

N° d'ordre :

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abou Bekr Belkaïd-Tlemcen

Faculté des Sciences

Département des Sciences de la Terre.

st/14/007/5

Mag-Bib-131/05

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

Magister en Sciences de la Terre

Option : Hydrogéologie



Par :

M^r ABDERREZAK BOUDJEMA

Soutenu le : 02/07/2008, devant la commission d'examen :

M^r SEDDINLA
M^r BOUANANI.A
M^{me} BABA-HAMED.K
M^r HAMEL.L
M^r ZAHROUNA.A

Maître de conférences
Maître de conférences
Docteur Chargé de cours
Maître de conférences
Divisionnaire

Université de Tlemcen
Université de Tlemcen
Université de Tlemcen
Université de Sidi Bel Abbès
ANRH de Ouargla

Président
Rapporteur
Examinatrice
Examinateur
Invité

REMERCIEMENTS

Au moment de présenter ce travail, il m'est agréable d'adresser mes vifs remerciements à toutes les personnes qui m'ont aidé à le mener à terme.

*Tout d'abord, j'exprime ma sincère gratitude à **M^r A. BOUANANI** et à **M^r A. ZAHROUNA** pour leur précieuse contribution pédagogique et scientifique. Leurs orientations et leurs critiques constructives, tout au long de ce travail, ont été pour moi un apport considérable.*

*Que **M^r B. SEDDINI**, trouve ici l'expression de mes chaleureux remerciements pour l'honneur qu'il me fait de présider le jury.*

*Mes remerciements vont aussi à **M^{me} K. BABA HAMED** & à **M^r L. HAMEL** pour avoir accepté de faire-part du jury.*

*J'exprime ma gratitude à **M^r B. TEFIANI**, directeur d'Exploration de Hassi Messaoud, à **M^r H. CHORFI**, chef de département du Mud logging (Sonatrach, Hassi Messaoud) et à **M^r E. ELAROUSSI**, chef de service du laboratoire du fluide (Sonatrach, Hassi Messaoud) de m'avoir fournis l'accès à la documentation nécessaire à l'accomplissement de ce travail.*

Mes remerciements vont également :

- *A tous les enseignants et chercheurs des sciences de la terre de l'université de Tlemcen.*
- *Aux Ingénieurs et techniciens supérieurs du Mud logging (Sonatrach, Hassi Messaoud).*
- *Aux Ingénieurs de la division d'opération forage (Sonatrach, Hassi Messaoud).*
- *Aux Ingénieurs de l'ANRH de Ouargla.*

J'aurai une pensée particulière pour tous mes camarades d'études, de graduation et de post-graduation, ainsi qu'à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à :

La mémoire de mon père.

Ma mère, pour son soutien et encouragement pendant toutes ces années d'étude.

Ma chère femme, pour son encouragement, sa patience et sa compréhension.

Mes frères et sœurs,

Toute ma famille et ma belle-famille.

Mes amis.

Tous mes collègues de promotion d'Hydrogéologie à qui je souhaite beaucoup de réussite.

TABLE DE MATIERES

RESUME.

INTRODUCTION GENERALE.

CHAPITRE I : PRESENTATION DU CHAMP DE HASSI MESSAOUD ET ASPECTS HYDROCLIMATIQUES.

1) Situation géographique du champ de Hassi Messaoud	1
2) Etude Hydroclimatique.....	5
2-1) Introduction :.....	5
2-2) Précipitations :.....	6
2-3) Températures :.....	12
2-4) Luminosité :.....	13
2-5) Le vent :.....	13
2-6) L'humidité de l'air :.....	13
2-7) L'évaporation :.....	14
2-7-1) Formule de Turc :.....	14
2-7-2) Formule de Coutagne :.....	15
2-7-3) Méthode de wundt :.....	15
2-8) Indice de continentalité thermique :.....	17
*Indice de De Martone :.....	18
Conclusion:.....	18
CHAPITRE II : GEOLOGIE.....	19
1) Introduction :.....	20
2) Description géologique du système aquifère du Sahara Septentrional :.....	20
3) Aperçu structural de la région d'étude :.....	23
4) Description géologique du champ de Hassi Messaoud :.....	27
Conclusion:.....	29

CHAPITRE III : HYDROGEOLOGIE	30
1) Introduction :.....	31
2) Caractéristiques du complexe terminal :.....	31
2.1) Paléorecharge: la théorie des nappes fossiles :.....	33
2.2) Recharge actuelle : conditions et représentations :.....	33
3) Estimations de la recharge du Complexe Terminal :.....	37
4) Etude hydrogéologique de la zone de Hassi Messaoud :.....	38
5) Identification des aquifères du C.T au niveau du Champ de Hassi Messaoud :...	40
Conclusion.....	44
CHAPITRE IV : ETUDE HYDROCHIMIQUE	45
1) Introduction :.....	45
2) Etude des paramètres physico-chimiques:.....	46
3) Classification et potabilité des eaux :.....	59
Conclusion :.....	61
CHAPITRE V : POLLUTION	62
1) Introduction :.....	63
2) Généralités sur les fluides de forage :.....	63
3) Rôles des fluides de forage :.....	63
4) Caractéristiques physico-chimiques des fluides des forages :.....	63
5) Les principaux systèmes de fluide :.....	64
6) Programme de boue de réalisation de forage :.....	65
7) Le devenir des rejets des fluides de forage :.....	66
7-1) Définition de l'évaluation de pollution :.....	67
8) Contenu de l'analyse environnementale :.....	70
9) Enquête environnementale sur le champ de Hassi Messaoud :.....	75
9-1) Rejet liquide :.....	75

9-1-1) Type de rejets liquides à Hassi Messaoud :.....	75
9-1- 2) Calcul du risque environnemental du rejet liquide :.....	76
9-2) Les rejets solides :.....	78
9-3) Rejets atmosphériques :.....	79
10) Pollutions du sol :.....	79
10-1) Infiltration des polluants vers les nappes souterraines.....	79
11) Phénomène d'infiltration et de migration.....	81
12) Pollution des nappes souterraines.....	81
12-1) Interprétation des analyses Physico-chimiques et bactériologiques des eaux du Mio-pliocène dans le champ de Hassi messaoud :.....	83
12-1-1) Qualité des eaux du bourbier (CIS) et des puits témoins :.....	83
13) Elaboration de la carte de vulnérabilité par la méthode DRASTIC :.....	84
13.1) Présentation de la méthode DRASTIC :.....	85
13-1-1) Les paramètres du modèle DRASTIC :.....	86
13-1-2) Le système de notation appliqué :.....	86
13-1-3) Méthodologie :.....	86
13-1-4) Détermination de l'indice DRASTIC :.....	90
Conclusion :.....	94
CONCLUSION GENERALE & RECOMMANDATIONS :.....	95
BIBLIOGRAPHIE.....	100
ANNEXES.....	103
TERMINOLOGIE.....	119
LISTE DES FIGURES.....	126
LISTE DES TABLEAUX.....	129
LISTE DES PHOTOS.....	131
LISTE DES ABAQUES.....	133

ملخص

إن النشاط البترولي قد بلغ من التقدم و الازدهار أقصى درجة في ميادين البحث و التنقيب عن البترول، لكن هذه الخاصية قد نتج عنها حالات تلوث قد تنعكس سلبا على الطبيعة و تؤدي إلى تدهور المحيط. من ضمن منابع التلوث في حاسي مسعود، النفايات الخاصة بمراكز تصفية البترول و حفر الآبار. هذا النوع من النفايات يهدد بصفة مباشرة تلوث الأرض فهو يحتوي على كميات مرتفعة من البترول الخام و المعادن.

في التسعينيات، قسم سوناطراك اعتمد حفر الآبار باستعمال وحل بوليمار لحماية المحيط و نوعية المياه الجوفية، لكن هذا الوحل انجر عنه عدة مشاكل مثل تعطل ملحقات الآبار و المراقبة الدائمة لخصائصه الغير مستمرة (سلسلته الشاردية معرضة للبي أش و الحرارة). لهذا سوناطراك اختارت الوحل الزيتي لإنقاص تكاليف إنجاز الآبار.

التحاليل الفيزيوكيميائية و البيولوجية لمياه مركز تجميع الوحل و مياه البئر الذي أختير أوضحت أن طبقة المياه الجوفية للعهد الميولبوسيني معرضة للتلوث.

لقد ارتأينا، من خلال هذه الدراسة، أن نقترح خريطة لقابلية التلوث في منطقة حاسي مسعود و التي قد تعتبر كمرجع أساسي لحفر مستقبلي لآبار البترول أو لنشاط صناعي.

إن بئر البترول يعتبر منبعاً آخر للتلوث عن جراء انسياب النفايات، إما على السطح أو في الأعماق. التحريات المجراة حول وضعية المحيط في حقل حاسي مسعود أوضحت لنا أنه معرض لحد أقصى للتلوث، إذن على السلطات المعنية أخذ الاحتياطات اللازمة لمعالجة هذا المشكل.

خريطة قابلية التلوث، اعتماداً على طريقة " دراستيك " و مجالات " فريشت " بينت أن طبقة المياه الجوفية للعهد الميولبوسيني في حقل حاسي مسعود، لها حد قابلية التلوث متوسط، لكن التحاليل الفيزيوكيميائية و البيولوجية أوضحت تلوثاً في منطقة لها مجال " دراستيك " صغير مقارنة مع المناطق الأخرى. الناتج، هو أننا قد وضعنا مجالات جديدة و خريطة لقابلية التلوث خاصة بحاسي مسعود، مما أوضحت أن الجهات الجنوبية و الشرقية أكثر قابلية مقارنة مع الجهات الأخرى.

الكلمات الأساسية :

نشاط بترولي - طبقة جوفية حرة - وحل - مركز تجميع الوحل - تلوث - طريقة " دراستيك " .

RESUME

L'activité pétrolière ne cesse de croître et atteindre un stade de développement considérable dans les domaines de recherche et de production des hydrocarbures, cette situation génère des sources de pollution qui peuvent nuire à la nature et à la qualité de vie.

Parmi ces sources de pollution à Hassi Messaoud, les rejets liquides constitués par les eaux résiduaires des centres de traitement des Hydrocarbures et lors des réalisations des forages. Ce type de rejet engendre d'une manière directe la pollution du sol, caractérisée par des teneurs élevées d'Hydrocarbures et de métaux lourds.

Dans les années 90, la division de la Sonatrach a essayé de réaliser des forages pétroliers par des Boues polymères pour bien préserver l'environnement et la qualité des eaux souterraines. Néanmoins, cette boue a provoqué plusieurs problèmes, tels que les coincements de la garniture de forage et la surveillance permanente des caractéristiques de la boue qui sont instables (sa chaîne moléculaire est influencée par le PH et la température). Pour cela, la Sonatrach a opté pour la boue à base huile pour réduire le coup de réalisation du forage pétrolier.

Les analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux des bourbiers et des eaux du puits témoin ont montré que la nappe du Miopliocène est exposée à la contamination.

Nous avons essayé à travers cette étude de proposer une carte de vulnérabilité à la pollution du champ de Hassi Messaoud qui constituera un élément de base à toute implantation future de forage pétrolier ou d'activité industrielle.

Un puits pétrolier est considéré comme une autre source de pollution par le déversement des rejets liquides soit en surface ou en profondeur. L'enquête menée sur l'état de l'environnement du Champ de Hassi Messaoud nous a montré que ce dernier est exposé à un risque environnemental élevé, donc les autorités concernées doivent prendre les dispositifs adéquats pour remédier à ce problème.

La carte de vulnérabilité, établie par la méthode DRASTIC et par les intervalles de Fréchette, a montré que la nappe du Miopliocène dans le Champ de Hassi Messaoud a un degré de vulnérabilité moyen, toutefois les analyses physico-chimiques et bactériologiques ont révélé une contamination dans une zone qui a un indice DRASTIC faible par rapport aux autres régions. Par conséquent, nous avons attribué de nouveaux intervalles et une nouvelle carte de vulnérabilité propre à Hassi Messaoud, ce qui a montré que les parties sud et est sont plus vulnérables par rapport aux autres régions.

Mots clés :

Activité pétrolière- Hassi Messaoud –Nappe libre –Boue de forage –Bourbier –Contamination – Méthode DRASTIC.

SUMMARY

The oil activity does not cease growing and to reach a considerable stage of development in the fields of research and production of oil, this situation generates sources of pollution which can harm the nature and the quality of life.

Among these sources of pollution in Hassi Messaoud, the rejections waste water made up by processing centers of Hydrocarbons and at the time of the achievements of drillings. This type of rejection generates in a direct way, the pollution of the ground, characterized by high contents of Hydrocarbons and heavy metals.

As in the Nineties, the division of Sonatrach tried to carry out oil drillings by polymeric Muds for preserving well the environment and the quality of subsoil waters. Nevertheless this mud caused several problems, such as wedgings the drill pipe string, and the permanent monitoring of the characteristics of mud which are unstable (its molecular chain is influenced by the pH and the temperature). For that, Sonatrach with chosen mud at base oils to reduce the blow of realization of oil drilling.

Physicochemical and bacteriological analyses of water of the mud pits and water of the pilot well with shown that the tablecloth of Miopliocène is exposed to the contamination.

We tried through this study to propose a chart of vulnerability to pollution fields of Hassi Messaoud which will constitute a basic element with any future establishment of oil drilling or industrial activity.

An oil well is regarded as another source of pollution by the discharge of the rejections liquidate is on the surface or in-depth. The investigation carried out knew the state of the environment of the Field of Hassi Messaoud us showed that this last is exposed at the high environmental risk, therefore the authorities concerned must take the appropriate provisions to cure this problem.

The chart of vulnerability, established by DRASTIC method and the intervals of Fréchette, showed that the tablecloth of Miopliocène in the Field of Hassi Messaoud has an average degree of vulnerability, any time the analyses physicochemical and bacteriological revealed a contamination in a zone has a weak index DRASTIC compared to the other areas. Consequently, we allotted new intervals and a new chart of vulnerability suitable for Hassi Messaoud, ce which showed that the Southern part and East are more vulnerable compared to the other areas.

Key words:

Oil activity –Hassi Messaoud- unconfined water – Mud of drilling –Mud pit –Contamination – DRASTIC method.

INTRODUCTION GENERALE :

Les nappes du Système Aquifère du complexe terminal au Sahara Septentrional sont soumises à des contraintes qui limitent la faculté d'exploiter leur potentiel. Ces contraintes ont certes un caractère économique, mais les risques environnementaux constituent aujourd'hui les contraintes les plus déterminantes.

Le complexe Terminal (CT) renferme d'énorme réserve d'eau souterraines, l'étude UNESCO (1972) évalue approximativement les réserves d'eaux du CT à $20000 \times 10^9 \text{m}^3$ (couvrant 350000Km^2 en Algérie et en Tunisie essentiellement). Ces estimations ne tiennent pas compte la partie libyenne du système aquifère, tandis que l'estimation dans leurs délimitation (Algérie, Tunisie plus leurs extensions en Libye) à été estimé à $11000 \times 10^9 \text{m}^3$ (Baba Sy,2003). La mise en place de ces réserves d'eau s'est effectuée pendant les périodes humides de l'ère Quaternaire. Les couches géologiques dans lesquelles se sont constituées ces réserves datent essentiellement de l'ère secondaire et Tertiaire. L'écoulement souterrain est complexe, se traduit par certaines sources et exutoires naturels (Chotts et sebkhas).

Depuis plus d'une cinquantaine d'années, on a commencé à exploiter cette réserve d'eau souterraine: Les prélèvements sont passés de $600 \text{hm}^3/\text{an}$ en 1970 à environ 2,5 milliards de m^3/an dans les années 1995-2000 ; ils sont utilisés à des fins agricoles (irrigation), domestiques (eau potable et élevage) et industrielles (exploitation du pétrole, tourisme, divers...). Le nombre de points d'eau est supérieur à 7000 forages et sources (4000 en Algérie, 2000 en Tunisie, 1000 en Libye), (Sonatrach Exploration,2003). Ce volume d'eau exploité pour l'activité pétrolière est de 80.3Hm^3 en 2004, dont 63Hm^3 exploité du Continental intercalaire, et $17.324.422 \text{m}^3$ pour le complexe Terminal, réparti pour les activités suivantes :

- Forages de développement et d'exploration.
- Traitement des hydrocarbures dans les centres industriels.
- Injection d'eau dans les gisements à hydrocarbures.
- Entreprises para- pétrolières.
- Bases de vie.

Le champ de Hassi Messaoud a pris sa part de cette exploitation depuis la première découverte en 1956, Exploitation qui ne cesse de croître jusqu'à nos jours, La consommation industrielle dans le Champ de Hassi Messaoud a été estimée, en 2003 à $2,5 \text{Hm}^3 /\text{an}$, si ce taux d'exploitation est alarmant pour une réserve fossile, vient s'ajouter le problème du risque de contamination de ces nappes qui constituent la seule source d'approvisionnement pour le Sahara Septentrional.

Si la Sonatrach depuis longtemps a essayé de développer ses capacités de production, elle a emprunté le chemin des sciences environnementales récemment comme l'on fait les plus grands groupes industriels au monde, pour évaluer les impacts sur l'environnement associés aux rejets industriels.

La nappe phréatique du complexe terminal à Hassi Messaoud est exposée directement aux sources de pollution : rejets d'activité industrielle des hydrocarbures, ou pertes totales au cours du forage dans les formations du complexe terminal.

Nous avons essayé, dans ce présent travail, d'interpréter les résultats d'analyses physico-chimiques et bactériologiques, faire une enquête sur les sources de pollution, évaluer le risque de contamination, établir une carte de vulnérabilité pour le champ de Hassi Messaoud et enfin, apporter quelques solutions jugées nécessaires pour la préservation des ressources en eau souterraine de la région.

CHAPITRE I :

PRESENTATION DU CHAMP DE HASSI MESSAOUD ET ASPECTS HYDROCLIMATIQUES

1-SITUATION GEOGRAPHIQUE.

2-ETUDE HYDROCLIMATIQUE.

1)SITUATION GEOGRAPHIQUE DU CHAMP DE HASSI MESSAOUD :

C'est vers la fin du 19^{ème} siècle qu'ont commencé les premiers travaux d'exploration des hydrocarbures en Algérie, dans le bassin du Cheliff, sur la base d'indices de surface. Les premiers puits sont peu profonds et certains indices ont même été exploités par simple creusement de galeries.

Ce n'est qu'en 1948 que la première découverte commerciale a été faite à Oued Guétérini, à 150 kilomètres au sud d'Alger.

La deuxième découverte significative a été enregistrée en 1953 à l'extrême sud du Sahara avec un débit de gaz sec à partir d'un forage implanté sur une structure de surface : Berga. Une autre structure de surface fut forée plus tard en 1956 à Edjeleh (vers le Sud d'Ain Amenas) où l'on obtint un débit d'huile.

Au cours de la même année, fut réalisée la plus importante découverte d'huile en Algérie, à Hassi Messaoud, sur une structure décelée par la sismique réfraction. Le champ de Hassi Messaoud, situé dans le bassin de Melrhir, est composé de quatre réservoirs (R3, R2, Ra et Ri), dont les dépôts quartzitiques d'âge Cambro-Ordovicien se développent sur plusieurs centaines de mètres d'épaisseur à une profondeur variant de 3200 à 3500m.

Le champ de Hassi Messaoud est considéré comme l'un des plus grands gisements dans le monde. Il fait partie d'un ensemble de structures formant la partie Nord de la province Triasique, et se situe à environ 850 km au Sud Sud-Est d'Alger, à 280 km au Sud-Est du gisement de Gaz condensas de Hassi R'Mel et à 350 km à l'Ouest de la frontière tunisienne (fig n°01).

Il est limité entre les coordonnées :

Lambert		Géographique	
X	[790.000 - 840.000]Est	Latitude	31°32mn49.7294s - 31°53mn36.1255s
Y	[110.000 - 150.000]Nord	Longitude	5°45mn9,8458s - 6°17mn36.3459s

Ce Champ est limité, au Sud-Est par le Champ de Rhourd El Baguel, au Sud-Ouest par le Champ de Hassi El Agreb et vers le Nord, par la ville de Touggourt. Le Champ de Hassi Messaoud fait partie du sous bassin versant de Messaïed (sous bassin du grand Erg Oriental), ce dernier est considéré comme un sous bassin de l'Oued Mya (fig n°02).

Le sous bassin de l'Oued Mya est subdivisé en trois sous bassins versants; Ce sont d'Ouest en Est :

1. Sous bassin de l'Oued Mya proprement dit.
2. Sous bassin de l'In Sakki.
3. Sous bassin de Messaïed ou de l'Erg Oriental.

La concession sur laquelle se trouve Hassi Messaoud, dont la superficie est de l'ordre de 2200 km². Après la mise en évidence par la sismique réfraction de la structure de Hassi Messaoud, comme étant un vaste dôme structural, le 16 janvier 1956, le premier puits Md1 fut implanté, pas loin du puits chamelier de Hassi Messaoud. Le 15 juin de la même année, ce forage a recoupé des grès cambriens à 3338m comme étant producteur d'huile (Direction des forages, Hassi Messaoud, 2003)

En Mai 1957, le deuxième puits Om1 fut réalisé à environ 7Km au Nord-Nord-Ouest du puits Md1, ce forage confirmait l'existence d'huile dans les grès du Cambrien (Direction des forages, Hassi Messaoud, 2003).

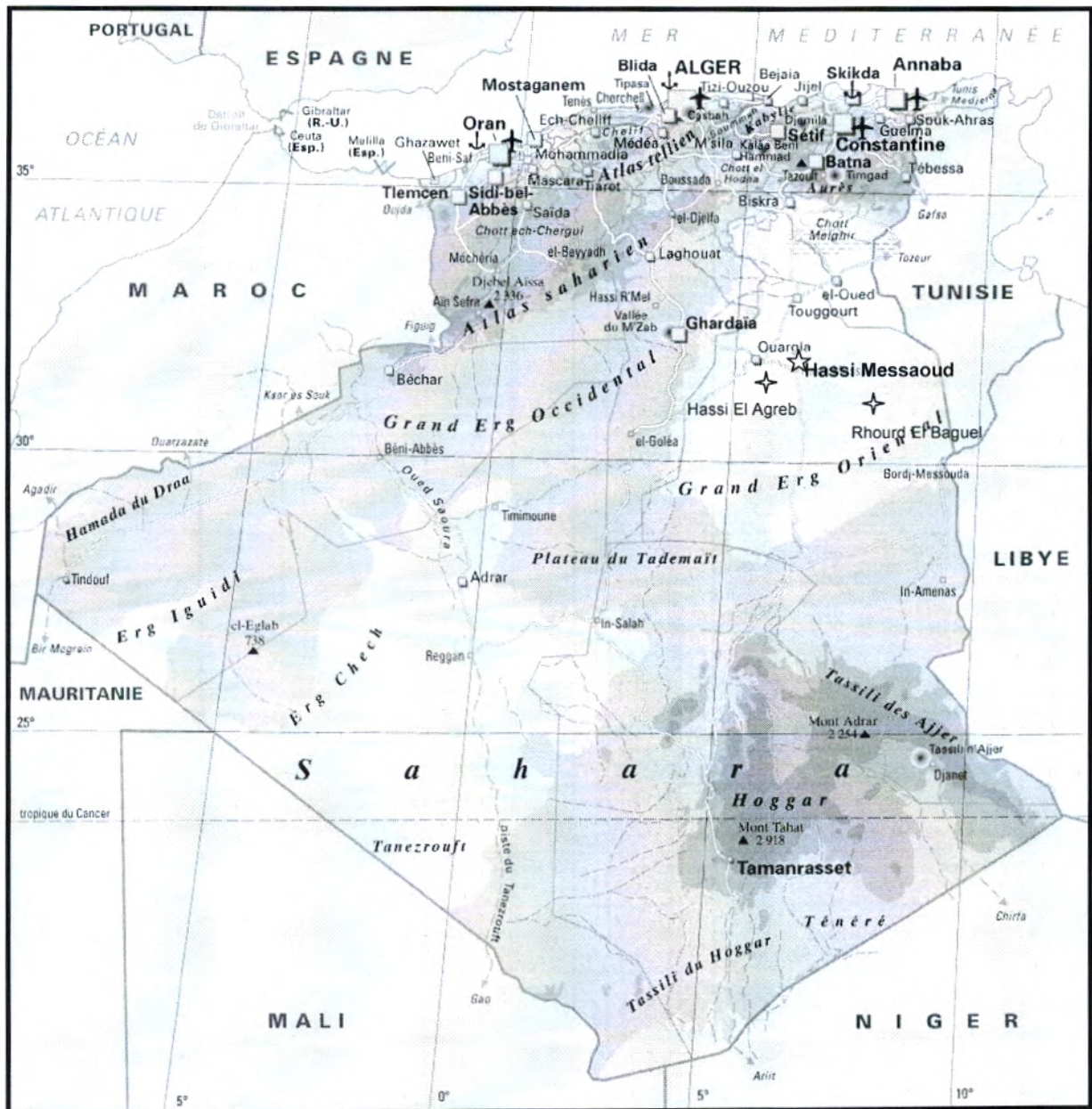
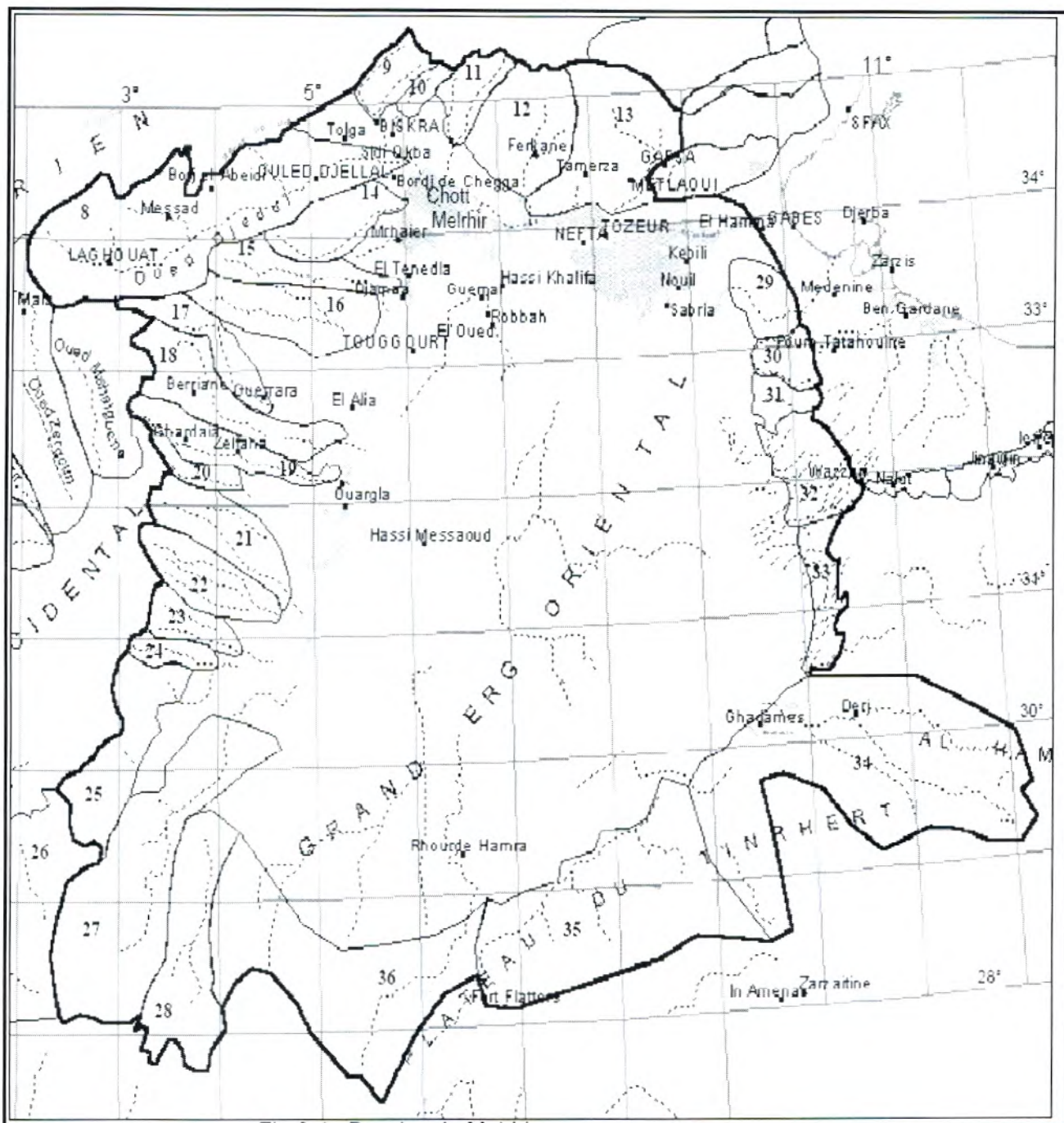


Fig n° 01: Situation géographique de la zone d'étude (Sonatrach,2002).



8 : Oued Djedi -9 : Oued Biskra 10 : Oued Biraz 11 : Oued El Arab 12 : Oued Djedah
 13 : Oued El Melah 14 : Oued Ittel- 15 : Oued Rtem 16 : Oued Attar 17 : Oued Zegrir
 18 : Oued N'sa 19 : Oued M'zab 20 : Oued Metlili 21 : Oued Touil 22 : Oued Fahl 23 : Oued
 Gouiret Moussa 24 : Oued Djafou 25 : Oued Djoua 26 : Oued Ech Cheguig 27 : Oued Mya
 28 : Oued In Sakki 29 : Oued Hallouf 30 : Secteur Mahbes 31 : Secteur Lisseri 32 : Secteur
 Djneiene 33 : Secteur Tiaret 34 : Oued Tanarout 35 : Oued Dranet 36 : Oued El Abed-
 Igharhar.

Fig n°02: Bassin hydrographique de Melrhir (Baba Sy,2003)

La mise en production avait commencé en 1958 avec 20 puits d'exploitation. Les forages se sont développés et multipliés sans cesse, plus de 1700 puits jusqu'à nos jours.

Après plusieurs années de la mise en production du champ de Hassi Messaoud, on a pu constater que des ensembles de puits se comportaient de manière indépendante les uns par rapport aux autres, d'où la définition de zone, dont les pressions moyennes évoluent de manières différentes.

Les périphéries de zones, les interzones et les hors zones sont des régions de faibles caractéristiques pétrophysiques. Leurs développements n'est concevable que par la mise en place de moyens non conventionnels : forages horizontaux ou reprises en short radius. La perméabilité horizontale moyenne est très faible (± 02 mD) et la perméabilité verticale est très mauvaise. C'est la raison pour laquelle les puits médium radius ne sont pas des puits rigoureusement horizontaux mais des puits inclinés à $\pm 87^\circ$, qui traversent le réservoir sur toute son épaisseur.

Après plusieurs années de production, la pression du gisement a énormément chuté ce qui a incité à utiliser les méthodes de récupération secondaire (injection de gaz, d'eau, fracturation, acidification, etc...).

-
- Les puits en short radius sont principalement d'anciens puits verticaux transformés en puits horizontaux. Ils ont une courbe d'un rayon inférieur ou égal à 44m.
 - Les puits en médium radius ont une courbe d'un rayon de 61 à 152m.
 - Les puits en long radius ont une courbe d'un rayon supérieur ou égal à 229m.

2- ETUDE HYDROCLIMATIQUE :

1) INTRODUCTION :

La zone d'étude appartient au réseau du Sahara septentrional qui porte les vestiges d'un réseau hydrographique ancien, témoignant d'un écoulement de surface énergique au cours des périodes humides du Quaternaire. Bien que ce réseau soit aujourd'hui plus ou moins colmaté par des apports éoliens ou des dépôts sédimentaires, il est encore possible de discerner une organisation hydrographique importante dont le fonctionnement a déterminé le modèle actuel.

Actuellement, le réseau est encore actif dans les piémonts des chaînes atlasiques, sur les pentes du massif du Hoggar, sur le Dahar et sur le djebel Nefusa, régions où l'on peut observer des écoulements relativement importants et durables. Partout ailleurs, les crues sont rares, irrégulières et ne durent que quelques heures à quelques jours. Il est d'ailleurs difficile d'apprécier les volumes d'eau drainés par les oueds et les distances parcourues par les crues, et les renseignements sont le plus souvent qualitatifs.

Il est sûr qu'aucune crue ne parcourt, actuellement, la totalité de l'ancien trajet des oueds. Les écoulements pérennes, plus faciles à mesurer, n'ont qu'une faible importance dans cet ensemble car ils sont rares et ne s'observent que sur de courtes distances (in Baba Sy, 2003).

Ces écoulements ne se produisaient pas vers la mer mais vers l'intérieur du Sahara : il s'agit d'un réseau endoréique débouchant dans les grandes sebkhas (Schot Melrhir par exemple) en communication avec les nappes souterraines ou plus encore dans d'immenses plaines, comme celles de la Saoura et du Tanezrouft. On comprend pourquoi d'énormes réserves hydrauliques se soient constituées au cours des périodes géologiques humides en s'accumulant dans les terrains perméables du Secondaire et du Tertiaire (DUBIEF J. 1953).

La zone d'étude fait partie du sous bassin de Messaïd. Ce dernier est considéré comme un sous bassin du bassin de Melrhir, nous désignons sous ce terme l'ancien système hydrographique, qui avait comme niveau de base la région des chotts du sud constantinois et tunisien. Les chotts actuels seraient les derniers vestiges de la vaste nappe d'eau qui recouvrait alors cette région.

Il couvre en gros une superficie de 685000 km², Les sous bassins du Djedi et de l'Aurès sont encore appartenant à l'endoréisme actif avec une superficie de 20000Km² (Baba Sy, 2003), le reste est celui de l'Erg.

En surface, le Champ de Hassi Messaoud est composé essentiellement de dunes de sables formant des Ergs. Il n'y a pratiquement aucun signe de présence de réseau hydrographique, ceci est dû, d'une part, à la rareté des précipitations et d'autre part, à la nature d'un terrain très perméable et à la topographie qui ne permet pas le ruissellement.

Le climat de la zone étudiée est considéré comme hyper aride, typique d'une région désertique comme l'Erg oriental, avec un ciel clair, quasiment sans nébulosité, le Sahara est avant tout "le pays du soleil".

Elle reçoit moins de 40 mm de pluie par an. Les vents desséchants érodent les roches jusqu'à les réduire en sable. Leurs effets se conjuguent avec ceux d'une insolation violente pour accroître l'intensité de l'évaporation.

Sans eau en surface et sans terre arable, Les écarts de la température sont très significatifs entre le jour et la nuit. En été la température du jour peut atteindre les 47°C, comme elle peut descendre durant les nuits à 1°C.

2) PRECIPITATIONS :

La rareté de la pluviosité est le caractère fondamental du climat du Champ de Hassi Messaoud. On note ainsi des précipitations annuelles très faibles avec une moyenne annuelle de 45,05mm (Tableau n°01). On constate aussi que l'année 1974-1975 est la plus pluvieuse depuis 1966 jusqu'à 2002 (Fig n°03).

