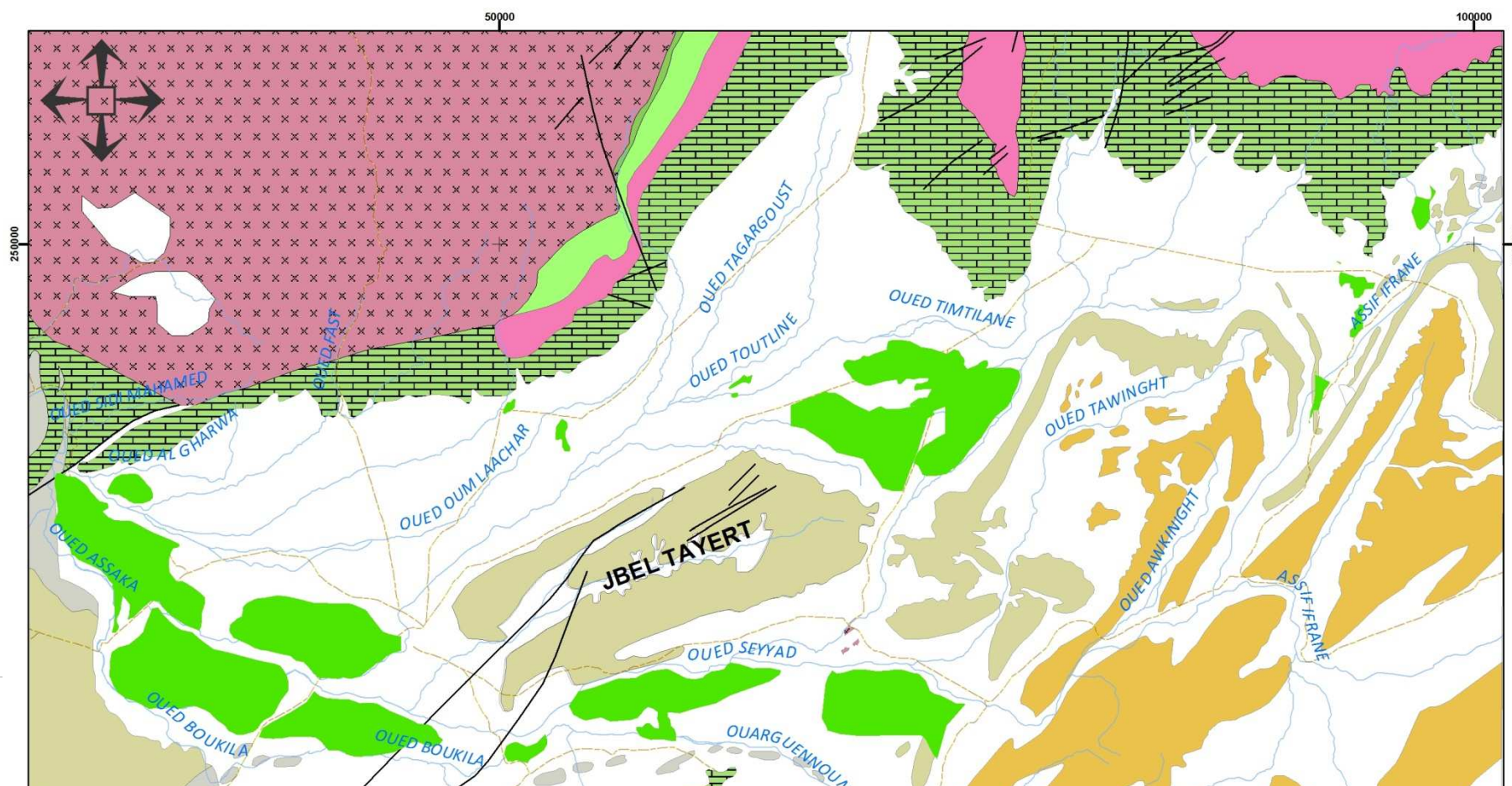


Figure 32 : Situation des périmètres irrigués dans la plaine de Guelmim



Figure 33 : Répartition spatial des captages ONEP dans la plaine de Guelmim

Le débit total des prélèvements pour l'AEP de la ville de Guelmim et centres environnants s'élève à **151.4 l/s en pointe**. L'AEP des autres centres et douars non liés à l'adduction Guelmim est de **27.5l/s**. Le prélèvement total destiné à l'AEP est évalué à **178.9 l/s**.

