



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



Agence du Bassin
Hydraulique de Tensift
Marrakech

Mémoire de fin d'études

Licence ès-Sciences et Techniques
Eau et Environnement

*Caractérisation de la qualité des ressources en eau
dans le sous bassin Ksob
(Région d'Essaouira, Maroc)*

Par

Ali MORABBI et Omar SOUABNI

Encadrés par :

Pr. H. IBOUH FSTG
Mme M. BENGHANEM ABHT

Soutenu le 25 Juin 2013 devant le Jury composé de :

- Pr. H. IBOUH FST Guéliz Marrakech
- Pr. S. ESSARRAJ FST Guéliz Marrakech
- M. BENGHANEM Ingénieure à l'ABHT

Année universitaire 2012-2013



This PDF was created using the PDF Converter Elite software.
To remove this watermark, please license this product at www.pdfconverter.com

REMERCIEMENT

Un simple mot de merci n'est pas suffisant pour exprimer notre profonde gratitude. Car notre stage a nécessité tout au long de sa durée une aide, un soutien, un intérêt accordé et un effort consacré par un certain nombre de personnes. En raison de leur compréhension et de leur coopération nous exprimons nos reconnaissances à toutes ces personnes.

Nous citons notamment nos encadrants l'ingénieur Mme Mounia BENGHANEM de la ABHT et le Pr. Hassan IBOUH de la FSTG ; leurs conseils, leurs efforts et commentaires ont été précieux et très utiles pour structurer ce travail et le mener à terme.

Merci particulièrement au Pr. M. Mehdi SAIDI pour son aide et sa disponibilité. Nous tenons aussi à exprimer nos sincères remerciements aux membres du jury qui nous ont fait honneur en acceptant d'évaluer ce travail.

Nous présentons nos sincères et vifs remerciements à Mme Saida MORABBI grâce à ses efforts et sa sympathie sans égale.

Nos estimés et grâces profondes vont aussi à nos parents et nos proches, sous prétexte que l'accomplissement de ce mémoire est une œuvre de leur soutien et leur encouragement.

Merci sincèrement à toutes personnes qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de ce travail.

Ali MORABBI et Omar SOUABNI

RESUME

Le stage effectué au sein de l'Agence de Bassins Hydraulique Tensift (ABHT) a pour objectif principal la caractérisation de la qualité des ressources en eau dans le sous bassin Ksob (Région d'Essaouira), et un essai de détection des origines de pollution. Cette étude se base sur le traitement et l'analyse de données physicochimiques couvrant la période allant de 2007 jusqu'à 2010.

La région d'Essaouira se caractérise par un climat aride à semi-aride, le bassin de Ksob est contrôlé par trois points de surveillance de la qualité des eaux en surface à savoir : Adamna, Igrounzar et Zelten. Ainsi les stations de surveillance des eaux souterraines sont au nombre de trois : Ait Daoud, Ait Lachguer et Sidi Abderrahmane.

L'analyse approfondie des données de station souterraines a permis d'évaluer la qualité des eaux dans la région d'étude. Ainsi les eaux de la nappe principale correspondante à notre bassin (Nappe de Meskala-Korimat), sont classées comme des eaux de mauvaise qualité. Elles sont contaminées par les éléments polluants ex : les nitrates et les chlorures qui se présentent en excès. Les eaux de surface, quant à elles, leur qualité est considérée comme moyenne.

SOMMAIRE

Liste des tableaux.

Liste des figures.

Liste des abréviations

Partie I :

GENERALITE ET PRESENTATION DE L'ETUDE ET LE SECTEUR ETUDIE.

I- Introduction.....	9
I-1-Définition et généralités.....	9
I-2-Le cadre du stage.....	10
I-2-1-Agence du bassin hydraulique de Tensift (ABHT) : Création et mise en service.....	10
I-3-Choix et objectifs.....	11
II- Présentation et localisation du bassin Ksob.....	11
II-1-Situation géographique.....	11
II-2-Aperçu géologique et lithologique.....	12
II-3-Topographie.....	15
II-4-Caractéristiques climatiques.....	16
II-5-Couvert végétal.....	16
II-6-Ressources en eau dans le bassin Ksob.....	16
II-6-1-Les eaux de surface.....	16
II-6-2-Les eaux souterraines.....	18

Partie II :

METHODE ET MOYENS DE TRAVAIL

I- Points de contrôle et surveillance de la qualité des eaux.....	21
II- Procédure de travail.....	23
III- Normes marocaines de la qualité des eaux	23
III-1-Qualité des eaux de surface.....	24
III-2-Qualité des eaux souterraines.....	26

Partie III :

TRAITEMENT DES RESULTATS D'ANALYSES, INTERPRETATION ET DISCUSSION

Présentation des analyses	30
I- Eaux de surface.....	30
I-1- Paramètres physico-chimiques.....	30
a-pH.....	30
b-Température de l'eau.....	31
c-Conductivité.....	32
I-2- Identification des faciès chimiques.....	32
II-Eaux souterraines.....	38
II-1- Paramètres physico-chimiques.....	38
a- pH.....	38
b-Température de l'eau.....	39
c- Conductivité.....	39
II-2- Identification des faciès chimiques.....	40

Partie IV :

ESSAI D'ETUDE SUR LA POLLUTION DES EAUX DU BASSIN KSOB

I-Introduction.....	49
II-Perspective globale sur la qualité.....	52
II-1-Origines de pollution.....	52
a- Déchets ménagers.....	52
b- Déchets assimilés.....	53
c- Déchets hospitaliers.....	53
d- Pollution agricole	53
III-Impact de la pollution sur les ressources en eau.....	56
CONCLUSION GENERALE.....	57
RECOMMANDATIONS.....	57
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	58

LISTES DES FIGURES

Figure 1: Situation géographique du bassin versant du Ksob (El Mimouni. A et al, 2010).....	12
Figure 2: Carte géologique du sous bassin de l'Ksob.....	14
Figure 3: Carte hypsométrique du bassin Ksob.....	15
Figure 4: Répartition des eaux de surface dans le bassin Ksob.....	17
Figure 5: Carte de principales nappes du bassin Ksob.....	19
Figure 6: Points de surveillance et de contrôle de la qualité des eaux de surface.....	21
Figure 7: Points de surveillance et de contrôle de la qualité des eaux souterraines.....	22
Figure 8 : Evolution temporelle du pH dans les trois stations de surface entre 2007 et 2010.....	30
Figure 9 : Evolution de la température de l'eau dans les trois stations de surface entre 2007 et 2010.....	31
Figure 10 : Variation temporelle de la conductivité dans les trois stations de Surface entre 2007 et 2010.....	32
Figure 11: Projection des analyses des eaux de surface sur le diagramme de Piper (Période entre 2007 et 2010).....	33
Figure 12: Projection des analyses des eaux de la station Adamna sur le diagramme de Shoeller-Berkaloff.....	35
Figure 13: Projection des analyses des eaux de la station Igrounzar sur le diagramme de Shoeller-Berkaloff.....	36
Figure 14: Projection des analyses des eaux de la station Zelten sur le diagramme de Shoeller-Berkaloff.....	37
Figure 15 : Evolution temporelle du pH dans les trois stations souterraines entre 2007 et 2010.....	38
Figure 16 : Evolution de la température de l'eau dans les trois stations souterraines entre 2007 et 2010.....	39
Figure 17 : Variation temporelle de la conductivité dans les trois stations souterraines entre 2007 et 2010.....	40
Figure 18: Projection des analyses des eaux souterraines sur le diagramme de Piper (Période entre 2007 et 2010).....	41
Figure 19: Projection des analyses des eaux du puits Ait Daoud sur le diagramme de Shoeller-Berkaloff.....	42
Figure 20: Projection des analyses des eaux du puits Ait Lachger sur le diagramme de Shoeller-Berkaloff.....	43
Figure 21: Projection des analyses des eaux du puits Sidi Abderahman sur le diagramme de Shoeller-Berkaloff.....	45
Figure 22 :Variation de l'indice de saturation des eaux souterraines.....	46
Figure 23 :Carte communale illustrant la localisation des décharges:.....	54

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Situation des points d'eau du réseau surfacique de suivi de la qualité des ressources en eau.....	21
Tableau 2 : Situation des points d'eau du réseau souterrain de suivi de la qualité des ressources en eau.....	22
Tableau 3: Détermination des paramètres analysés par LPEE dans les différentes stations dans le bassin Ksob (ABH Tensift / Etude de la qualité de l'eau / 43ème Campagne).....	23
Tableau 4 : Grille de qualité des eaux de surface.....	24
Tableau 5 : Grille simplifiée de la qualité des eaux superficielles.....	25
Tableau 6 : Grille simplifiée de la qualité des eaux souterraines piper (Période entre 2007 et 2010).....	26
Tableau 7 : Indice de saturation des eaux souterraines vis-à-vis des minéraux.....	46
Tableau 8: Qualité globale des eaux de surface dans le bassin Ksob (période entre 2007 et 2010).....	50
Tableau 9: Qualité globale des eaux souterraines dans le bassin Ksob (période entre 2007 et 2010).....	51
Tableau 10 : Inventaire des sources de pollution dans les quatre communes contenant les points de contrôle de la qualité des eaux dans le bassin Ksob.....	55

LISTE DES ABREVIATIONS

ABHT : Agence du bassin hydraulique de Tensift.
CF : Coliformes fécaux.
Chl a : Chlorophylle a
Cond : conductivité
CT : Coliformes totaux
DBO₅ : Demande biologique en oxygène dans 5 jours
DCO : Demande chimique en oxygène
GIRE : Gestion intégrée des ressources en eau
GWP : The Global Water Partnership
IWRE : Integrated Water Resources Management
LPEE : Laboratoire Public d'Essais et d'Etude
MES : Matières en suspension
MO : Matière organique
NH₄⁺ : L'ammonium
NTK: Azote total.
PDAIRE : Plans Directeurs d'Aménagement Intégrés des Ressources en Eau
pH : potentiel hydrogène
PPRI : Plans de prévention des risques d'inondation
PT: Phosphore total
RE : Ressources en eau
RS : Résidu sec
SF : Streptocoques fécaux

Partie I :
GENERALITE ET PRESENTATION DE L'ETUDE ET LE
SECTEUR ETUDIE.

I- Introduction

I-1-Définition et généralités

Un bassin versant est une aire délimitée par des lignes de partage des eaux, à l'intérieur de laquelle toutes les eaux tombées alimentent un même exutoire: cours d'eau, etc. Une ligne de crête se confond très souvent avec une ligne de partage des eaux

Chaque bassin versant se subdivise en plusieurs bassins élémentaires (parfois appelés « sous-bassin versant ») correspondant à la surface d'alimentation des affluents se jetant dans le cours d'eau principal.

La connaissance d'un bassin versant est fondamentale dans toute étude hydrologique et/ou de risque naturel ou de vulnérabilité des ressources en eau. Le bassin versant constitue l'unité de base des études d'hydrauliques urbaines, d'analyse de la qualité des eaux, de prospections de captages, de plans de prévention des risques d'inondation (PPRI), etc.

La gestion de l'eau sur un bassin hydrographique est assurée par une agence de bassin qui est un organisme public participant à la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) ou *Integrated Water Resources Management* (IWRE).

La GIRE est un processus favorisant le développement et la gestion coordonnés des ressources en eau du sol et des ressources associées, et permettant d'optimiser les bénéfices économiques et sociaux, de façon équitable sans compromettre la pérennité des écosystèmes vitaux. Il a été notamment promu par le Partenariat Mondial de l'eau (*The Global Water Partnership - GWP*), qui est un réseau mondial fournissant des connaissances et renforçant les capacités pour une gestion durable des ressources en eau. Ainsi, il fait la promotion et appuie les activités aux niveaux national et régional du développement, (http://fr.wikipedia.org/wiki/Bassin_versant).

La question de la qualité de l'eau au sein des programmes humanitaires, se pose essentiellement en termes de consommation humaine et d'irrigation. Cette qualité est définie par des paramètres physiques, chimiques et biologiques. Ainsi, une eau impropre à la consommation peut être adaptée à l'irrigation ou à la pisciculture. Une eau propre, est une eau qui respecte les normes, par contre à une eau de mauvaise qualité dépassant les normes.

La mauvaise qualité de l'eau peut être induite par des activités anthropiques ou par des phénomènes naturels. On distingue différentes natures de polluants: les polluants chimiques (des éléments solubles) ou organiques (matière organique, hydrocarbures, organochlorés...); les polluants biologiques (bactéries, virus et champignons); et les polluants physiques (matières en suspension, radioactivité...).

I-2-Le cadre du stage

Notre stage a été effectué au sein de l'agence du bassin hydraulique de Tensift (ABHT), il a pour but d'étudier les caractéristiques des ressources en eau dans le sous bassin de Ksob (région d'Essaouira).

La zone de Ksob est dotée d'un taux de population important, surtout rurale, ainsi que des ressources hydriques de surfaces et souterraines. C'est pour cela que cette zone étudiée demande un suivi de la qualité des eaux dans le cadre de la préservation et la protection de ces ressources. Ainsi que la détermination des eaux polluées et la nature et l'origine de cette pollution. En plus, il faut déterminer les zones qui présentent un impact nuisible et menacent la qualité des eaux de la zone étudiée.

I-2-1-Agence du bassin hydraulique de Tensift (ABHT) : Création et mise en service

La planification des ressources en eau au Maroc a été amorcée dès les années 80 et institutionnalisée en 1995 à travers la promulgation de la loi de l'eau 10-95 qui a donné naissance aux Agences de Bassins Hydrauliques (ABH). Ces ABH (au nombre de 9), ont pour mission d'évaluer, de planifier et de gérer les ressources en eau au niveau des bassins hydrographiques correspondants, par l'élaboration et la mise en œuvre des Plans Directeurs d'Aménagement Intégré des Ressources en Eau (PDAIRE) (www.solutionsforwater.org).

L'ABHT est instaurée par le décret n° 2-00-479 du 14 Novembre 2000, en application de l'article 20 de la loi sur l'eau, afin d'assurer une gestion intégrée et concertée des ressources en eau pour un développement durable du bassin hydraulique du Tensift.

* *Les objectifs de création des Agences de Bassins Hydrauliques:*

- Planification cohérente et concertée à l'échelle du bassin hydraulique;
- Gestion intégrée, décentralisée et concertée des ressources en eau et du domaine public hydraulique.
- Protection et conservation quantitative et qualitative des ressources en eau.
- Utilisation rationnelle et optimale de l'eau.

* *L'Agence du Bassin Hydraulique est chargée de :*

- Elaborer le PDAIRE et de veiller à son application ;
- Fournir les aides financières et l'assistance technique dans le domaine de la pollution des ressources en eau ;
- Réaliser les mesures et les études nécessaires à l'évaluation, la planification et la gestion des ressources en eau ;

- Réaliser les mesures de qualité de l'eau et appliquer les dispositions réglementaires relatives à la protection des RE et à la restauration de leur qualité ;
- Proposer et exécuter les mesures adéquates pour assurer l'approvisionnement en eau en cas de pénurie d'eau ou pour prévenir les risques d'inondation ;
- Gérer et contrôler l'utilisation des ressources en eau mobilisées ;
- Réaliser les infrastructures nécessaires à la prévention et à la lutte contre les inondations
- Tenir un registre des droits d'eau reconnus et des concessions et autorisations de prélèvement d'eau accordées,(*La Loi 10-95 sur l'Eau, Section III, Articles 20 – 24 ; (www.eau-tensift.net)*).

I-3-Choix et objectifs

Dans le cadre du projet de fin d'études nous avons opté pour travailler sur le sujet de la qualité des eaux. Dans le bassin versant du Ksob car cette zone est dotée d'une médiocrité au niveau de sa qualité des eaux. Ceci demande une analyse et un traitement des différents aspects de l'eau de la région du Ksob. Pour réaliser ces objectifs, nous avons subdivisé le travail en trois parties :

- * En premier lieu, une présentation générale et analyse géomorphologique de bassin versant, notamment la situation géographique du bassin, sa géologie générale, sa lithologie, sa morphologie, son couvert végétal et son aspect climatique, ainsi que les principales caractéristiques de la végétation au niveau de la zone étudiée.
- * En deuxième lieu, nous décrirons la méthodologie adoptée pour l'élaboration du travail.
- * A la fin, on aura un traitement et une analyse des données hydrochimiques afin d'obtenir une vision générale sur la qualité des ressources en eau dans le bassin Ksob et les principales sources et origines de pollution.

II-PRESENTATION ET LOCALISATION DU BASSIN DE KSOB

II-1-Situation géographique

le bassin versant du Ksob se situe sur la cote atlantique du Maroc au sud - est de la ville Essaouira , entre les latitudes 31°2' et 31°30' Nord et les longitudes -9° et -9°46' ouest. C'est un bassin qui est traversé par l'oued Ksob résultant de la confluence des oueds Igrounzar et Zelten à l'amont de la gorge Zerrar et à environ 29 km de l'océan atlantique(fig. 1).

Ksob est un bassin côtier à l'extrémité occidentale de la chaîne du Haut Atlas occidental avec une superficie de 1480 km² ; il est subdivisé en trois sous bassins :

- Sous bassin d'oued Igrounzar, qui s'étend sur 825 km² dans la partie Nord du bassin
- Sous bassin d'oued Zelten s'étendant sur 462 km² sur la partie sud
- Sous bassin de l'Adamna avec une superficie de 194 km² dans la partie extrême ouest.

(El Mimouni,et al 2010)



Figure 1: Situation géographique du bassin versant du Ksob (El Mimouni et al, 2010)

II-2-Aperçu géologique et lithologique

Les oueds Igrounzar et Zelten prennent naissance dans le Haut Atlas occidental. Leurs cours supérieurs correspondent essentiellement aux séries calcaires du Crétacé moyen (réputées perméables) et leurs cours inférieurs aux marnes et argiles du Crétacé inférieur (impermeables).

Au niveau du point de confluence, on note la présence d'affleurements calcaires (perméables) du Crétacé (Turonien, Cénomaniens et Vraconien) (Fig. 2)

Les formations géologiques au niveau du bassin versant de Ksob sont très distinctes et elles sont comprises en général entre le Trias et le Quaternaire (Michard, 1976; Nour Essaid, 1994). Ainsi la majorité des faciès rencontrés dans le bassin est constituée de séries carbonatées d'âge jurassique et crétacé.

Les roches tendres à moyennement tendres représentent plus de 60 % de l'étendue du bassin (El Mimouni et al. 2010) ce qui explique la grande quantité des matériaux solides charriée par l'oued Ksob durant les périodes de crue.

Les formations carbonatées du Crétacé occupent 85% de la superficie du haut bassin d'Igounzar. On trouve des marnes et des marno-calcaires respectivement cénomaniens et sénoniens dans la bordure Nord du bassin d'Igounzar, sur lesquels le ruissellement est intense. Le centre du bassin se caractérise par l'écoulement de l'oued sur des formations calcaires Turoniens assez fissurés et qui permettent l'infiltration d'une quantité d'eau assez importante (Rey et al, 1988; Ettachfani, 1992 ;Nour Essaid, 1994).

Avec un bassin versant moins étendu que celui de l'Igounzar, l'oued Zelten draine des séries aux structures plus compliqué qui font affleurer le Jurassique supérieur. Ces formations sont en majeure partie constituées par des roches plutôt étanches (des argiles et des marnes), le ruissellement y est par conséquent plus intense. Vers l'aval de la confluence, les formations dunaires consolidées et mobiles du quaternaire occupent la totalité du sous bassin versant d'Adamna. Dans cette partie, le réseau hydrographique du bassin versant est peu marqué car les eaux s'infiltrent rapidement dans les alluvions du lit de l'oued Ksob qui est à sec plusieurs mois par an (http://www.water.gov.ma/index.cfm?gen=true&id=13&ID_PAGE=45).