Tableau n°01: **Précipitations moyennes annuelles au niveau de Hassi Messaoud (1966-2002).**

Année	Précipitation	Année	Précipitation	Année	Précipitation
1966-1967	46	1978-1979	17.2	1990-1991	121,4
1967-1968	50	1979-1980	28.5	1991-1992	32
1968-1969	16	1980-1981	22.85	1992-1993	41
1969-1970	53.6	1981-1982	21	1993-1994	33.5
1970-1971	13	1982-1983	41.5	1994-1995	46.2
1971-1972	10.6	1983-1984	38.8	1995-1996	69.6
1972-1973	14	1984-1985	22.21	1996-1997	16.6
1973-1974	15.6	1985-1986	32.2	1997-1998	50.7
1974-1975	330	1986-1987	14.1	1998-1999	20.6
1975-1976	96	1987-1988	42.3	1999-2000	51.4
1976-1977	73	1988-1989	47	2000-2001	31.
1977-1978	22.55	1989-1990	90.1	2001-2002	20.3

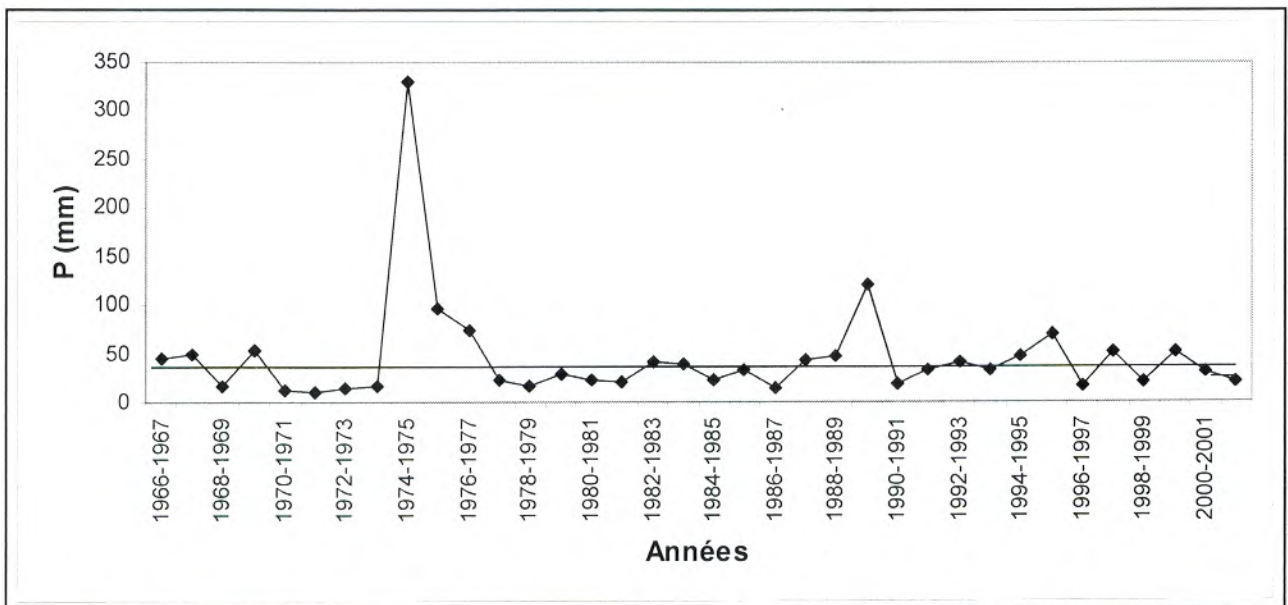


Fig n°03: **Variation des Précipitations moyennes annuelles au niveau de Hassi Messaoud (1966-2002)**

Toutefois des pluies torrentielles ont été observées à Hassi Messaoud au cours des années 1975 et 1990, durant les mois : Janvier, Février et Mars (Tableau n°02)

Tableau n°02: **Précipitations torrentielles enregistrées à Hassi Messaoud (1975 et 1990).**

Mois	Janvier	Février	Mars
Précipitations (mm) en 1975	123	192	15
Précipitations (mm) en 1990	62.6	30.8	28

2-1) Etude statistique des précipitations à la station de Hassi-Messaoud :

L'analyse statistique des précipitations permet de condenser l'information dans une suite de valeurs caractéristiques de la série étudiée.

Paramètres	Formules	Valeurs		
		<i>Loi normale</i>	<i>Loi Log normale</i>	<i>Loi racine</i>
Moyenne	$\bar{P} = 1/N \sum_{i=1}^n P_i$	<i>Loi normale</i>	<i>Loi Log normale</i>	<i>Loi racine</i>
		36,4988	1,4912	5,7982
Variance	$\sigma^2 = 1/N \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2$	<i>Loi normale</i>	<i>Loi Log normale</i>	<i>Loi racine</i>
		468,448	0,0644	2,9155
Ecart type	$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$	<i>Loi normale</i>	<i>Loi Log normale</i>	<i>Loi racine</i>
		21,6436	0,2537	1,70749
Coefficient de variation	$C_v = \sigma / \bar{P}$	<i>Loi normale</i>	<i>Loi Log normale</i>	<i>Loi racine</i>
		0,5929	0,17013	0,2944

a) Ajustement de la série des précipitations à la loi normale :

Les précipitations annuelles sont classées suivant une distribution ordonnée en termes croissants.

Un modèle statistique impose dans ce cas des calculs de fréquences selon la relation suivante :

$$F_i = i / N + 1$$

I : Rang.

N : Période d'observation (nombre d'années).

Tableau n°03 : Distribution des précipitations annuelles à la station de Hassi-Messaoud (1966-2002).

Rang (l)	P(mm)	F _i	N	Log P	√ P
1	10,6	0,028	1971	1,025	3,25
2	13	0,057	1970	1,113	3,6
3	14	0,085	1972	1,146	3,74
4	14,1	0,114	1986	1,149	3,75
5	15,6	0,147	1973	1,193	3,94
6	16	0,171	1968	1,204	4
7	16,6	0,2	1997	1,22	4,07
8	17,2	0,228	1978	1,235	4,14
9	20,3	0,257	2002	1,307	4,5
10	20,6	0,285	1999	1,313	4,53
11	21	0,314	1981	1,322	4,58
12	22,21	0,342	1984	1,346	4,71
13	22,5	0,371	1977	1,352	4,74
14	22,85	0,4	1980	1,358	4,78
15	28,5	0,428	1979	1,454	5,33
16	31	0,457	2001	1,491	5,56
17	32	0,485	1992	1,505	5,65
18	32,2	0,514	1985	1,508	5,67
19	33,5	0,542	1994	1,525	5,78
20	38,8	0,571	1983	1,588	6,22
21	41	0,6	1993	1,612	6,4
22	41,5	0,628	1982	1,6263	6,44
23	42,3	0,657	1987	1,628	6,5
24	46	0,685	1966	1,662	6,78
25	46,2	0,714	1995	1,664	6,79
26	47	0,742	1988	1,672	6,85
27	50	0,771	1967	1,699	7,07
28	50,7	0,8	1998	1,705	7,12
29	51,4	0,828	2000	1,71	7,169
30	53,6	0,857	1969	1,729	7,32
31	69,6	0,885	1996	1,842	8,34
32	73	0,914	1976	1,863	8,54
33	90,1	0,942	1990	1,954	9,49
34	96	0,971	1975	1,982	9,79

► Borne standardisée =
$$\frac{\text{Limite supérieure de la classe} - \text{Moyenne}}{\text{Ecart type}}$$

► Fréquence de la borne supérieure : L'équivalent de la borne supérieure standardisée à la taille de la distribution normale.

► Fréquence simple théorique : C'est la différence entre une fréquence cumulée de la borne supérieure d'une fréquence.

► Effectif théorique : Il est donné par la relation suivante :

$$\text{Effectif total} * \text{Fréquence simple théorique.}$$

***Test numérique (test de χ^2) :**

Le test de χ^2 consiste à vérifier si une distribution expérimentale d'un caractère étudié sur un échantillon donné peut être ajusté à une loi théorique (χ^2 d'ajustement).

a) Ajustement à la loi normale :

Pour déterminer la valeur de χ^2 , nous avons repris la série des valeurs observées en classes ; les résultats obtenus sont donnés au tableau suivant :

N°Classe	Limite de classe	Bornes standardisées	Fréquence Cum. à borne sup	Fréquence simple théorique	Effectif observé (ni)	Effectif théorique (npi)	(Ni-npi) ² /npi
1	<20,3	< -0,74	0,2297	0,2297	8	7,8098	0,0051
2	[20,3-41[	[-0,74-0,20[	0,5793	0,3496	12	11,8864	0,0012
3	[41-50,7[	[0,20-0,65[	0,7422	0,1629	7	5,5386	0,39
4	≥50,7	≥0,65	1	0,2578	7	8,7652	0,35

χ^2 calculé = 0,7462

d.d.l = nombre de classes - nombre de paramètres – 1

-Pour les lois normales et racines , le nombre de paramètres est 2.

Donc : d.d.l = 1

χ^2 tabulé = 3,841 pour un seuil de probabilité de 0,05

$\chi^2_c < \chi^2_t$ donc l'adéquation pour une loi normale est possible.

b) Ajustement à la loi racine :

La variable statistique est représentée par la racine des précipitations ; les résultats sont donnés au tableau n°04 :

Tableau N°04: Calcul de χ^2 par la loi racine.

N°Classe	Limite de classe	Bornes standardisées	Fréquence Cum. à borne sup	Fréquence simple théorique	Effectif observé (ni)	Effectif théorique (npi)	(Ni-npi) ² /npi
1	<4,07	< -1,011	0,1562	0,1562	6	5,3108	0,0894
2	[4,07-6,4[	[-1,011-0,358[	0,6368	0,4806	14	16,3404	0,335
3	[6,4-8,34[	[0,358-1,50[	0,93319	0,29639	10	10,077	0,0005
4	≥8,34	≥1,50	1	0,06681	4	2,244	1,3741

d.d.l = 1

χ^2 calculé = 1,799

χ^2 tabulé = 3,841 pour un seuil de probabilité de 0,05

$\chi^2_c < \chi^2_t$ donc l'ajustement par la loi racine est acceptable.

c) Ajustement à la loi log normale :

Nous avons repris la série des modules observés sur la station de Hassi-Messaoud pour déterminer le χ^2 calculé :

Tableau N°05 : Calcul de χ^2 par la loi log normale.

N°Classe	Limite de classe	Bornes standardisées	Fréquence. Cum.à borne sup	Fréquence simple théorique	Effectif observé (ni)	Effectif théorique (npi)	(Ni-npi) ² /npi
1	<1,22	< -1,08	0,1401	0,1401	6	4,76	0,32
2	[1,22-1,45[	[-1,08, -0,16[	0,4364	0,2963	8	10,07	0,42
3	[1,45-1,62[	[-0,16-0,52[	0,6985	0,2621	7	8,91	0,40
4	[1,62-1,71[	[0,52-0,88[	0,8106	0,1121	7	3,81	2,67
5	≥1,71	≥0,88	1	0,1894	6	6,43	0,02

χ^2 calculé = 3,83

Pour la loi log normale, le nombre de paramètres est de 3.

d.d.l = 1

χ^2 tabulé= 3,841 pour un seuil de probabilité de 0,05

$\chi^2_c < \chi^2$ donc, l'ajustement pour la loi log normale est acceptable.

***TEST GRAPHIQUE :**

Ce test a été effectué à l'aide d'un logiciel dit « Minitab ».Le report des données sur les graphes (Fig 4,5,6) a permis de représenter la fonction $P = F(F_i)$

Les graphes comportent sur l'axe des abscisses, les fréquences en échelle gaussienne et sur l'axe des ordonnées, en échelle arithmétique : les précipitations, logarithme des précipitations ou racine des précipitations.

Le test graphique des trois lois sus-citées a montré une distribution des points représentée par une droite (droite d'Henry).

Conclusion :

L'ajustement de la série des précipitations enregistrées à la station de Hassi Messaoud est acceptable pour les trois lois citées ci-dessus ; mais d'après les résultats obtenus, la valeur du χ^2 calculée avec la loi normale étant la plus faible, donc cette loi présentera la meilleure adéquation.

Loi normale	Loi log normale	Loi racine
$\chi^2_c = 0,7462$	$\chi^2_c = 3,83$	$\chi^2_c = 1,799$
$\chi^2_t = 3,841$	$\chi^2_t = 3,841$	$\chi^2_t = 3,841$
$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,05$

Test graphique.

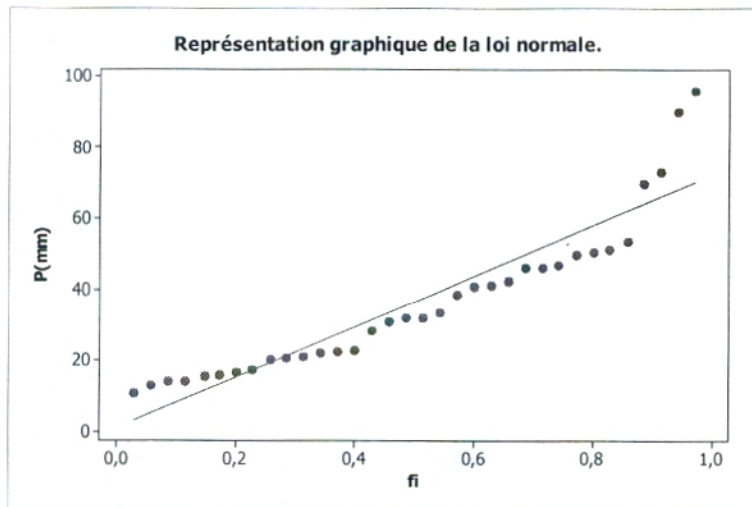


Fig n° 04.

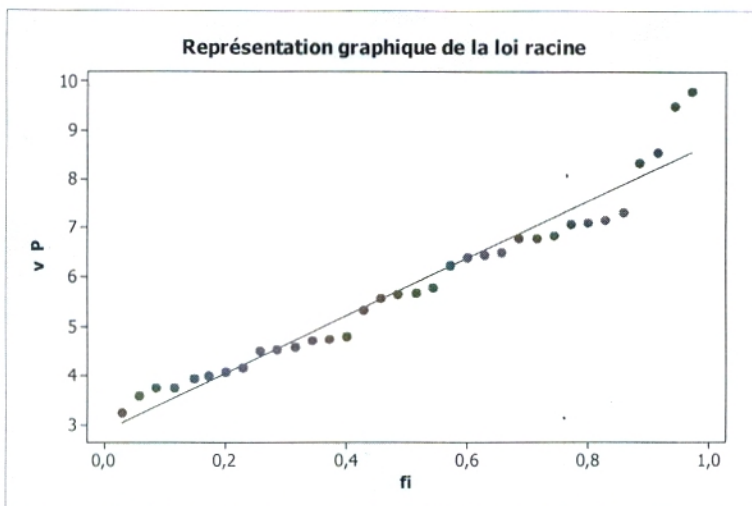


Fig n° 05.

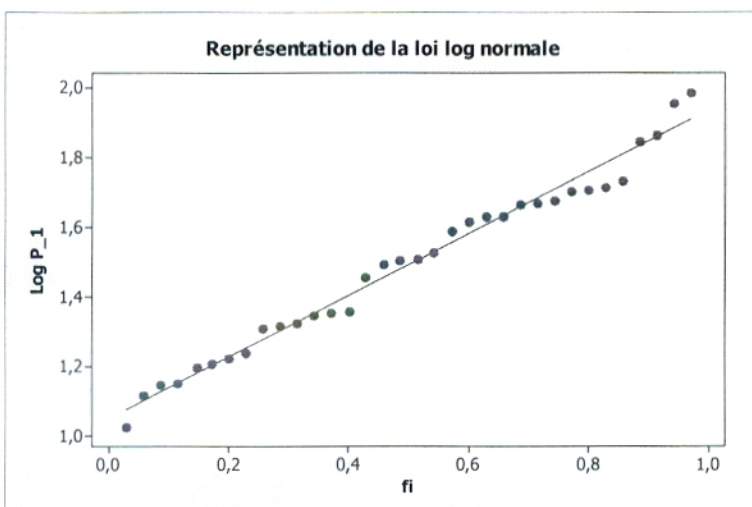


Fig n°06.

3) TEMPERATURES :

La température à Hassi Messaoud n'est guère moins torride que ceux de la zone du Sahara septentrional. Juin, Juillet et Août sont les mois les plus chauds, dont la température peut atteindre 47°C, Les plus hautes températures ont été observées en mois de Juillet, par contre en hiver, les températures baissent à 01°C (Tableau n°06), il existe donc de grands écarts de température entre l'hiver et l'été.

Le mois de juillet est le plus chaud au niveau de Hassi Messaoud tandis que le mois de janvier est le mois le plus froid (Fig n°07).

Tableau n°06 : **Températures moyennes mensuelles mesurées à la station météorologique de Hassi Messaoud(1966-2002).**

Mois	MINIMA en °C	MAXIMA en °C	MOYENNE °C	ECART °C
Septembre	20.36	42.96	31.66	22,6
Octobre	12.37	31.45	21.91	19,08
Novembre	3.9	29.81	16.85	25,91
Décembre	2.02	22.98	12.5	20,96
Janvier	1.25	21.90	11.57	20,65
Février	3.31	26.27	14.79	22,96
Mars	6.38	31..22	18.8	24,84
Avril	10.82	37.63	24.22	26,81
Mai	14.87	41.15	28.01	26,28
Juin	21.63	45.24	33.43	23,61
Juillet	24.08	47	35.54	22,92
Août	24.47	45.93	35.20	21,46
Moyenne Annuelle	12.12	35.29	23.70	23.17

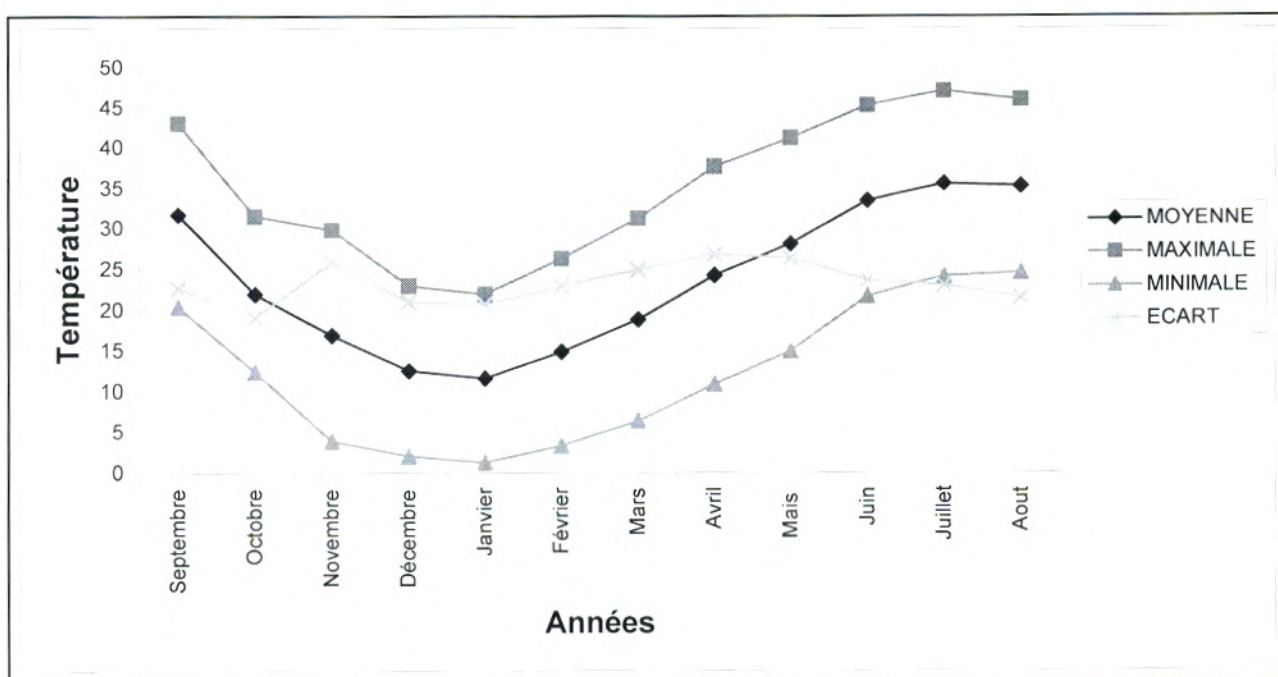


Fig n°07: **Variation de la Température moyenne mensuelle.**

4) LUMINOSITE :

Le Sahara détient le record mondial de l'ensoleillement avec 3000 à 3500 heures/an, contre 1600 à Paris. En saison sèche, le ciel est clair et lumineux tant que le vent ne le trouble pas, ce qui est rare. Au cours de la saison des pluies qui correspond aux mois (novembre, décembre, janvier, février), le Champ de Hassi Messaoud est caractérisé par un ensoleillement moins variant de 188.43 à 228.6h/mois, tandis que les mois d'avril, Mai, juin, juillet, août et septembre sont les mois les plus chauds et les plus ensoleillés, en effet, les périodes d'ensoleillements varient entre 275.8 à 348.5h/mois (Tableau n°07).

Tableau n°07: **Luminosité moyenne mensuelle à Hassi Messaoud (1991-1996).**

Mois Année	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juin	Aout	Sept	Octo	Nov	Décem
1991	236.3	245	260.3	303.4	334.3	292.2	346.6	356.2	340	222.3	241.9	264.7
1992	213.6	217.6	171.6	246.6	206.1	335	344.4	340.6	264.3	236.1	207.9	205.8
1993	216.3	167.4	269.9	294	305.4	274.2	347	331.7	253.4	230.6	175.5	220
1994	203.3	235.4	203.9	300.5	320	338.5	344.7	348.5	224.2	238.3	246.3	251.5
1995	267	255.1	261	213.	331	329.8	371	365.5	214.4	255.7	237.2	219.7
1996	211.3	192.3	255.8	297.4	173.8	340.2	337.1	310.3	236.5	259.8	215.8	209.7
Moyenne	224.6	218.8	237.1	275.8	278.4	318.3	348.5	325.7	290	240.4	188.43	228.6

5) LE VENT :

Le vent est une autre caractéristique permanente du Sahara. Le Champ de Hassi Messaoud est caractérisé par un vent de vitesse minimale de 9.12m/h au mois de novembre et une vitesse maximale de 19.92m/h au mois de juin (Tableau n°08).

Tableau n°08: **Vitesse moyenne mensuelle du vent à la station de Hassi Messaoud (1991-1996) .**

Mois	Janv.	Fevr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept	Octo	Novem	Décem
	9.78	11.16	19.16	16.86	16.86	19.92	16.98	13.78	14.58	12	9.12	9.41

6) L'HUMIDITE DE L'AIR :

Il s'agit d'un élément important du cycle hydrologique, qui représente un degré de saturation de l'air en vapeur d'eau.

D'après le tableau n°09, l'humidité de l'air atteint son maximum pendant la période hivernale (décembre : 59,66%) tandis que le mois de juillet est le plus sec (période estivale : 23,47%) .

Tableau n°09: L'humidité de l'air, moyenne annuelle à Hassi Messaoud (1991 à 2002)

Mois Année	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	uin	Juil	Aout	Sept	Octo	Novem	Décem
1991	67	57	50	37	38	39	28	31	41	54	58	65.
1992	72	60	58	45	42	36	36	31	35	45	70	76
1993	73	72	55	45	35	29	25	28	36	44	67	72
1994	66	55	52	41	33	32	26	31	42	62	68	75
1995	65	58	56	44	34	31	29	28	34	60	64	71
1996	71	64	54	45	36	33	26	24	43	54	57	59
1997	52	47	40	45	30	23	24	29	44	50	46	49
1998	57	51	41	37	37	30	25	31	36	53	53	64
1999	40	55	40	31	22	18	22	20	34	35	53	70
2000	61	52	35	30	37	28	21	27	34	53	53	56
2001	40	52	40	31	37	28	22	20	34	35	53	60
2002	55	51	40	30	22	18	22	20	35	53	46	49
Moyenne	53.42	52.71	41.45	35.5	31.61	25.38	23.47	25.11	36.5	47.45	52.57	59.66

7) L'EVAPORATION :

L'évaporation et l'évapotranspiration réelle sont les mécanismes majeurs de pertes en eau. Dans des bassins arides fermés, ils sont les seuls modes de perte en eau. Dans le Sahara algérien, l'évaporation atteint des valeurs considérables qui varient entre 3 à 5m (Baba Sy 2003).

L'application des diverses méthodes pour évaluer la quantité d'eau évaporée dans le Champ de Hassi Messaoud donne les résultats suivants:

A. FORMULE DE TURC :

C'est une formule qui s'applique à tout le climat:

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + (P^2 \div L^2)}}$$

$$L=300+25T+0.05T^3$$

L: pouvoir évaporant (L=1558.10)

P: précipitation moyenne annuelle en cm(P=45,05mm)

T: température moyenne annuelle en°C (T=23.7°C)

ETR: évaporation réelle annuelle en mm (ETR= 47,47mm).

Avec une température de 23.7°C et une précipitation de 45,05mm, on obtient une valeur de 47,47mm d'évapotranspiration réelle mesurée à la station de Hassi Messaoud. Cette valeur est supérieure aux précipitations, alors qu'en réalité, l'évapotranspiration réelle doit être inférieure ou égale.

B. FORMULE DE COUTAGNE :

Coutagne a établi une formule permettant de calculer l'ETR:

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

Cette formule s'applique pour l'intervalle suivant :

$$1/8\lambda < P < 1/2 \lambda$$

$$\text{avec } \lambda = 1/[(1/0,8)+0,14T]$$

P:précipitation moyenne annuelle en m (P=0,45m).

T:température moyenne annuelle en°C (T=23.7°C).

$$\lambda=0.22, 1/8 \lambda=0.57, 1/2 \lambda=2.28$$

Les précipitations sont inférieures à 1/8, la formule de COUTAGNE n'est pas applicable.

C.METHODE DE WUNDT:

La valeur de l'ETR peut être estimée par l'abaque de WUNDT, nous remarquons que l'ETR est supérieur à la précipitation et par conséquent, la méthode de WUNDT s'avère inexploitable (Abaque n°01).

D.Calcul de l'évapotranspiration potentielle :

*Formule de THORNTHWAITE :

Elle est très employée en hydrologie, car sa résolution nécessite uniquement la connaissance de la température moyenne, c'est l'une des diverses formules utilisées pour le calcul des déficits.

$$\text{Avec } I = \sum_{n=1}^{12} i_n \quad \text{ETP} = (10 T / I)^a \cdot 1,6 \quad \text{où } i = (T/5)^{1,514}$$

$$a = 675 \cdot 10^{-9} \cdot I^{-3} + 771 \cdot 10^{-7} \cdot I^{-2} + 1792 \cdot 10^{-5} \cdot I + 0,4239$$

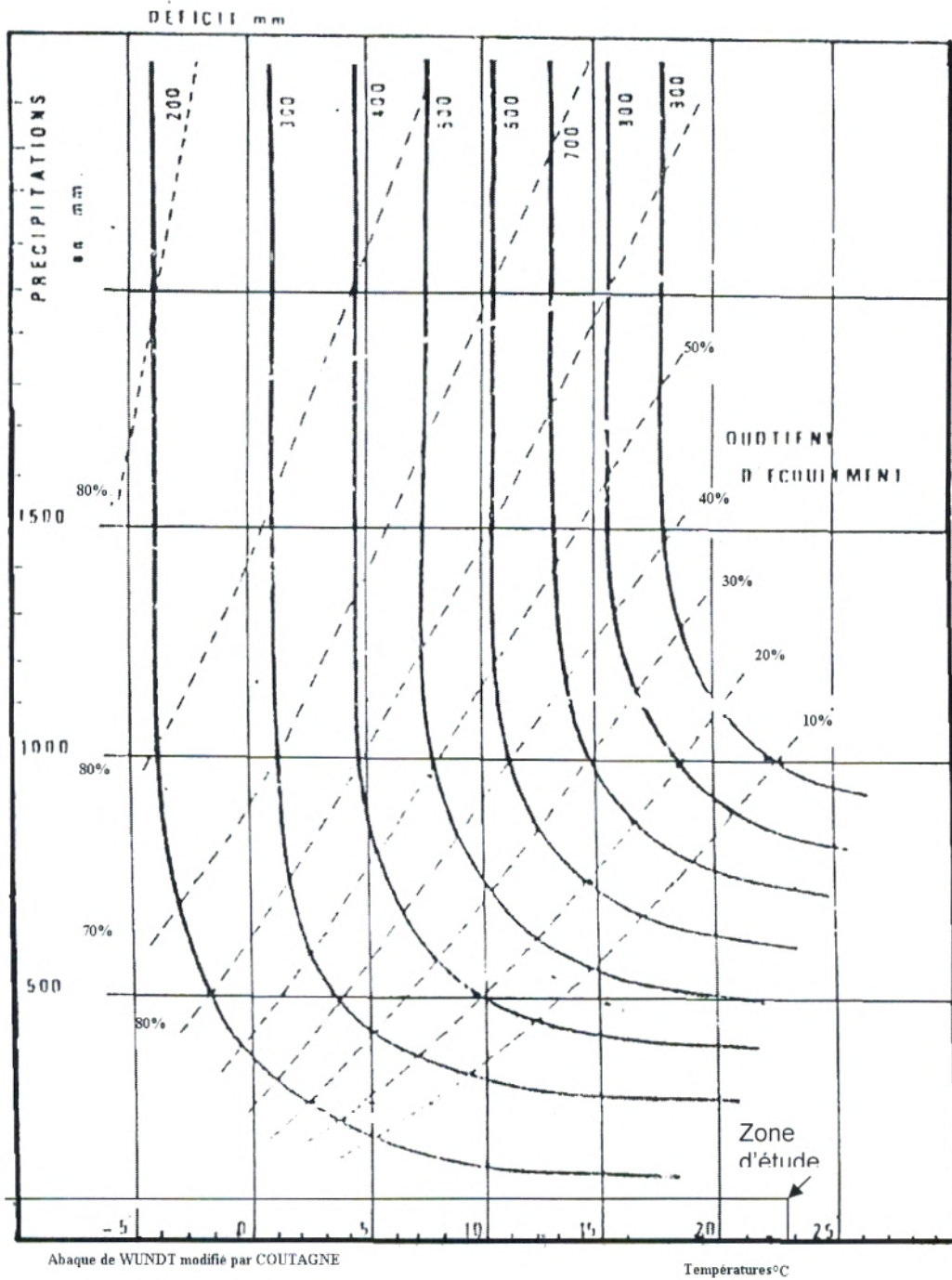
*ETP:évapotranspiration potentielle

*I:indice thermique annuelle ($\sum 12i$)

*i : indice thermique mensuel

*T : température moyenne mensuelle du mois considéré (°C).

Le tableau cité ci-dessous résume les valeurs d'ETP obtenues par la formule de THORNTHWAITE à la station de Hassi Messaoud.



Abaque n°01 : Evaluation de l'écoulement et du déficit d'écoulement en fonction de la température moyenne et des précipitations au niveau du Champ de Hassi Messaoud.

Mois \ Paramètre	T°C	i	ETP non Corrigée (mm)	K	ETP Corrigée(mm)
Janvier	11,57	3,56	0,71	0,89	0,64
Février	14,79	5,17	2,94	0,86	2,53
Mars	18,8	7,43	11,73	1,03	12,08
Avril	24,2	10,89	50,27	1,08	54,29
Mai	28,01	13,58	116,76	1,19	138,94
Juin	33,43	17,75	323,65	1,19	385,14
Juillet	35,54	19,48	460,55	1,21	557,27
Août	35,2	19,20	435,73	1,51	657,95
Septembre	31,66	16,35	236,54	1,03	243,63
Octobre	21,91	9,36	28,34	0,98	27,78
Novembre	16,85	6,29	6,24	0,88	5,49
Décembre	12,5	4,00	1,12	0,87	0,97
Moyenne annuelle	23,71	133,06	1389,57		2086,71

K : représente un facteur de correction, il est en fonction du mois et de la latitude.
La valeur de l'évaporation potentielle annuelle trouvée est de l'ordre de 2086,71mm, pour un indice thermique annuel de $i=133,06$.

8) LE CLIMAT D'INDICE DE CONTINENTALITE THERMIQUE :

L'éloignement de la mer est un facteur qui intervient dans l'augmentation du degré d'aridité. Parmi les formules empiriques qui ont été proposées pour déterminer l'indice de continentalité, on a choisi celle de KERNER.

$$K = (T_o - T_a) \cdot 100 / A$$

* K: indice de continentalité thermique en %.

* T_o : température moyenne annuelle du mois d'octobre en °C.

* T_a : température moyenne annuelle du mois d'avril.

*A: amplitude thermique annuelle en °C. (L'écart entre la température moyenne du mois le plus chaud et du mois le plus froid).

Pour la région de Hassi Messaoud :

$$T_o = 23.89^\circ\text{C}, T_a = 22.36^\circ\text{C}, A = 23.72^\circ\text{C}; K = 6.5\%$$

Tableau n°10: Indices de continentalité de quelques villes en Algérie.

Station pluviométrique	Indice de continentalité
Beni Saf	34.70%
Tiaret	19.00%
Aflou	15%
Hassi Messaoud	6.45%

Par comparaison avec des stations maritimes, les valeurs de K déterminé dans la station météorologique de Hassi Messaoud, montrent que l'indice de continentalité thermique de Kerner diminue progressivement avec l'éloignement de la mer, attestant de l'aridité de la région.

8.1) INDICE DE DE MARTONNE:

C'est un indice d'aridité (A) défini en 1923 par DE MARTONNE et qui tient en compte des précipitations et des températures, sa formule est la suivante:

$$A=P/T+10$$

P: précipitation moyenne annuelle en (mm).

T:température moyenne annuelle en (°C).

Pour la station de Hassi Messaoud : $A=1.06$

Selon DE MARTONNE les valeurs comprises entre 0 et 5, caractérisent un milieu désertique.

CONCLUSION:

Notre secteur d'étude fait partie du bassin versant du Sahara septentrional où le réseau hydrographique n'est pas bien développé, avec un climat typiquement Saharien. Ce climat désertique est caractérisé par une aridité bien marquée, avec une précipitation moyenne de 45,05mm, et une température moyenne annuelle de 23,7°C. Seules les très rares pluies torrentielles peuvent intervenir dans la réalimentation directe des nappes par infiltration.

CHAPITRE II :



GEOLOGIE

1-INTRODUCTION :

Le Système Aquifère de Hassi Messaoud fait partie du Système Aquifère du Sahara Septentrional « SASS », ce Système s'étend sur une vaste zone dont les limites sont situées en Algérie, Tunisie et Libye (Fig n°08). Il est considéré comme un bassin formé par une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT). Le domaine du SASS couvre une superficie d'environ 1.000.000 km², et s'étend du Nord au Sud, depuis l'Atlas saharien jusqu'aux affleurements du Tidikelt et du rebord méridional du Tihert et d'Ouest en Est depuis la vallée du Guri et Saoura jusqu'au Graben de Hun en Libye (Rapport Observatoire du Sahara Septentrional OSS, 2003).

Ce bassin se subdivise en trois sous entités : les deux sous bassins du Grand Erg Occidental et du Grand Erg Oriental qui sont des cuvettes à écoulement endoréique aboutissant dans des dépressions fermées «chotts et sebkhas» et le plateau de la Hamada El Hamra (Fig n°08). Afin de déceler les principales formations qui constituent l'aquifère de la nappe de notre zone d'étude, nous allons faire la description des principales formations géologiques de l'aquifère du complexe terminal.