Donc le prélèvement total par pompage destiné à l'irrigation et à l'AEP prélevé au niveau de la nappe de Guelmim s'élève à **578.9 l/s**, soit environ **18.4 Mm3/an**.

c/ Evaporation directe de l'eau de la nappe

Elle intervient notamment dans le secteur SW, zones caractérisées par des faibles profondeurs de la nappe (≤ 5 m).

Sur un plan théorique, on sait qu'en région aride le pouvoir évaporant de l'atmosphère peut atteindre de 1.5 à 3 m/an et ne constitue donc pas une limite à l'évaporation.

Les résultats des évaluations de l'évaporation de l'eau de la nappe à partir des études antérieures sont estimés à **16 l/s**.

d/ Flux aval sortant vers la mer

En considérant une largeur de front de 2 km, une transmissivité moyenne de 5.10^{-3} m²/s et un gradient hydraulique moyen de la nappe de 0.5 ‰, le calcul du débit transité vers la mer par la loi de Darcy est de 50 l/s.

SYNTHESE DES SORTIES DE LA NAPPE :

Les différentes sorties de la nappe sont détaillées comme suit :

SORTIES A LA NAPPE	DEBITS
drainage des sources	97 l/s
flux aval au niveau de la limite ouest de la nappe (oued Assaka)	50 l/s
évaporation de l'eau au niveau de la limite ouest de la nappe	16 l/s
Prélèvements agricoles et d'Alimentation en Eau Potable (AEP)	579l/s
Le total des sorties est de :	742 l/s

III.5 Qualité chimique de l'eau

L'économie de la région est principalement basée sur l'agriculture. Le fait de la croissance démographique et économique, le développement aboutit à une augmentation de la demande en eau et la génération de sources de pollution complémentaire. L'aquifère de la plaine de Guelmim dont la nappe se situe à des faibles profondeurs est le réservoir principal pour l'alimentation en eau potable. Cet aquifère correspond géologiquement à une dépression tectonique avec un remplissage de plioquaternaire. L'eau souterraine est caractérisée par des Faciès chimiques de type : Mg-HCO₃, Mg-Cl et Na-Cl. La distribution spatiale de total des Sel dessous (TDS) montrent une augmentation de salinité en aval de l'Oumlaachar et des sous-bassins Seyyad (Bouhlassa et al, 2004).

Pour les eaux souterraines, elles sont de bonne qualité à l'amont de Guelmim, dans la vallée de l'Oum El Achaàr jusqu'à la plaine au niveau Bouizakarne-Timoulay et au niveau de Fask. Cependant au Sud, la salinité élevée est due probablement un temps de séjour important et/ou à un écoulement profond en traversant les schistes. A ces endroits l'augmentation de la minéralisation en aval résulterait de l'effet cumulatif d'un débit moyen faible dans les formations de Plioquaternaire et de taux d'évaporation forte en raison de la proximité de la surface de la nappe /sol (Agoussine, 1993).

Les processus primaires contrôlant l'évolution des eaux souterraines dans cet aquifère sont :

- dissolution d'évaporites des formations de Plioquaternaire,
- phénomènes de dolomitisation,
- recyclage des eaux d'irrigation.

A l'exception des écoulements épisodiques engendrés par les précipitations limitées en intensité et dans le temps, les eaux de surface sont rares voir inexistantes. La qualité de l'eau de surface dépend notamment de la nature des terrains traversés et la durée de contact de l'eau avec les terrains.