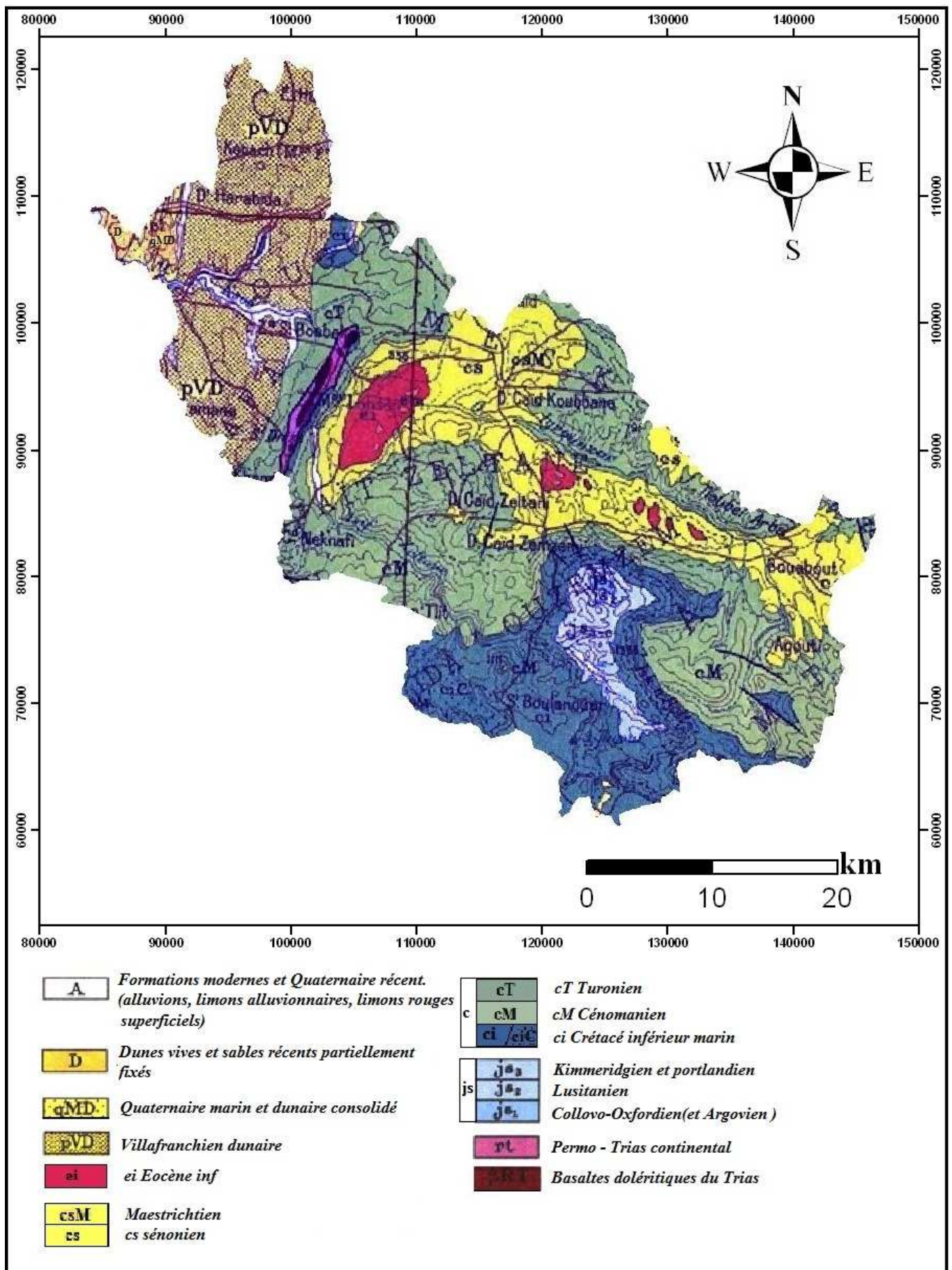


Figure 2: Carte géologique du sous bassin de l’Ksob (Extrait de la carte géologique du Maroc, 1 : 500 000 d’après M . G .Choubert (1957))

II-3-Topographie

Le bassin versant de Ksob subdivisé en trois sous bassin occupe une superficie de 1480 Km², et un périmètre de 209 Km. Ainsi il se caractérise par des tranches d'altitudes comprises entre 1600m et moins de 200m dans sa partie avale (fig. 3). L'altitude moyenne est d'environ 725 m.

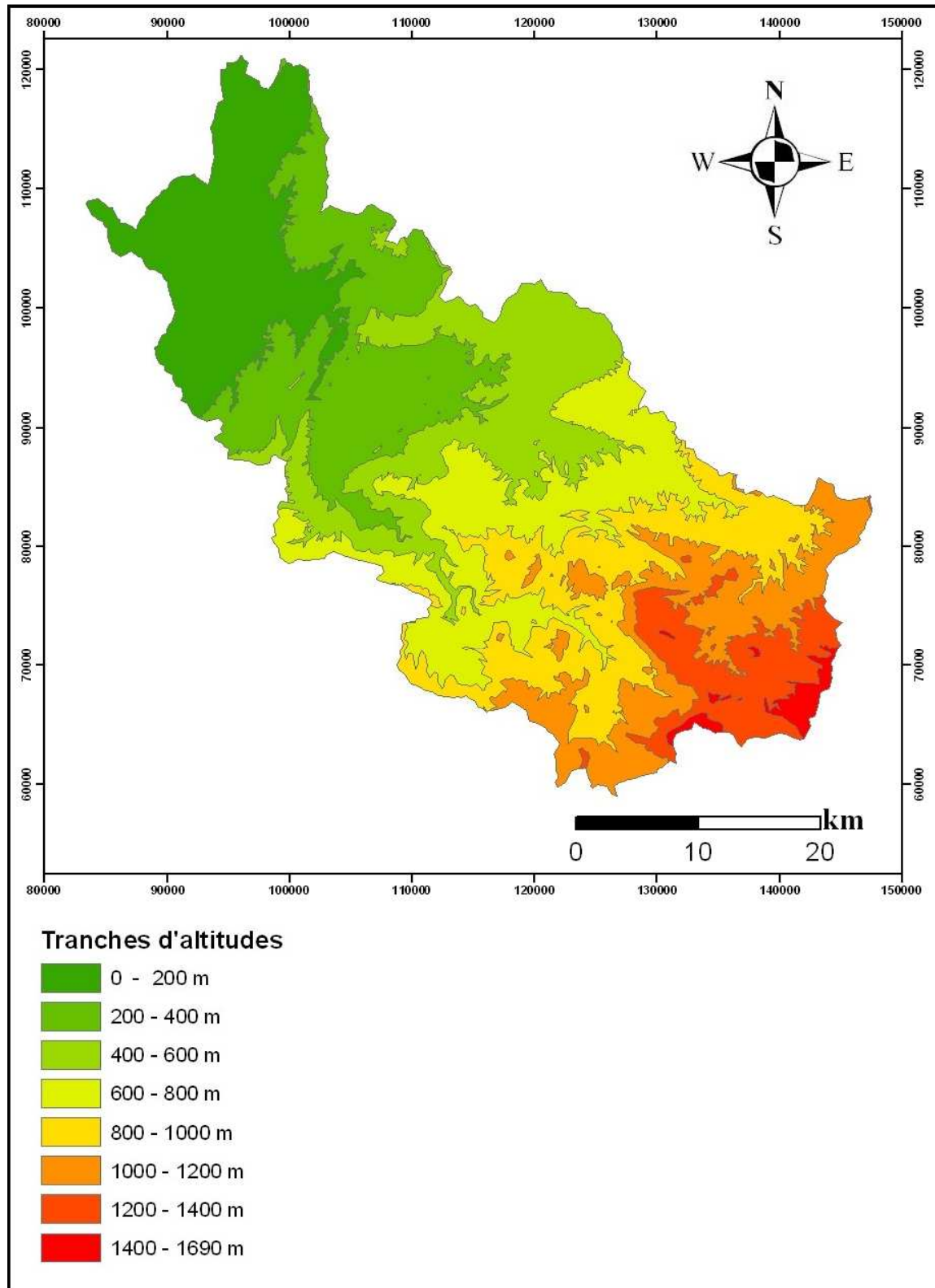


Figure 3: Carte hypsométrique du bassin Ksob

II-4-Caractéristiques climatiques

Le bassin versant du ksob est caractérisé par un climat aride à semi-aride, cette aridité est assez marquée en été dans le bassin et augmente de l'ouest vers l'est. Le climat du bassin ksob est contrôlé par l'interférence des influences océaniques (perturbations de l'Ouest), continentale et montagnarde (Allam et Houmimyd 1990; Weisrock, 1980; Hander, 1993). Le bassin est aussi caractérisé par une variabilité spatio-temporelle des précipitations qui sont marquées par des irrégularités interannuelles et intra-annuelles importantes et une irrégularité relative aux écoulements superficiels (Hander, 1993).

Le régime pluviométrique est caractérisé par la succession de deux périodes : la première est une saison pluvieuse en automne et en hiver suivie d'une longue période très peu pluvieuse d'avril à octobre. La moyenne annuelle des précipitations est de 350 mm/an.

Les températures varient entre 17°C et 20°C. Les mois les plus chauds sont généralement Juillet et Août (26°C). Le mois le plus froid est Janvier (12°C).

L'évaporation moyenne annuelle est de l'ordre de 2400 mm, variant très peu d'année en année. Les mesures de turbidité au niveau des stations hydrologiques ont permis de définir l'importance du phénomène de l'érosion dans le bassin du Ksob. Ainsi la dégradation spécifique est évaluée à près de 1000 tonnes/Km²/an. L'oued ksob est connu par ses débits de crues très élevés qui peuvent atteindre plusieurs centaines de m³ par seconde (www.water.gov.ma).

II-5-Couvert végétal

Le couvert végétal est dominé par une plante endémique, l'arganier ou « Argania Spinosa » qui joue un rôle très important dans l'économie de la région. Elle est utilisée pour l'extraction d'une huile à saveur particulière. La pratique agricole la plus utilisée est les céréalicultures dans les terres non irriguées dites « Bour », alors que les champs irrigués à partir des sources et des puits personnels sont occupés par les oliviers, la luzerne, le maïs et certaines légumineuses. Il faut noter tout de même le début d'aménagement d'un périmètre irrigué dans la région de Korimat .

II-6-Ressources en eau dans le bassin Ksob

II-6-1-Les eaux de surface

Le cours d'eau principal dans le sous bassin étudié, est l'oued ksob (fig. 4), qui prend la direction SE-NW et draine une superficie de l'ordre de 1350 Km² en provenant du Haut Atlas et allant vers l'océan Atlantique avec un apport d'eau moyen qui peut atteindre 34.5 Mm³/an.

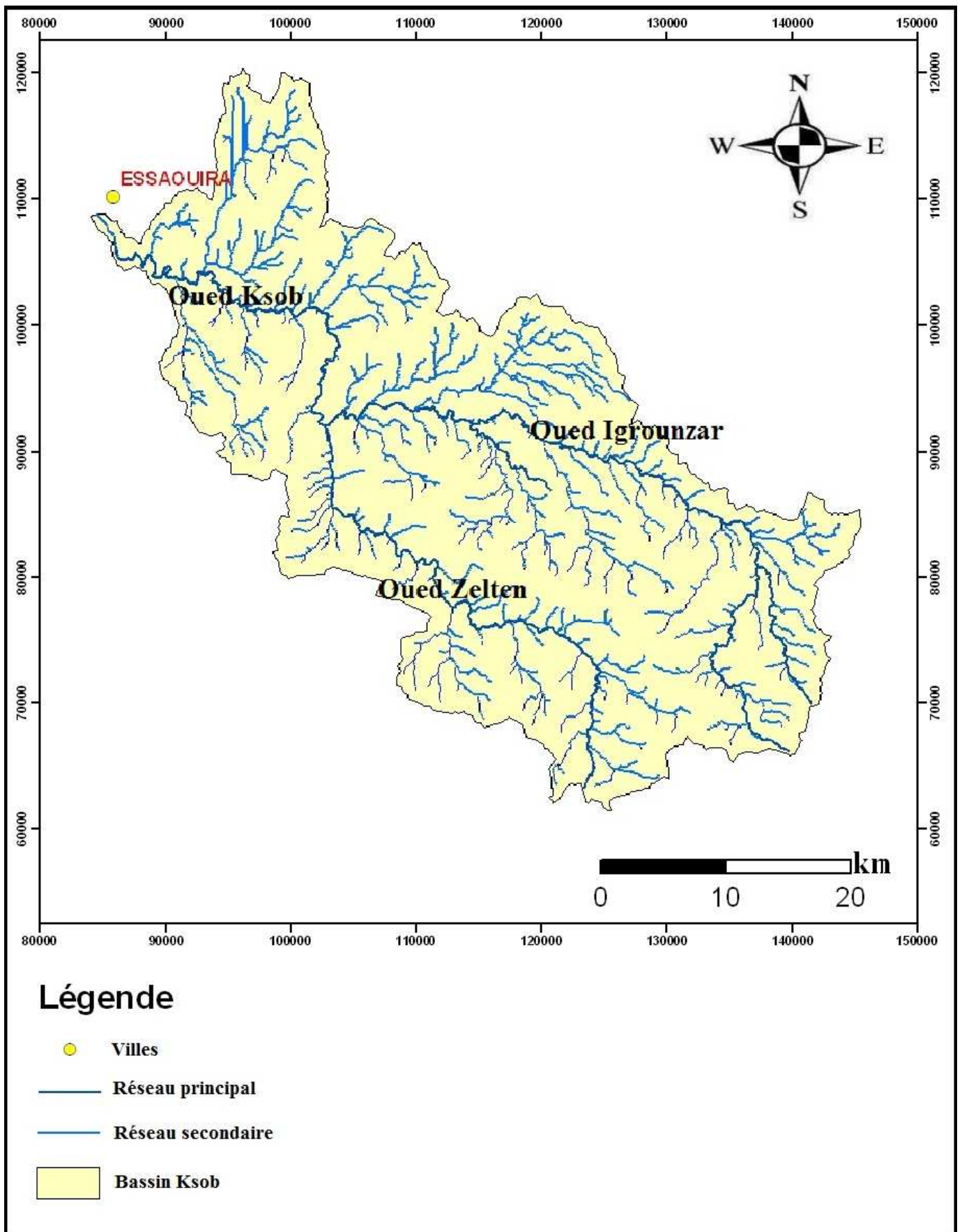


Figure 4: Répartition des eaux de surface dans le bassin Ksob

II-6-2-Les eaux souterraines

Le bassin d'Essaouira-Korimat correspond à un vaste plateau et une zone réservoir des eaux souterraines (fig. 5). Il est limité à l'ouest par l'Océan Atlantique, au Sud par le Haut Atlas Occidental, au Nord par l'oued Tensift et à l'Est par le méridien passant à l'ouest du village de Sidi El Mokhtar. Le bassin comporte deux aquifères principaux : l'aquifère crétacé du plateau de Meskala-Korimat et l'aquifère plio-quadernaire développé au niveau de la bande côtière (fig. 5). Ces deux aquifères sont hydrauliquement interconnectés avec des apports en eau des différents oueds du bassin interdépendants et constituent de ce fait un seul système hydraulique.

- Aquifère crétacé

C'est le plus important aquifère de par son extension et ses caractéristiques hydrodynamiques. Il regroupe les calcaires dolomitiques et dolomies jaunes du sénonien, dont l'épaisseur peut atteindre 100 m, les calcaires fissurés et karstifiés du Turonien d'une épaisseur de 40 à 80m et les calcaires lumachelliques du cénomani.

(http://www.water.gov.ma/index.cfm?gen=true&id=13&ID_PAGE=45).

L'aquifère est caractérisé par la présence de plusieurs sources de recharge et alimentation, on distingue principalement que l'alimentation s'effectue à partir des pluies et le long de l'oued Igrouzar au sud de Meskala et à l'aval au sud d'Essaouira et éventuellement à partir de l'aquifère plio-quadernaire sus-jacent (www.water.gov.ma). Généralement l'écoulement de la nappe se fait vers le Nord et le NW avant d'atteindre l'océan atlantique.

- Aquifère plio-quadernaire

L'aquifère est constitué des grès dunaires et des calcaires coquilliers du Pli-Quadernaire, s'étendant le long de la côte sur une bande large de 20 km et longue de 40 km. La nappe s'alimente par l'infiltration des eaux de pluie d'une part, et d'autre part par l'infiltration le long des oueds. L'écoulement général de la nappe s'effectue vers l'océan, ceci est favorisé par le pendage de la série crétacée vers l'ouest (www.water.gov.ma).

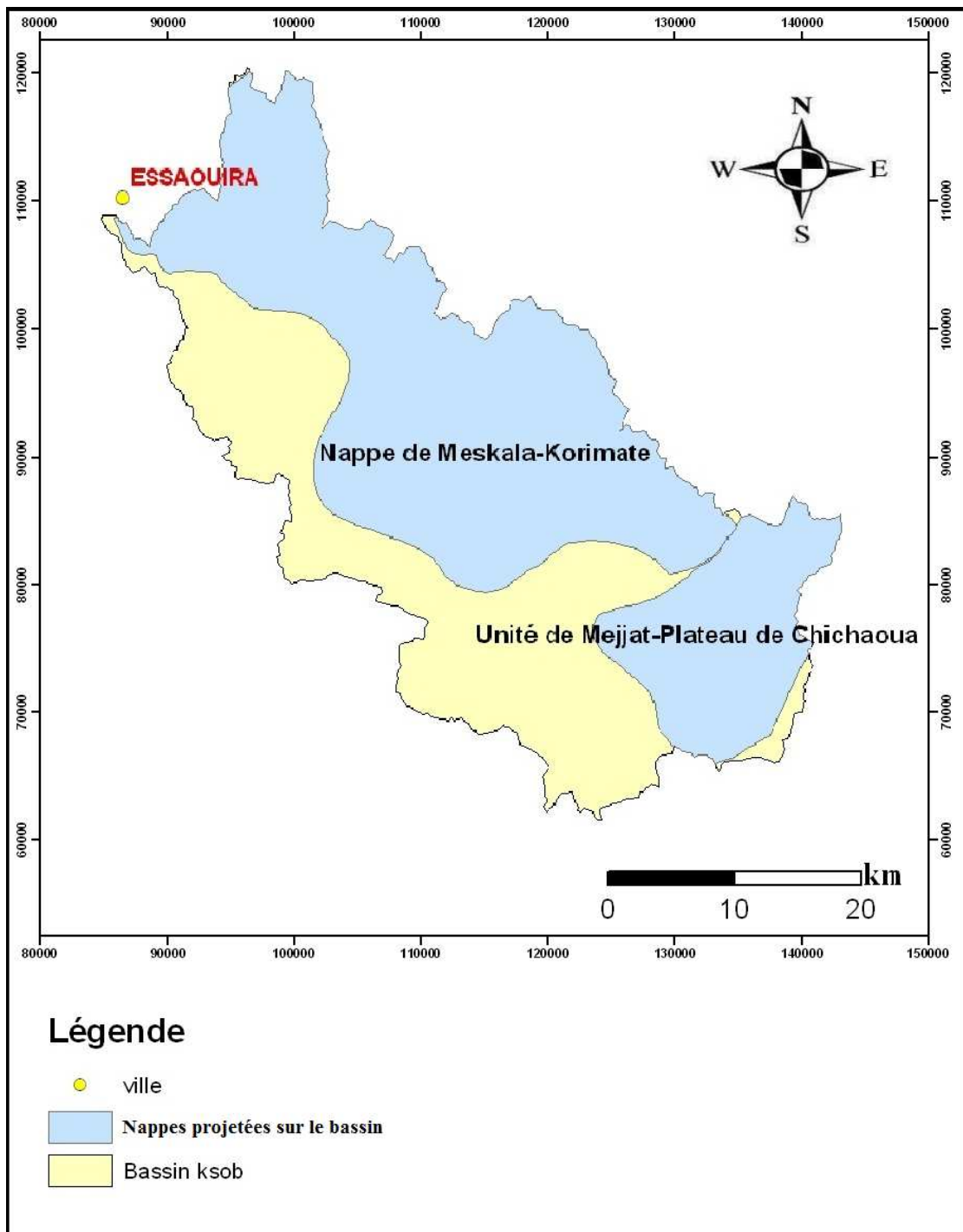


Figure 5: Carte de principales nappes du bassin Ksob

Partie II :
METHODE ET MOYENS DE TRAVAIL

Cet axe vise à déterminer l'origine des données fournies par l'agence du bassin Hydraulique Tensift (ABHT), ainsi que la démarche suivie pour leur tri et traitement, en se basant sur des grilles conventionnelles à l'échelle nationale.

I- Points de contrôle et surveillance de la qualité des eaux

Au niveau du bassin versant de Ksob, il existe 3 stations de surfaces et 3 stations souterraines. Ces stations permettent en général de suivre la qualité des eaux afin de préserver et protéger les ressources hydriques de la région (fig 6 et 7, Tableau 1 et 2)

POINT	OUED	X	Y	Province	Commune
Station Adamna	Ksob	92 900,00	104 150,00	Essaouira	Essaouira
Station Zelten	Zelten	103 300,00	90 650,00	Essaouira	Sidi Eljazouli
Station Igrounzar	Igrounzar	103 500,00	91 300,00	Essaouira	Sidi Eljazouli

Tableau 1 : Situation des points d'eau du réseau surfacique de suivi de la qualité des ressources en eau.