2. DESCRIPTION GEOLOGIQUE DU COMPLEXE TERMINAL :

Le terme Complexe désignait les formations continentales, Sableuses et argileuses du Mio-Pliocène. Mais d'après BEL et DEMARGNE (1966), la nappe du Continental Terminal contenue dans les sables du Mio-Pliocène est plus ou moins en relation avec les nappes de l'Eocène, du Sénonien et du Turonien, de sorte qu'à l'échelle de l'ensemble du Sahara, on peut considérer que ces différents niveaux forment une seule nappe.

C'est avec le projet ERESS que l'on verra apparaître la notion du « Complexe Terminal», appellation publiée pour la première fois : Ce terme de « nappe du Complexe Terminal » -qui regroupe sous une même dénomination plusieurs aquifères situés dans des formations géologiques différentes. Ces nappes font partie d'un même ensemble hydraulique.

Les intercommunications entre Sénonien, Eocène et Mio-Pliocène sont évidentes sur l'ensemble du bassin, à l'exception de la région des chotts où l'Eocène moyen et supérieur imperméable viennent s'intercaler. La nappe turonienne est plus individualisée par suite de la couverture imperméable du Sénonien lagunaire.

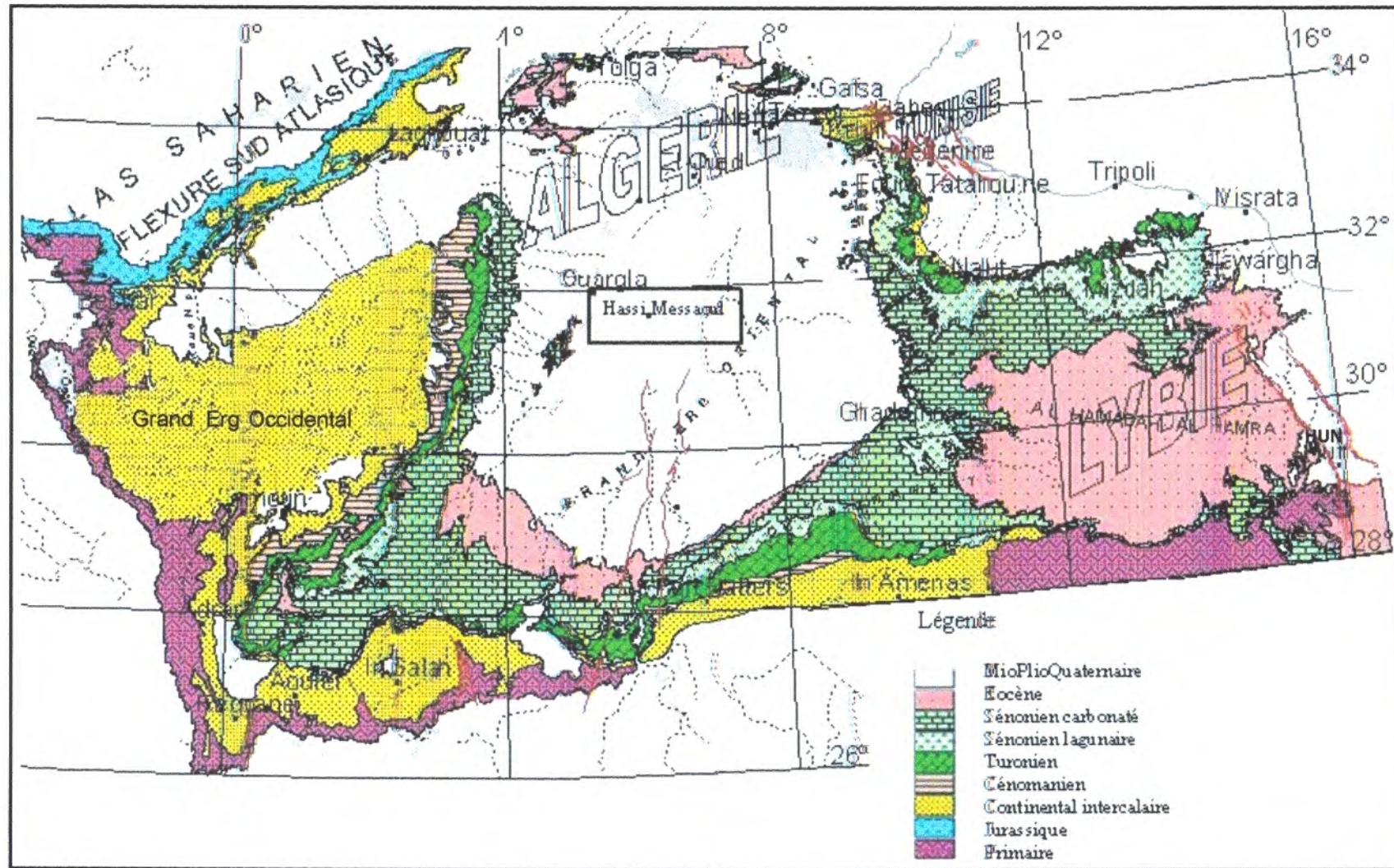
Le complexe terminal en l'Algérie est caractérisé par les formations suivantes (Fig n°09).

2.1) Le Turonien : Il se présente sous trois faciès différents, du Sud au Nord :

- Au Sud du parallèle d'El Goléa, il est Calcaire-marneux.
- Entre El Goléa et Djamaâ, il est essentiellement Calcaire.
- Au Nord de Djamaâ, il est à nouveau Calcaire-marneux.

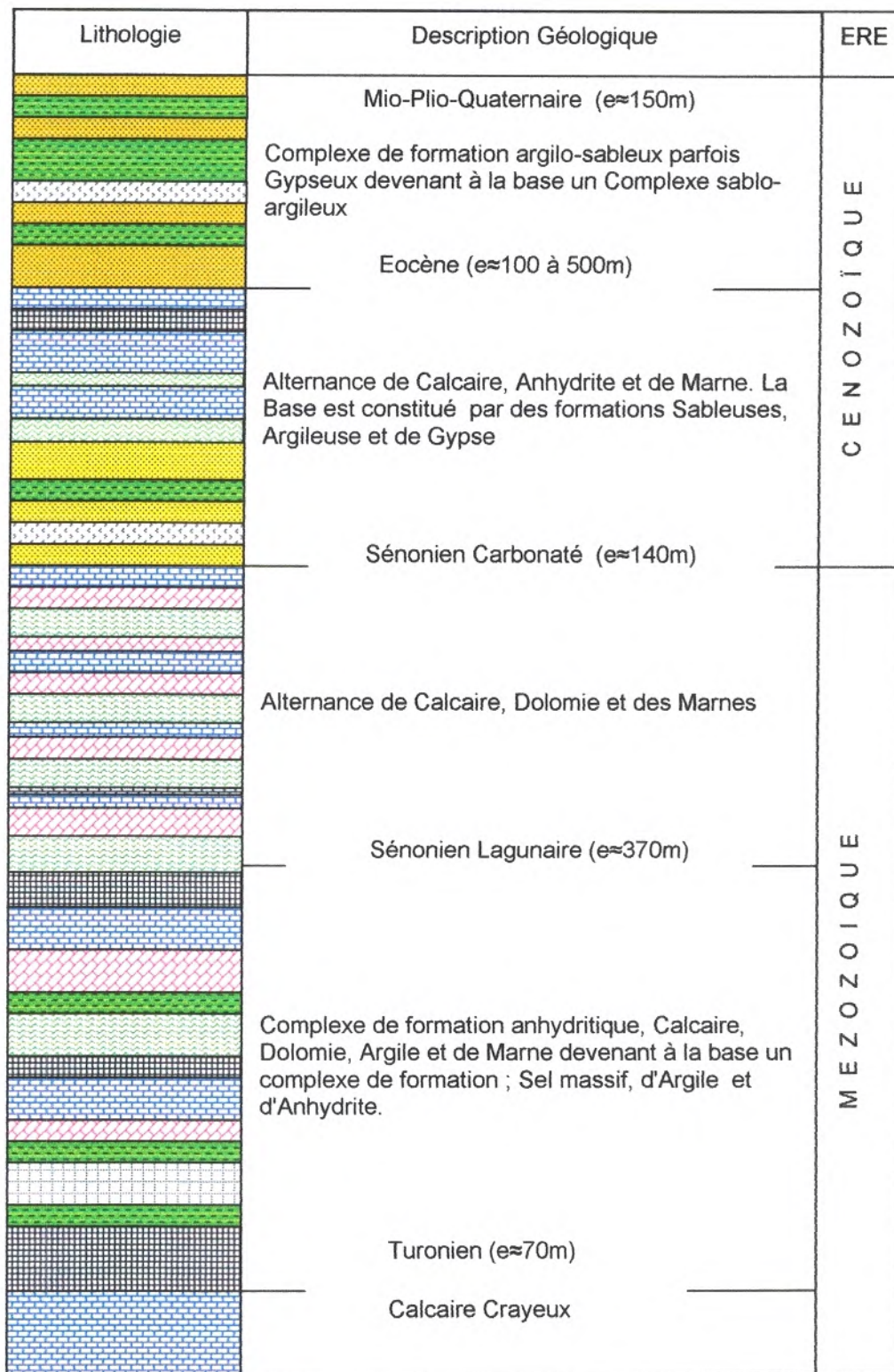
Son épaisseur moyenne varie entre 50 et 100 m. Elle augmente cependant dans la région des chotts où elle dépasse 300 m (Sonatrach, 2003).

-
- OSS:Observatoire du Sahara septentrional
 - SASS: Système Aquifère du Sahara septentrional
 - ERESS: Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional de 1972, actualisée en 1980, des études algériennes, Tunisiennes et libyennes avaient permis d'avoir une vision du SAAS à la fin de l'année 1980.



Echelle : 1/13500000

Fig n°08 : Carte Géologique du Sahara Septentrional « SASS » (in Baba Sy,2003)



Légende

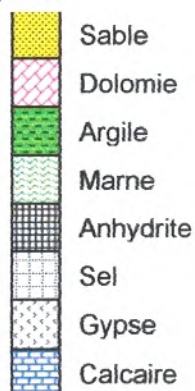


Fig. n° 09: Série Sédimentaire du Sahara Septentrional

2.2) Le Sénonien : il s'individualise en deux faciès :

- Le Sénonien inférieur à sédimentation lagunaire : caractérisé par des formations argileuses et Salifères à anhydrite et Sel; il est très peu perméable (Sonatrach,2003).
- Le Sénonien supérieur ou Sénonien carbonaté : représenté par une formation carbonatée perméable.

2.3) L'Eocène : En Algérie, On distingue dans l'Eocène deux ensembles différents du point de vue lithologique. A la base, l'Eocène carbonaté est formé essentiellement par des Dolomies et des Calcaires dolomitiques avec quelques intercalations de Marnes, d'Argiles et d'Anhydrites. La puissance de cette formation varie entre 100 et 500 m. L'épaisseur maximale est atteinte dans la zone du Bas Sahara. Au sommet, l'Eocène évaporitique est formé par une alternance de Calcaires, d'Anhydrites et de Marnes. Son épaisseur atteint une centaine de mètres sous les Chotts (Sonatrach, 2003).

2.4) Le Mio-Plio-Quaternaire : Dans la partie algérienne du système, le Tertiaire continental du Sahara peut être relativement épais (150m). Il se présente sous forme d'un faciès sableux et argileux avec du gypse. Dans le Bas Sahara, la sédimentation lacustre se présente sous forme de séries sableuses et argileuses connues sous le nom du Continental terminal (Mio-pliocène) dont l'épaisseur peut atteindre, dans la région des Chotts Algéro-Tunisiens, quelques centaines de mètres. On y identifie, dans la région de Oued Rhir, deux niveaux aquifères au sein des sables qui sont séparés par une couche argileuse (première et deuxième nappe de Oued Rhir). L'ensemble est surmonté par le plio-quaternaire, Argilo -sableux et gypseux qui résulte de la sédimentation en milieu lacustre durant la phase d'assèchement des lagunes des chotts (Sonatrach, 2003).

3- Aperçu structural de la région d'étude :

Comme tous les bassins sédimentaires algériens, la région de Hassi Messaoud s'inscrit dans le processus géodynamique global de la tectonique des plaques qui a structuré l'Algérie en deux domaines:

- Au Nord, l'Algérie alpine.
- Au Sud, la Plate forme saharienne.

La zone d'étude fait partie de la plate forme saharienne, située au sud de l'Algérie alpine et appartient au Craton Nord Africain. Elle comprend un socle précambrien sur lequel repose en discordance une puissante couverture sédimentaire, structurée au Paléozoïque en plusieurs bassins séparés par des zones hautes (fig n°10).

Le champ de Hassi Messaoud fait partie du bas Sahara, il est caractérisé par un remplissage sédimentaire et considéré comme un grand anticlinal séparant le bassin de Berkine à l'Est et le bassin de Mya à l'Ouest. Il est limité au Nord, par l'ensellement de Djamaa -Touggourt, au Nord-Est, par le dôme du Dahar, par contre au Sud il bute contre la dorsale d'Amguide et l'Abiod qui sépare à son tour le bassin d'Illizi à l'Est de celui de Mouydir à l'Ouest pour s'enraciner plus au Sud dans le socle précambrien (Fig n°10).

L'Anticlinal de Hassi Messaoud est considéré comme un grand dôme affecté par des réseaux de failles de directions sub-méridionales SW-NE et NW-SE , hérité des événements Anté-Hercyniens dont l'origine est le socle (Fig n°11).

Ce dôme a favorisé l'érosion d'un dépôt d'âge Paléozoïque où les formations Mésozoïques reposent directement sur les formations du Cambrien-Ordovicien (Fig n°12).

On note qu'aucune influence tectonique n'affecte les formations du Tertiaire, les seules influences connues dans le Complexe Terminal concernent les formations du Mésozoïque.

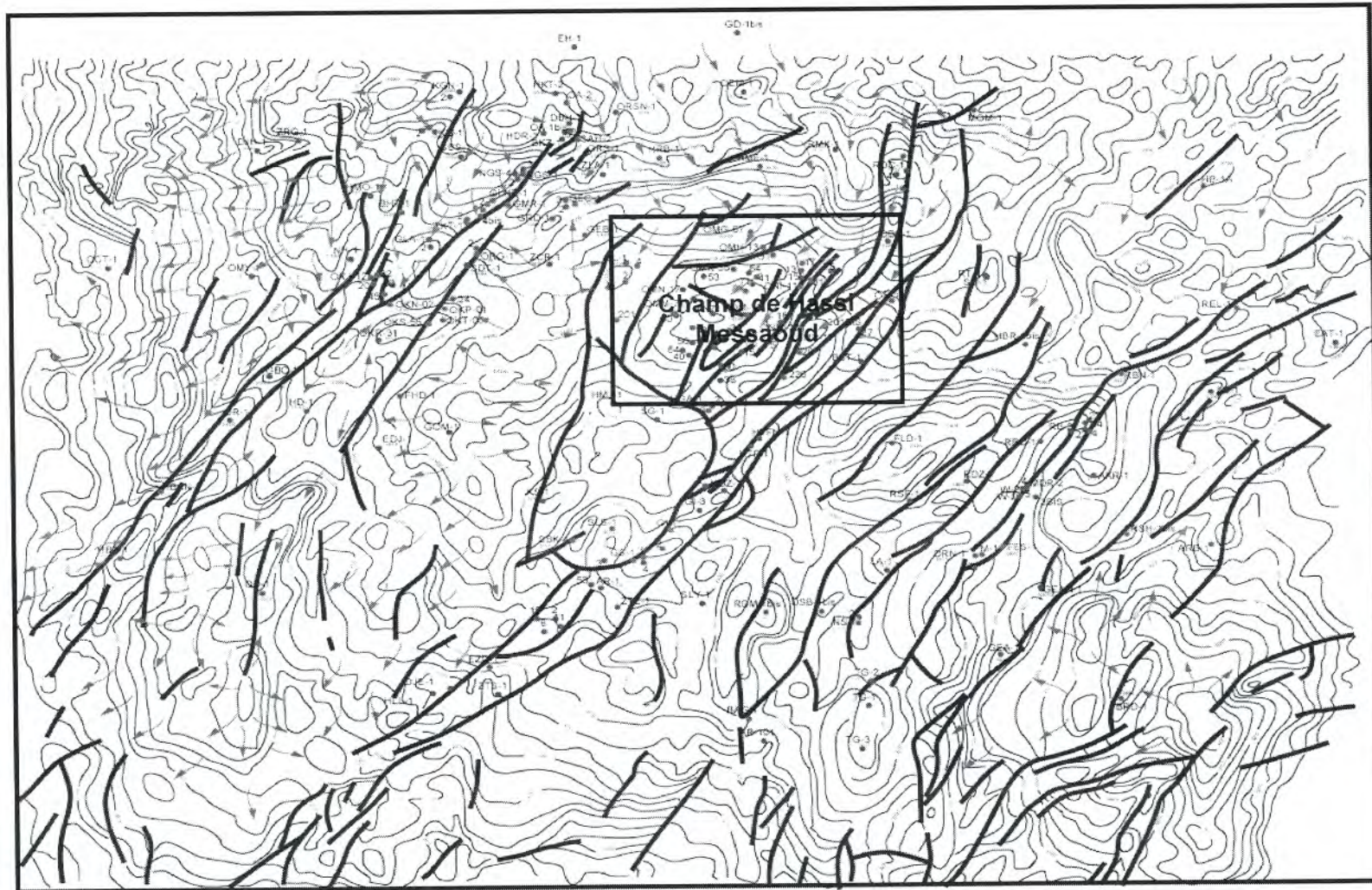
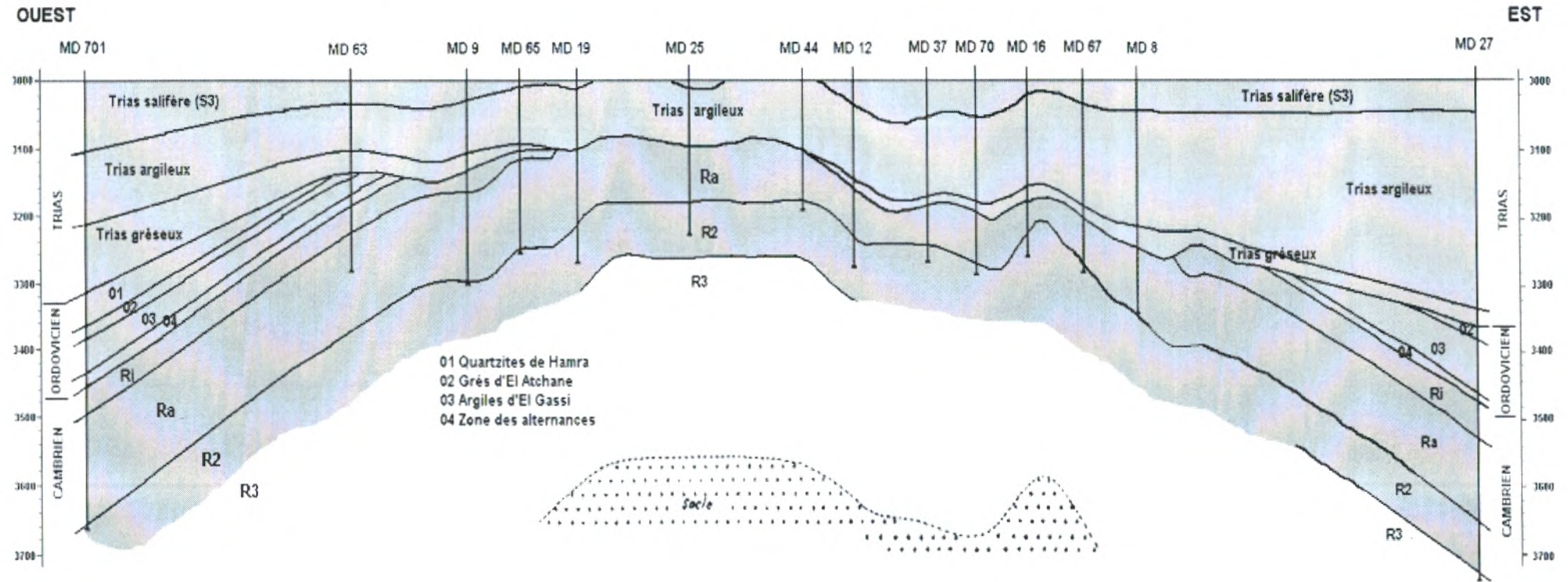


Fig n°11: Esquisse structurale au toit du substratum de la discordance Hercynienne (Sonatrach,2000)



R1 : Grès grossiers à microconglomérats, feldspathiques, les grains sont mal classés, le ciment est de nature argileuse avec parfois des zones à grès ferrugineux, et des Intercalations d'argiles silteuses. Le "R3" ne présente aucun intérêt pétrolier.

R2 : Grès quartzites et quartzites gréseuses, moyens à grossiers, anisométrique, avec parfois des niveaux micro conglomératiques, à ciment argileux assez abondant illite.

Ra : Grès quartzitiques anisométriques.

Ri : Grès quartzitiques isométriques.

04 : Zone d'alternance.

03 : Grès d'El Gassi.

02 : Argile d'El Atchane.

01 : Quartzites de Hamra.

Fig.n°12 : Coupe transversale dans le Gisement de Hassi Messaoud.

4-DESCRIPTION GEOLOGIQUE DU CHAMP DE HASSI MESSAOUD : (fig n°13)

4.1) TURONIEN :

CALCAIRE: blanc beige à blanc, cryptocristallin, tendre, crayeux parfois saccharoïde à gris clair, microcristallin, moyennement dur, avec des passées d'argile verte foncée à gris verdâtre, tendre à indurée, carbonatée.

4.2) SENONIEN SALIFERE :

SEL: blanc à jaunâtre, translucide, massif, avec passées d'Argile brun rouge à brune, parfois gris- verdâtre, Salifère, tendre à indurée, légèrement carbonatée.

CALCAIRE: Gris clair à gris blanc, dolomitique, microcristallin, moyennement dur.

ANHYDRITE: Blanche massive.

4.3) SENONIEN LAGUNAIRE :

Alternance d'argile grise, dolomitique tendre à pâteuse et de Dolomie gris- beige, compacte dure.

ANHYDRITE: blanche, massive, dure, parfois pulvérulente localement cristalline.

CALCAIRE: gris, gris blanc à gris clair, argileux, moyennement dur à tendre devenant gris-clair, vacuolaire et saccharoïde par endroits, dolomitique.

4.4) SENONIEN CARBONATE :

CALCAIRE: gris clair à blanc, parfois jaunâtre, compact à moyennement dur parfois argileux, tendre, avec de fines passées de dolomie beige, grise, vacuolaire.

Présence d'Argile grise à gris sombre, dolomitique, tendre à indurée et d'Anhydrite blanche, pulvérulente et de gypse.

4.5) ÉOCÈNE :

Constitué de :

CALCAIRE: blanc à blanc-beige gris- clair, tendre à moyennement dur, microcristallin.

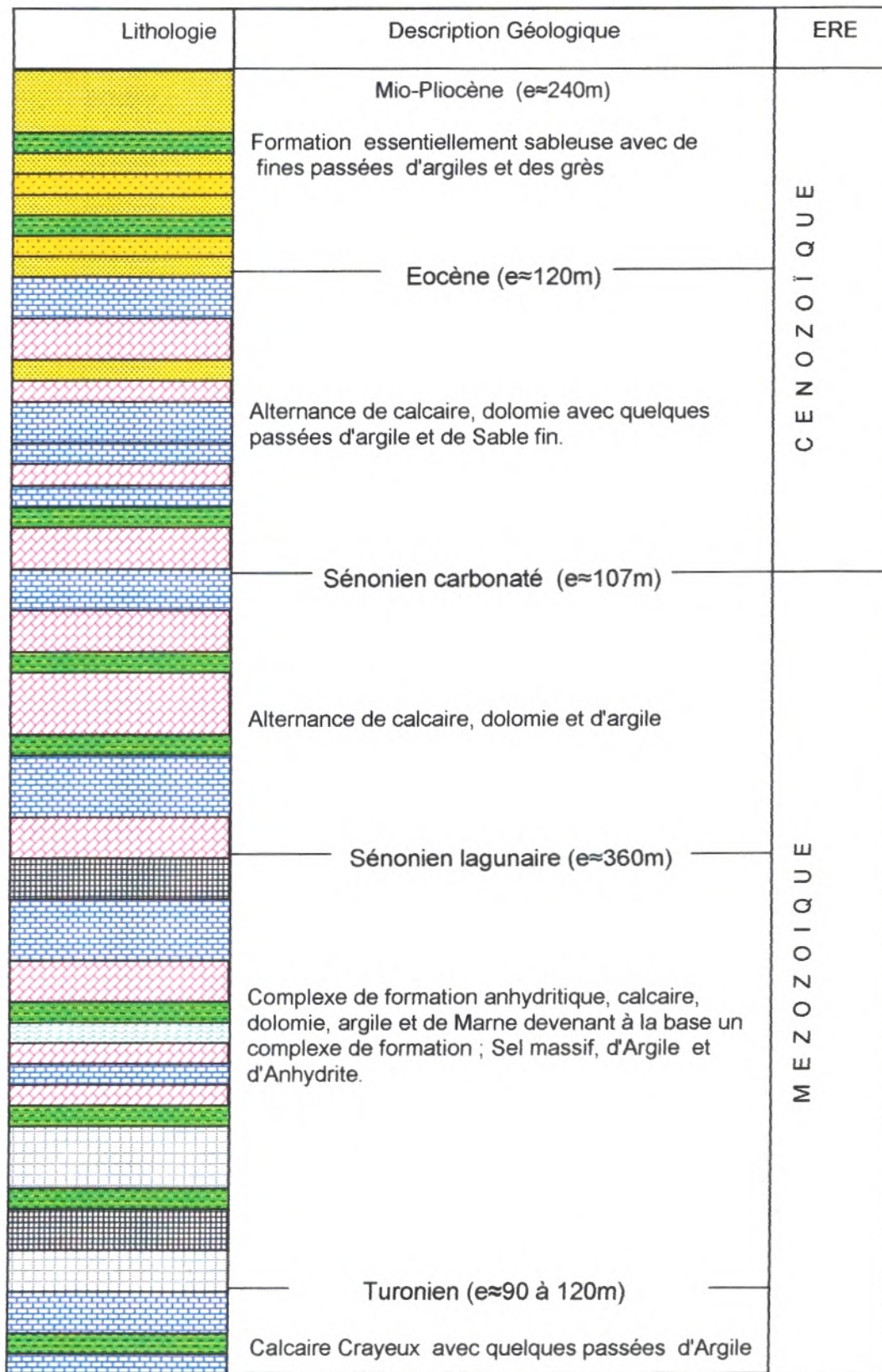
DOLOMIE : Gris-clair à grise, microcristalline, dure.

CALCAIRE DOLOMITIQUE : beige à blanc-beige, microcristallin, moyennement dur avec quelques passées d'Argile tendre à pâteuse, légèrement carbonatée et de Sable fin.

4.6) MIOPLIOCENE :

SABLE : Blanc, jaunâtre, rarement rougeâtre, translucide, moyen à grossier, mal classé, sub-arrondi à arrondi, avec de fines passées d'Argile brune, ocre parfois beige, Silto-Sableuse, Siliteuse à pâteuse, légèrement carbonatée par endroit.

Présence de Grès gris clair, fin à moyen, mal classé, légèrement carbonaté, et de Calcaire beige, argileux, tendre.



Légende



Fig. n°13. Coupe lithostratigraphique du Champ de Hassi Méssaoud

Conclusion

Le champ de Hassi Messaoud se présente sous forme d'un anticlinal compartimenté en blocs (horsts et grabens) affecté par un réseaux de failles de directions sub-méridionales SW-NE et NW-SE , hérité des évènements Anté -Hercyniens dont l'origine est le socle, On note qu'aucune influence tectonique n'affecte les formations du Complexe Terminal. Ce dernier est constitué essentiellement :

1. De sable, de calcaire et de marne sableuse, d'âge mio-pliocène.
2. De sable et de calcaire à intercalations d'argiles d'âge éocène.
3. De calcaire avec des intercalations d'argile, de dolomies, de gypses et d' anhydrites, d'âge sénonien carbonaté.
4. D'anhydrite, de Marne et de calcaire d'âge sénonien anhydritique.
5. De Sel massif avec intercalation d'Argile, de Calcaire et d'anhydrite.
6. De calcaire avec des passées argileuses.

CHAPITRE III :

HYDROGEOLOGIE

1-INTRODUCTION :

Dans un environnement socio-économique en pleine maturation, caractérisé par des conditions climatiques particulièrement difficiles, l'eau au Sahara est un facteur primordial pour tout développement d'activité humaine, soit Agricole ou industrielle.

Si les formations du Cambro-Ordovicien du Champ de Hassi Messaoud recèlent d'une énorme réserve pétrolière, les formations du continental intercalaire et du complexe terminal renferment d'importantes réserves d'eau.

Depuis la première découverte des hydrocarbures dans la région de Hassi Messaoud, l'exploitation pétrolière ne cesse de croître d'une année à une autre par des centaines de forages réalisés jusqu'à nos jours (plus de 1700puits), une exploitation qui a toujours négligé l'impact de cette activité sur les ressources d'eau de cette région. Un impact qui n'affecte pas uniquement la réserve d'eau par son exploitation, mais aussi sa qualité, par le déversement répété des rejets issus de l'activité industrielle.

La nappe du complexe terminal est exposée au double contamination par l'activité pétrolière sur le Champ de Hassi Messaoud, c'est une nappe phréatique exposée aux infiltrations directes des rejets liquides, mais aussi des volumes de boues injectées lors de réalisation des forages (Sous forme de perte partielle ou totale).

2-CARACTERISTIQUES DU COMPLEXE TERMINAL :

En Algérie, la nappe du Complexe Terminal s'étend sur la majeure partie du sous bassin oriental mais aussi en Tunisie et en Libye. Elle est limitée par les affleurements Crétacés de la dorsale du M'Zab à l'Ouest et du Dahar à l'Est en Tunisie, par le Plateau du Tinrhert au Sud et enfin par la flexure sud Atlasique (Atlas Saharien) au Nord (Fig n°15). L'aquifère est formée par un long synclinal (Fig n°14), dont la base est plate et étendue.

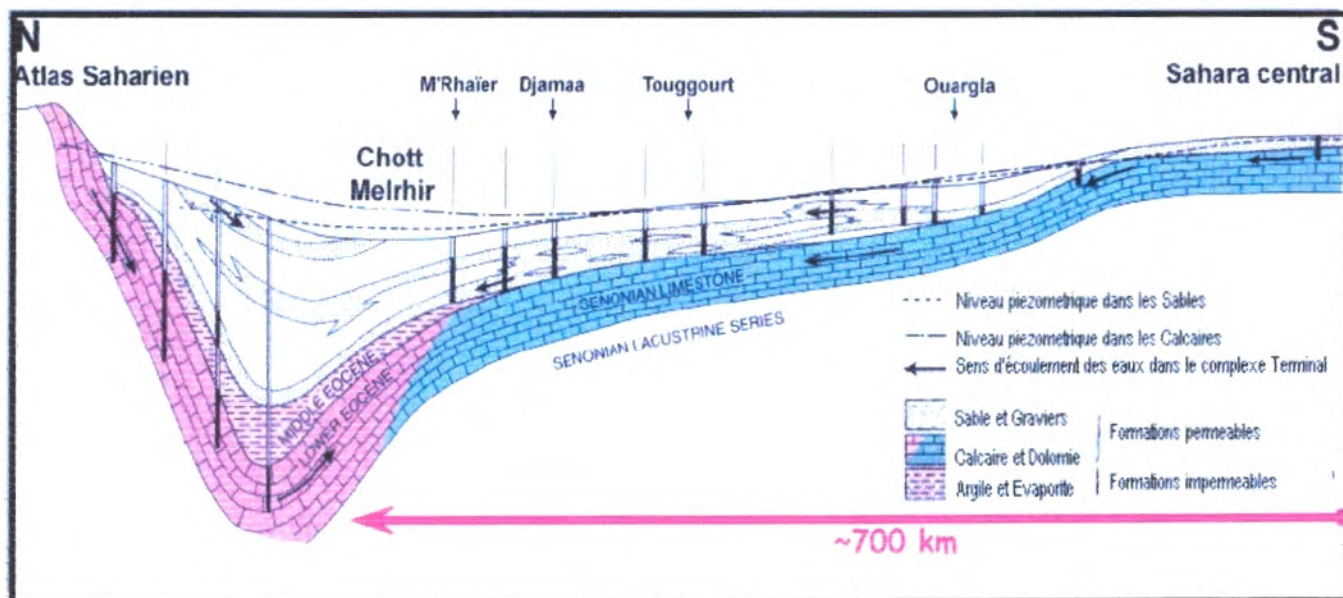
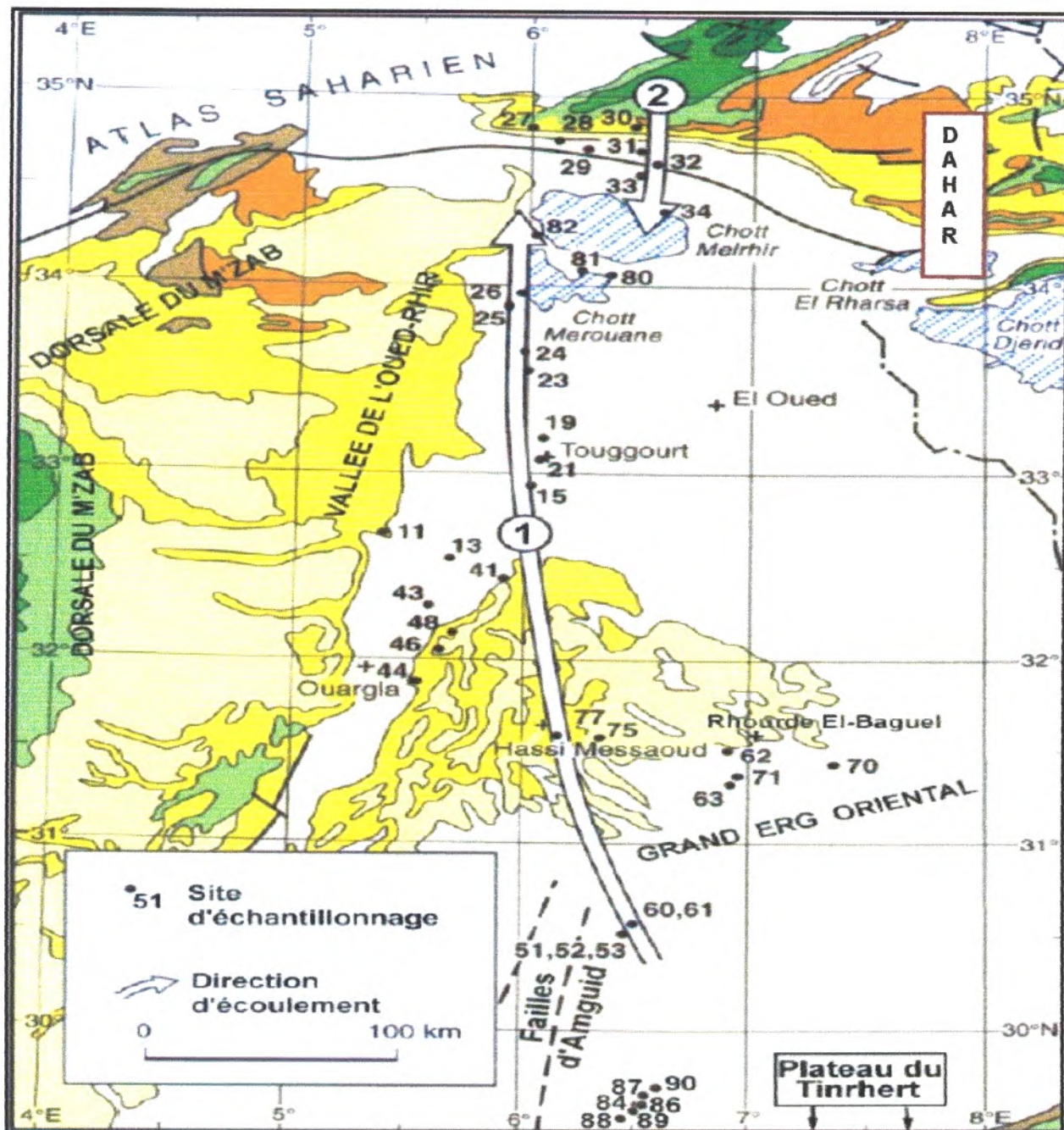


Fig n°14: Coupe transversale schématique N-S du Complexe Terminal (In Adnane et Moulla,2005).