III.5.1 CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

Les températures mesurées dans les sous bassin d'Oum El Achaâr et le sous-bassin Seyyad (Assaka) varient entre 22°C et environ 25°C. Par conséquent, la température des eaux souterraines dans ces deux sous bassins est homogène.

Les valeurs du pH fluctuent dans une fourchette de 7 à environ 9. Les valeurs enregistrées de pH, sont plus élevé que le premier pK acide mais inférieur au deuxième Pk acide de l'acide carbonique, cela indique que l'anion bicarbonate est l'élément carbonaté le plus dominant dans les eaux souterraines (PDAIRE, 2009).

III.5.2 Faciès hydrogéochimiques

Dans le bassin d'Oum El Achaâr, l'analyse de la composition chimique en éléments majeurs des eaux souterraines en utilisant le diagramme triangulaire de Piper permet de distinguer deux faciès différents (Figure 34).

Faciès Mg-HCO₃ : il caractérise les eaux provenant du flanc sud de l'Anti-Atlas formé par des carbonates karstiques du Primaire (puits 1,4, 112, 46 et 1240).

- **Faciès Mg-Cl et Na-Cl** : il caractérise les eaux rassemblées le long de l'axe du bassin (cas des puits 1242, 33, 24, 896). Ce sont des eaux traversant les formations d'âge Plioquaternaire et 58 c'est à ce niveau la recharge de la nappe se fait par les eaux traversant la bottonnière d'Ifni.

Au niveau de ce bassin, on note des concentrations en chlorures très élevées.

Dans le sous bassin de Seyyad, on distingue deux faciès chimiques :

Faciès Mg-HCO₃ : caractérisant les puits 12, 441, 418, 419

Faciès Mg-Cl et Na-Cl : trouvé au niveau des puits 1186, 1196, 1187, 1191, 1192, 900, 899, 896,1003, 931 et 880.

En conclusion et dans les deux sous bassins, la composition chimique en éléments majeurs des eaux souterraines est généralement liée à la nature des terrains traversés, à l'origine des eaux et à la profondeur de la nappe phréatique.