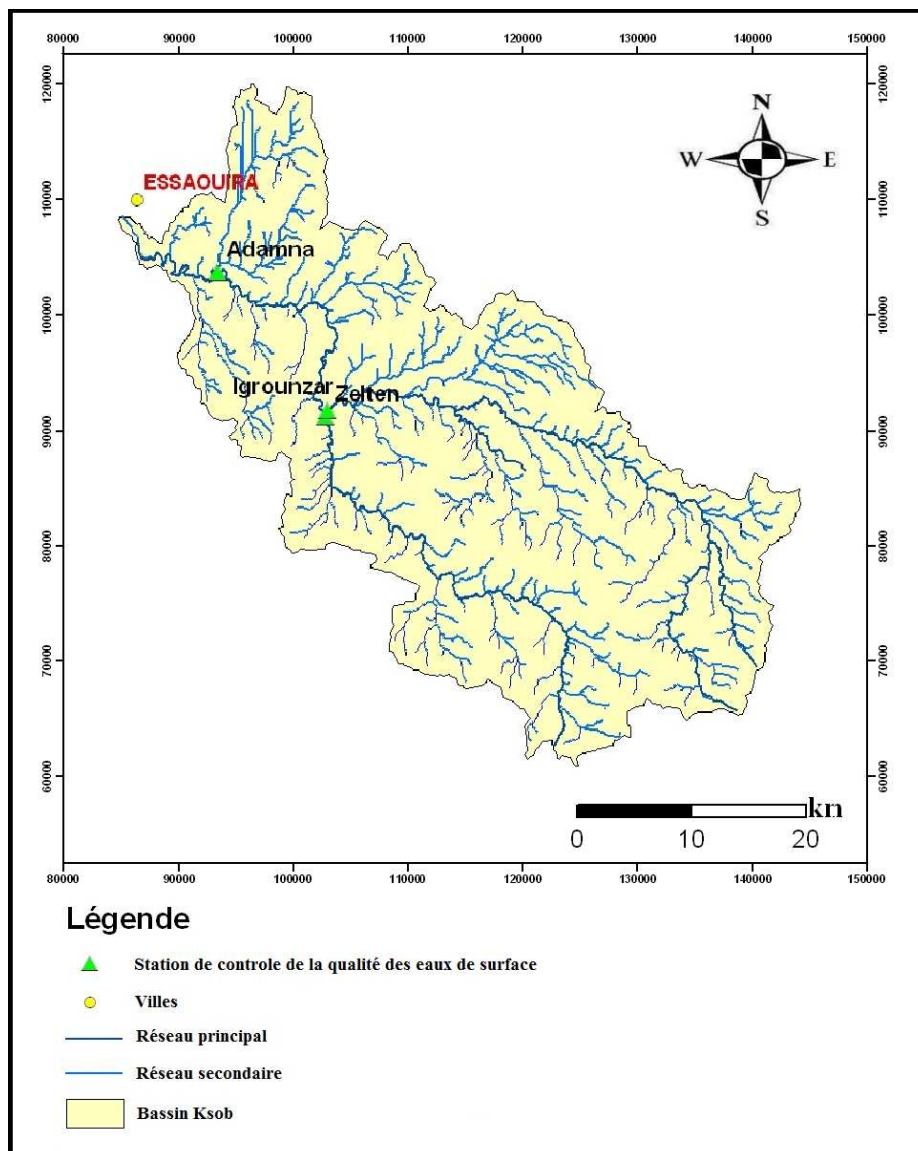


Figure 6: Points de surveillance et de contrôle de la qualité des eaux de surface

POINT	Nappe	X	Y	Province	Commune
PUITS AIT LACHGER	Essaouira	99 400,00	101 200,00	Essaouira	Aguerd
PUITS AIT DAOUD	Essaouira	123 000,00	61 650,00	Essaouira	Ait Daoud
PUITS SIDI ABDERAHMAN	Essaouira	92 370,00	113 900,00	Essaouira	Ounagha

Tableau 2: Situation des points d'eau du réseau souterrain de suivi de la qualité des ressources en eau

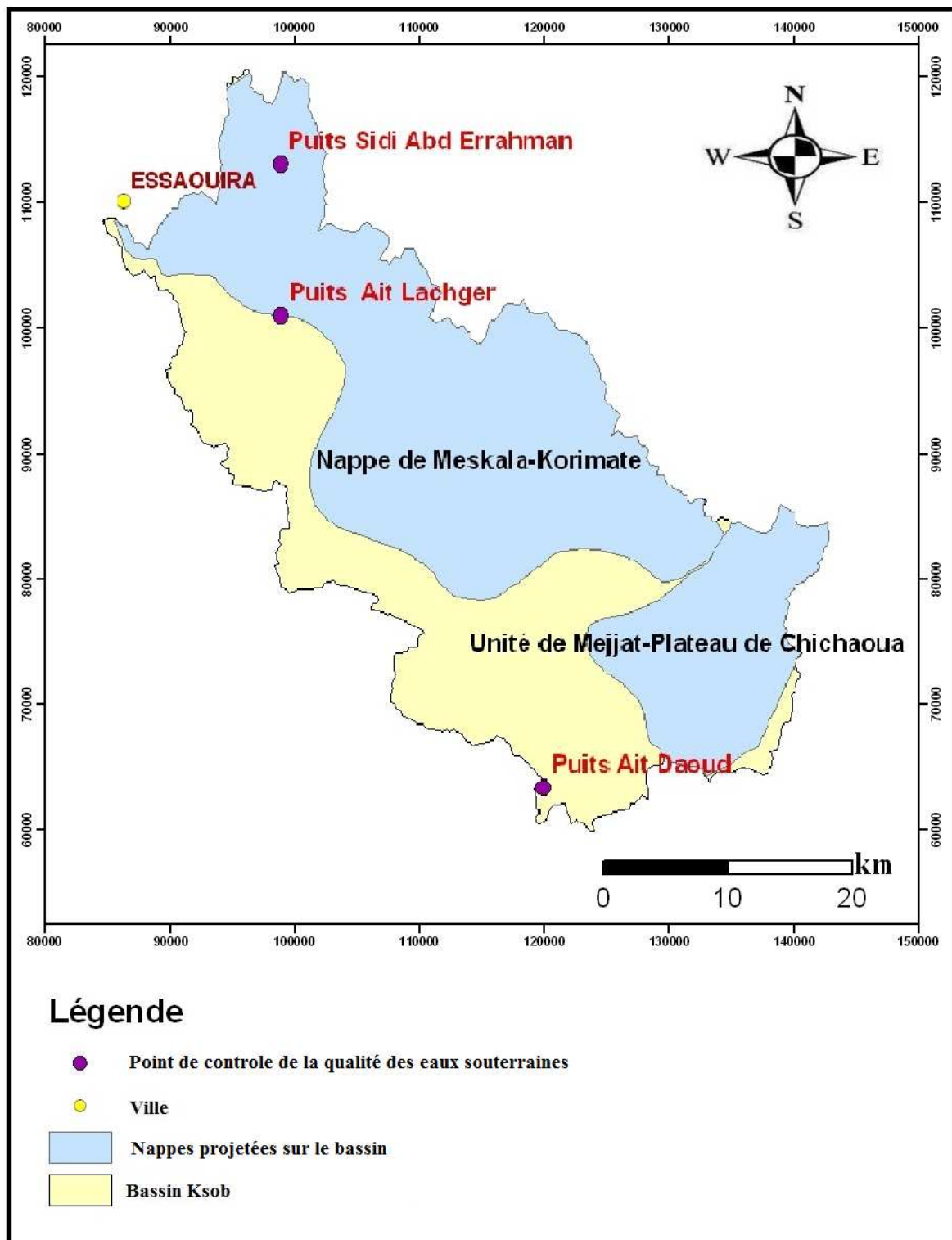


Figure 7: points de surveillance et de contrôle de la qualité des eaux souterraines

II- Procédure de travail

Afin de procéder à une étude de la qualité des ressources en eau dans le bassin Ksob, nous nous sommes basés sur les données disponibles à l'ABHT, qui sont réalisées par le Laboratoire Public d'Essais et d'Etude (LPEE), chargé d'effectuer les analyses pour le compte de l'Agence du Bassin Hydraulique du Tensift. Ces données sont sous forme des paramètres analysés qui caractérisent une qualité physique et bactériologique, ainsi que des paramètres étudiés et qui renseignent sur la minéralisation et la pollution de l'eau soit par la matière organique, la matière azotée ou phosphatée tous en fonction de la comparaison des données aux normes. La sélection des paramètres à mesurer dépend des objectifs du contrôle de la qualité et de la nature de l'eau (Tableau 3).

Points de prélèvement	Nom de la station	Paramètres à analyser
Eaux de surface	Station ADAMNA	A+B+C+D
	Station ZELTEN	
	Station IGROUNZAR	
Eaux souterraines	Puits AIT LACHGER	E+F+G
	Puits AIT DAOUD	
	Puits SIDI ABDERAHMAN	

Tableau 3: Détermination des paramètres analysés par LPEE dans les différentes stations dans le bassin Ksob (ABH Tensift / Etude de la qualité de l'eau / 43ème Campagne).

A = pH, T°, Conductivité, O₂dissous, Turbidité.

B = MES, DBO₅, DCO, NH₄⁺, NTK, NO₂⁻, NO₃⁻, P Total, PO₄³⁻, SO₄²⁻

C = Na⁺, Cl⁻, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, CO₃²⁻.

D = CF, SF, CT.

E = pH, T°, Conductivité, RS.

F = MO, Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, CO₃²⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, Fe Total, Mn²⁺

G = CF, SF, CT

III- Normes marocaines de la qualité des eaux

Le système de classification des eaux utilisé a été établi à partir de la méthode physico-chimique. Il est basé sur des grilles composées d'un ensemble de paramètres et comporte 5 classes de qualité (plus loin). Chaque classe de qualité est définie par des valeurs seuils que les différents paramètres ne doivent pas dépasser. La qualité globale est donnée par la classe de qualité du paramètre le plus défavorable. Les paramètres de cette grille sont ceux relatifs aux indicateurs

d'une pollution organique, azotée, phosphorée, et bactérienne. (*Système de Classification de la Qualité des Ressources en Eau ; 2008*)

III-1-Qualité des eaux de surface

Le tableau ci-dessous montre les différents paramètres régissant la qualité des eaux.

			CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4	CLASSE 5
	Paramètres	Unités	Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
Organoleptiques			0				
1	Couleur (échelle Pt)	mg Pt/L	<20	20-50	50-100	100-200	>200
2	Odeur (dilu à 25° C)		<3	3-10	10-20	>20	-
Physico-chimiques							
3	Température	°C	<20	20-25	25-30	30-35	>35
4	pH		6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-9,2	<6,5ou>9,2	<6,5ou>9,2
5	Conductivité à 20° C	us/cm	<750	750-1300	1300-2700	2700-3000	>3000
6	Chlorures (Cl ⁻)	mg/l	<200	200-300	300-750	750-1000	>1000
7	Sulfates (SO ₄ ²⁻)	mg/l	<100	100-200	200-250	250-400	>400
8	MES	mg/l	<50	50-200	200-1000	1000-2000	>2000
9	O ₂ dissous	mg/l	>7	7-5	5-3	3-1	<1
10	DBO ₅	mg/l	<3	3-5	5-10	10-25	>25
11	DCO	mg/l	<30	30-35	35-40	40-80	>80
12	Oxydabilité KMnO ₄	mg/l	≤2	2-5	5-10	>10	-
Substances Indésirables							
13	Nitrates (NO ₃ ⁻)	mg/l	≤10	10-25	25-50	>50	-
14	NTK	mgN/l	≤1	1-2	2-3	>3	-
15	Ammonium	mgNH ₄ /l	≤0,1	0,1-0,5	0,5-2	2-8	>8
16	Baryum	mg/l	≤0,1	0,1-0,7	0,7-1	>1	-
17	Phosphates (PO ₄ ³⁻)	mg/l	≤0,2	0,2-0,5	0,5-1	1-5	>5
18	P total (Pt)	mg/l	≤0,1	0,1-0,3	0,3-0,5	0,5-3	>3
19	Fe total (Fe)	mg/l	≤0,5	0,5-1	1-2	2-5	>5
20	Cuivre (Cu)	mg/l	≤0,02	0,02-0,05	0,05-1	>1	-
21	Zinc (Zn)	mg/l	<0,5	0,5-1	1-5	>5	-
22	Manganèse (Mn)	mg/l	≤0,1	0,1-0,5	0,5-1	>1	-
23	Fluorure (F ⁻)	mg/l	≤0,7	0,7-1	1-1,7	>1,7	-
24	Hydrocarbures	mg/l	≤0,05	0,05-0,2	0,2-1	>1	-
25	Phénols	mg/l	≤0,001	0,001-0,005	0,005-0,01	>0,01	-
26	Détergents anioniques	mg/l	≤0,2	≤0,2	0,2-0,5	0,5-5	>5
Substances Toxiques							
27	Arsenic (As)	ug/l	≤10	≤10	10-50	>50	-
28	Cadmium (Cd)	ug/l	≤3	≤3	3-5	>5	-
29	Cyanures (CN ⁻)	ug/l	≤10	≤10	10-50	>50	-

30	Chrome total (Cr)	ug/l	≤50	≤50	≤50	>50	-
31	Plomb (Pb)	ug/l	≤10	≤10	10-50	>50	-
32	Mercure (Hg)	ug/l	≤1	≤1	<1	>1	-
33	Nickel (Ni)	ug/l	≤20	≤20	20-50	>50	-
34	Selenium (Se)	ug/l	≤10	≤10	≤10	>10	-
35	Pesticides par subst	ug/l	≤0,1	≤0,1	≤0,1	>0,1	-
36	Pesticides totaux	ug/l	≤0,5	≤0,5	≤0,5	>0,5	-
37	H.P.A. totaux	ug/l	≤0,2	≤0,2	≤0,2	>0,2	-
Bactériologiques							
38	Coliformes fécaux	/100ml	≤20	20-2000	2000-20.000	>20,000	-
39	Coliformes totaux	/100ml	≤50	50-5000	5000-50.000	>50,000	-
40	Streptoco. Fécaux	/100ml	≤20	20-1000	1000-10.000	>10.000	-
Biologique							
41	Chlorophylle a	ug/l	<2,5	2,5-10	10-30	30-110	>110

Tableau 4: Grille de qualité des eaux de surface

<http://www.arifonet.org.ma/data/environnement/Countries/N19/N19-Nor-eau.htm>

Eau d'oued :

Paramètre de qualité	O ₂ dissous (mgO ₂ /l)	DBO5 (mgO ₂ /l)	DCO (mgO ₂ /l)	NH ₄ ⁺ (mgNH ₄ ⁺ /l)	PT (mgP/l)	CF (UFC/100ml)
Excellente	>7	<3	<20	<0,1	<0,1	<20
Bonne	7-5	3-5	20-25	0,1-0,5	0,1-0,3	20-2000
Moyenne	5-3	5-10	25-40	0,5-2	0,3-0,5	2000-20000
Mauvaise	3-1	10-25	40-80	2-8	0,5-3	>20000
Très mauvaise	<1	>25	>80	>8	>3	-

Eau de lac :

Paramètre de qualité	O ₂ dissous (mgO ₂ /l)	PT (mgP/l)	PO ₄ ³⁻ (mgP/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	Chl a (µg/l)
Excellente	>7	<0,1	<0,2	<10	<2,5
Bonne	7-5	0,1-0,3	0,2-0,5	10-25	2,5-10
Moyenne	5-3	0,3-0,5	0,5-1	25-50	10-30
Mauvaise	3-1	0,5-3	1-5	>50	30-110
Très mauvaise	<1	>3	>5	-	>110

Tableau 5: Grille simplifiée de la qualité des eaux superficielles (ABH Tensift / Etude de la qualité de l'eau / 43ème Campagne (2006))

III-2-Qualité des eaux souterraines

L'appréciation de la qualité des eaux souterraines est faite sur la base d'une grille simplifiée comportant cinq paramètres indicateurs de pollution physico-chimique, organique, azotée et bactérienne (tableau n°6). Ces paramètres sont:

- * La conductivité et les ions chlorures qui renseignent sur la qualité minéralogique des eaux.
- *Les nitrates, principal indicateur d'une pollution d'eau souterraine
- * NH_4^+ : forme réduite de l'azote.
- *Matières oxydables : déterminées par oxydabilité au KMnO_4 .
- * Les coliformes fécaux.

Paramètre de qualité	Cond ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Cl- (mg/l)	NO_3^- (mg/l)	NH_4^+ (mg NH_4^+ /l)	MO (mg O_2 /l)	CF (UFC/100ml)
Excellente	<400	<200	<5	$\leq 0,1$	<3	≤ 20
Bonne	400-1300	200-300	5-25	0,1-0,5	3-5	20-2000
Moyenne	1300-2700	300-750	25-50	0,5-2	5-8	2000-20000
Mauvaise	2700-3000	750-1000	50-100	2-8	>8	>20000
Très mauvaise	>3000	>1000	>100	>8	-	-

Tableau 6 : Grille simplifiée de la qualité des eaux souterraines (ABH Tensift / Etude de la qualité de l'eau / 43ème Campagne)

*** Signification des différents paramètres utilisés pour l'évaluation de la qualité des eaux**

O₂ dissous

L'oxygène O₂ dissous dans l'eau provient :

- *de la diffusion de l'oxygène en surface,
- *de l'aération (mouvement de l'eau)
- *et de la photosynthèse (3/4 de l'oxygène disponible sur terre est produit par le phytoplancton des océans. cette production dépend de la lumière disponible, de la température, de la présence de matières organiques dégradables, ...).

DBO₅

La demande biochimique en oxygène (DBO) est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques (biodégradables) par voie biologique (oxydation des matières organiques biodégradables par des bactéries), elle permet d'évaluer la fraction biodégradable de la charge

polluante carbonée des eaux usées. Elle est en général calculée au bout de 5 jours à 20 °C et dans le noir.

DCO

La demande chimique en oxygène (DCO) est la consommation en dioxygène par les oxydants chimiques forts pour oxyder les substances organiques et minérales de l'eau. Elle permet d'évaluer la charge polluante des eaux usées.

NH₄⁺

L'ammonium NH₄⁺ provient des processus de décomposition microbologique des protéines animales et végétales. Il peut être réutilisé directement par les plantes et est utilisé dans les engrais commerciaux.

Lorsque le pH est élevé l'ammonium se transforme en ammoniac NH₃ toxique (dose létale pour certains poissons 1 mg/l).

PT

Le phosphore total est l'ensemble du phosphore présent dans un échantillon sous forme de phosphates ou de composés organophosphorés.

La présence de phosphore dans les eaux naturelles provient du lessivage de certains minéraux et de la décomposition de la matière organique. Le rejet des eaux domestiques et industrielles ainsi que le drainage des terres agricoles fertilisées contribuent à en augmenter la concentration.

Le phosphore n'est pas toxique pour l'homme, les animaux ou les poissons et c'est surtout pour ralentir l'eutrophisation des systèmes aquatiques que la teneur en phosphore est contrôlée.

Coliformes fécaux

Ils sont d'origine fécale, on les retrouve donc dans les eaux usées et le sol. Les coliformes étant des bactéries vivant dans les intestins d'animaux ou humains, leur présence dans l'eau indique une pollution fécale. Ce sont donc des organismes indicateurs de la qualité de l'eau.

NO₃⁻

La présence de nitrates dans l'eau est un indice de pollution d'origine agricole (engrais), urbaine (dysfonctionnement des réseaux d'assainissement) ou industrielle.

MO

Dans le cas de la matière organique, les polluants peuvent augmenter la turbidité des eaux et créer un phénomène d'eutrophisation avec une diminution de la quantité d'oxygène dissous. Ces modifications environnementales ont de profondes conséquences sur les populations d'un milieu (disparition d'espèces, prolifération d'autres espèces).

Cond

La conductivité de l'eau, inverse de la résistivité, est proportionnelle à la concentration en sels minéraux dissous dans l'eau. Plus une eau aura une conductivité importante plus elle comportera de sels minéraux. En général, une eau douce accusera une conductivité basse, par contre une eau dure aura une conductivité élevée.

PO₄³⁻

Les phosphates sont des composés essentiels à la vie, mais leur excès dans l'eau peut causer ce qu'on appelle l'eutrophisation du milieu, c'est-à-dire la modification et la dégradation d'un milieu aquatique. Les phosphates proviennent principalement de l'activité agricole, les eaux usées domestiques et de l'activité industrielle.

Cl

Le chlore provoque des dommages environnementaux à des concentrations faibles. Et il est spécialement nocif pour les organismes vivant dans l'eau et le sol.

<http://www.lenntech.fr/data-perio/cl.htm#ixzz2UmsFL3LC>

<http://users.swing.be/chapp/parametres.htm>

<http://www.wikipedia.org>

Partie III :
TRAITEMENT DES RESULTATS D'ANALYSES,
INTERPRETATION ET DISCUSSION

Présentation des analyses

Les données de qualité sont sous forme des paramètres (pH, cond, T,...) mesurées dans les trois stations de surface et les trois stations souterraines à l'aide des appareils de mesure tels que le pH-mètre conductivimètre, et thermomètre...