Légende :

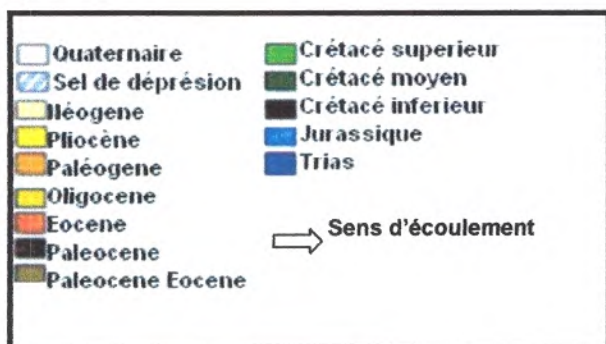


Fig n°15: Carte Géologique du Complexe Terminal (Partie algérienne. Adnane S, MOULLA et al, 2005).

Au niveau du Grand Erg Oriental, les Sables du Mio-Pliocène et les carbonates du Sénonien sont présents autour de la ville de Ouargla où ils sont adjacents et moins profonds que nulle part ailleurs dans la région.

Les hydrogéologues ont mené des investigations dans l'Erg Oriental, ils ont reconnu qu'il recèle d'énormes réserves d'eaux souterraines, mais deux principales thèses émergentes quant à l'alimentation des nappes sahariennes.

Certains auteurs (BURDON, 1977 ; MARGAT & SAAD, 1982 et 1984 ; MARGAT, 1990), pensent que les eaux des nappes du Sahara sont fossiles (In Baba Sy, 2003), c'est-à-dire qu'elles se sont infiltrées et accumulées au cours des temps géologiques, leur alimentation s'est poursuivie au cours des périodes pluvieuses du Quaternaire par infiltration sur les affleurements des couches perméables jusqu'à débordement de ces derniers, et que le niveau actuel des nappes traduit le résultat d'un tarissement pur depuis l'Holocène (Moulla et al, 2005) ; alors que pour d'autres (DUBIEF, 1953), ces nappes peuvent encore être actuellement alimentées lorsque certaines conditions sont réunies.

2.1) PALEO-RECHARGE (Théorie des nappes fossiles):

La thèse des nappes "fossiles", avancée par plusieurs auteurs depuis quelques années, est encore d'actualité de nos jours. Elle est soutenue par plusieurs auteurs dont MARGAT J. (1992) est l'un de ceux qui ont beaucoup écrit à ce sujet, allant même jusqu'à comparer l'exploitation de ces réservoirs "fossiles" à celle d'un gisement minier.

Les réserves dites «fossiles» sont situées, en général, à une grande profondeur et connues pour être pratiquement non renouvelables. Dans les régions arides du monde, comme le Nord de l'Afrique, la péninsule arabique, l'Australie et le Sud-Ouest des États-Unis d'Amérique, ces nappes sont d'autant plus importantes qu'elles puissent être un facteur déterminant du développement socioéconomique.

La campagne d'analyse isotopique portée sur les eaux du complexe terminal en Algérie sur le long d'une direction d'écoulement Sud-Nord sur près de 700 km, s'étalant du plateau du Tinrhert vers la zone des Chotts Merouane et Melrhir (Fig n°15), montre que le CT n'est pas affecté par une recharge moderne mais plutôt par une recharge discontinuée, durant les périodes humides de l'Holocène et du Pleistocène inférieur (Moula & al, 2005).

2.2) RECHARGE ACTUELLE : conditions et représentations :

Dans certaines régions désertiques, les précipitations exceptionnelles associées à certaines conditions de surface spécifiques (sols à grains grossiers) peuvent être particulièrement génératrices de recharges, l'alimentation des nappes du Sahara septentrional, par exemple, se manifeste sur les bordures Nord du bassin lorsque trois conditions sont présentes :

- Des précipitations suffisantes ;
- Un relief relativement accentué pour produire un ruissellement dans des oueds ;
- L'affleurement des formations perméables appartenant à un des systèmes aquifères, où sont en relation directe avec un des aquifères sahariens.

On peut énumérer quatre voies de recharge possible en régions désertiques :

- recharge directe à partir de la pluie à travers le profil de sol.
- recharge indirecte à partir du ruissellement à travers les joints ou fissures.
- recharge indirecte à partir de l'écoulement dans les étangs.
- recharge indirecte à partir des "pertes de transmission" pendant le ruissellement dans une rivière et une inondation (disparition totale des écoulements dans le lit de l'oued).

En considérant ces processus, il est important d'avoir une idée sur l'ordre de grandeur des deux termes dominants de ce bilan hydrologique, à savoir les précipitations et l'évaporation potentielle. Ceci est illustré à la station météorologique de Ramada dans le Sud tunisien, avec une évaporation potentielle de l'ordre de 2400-2800 mm (YAHYAOUÏ, 1996) et une précipitation moyenne annuelle de 83.6 mm, tandis qu'à Hassi Messaoud la précipitation moyenne annuelle est de 45,05mm, l'évaporation potentielle est supérieure à 1450mm par an. En égard à ces quantités, la recharge directe apparaît comme un événement rare dans le Sahara.

Si la recharge directe n'est pas d'importance majeure dans les régions désertiques, les divers mécanismes indirects deviennent primordiaux en zones arides.

Dans le Sahara septentrional, CONRAD et al. (1975) rapportent la présence du tritium dans les eaux souterraines de l'Erg Occidental, dans le Sud de l'Algérie, ainsi GUENDOÛZ (1985) a prélevé une forte teneur en Tritium (51 UT) en pleine dune de sable à El Oued, dans l'Erg Oriental en Algérie, ce qui montre un taux de recharge variant entre 5 et 10 mm/an (In Baba Sy,2003).

Les concentrations du carbone 14 mesurées aux forages (tableau n° 01 en annexe), traduites en âges équivalents des eaux souterraines (Fig n°16) témoignent d'une alimentation continue au Quaternaire. Les âges évoluent des zones de recharge vers les exutoires où les eaux sont plus anciennes.

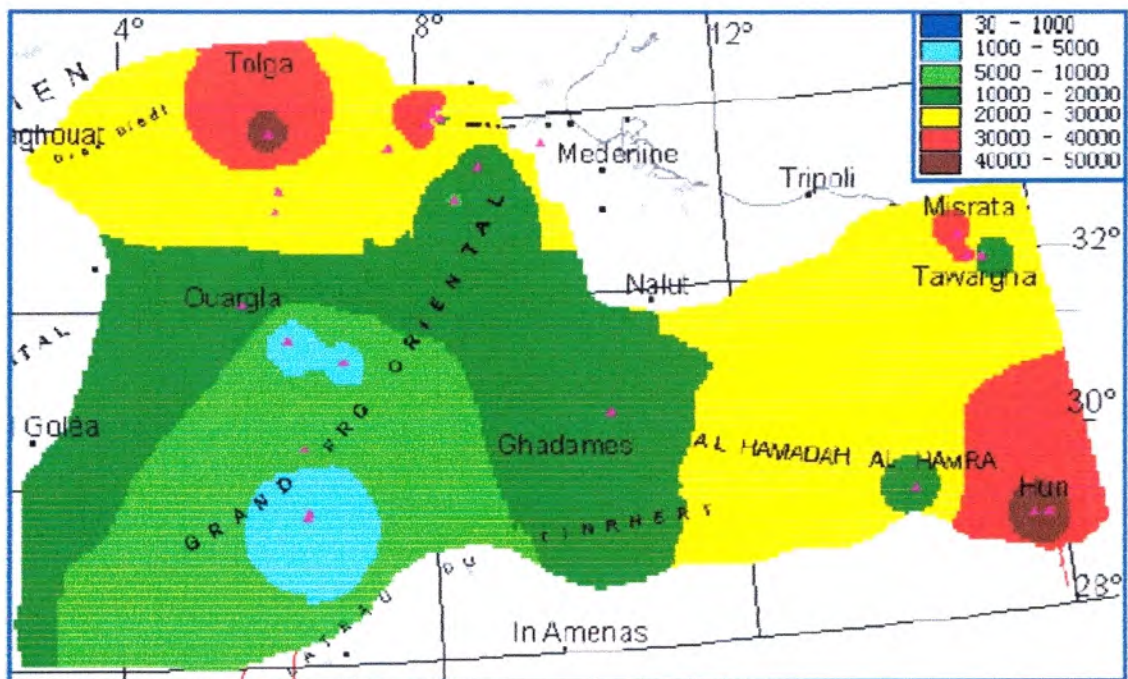


Fig n°16: Age des eaux du CT d'après la teneur en carbone 14 (Baba Sy ,2003).

2.2.1) Localisation des zones de recharge du SAAS par la méthode Piézométrique:

La construction de la carte piézométrique du Complexe Terminal (CT) est le résultat de l'accumulation des contributions successives élaborées depuis quarante ans, depuis la publication de la première carte piézométrique couvrant tout le Continental Terminal du Sahara. Parmi les contributions les plus significatives, on peut citer notamment BEL (1966), LEVASSOR (1975), GEFLI (1978), MAMOU (1990). L'ensemble de ces travaux a permis de dresser une carte piézométrique (fig n°17).

Cette piézométrie a intéressé, en Algérie et en Tunisie, les formations calcaires sénoniens et Eocènes ainsi que les sables du Pontien (Oued Rhir et Djérid). La piézométrie de ces formations, assez souvent en relais hydrogéologiques, se raccorde parfaitement et permet d'avoir la continuité de l'écoulement souterrain en passant d'une zone à l'autre (OSS, 2003a). En Tunisie, la piézométrie des calcaires du Turonien se confond dans la région de Kébili avec celle des calcaires sénoniens. En Algérie, en dehors de la région de Hassi Messaoud, le Turonien n'est pas un bon aquifère.

En Libye, la piézométrie du CT concerne plutôt les calcaires et dolomies de la formation Turonienne et parfois de la formation Sénonienne.

L'examen de la carte piézométrique du CT (Fig n°17) met en évidence les zones d'alimentation des nappes du CT, à savoir :

- L'Atlas saharien au Nord-Ouest.
- Le Djebel Nafusa au Nord-Est.

- Le Plateau de Tinrhert au Sud.
- Le Dahar au Sud-Est.

Les zones exutoires sont principalement centrées sur les Chotts Algéro-Tunisiens (Chotts Marouan-Melrhir en Algérie et Gharsa-Djérid en Tunisie) et sur le Golfe de Syrte entre Misrata et Tawaghra en Libye.

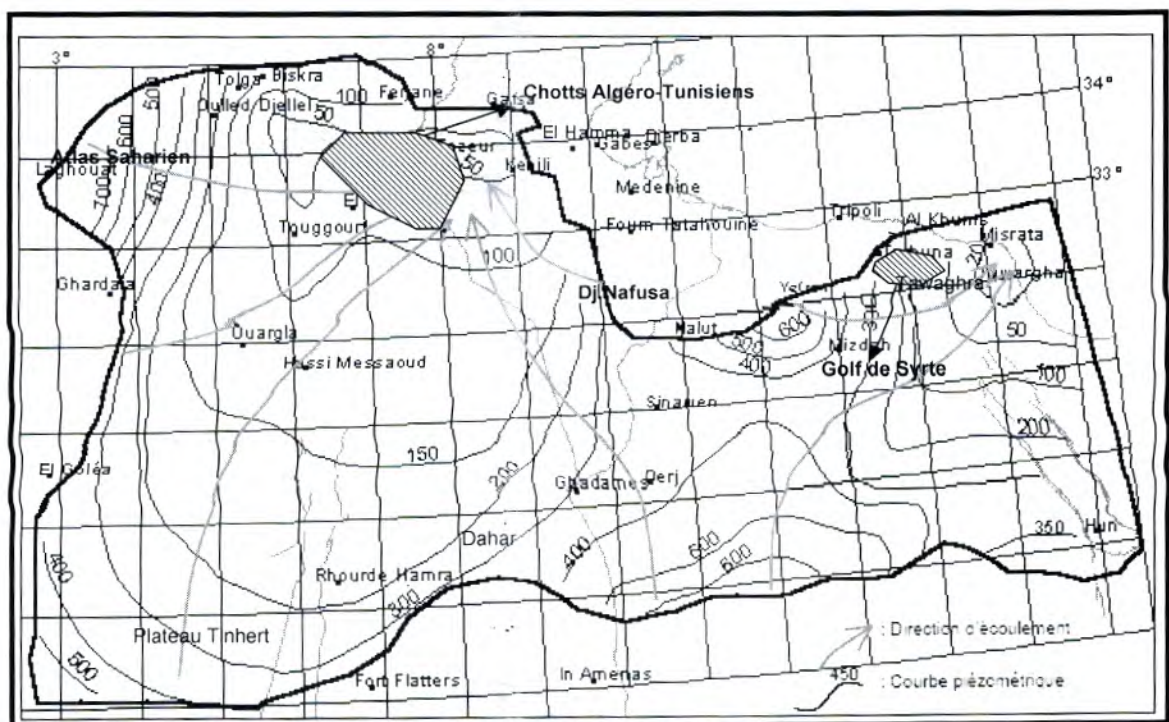


Fig n°17: Carte piézométrique de référence du Complexe Terminal (OSS,2003a)

2.2.2) Localisation des zones de recharge du SAAS par la méthode Géochimique :

La composition chimique de ces eaux peut contribuer à mieux décerner les parentés chimiques entre les différents niveaux aquifères du système et à appréhender qualitativement les phénomènes d'alimentation des nappes et d'échanges entre aquifères

La carte de salinité des eaux du complexe terminal établie en 1950 (Fig n°18) fait ressortir une certaine évolution de la salinité de l'eau des nappes du CT (nappe des sables et celle des calcaires). Cette répartition spatiale de la salinité traduit un schéma du fonctionnement hydrodynamique du système.

L'examen de cette carte permet de localiser les mêmes zones d'alimentation et les zones d'exutoires indiquées par les directions d'écoulement (Fig n°18).

On distingue :

*une zone faiblement minéralisée (moins de 2 g/l) sur la bordure ouest et sud-ouest du bassin, elle correspond aux zones d'alimentation de l'Atlas Saharien et le Plateau de Tinher.

*Une zone faiblement minéralisée, centrée sur la partie est du Grand Erg Oriental et correspondant aux zones d'infiltration directe des eaux de pluie dans les sables dunaires. Cet aspect est particulièrement mis en évidence sur le flanc occidental du Dahar.

*Une zone faiblement minéralisée sur le flanc sud du Djebel Nafusa correspondant à une zone de recharge de la nappe.

*Une zone à moins de 2.5 g/l, centrée sur le Draa Djérid en Tunisie (entre Tozeur et El Oued) correspondant à l'affleurement des sables aquifères.

Les zones à forte minéralisation (plus de 5 g/l) sont axées sur la partie nord de Oued Rhir (entre Touggourt et Ouled djellel), sur El Hadjira (entre Ouargla et Touggourt).

L'accroissement de la minéralisation vers les dépressions fermées (chotts et sebkhas) traduit la convergence des écoulements souterrains de la nappe du CT vers ces zones qui constituent ses exutoires naturels.

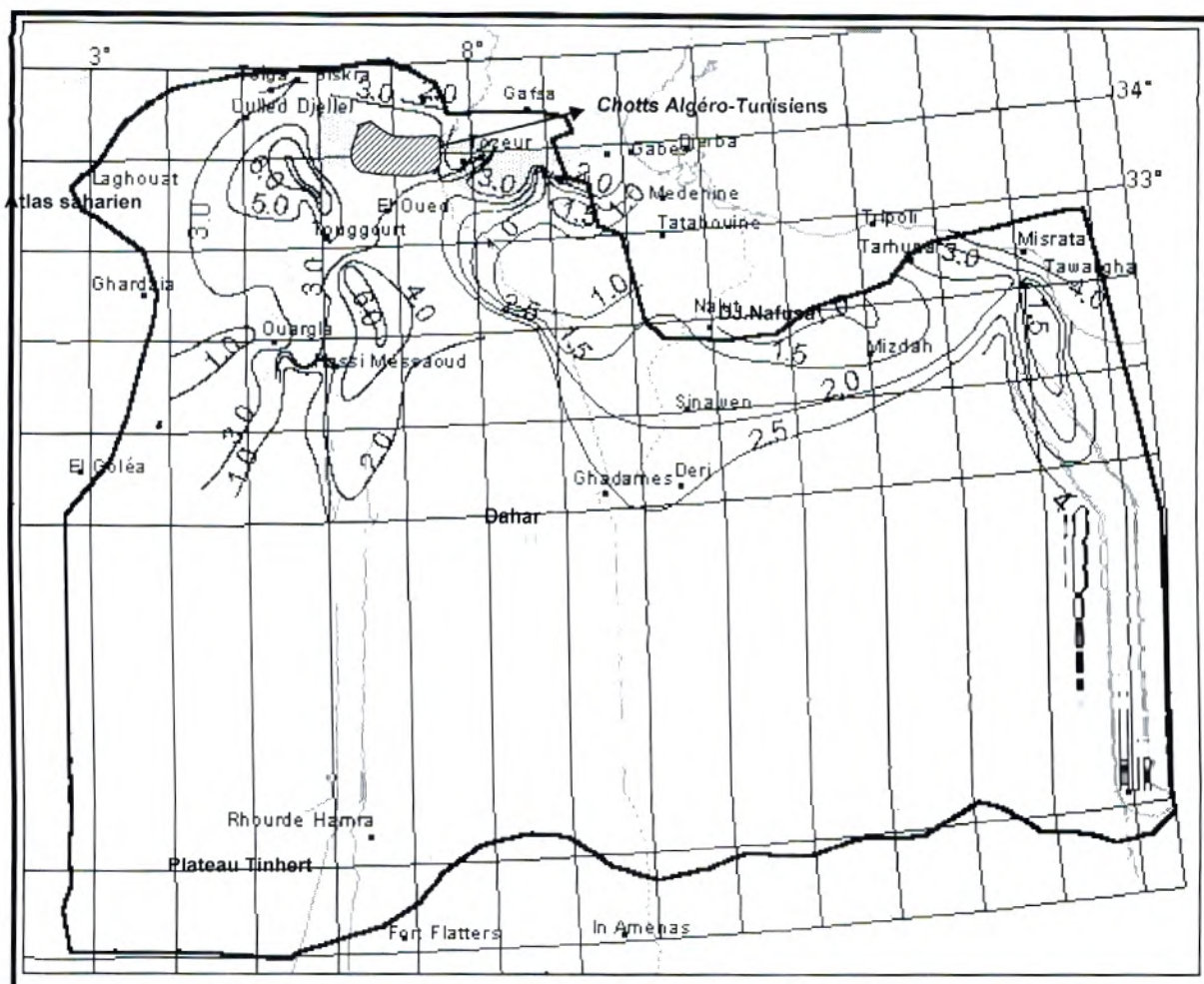


Fig n° 18: Carte de salinité des eaux du CT en 1950 (Baba Sy, 2003)

3) ESTIMATIONS DE LA RECHARGE DU COMPLEXE TERMINAL :

Les études hydrogéologiques montrent que le Sahara renferme d'énormes réserves d'eaux souterraines. Dans une approximation grossière, l'étude de l'UNESCO, (1972) évalue approximativement la réserve du CT (couvrant 350 000 km² en Algérie et en Tunisie essentiellement) à 20 000 × 10⁹ m³, ces estimations ne tiennent pas compte de toute la partie libyenne du système aquifère, tandis que l'estimation des réserves des aquifères du CT dans leurs délimitations (Algérie, Tunisie plus leurs extensions en Libye) a été estimée d'après Baba Sy (tableau n°11)

Tableau n° 11: Evaluation de la réserve (In Baba Sy, 2003).

Pays	Aquifère	S volume d'eau moyen (10 ⁹ m ³)	Q Débit moyen (10 ⁹ m ³ /s)	S / Q Durée de renouvellement (années)
Algérie, Tunisie, Libye	Bassin du Sahara septentrional Complexe Terminal	11000	0,573	20000

4) ETUDE HYDROGÉOLOGIQUE DE LA ZONE DE HASSI MESSAOUD :

Le complexe terminal dans le Champ de Hassi Messaoud est constitué par les formations suivantes (Fig n°13).

4.1) MESOZOÏQUE

4.1.1) TURONIEN (e ≈ 70 à 120m) :

Ce sont des formations carbonatées, constituées de calcaire, craie, dolomie et quelques niveaux argileux. Il contient un aquifère représenté par des eaux à odeur sulfurée, utilisées pour l'injection. Ces eaux sont produites par pompage et utilisées pour le maintien de pression par injection d'eau. Leur salinité est de 210 g/l et leur densité est de 1,13 (Sonatrach,2003).

CRETACE :

4.1.2) SENONIEN : Constitué de deux niveaux :

• CARBONATE (e ≈ 107m) :

Il est constitué de calcaires blancs à blanc beige, microcristallins, tendres à moyennement dur, de dolomies grises à gris clair, parfois blanche à blanc beige, microcristalline à cristallines, dures et d'anhydrites blanches, pulvérulentes, parfois massives à la base.

• LAGUNAIRE : Ce niveau est représenté par deux unités à faciès lagunaire:

*La première ANHYDRITIQUE, d'une épaisseur moyenne de 219m, est composée d'anhydrite blanche, cristalline, de dolomie moyennement dure, de marne et de calcaire argilo- dolomitique.

* La deuxième SALIFÈRE, d'une épaisseur moyenne de 140m, est constituée de sel massif blanc transparent à translucide à trace d'anhydrite.

4.2) CENOZOÏQUE :

4.2.1) EOCENE (e : 120m)

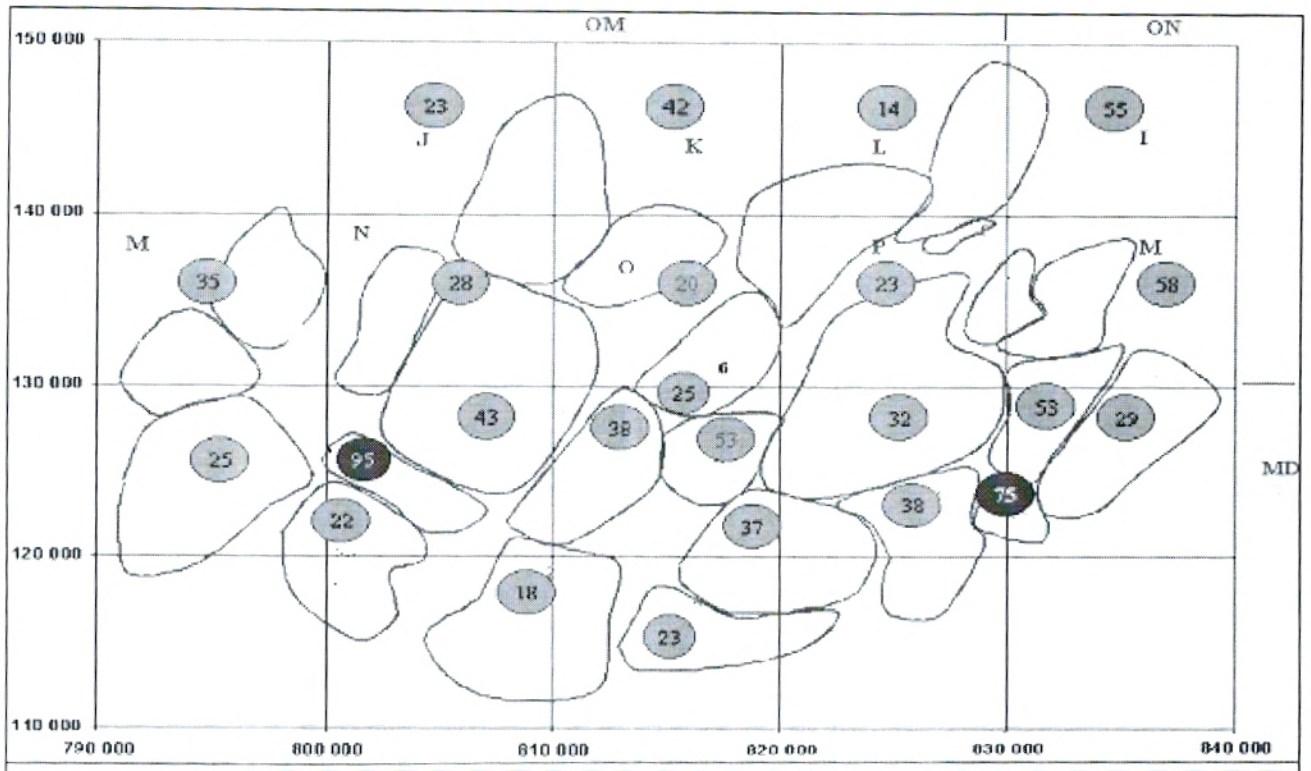
Constitué par :

*CALCAIRE: Blanc, tendre à crayeux.

*CALCAIRE DOLOMITIQUE: Blanc à blanc beige, microcristallin, moyennement dur à dur.

*SABLE: Blanc, translucide, moyen à grossier.

*ARGILE: Grise à brune, gris verdâtre, tendre à pâteuse.



Figⁿ19: Zones des pertes à Hassi Messaoud (Division forage ,Sonatrach, 2003)

NB :Les chiffres présentent les pourcentages des puits dans une surface (surface entourée en rouge), ces Puits ont subi des pertes en surface .

Exp : le chiffre 43 présente 43% des puits qui ont subi une perte au cours du forage dans une surface entourée en rouge.

4.2.2) MIO-PLIOCENE (e : 240 m) :

Présent sur toute la superficie du champ, il est constitué par :

*SABLE: Blanc, translucide, jaunâtre à rosâtre, fin, moyen à grossier subanguleux à sub-arrondi à endroits conglomératiques, Présence de Silex.

*CALCAIRE: Blanc à blanc beige, microcristallin, dur.

*MARNE: Beige, jaunâtre, tendre à pâteuse, fortement sableuse.

Ces terrains, formant un recouvrement continental essentiellement sableux. Ils sont non consolidés et leur porosité est très importante ce qui entraîne des pertes partielles ou totales et des risques d'éboulement lors du forage (Fig n°19 et Tableau n°02 en annexe). Les eaux du Mio-Pliocène sont destinées essentiellement à l'activité pétrolière et de façon moindre aux différents usages domestiques : bases de vie et cités résidentielles (Sonatrach, 2003).

5) IDENTIFICATION DES AQUIFERES DU COMPLEXE TERMINAL AU NIVEAU DU CHAMP DE HASSI MESSAOUD:

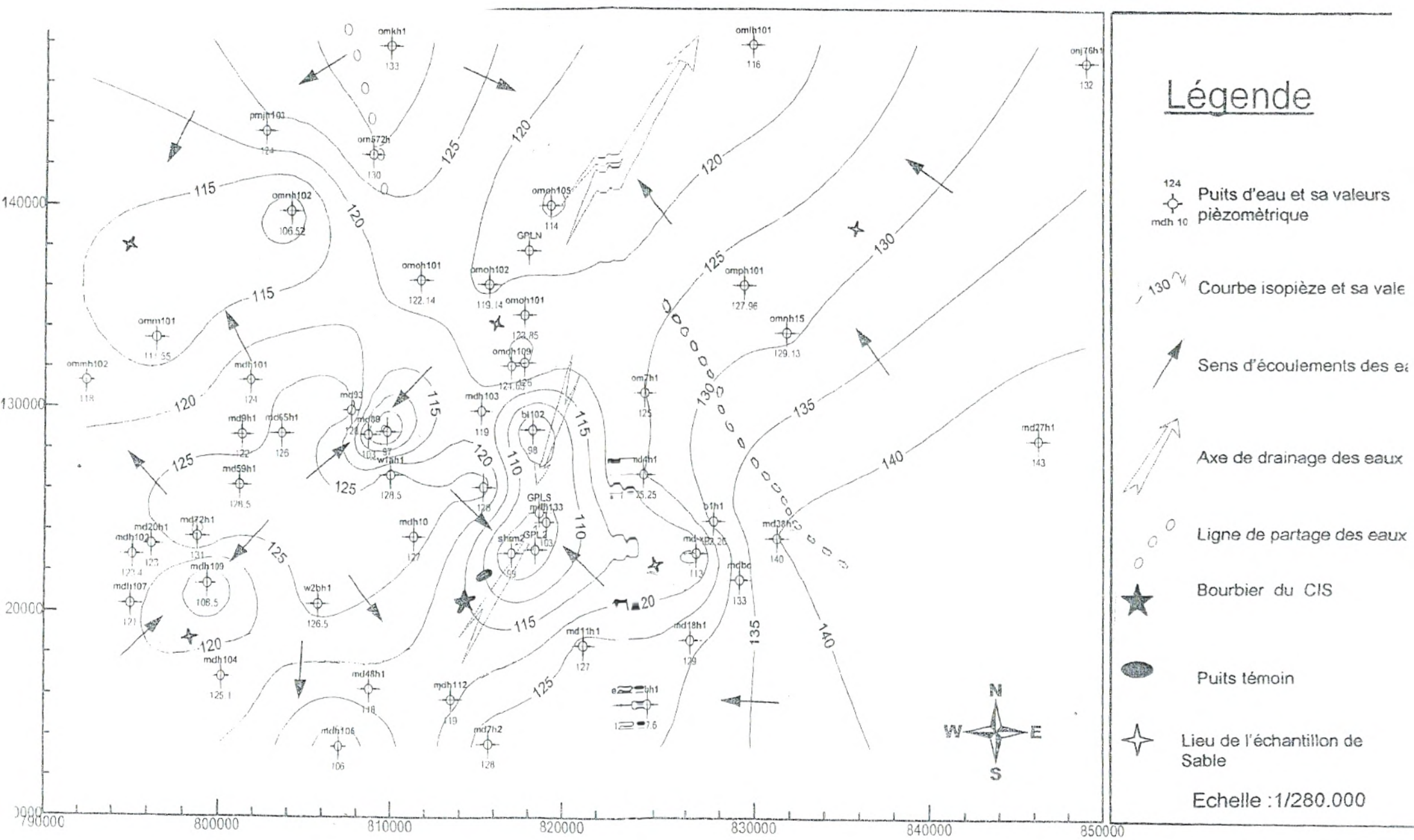
L'analyse lithostratigraphique et l'étude hydrogéologique au niveau du Champ de Hassi Messaoud ont permis de diviser le complexe Terminal en deux aquifères:

1. Aquifère à nappe libre formée essentiellement par des formations néogènes (e ≈360m). Il est représenté par les formations sableuses et Calcaireuses. Les eaux de cette nappe sont destinées essentiellement à l'activité pétrolière et de façon moindre aux différents usages domestiques (bases de vie et cités résidentielles). Les formations du Sénonien Carbonaté (e ≈107m) constituées par les Calcaires, les Dolomies, font partie de l'aquifère de la nappe phréatique car elles sont en communication hydraulique avec les formations adjacentes (Fig n°13).









2. Aquifère à nappe captive formée par les formations du Turonien (e ≈90 a 120m). Les eaux de cette nappe sont injectées dans le forage pétrolier pour maintenir la pression du gisement d'Hydrocarbure. Leur salinité est de 210 g/l et leur densité est de 1,13 (Direction Régionale de Forage, 2003).

6) INTERPRETATION DE LA CARTE PIEZOMETRIQUE :

La carte piézométrique (Fig n°20) montre que le niveau piézométrique varie entre 97m et 145m. On remarque aussi que les lignes isopièzes sont serrées dans la partie centrale du champ de Hassi Messaoud. C'est une zone de convergence correspondant à la zone de pompage intensif avec un niveau piézométrique qui varie entre 125m et 98m où le gradient hydraulique calculé est de l'ordre ($i=5 \cdot 10^{-3}$), par contre il diminue vers le Nord Est ($i=10^{-3}$) et le Nord Ouest du champ ($i=2,08 \cdot 10^{-3}$). A l'Est du champ, l'écoulement se fait du Sud-Est vers le Nord-Ouest. La partie ouest est caractérisée par la présence d'une ligne de partage des eaux qui correspond à une zone de divergence mise en relief par les zones de pompages environnants. On note la présence des lignes de partage des eaux au Nord et à l'Est du champ de Hassi Messaoud où le substratum est plus soulevé que nul par ailleurs dans la région (Fig n°21).