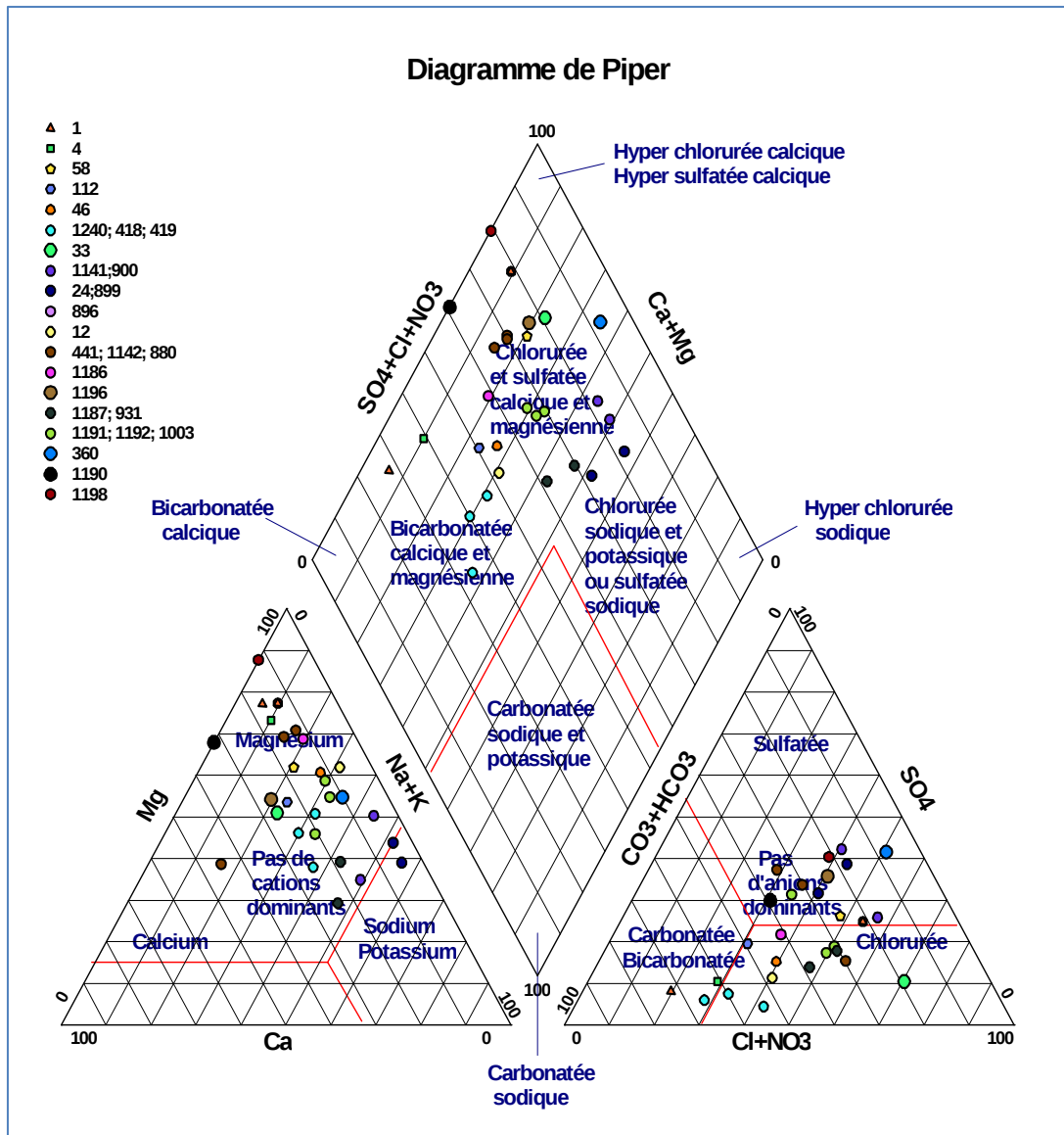
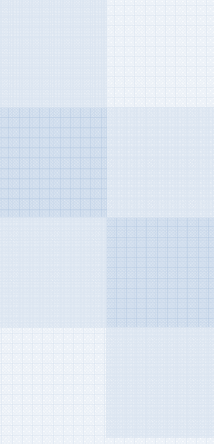


Figure 34 : Diagramme triangulaire de Piper



Conclusion

Conclusion générale

L'objectif principal de ce travail est la contribution à l'étude hydrogéologique de l'aquifère Plio-quadernaire exploité dans la plaine de Guelmim , appartenant à la zone aride du sud marocain.

Le régime pluviométrique, de la zone, est caractérisé par une forte variabilité des pluies saisonnières et interannuelles. La saison chaude dure 7 mois et s'étale du mois d'avril à octobre. Le reste de l'année, correspond à la période pluvieuse où l'on assiste à une alimentation notable des nappes d'eau souterraine et surtout celle circulant, à des faibles profondeurs, dans les terrains plioquadernaires.

La synthèse géologique a permis de décrire les principaux faciès lithologiques rencontrés dans le bassin et particulièrement des formations plioquadernaires constituant l'aquifère le plus exploité dans la zone de Guelmim. Il en ressort de cette synthèse que ces dernières présentent les faciès dominants suivants : conglomérats, calcaires et marno-calcaires lacustres.

Hydrogéologiquement, le bassin de Guelmim renferme deux nappes profondes et une nappe phréatique. Les nappes profondes circulent dans les formations adoudouniennes et géorgiennes) qui s'alimentent au niveau du plateau de Lakhsass et du Bas-Draâ .Ces nappes se trouvent sous la plaine de Guelmim à des profondeurs très importantes, dépassant 1000 m (Géorgien), notamment au centre du bassin, au voisinage de la ville de Guelmim. Le fonctionnement hydrogéologique et les potentialités aquifères de ces formations sont encore mal connus, seules la prospection géophysique et quelques forages ont été effectués (notamment à proximité des bordures du bassin, où ces formations s'approchent de la surface du sol). La productivité des ouvrages sollicitant ces nappes profondes est généralement faible. L'apparition des eaux de ces nappes se fait au niveau de quelques sources, situées notamment dans la partie nord-est de la plaine.