Ces données sont obtenues par l'échantillonnage des eaux qui a été effectué dans à périodes différentes de chaque année. Ceci impose une étude de la variation inter-annuelle de ces paramètres.

I- Eaux de surface

I-1-Paramètres physico-chimiques

a-pH

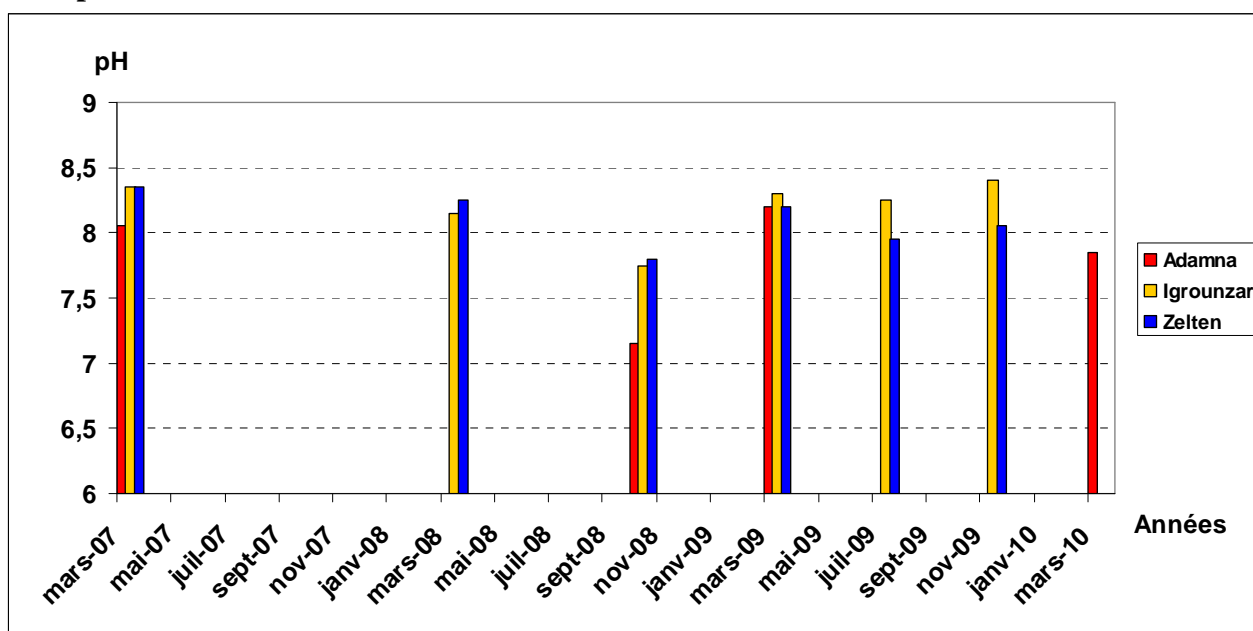


Figure 8 : Evolution temporelle du pH dans les trois stations de surface entre 2007 et 2010

Le potentiel d'hydrogène (pH) exprime l'activité en ion H_3O^+ de l'eau. Ce paramètre contrôle en principe les échanges de protons H^+ au sein des réactions Acide / Base.

Une analyse de variation du pH dans le temps, montre une évolution entre les années 2007 et 2010 dans les trois stations de surface et exprime en général des pH relativement neutres à légèrement alcalins, variant entre 7.2 et 8.2 pour la station Adamna, entre 7.7 et 8.4 pour la station Igrounzar et entre 7.8 et 8.3 pour la station Zelten (fig 8).

b-Température de l'eau

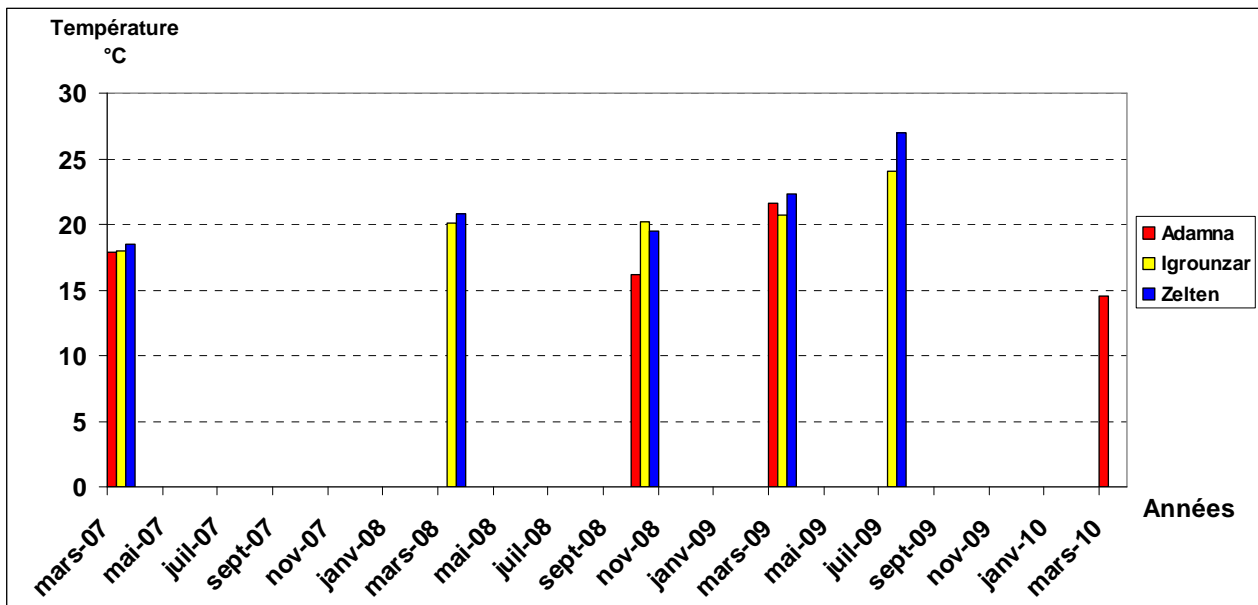


Figure 9 : Evolution de la température de l'eau dans les trois stations de surface entre 2007 et 2010

La température reste un facteur catalyseur, et toutes les réactions chimiques et biologiques sont thermodépendantes. Par conséquent, toute variation de ce paramètre entraînera une variation radicale du chimisme de l'eau.

A la lumière des données fournies par l'ABHT, on constate une faible variation de température entre les différentes mesures réalisées. Les données disponibles ne renseignent pas sur la variation saisonnière ainsi que journalière. Par contre ils renseignent sur l'évolution annuelle entre la période 2007-2010 (fig 9).

En ajoutant que la température des eaux de surface s'inscrit dans l'intervalle [14-22 °C] pour Adamna, [17-24 °C] pour Igrounzar et [18-27 °C] pour la station Zelten.

c-Conductivité

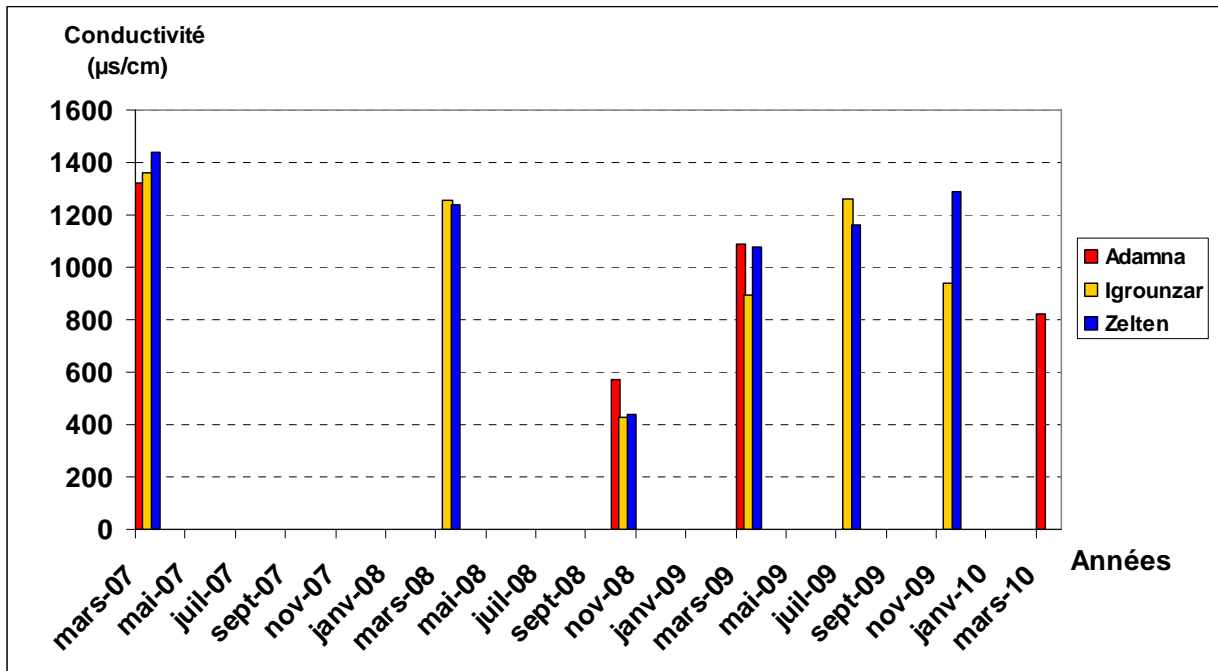


Figure 10 : Variation temporelle de la conductivité dans les trois stations de Surface entre 2007 et 2010

La conductivité est une grandeur physique qui se traduit par le fait qu'une eau peut conduire le courant électrique entre anode et cathode. Cette conductivité est la résultante de l'activité des différents ions dissous dans l'eau. Sa mesure permet au préalable de bien quantifier la minéralisation totale d'une eau selon la relation suivante : **Concentration = Conductivité / 0.7**

L'analyse de la variation dans le temps est dans l'espace de la conductivité des eaux de surface montre une hétérogénéité au niveau du taux variation dans les trois stations de surface (Fig. 10). Elle s'inscrit généralement entre 580 et 1310us/cm dans la station Adamna, entre 400 et 1380 us/cm dans Igrounzar et entre 400 et 1420us/cm dans la station Zelten. Ces valeurs permettent en fonction des normes de qualité d'avoir une idée sur la qualité des eaux dans les trois stations variant généralement dans notre cas entre bonne et moyenne.

I-2-Identification des faciès chimiques

Afin de déterminer les faciès chimiques du bassin de ksob, nous pouvons utiliser :

Le diagramme de Piper :

Il est formé de deux triangles, un réservé aux cations et l'autre aux anions. Le résultant de ces deux triangles est un losange représentant le faciès final de notre échantillon. Le digramme de Piper permet aussi de projeter plusieurs échantillons à la fois. Et ainsi, faire le lien entre la lithologie et le faciès chimique d'une eau, et suivre l'évolution spatio-temporelle d'une eau de point vue chimique.

Le diagramme de Piper ne peut pas renseigner sur l'eau la plus minéralisée, car on travaille sur des proportions, mais il est adopté pour suivre l'acquisition la minéralisation des eaux naturelles via la relation chimisme-nature de l'encaissant, d'où la notion du faciès chimique de l'eau.

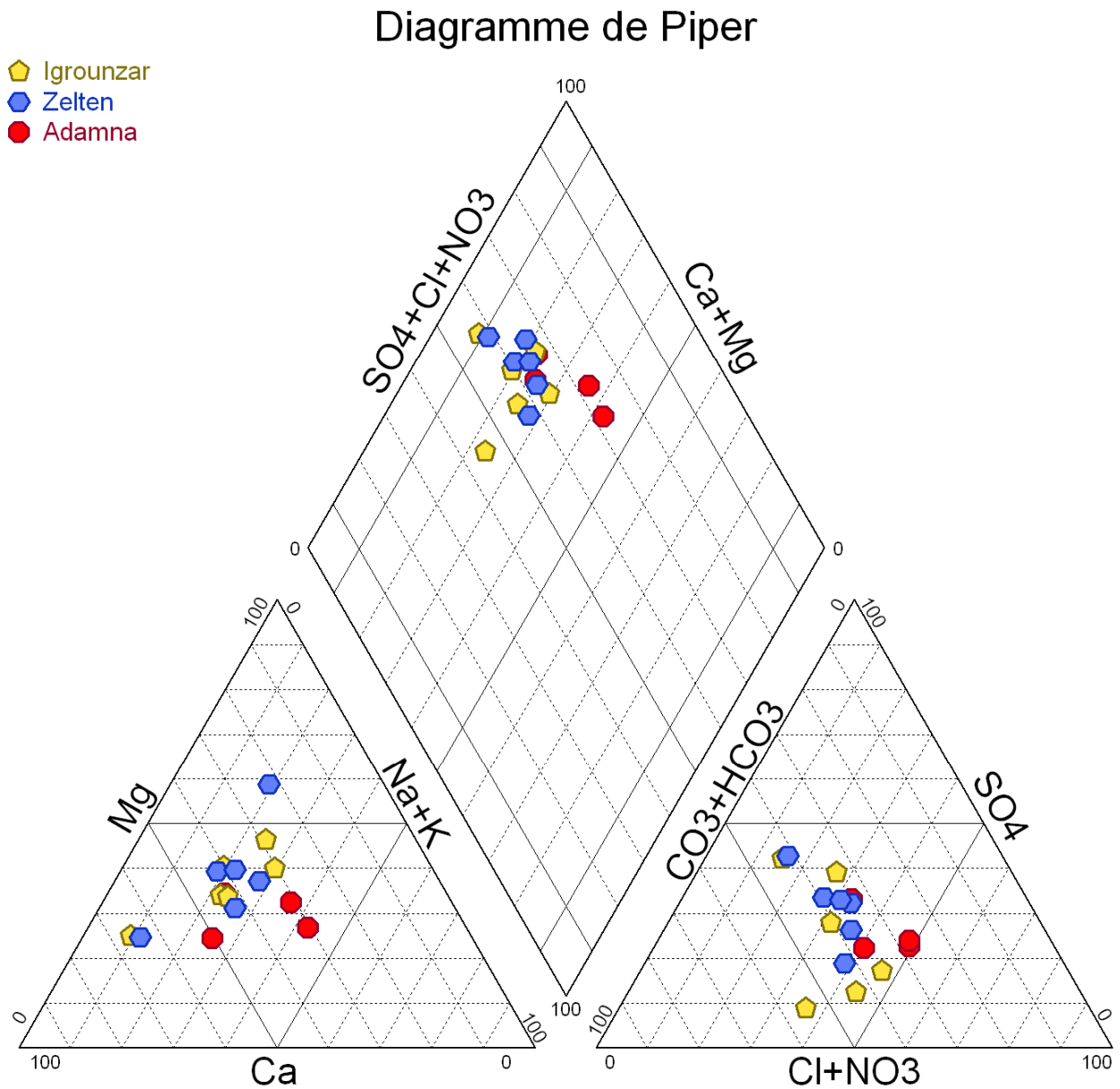


Figure 11: Projection des analyses des eaux de surface sur le diagramme de Piper (Période entre 2007 et 2010).

Suite à la projection des analyses inter-annuelles des trois stations (Adamna – Igrounzar – Zelten), et d'après l'analyse du diagramme (Fig. 11), on constate qu'elles convergent toutes vers le même faciès « Chloruré calcique et sulfato-magnésien », excepté une seule mesure au niveau d'Igrounzar (en 11/2009) qui présente un faciès « Bicarbonaté calcique et magnésien ». Généralement, la conductivité varie entre 430 $\mu S/cm$ et 1440 $\mu S/cm$ pour les trois stations. Ainsi, nous remarquons que le faciès chimique d'eaux pour Igrounzar est mixte avec un taux de Cl^- et

Na⁺ significatif. Il est du essentiellement aux formations calcaires dolomitiques. Celui des deux autres stations résulte de la présence d'argiles et marnes d'âge crétacé inférieur.

Diagramme de Shoeller Berkaloff

C'est une représentation graphique utilisée en hydrochimie, dont les échantillons sont représentés sous forme de droites tracées compte tenu des différentes concentrations en éléments majeurs. Cette représentation illustre la présence ou non du groupe d'eau qui présente le même chimisme du à une interconnexion hydraulique entre les points de mesure (échantillonnage). Outre, le diagramme de Shoeller-Berkaloff rend les variations proportionnelles même si la marge de ces variations est faible.

Station Adamna :

Les tracés réalisés pour les échantillons prélevés dans les 4 années (fig.12), montre une évolution différente au point de vue chimisme. On constate que malgré qu'il s'agit du même point de mesure, la concentration des éléments minéraux change en fonction du temps, donc il y a une variation de la conductivité généralement entre 820us/cm (en 2010) et 1320us/cm (en 2007). Cette eau présente un chimisme variable dans le temps, et par conséquent la minéralisation de cette station est due essentiellement aux ions Cl⁻, Na⁺ et Ca⁺⁺.

En conclusion, la qualité dans la station Adamna est généralement bonne ; les concentrations des éléments analysés respectent les normes de qualité.

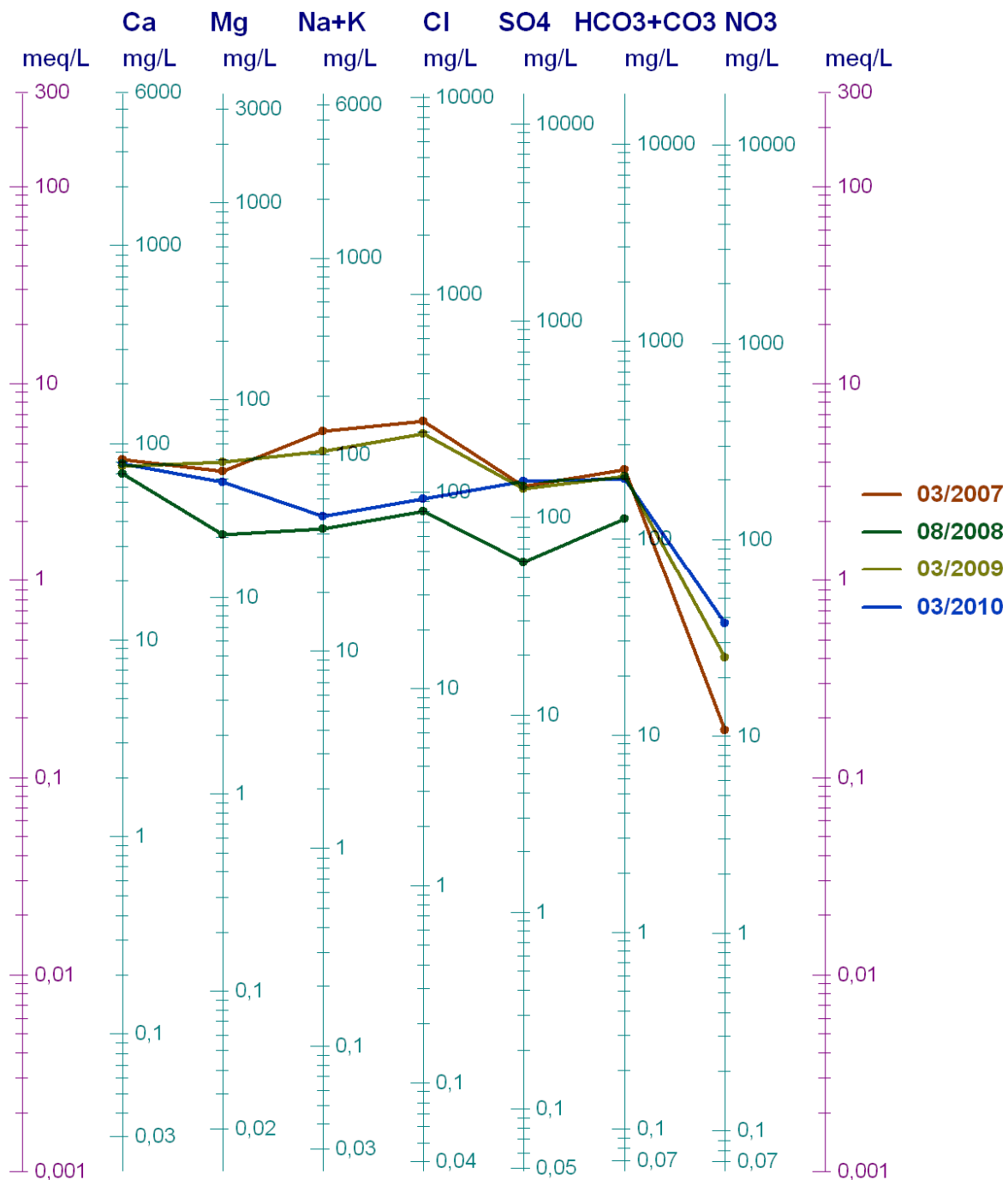


Figure 12: Projection des analyses des eaux de la station Adamna sur le diagramme de Shoeller-Berkaloff.