Légende

-  Puits d'eau et sa valeurs piézométrique
-  Courbe isopièze et sa valeur
-  Sens d'écoulements des eaux
-  Axe de drainage des eaux
-  Ligne de partage des eaux
-  Bourbier du CIS
-  Puits témoin
-  Lieu de l'échantillon de Sable

Echelle : 1/280.000

Fig.n° 17 : Carte Piézométrique du Complexe Terminal au niveau du Champ de Hassi Messaoud

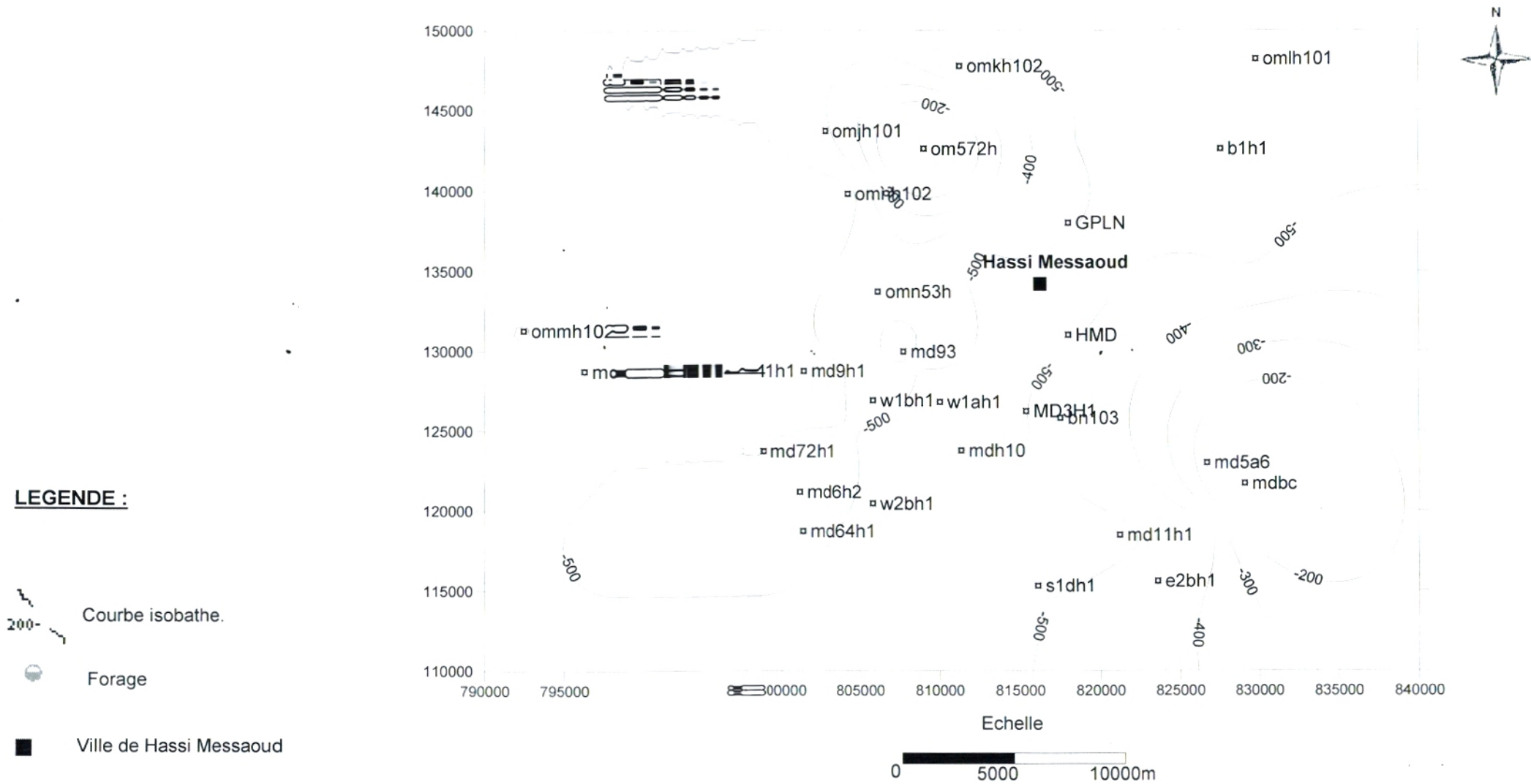
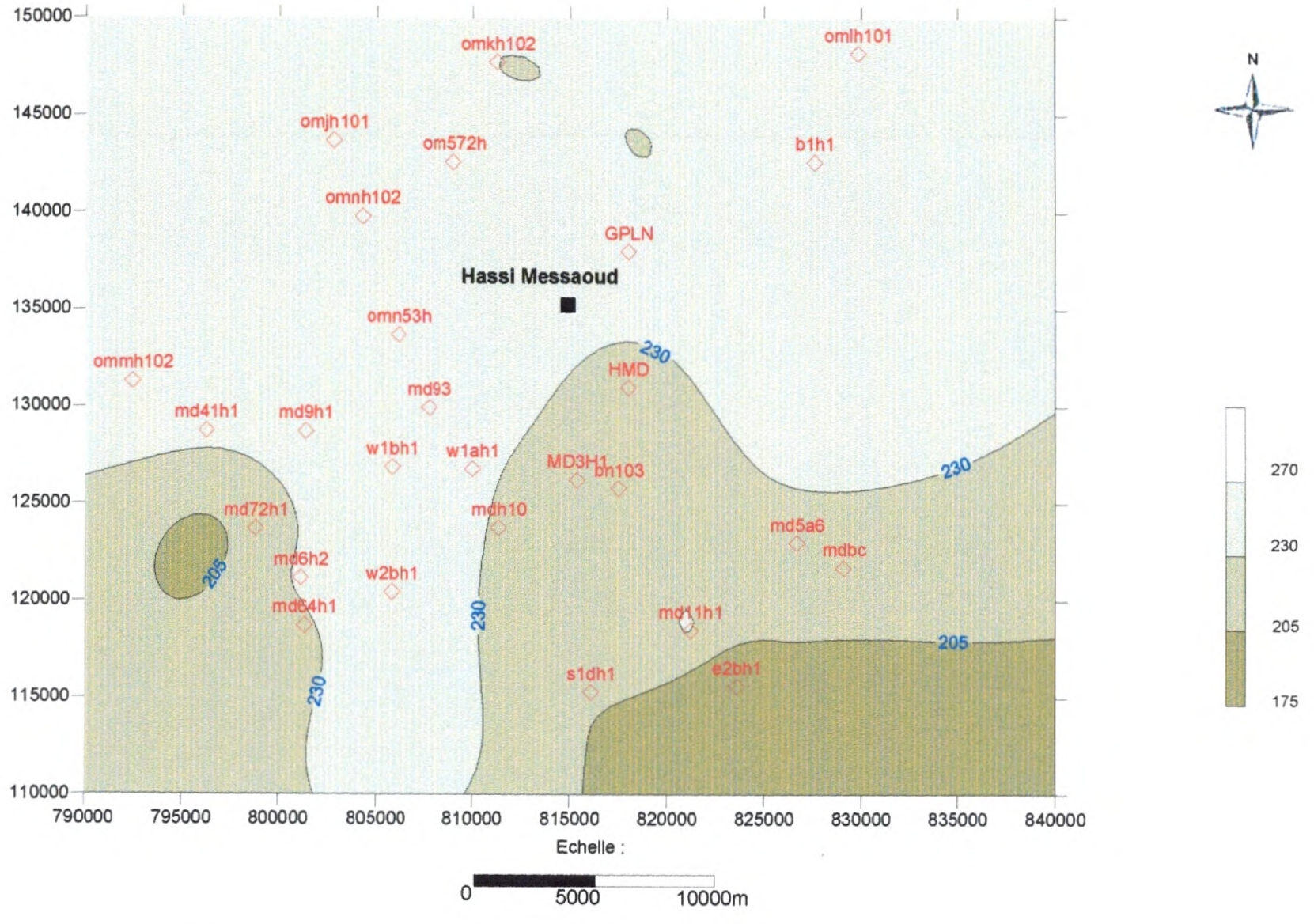


Fig n°21: Carte – : sobathe du Complexe Terminal au niveau du Champ de Hassi Messaoud.



Conclusion:

L'étude hydrogéologique a permis de définir deux types de nappe:

1-Nappe phréatique ($e \approx 467\text{m}$) formée essentiellement dans les sables, les calcaires et les dolomies d'âge néogène et sénonien.

2-Nappe Captive ($e \approx 90\text{m}$ à 120m) formée essentiellement dans les calcaires et les dolomies, d'âge turonien. Le toit de cette nappe est épais et imperméable ($e \approx 359\text{m}$).

La région de Hassi Messaoud capte généralement la nappe du Miopliocène. Cette dernière présente des épaisseurs qui varient de 180m à 265m , elles sont plus importantes au Nord-Est de la zone d'étude qu'au centre, au Nord-Ouest et au Sud.

La carte piezométrique dressée au niveau du champ de Hassi Messaoud met en évidence les paramètres suivants :

Un sens d'écoulement des eaux souterraines allant du Sud-Est vers le Nord-Ouest, dans la zone centrale (zone d'appelle) le gradient hydraulique est élevé contrairement de ceux des zones nord-est et nord-ouest (Fig n°20).

La carte d'isopaque du Mio-Pliocène au niveau du Champ de Hassi Messaoud, nous a permis de constater que la puissance de la nappe phréatique est faible dans la partie sud sud-est par rapport aux autres régions (fig n°22).

L'étude hydrogéologique d'un aquifère ne peut être complète sans la connaissance des caractéristiques physico-chimiques de ses eaux, d'autant plus que l'objectif de cette présente étude porte sur l'impact des forages pétroliers sur la qualité des eaux de ce secteur.

Dans le chapitre suivant, nous allons traiter quelques aspects de l'hydrochimie des eaux de la nappe du Mio-Pliocène au niveau du champ de Hassi Messaoud.

CHAPITRE IV :



ETUDE HYDROCHIMIQUE

1-INTRODUCTION :

Dans cette partie nous avons essayé d'examiner la qualité des eaux du Miopliocène dans le champ de Hassi Messaoud.

Les résultats des analyses chimiques des eaux du Complexe terminal (30 échantillons), (Tableau n°04, n°05 & n°06 en annexe), effectuées au niveau de la direction MUD LOGGING (Sonatrach) ont porté sur les éléments suivants :

- 1) Cations: Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ .
- 2) Anions: Cl^- , So_4^{--} , CO_3^- , HCO_3^- , NO_3^- .
- 3) Potentiel d'Hydrogène (pH).
- 4) Dureté totale.
- 5) Résidu sec.

2-ETUDE DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES:

Les paramètres physiques :

a) Le potentiel d'hydrogène (pH) :

C'est le mode de la représentation de la concentration d'Hydrogène en ion (H^+) d'une solution. C'est-à-dire l'acidité ou la basicité du milieu, c'est le logarithme décimal de l'inverse de cette concentration:

$$\text{PH} = \log (1/\text{H}^+)$$

C'est un élément important pour la détermination du caractère agressif ou incrustant, l'échelle du pH varie en fonction de la force ionique:

- pH<7 Milieu acide
- pH>7 Milieu basique
- pH=7 Milieu neutre.

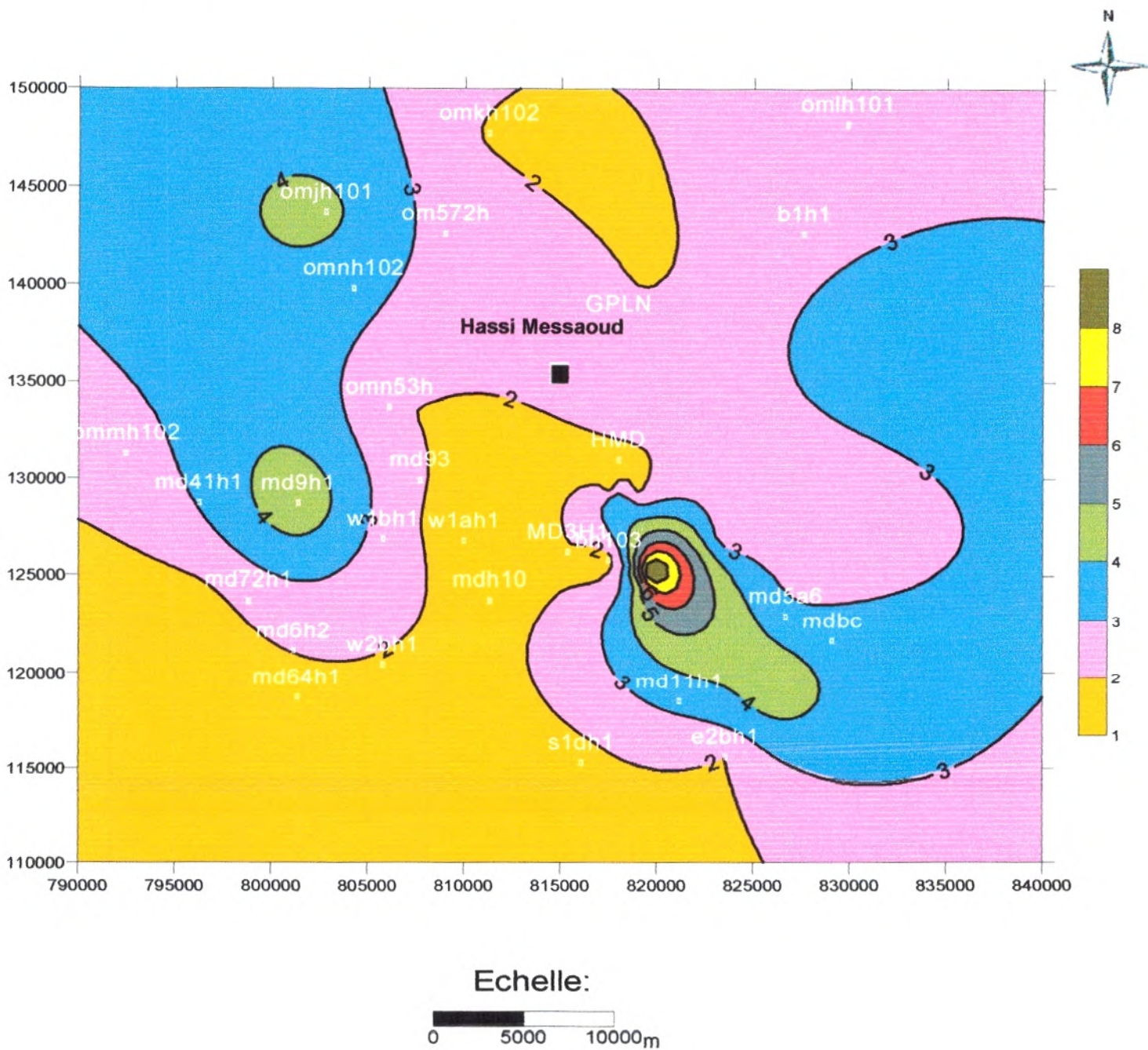
Les mesures du pH (Tableau n°04 en annexe) des eaux du Mio- Pliocène révèlent que cette eau varie d'une basicité faible à moyenne, à l'exception des eaux du forage T2 qui présentent une forte basicité(pH=10,1)

La plus part des eaux prélevées de la nappe du Mio- Pliocène présentent un pH d'équilibre inférieur au pH mesuré (Tableau n°04 en annexe), elles présentent donc un caractère incrustant ,à l'exception des eaux des forages OMOH106, GTP103, E28H1, OMM102, MD18H1, MD20H1etOMN53.

b) Minéralisation :

Suivants la réglementation française, la minéralisation totale pour les eaux de boisson ne doit pas excéder 2g/l, les normes américaines recommandent, comme chiffre limite, une minéralisation totale de 500mg/l, cependant les eaux du champ de Hassi Messaoud dépassent les 1400mg/l et peuvent atteindre plus de 4000mg/l dans la région sud-est, ouest et nord-ouest à l'exception de la ville de Hassi Messaoud où il peut atteindre les valeurs les plus basses, soit une valeur inférieure à 1800mg/l (Fig n°23).

On constate que la minéralisation des eaux du puits Pt1 et Pt2 est la plus élevée, dans le Champ de Hassi Messaoud, cela est dû probablement à l'infiltration de la boue de forage pétrolier MD101.



Légende :




-  Courbe d'égale minéralisation (g/l).
-  Forage.
-  Ville de Hassi Messaoud.

Fig n°23 : Carte de minéralisation des eaux du Mio pliocène au niveau du Champ de Hassi Messaoud.

c) La température :

La température a un rôle déterminant sur la solubilité des sels, des gaz, de la conductivité électrique et sur la détermination du pH de l'eau. Elle permet de différencier les eaux de profondeur à celle de surface, car la température est influencée par le gradient géothermique (Augmentation de 01°C pour chaque 33m environ).

La température mesurée des eaux de la nappe du Mio- Pliocène varie de 27°C à 32°C, ces valeurs indiquent que les eaux du Mio-Pliocène sont d'origine phréatique.

d) Le résidu sec :

C'est la totalité des sels dissous dans l'eau, et en suspensions (organiques et minérales) obtenus par pesées (évaporation à 110°C exprimée en mg/l). Sa valeur minimale(448mg/l) est atteinte dans les eaux du puits GTP2, tandis que sa valeur maximale(4940mg/l) est remarquable dans les eaux du puits OMKH102 (Tableau n°04 en annexe).

Différents auteurs se sont attachés à déterminer les limites de potabilité des eaux. Schoeller distingue une potabilité absolue indépendante des régions, du climat et ne dépend que de la physiologie humaine, la potabilité relative dépend de la composition chimique de cette eau et par comparaison avec les meilleures eaux de la région. Il classe les eaux suivant le tableau ci-dessous:

Potabilité	Bonne	Passable	Médiocre	Mauvaise
Extrait sec (mg/l)	0-500	500-1000	1000-2000	2000-4000

D'après ce tableau, les eaux du Champ de Hassi Messaoud sont médiocres à mauvaises.

***Dureté totale ou degré hydrotimétrique :**

La dureté totale indique la teneur totale en sel (Ca, Mg) dissous dans l'eau, elle est exprimée en degrés français °F :

$$DHT = (rCa + rMg) \text{ méqui/l}$$

$$DHT = (rCa + rMg) \cdot 5 \text{ °F}$$

Le tableau ci- dessous présente la potabilité en fonction de la dureté :

HT. °F	0-7	7-22	22-32	32-54	>54
Dureté de l'eau	douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure

Dans la région de Hassi Messaoud , la dureté des eaux calculées varie entre 54 °F et 247°F, caractérisant une eau très dure, sauf pour les eaux des forages OH106,DOS,BT101,E2BH1,BASE TUBING et MD89H1où les eaux sont assez dures et pour MD18H1, MD20H1 et S1BH, leurs eaux sont Modérément douces.

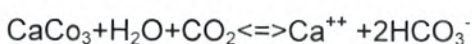
- **Les paramètres chimiques** :(Tableau n° 05 & n° 06 en annexe).

La nature des eaux dépend des roches traversées lors de leurs circulations dans les formations aquifères, et du temps de séjour qui leur permet de s'enrichir en sels minéraux.

1) Etude des cations

Calcium (Ca⁺⁺):

Il provient de la dissolution des roches carbonatées due à la présence de gaz carbonique dans l'eau qui s'est infiltrée à travers les formations du Néogène et du Sénonien Carbonaté.



Le Calcium peut aussi provenir du lessivage des terrains anhydritiques (CaSO₄) du Sénonien Carbonaté, les valeurs mesurées varient entre 523mg/l au puits MD9H1 au Sud-Ouest du Champ de Hassi Messaoud et 40mg/l au puits MD18H1 au Sud du champ.

La carte d'isoteneur du calcium montre que dans la partie sud-est et ouest, les eaux ont des teneurs élevées en calcium, par contre dans la partie sud elle représente de faible teneur (Fig n°24).

Magnésium (Mg⁺⁺):

Il peut être apporté par la dissolution des formations du Sénonien Carbonaté; soit par la dissolution des dolomies dans les terrains anhydritiques (MgSO₄), ou par les formations dolomitiques libérant le magnésium par l'attaque des eaux en présence de gaz carbonique.

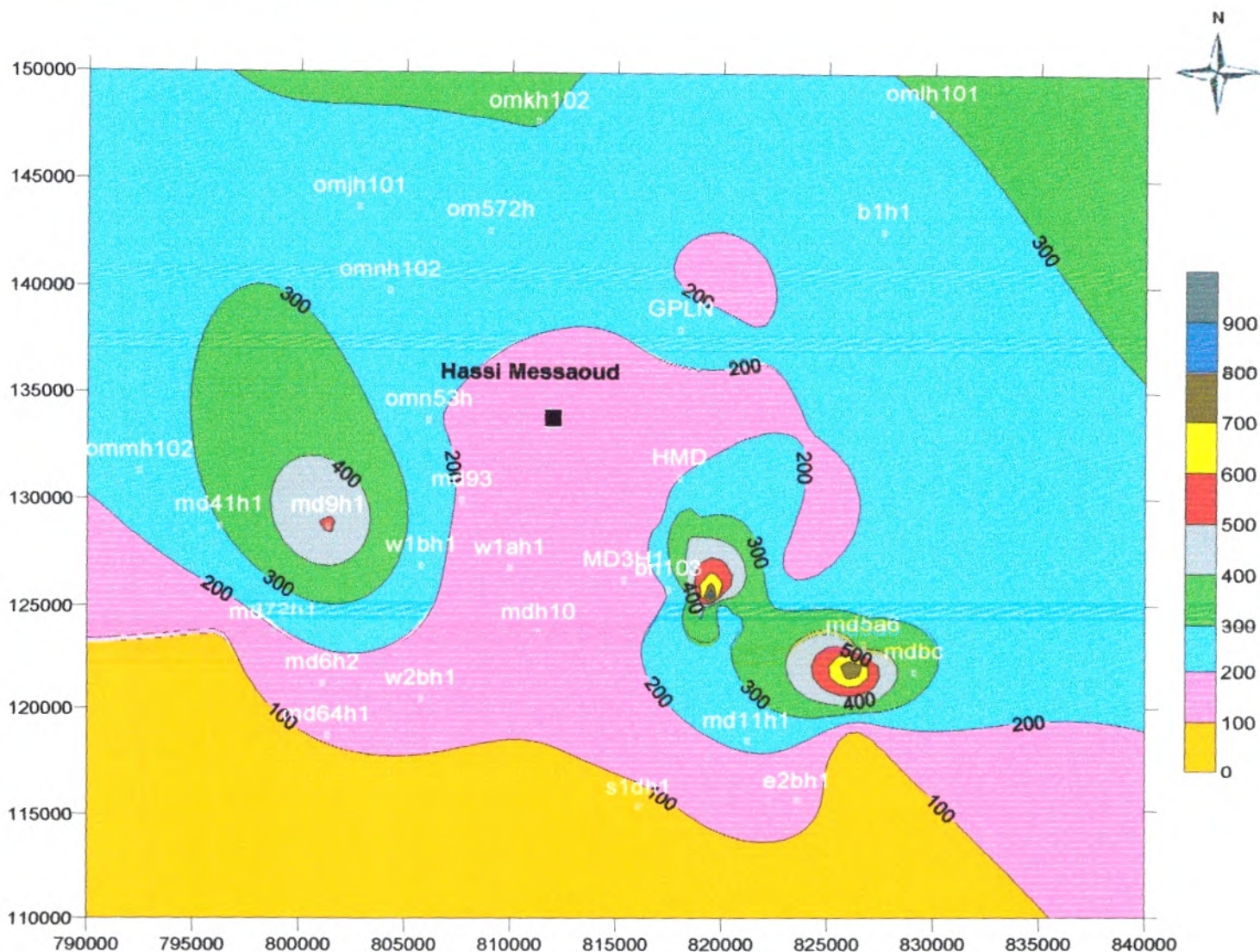
D'après les résultats d'analyses des eaux du Mio-Pliocène dans la région de Hassi Messaoud, la valeur maximale est de 163mg/l au puits OMKH102 au Nord du champ, par contre, la valeur minimale est de 14mg/l au puits MD20H1 au SSW du champ (Fig n°25).

Sodium et Potassium (K⁺+Na⁺) :

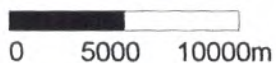
Le sodium est toujours présent dans l'eau, il provient du lessivage des formations géologiques riches en NaCl et de la dissolution des formations argileuses et marneuses du Champ de Hassi Messaoud. Les analyses révèlent que la valeur maximale pour les eaux du Mio-Pliocène est de 1600mg/l au puits MD18H1, tandis que la valeur minimale est de 107mg/l au puits GTP1.

Le potassium est beaucoup moins abondant que le sodium où la valeur minimale est de 12mg/l au puits ENT101 et la valeur maximale est de 51mg/l au puits MD9H1.

Les valeurs maximales en éléments (Na⁺+K⁺) se localisent dans la partie sud-est du Champ de Hassi Messaoud, par contre les faibles teneurs se présentent dans la partie nord (fig n°26).



Echelle:



LEGENDE :

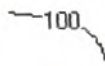


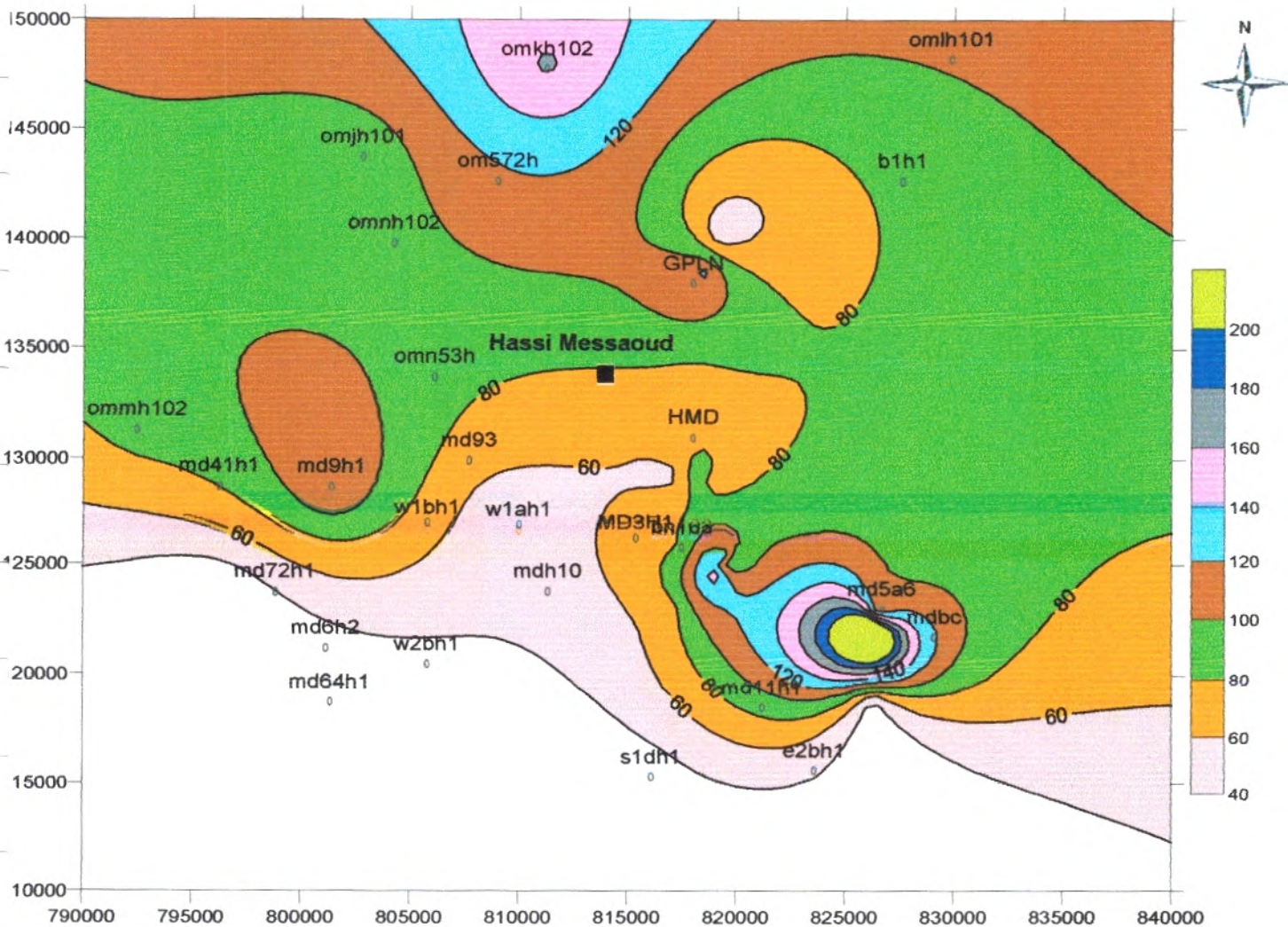
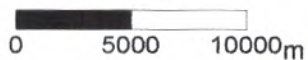
-  Courbe d'isoteneur du calcium (mg/l).
-  Forage.
-  Ville de Hassi Messaoud.

Fig n°24 : Carte d'isoteneur du calcium des eaux de la nappe du Mio pliocène au niveau du Champ de Hassi Messaoud.



Echelle:



LEGENDE :




-  Courbe d'isoteneur du Magnésium (mg/l).
-  Forage.
-  Ville de Hassi Messaoud.

Fig n°25 : Carte d'isoteneur du Magnésium des eaux de la nappe du Mio pliocène au niveau du Champ de Hassi Messaoud.

2- Etude des anions :

Chlorure Cl⁻ :

Les chlorures rencontrés en grande quantité dans les eaux souterraines, proviennent de la dissolution et lessivage des terrains Salifères.

La teneur en chlorure est très variable, et toutes les eaux de notre champ d'étude ont des teneurs très élevées par rapport aux normes européennes (<250mg/l).

La valeur maximale est de l'ordre de 2845mg/l au puits MD18H1 et la valeur minimale est de 250mg/l au puits BN103.

La partie sud-est du Champ de Hassi Messaoud a des teneurs élevées en Chlorures tandis que la partie nord est caractérisée par de faibles teneurs (Fig n°27).

Les fortes concentrations des Chlorures dans les eaux du Mio-Pliocène du Champ de Hassi Messaoud et la nature lithologique de la nappe du Mio-Pliocène montrent que cette nappe est alimentée par les eaux des terrains avoisinants.

Sulfates (SO₄²⁻):

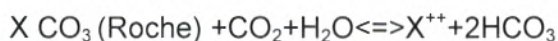
Les sulfates sont toujours présents dans les eaux naturelles, leur présence provient soit d'une légère solubilité des sulfates de calcium (CaSO₄) des formations gypseuses, soit du lessivage des terrains argileux et marneux. La teneur admissible des sulfates fixée par l'OMS est de 250mg/l.

Les résultats d'analyses chimiques obtenues montrent que les eaux du champ de Hassi Messaoud ont une concentration très variable en (SO₄²⁻), elle varie entre 170 et 1480mg/l.

La partie sud-est de la nappe du Champ de Hassi Messaoud a des teneurs élevées en Sulfates, tandis que la partie centrale est caractérisée par de faibles teneurs (fig n°28).

Bicarbonates (HCO₃⁻) :

Ce sont les résultats de l'équilibre physico-chimique entre les roches, l'eau et le gaz carbonique selon l'équation :



Ils proviennent de la dissolution des roches carbonatées dans l'eau, en fonction de la teneur en CO₂, de la température, du pH de l'eau et de la nature lithologique des terrains traversés.

Les analyses des eaux du champ de Hassi Messaoud ont montré que les valeurs maximales sont présentées dans la partie nord-est, les valeurs minimales se localisent dans la partie nord-ouest (fig n°29).

3-CLASSIFICATION ET POTABILITE DES EAUX :

3-1 Classification des eaux :

Plusieurs méthodes de classification des eaux naturelles ont été définies et sont conditionnées par les deux critères suivants :

1. la composition chimique.
2. l'origine et le gisement des eaux.

Pour notre étude, on s'intéresse à la méthode de STABLER, basée sur la composition chimique.

a) Classification de STABLER :

Dans cette classification, les concentrations exprimées en milliéquivalent par litre (még/l) sont réduites en quantité en réaction (r%), calculées par rapport à la concentration totale en még/l et exprimées par une formule caractéristique ou ionique en se basant sur la prédominance des ions (Tableau n°07 en annexe). On constate que les eaux Chlorurées Sodiques sont prédominantes dans La nappe du Mio-Pliocène (Fig n°31).

Les différents faciès obtenus, caractérisant les eaux du secteur d'étude sont :

Types de faciès	Point d'eau
Sulfaté Calcique	BN103-ENSP105-ENSP102-ENSP101
Chloruré Sodique	OMOH106-OMKH102-H1-DOS-OMJ76H1-MDH133-GPLS- GTP1-SHRM2-GTP4-GTP3-BT101-E2BH1-MD4H1- OMM102-MD18H1-GPLN-MD20H1-Base Tubing-OMN53- S1BH1
Chloruré Calcique	OMJH103
Sulfaté Sodique	MD89H1-OMPH101

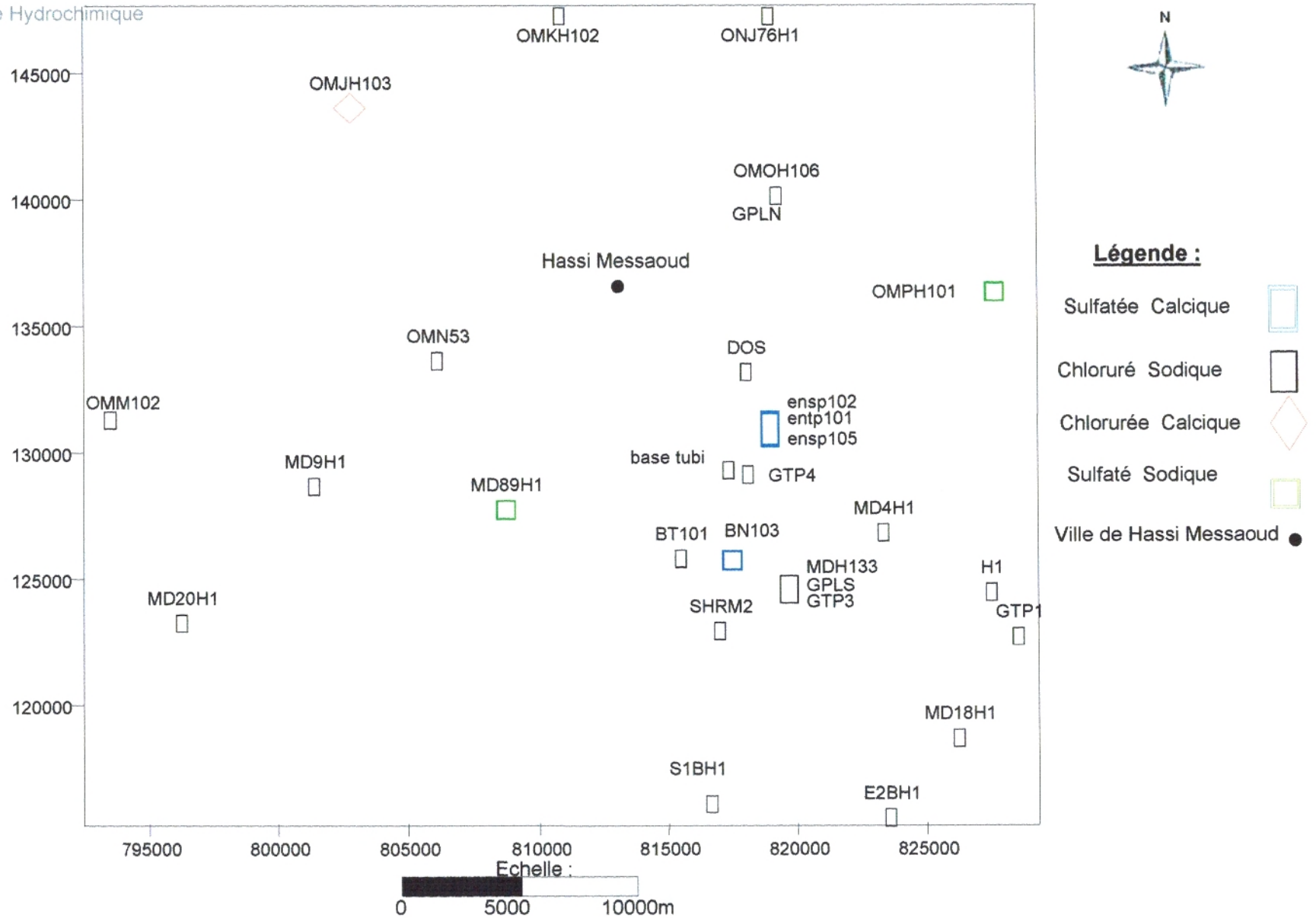


Fig n°31 : Carte caractéristique des eaux du Mio-Pliocène au niveau du Champ de Hassi Messaoud
60

CONCLUSION :

L'étude hydrochimique de la nappe du Mio-Pliocène montre que les eaux sont basiques, agressives et parfois incrustantes, dures, très riches en Sulfate, Chlorure et Sodium.

L'analyse qualitative et quantitative des différents éléments chimiques présents dans l'eau montre que cette dernière est caractérisée par une géochimie liée au système aquifère existant où l'influence de la géologie est majeure. En ce qui concerne les eaux du Mio- Pliocène, toutes sont non potables, d'après les normes de l'O.M.S, présentant une qualité mauvaise avec une minéralisation élevée, due au lessivage des formations géologiques (Argiles, Calcaires, dolomies et gypses). Cette minéralisation joue un rôle important dans la concentration des divers éléments chimiques majeurs.

Selon les normes de la classification de potabilité des eaux, les valeurs de la minéralisation dans la région d'étude varient de 1449mg/l à 4899mg/l, montrant une qualité mauvaise.