La prospection hydrogéologique de ces aquifères devra se poursuivre pour analyser les possibilités de leur exploitation par forages, pouvant permettre le renforcement de l'alimentation en eau potable de la ville de Guelmim et des autres centres avoisinants. Elles contribueront également à la satisfaction des besoins en eau des périmètres irrigués.

La nappe principale du bassin de Guelmim (superficie totale d'environ 1000 km²) circule notamment dans des calcaires lacustres (dominants dans les secteurs nord et nord-est de la plaine), des marno-calcaires et marnes sableuses qui couvrent la partie sud du bassin. L'eau

circule également dans des alluvions constituant la vallée de l'oued Oum El Achaàr au nord et celles des oueds Seyyad et Ouerg Noun au sud du bassin. Le substratum de la nappe est constitué par des schistes acadiens dans la plus grande partie de la plaine et de schistes-calcaires et schistes gréseux géorgiens dans le secteur d'Andja. L'épaisseur de la zone saturée varie généralement entre 10 et 50 m, avec une moyenne d'environ 30 m. L'écoulement général de la nappe suit globalement celui des eaux superficielles. Il se fait du nord-est vers le sud-ouest dans le bassin de l'oued Oum El Achaàr et de l'est vers l'ouest dans le bassin de l'oued Seyyad.

La variation temporelle de la piézométrie de la nappe montre une stabilisation des niveaux piézométriques, notamment au nord de l'axe Iguissel-Tagante situé dans le bassin de l'Oum El Achaàr (nord de la nappe) et une tendance à la baisse des niveaux piézométriques (comprise entre 0.1 et 0,7 m/an entre 1990 et 2009) dans la partie sud de la nappe, située entre Tighmert à l'est et Tiliouine à l'Ouest.

Le bilan de la nappe fait état d'un déficit, évalué à environ $2 \text{ Mm}^3/\text{an}$ (soit 85 l/s). Ce déficit est à l'origine de la baisse des niveaux de la nappe, compris entre 0.1 et 0,7 m/an entre 1990 et 2009 (notamment dans les secteurs sud et ouest) et de la diminution des débits de ses exutoires naturels (sources, khetaras, sorties avales et évaporation de l'eau).

La nappe contient des secteurs potentiellement favorables à sa recharge artificielle par les eaux superficielles excédentaires, situés notamment au niveau des vallées des oueds Oum El Achaàr au nord et Seyyad au sud.

La qualité de l'eau de la nappe est généralement bonne, le total des sels dissous est inférieur à 2 g/l. Seuls les secteurs ouest (Assaka) et sud de la nappe connaissent des teneurs en sels assez importantes, dépassant 3 à 4 g/l, en raison de l'évaporation de l'eau de la nappe, favorisée par les faibles profondeurs de la surface de la nappe en ces endroits