Station Igrounzar et Zelten :

Les eaux échantillonnées pour les deux stations montrent une minéralisation relativement moyenne, qui varie entre 430us/cm (en 2008) et 1360us/cm (en 2007) pour la station Igrounzar et entre 440us/cm (en 2008) et 1440us/cm (en 2007) pour la station Zelten (fig.13 et fig.14).

Ainsi, les tracés se chevauchent entre eux ce qui confère aux eaux une hétérogénéité de point de vue chimisme. Cette hétérogénéité est due essentiellement à l'abondance des eaux dans le milieu

par exemple l'analyse prélevée en 11/2009 présente une concentration en carbonates et bicarbonates plus élevée car le débit en automne est relativement élevé par rapport à l'hiver ou printemps.

Les chlorures sont présentés à des concentrations qui varient entre 152mg/l (Igrounzar) et 180mg/l (Zelten), et le calcium est respectivement de l'ordre de 132 et 124mg/l. Ce qui confère au faciès sa nature chimique de l'eau.

Pour conclure, d'après les normes, la qualité de l'eau dans les deux stations est considérée bonne depuis 2007 jusqu'à 2009.

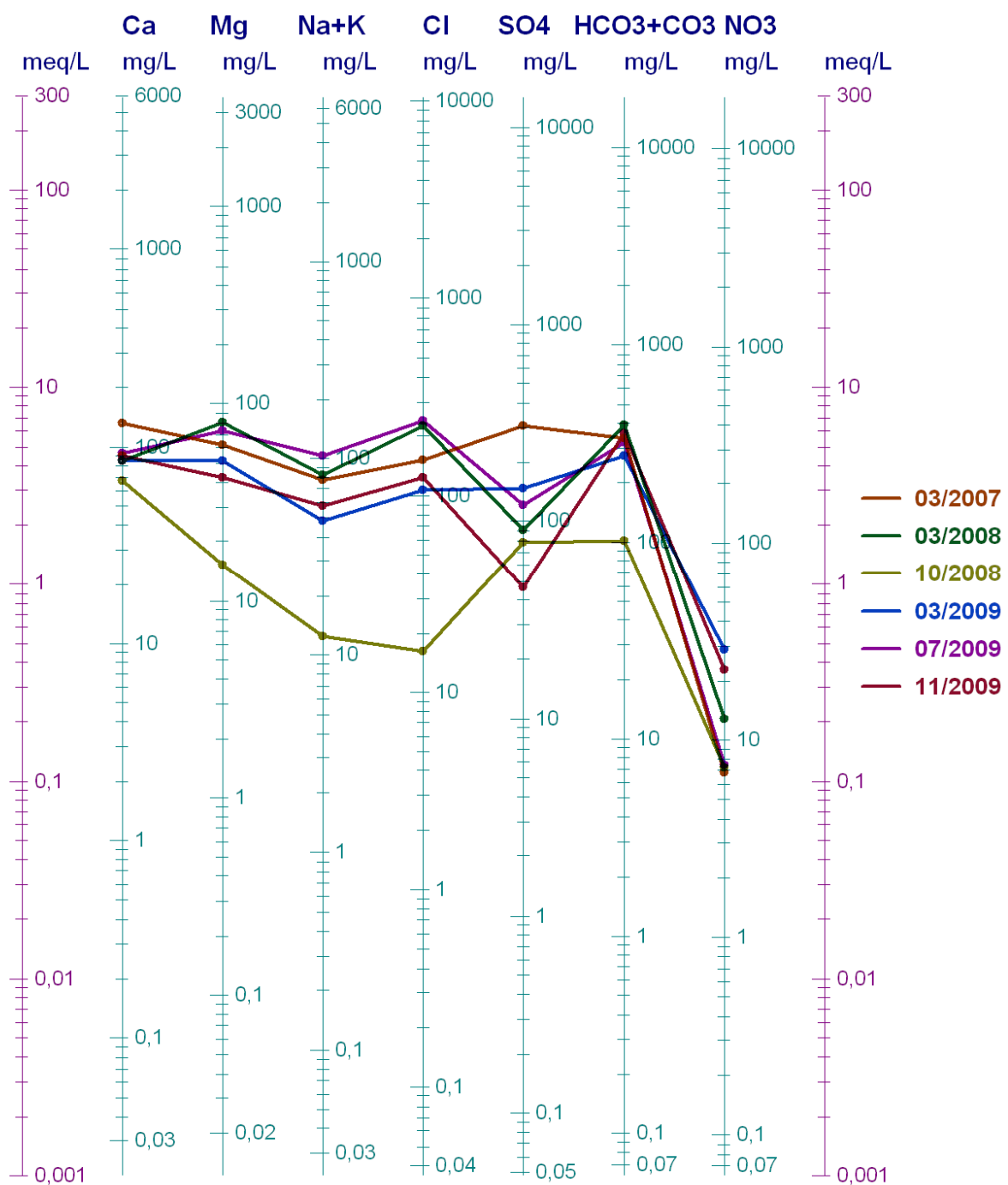


Figure 13: Projection des analyses des eaux de la station Igrounzar sur le diagramme de Shoeller-Berkaloff.

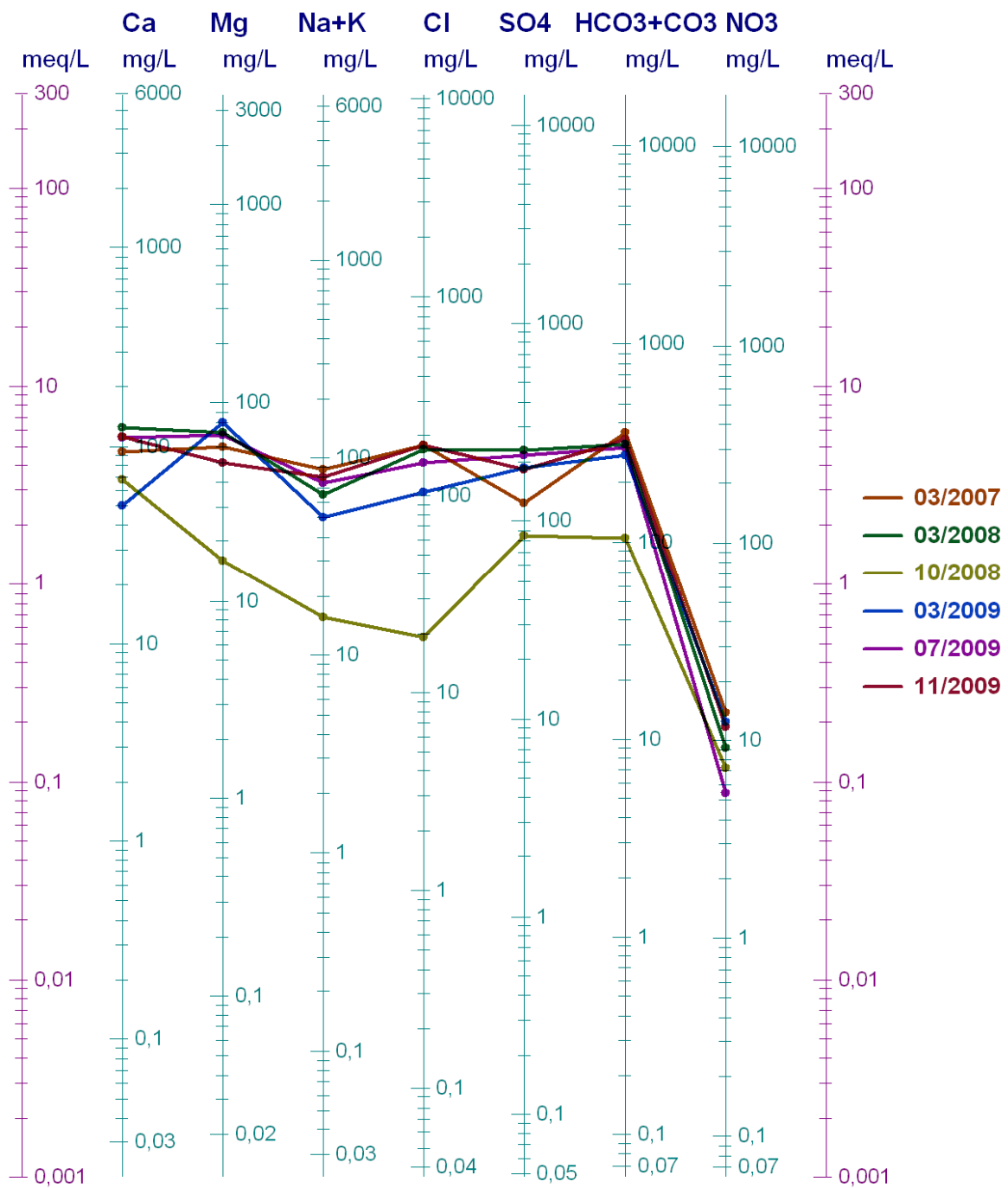


Figure 14: Projection des analyses des eaux de la station Zelten sur le diagramme de Shoeller-Berkaloff.

II-Eaux souterraines

II-1-Paramètres physico-chimiques

a-pH

A partir de l'évolution temporelle du pH dans les trois puits on constate que les eaux sont généralement alcalines(fig.15). Ainsi, le faible écart de variation du pH illustré sur la figure surtout entre le puits Ait Daoud et les deux autres puits est causé essentiellement par la variation lithologique du milieu.

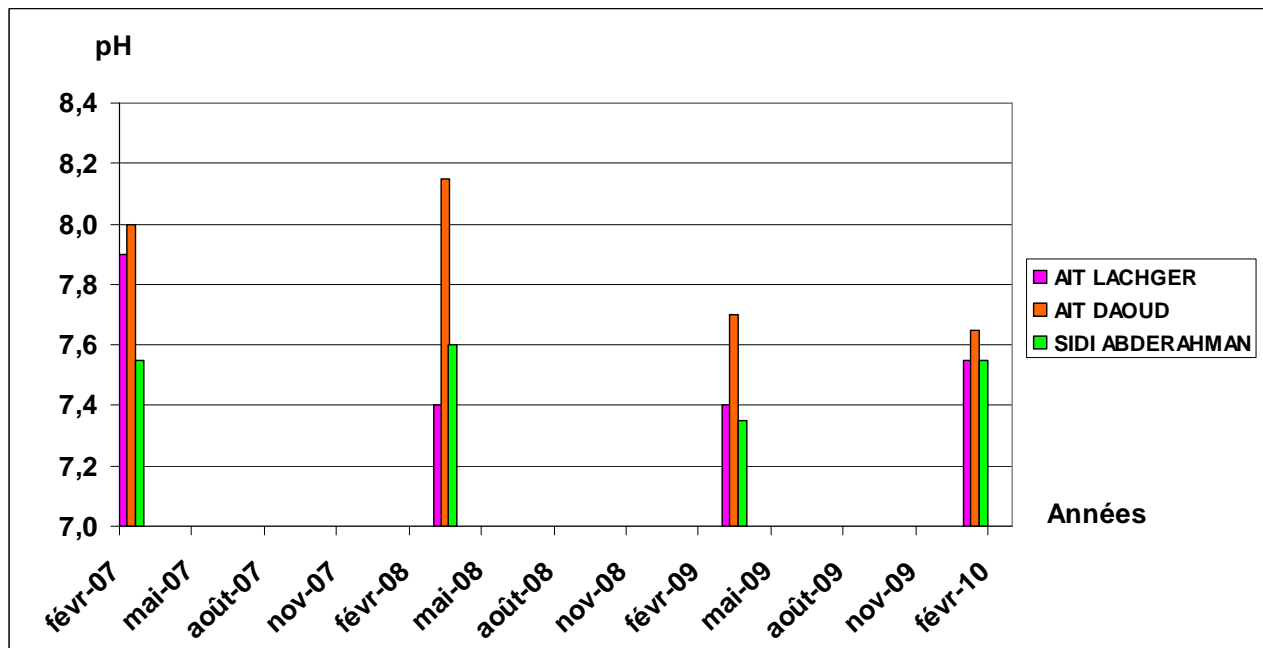


Figure 15 : Evolution temporelle du pH dans les trois stations souterraines entre 2007 et 2010

b-Température de l'eau

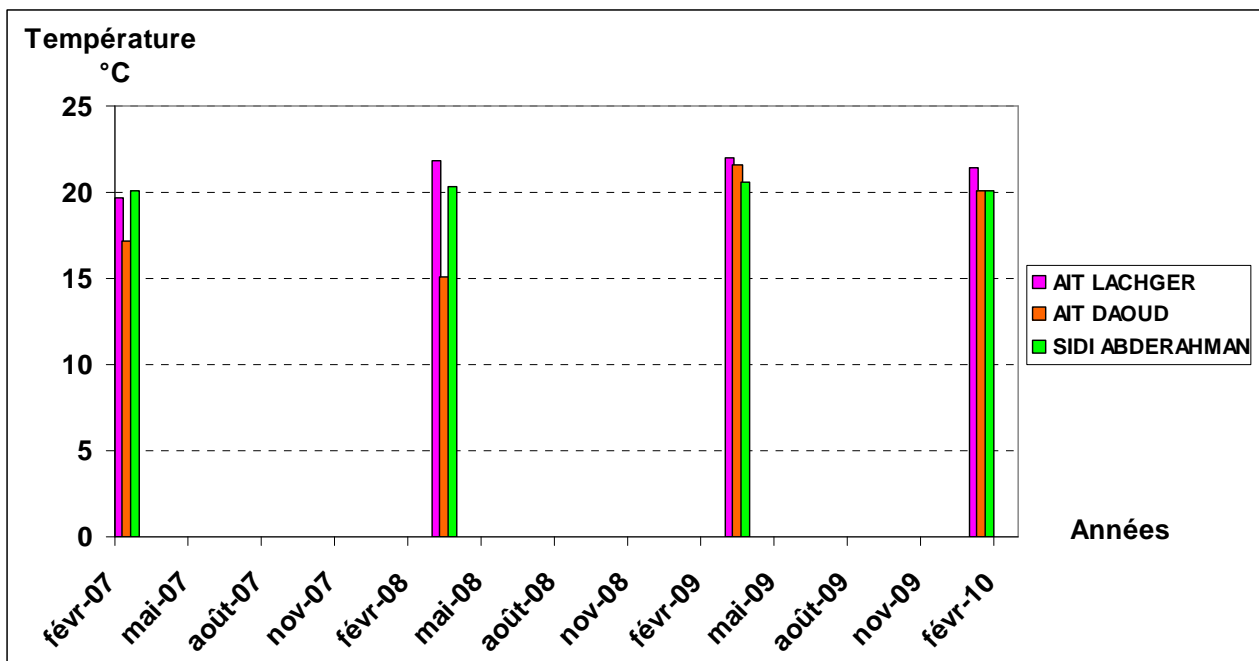


Figure 16 : Evolution de la température de l'eau dans les trois stations souterraines entre 2007 et 2010

Les températures de l'eau mesurées dans les trois puits ne montrent pas de grandes variations elles sont relativement homogènes, elles varient généralement en moyenne autour de 20 °C (fig.16).

L'étude de la température des eaux souterraines permet d'interpréter d'avance le type d'écoulement.

c-Conductivité

L'analyse de la conductivité des eaux souterraines du sous bassin de ksob, dans le temps, montre une évolution temporelle graduelle croissante au niveau du puits Sidi abderahman et décroissante au niveau des puits Ait Daoud et Ait Lachguer. Dans l'espace, on note aussi une conductivité importante au niveau de puits Sidi Abderahman par rapport aux deux autres puits (Figure 17). Cette évolution s'inscrit globalement entre 2300 et 3000us/cm pour le puits Sidi Abderahman et entre 1200 et 2300us/cm pour les puits Ait Daoud et Ait Lachguer. Ce qui permet de déduire respectivement que la qualité est mauvaise au niveau du puits Sidi Abderahman et moyenne au niveau des autres.

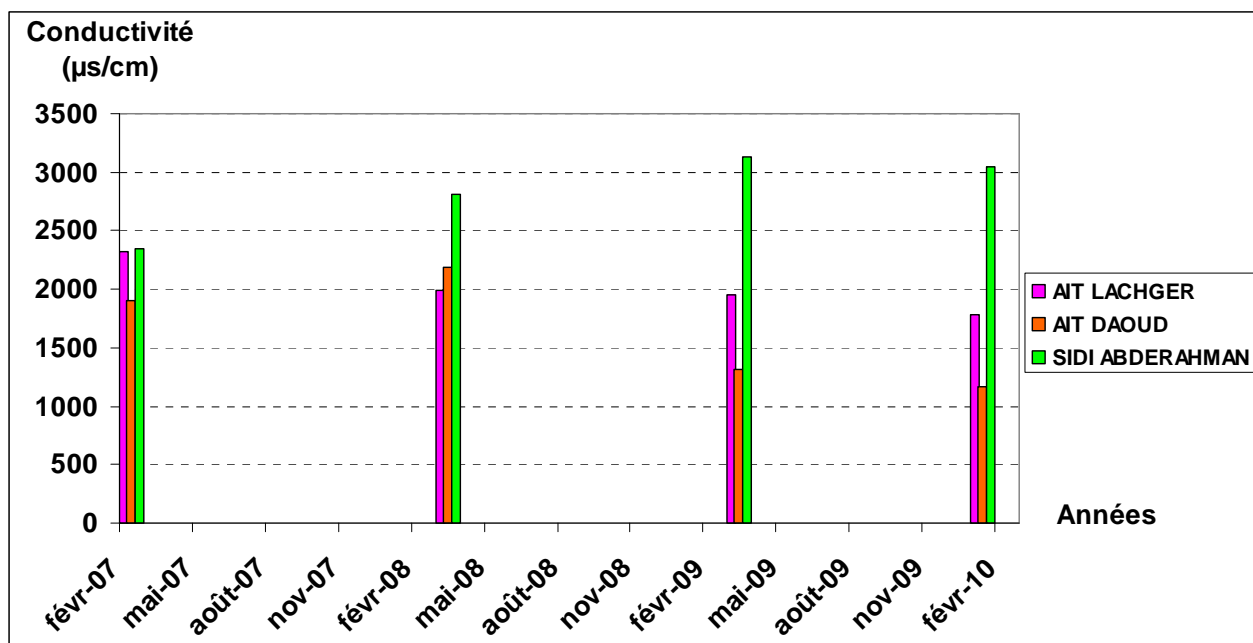


Figure 17 : Variation temporelle de la conductivité dans les trois stations souterraines entre 2007 et 2010

II-2-Identification des faciès chimiques

La figure (18) montre la variation de la répartition annuelle des éléments majeurs dans les eaux souterraines. Les eaux prélevées des différents puits présentent deux types de faciès chimiques qui se résument ainsi :

Faciès chloruré sulfato calcique et magnésien.

Faciès chloruré potassique et sodique, avec un cas intermédiaire à la limite de ces deux faciès :

L'eau de Sidi Daoud révèle clairement la présence de forte teneur en chlorures, il est de l'ordre de 80% et aussi une concentration importante en Ca^{++} .

L'eau d'Ait Lachguer présente un faciès chimique partagé entre le chloruré sulfato-calcique magnésien et le Chloruré sodique potassique .

L'eau Sidi Abderahman est projetée sur le faciès chloruré sodique et potassique avec une proportion de 45% en Ca^{++} et Mg^{++} .

L'étude analytique du diagramme de Piper de ces eaux souterraines permet d'interpréter l'origine du faciès chimique des eaux . Celui d'Ait Daoud est issu à la fois de sa position sur l'oued Zelten qui draine des formations étanches (Argile, Marne) et, aussi à la décharge d'Ait Daoud qui libère des lixiviats riches en éléments contaminants notamment Cl-. On note ainsi que la conductivité varie entre 1165 et 2180 us/cm.

Le puits Ait Lachguer est localisé dans une commune nommée Aguerd où la sédimentation est grésolumachellique . Le faciès chimique de l'eau résulte du pouvoir de celle-ci d'attaquer la formation sableuse qui libère par la suite certains éléments chimiques d'où le nom de son faciès.

La minéralisation donne naissance à des conductivités allant de 1780 à 2320 us/cm.

Le contact eau de Sidi Abderahman avec le faciès carbonaté permet la dissolution des calcaires et par conséquent la libération des ions Ca^{++} . En revanche, l'origine de Cl^- est exogène provenant des eaux usées déversées dans l'oued Ksob.