D'après les résultats des analyses chimiques, effectuées sur différents échantillons d'eau, on distingue que le faciès chimique dominant est le «Chloruré sodique», il couvre la majorité du champ de Hassi Messaoud.

La carte de salinité des eaux du Mio-Pliocène (fig n°26), montre une salinité élevée au Sud-Est et dans la partie nord-ouest, faible au centre et au Nord du champ(de l'ordre de 1000mg/l).

Bien que les forages dans le Champ de Hassi Messaoud traversent uniquement (partiellement ou totalement) les formations du Mio-Pliocène -formations Constituées par des Sables, Calcaires et Marnes- on distingue que le faciès «Chloruré sodique» est le plus dominant, ce qui nous permet de conclure que la nappe du Mio-Pliocène est alimentée par les eaux des formations du Sénonien anhydritique.

CHAPITRE V :



POLLUTION

1-INTRODUCTION :

Il est facile de se débarrasser des déchets en les jetant dans une rivière, un lac ou même sur le sol. En petite ou en grande quantité, jetés intentionnellement ou accidentellement, ils peuvent être emportés par le courant, mais ils ne disparaissent jamais. Ils réapparaissent en aval de l'endroit où ils ont été jetés, souvent sous une autre forme, ou seulement dilués. Les masses d'eau douce peuvent facilement décomposer certains de ces déchets, mais pas autant que la société d'aujourd'hui en rejette. On appelle pollution, la surcharge qui en découle et qui finit par déséquilibrer l'écosystème.

Quelquefois, la nature elle-même est à l'origine de ces déséquilibres. Dans certains cas, la composition naturelle de l'eau la rend impropre à certains usages : par exemple, l'eau qui coule dans les terres fortement salées des prairies ou qui jaillit de sources très minéralisées dans certaines régions du pays ne peut pas entretenir la vie des populations.

Mais le plus souvent, nos sources d'eau sont polluées par des déchets urbains, agricoles et industriels comprenant de nombreuses substances toxiques de synthèse que les processus naturels ne réussissent pas à décomposer. Même en quantité minime, quelques-unes de ces substances peuvent être très dommageables.

Les sources de pollution à Hassi Messaoud sont multiples, issues de l'activité pétrolière représentée, par les rejets atmosphériques des centres de traitement des hydrocarbures, les huiles déversés par les entreprises pétrolières et la boue issue lors de réalisation des forages. Cette dernière constitue une menace majeure pour les eaux du complexe terminal par un double risque de contamination, soit par infiltration des boues rejetées dans les bourbiers, ou par injection lors de réalisation des forages. A cet effet, il serait nécessaire de donner un aperçu sur ce fluide (Boue de forage).

2. GENERALITES SUR LES FLUIDES DE FORAGE :

Les fluides de forage, appelés dans le jargon du métier "Boues" sont utilisées principalement pour évacuer les débris de roches écrasées par l'outil de forage, communément appelés "Déblais". En effet, grâce à un circuit fermé, le fluide de forage est pompé, depuis la surface à l'intérieur des drill pipes (Tiges) pour ressortir au fond, à travers les orifices de l'outil et remonter à travers l'espace annulaire drill pipe et le trou, chargé de déblais. Une fois en surface, le fluide chargé est traité mécaniquement et chimiquement afin de générer ses caractéristiques chimiques et rhéologiques initiales pour le réinjecter de nouveau, par pompage dans le drill pipe.

3. ROLES DES FLUIDES DE FORAGE :

Les principaux rôles du fluide de forage sont :

- * Nettoyage du trou foré.
- * Lubrification de l'outil de forage.
- * Maintenir les parois du trou.
- * Maintenir les fluides en place dans les formations traversées.

4. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES FLUIDES DES FORAGES:

Les principales caractéristiques sont :

- La masse volumique (appelée densité par abus de langage), elle constitue un paramètre essentiel dans le maintien des parois du trou et du fluide en place dans les formations géologiques traversées.
- La viscosité : C'est la caractéristique qui permet au fluide de suspendre la matière solide et par conséquent, transporter les Déblais.

- Le filtrat : après la pénétration de la partie liquide de la boue (eau ou gasoil) dans les parois de la formation géologique, elle permet à la partie solide de se déposer sur les parois du forage, ce dépôt est appelé le cake.

5. LES PRINCIPAUX SYSTEMES DE FLUIDE :

Les principaux types de boues de forage sont:

- La boue à base eau WBM (Water base Mud - boue à base eau) : La phase liquide continue étant aqueuse.
- La boue à base huile OBM (Oil base Mud - boue à base gasoil) : La phase liquide continue étant Organique.

Chaque type de boue est utilisé pour répondre à certains problèmes lors du forage. Par exemple, les argiles gonflantes prennent du volume au contact de l'eau, risquent ainsi de coincer la garniture de forage. Pour éviter ce type de problème, la boue à base huile est utilisée pour ce genre de cas.

Pour les formations salifères, il est recommandé d'utiliser une boue à base huile ou une boue salée, saturée en sel pour éviter toute dissolution des sels de formation.

NB : la boue salée, saturée a été utilisée à Hassi Messaoud pour la phase 12''1/4, mais actuellement la Sonatrach utilise la boue à base huile, car elle favorise la forabilité de la formation traversée.

La boue à base eau est utilisée pour les terrains de surface, où il y a peu de risque de coincement.

5.1) Boue à base eau : elle est constituée de :

- Bentonite : 100 kg/m³
- Soude caustique ; 05 à 1.5kg/ m³
- Bicarbonate de soude : 05 à 1kg/ m³
- Amidon : pour contrôle de filtrat.

5-1-1) Boue salée saturée : c'est une boue très difficile à entretenir, elle est constituée de :

*Un fluide de base, solution constituée principalement de NaCl (320 kg/m³) ou de KCl₂ à diverses concentrations, pouvant aller jusqu'à la saturation.

*Colloïdes minéraux, tels que les argiles (Attapulgites : 50 à 80Kg/m³) pour leur stabilité colloïdale en milieu salé.

*La chaud, comme amincissant : 0.5 à 5 kg/m³.

*Baryte: 1400 kg/m³ (BaSO₄).

5.2) Boue à base huile : Celle utilisée à Hassi Messaoud comporte du gasoil comme phase continue. Sa formulation dépend du rapport huile/eau et de paramètres : viscosité, densité et autres ; mais pratiquement les produits cités ci-dessus entrent dans la majeure partie des cas, dans la composition de la boue :

*Gasoil, entre 0.4 et 0.9m³/m³.

*Argile Organophile, à laquelle se trouve combinée jusqu'à 5% de silice cristalline.

*Saumure de chlorure de sodium : 0.04 à 0.4m³/m³

*Emulsifiants tensioactifs.

*Chaux (agent de neutralisation de l'eau).

*Un alourdissant : Baryte/Carbonate de calcium.

6) PROGRAMME DE BOUE DE REALISATION DE FORAGE :

La réalisation d'un forage à Hassi Messaoud se fait en cinq phases, chacune avec un type de boue:

6.1) PHASE 26''.

1/Fabriquer au minimum 300 m³ de boue bentonitique de démarrage.

MW (sg)	VM (cp)	PV (cp)	YP	GEL 0/10	Filtrat	Gasoil (%)	Eau (%)	Solides (%)
1.05	100	8	54	40/58	N	-	97	3

6.2) PHASE 16''.

1/La densité de boue doit être 1.25 avant le toit du Turonien.

2/Avoir en fin de phase un rapport huile /eau entre 85/15 et 90/10.

3/Au cours du forage s'il y'a une perte de boues dans les formations, pomper Bouchon colmatant (voir terminologie en annexe).

5/A la fin de la phase, réduire la rhéologie (YP=16 à 18 lb/100ft² - voir terminologie en annexe).

6/A la remonté, s'il y'a un coincement dans le Turonien (formations calcaires avec des intercalations d'argiles), pomper bouchon d'acide.

7/A la remonté, s'il y'a un coincement dans le salifère, pomper bouchon d'eau.

Densité (sg)	VM (cp)	VP (cp)	YP	GEL 0/10	Filtrat	Gasoil (%)	Eau (%)	Solides (%)	H/E
1.20	45	21	8	4/12	5	60	28	12	68/32

6.3) PHASE 12 1/4''.

1/Homogénéiser en surface la boue afin d'avoir une densité de 2.02.

2/A la fin de cette phase, réduire la rhéologie (YP=10 à 12 lb/100ft²)

3/ Isoler la boue contaminée par le Lias dolomitique et la réintégrer à la centrale de boue à Hassi Messaoud.

MW (sg)	MV (cp)	PV (cp)	YP	GEL 0/10	Filtrat	Gasoil (%)	Eau (%)	Solides (%)	H/E
2.02	50	31	14	11/15	4.8	54	9	37	86/14

6.4) PHASE 8 ^{3/8"}.

- 1/Homogénéiser en surface la boue jusqu'à avoir une densité 1.42
- 2/A la fin de cette phase, réduire la rhéologie (YP=8 à 10 lb/100ft²).

MW (sg)	MV (cp)	PV (cp)	YP	GEL 0/10	Filtrat	Gasoil (%)	Eau (%)	Solides (%)	H/E
1.42	50	19	10	6/10	4.8	74	7	19	91/09

6.5) PHASE 6"

- 1/ densité de la boue de cette phase est de 1.15

MW (sg)	MV (cp)	PV (cp)	YP	GEL 0/10	Filtrat	Gasoil (%)	Eau (%)	Solides (%)	H/E
1.15	45	14	10	4/5	4	77	6	17	93/07

7) LE DEVENIR DES REJETS DES FLUIDES DE FORAGE :

A la sortie du puits, le fluide remonté est chargé de déblais. Une batterie d'appareils mécaniques assure l'épuration avant d'être de nouveau réinjecté. Il s'agit essentiellement de tamis vibrants, d'hydrocyclones (Voir terminologie) .

Dans la plus part des cas, ce traitement est insuffisant pour débarrasser le fluide de tous les solides forés.

Ce fluide, après un certain nombre de cycles, perd ses caractéristiques physico-chimiques ; On injecte au bourbier (généralement non étanche conçu avant le démarrage de l'activité du puits) un certain pourcentage du volume de boue qui sera remplacé par une nouvelle boue, cela est valable pour la boue à base eau, par contre la boue à base huile sera isolée et récupérée dans des citernes.

Les déblais séparés du fluide de forage sont réinjectés dans une grande excavation, réalisée à cet effet, appelée : bourbier. Il se trouve que ces rejets gardent en rétention des quantités importantes du fluide porteur par enrobage ou encapsulation.

Lorsque c'est une boue à base huile qui est utilisée, on mesure le pourcentage massique d'huile sur les déblais ou OOC% (Oil On Cuttings ou le pourcentage des huiles dans les déblais). Le OOC% dépend de la nature de la roche, des caractéristiques du fluide, de la taille et de la forme des déblais. Le OOC% est dû à la présence de deux types d'interactions.

- Liquide-solide, par absorption.
- Liquide-liquide, par interaction de type Van der Walls.

Par expérience et distillation de plusieurs types de déblais au cours du forage on admet que chaque 01m³ de déblais encapsule 01m³ de boue. Ce chiffre est multiplié par 2 à 3 lorsque le traitement n'est pas efficace.

-
- VM : Viscosité Marche (Voir terminologie).
 - VP : Viscosité plastique (Voir terminologie).
 - YP : Yield point (Voir terminologie).
 - Gel : correspond à la force de cisaillement produite par la rotation.
 - Filtrat :Est la quantité du liquide (en cm³) recueillie de la boue en 30min,sous une pression de 100psi :
 - (voir fig n°40 en Terminologie).
 - Solides : sont le produit de broyage des formations traversées, telles que les silts et les sables fins.
 - H/E : c'est le rapport entre le volume du gasoil et le volume d'eau.

6.4) PHASE 8 ^{3/8"}.

1/Homogénéiser en surface la boue jusqu'à avoir une densité 1.42

2/A la fin de cette phase, réduire la rhéologie (YP=8 à 10 lb/100ft²).

MW (sg)	MV (cp)	PV (cp)	YP	GEL 0/10	Filtrat	Gasoil (%)	Eau (%)	Solides (%)	H/E
1.42	50	19	10	6/10	4.8	74	7	19	91/09

6.5) PHASE 6"

1/ densité de la boue de cette phase est de 1.15

MW (sg)	MV (cp)	PV (cp)	YP	GEL 0/10	Filtrat	Gasoil (%)	Eau (%)	Solides (%)	H/E
1.15	45	14	10	4/5	4	77	6	17	93/07

7) LE DEVENIR DES REJETS DES FLUIDES DE FORAGE :

A la sortie du puits, le fluide remonté est chargé de déblais. Une batterie d'appareils mécaniques assure l'épuration avant d'être de nouveau réinjecté. Il s'agit essentiellement de tamis vibrants, d'hydrocyclones (Voir terminologie) .

Dans la plus part des cas, ce traitement est insuffisant pour débarrasser le fluide de tous les solides forés.

Ce fluide, après un certain nombre de cycles, perd ses caractéristiques physico-chimiques ; On injecte au bourbier (généralement non étanche conçu avant le démarrage de l'activité du puits) un certain pourcentage du volume de boue qui sera remplacé par une nouvelle boue, cela est valable pour la boue à base eau, par contre la boue à base huile sera isolée et récupérée dans des citernes.

Les déblais séparés du fluide de forage sont réinjectés dans une grande excavation, réalisée à cet effet, appelée : bourbier. Il se trouve que ces rejets gardent en rétention des quantités importantes du fluide porteur par enrobage ou encapsulation.

Lorsque c'est une boue à base huile qui est utilisée, on mesure le pourcentage massique d'huile sur les déblais ou OOC% (Oil On Cuttings ou le pourcentage des huiles dans les déblais). Le OOC% dépend de la nature de la roche, des caractéristiques du fluide, de la taille et de la forme des déblais. Le OOC% est dû à la présence de deux types d'interactions.

- Liquide-solide, par absorption.
- Liquide-liquide, par interaction de type Van der Walls.

Par expérience et distillation de plusieurs types de déblais au cours du forage on admet que chaque 01m³ de déblais encapsule 01m³ de boue. Ce chiffre est multiplié par 2 à 3 lorsque le traitement n'est pas efficace.

-
- VM : Viscosité Marche (Voir terminologie).
 - VP : Viscosité plastique (Voir terminologie).
 - YP : Yield point (Voir terminologie).
 - Gel : correspond à la force de cisaillement produite par la rotation.
 - Filtrat :Est la quantité du liquide (en cm³) recueillie de la boue en 30min,sous une pression de 100psi : (voir fig n°40 en Terminologie).
 - Solides : sont le produit de broyage des formations traversées, telles que les silts et les sables fins.
 - H/E : c'est le rapport entre le volume du gasoil et le volume d'eau.

- Le décret exécutif n°93-161 du 10/07/1993, réglementant le déversement des huiles et lubrifiants aussi bien dans le milieu naturel que dans le réseau d'assainissement.
- Le décret exécutif n°93-162 du 10/07/1993, fixant les modalités de récupération et de traitement des huiles usagées.
- Le décret exécutif n°94-43 du 30/01/1994, fixant les règles de conservation des gisements d'hydrocarbures et de la protection des aquifères.
- Décret exécutif n° 93-165 du 10 juillet 1993 réglementant les émissions atmosphériques de fumées, gaz, poussières, odeurs et particules solides des installations fixes.
- Décret exécutif n°93-184 du 27 juillet 1993 réglementant l'émission des bruits.
- Loi n° 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.
- Loi n° 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.

Les difficultés dans l'application, de la législation existante sont dues à l'absence de moyens et de manque de stratégie cohérente pour y parvenir, d'une part, ainsi que l'inexistence d'une stratégie de sensibilisation des responsables sur l'impact négatif des rejets industriels d'une manière générale, d'autre part.

Avant de passer aux procédés techniques et d'entamer un changement ou modification dans les installations d'une société, une analyse environnementale est primordiale afin d'identifier et évaluer la source de pollution.

Une analyse environnementale est un processus utilisé pour passer en revue les activités ou les opérations d'un organisme, d'identifier les impacts qui leurs sont associés, de développer et de spécifier les mesures de contrôle conséquentes.

L'Analyse environnementale Initiale constitue le fondement du Système de Gestion de l'Environnement, si elle est mal faite tout ce qui suivra sera inefficace.

7.1.2) Protection selon le point de vue technique:

L'analyse permet de faire le point sur la situation environnementale de l'ensemble des sites opérationnels des entreprises et de déceler tous les éléments qui posent problème à l'environnement dans toutes ses composantes.

Cette analyse représente la base de la mise en place du programme environnemental et tient à préciser et à mettre en œuvre un des aspects fondamentaux de la politique d'environnement des entreprises ou autre.

*** Lexique :**

▪ Environnement:

Les milieux dans lesquels les entreprises pétrolières opèrent, y compris l'air, l'eau, le sol, les ressources naturelles, la faune, la flore, les êtres humains, le matériel et le patrimoine ainsi que leur interaction.

▪ **Aspect environnemental :**

Tout élément des services, produits ou activités de l'entreprise qui inter-agissent avec l'environnement.

▪ **Impact environnemental :**

Tout changement à l'environnement, que celui-ci soit défavorable ou bénéfique, entièrement ou partiellement résultant des activités, services ou produits de l'entreprise.

▪ **Risque:**

Mesure de la probabilité qu'un accident (avec une perte substantielle) en raison de l'exposition à un danger et à la gravité de la perte consécutive, si un accident se produit.

▪ **Évaluation des risques_:**

Le processus d'analyse et d'évaluation des risques :

L'analyse des risques est l'utilisation de l'information disponible pour estimer les risques que les dangers présentent pour les individus, les populations ou l'environnement. L'analyse des risques comprend généralement les étapes suivantes :

*Définition du domaine d'application du projet.

*Détermination des dangers.

*Évaluation des risques.

L'évaluation des risques, est la détermination des indices de pondération, représentés par :

*La probabilité de subir un accident ou des pertes se produisant comme résultat de l'exposition à un danger (probabilité de l'occurrence) ;

*Fréquence d'exposition à un danger (degré d'exposition au danger) ;

*La gravité potentielle de la perte (conséquences d'une perte) résultant d'un accident ou d'un incident (sévérité de conséquence).

L'évaluation des risques est l'étape à laquelle les valeurs et les jugements entrent dans le procédé de décision, explicitement ou implicitement, incluant la prise en considération de l'importance des risques évalués et des conséquences sociales, environnementales et économiques associées afin d'identifier une gamme d'alternatives pour maîtriser les risques :

Risque Environnemental = Sévérité x Probabilité d'occurrence x Exposition

□ **Conformité réglementaire :**

Vérifie si l'étape, l'activité ou le procédé étudié, sont soumis à des restrictions réglementaires tels que :

1. Déchets industriels : Constitués par l'ensemble des :

- Outils usés de forage .
- Joints, tubing, casing, etc....
- Différentes chutes métalliques.
- Les fûts métalliques et plastiques.
- Batteries usées.

- Pneus usés.
- Bouteilles de Fréon.
- Produits chimiques utilisés dans les opérations de forage (préparation de boue).
- Métaux générés par l'activité des ateliers (pièces de rechange usagées, câbles électriques...).
- Emballage divers.

2. Déchets ménagers : Constitués par l'ensemble des :

*Ordures ménagères, générées par le nettoyage des locaux, l'activité de restauration, les fermentescibles (Aliments et autres) et les matériaux inertes (verres, métaux, plastiques).

*Encombrants (meubles machines diverses).

*Déchets de jardin.

*Différents types d'emballage (Métalliques, plastiques, bois, etc.).

*Papiers et cartons (Documents administratifs, revues, emballages etc..).

3. Déchets spéciaux :

Contiennent des éléments plus ou moins nocifs qui affectent l'environnement et la santé. Les déchets spéciaux sont traités avec précaution ;

*Les produits chimiques nocifs utilisés par les activités de l'entreprise.

*Batteries de véhicules.

*Huiles usagées.

*Huiles de cuisines.

*Bouteilles de fréon.

*Pneus.

*Fûts d'huiles.

*Lubrifiants, diluants, etc....

4. Déchets d'activité de soins :

Contiennent des éléments plus ou moins nocifs qui affectent l'environnement et la santé. Les déchets de soins sont traités avec précaution.

*Les médicaments périmés.

*Les outils et instruments médicaux.

*Seringues.

8) CONTENU DE L'ANALYSE ENVIRONNEMENTALE :

8.1) Identification des aspects environnementaux :

▪ Identification de l'ensemble des activités de l'entreprise :

Cette tâche consiste à identifier toutes les activités, procédés ou étapes d'activité de l'Entreprise, en utilisant la fiche d'analyse de l'activité ou procédé (Tableau n°12).

▪ Etablissement de bilans « entrées-sorties » pour chaque procédé, activité ou étape :

Les bilans entrées -sorties des activités et étapes permettent d'identifier dans toutes les activités, étapes ou procédés celles qui peuvent induire des impacts environnementaux.

L'établissement des flux permet de déterminer les aspects environnementaux associés à chaque procédé, activité ou étape (Tableau n°12).

8.1.1) Evaluation des aspects environnementaux :

(Tableaux n°13, n °14, n°15 et n°16).

8.1.1.1) Définition des indices de pondération :

Les indices pris en compte pour évaluer les aspects environnementaux recensés sont :

- La sévérité de la conséquence (S).
- Le degré d'exposition (E).
- La probabilité de l'occurrence (P).

*Calcul du risque environnemental (impact environnemental):

Le niveau de risque présenté par chaque aspect identifié est donné par :

Risque Environnemental = Sévérité x Probabilité d'occurrence x Exposition

8.2) Détermination des aspects environnementaux significatifs :

Une classification des aspects environnementaux recensés est effectuée selon la formulation suivante :

Aspect environnemental significatif = Conformité réglementaire x Score de l'évaluation du risque

La conformité réglementaire est notée de un à deux, si les lois ont spécifié les sources de pollution et incité les sociétés qui génèrent les produits polluants de prendre les dispositifs nécessaires pour éviter toute contamination de l'environnement. On attribue à la conformité réglementaire une note de 02 et si ce problème n'est pas régis par les lois, on attribue à cette conformité une note de 01.

Les Aspects Environnementaux de l'Entreprise, sont classés suivant les quatre groupes d'importance croissante.

Le tableau n°17, permet de déterminer, à partir des résultats de l'analyse effectuée, les aspects environnementaux relevés qui sont plus significatifs.

Tableau n° 12: Aspects environnementaux associés à chaque procédé, activité ou étape.

(ENAFOR ,2003)

GRILLES DES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX/ IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX					
	Aspect environnemental	Impacts environnementaux	Evaluation de risque	Régis par la loi	Score
1	Déversement de produits X sur le sol	Contamination des sols Contamination des aquifères Atteinte à l'habitat de la faune et flore	36	02	72
2	Rétention des fuites	Contamination des sols Contamination des aquifères	18	02	36
3	Déchets spéciaux (acide, batterie, chiffons contaminés)	Contamination des sols	60	02	120
4	Stockage des produits	Contamination des sols	60	02	120
5	Moyens de contenance des déchets	Contamination des sols	18	02	36
6	Rejets de fréon dans l'atmosphère	Pollution de l'atmosphère	12	02	24
7	Déversement de PCB sur le sol	Contamination des sols Contamination des aquifères Atteinte à l'habitat de la faune et flore	60	02	120
8	Propreté et entretien des lieux de travail	Contamination des sols	18	02	36
09	Bruit sur les lieux de travail	Impact sur la santé des travailleurs	12	02	24
10	Odeur nauséabonde sur les lieux de travail	Impact sur la santé des travailleurs	12	02	24
11	Surcharge polluante des eaux de rejets (sable, matière en suspension, déchets graisseux et autres)	Pollution des eaux Contamination des sols Contamination des aquifères Atteinte à l'habitat de la faune et flore	60	02	120
12	Contamination des déchets banals	atteinte de la matière	60	02	120
13	Mélange d'huile de table brûlée avec les eaux usées domestiques	Contamination des sols Contamination des eaux	36	02	72
14	Bruit des générateurs de courant	Impact sur la santé des travailleurs	18	02	36
15	Consommation des eaux (lavage, hygiène, entretien, refroidissement)	Epuisement de la ressource en eaux	36	02	72
16	Consommation d'électricité, fuel	Gaspillage de l'énergie	18	02	36
17	Insertion paysagère	Nuisances sonores, auditives, visuelles, atteintes à l'habitat de la faune et la flore	36	02	72
18	Emission de gaz (combustion fuel, test de puits, véhicules et engins)	Pollution de l'atmosphère et atteinte à l'environnement périphérique	36	02	72

Tableau n° 13 : **Sévérité de la Conséquence (ENAFOR ,2003).**

VN	Sévérité de la Conséquence
1	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de blessé, dégât ou autres conséquences négatives. • Environnement - rejets réutilisables • Environnement - impact limité à la zone de travail
2	<ul style="list-style-type: none"> • Personne –blessé de premier secours, pas de temps perdu ou d'incapacité; • Biens – Dégât mineur, travail au ralenti, indisponibilité de l'équipement pour quelque temps; • Environnement - dégagement continu ou petit déversement; • Réputation - impact léger.
3	<ul style="list-style-type: none"> • Personne - un ou plusieurs blessés de temps perdu, pas d'incapacité; • Biens -dégât modéré, travail au ralenti, indisponibilité de l'équipement pour un temps; • Environnement - petite décharge non continue ou déversement; • Environnement - nuisance environnementale limitée à 100m • Réputation – impact mineur, pourrait exiger une réparation.
4	<ul style="list-style-type: none"> • Personne – un ou plusieurs blessés graves, incapacités; • Pollution significative de l'environnement coûts de rétablissement important • Biens – dégât majeur ayant pour résultat un arrêt de travail significatif ou indisponibilité de l'équipement pour un temps • Environnement - pollution significative coût de rétablissement important
5	<ul style="list-style-type: none"> • Personnes – un ou plusieurs morts; • Biens – Perte de l'équipement critique ou d'installations, interruption majeure des affaires; • Environnement : déversement ou éruption énorme non contenue, et impact environnemental majeur • Réputation : perte de crédibilité assez sérieuse auprès des clients et du public. Impact grave et perte d'activité.

Tableau n° 14: **Degré de l'Exposition aux risques (ENAFOR ,2003).**

VN	Degré de l'Exposition (Estimé en termes de personnes, biens, environnement, ou réputation)
1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pas d'exposition, 2. Exposition rare (une fois par an ou moins).
2	<ol style="list-style-type: none"> 3. Exposition en dessous de la moyenne, 4. Quelques fois par an.
3	<ol style="list-style-type: none"> 5. Exposition occasionnelle, 6. Peut-être une fois par mois.
4	<ol style="list-style-type: none"> 7. Exposition fréquente, 8. Peut-être une fois par semaine.
5	<ol style="list-style-type: none"> 9. Exposition continue, 10. Une fois par jour ou plus

Tableau n° 15: **Probabilité d'Occurrence (ENAFOR ,2003).**

VN	Probabilité d'Occurrence
1	<ul style="list-style-type: none"> • Occurrence pratiquement impossible, • Jamais avoir entendu parler en industrie.
2	<ul style="list-style-type: none"> • Concevable, mais très improbable, • Pourrait se produire en industrie.
3	<ul style="list-style-type: none"> • Possible, • Inhabituelle, mais s'est produite en industrie.
4	<ul style="list-style-type: none"> • Probable, • Se produit en industrie à une fréquence de 5-10 ans.
5	<ul style="list-style-type: none"> • Très probable, • Occurrence imminente.

*Les eaux de rejets, dues aux lavages et qui peuvent atteindre 12000m³ pour un puits pétrolier horizontal à Hassi Messaoud. (D'après le bilan de rejets d'un puits horizontal à Hassi Messaoud).

*Les rejets de ciment, lors des opérations de cimentation des tubages.

*Les déversements accidentels d'huiles de vidange.

*Quantité de boue éjectée lorsque cette dernière devient contaminée par l'eau de formation.

Exemple : l'eau du LD2 (Lias dolomitique, au niveau du LD2, il y a risque de venues des eaux chlorurées calciques enfermées dans les dolomies du LD2 (Rapport Sonatrach,2000).

Exemple : Bilan de rejet d'un puits vertical à Hassi Messaoud (Rapport Sonatrach, 1998)

- Solides forés à base d'huile.....	250m ³
- Solides forés à base d'eau	350m ³
- NaCl rejeté	100T
-Volume d'huile rejeté	100m ³
-Eau polluée	5000m ³

***DANS LE SOUS-SOL :**

D'autres formes s'ajoutent à la pollution de surface :

*Les quantités d'eau de filtrat.

*Les pertes de boue dans des formations géologiques fracturées (fig n°19 et le Tableau n°02 en annexe).

9.1.2) Calcul du risque environnemental du rejet liquide :

D'après le régime de déversement des rejets liquides à Hassi Messaoud et d'après les canevas de l'environnement on peut classer les paramètres suivants à des niveaux :

-Le déversement des rejets liquides est non continu suivant la réalisation des forages donc la sévérité de la conséquence égale à 03 (Tableau n°13).

-D'après le rapport de la Sonatrach sur la contamination du sol, La probabilité d'occurrence sur la contamination de la nappe est de niveau 05 (Tableau n°15).

-Etant donné que la nappe phréatique est en contact direct avec le sol, le degré d'exposition au danger est de 05 (Tableau n°14).

D'après la formule du risque environnemental et l'évaluation des niveaux des paramètres environnementaux ; le risque environnemental est de 75, cette valeur montre que le site de réalisation du forage au champ de Hassi Messaoud est exposé à un niveau de risque moyen (Tableau n°16).

NB : Bien que les déversements des rejets liquides dans les puits pétroliers sont ponctuels, mais vue que leur réalisation à Hassi Messaoud est intense, on peut considérer ces déversements comme une source de pollution continue et par conséquent, la sévérité de la conséquence égale à : 05, ce qui donne un risque environnemental égal à 125. Hassi Messaoud est donc exposé à un risque d'environnement élevé.

Vu la loi n° 83 du 03 et 05 février 1983 , le décret exécutif n° 90-78 du 27/02/1990 et le décret 93 -161 du 10/07/1993 relatifs à la protection de l'environnement et le sol, nous incitons de donner à la conformité réglementaire une note de 02 et par conséquent l'aspect environnemental significatif est de 250 où l'Aspect Environnemental est prioritaire et les autorités concernées doivent prendre les dispositifs adéquats pour remédier à ce problème de pollution (Tableau n°17).



Photo n°1: **Etat d'un Bourbier à Hassi Messaoud**

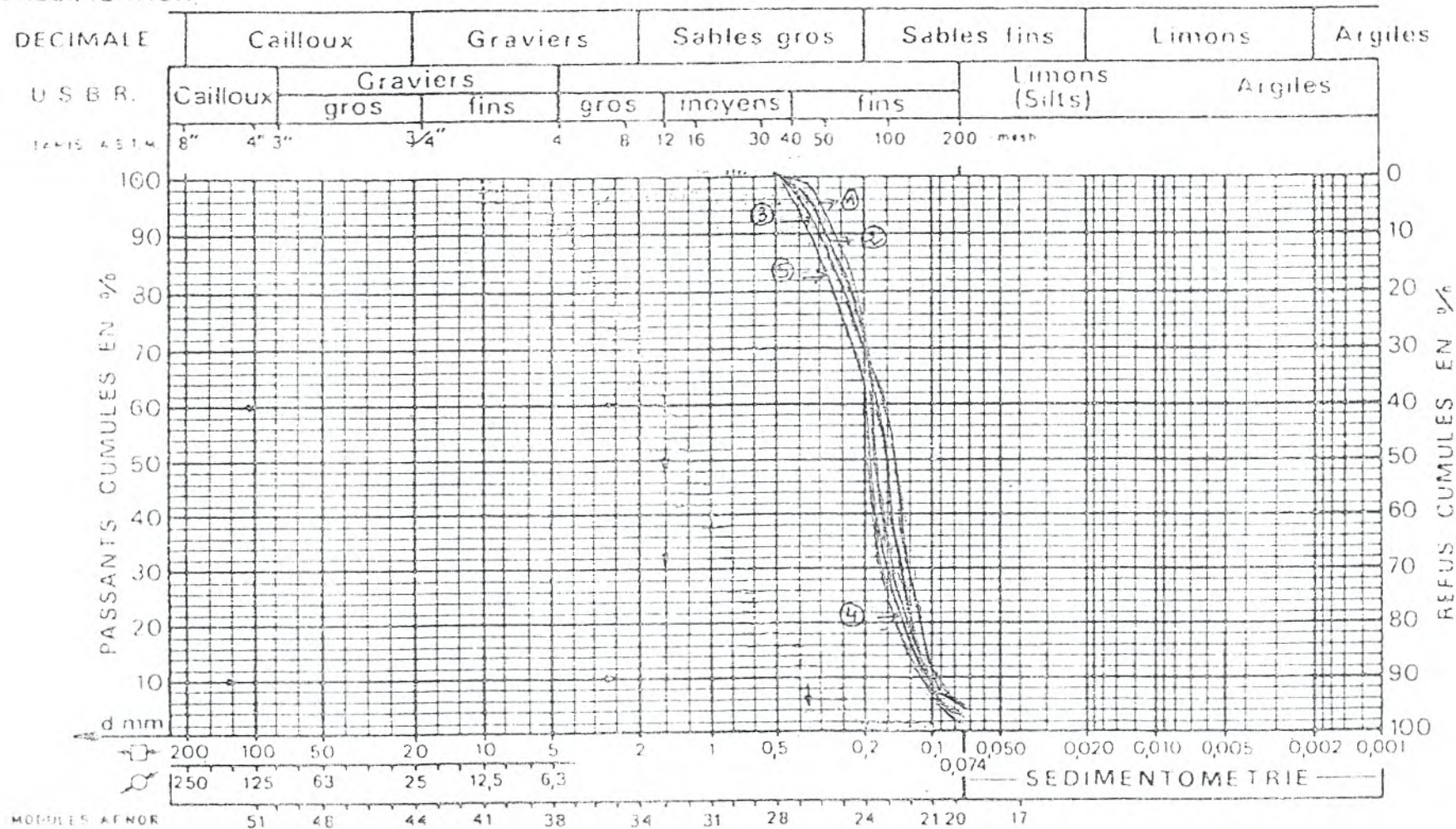


Photo n°2: **Polluants inertes**



Photo n°3: **Polluants actifs**

CLASSIFICATION



- 1 : Echantillon de Sable de la partie Sud du Champ Hassi Messaoud.
- 2 : Echantillon de Sable de la partie Nord du Champ Hassi Messaoud.
- 3 : Echantillon de Sable de la partie Est du Champ Hassi Messaoud.
- 4 : Echantillon de Sable de la partie Ouest du Champ Hassi Messaoud.
- 5 : Echantillon de Sable de la partie Centre du Champ Hassi Messaoud.

Fig. 39. Analyse granulométrique du sol du Miopliocène dans le Champ de Hassi Messaoud.

Différentes étapes sont nécessaires à la mise en place de ce modèle :

- 1- Déterminer la disponibilité des informations pour quantifier les facteurs de la méthode.
- 2- Déterminer une côte spécifique à chaque secteur de la zone d'étude.
- 3- Attribuer un poids et différents indices à chaque facteur.
- 4- Combiner les côtes de chaque paramètre pour produire un indice de sensibilité et cela pour tous les secteurs de la zone d'étude.