Références bibliographiques

- **ADI, CACG. 2006.** Etude d'actualisation du schéma d'aménagement intégré des ressources en eau du bassin de Guelmim – Actualisation des études des ressources en superficielles – Elaboration d'un modèle hydrologique.
- **ADI, CACG. 2006.** Etude d'actualisation du schéma d'aménagement intégré des ressources en eau du bassin de Guelmim – Actualisation des études des ressources en superficielles – Elaboration des séries des apports d'eau.
- **ADI, CACG. 2006.** Etude d'actualisation du schéma d'aménagement intégré des ressources en eau du bassin de Guelmim – Actualisation des études de la demande en eau potable.
- **Agoussine M. 1993.** Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de Guelmim- Modélisation et gestion des ressources en eau souterraine. Thèse du 3^{ème} cycle. Université de Sciences de Semlalia. Marakech.
- **Belqasmi R. 2000.** Élaboration d'un logiciel SIG pour la délimitation des périmètres de protection des captages des eaux souterraines. Etude de cas : champ captant d'Ouled Teima. Mémoire de 3^{ème} cycle. Option génie rural. IAV Hassan II. Rabat.
- **Compagnie Générale de Géophysique. 1992.** Prospection géophysique par gravimétrie : étude des plaines de Guelmim et de Bou Isakarn.
- **A.Coudrain – Risbstein et al, 1992 :** L'évaporation des nappes phréatiques sous climat aride est-elle indépendante de la nature du sol. CR Acad. Scie. Paris
- **CRTS, 2000.** Etude pilote par télédétection pour l'exploration des eaux souterraines en zone aride – cas de la nappe profonde de Guelmim.
- **Dijon R. 1966.** Reconnaissance hydrogéologique et ressources en eau du bassin des oueds Seyad - Ouarg-Noun.
- **Dirasset. 2003.** Stratégie de développement et d'aménagement des oasis au Maroc – stratégie de développement et plans d'actions.
- **Dirasset. 2003.** Stratégie de développement et d'aménagement des oasis au Maroc – Rapports d'enquêtes et problématiques.
- **Dirasset. 2003.** Stratégie de développement et d'aménagement des oasis au Maroc – Analyses, diagnostics, typologie des oasis
- **Direction de la recherche et de la planification de l'eau. 1982.** Synthèse des connaissances hydrogéologiques sur la région de Guelmim.

- **Direction de la recherche et de la planification de l'eau. 1999.** Modèle mathématique et carte hydrogéologique de Guelmim.
- **Direction de la région hydraulique du Souss Massa. 1997.** Note sur les ressources en eau souterraine de la plaine de Guelmim.
- **DPA Guelmim. 2001.** Le potentiel hydro-agricole des périmètres d'irrigation par épandage des eaux de crue dans la province de Guelmim.
- **ESRI France © 2001, 2002.** Qu'est ce que ArcGIS.
[http:// support.esrifrance.fr](http://support.esrifrance.fr)
- **Esri. 2002.** Qu'est ce que ArcGIS® 9.1 – chap8 Concepts liées aux données SIG dans la géodatabase
<http://support.esrifrance.fr/téléchargement/index.asp>.
- **Géotlas. 1994.** Etude géophysique par prospection électrique (région de Guelmim).
- **Géotlas. 1997.** Etude par sismique réflexion haute résolution de la plaine de Guelmim.
- **Michard A., 1976:** éléments de géologie marocaine, Notes et mémoires service géologiques n°252.
- **Nejarrou, 2006.** Recharge artificielle des nappes souterraines, expérience nationale et internationale : application a une nappe du Maroc. Mémoire de 3^{ème} cycle. EHTP. Casablanca.
- **OLIVA P. (1972):** Aspest et problèmes géomorphologiques de l'Anti-Atlas occidental. Revue de Géomorphologie du Maroc n°21. pp34-77.
- **Résing, 2006 :** Plan directeur d'aménagement des bassins sud atlasiques. ABHSM, marché n°.....
- **SCET, SOGREAH. 1996.** Etude du plan directeur de l'aménagement des eaux des bassins sudatlasiques - Etude des ressources en eau – hydrogéologie - unités Bas-Draa, Tiznit-Ifni, Guelmim.
- **SCET, SOGREAH. 1999.** Etude du plan directeur de l'aménagement des eaux des bassins sudatlasiques – Etude des schémas d'aménagement.
- **Secrétariat d'Etat chargé de l'eau. 2004.** Contribution des ressources en eau au développement socio-économique dans les bassins du sud.
- **Wardi, 1999.** Modèle mathématique et carte hydrogéologique de Guelmim.