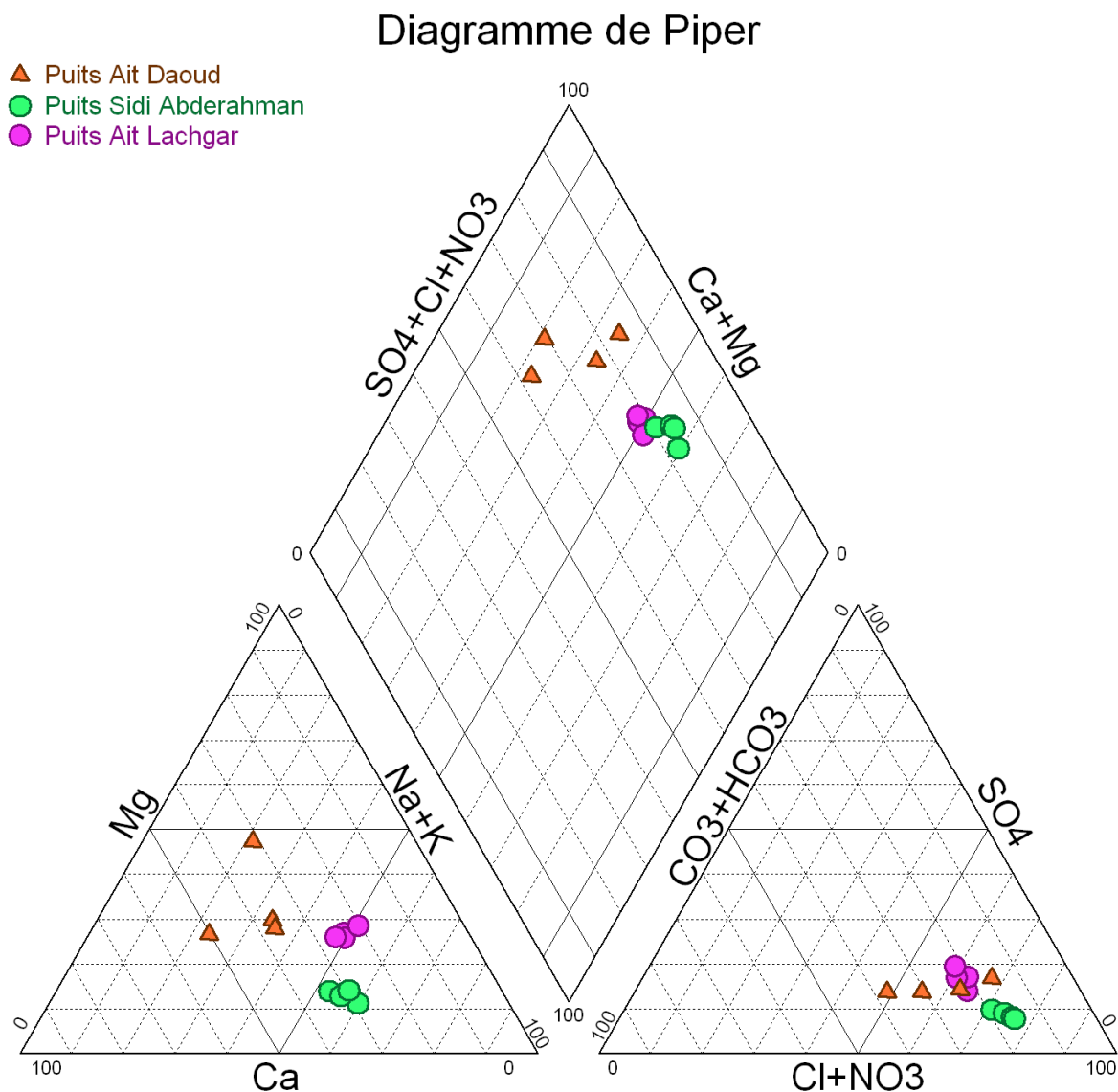


Figure 18: Projection des analyses des eaux souterraines sur le diagramme de Piper (Période entre 2007 et 2010).

Diagramme de shoeller Berkaloff
Puits Ait Daoud

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff (Fig. 19) montre une variation inter-annuelle de la minéralisation des eaux du puits fictif d'Ait Daoud, ce puits est implanté à l'extrémité amont du bassin Ksob où on note l'absence absolue de la nappe Meskala –Kourimat .

Par ailleurs, on constate que la teneur en ion chlorure atteint une valeur de 336 mg/l au mois de février 2007.

En outre, la conductivité est fortement corrélée aux ions majeurs (Cl⁻, Na⁺, SO₄²⁻, et NO₃⁻) (voir annexes).celle ci présente des valeurs allant de 1315 et 2180 us/cm.

Le faciès chimique acquis par cette eau résulte d'une alimentation provenant essentiellement du cours secondaire de l'oued Zelten qui lessive au préalable des lixiviats riches en éléments polluants chlorure de la décharge vers le site de prélèvement et par conséquent contribue à la mauvaise qualité de cette ressource stérile .

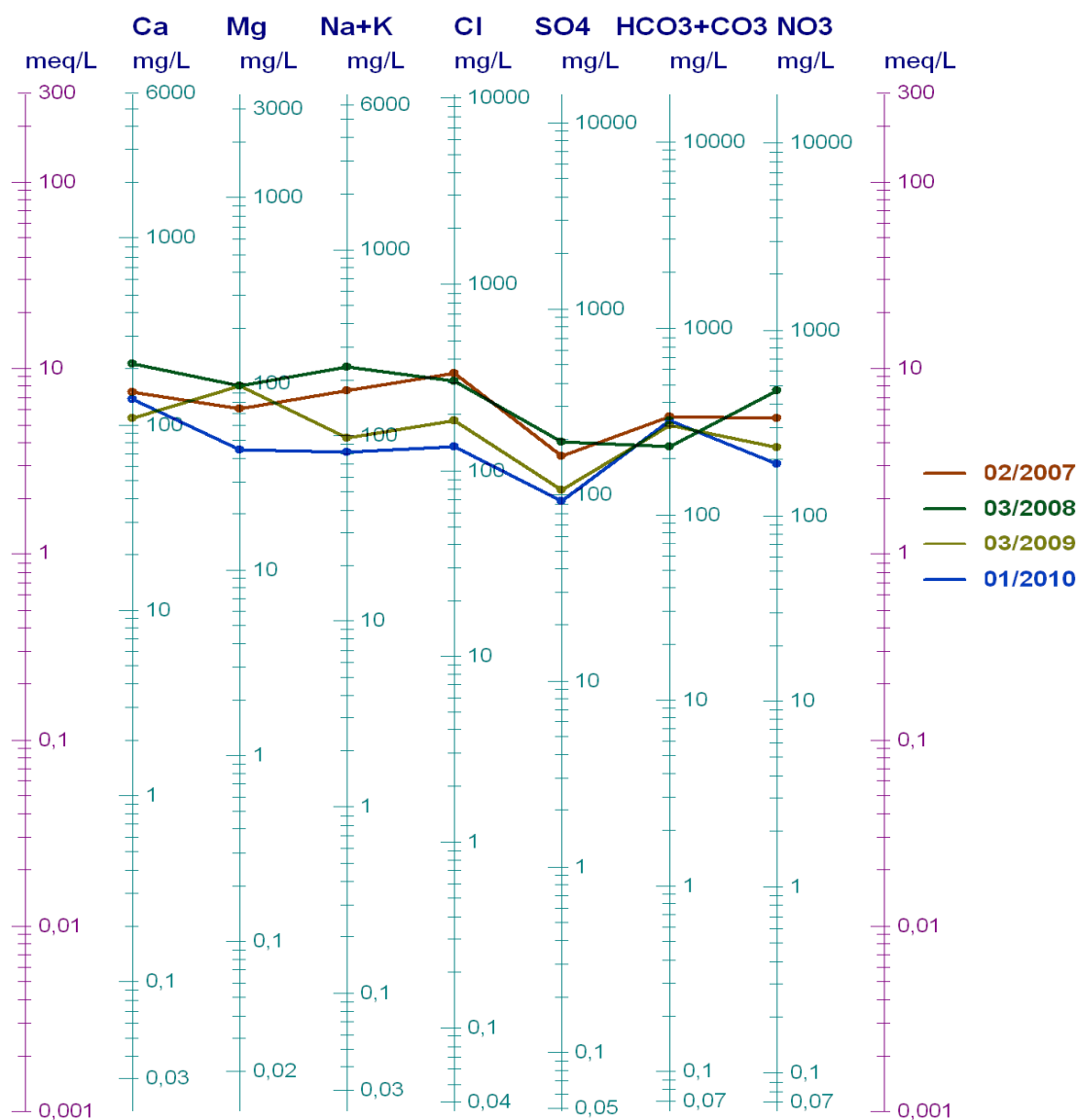


Figure 19: Projection des analyses des eaux du puits Ait Daoud sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.

Puits Ait Lachguer

L'analyse du diagramme de Schoeller des eaux de puits Ait Lachgar (Fig. 20) reflète une évolution graduelle et continue de la concentration en éléments majeurs, notamment les chlorures (Cl) qui participent avec une concentration de 493mg/l , et une conductivité maximale de l'ordre de 2320 us/cm .

Une lecture globale du diagramme de Schoeller, nous a permis de conclure que l'eau d'Ait Lachguer a une qualité moyenne vue la présence d'un chimisme moyen et que la variation inter-annuelle en concentration en éléments dissous est presque négligeable. Il s'agit d'un puits logé dans la nappe korimat et en particulier dans la zone de confluence des deux oueds (Igrounzar et Zelten) caractérisé par la présence de karst, ceci pourrait être interprété par la présence d'un écoulement en piston à grande échelle.

L'évolution de la minéralisation suggèrerait une stratification chimique interannuelle en profondeur.

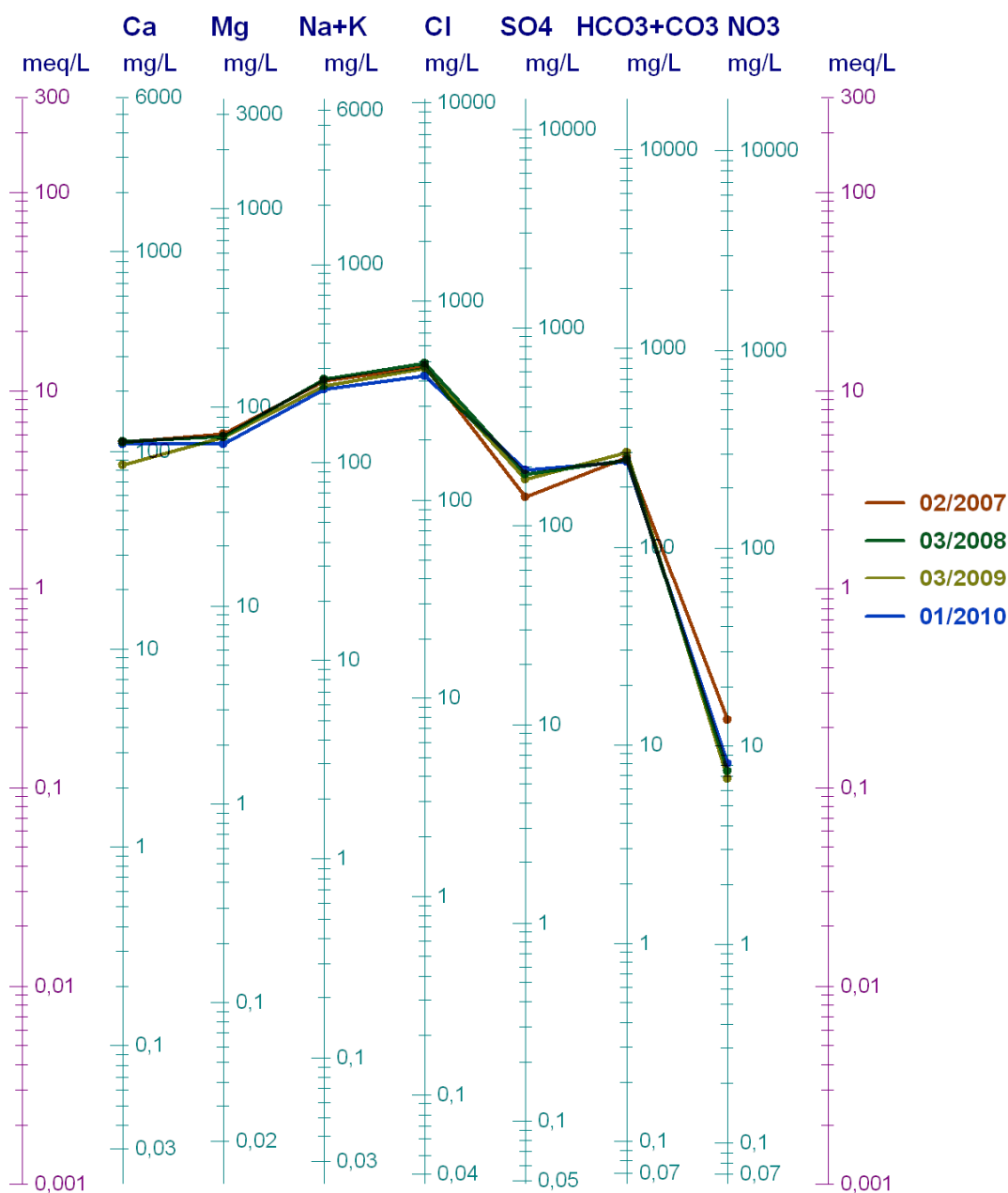


Figure 20: Projection des analyses des eaux du puits Ait Lachguer sur le diagramme de Shoeller-Berkaloff.

Puits Sidi Abderahman

Suite à la projection des analyses effectuées au sein de ce puits sur le diagramme de Schoeller – Berkaloff (Fig. 21), et en corrélation avec le faciès chloruré sodique et potassique que présente le puits de Sidi Abderahman, on constate que les Chlorures se présentent en grande partie en même temps que le sodium et le potassium, et que la conductivité varie entre **2350us/cm** en **02/2007** et **3130us/cm** en **03/2009**.

En **02/2007**, l'eau présentait une minéralisation faible par rapport aux trois autres années, alors que Les sulfates se présentent en quantité notable.

La conductivité est due respectivement aux ions Cl^- , Ca^{+2} , SO_4^{2-} et HCO_3^- (Voir annexes : diagrammes de corrélation).

Les résultats s'interprètent par le fait que les chlorures se conservent longtemps et sont peu affectés par les processus Acide / Base, tandis que le sodium et le potassium sont probablement issus du lessivage de l'infiltration des engrais attribués aux périmètres agricoles avoisinants. En faisant le lien avec le climat, en particulier la période pluvieuse, les eaux fraîches qui s'infiltrent migrent beaucoup, et contribuent d'avantage à la dilution naturelle des eaux souterraines. Il s'agit donc d'un écoulement à grande échelle.

En termes de qualité, la minéralisation dépasse les normes exigées, atteste en faveur d'une qualité médiocre des eaux du puits de Sidi Abderrahmane.

En comparaison avec les deux autres puits cités ci-dessus, Sidi Abderahman présente les plus fortes concentrations en chlorures vu sa situation géographique proche de l'océan atlantique dont les embruns en sont responsables.

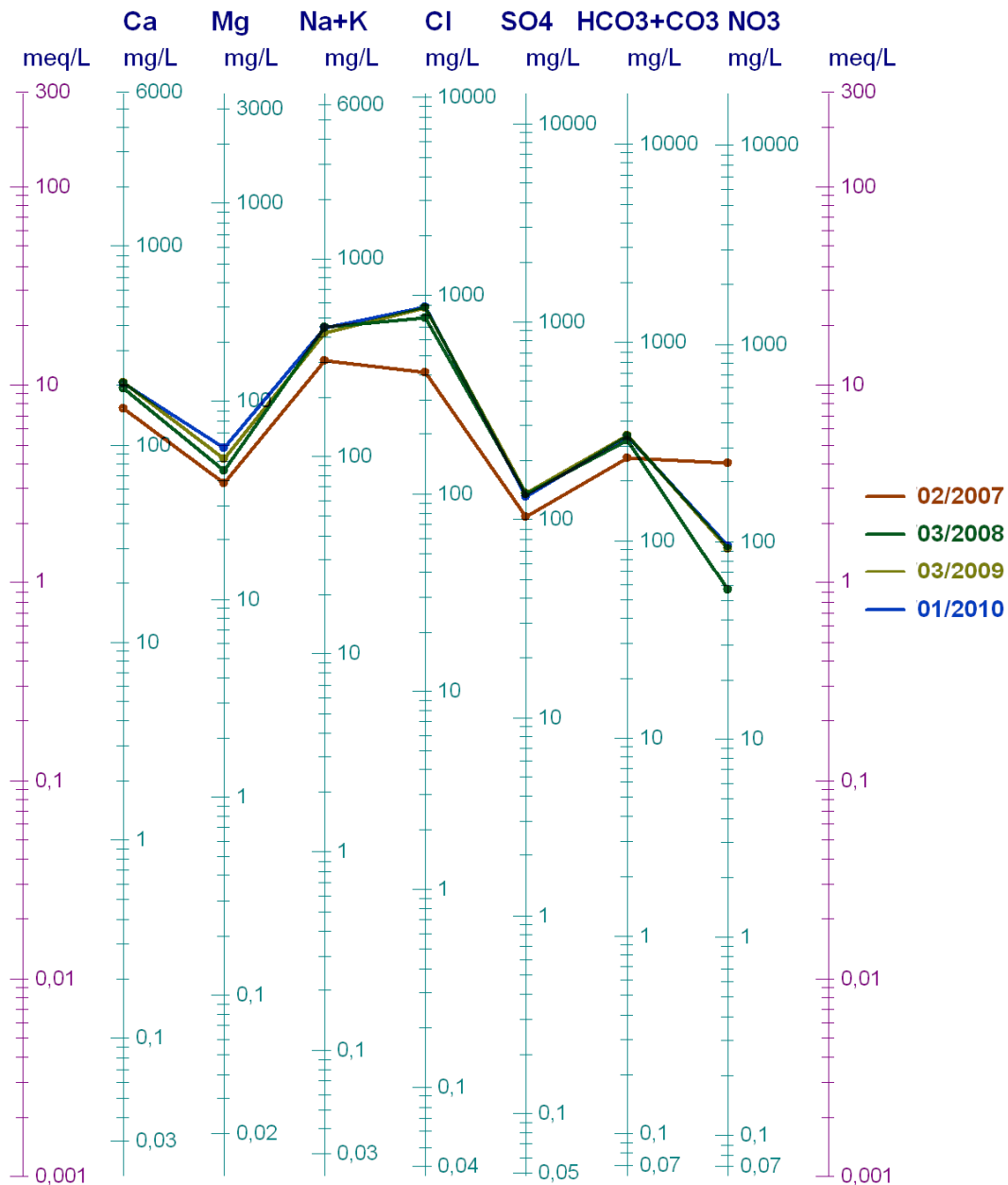


Figure 21: Projection des analyses des eaux du puits Sidi Abderahman sur le diagramme de Shoeller-Berkaloff.

***Indices de saturation :**

Dans le but d'expliquer les mécanismes d'acquisition de la minéralisation, nous avons utilisé l'application PHREEQ intégrée dans le programme « Diagramme » afin de calculer les indices de saturation vis - à-vis de certains minéraux carbonatés aussi bien que dolomitiques.

L'équilibre des eaux avec la matrice est souvent exprimé par l'indice de saturation :

$$Is = \text{Log} (Q / K)$$

Avec : Q : Produit d'Activité Ionique

K : Constante à l'équilibre

Le tableau ci-dessous montre les indices de saturation des eaux souterraines vis-à-vis de ces minéraux.

Puits	Minéraux carbonatés		Minéraux évaporitiques	
	Calcite	Dolomite	Anhydrite	Halite
Ait Daoud	-0,07	0,18	-1,56	-5,96
	0,03	0,08	-1,41	-5,79
	-0,08	0,15	-1,85	-6,52
	0,07	0,01	-1,74	-6,7
Ait Lachgar	-0,13	-0,68	-1,74	-5,56
	-0,14	-0,13	-1,63	-5,53
	-0,22	-0,16	-1,75	-5,58
	-0,16	-0,18	-1,6	-5,64
Sidi Abderahman	-0,01	-0,27	-1,71	-5,63
	0,13	-0,02	-1,58	-5,11
	0,18	0,1	-1,56	-5,09
	0,16	0,14	-1,6	-5,06
Max	0,18	0,18	-1,41	-5,06
Min	-0,22	-0,68	-1,85	-6,7

Tableau 7 : Indice de saturation des eaux souterraines vis-à-vis des minéraux

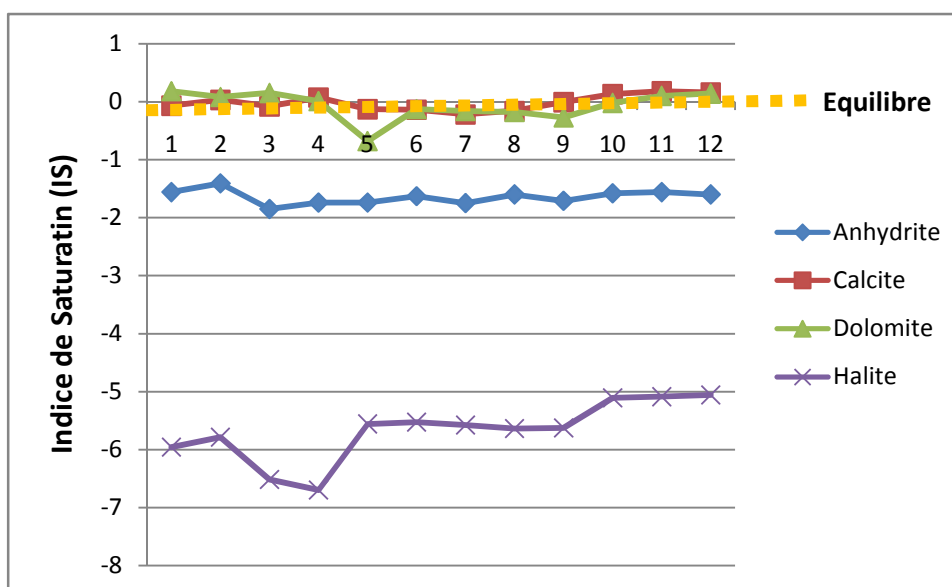


Figure 22 :Variation de l'indice de saturation des eaux souterraines Au niveau du bassin versant du Ksob.