L'introduction d'un système de cotation numérique pour chaque classe de paramètre et un poids d'importance pour chaque paramètre permet d'évaluer les variations de la vulnérabilité. Une des limitations de ce type de méthode réside dans le fait qu'elle n'inclut pas de facteurs particuliers déterminant la sensibilité spécifique d'un aquifère à un polluant (ZEROUALI & EL MESLOUHI, 2005).

Elle considère sept paramètres, chaque première lettre d'un paramètre constitue le nom de la méthode. A chaque paramètre est attribué une échelle comprenant des intervalles où une côte est attribuée selon la particularité du milieu. Par exemple, plus la profondeur de la nappe est grande, plus la côte est faible. Chacun des sept paramètres est ensuite affecté d'un facteur multiplicatif (Dp) fixe de 1 à 5 qui augmente selon l'importance du paramètre dans l'estimation de la vulnérabilité.

Les paramètres utilisés sont: (D) profondeur du plan d'eau (**Depth to water**), Le paramètre profondeur (Depth) : Est l'un des deux plus importants paramètres dans la méthode DRASTIC avec une pondération (Dw) de 5 (Tableau n°20). La méthode DRASTIC donne aussi une note à chaque profondeur du niveau statique (Tableau n°15 en annexe)

(R) recharge nette (**net Recharge**). Le paramètre Recharge présente une pondération (Rw) de 4 dans la méthode DRASTIC (Tableau n°20). La méthode DRASTIC donne aussi une note à chaque lame d'eau de recharge (Tableau n°16 en annexe)

(A) lithologie de l'aquifère (**Aquifer media**) .Le type d'Aquifère : présente une pondération (Aw) de 3 (Tableau n°20). La méthode DRASTIC donne aussi une note à chaque type de sol (Tableau n°17 en annexe)

(S) sol de couverture (**Soil media**). Le type de Sol présente une pondération (Sw) de 2 (Tableau n°20). La méthode DRASTIC donne un inventaire des différents types de sols (Tableau n°18 en annexe) (ZEROUALI & EL MESLOUHI, 2005)

(T) La Topographie (**Topography**) : Est l'un des paramètres le moins important avec une pondération (Tw) de 1 (Tableau n°20). L'indice est à spécifier en fonction du pourcentage de pente dont les valeurs de référence vont de 0 à 18% (Tableau n°19 en annexe).

(I) lithologie de la zone non saturée (**Impact of the vadose zone**) : Représente la lithologie de la zone non saturée c'est le paramètre le plus important pour le modèle DRASTIC. En effet, on lui a donné une pondération (I) de 5. (Tableau n°20). La méthode DRASTIC donne aussi une note à chaque type de sol de la zone non saturée (Tableau n°20 en annexe).

(C) perméabilité de l'aquifère (**Hydraulic Conductivity of the aquifer**). La Conductivité hydraulique a une pondération (Cw) de 3 (Tableau n°20). La méthode DRASTIC donne aussi une note à chaque plage de perméabilité de l'aquifère (Tableau n°21 en annexe)

L'indice DRASTIC résulte de la somme des scores (notes) des facteurs de vulnérabilité multipliés par leurs poids respectifs :

$$Di = Dr Dw + Rr Rw + Ar Aw + Sr Sw + Tr Tw + Ir Iw + Cr Cw$$

La vulnérabilité augmente avec l'indice. Il est possible d'utiliser cette méthode pour les nappes captives et pour les nappes libres. Par contre, l'évaluation se fait séparément. La gamme possible de valeurs de vulnérabilité se retrouve entre 23 et 226. Les valeurs sont regroupées en huit classes. Les conditions d'utilisation de la méthode DRASTIC sont les suivantes :

- 1) Le contaminant est introduit à la surface du sol.
- 2) Le contaminant arrive aux eaux souterraines par infiltration.
- 3) La vitesse du contaminant est liée à la mobilité de l'eau.
- 4) La zone à évaluer est d'au moins 0,4 km².

Les différentes phases de l'élaboration de la carte de vulnérabilité sont décrites comme suit :

* Création de base de données :

-Etablissement d'un maillage selon la limite de la région d'étude. La technique consiste à découper la superficie de la zone d'étude en unités élémentaires de dimension 500 x 500 m chacune. L'application de ce découpage par le logiciel Surfer nous a permis de limiter notre zone d'étude :

$$\begin{cases} X_{\min}=790000 \\ X_{\max}=840000 \end{cases}$$

$$\begin{cases} Y_{\min}=110000 \\ Y_{\max}=150000 \end{cases}$$

-Attribution d'un score pondéré pour chaque maille selon la méthode DRASTIC pour les sept paramètres, en respectant leurs répartitions spatiales : à chaque paramètre on donne une cote variant entre 1 et 10 en fonction du degré de son impact sur la pollution de l'aquifère (Tableau n° 17). Ces derniers seront pondérés par un facteur multiplicatif fixe de 1 à 5 qui reflète le degré d'influence de chacun d'eux dans l'estimation de la vulnérabilité (Tableaux n°15, n°16, n°17, n°18, n°19, n°20, n°21 & n°22 en annexe).

Ce risque augmente avec la valeur de l'indice. Il peut prendre une valeur maximale de 226 et une valeur minimale de 23. Le tableau n°21 qualifie la valeur de l'indice en terme de degré de vulnérabilité.

Tableau n°21 : **Indice DRASTIC et degré de vulnérabilité (Fréchette 1987).**

Intervalle de l'indice DRASTIC	Degré de vulnérabilité
23 à 84	Vulnérabilité très faible
85 à 115	Vulnérabilité faible
115 à 145	Vulnérabilité moyenne
146 à 175	Vulnérabilité élevée
176 à 226	Vulnérabilité très élevée

Ainsi pour les sept paramètres DRASTIC ,on note :

-Profondeur du plan d'eau : La carte des profondeurs (Fig n°33), établie à partir des relevés des niveaux statiques de l'année 2003, montre que les profondeurs du plan d'eau varient de faibles à moyennes ; allant de 09m à 48 m.

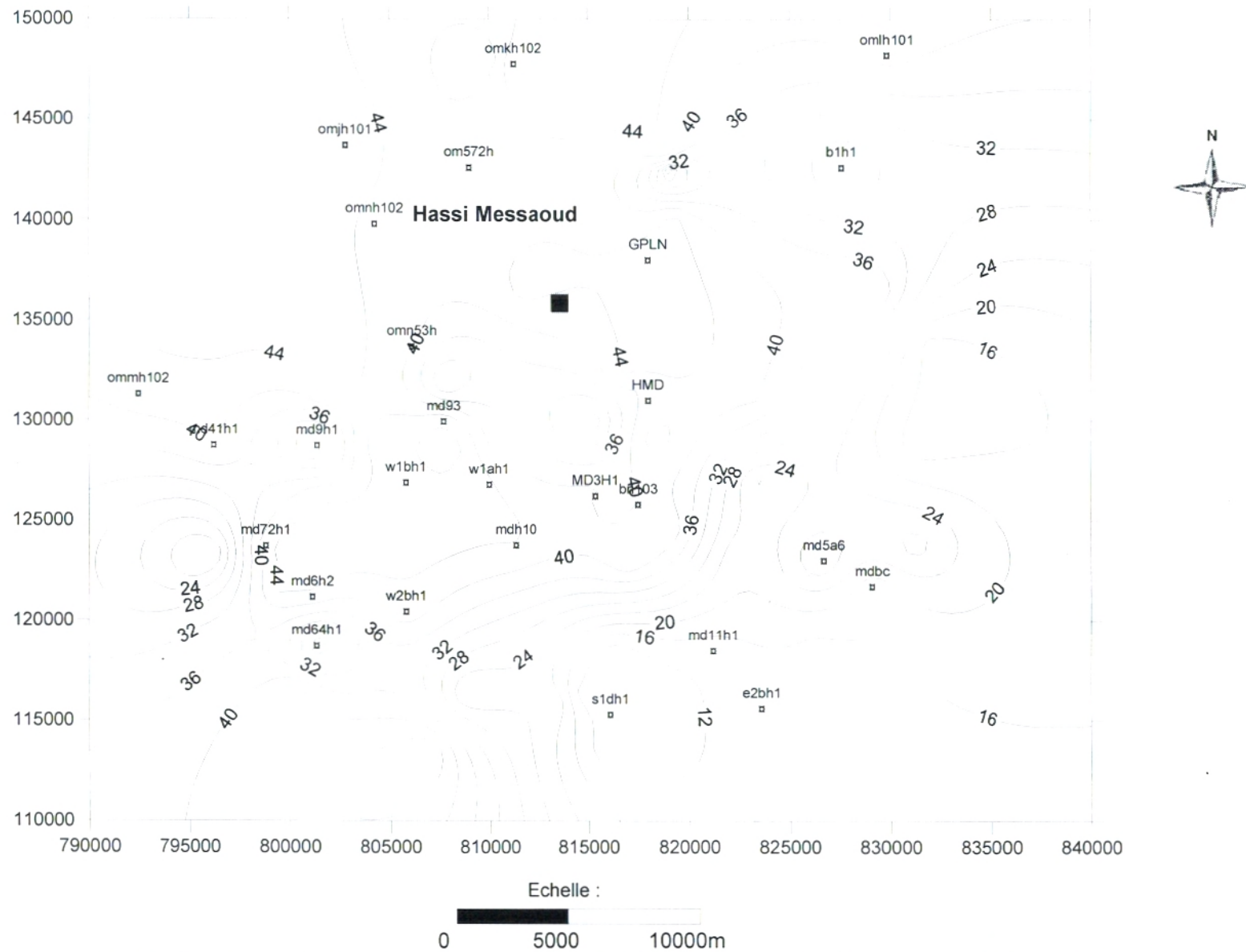


Fig n°33 : Carte de profondeurs de la nappe du Mio-Pliocène au niveau du Champ de Hassi Messaoud.

Les données recueillies de la carte des profondeurs du niveau statique (2003), le tableau des classes et notes retenues pour la méthode DRASTIC, nous ont permis de subdiviser ces données en cinq classes (05).

Après avoir répartis le Champ de Hassi Messaoud en maille de 2.5Km², pour chaque classe on a attribué une note, puis pour chaque maille on a attribué un indice de profondeur soit: **Dr Dw** (Tableau n°01 sur CD).

- Recharge nette: L'étude climatique a montré une faible précipitation moyenne de 35.92mm. Seules les très rares pluies torrentielles peuvent intervenir dans la réalimentation directe des nappes par infiltration. D'après cette recharge, on peut attribuer à cette dernière une côte de 01 suivant le tableau n°16 cité en annexe.
- Lithologie de l'aquifère : D'après les études géologiques et hydrogéologiques réalisées dans le champ de Hassi Messaoud, la nappe du Mio-Pliocène est constituée essentiellement par des sables. On donne à ce paramètre une côte de 08 suivant le tableau n°17 en annexe.
- Sol de couverture : La couverture pédologique dans le champ de Hassi Messaoud est de type sableux, et par conséquent, la côte qu'on peut lui attribuer est de 09 suivant le tableau n°18 en annexe.
- Topographie : Les boues issues de l'activité pétrolière seront piégées dans des Bourbiers où s'infiltreront directement dans le sous-sol, sans être propagées. Pour cela, on a attribué au facteur pente, une côte de 10 (Tableau n°19 cité en annexe).
- La zone non saturée, son impact est déterminé à partir de la texture des terrains qui la constituent. Les forages qui ont traversé la nappe phréatique du Mio-Pliocène montrent que la lithologie de la zone non saturée est du sable. Par conséquent, nous avons donné à ce facteur une note de 08 (Tableau n°20 en annexe).
- Perméabilité de l'aquifère : par manque de données de perméabilité dans la zone d'étude, on s'est limité sur la valeur de la perméabilité des sables (lithologie de l'aquifère du Mio Pliocène du Champ de Hassi Messaoud). Le tableau n°22, en annexe donne une plage de perméabilité pour les sables allant de $2 \cdot 10^{-4}$ à 10^{-6} m/s. La lithologie de l'aquifère du Mio-Pliocène à Hassi Messaoud est constituée principalement par des Sables à porosité très importante, ce qui nous amène à lui donner une perméabilité de $2 \cdot 10^{-4}$. Cette dernière a permis de donner au facteur de perméabilité une côte de 04 suivant le tableau n° 21, cité en annexe.

d) Détermination de l'indice DRASTIC et élaboration de la carte de vulnérabilité :

L'étude des facteurs qui favorisent l'évaluation du potentiel de pollution des eaux du Mio-pliocène par la méthode DRASTIC, a montré que la majorité de ces paramètres sont constants dans la région d'étude, hormis la profondeur de la nappe (niveau statique) qui représente le seul facteur qui varie d'une maille à une autre (Tableau n°01 sur CD). Il faut noter que le déversement des rejets liquides d'activité pétrolière présente le seul menace de contamination pour les eaux de cette nappe. Ces rejets sont déversés dans un borbier conçu à cet effet, où sont piégés et infiltrés sans être propagés et par conséquent, à chaque maille nous lui avons attribué une côte de 10, pour le paramètre Topographie.

L'application de la formule DRASTIC sur ces paramètres à l'exception du paramètre profondeur de la nappe, a donné une valeur de 108.

L'addition du résultat des six paramètres avec celle de la profondeur de la nappe ,pour chaque maille, a donné l'indice DRASTIC (Tableau n°02 sur CD)

Les données numériques des paramètres cités ci-dessus pour chaque maille (Tableau n° 02 sur CD), ont généré une carte de vulnérabilité et d'après Fréchette (Tableau n°21),la nappe du Complexe Terminal à Hassi Messaoud est exposée à un degré de vulnérabilité faible à moyen.

Toute fois, nous avons constaté que la zone du CIS (Centre industriel sud) a été contaminée en 1994 (Tableaux n°18 et n°19) , c'est une zone où l'indice DRASTIC est l'un des plus faible dans le Champ de Hassi Messaoud (Fig n°34).

Aussi, nous proposons pour le champ de Hassi Messaoud, une autre classification dans laquelle la vulnérabilité est élevée à partir de l'indice DRASTIC ,égale à 113 (Tableau n°22).

Tableau n°22: **Intervalles des indices DRASTIC et degré de vulnérabilité adopté pour le Champ de Hassi Messaoud.**

Intervalle	Degré de vulnérabilité
113-128	Vulnérabilité élevée
128-143	Vulnérabilité très élevée

Nous obtenons par conséquent, une carte de vulnérabilité (Fig n°35) qui comporte deux zones :

*Une zone à vulnérabilité très élevée au Sud-Est, représentant 7,52% de la superficie du secteur.

*Une zone à vulnérabilité élevée, dans le reste du secteur.

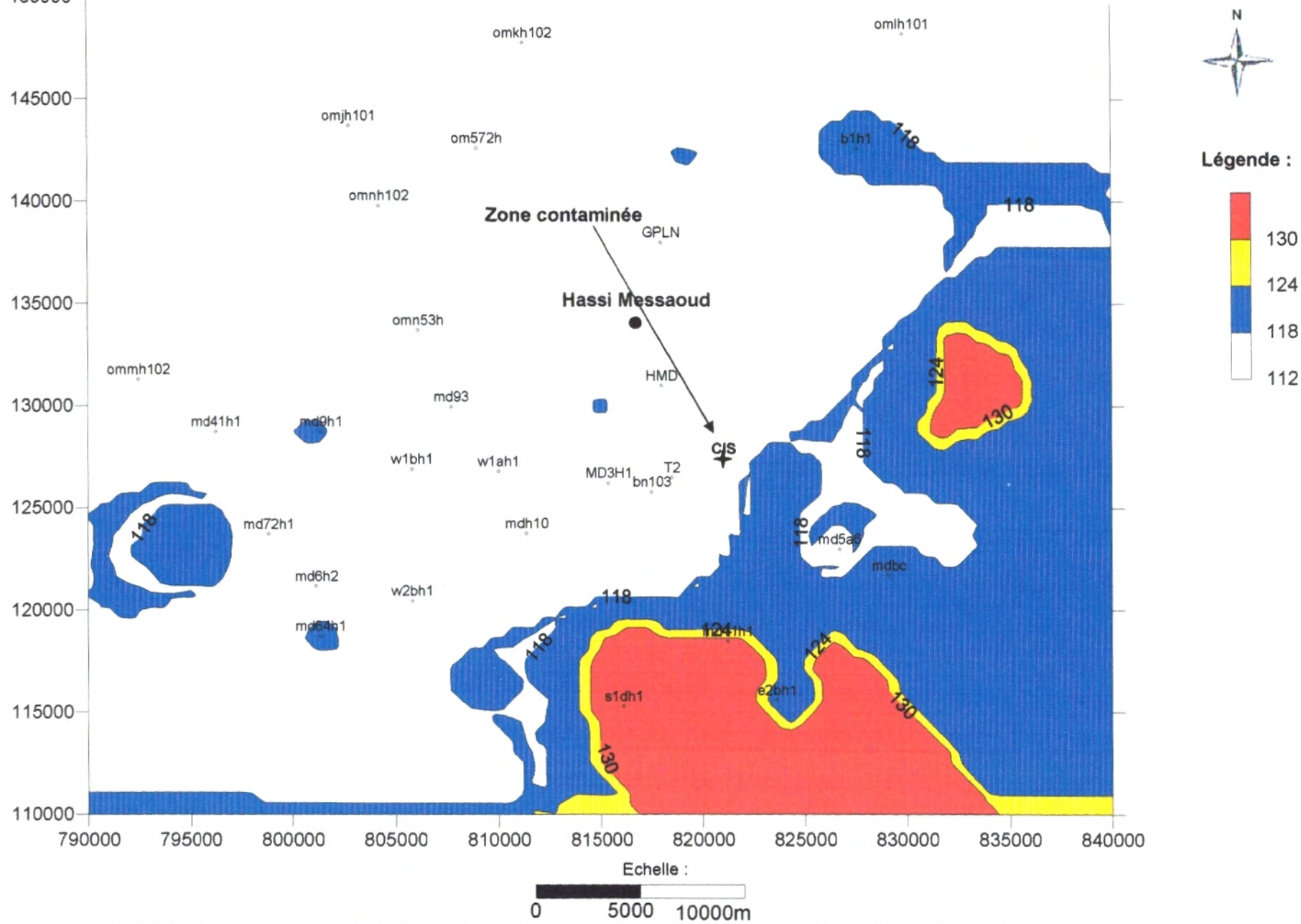
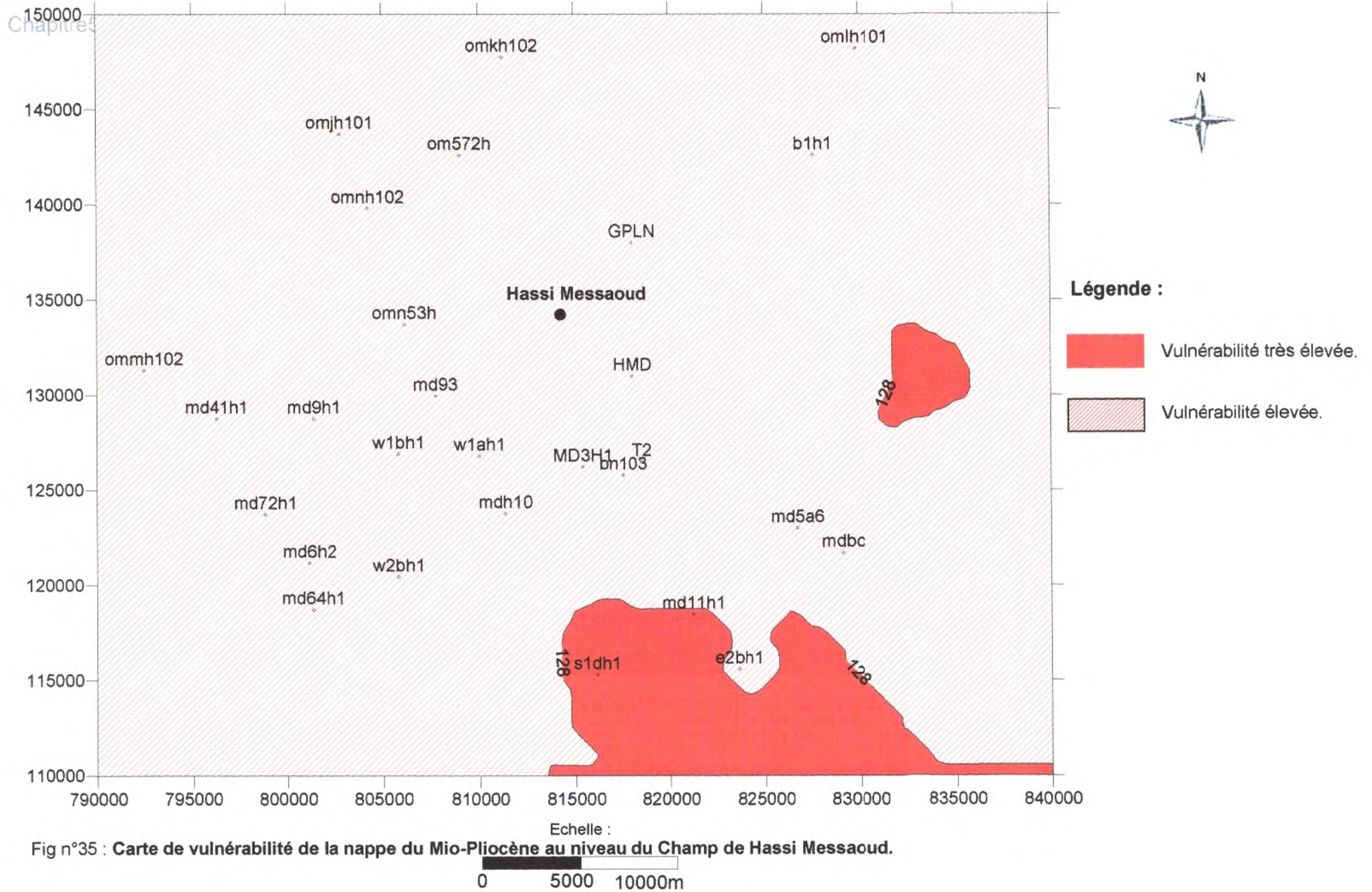


Fig n° 34 : Carte des indices DRASTIC de la nappe du Mio-Pliocène au niveau du Champ de Hassi Messaoud.



CONCLUSION :

Le champ de Hassi Messaoud a connu ces dernières décennies une augmentation du rythme de réalisation, exploitation des hydrocarbures, installation des sociétés étrangères et étatiques ce qui a provoqué une croissance de la population de la ville de Hassi Messaoud.

L'utilisation des produits chimiques et toxiques dans la réalisation des puits pétroliers, l'infiltration des eaux issues de l'activité industrielle et l'infiltration de la boue au cours du forage augmentent le risque de contamination de la nappe phréatique .

Les analyses physico-chimiques et bactériologiques effectuées sur le puits témoin Pt et les eaux du borbier au cours de la réalisation du forage pétrolier en 1994, montre une contamination des eaux du Mio-Pliocène, par contre l'analyse effectuée en 2002 montre la disparition de ces éléments toxiques, ce qui amène à déduire une migration de ces éléments.

L'estimation du volume liquide déversé dans la nature pour un puits vertical à Hassi Messaoud est de 24166m^3 ,en moyenne pour l'année 1998, ceci nous donne une idée sur le volume liquide déversé depuis le premier puits réalisé jusqu'à nos jours, soit plus de 1700 puits.

D'autres volumes liquides viennent s'ajouter aux volumes déversés issus de la réalisation des puits pétroliers, c'est les eaux de l'activité industrielle, telle que les centres satellitaires sud et nord de Hassi Messaoud.

Malgré les lois qui obligent les sociétés pétrolières de prendre les dispositifs suffisants pour protéger notre environnement, l'application reste au-dessous des exigences.

La carte de vulnérabilité établie par la méthode DRASTIC et d'après Fréchette, le Champ de Hassi Messaoud est exposé à un degré de vulnérabilité faible à moyen, mais vue la contamination de la zone où l'indice DRASTIC est plus faible ,on peut lui attribuer un degré de vulnérabilité élevé.

La carte de vulnérabilité élaborée montre que le champ de Hassi Messaoud est vulnérable à très vulnérable à la pollution.

L'utilisation des produits chimiques et toxiques dans la réalisation des puits pétroliers, l'infiltration des eaux issues de l'activité industrielle et l'infiltration de la boue au cours du forage, sont les facteurs de risque de contamination de la nappe. Les analyses physico-chimiques et bactériologiques effectuées sur les eaux du puits témoin Pt et les eaux du borbier, au cours du réalisation du forage pétrolier en 1994 montre une contamination de cette nappe.

L'estimation du volume liquide déversé dans la nature pour un puits vertical à Hassi Messaoud est de 24166m³ en moyenne pour l'année 1998, ceci nous donne une idée sur le volume liquide déversé depuis le premier puits réalisé jusqu'à nos jours, soit plus de 1700 puits. D'autres volumes Liquides viennent s'ajouter aux volumes déversés issus de la réalisation des puits pétroliers, c'est les eaux de l'activité industrielle, telle que les centres satellitaires sud et nord de Hassi Messaoud.

Malgré les lois qui obligent les sociétés pétrolières de prendre les dispositifs suffisants pour protéger notre environnement, l'application reste au-dessous des exigences.

La carte de vulnérabilité montre que les régions sud et est ont un degré de vulnérabilité très élevé, tandis que les autres zones ont des degrés de vulnérabilité élevés.

Afin de préserver notre source d'eau de toute contamination par les produits de l'activité pétrolière, on doit prendre certaines précautions citées comme suit:

1. Utiliser des citernes pour séparer les différents types de fluides contaminés (exp : les boues KCI, les fluides du lavage de l'appareil, de fracturation et de complétion).
2. Renforcer les équipements de contrôle des produits solides (exp. l'Hydrocyclone*) pour réduire le volume de la boue déchargée aux borbiers.
3. Utiliser moins d'éléments toxiques dans la boue de forage (Utiliser les produits à base organique exp : l'amidon).
4. Le tubage doit être conçu pour résister à la corrosion et doit être bien cimenté pour éviter tout contact entre l'eau de l'aquifère et le fluide de forage.
5. Eviter l'utilisation des fluides de forage à base huile.
6. Utiliser des fluides de forage à base d'eau qui contiennent surtout de la Bentonite ou de l'argile naturelle pour empêcher les pertes de fluide dans les couches aquifères.
7. Prendre les mesures de précaution appropriées lors d'un forage dans des endroits où la vulnérabilité de la couche aquifère est élevée.

*Hydrocyclone : voir terminologie

8. Utiliser les appareils vert-G dryer (Photo n°07) pour récupérer la partie liquide encapsulée dans les déblais ou ces derniers seront transformés en poudre (Photo n°08). Cette appareil est utilisée par la société Anadarko dans le Champ de Hassi Berkine.

Exp : voir le volume de la boue récupérée par la compagnie Anadarko pour un puits pétrolier à Hassi Berkine, par l'utilisation de la Vert-G dryer (Tableau n°23).

9. la protection de notre environnement: Ceci ne peut être requis sans l'organisation des réunions d'information pour sensibiliser le personnel du chantier.

10. Restauration du site: le site doit être nettoyé à la fin des travaux et remis dans l'état où il a été avant la réalisation du puits. Cette remise à l'état initial doit être constatée et consignée dans un procès verbal.

11. A la fin, ces dispositifs ne peuvent être appliqués sur le terrain que par l'assistance permanente des agents du ministère de l'environnement ,sur site.

Tableau n°23: Volume récupéré de la boue à base huile pour un puits pétrolier à Hassi Berkine, par la compagnie Anadarko, lors de l'utilisation de la Vert-G dryer.

Volume moyen	12 ¼ Section			8 ½ Section			6" Section		
	Volume puits (Baril)	Volume perdu (Baril)	Volume Récupéré (Baril)	Volume puits (Baril)	Volume perdu (Baril)	Volume Récupéré (Baril)	Volume puits (Baril)	Volume perdu (Baril)	Volume Récupéré (Baril)
	963	630	552	178	112	98	33	26	22



Photo n°07 :Appareil Vert G Dryer.



Photo n°08 : Etat des déblais, après traitement.

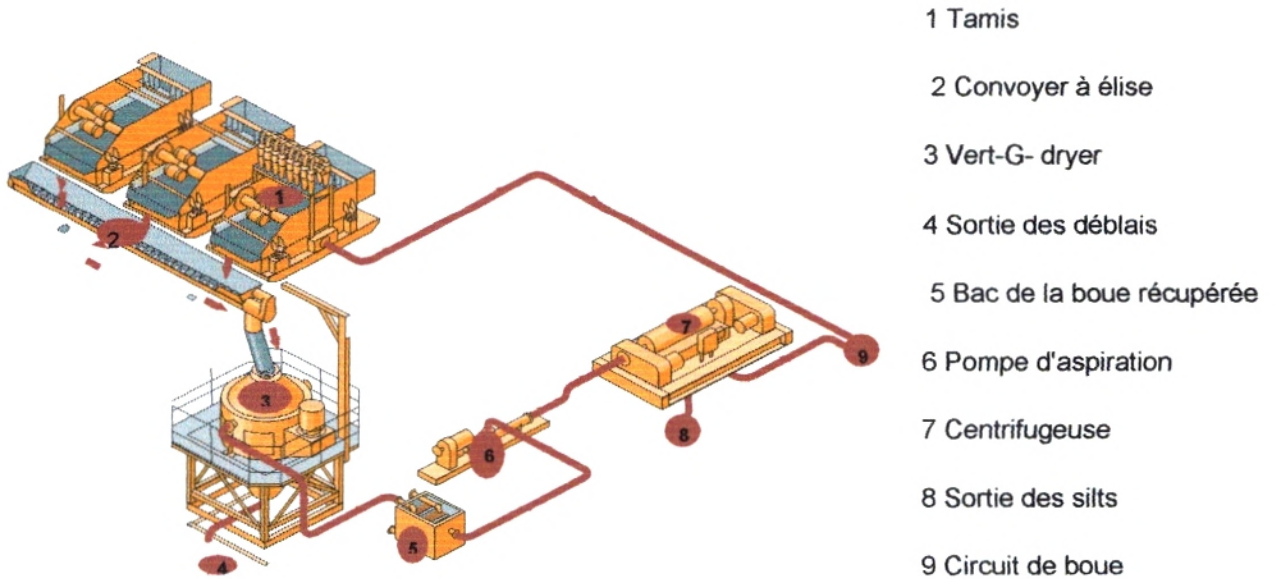


Fig n° 36: Schéma du circuit de la boue de forage.

❖ Mode de fonctionnement de la machine:

La boue s'infiltré à travers les tamis et rejoint les réservoirs du circuit de la boue, les déblais tombent dans le convoyeur à élises et rejoint la vertigineuse (machine tourne 1000 tours à la minute) par la suite, la boue enrobée par les déblais sera récupérée, et le reste sera calciné et devient une poudre. (Photos citées ci- dessus), la boue sera récupérée dans un bac et sera traitée par une centrifugeuse pour éliminer les solides (les silts), après ces opérations, la boue rejoint le circuit à boue.



BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- ADNANE S, MOULLA A.(2005) – Aperçu de quelques résultats d'hydrologie isotopique importants obtenus au Sahara algérien. Colloque international, 13-14/12/2005, Ouargla, Algérie.
- AZHIMI M, LAHRACH A & KACIMI H.(2005) - Prédiction de la distribution spatiale de la vulnérabilité à la pollution de la nappe du cause d'Imouzer Kandar en utilisant le système d'information géographique : évaluation par les méthodes Drastic et God .Congrès International MAMERN, 13 et 14 mai 2005,Oujda, Maroc.
- BABA SY M. (2003)- Recharge et Paléo recharge du Système Aquifère du Sahara Septentrional. Thèse. Doct en Géologie.Univ/ Tunis ,El Manar,Tunisie,271P.
- BABA SY M, BESBES M.(2006)- Holocene recharge and present recharge of the Sahara aquifers. Colloque international, du 30/05/2006 au 01/06/2006 ,Dijon, France.
- BEL F, DEMARGNE F. (1966) -Etude géologique du Continental Terminal .Rapp. Interne. DEC, ANRH, Alger, Algérie,20P.
- BIED-CHARRETON M .(2003) - Système Aquifère du Sahara Septentrional. Rapp. Interne ,110P.
- BRGM. (2002) -Cartographie de la vulnérabilité des nappes de Grande-Terre et de Marie-Galante ; Guadeloupe, France. Edit 2002, 45060 Orléans, Cedex 2 ,France,75P.
- CIRESS. (2005) - Exploitation des ressources hydriques dans l'activité pétrolière .Colloque international sur les ressources en eau souterraines au Sahara., présenté par Hassan A ,le 13 et le 14 décembre 2005,Ouargla, Algérie.
- DOCCA M, BELMECHERI A & AL .(2000) - Géologie de l'Algérie. Rapp .Interne .Division. Exploration, Sonatrach /Hassi Messaoud, Ouargla, Algérie, 93P.
- DUBIEF J. (1953) -Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Inst. Météorologie et Physique du Globe de l'Algérie. Serv. Etudes .Scient /Alger, Algérie, 451P.
- ENAFOR .(2003) - Analyse environnementale initiale de l'entreprise nationale de forage, direction HSE pour l'obtention IZO 9001-2000. Rapp. Interne.Sonatrach /Hassi Messaoud, Ouargla, Algérie,48P.
- GEFLI. (1978) - Survey for the development of the Central Wadi Zone & Golf of Sirte ; Groudwater Resources . Final. Synthesis. Report /Tome.1, Tripoli, Libye, 151P.
- IDROTECNECO. (1982b) -Hydrgeological study of Wadi Ash Shati , Al Jufrah and Jabal Fezzan area. Annexe.1: Geology, Geometry of reservoirs.Rapp.Interne.Tripoli, Libye, 45P.
- LATRECH D. (2005) -Gestion concertée d'une ressource partagée; Cas du système aquifère du Sahara septentrional. Colloque international, 12 et 13 décembre 2005 ,Ouargla, Algérie.
- LEVASSOR A. (1975) - Etablissement d'un modèle de gestion et de mise en valeur des nappes aquifères du Complexe Terminal . Rapp. Interne .ENSMP-INRH- ANRH/ Alger, Algérie, 90P.
- LOUNIS S , DAOUD I. (2004) -Analyse microbienne et physico-chimique des sols contaminés par les Hydrocarbures à Hassi Messaoud. Mém. Ing. Fac. Scien. Inst. INH.Univ/Boumerdès,120P.