L'analyse du tableau des indices de saturation (Tableau 7 et figure 22) montre que les minéraux présentent des indices de saturation différents et variable . En allant de l'amont vers l'aval, l'indice de saturations de la calcite varie de -0.22 à 0.18, la dolomite de -0.68 à 0.18, l'anhydrite de -1.85 à -1.41 et enfin l'halite de -6.7 à -5.06.

A la lumière de ces indices, nous pouvons dire que les eaux souterraines du Bassin de Ksob sont saturées en minéraux carbonatés et sous-saturées en minéraux évaporitiques.

D'après cette analyse, on note aussi que le comportement des eaux du bassin de ksob vis-à-vis des minéraux est très variable dans le temps. En aval, l'eau de puits de sidi Abderahman est sur-saturée en calcite avec (IS=0.18) vu sa vulnérabilité à la dissolution en eau froide. Pour la dolomite, l'indice de saturation est obtenu par le biais des eaux qui séjournent longtemps en contact avec l'encaissant dolomitique. L'eau du puits Ait Lachgar se montre agressive vis -à-vis des quatre minéraux tandis que celle du puits Ait Daoud est incrustante .

Partie IV :

**ESSAI D'ETUDE SUR LA POLLUTION
DES EAUX DU BASSIN KSOB**

I-INTRODUCTION

Les activités humaines, et en particulier les activités industrielles, agricoles et rejets domestiques, libèrent dans l'environnement des substances toxiques, nommées polluants. Ces derniers ont un impact direct sur les milieux naturels notamment les ressources en eau. Le bassin de Ksob, notamment la nappe Meskala - Korimat, est exposée au problème de pollution vue sa vulnérabilité et ainsi les facteurs artificiels qui l'entourent.

Cette partie vise à déceler l'origine de cette pollution rencontrée dans les eaux du bassins Ksob (Tableau 8 et 9), et la corrélérer avec la nature lithologique de l'aquifère afin d'évaluer la mobilité des contaminants produits.

Nom de la station	Date de mesure	O ₂ D (mgO ₂ /l)	DBO ₅ (mgO ₂ /l)	DCO (mgO ₂ /l)	NH ₄ ⁺ (mgNH ₄ /l)	P_Tot (mgP/l)	CF (UFC/100ml)	Qualité des eaux
Station Adamna	01/03/07	7,2	1,3	8,6	0,079	0,132	220	Bonne
	24/10/2008	8,16	3,3	33	—	—	1000	Bonne
	18/03/2009	8,2	1,7	9	0,036	0,119	700	Bonne
	04/03/2010	7,60	0,70	—	0,024	0,577	0	Mauvaise
Station Igrounzar	02/03/07	8	1,1	23	0,033	0,10	90	Bonne
	13/03/2008	15,3	0,6	6	0,22	0,027	80	Bonne
	23/10/2008	7,68	4,7	29	0,113	0,628	400	Mauvaise
	21/03/2009	8,0	1,0	6	0,068	0,02	230	Bonne
	01/07/2009	8,76	1,2	28	0,238	0,053	200	Moyenne
	13/11/2009	8,40	2,7	29	0,030	0,061	72	Moyenne
Station Zelten	02/03/07	—	0,9	9,6	0,022	0,12	550	Bonne
	13/03/2008	8,60	0,8	6	0,056	0,03	260	Bonne
	23/10/2008	7,36	5,1	38	0,102	0,738	1700	Mauvaise
	21/03/2009	7,52	1,5	14	0,039	0,049	20	Bonne
	01/07/2009	6,8	1,5	24	0,181	0,348	500	Moyenne
	13/11/2009	6,8	1,0	19	0,035	0,041	6	Excellente

Tableau 8: Qualité globale des eaux de surface dans le bassin Ksob (période entre 2007 et 2010)

Nom de puits	Date de mesure	Cond ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Cl- (mg/l)	NO3- (mg/l)	NH ⁺ ₄ (mgNH ₄ /l)	CF (UFC/100ml)	Qualité des eaux
PUITS AIT DAOUD	28/02/07	1900	336	334,0	0,043	60	Très mauvaise
	11/03/2008	2180	305,0	471,0	0,101	100	Très mauvaise
	25/03/2009	1315	186,0	233,0	0,011	5	Très mauvaise
	22/01/2010	1165	135	190	0,005	14	Très mauvaise
PUITS AIT LACHGER	22/02/07	2320	470,0	13,5	0,04	200	Moyenne
	04/03/2008	1985	493,0	7,49	0,011	20	Moyenne
	18/03/2009	1950	462,0	6,86	0,024	0	Moyenne
	23/01/2010	1780	424	8,17	0,073	120	Moyenne
PUITS SIDI ABDERAHMAN	27/02/2007	2350	415,0	252,0	0,061	40	Très mauvaise
	04/03/2008	2810	770,0	56,8	0,035	200	Mauvaise
	19/03/2009	3130	876,0	93,2	0,040	800	Très mauvaise
	19/01/2010	3050	883	94,8	0,009	48	Très mauvaise

Tableau 9: Qualité globale des eaux souterraines dans le bassin Ksob (période entre 2007 et 2010)

II-Perspective globale sur la qualité

D'après l'ensemble des études réalisées et le traitement des données disponibles. Nous avons acquis une idée générale sur la qualité des ressources en eau dans le bassin Ksob. Ainsi nous avons pu déterminer l'origine de la pollution présente dans le milieu.

II-1-Origines de pollution

Les origines se répartissent principalement entre différentes activités humaines citées ci-dessous. Les principales sont :

- L'élevage des animaux (Ovins, Bovins, Caprins, Camelins et, Equidés) constitue une activité pratiquée parallèlement à l'agriculture . Il contribue à l'autosuffisance alimentaire et à l'amélioration des revenus des populations.

Cet élevage est surtout de type extensif , car les conditions climatiques ne permettent qu'une végétation spontanée !

- La céréaliculture constitue la principale activité au niveau des communes avec un pourcentage allant de 73 % à 87% des terrains cultivés ;
- Les décharges : celle d'Ait Daoud et celle d'Essaouira ;

Le degré de contamination spatiale est très variable, car il est contrôlé par la nature lithologique et l'hydrodynamisme de nappe.

a- Déchets ménagers

Ce sont des rejets urbains liquides ou solides entraînés par des eaux de ruissellement (pluie, lavage des chaussées...), et des eaux résiduaires domestiques (cuisines, toilettes, lavage de locaux...), ou par le dépôt d'ordures en pleine nature qui est un facteur responsable de cette pollution et de la création des points noirs et des décharges sauvages.

*Les points noirs

Zones où les habitants déposent quotidiennement leurs ordures afin qu'elles soient ramassées par les éboueurs.

*Les décharges sauvages

Zones de dépôts de déchets qui proviennent des services de collecte, des charretiers privés et des particuliers. Le lessivage des sels solubles contenus dans ces déchets donnera des sels tels que Cl^- , HCO_3^- , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} et NH_4^+

En ajoutant aussi comme source de déchets ménagers les puits perdus qui sont des fosses remplies de caillasse et de sable, utilisées pour absorber les eaux de pluie ou d'infiltration collectées par un réseau de drain enterrés. Ces puits perdus peuvent être une source de pollution lorsqu'ils accumulent les déchets, car les eaux polluées s'infiltrent afin d'atteindre la nappe.

b- Déchets assimilés

Les déchets assimilés aux ordures ménagères sont les déchets non dangereux provenant des activités économiques de l'artisanat, des commerces et petites industries, ou d'établissements collectifs (éducatifs, socioculturels, etc.), pouvant utiliser les mêmes circuits d'élimination que les déchets non dangereux des ménages.

Parmi les principales sources de déchets au niveau de la zone sont les abattoirs. Ils déversent la majorité de leurs déchets liquides (sang, eau de lavage, eau de douchage, eau de réfrigération) dans les égouts publics. Ces eaux usées causeront par la suite une dégradation de la qualité organique de l'eau en cas de contact, car ils sont riches en matière organique, en phosphore totale et en coliformes fécaux.

c- Déchets hospitaliers

Le terme déchets du secteur sanitaire désigne l'ensemble des déchets produits par les établissements de soins de santé, qui sont des déchets contaminés, ou toutes d'autres sortes de déchets assimilables aux ordures ménagères (aiguilles, pansements, flacons, gants,...)

d- Pollution agricole

Dans cette source de pollution, on retient principalement les pesticides et les engrais. Parmi les éléments chimiques utilisés en agriculture on cite, les composés minéraux azotés qui sont utilisés pour une bonne croissance des végétaux. Après érosion et lessivage des terrains agricoles, les cours et les retenues d'eau s'enrichissent en nitrates et en phosphates. La conséquence immédiate de ces rejets est le phénomène d'eutrophisation.

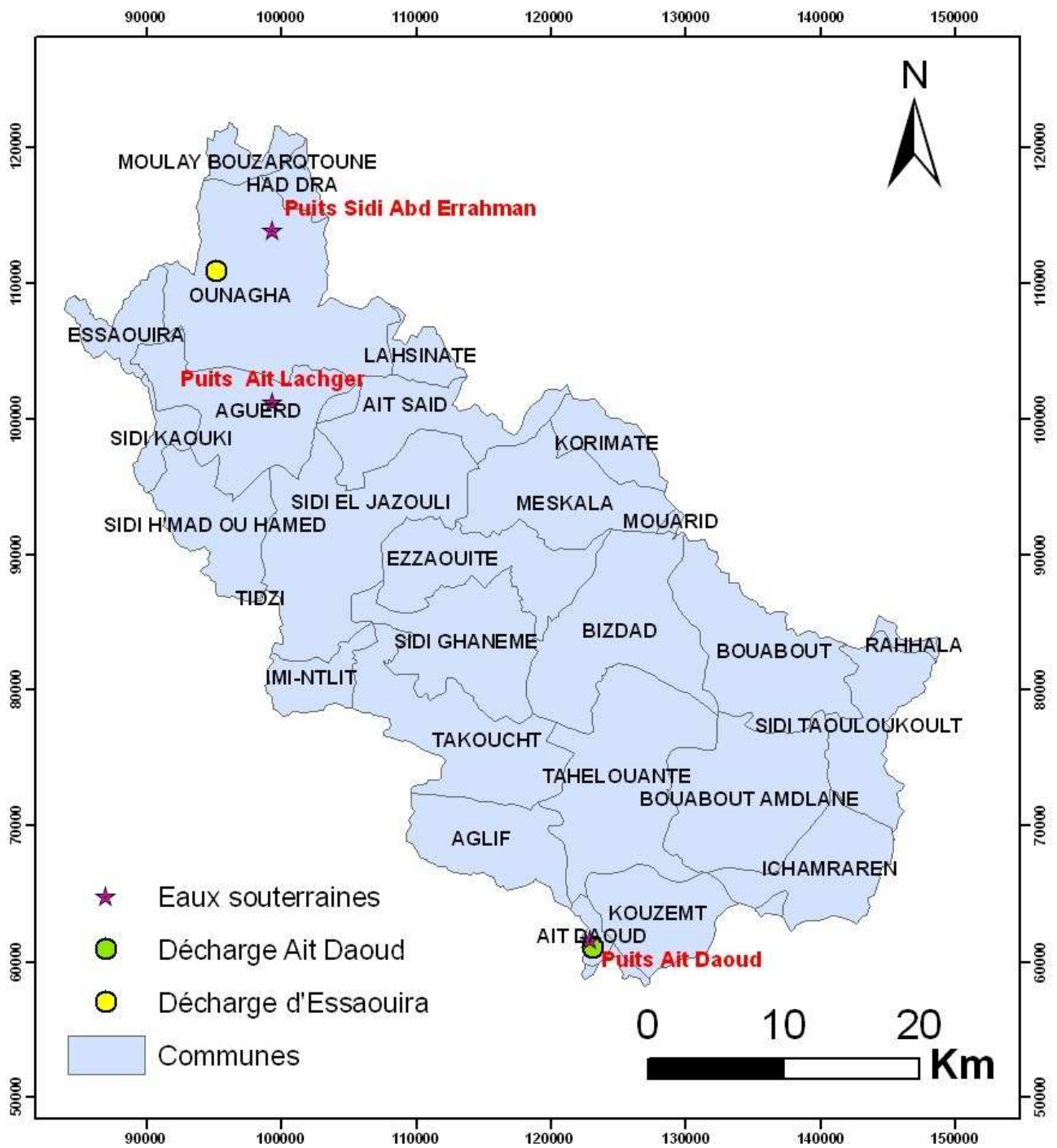


Figure 23 : Carte communale illustrant la localisation des décharges



		<u>Type de rejet</u>				
		Régime Permanent			Régime Saisonnier	
<u>Point de contrôle</u>	<u>Commune</u>	Déchets liquides et solides ménagers	Déchets assimilés	déchets hospitalier	Déchets agricoles (Produits phytosanitaires, engrais et déjections animales)	<u>Source de pollution</u>
Puit Ait Daoud	Ait Daoud	Puits perdus et points noirs	Abattoir	Centre sanitaire	Périmètres irrigués	
Station Zelten et station Igrounzar	Sidi El Jazouli					
Puits Ait Lachger et station Adamna	Aguerd					
Puits Sidi Abderahman	Ounagha		Néant			

Tableau 10 : Inventaire des sources de pollution dans les quatre communes contenant les points de contrôle de la qualité des eaux dans le bassin Ksob

III-Impact de la pollution sur les ressources en eau

La pollution que présente notre secteur d'étude est d'origine organique, toutefois les engrais utilisés en agriculture pour la fertilisation du sol apportent une pollution diffuse qui atteint les ressources hydriques par le phénomène de ruissellement. Par ailleurs, les lixiviats de décharge créent une pollution ponctuelle.

En général, les points d'eaux souterraines s'installent sur trois communes : Ait Daoud , Ounagha et Aguerd.

Le Puits Ait Daoud situé au contact de la décharge connaît d'une vision inter-annuelle des concentrations admissibles en Cl^- à l'opposé des NO_3^- qui s'inscrivent dans la case de qualité mauvaise. Sa contamination est due essentiellement à la décharge qui déverse des lixiviats véhiculés par l'intermédiaire des eaux de pluie .

Le puits Ait Lachgar se situe juste après la confluence des deux oueds (Igrounzar et Zelten) , qui apportent une charge saline et confère donc à cette eau sa conductivité moyenne .

La commune Ounagha est dépourvue de réseau d'assainissement liquide. Les eaux usées sont évacuées dans des fosses septiques et/ou des puits perdus. La commune ne dispose d'aucun système de collecte des déchets solides, ni de mise en décharge, par conséquent les déchets sont évacués au niveau des terrains vagues constituant ainsi des points noirs qu'il convient d'éliminer notamment à proximité des agglomérations et des ressources vulnérables.

Une étude bio-analytique est adoptée afin de dénombrer les coliformes fécaux que peut contenir la ressource en eau, en terme d'évaluer sa qualité. Cette approche biologique est intégrée dernièrement pour affiner les interprétations et juger de la qualité d'une telle ressource en dénombrant les coliformes fécaux. Pourtant la mesure de la DBO5 donne une idée sur le taux de matière organique présent dans le milieu et on note qu'une pollution organique intense exige des concentrations en O_2 élevées.

CONCLUSION GENERALE

Nous avons essayé à travers une approche des techniques hydrogéochimiques de comprendre et suivre la variation de la qualité des eaux de surface et souterraines dans le bassin Ksob et pendant une période ciblée (entre 2007 et 2010). Cette qualité varie d'un point à l'autre dans le bassin via la concentration des éléments polluants présents dans l'eau. Cette pollution peut être naturelle ou anthropique.

Ainsi, la comparaison des paramètres mesurés aux normes de qualité nous a permis de déduire que la qualité des eaux de surface est considérée bonne, par contre à la qualité des eaux souterraines est mauvaise. Cette médiocrité observée est principalement due aux nitrates et à la conductivité qui sont les paramètres de pollution les plus observés dans le cas du bassins de Ksob.

Le suivi de la qualité des eaux nous a permis aussi de déterminer les origines et les sources probables de pollution dans les communes contenant les points de contrôle et surveillance de la qualité, afin de réaliser un inventaire complet des types de rejet et les sources de pollution dans ces communes.

A cet effet, le législateur marocain a proposé un certains nombre d'actions à caractère préventif et correctif commençant par la protection des ressources en eaux contre toutes formes de pollution et de dégradation quelque soit son origine. Ainsi, il a proposé d'assurer l'élaboration d'un suivi de la qualité des ressources en eaux pour préciser les sources de pollution et les éviter.

RECOMMANDATIONS

Les résultats issus de ce travail ont permis de constater la fragilité de l'environnement dans la région, puisqu'elle est sujette à des multiples risques de dégradation, et des conditions de vie des populations très difficiles. C'est pour cela que les recommandations suggérées doivent être basées sur deux stratégies principales :

→ La première, c'est d'assurer une gestion durable des ressources en eau. Ce qui permet d'offrir une meilleure vie à la population et favoriser la disponibilité en eau potable et d'irrigation par l'amélioration des réseaux de distribution et du raccordement au réseau d'alimentation en eau potable (AEP), Ainsi que par le creusement et l'équipement des puits.

→ La deuxième stratégie se manifeste par la préservation de l'environnement et la lutte contre la pollution des ressources en eau par :

- * Création des décharges contrôlées (notamment pour la décharge Ait Daoud et Essaouira) ;
- * Utilisation raisonnable des produits phytosanitaires et engrais ;
- * Gestion raisonnable des déchets ménagers et assimilés ;

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABHT Article : Les objectifs de création des agences de bassin hydrauliques

<http://www.eau-tensift.net/menu/labht/nos-objectifs-taches.html?L=0>

Choubert . G. M . Carte géologique du Maroc (1 : 500 000) feuille de Marrakech. Edition du service géologique du Maroc, (1957) Notes et Mémoires N° 70 .

El Mimouni. A, L. Daoudi, M. E. Saidi & A. Baiddah (2010). Comportement hydrologique et dynamique d'un bassin versant en milieu semi-aride: exemple du bassin versant du Ksob (Haut atlas occidental, Maroc). Rev. C. & G., 24 (1-2), Madrid, 99-112.

Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement- Département de l'Eau - Site optimisé pour Internet Explorer – Article : les bassins hydrauliques

http://www.water.gov.ma/index.cfm?gen=true&id=13&ID_PAGE=45

Rapport interne de l'ABHT (2006) . Réalisation des analyses de l'eau dans la zone d'action de l'ABH Tensift. Rapport ABH Tensift / Etude de la qualité de l'eau / 43ème Campagne. 22p

Rapport interne de l'ABHT (23 Décembre 2008) Exposé : Système de classification de la qualité des ressources en eau. 9p

Smaij Z(2011) Typologie de la qualité des ressources en eau du bassin de Tensift AL-Haouz et cadre juridique de protection et de préservation. Rapport de MASTER FSTG, Marrakech. 96p

Ziyad A (2012). PLANS DIRECTEURS D'AMENAGEMENT ET DE GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU, OUTIL DE RENFORCEMENT DE LA GOUVERNANCE DE L'EAU À L'ÉCHELLE D'UN BASSIN HYDROGRAPHIQUE. FORUM MONDIAL DE L'EAU. Marseille France.

SITES WEB CONSULTÉES

<http://www.arifonet.org.ma/data/environment/Countries/N19/N19-Nor-eau.htm>

<http://www.cartographie.ird.fr/publi/documents/sig1.pdf>

<http://www.eau-tensift.net/menu/labht/nos-objectifs-taches.html?L=0>

http://fr.wikipedia.org/wiki/Bassin_versant

<http://www.lenntech.fr/data-perio/cl.htm#ixzz2UmsFL3LC>

<http://users.swing.be/chapp/parametres.htm>

http://www.water.gov.ma/index.cfm?gen=true&id=13&ID_PAGE=45

<http://www.wikipedia.org>

ANNEXES

Eaux de surface

	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Cl^-	SO_4^{2-}	Cond ($\mu s/cm$)
Ca^{2+}	1							
Mg^{2+}	0,8127	1						
Na^+	0,9873	0,8949	1					
HCO_3^-	0,9452	0,9584	0,9851	1				
CO_3^{2-}	0,8291	0,3480	0,7298	0,6012	1			
Cl^-	0,9644	0,9379	0,9941	0,9979	0,6516	1		
SO_4^{2-}	0,9161	0,9781	0,9681	0,9968	0,5353	0,9895	1	
Cond ($\mu s/cm$)	0,9888	0,8906	1,0000	0,9834	0,7363	0,9931	0,9657	1

Station Adamna

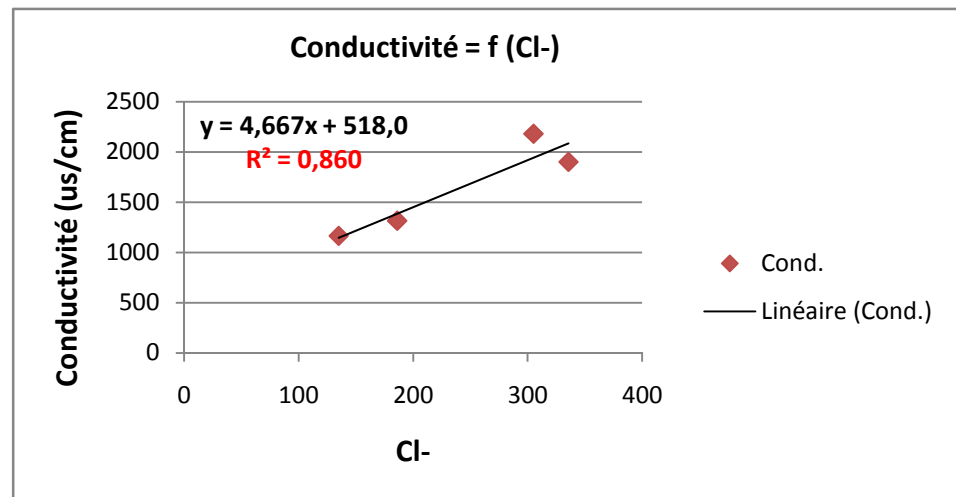
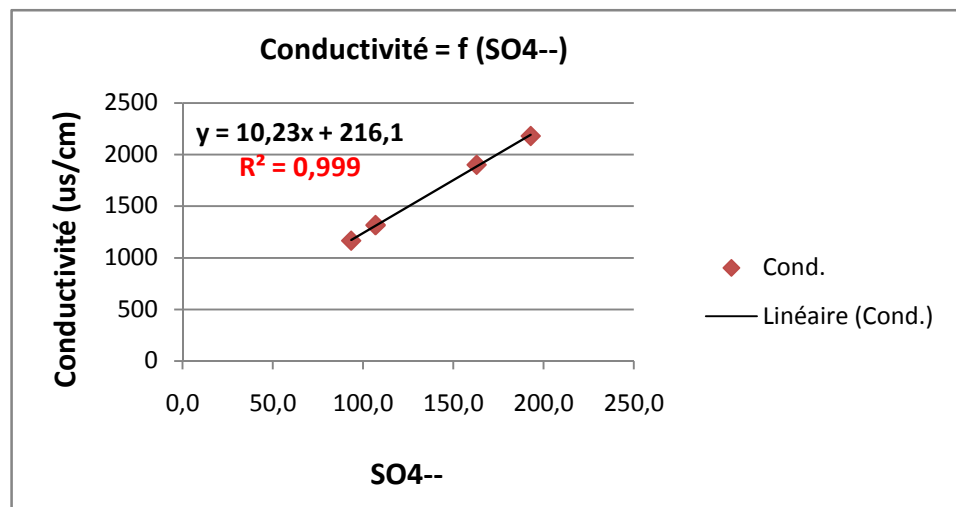
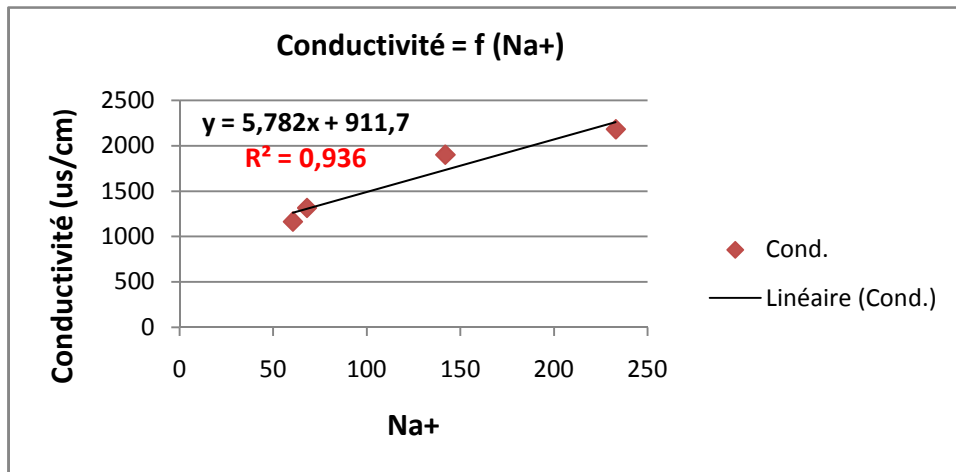
Station Igrounzar

	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	HCO_3^-	Cl^-	Cond ($\mu s/cm$)
Ca^{2+}	1					
Mg^{2+}	0,43941554	1				
Na^+	0,52687457	0,92901045	1			
HCO_3^-	0,50138872	0,84733342	0,82116373	1		
Cl^-	0,36077746	0,96267466	0,97228034	0,82877473	1	
Cond ($\mu s/cm$)	0,740604	0,92135	0,935857	0,8654763	0,8864076	1

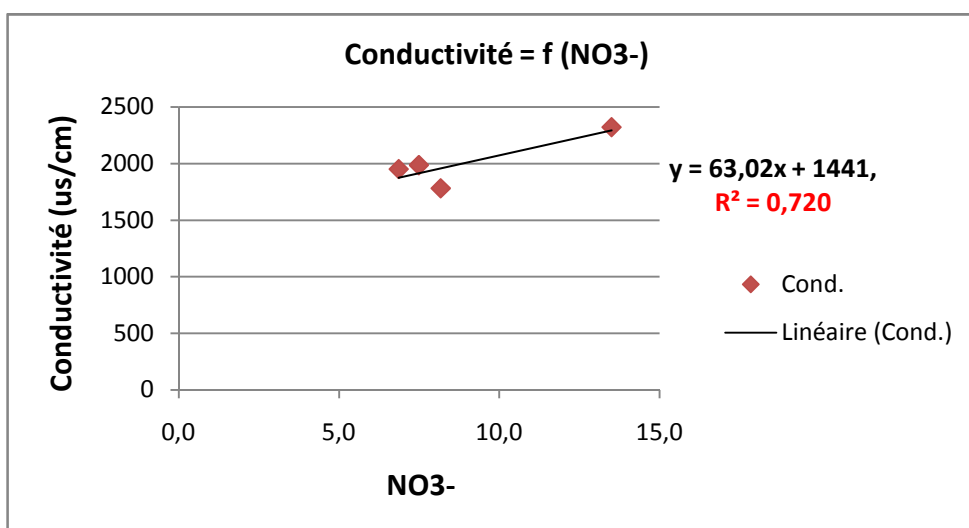
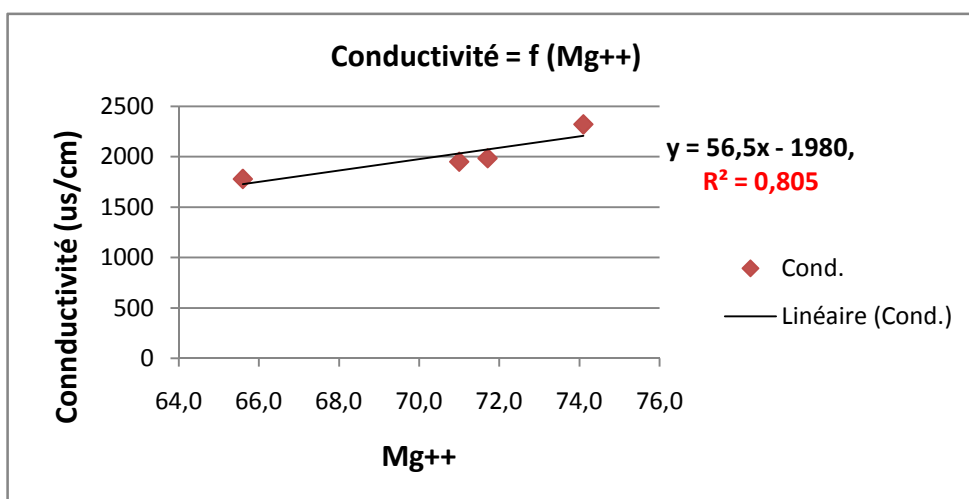
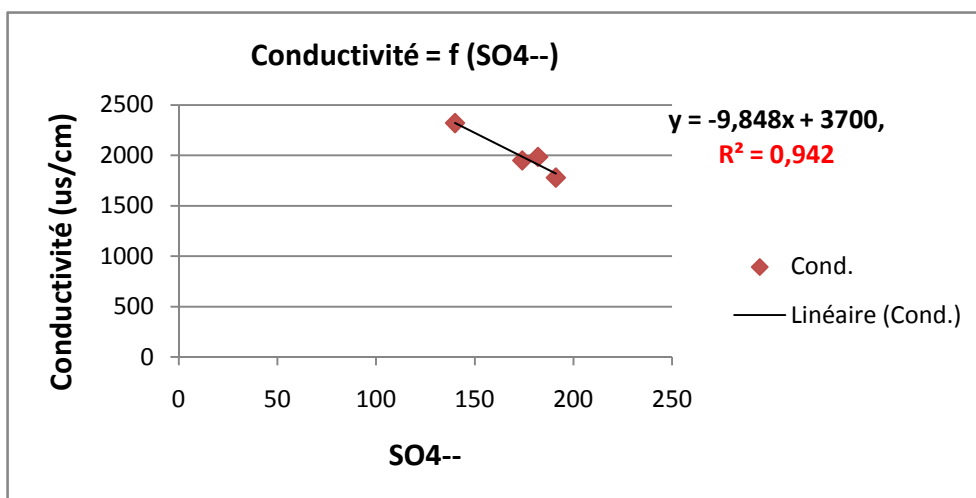
	Mg^{2+}	Na^+	HCO_3^-	Cl^-	Cond ($\mu s/cm$)
Mg^{2+}	1				
Na^+	0,6061	1			
HCO_3^-	0,7552	0,96656218	1		
Cl^-	0,6359	0,96496797	0,97189708	1	
Cond ($\mu s/cm$)	0,7352	0,9665	0,9977	0,9712	1

Matrices de Corrélation entre les éléments majeurs et la conductivité pour les eaux de surface

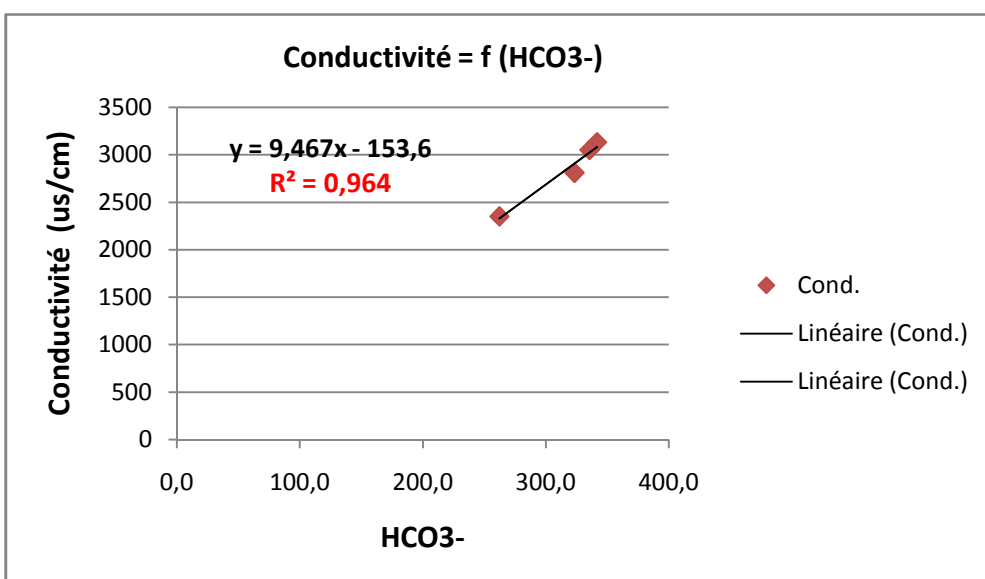
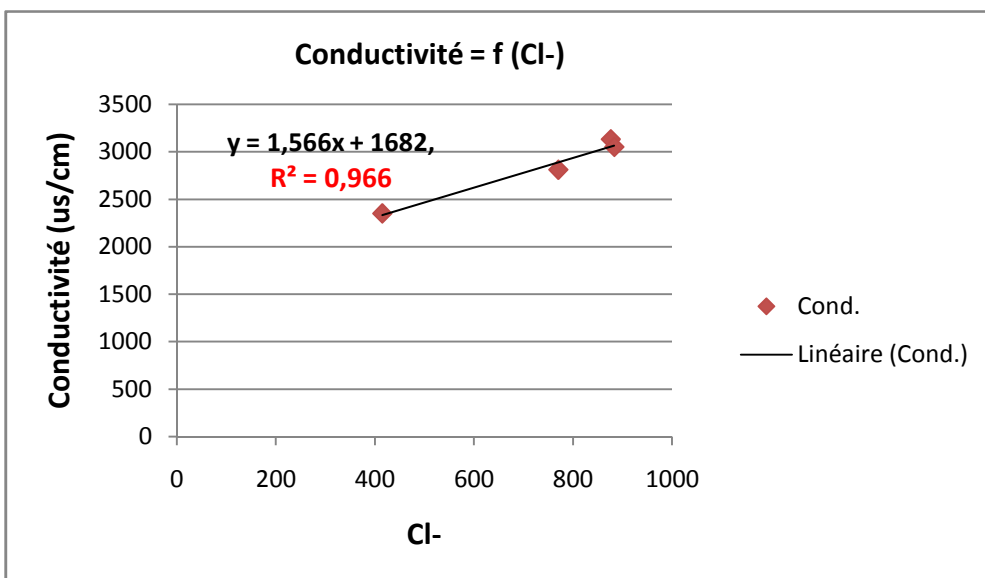
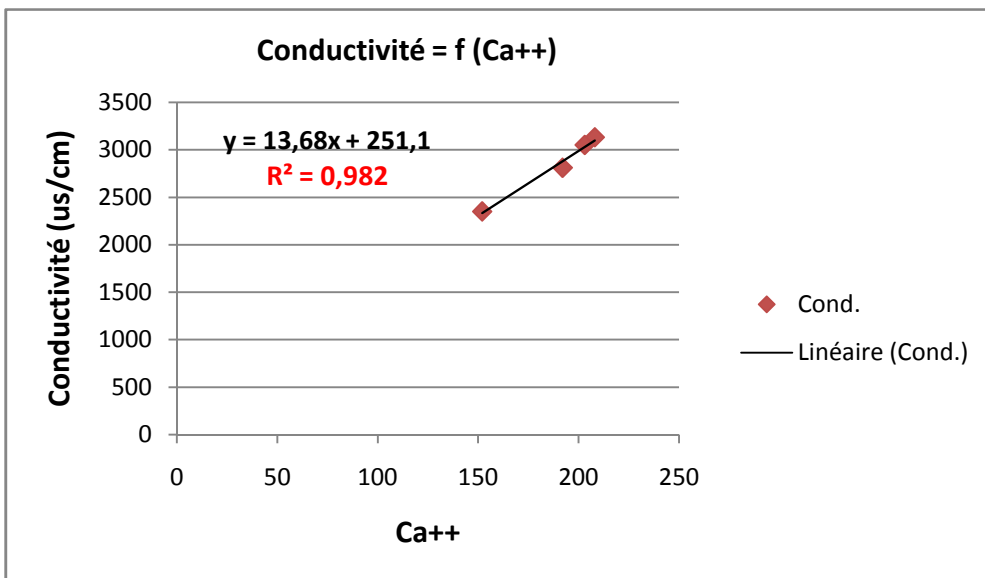
Eaux souterraines

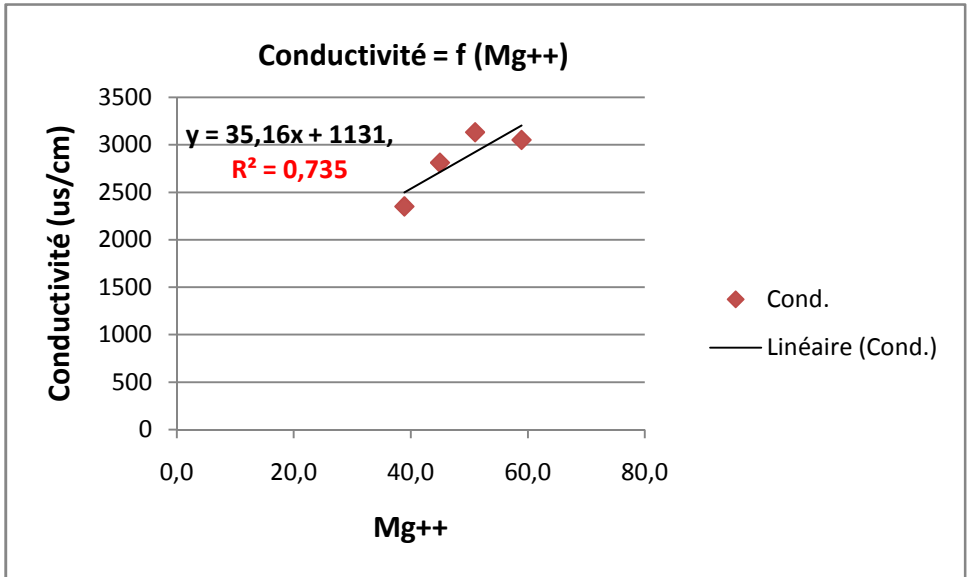
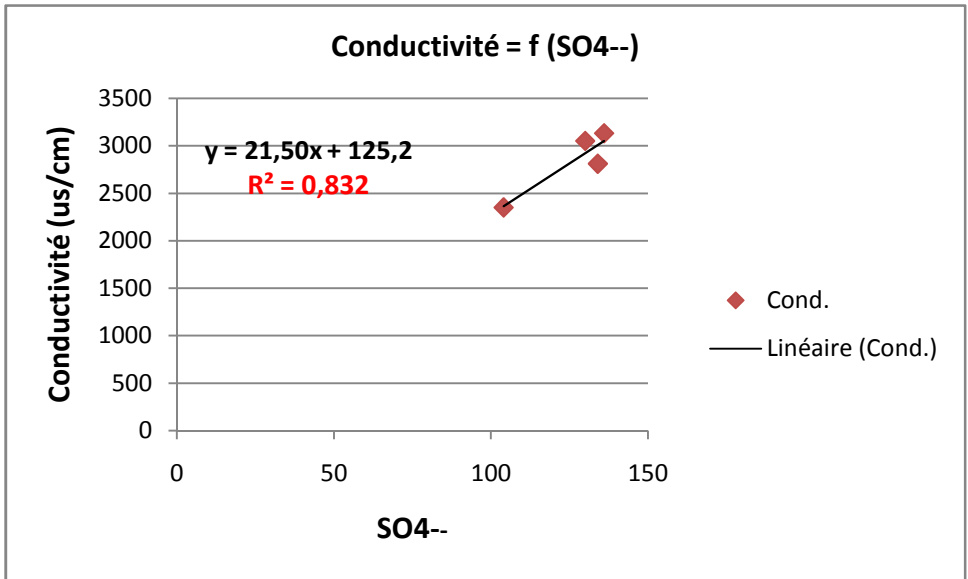


Eléments majeurs corrélés à la conductivité (Puits Ait Daoud)



Eléments majeurs responsables de la minéralisation du puits (Ait Lachgar)





Corrélation de la conductivité avec les éléments majeurs du puits (Sidi - Abderahman)