BIBLIOGRAPHIE

- MAMOU A. (1990) - Caractéristiques et évaluation des ressources en eau du Sud tunisien .Thèse. Doct. Univ/Paris Sud ,426P.
- MARGAT J.(1992) - Les eaux fossiles : Afrique contemporaine. Edit n°161,1^{ER} Trimestre, 160P.
- MDZ 585 . (2006) -Analyse lithostratigraphique du forage pétrolier dans le Champ de Hassi Messaoud. Rapp. Implantation du forage MDZ 585/Hassi Messaoud, Ouargla, Algérie,23P.
- MOULLA A et al. (2002) - Contribution des isotopes à l'étude des ressources en eau souterraines transfrontalières en Algérie. Colloque international sur les ressources en eau souterraines dans le Sahara 12 et 13 décembre 2005, Ouargla, Algérie.
- OSS .(2003a) - Système Aquifère du Sahara Septentrional. Rapp. Interne. Vol 2, 275P.
- OSS. (2003b) - Système Aquifère du Sahara Septentrional. Rapp. Interne. Vol 2, 229P.
- Principaux textes législatifs et réglementaires relatifs à la protection de l'environnement « Code des eaux ». (17 Juillet 1983)- Loi n° 83 .Edit. 2002/Alger,Algérie, 22P.
- RAPPORT SONATRACH.(2000)-Amélioration du procédé de traitement des rejets de forage de Hassi Messaoud par solidification et stabilisation. Rapp. Interne/Hassi Messaoud, Ouargla, Algérie,117 P.
- SONATRACH EXPLORATION .(2003)- Corporate HS&E Management System.Rapp. Interne/Hassi Messaoud, Ouargla, Algérie,213 P.
- SOUSSI S. (2003) - Description géologique des champs pétroliers du Sud de l'Algérie .Rapp. Interne/Hassi Messaoud, Ouargla, Algérie,213 P.
- UNESCO.(1972) - Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional. Rapp. Résultats du Projet/ REG100. Paris, 324P.
- YAHYAOUI H. (1996) - Etude hydrogéologique des aquifères du piémont oriental et du flanc occidental de Dahar. Thèse. Doct. Inst. Sciences de la terre, Univ/Tunisie,156P.
- ZEROUALI A ,EL MESLOUHI M.(2005) - Elaboration de la vulnérabilité moyennant la méthode DRASTIC et le Système d'Information Géographique (SIG) ; Cas de la nappe de Souss-Chtouka. Rapp. Vol n° 16. Edit.2 l'IAH, Tunisie,131P.

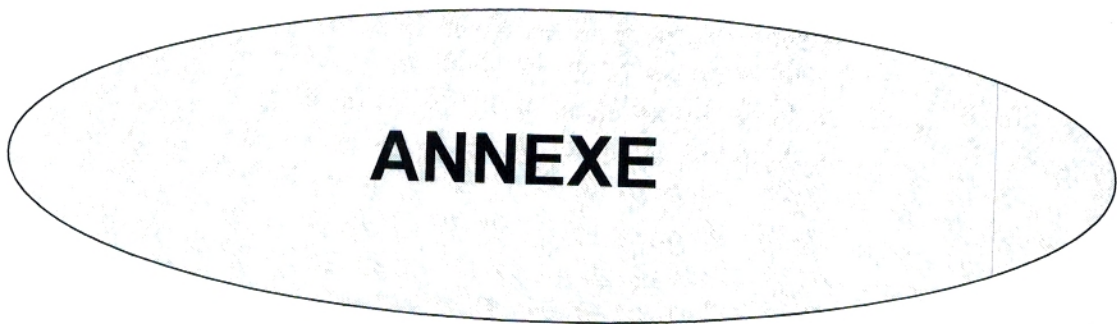


Tableau n°01: Ages des eaux du Complexe Terminal et du Continental intercalaire dans le Sahara Septentrional (Baba Sy ,2003).

N°	Pays	Bassin	Identifiant	Nom ou localisation	Aquifère	Type d'ouvrage	¹⁴ C (%)	Y = Age estimé	Source
1	A	Occidentale	70/2	Beni Abbès	Néogène	Foggara	104.9	20	CONRAD et FONTES, 1972
2	A	Occidentale	70/6	Ain El Dhebb	Paléoz.	Puits	106.6	20	CONRAD et FONTES, 1972
3	A	Occidentale	70/6	Igli	Gd Erg	Puits	38.8	1312	CONRAD et FONTES, 1972
4	A	Occidentale	70/1	Beni Abbès	Gd Erg	Exurgence	31.1	3239	CONRAD et FONTES, 1972
5	A	Occidentale	70/3	Beni Abbes	Gd Erg	Exurgence	32.8	2775	CONRAD et FONTES, 1972
6	A	Occidentale	70/16	Kerzaz	Gd Erg	Puits	38.3	1425	CONRAD et FONTES, 1972
7	A	Occidentale	70/4	Hi. Zguilma	Hd Guir	Puits	49.4	-791	CONRAD et FONTES, 1972
8	A	Occidentale	70/5	Hi. Zguilma	Hd Guir	Puits	48.4	-613	CONRAD et FONTES, 1972
9	A	Occidentale	71/16	Hamaguir (103 K 1)	CI	Forage	18.9	7575	CONRAD et FONTES, 1972
10	A	Occidentale	70/16	Timimoun	CI	Puits	30.9	3295	CONRAD et FONTES, 1972
11	A	Occidentale	70/16	Hi. Maroket (66 L 7)	CI	Forage	1.0	33522	CONRAD et FONTES, 1972
12	A	Occidentale	70/14	El Golea	CI	Forage	32.0	2990	CONRAD et FONTES, 1972
13	A	Occidentale	70/9	Adrar	CI	Puits	24.4	5351	CONRAD et FONTES, 1972
14	A	Occidentale	70/10	Bou Ali (344 O 4)	CI	Foggara	22.3	6135	CONRAD et FONTES, 1972
15	A	Occidentale	70/11	Reg. Ville	CI	Puits	33.2	2670	CONRAD et FONTES, 1972
16	A	Occidentale	71/14	Reg. Plateau	CI	Forage	33.5	2591	CONRAD et FONTES, 1972
17	A	Occidentale	71/15	Aculef E Arab (53 O 5)	CI	Foggara	38.8	1312	CONRAD et FONTES, 1972
18	A	Occidentale	70/13	In Salah	CI	Puits	21.3	6555	CONRAD et FONTES, 1972
19	A	Occidentale	71/9	Tit 101	CI	Forage	36.0	1965	CONRAD et FONTES, 1972
20	A	Occidentale	Timimoun Puits	Timimoun Puits	CI	Forage	30.9	3295	GONFANTINI et al., 1974
21	A	Occidentale	Od Mahmoud	Ouad Mahmoud	CI	Forage	54.0	25	GONFANTINI et al., 1974
22	A	Occidentale	Adrar Puits Samatrach	Adrar Puits Samatrach	CI	Forage	24.4	5361	GONFANTINI et al., 1974
23	A	Occidentale	334 O 4	Bou Ali (344 O 4)	CI	Forage	22.3	6135	GONFANTINI et al., 1974
24	A	Occidentale	Sbaa	Sbaa	CI	Forage	46.5	-264	GONFANTINI et al., 1974
25	A	Occidentale	Reggane	Reggane	CI	Forage	33.5	2591	GONFANTINI et al., 1974
26	A	Occidentale	53 O 5	Aculef E Arab	CI	Forage	38.8	1312	GONFANTINI et al., 1974
27	A	Occidentale	In Salah	In Salah	CI	Forage	5.6	16167	GONFANTINI et al., 1974
28	A	Occidentale	In Salah Puits Hydra	In Salah Puits Hydraulique	CI	Forage	21.2	6575	GONFANTINI et al., 1974
29	A	Occidentale	T1 101	Tit 101 Forage	CI	Forage	36.0	1965	GONFANTINI et al., 1974
30	A	Occidentale	73 L 7	Garet Louazoua	CI	Forage	10.0	13118	GONFANTINI et al., 1974
31	A	Occidentale	3 N 7	Timeidjane	CI	Forage	10.2	12946	GONFANTINI et al., 1974
32	A	Occidentale	4 N 7	El Hassene	CI	Forage	17.0	8498	GONFANTINI et al., 1974
33	A	Centra	130 H 7	E Assafa 1(Laghouat)	CI	Forage	54.7	25	GONFANTINI et al., 1974
34	A	Centra	408 H 11	Tamera	CI	Forage	1.1	32337	GONFANTINI et al., 1974
35	A	Centra	119 I 8	Berriane	CI	Forage	1.3	30883	GONFANTINI et al., 1974
36	A	Centra	17 I 9	Guerrera 2	CI	Forage	1.7	26547	GONFANTINI et al., 1974
37	A	Centra	436 I 11	Sid Mahdi	CI	Forage	2.1	26707	GONFANTINI et al., 1974
38	A	Centra	112 I 8	Melka	CI	Forage	2.5	25169	GONFANTINI et al., 1974
39	A	Centra	447 J 10	Ouzgla 1	CI	Forage	1.4	30237	GONFANTINI et al., 1974
40	A	Centra	4 K 9	Daiet Remt	CI	Forage	5.2	15512	GONFANTINI et al., 1974
41	A	Centra	H Messaoud	Hi Messaoud	CI	Forage	4.1	20681	GONFANTINI et al., 1974
42	A	Centra	7 K 12	R ^{me} Baguel AB7	CI	Forage	2.4	25544	GONFANTINI et al., 1974
43	A	Centra	12 N 12	Tin Fouyé	CI	Forage	17.3	6345	GONFANTINI et al., 1974
44	A	Centra	1 N 12	Tabankort	CI	Forage	9.9	13205	GONFANTINI et al., 1974
45	A	Centra	Fort Flatlers	Fort Flatlers	CI	Forage	22.8	5942	GONFANTINI et al., 1974
46	A	Centra	1 J 8	Hass Fahé	CI	Forage	0.9	34084	GONFANTINI et al., 1974
47	A	Centra	El Golea	El Golea	CI	Forage	32.0	2990	GONFANTINI et al., 1974
48	A	Centra	66 L 7	Hi Maroket	CI	Forage	1.0	33167	GONFANTINI et al., 1974
49	A	Centra	Hassi Infe	Hassi Infe	CI	Forage	59.6	25	GONFANTINI et al., 1974

Suite

N°	Pays	Bassin	Identifiant	Nom ou localisation	Aquifère	Type d'ouvrage	¹⁴ C (%)	Y = Age estimé	Source
50	A	Centra	2	Bensmara 1	CI	Forage	0.9	34084	EDMUNDS et al., 2003
51	A	Centra	3	Daia Ben Dahoua	CI	Forage	1.6	29075	EDMUNDS et al., 2003
52	A	Centra	6	Djebe Makrane (U1)	CI	Forage	60.0	-2483	EDMUNDS et al., 2003
53	A	Centra	6	Berriane 2	CI	Forage	0.5	39202	EDMUNDS et al., 2003
54	A	Centra	12	El Mir	CI	Forage	0.8	35110	EDMUNDS et al., 2003
56	A	Centra	45	Hass Ben Abdellah 3	CI	Forage	3.7	21775	EDMUNDS et al., 2003
56	A	Centra	49	Zelfana I	CI	Forage	1.6	29075	EDMUNDS et al., 2003
57	T	Centra	78	M RARA MR3	CI	Forage	0.5	39202	EDMUNDS et al., 2003
58	T	Centra	101	NEFTA CI 1	CI	Forage	5.8	17661	EDMUNDS et al., 2003
59	T	Centra	103	TOZEUR CI 1	CI	Forage	8.8	14231	EDMUNDS et al., 2003
60	T	Centra	104	TOZEUR CI 2	CI	Forage	2.5	25189	EDMUNDS et al., 2003
61	T	Centra	106	EL-HAMMA C 12	CI	Forage	7.3	15662	EDMUNDS et al., 2003
62	T	Centra	108	TAZRARIT CI 1	CI	Forage	6.4	17004	EDMUNDS et al., 2003
63	T	Centra	112	MANSOURA C 3	CI	Forage	3.5	22269	EDMUNDS et al., 2003
64	T	Centra	113	MANSOURA C 13	CI	Forage	2.2	26302	EDMUNDS et al., 2003
65	T	Centra	114	KEBILI CI 10	CI	Forage	1.5	29637	EDMUNDS et al., 2003
66	T	Centra	116	TAWARGHA CI 2	CI	Forage	5.3	16646	EDMUNDS et al., 2003
67	T	Centra	6664	Oued Nakh'a	CI	Forage	0.2	47181	GONFANTINI et al., 1974
68	T	Centra	5664	CF1	CI	Forage	0.9	34084	GONFANTINI et al., 1974
69	T	Centra	7305	Sefimi 2	CI	Forage	6.6	16736	GONFANTINI et al., 1974
70	T	Centra	BZ41	Bir Zobbas	CI	Forage	0.4	41145	GONFANTINI et al., 1974
71	T	Centra	Ez A1	Om Zab	CI	Forage	2.9	23896	GONFANTINI et al., 1974
72	T	Centra	ECH A1	Ech Chouech	CI	Forage	6.0	17566	GONFANTINI et al., 1974
73	T	Centra	6611	Oued Lorzot	CI	Forage	0.0	33167	GONFANTINI et al., 1974
74	T	Centra	6655	Oued Cuni	CI	Forage	53.3	25	GONFANTINI et al., 1974
75	T	Centra	5717	Ksar Gih'ane	CI	Forage	1.6	29075	ERESS, 1972d
76	T	Centra	7779/5	Reoufa 35	CI	Forage	44.9	41	ARANYOSSY et MAMOU, 1998
77	T	Centra	5654	Borj Bourguiba	CI	Forage	2.7	24519	ARANYOSSY et MAMOU, 1998
78	T	Centra	Ga Tabourt	Ga Tabourt	CI	Forage	2.8	24202	ARANYOSSY et MAMOU, 1998
79	T	Centra	El Borma 203	El Borma 203	CI	Forage	1.4	30237	ARANYOSSY et MAMOU, 1998
80	T	Centra	Bir Aoun	Bir Aoun	CI	Forage	8.6	14431	ARANYOSSY et MAMOU, 1998
81	T	Centra	6662/5	Matmata	CI	Forage	24.3	5387	ARANYOSSY et MAMOU, 1998
82	T	Centra	18039/5	El Mahassen	CI	Forage	3.0	23601	ARANYOSSY et MAMOU, 1998
83	L	Oriental	T/25/87	Mizda	CI	Forage	3.2	23176	SALEM et al., 1996
84	L	Oriental	T/64/78	Sinawan	CI	Forage	6.6	16802	SALEM et al., 1996
86	L	Oriental	T/96/76	Derj	CI	Forage	3.3	17169	SALEM et al., 1996
86	L	Oriental	T/203/80 New	T203/80 new (Ghadamis)	CI	Forage	5.7	18043	SALEM et al., 1996
87	L	Oriental	T/276/77	T276/77 (Ghadamis)	CI	Forage	1.1	32417	SALEM et al., 1996
88	L	Oriental	T/277/77	T277/77 (Ghadamis)	CI	Forage	16.9	8549	SALEM et al., 1996
89	L	Oriental	T/159/89	T/159/89 (SE Derj)	CI	Forage	1.4	30654	SALEM et al., 1996
90	L	Oriental	WG22	WG22 (Ghadamis)	CI	Forage	3.5	22269	SALEM et al., 1996
91	L	Oriental	Agric. Project	Agricultural Project	CI	Forage	3.1	23467	SALEM et al., 1996
92	L	Oriental	Zintan	Zintan (E Nalut)	CI	Forage	4.8	19473	SALEM et al., 1996
93	L	Oriental	Seb. Mezezzem	Seb. Mezezzem	CI	Forage	36.3	16882	SALEM et al., 1996
94	L	Oriental	WS-2	Wadi Qirzsh, well WS-2	Kiklah	Forage	0.2	47181	OSS, 2003a
95	L	Oriental	B1-39	Well B1-39	Kiklah	Forage	0.2	47181	OSS, 2003a
96	L	Oriental	ZZ13	Wadi Zamzam ZZ13	Kiklah	Forage	0.2	47181	OSS, 2003a
97	L	Oriental	W-6	Ash Shuwayref W-6	Kiklah	Forage	0.2	47181	OSS, 2003a
98	L	Oriental	J-16	Al Jufrah J16	Paléozoïque	Forage	0.3	43660	OSS, 2003a
99	L	Oriental	Tawurgha source	Tawurgha source	Source	Source	2.8	24202	OSS, 2003a

Suite

8	A	Central	75	Hassi Messaoud H2	OT	380	Forage	38.9 ± 2	1290	GUENDOUIZ et al., 2003
9	A	Central	84	Rhourde Nouss RN15	OT	100	Forage	24.1 ± 0.8	8459	GUENDOUIZ et al., 2003
10	A	Central	86	Rhourde Nouss RN17	OT	90	Forage	22.7 ± 0.7	6980	GUENDOUIZ et al., 2003
11	A	Central	89	El Hamra HRA1	OT	80	Forage	42.5 ± 1.5	619	GUENDOUIZ et al., 2003
12	T	Central	18145/5	Dum Chia 2	OT	201	Forage	4.2 ± 0.6	20571	ARANYOSSY et MAMOU, 1885
13	T	Central	18766/5	Nefla 2b	OT	126	Forage	0 ± 0.9	45000	ARANYOSSY et MAMOU, 1885
14	T	Central	8982/5	El Menachi	OT		Forage	2.3 ± 0.4	35915	ARANYOSSY et MAMOU, 1885
15	T	Central	8464/5	El Gouna	OT	170	Forage	16.5 ± 1.8	8758	ARANYOSSY et MAMOU, 1885
16	T	Central	17824/5	Hazoua 3	OT	441	Forage	1.9 ± 1.0	27578	ARANYOSSY et MAMOU, 1885
17	T	Central	18648/5	Chekmou 3	OT	510	Forage	1.4 ± 0.8	30238	ARANYOSSY et MAMOU, 1885
18	T	Central	18734/5	Goufha 3	OT	700	Forage	0.6 ± 0.5	37517	ARANYOSSY et MAMOU, 1885
19	T	Central	18581/5	El Bechni	OT	199	Forage	8.9 ± 0.9	14136	ARANYOSSY et MAMOU, 1885
20	T	Central	13981/5	Deghoumess	OT	300	Forage	12 ± 0.9	11534	ARANYOSSY et MAMOU, 1885
21	L	Oriental	Soona	Soona	Crétacé sup	400	Forage	0.8 ± 0.3	35110	OSS, 2003a
22	L	Oriental	Soona well S-1	Soona well S-1	Crétacé sup	300	Forage	0.0 ± 0.5	45000	OSS, 2003a
23	L	Oriental	Al Jufrah	Al Jufrah	Mizdah		Forage	0.6 ± 0.4	37515	OSS, 2003a
24	L	Oriental	Al Jufrah J18 A	Al Jufrah J18 A	Mizdah	193	Forage	0.0 ± 0.3	45000	OSS, 2003a
25	L	Oriental	Tawurgha	Tawurgha	Miocène		Forage	18.6 ± 1.9	7714	OSS, 2003a
26	L	Oriental	Tawurgha well P-18	Tawurgha well P-18	Mizdah		Forage	0.8 ± 0.5	35110	OSS, 2003a
27	L	Oriental	Tumminah Projet	Tumminah Projet	Mizdah		Forage	1.0 ± 0.5	33167	OSS, 2003a
28	L	Oriental	1285/3/1	1285/3/1	OT		Forage	5.92 ± 0.72	17683	BRL, 1997
29	L	Oriental	H 5	Hamada Al Hamra	OT			7.3	15858	Idrotecnico, 1982c

Tableau n°02 : Répartition des pertes par nature et par phase durant l'année 1998.

Nature des pertes en m ³	Phases				Total	
	17"1/2	12"1/4	8"1/2	6"	m ³	%
Surfaces	4599	1513	1927	600	8639	36
Enrobage	0	1880	0	0	1880	8
Terrain	1433	89	860	9	2391	10
Ejection	5930	326	4291	294	10841	44
Volume piégé	0	40	294	81	415	2
Total	11962	3848	7372	984	24166	100
%	49	16	31	4	100	

Rapport interne, Sonatrach(2000).

Tableau n°03: Inventaire des puits d'eau dans le Champ de Hassi Messaoud.

N°	PUITS	X Lamb	Y Lamb	zs	ns	np	pf	q	Miop	Eoc	Sen	C.T
				(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1	omkh102	811250	147750	160,2	48	112	106	35	141	88	430	659
2	omlh101	829850	148200	157,5	41,5	116	98	60	159	96	464	719
3	omdh101	801875	131400	169	45	124	110	40				
4	omoh101	811778	136480	167,6	45,2	122	118	30	158	88	432	678
5	omoh102	815700	136300	163,1	44	119	113	50	183	68	403	654
6	om7h1	823418	130892	165	40	125	65	3				
7	MD3H1	815374	126228	169	41	128	96,5	14				
8	md6h2	801141	121169	174	43	131	91,1	14	210	24	409	643
9	md7h2	815708	113631	138	10	128	92	14				
10	md8h1	831244	128776	139	14	125	96	14				
11	md9h1	801389	128740	143	21	122	96	14				
12	md11h1	821207	118488	141	14	127	95,5	14	210	22	426	658
13	mdh10	811348	123770	171	44	127	110	40				
14	md48h1	808757	116303	138	20	118	94	40	217	23	439	679
15	md65h1	803706	128808	170	44	126	99,6	24	217	30	432	679
16	md59h1	801246	126249	172	43,5	129	105	20				
17	md72h1	798826	123721	174	43	131	90	30				
18	md89	808703	128781	151	48	103	105	30	207	31	422	660
19	md19h1	806250	128672	174	48	126	106	10				
20	onj76h1	849009	147309	172	40	132	105	14	158	97	449	704
21	OM1H1	817740	132422	170	44	126	116	30	188	31	477	696
22	mdh102	795150	122800	140	16,6	123	105	20	150	50	405	605
23	omnh15	831800	133950	144	14,9	129	130	36				
24	mdh103	815250	129975	144	25	119	127	24				
25	mdh104	800200	116900	167	41,9	125	128	4	195	23	476	649
26	mdh105	807000	113500	154	48	106	134	7	233	21	476	730
27	mdh107	795050	120400	151	30	121	110	12				
28	md15h1	816242	118425	137	9	128	101	20				
29	md18h1	826250	118750	144	15	129	104	20	183	29	428	640
30	md20h1	796238	123324	139	16	123	93,4	20	168	28	459	655
31	md24h1	822550	123175	147	20	127	104	20				
32	md27h1	846187	128636	160	17	143	96	15	184	32	405	621
33	md41h1	796250	128750	176	40	136	99	21				
34	mdcph2	816350	124730	170	40	130	98	25				
35	omoh105	819274	140213	159	45	114	150	90				
36	omoh109	816977	132250	169,5	45	125	130	50				
37	omm101	796500	133500	140	44,5	112	118	25				
38	mdh109	799400	121425	153	44,5	109	120	40				
39	omoh101	817750	134800	147	45,2	124	120	30	158	88	432	678
40	mdh112	813500	115800	142	23	119	119	32	186	22	433	641
41	omkh1	810000	148000	170	37	133	90	100	152	90	411	653
42	mdh132	809800	128940	137	40	97	98	100				
43	omjh101	802800	143700	171,2	47	124	105	90				
44	omnh102	804250	139800	149,5	43	107	90	69	155	78	465	698
45	omph101	829350	136300	168	40	128	96,5	50	208	60	429	697
46	md-xp	826600	123000	146	33	113	230	100				

Suite

N°	PUITS	X Lamb	Y Lamb	zs (m)	ns (m)	np (m)	pf (m)	q (m)	Miop (m)	Eoc (m)	Sen (m)	C.T (m)
47	e2bh1	823602	115600	144	16	128	100	100	152	23	412	587
48	shrm2	817000	123000	143	44	99	120	14				
49	w2bh1	805800	120450	169	42,5	127	95	31				
50	bi102	818210	129100	144	46	98	130	40				
51	HMD	818000	131000									
52	md93	807708	129955	176	48	128	103	30	217	40	260	517
53	om572h	809000	142600	170	40	130	120					
54	mdh133	819010	124540	147	44	103	120	68	159	60	405	624
55	mdbc	829100	121707	150	17	133	126	59				
56	b1h1	827602	142602	156,3	24	132	119	35	222	28	408	658
57	w1ah1	810000	126800	173	44,5	129	118	38				
58	md38h	831250	123760	170	30	14	120	42				
59	md4h1	823360	126885	144,3	19	125	94	48				
60	ommh102	792450	131300	160	42	118	91	60	167	91	410	658
61	GPL2	818375	123175									
62	GPLN	818000	138000									
63	GPLS	818600	125000									
64	OM7h1	823418	130892	165	40	125	65	3				
65	md3h1	815374	126228	169	41	128	96,5	14				
66	md4h2	823360	126885	144	16	128	101	16				
67	md1h6	819370	124654	169	41	128	103	20				
68	om1h4	817590	132395	169	43	126	90	20				
69	om1h6	817296	132476	169	44	125	95	20				
70	om1h9	817740	132422	170	44	126	116	30				
71	om1h10	807760	131882	172	27	145	118	50				
72	omn53h	806113	133705	139	41	98	96,5	62				
73	mdh106	814600	116250	148	10,5	137	123	9				
74	omkh101	818850	143100	148	43,5	105	137	22	140	89	430	659
75	md17h1	831250	123760	144	17	127	102	20				
76	md64h1	801347	118721	166	20	146	96	16				
77	om1h7	817390	132335	147	43	104	106	50				
78	mdh110	815150	125625	140	42,4	97,6	12	40				
79	mdh111	823300	126750	150	20,2	127	141	60				
80	oh3h105	819000	142500	150	17	133	128	60				
81	w1bh1	805800	126900	170	45,8	224	100	31				
82	md5a6	826700	123000	146	31	115	225	80				
83	s1dh1	816100	115300	148	10,4	138	94,4	69				
84	omh12	817360	131900	174	40	134	129	69				
85	bn103	817500	125800	168	40	128	98	37	185	33	427	645
86	bt101	815500	125860	169	36,1	133	90	40				

Miop :épaisseur de la formation du Miopliocène

Eoc :épaisseur de la formation de l' Eocène

Sen :épaisseur de la formation du Sénonien

C.T :épaisseur de la formation du Continental intercalaire.

Tableau n°4 . Caractéristiques chimiques des eaux du Miocène.ANKH
Ouargla,2003

N° Ordre	Forage	X	Y	Mg		dh	Rs	pH	pH	Cond	SO4%	Cl%	HCO3	Mg%	(Na+K)%	Ca%
				mg	meq		mg/l		d'equi							
1	OMOH106	819274	140213	44	3,66	61		7,28	7,43		44,07	49,18	6,73	13,22	56,71	30,05
2	OMKH102	811250	147750	163	13,6	35	4940	7,8	7,1		30,77	65,78	3,44	27,32	42,32	30,43
3	H1	827530	124522	100	8,33	117		7,3	7		30,66	63,78	5,54	19,09	46,55	34,36
4	BN103	817500	125800	81	6,76	84	1639	8	7,2	2320	63,07	27,78	9,64	27,58	31,61	40,79
5	DOS	818051	133241	69	5,75	69		7,65	7,4		38,09	56,6	5,29	15,45	62,81	21,69
6	ONJ76H1	819009	147309	120	10	155		7,05	6,97		29,03	67,81	3,14	18,06	43	38,84
7	MDH133	819010	124540	152	12,5	167	3734	7,71	7	5700	34,21	62,88	2,9	17,4	53,48	28,96
8	GPLS	818500	125500	122	10,2	125		7,42	7,05		29,04	67,42	3,52	17,49	56,33	26,09
9	GTP1	828560	122762	103	8,58	33		7,58	7,03		39,72	57,44	2,83	11,61	63,95	24,43
10	SHRM2	817000	123000	72	6	87	3100	7,2	7,5		40,76	58,96		19,68	60,34	2,6
11	GTP4	818086	128866	88	7,33	139		7,7	7,2		37,9	58,98	3,11	11,52	56,32	32,15
12	GTP3	819679	125220	73	6,08	90		7,64	7,43		40,07	54,42	5,5	14,64	56,91	28,44
13	BT101	815500	125860	74	6,16	60	2254	7,9	7,9	3350	41,53	52,31	6,05	18,67	63,44	1,8
14	OMPH101	829350	136300	87	7,25	94		7,5	7,15		59,52	32,08	11,4	13,45	64,17	21,87
15	E2BH1	823602	115600	43	3,58	52	2154	7,3	7,7	4060	40,72	59,28		11,48	66,78	2,18
16	MD9H1	801389	128740	120	10	180		7,54	7,2		38,92	58,13	2,91	12,55	54,36	33,05
17	OMM102	792450	131300	88	7,33	96	2168	7,5	8,63		35,27	60,05	4,23	18,59	51,27	30,16
18	MD4H1	823360	126885	95	7,81	103		7,6	6,92	5500		100		12,85	66,49	20,9
19	MD18H1	826250	118750	34	2,79	24		7,6	8		3,92	96,07		3,25	94,39	2,33
20	GPLN	818500	138500	1232	11	114	3696	7,6	7,15	2800	28,64	67,24	4,1	22,77	52	24,94
21	MD20H1	796238	123324	14	1,16	27	3916	7,14	7,71		13,75	86,24		5,09	76,31	18,59
22	ensp105	818514	129496	96	8	118	1520	7,49	6,98		49,66	44,13	6,45	20,32	39,99	39,87
23	ensp102	817486	129493	71	5,91	86		7,47	7,1		53,46	37,91	8,61	20,68	39,35	39,95
24	entp101	818783	129320	66	5,5	94		7,69	7,07		60,25	30,01	9,73	20,89	27,86	51,18
25	base tubi	817359	129366	54	4,5	62		7,91	7,25		42,29	50,9	6,8	12,25	65,91	21,76
26	OMN53	806113	133705	88	7,33	89		7,9	6,97	3400	35,04	59,75	5,19	21,97	46,85	31,18
27	S1BH1	816100	115300	29	2,38	31		7,8	9,1		32,9	67,1		8,92	77,03	14,05
28	OMJH103	802800	143700	85	7,08	74	2431	8,79	8,05		16,26	79,9	0,33	9,99	20,09	69,86
29	MD89H1	808703	127810	50	4,16	53	1772	7,7	7,5		51,86	40,66	7,47	16,18	58,78	24,82
30	GTP2	826250	122000	0,84	0,07	1,3	448	6,8	6,35		24,73	59,14	16,1	7,53	73,12	19,35
31	T1	819500	125500	337	28,1	354		7,23	7,35		7,75	91,93	0,42	15,91	59,91	24,22
32	T2	818500	126500	125	10,4	283	109	10,1	5,65		32,4	95,93	0,66	6,68	63,78	29,53

Tableau n°05: Analyses Physico-chimiques des eaux du Miopliocène dans le Champ de Hassi Messaoud.
ANRH, Ouargla(2003)

N°	FORAGE	X	Y	Minéra (Mg)	rNa+rCl	rSO4/rCa	rMg/rCa	rNa/rMg	ieb
1	OMOH106	819274	140213	1802	846	0,89	0,43	4,1	-2,1
2	OMKH102	811250	147750	1904	588	0,46	0,89	1,5	10,7
3	H1	827530	124522	2680	1450	0,48	0,55	2,35	7,84
4	BN103	817500	125800	1565	398	2,31	0,67	1,09	-1,3
5	DOS	818051	133241	2278	746	0,67	0,71	3,87	-2,7
6	ONJ76H1	849009	147309	2892	1860	0,42	0,46	2,27	14,3
7	MDH133	819010	124540	4395	2463	0,54	0,6	2,96	7
8	GPLS	818500	125500	3496	2107	0,43	0,67	3,08	6,61
9	GTP1	826560	122762	3541	1555	0,69	0,47	0,54	-6,3
10	SHRM2	817000	123000	2859	1585	0,69	0,52	4,28	1,5
11	GTP4	818086	128866	4128	2227	0,64	0,35	4,76	4,43
12	GTP3	819679	125220	9808	1335	0,73	0,51	3,78	-1
13	BT101	815500	125860	2007	1039	0,79	1,04	3,24	-4,6
14	OMPH101	829350	136300	3443	1859	1,76	0,61	4,57	-22
15	E2BH1	823602	115600	1994	1152	0,68	0,52	5,64	-1,4
16	MD9H1	801389	128740	4899	2590	0,66	0,37	4,17	2,89
17	OMM102	792450	131300	2481	1324	0,58	0,61	2,67	4,57
18	MD4H1	823360	126885	2640	2248	0	0,61	5	-2,3
19	MD18H1	826250	118750	4698	4433	0,04	1,39	28,5	-0,7
20	GPLN	818500	138500	2954	1729	0,42	0,91	2,15	8,55
21	MD20H1	796238	123324	1449	1165	0,15	0,27	14,48	4,7
22	ENSP105	818514	129496	2420	945	1,11	0,5	1,9	1,12
23	ENSP102	817486	129493	1825	632	1,41	0,51	1,82	-0,4
24	ENTP101	818783	129320	1670	433	2	0,4	1,26	0,41
25	BASE TUBU	817359	129368	2325	1191	0,83	0,56	5,5	-5,4
26	OMN53	806113	133705	2046	1053	0,58	0,7	2,03	4,37
27	S1BH1	816100	115300	1740	1157	0,49	0,63	8,44	-1
28	OMJH103	802800	143700	4256	3148	0,25	0,49	6,77	8,61
29	MD89H1	808703	127810	1700	704	1,27	0,65	3,46	-0,4
31	T1	819500	125500	10098	7993	0,084	0,65	3,55	55,1
32	T2	818500	126500	11200	7394	0,035	110,29	9,91	47,1

Tableau n°06: Analyses Physico-Chimiques du Mio-Pliocène dans le Champ de Hassi Messaoud.
ANRH, Ouargla(2003)

FORAGE	CL		SO4		HCO3		Na		K		Ca		Mg	
	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l
OMOH106	495	14	600	12,5	117	1,91	350	15,2	26	0,66	168	8,4	44	3,66
OMKH102	113	3,18	715	14,8	101	1,66	475	20,2	34	0,87	303	15	163	13,6
H1	1000	28,2	650	13,5	150	2,45	450	19,6	30	0,76	300	15	100	8,33
BN103	230	6,48	720	15	140	2,29	168	7,39	14	0,36	200	10	81	6,76
DOS	724	20,3	660	13,8	117	1,91	513	22,3	34	0,87	160	8	69	5,75
ONJ76H1	1337	37,7	775	16,2	107	1,75	523	22,7	28,5	0,73	435	22	120	10
MDH133	1610	45,4	1184	24,7	131	2,14	853	37,1	50	1,3	416	21	152	12,5
GPLS	1383	39	807	16,8	124	2,04	724	31,5	35,5	0,19	301	15	122	10,2
GTP1	1448	40,8	1360	28,3	123	2,02	107	4,65	37	0,95	362	18	103	8,58
SHRM2	993	28	935	19,5			592	25,7	29	0,74	238	11	72	6
GTP4	1425	40,2	1240	25,8	129	2,11	802	34,9	35	0,9	408	20	88	7,33
GTP3	804	22,6	8000	16,7	139	2,27	531	23	24	0,62	237	12	73	6,08
BT101	580	16,3	650	13	113	1,89	459	20	38	0,97	118	5,9	74	6,16
OMPH101	1095	30,8	980	20,4	251	4,12	764	33,2	33	0,85	232	12	87	7,25
E2BH1	688	19,4	639	13,3			464	20,2	24	0,61	136	6,8	43	3,58
MD9H1	1630	45,9	1475	30,7	142	2,33	959	41,7	51	1,31	523	26	120	10
OMM102	879	24,8	696	14,5	106	1,74	450	19,6	28	0,72	239	12	88	7,33
MD4H1	1347	37,9					900	39,1	43	1,1	154	13	95	7,81
MD18H1	2843	80,1	157	3,27			1590	79,5	33	1,35	40	2	34	2,79
GPLN	1184	33,4	683	14,2	124	2,03	544	23,7	47	1,2	239	12	1232	11
MD20H1	779	21,9	168	3,5			386	16,8	18	0,46	84	4,2	14	1,16
ENSP105	594	16,7	900	18,8	150	2,45	350	15,2	17	0,42	313	16	96	8
ENSP102	383	10,8	730	15,2	150	2,45	249	10,8	15	0,38	227	11	71	5,91
ENTP101	272	7,66	740	15,4	152	2,49	160	6,96	12	0,31	268	13	66	5,5
BASE TUBUL	658	18,5	740	15,4	152	2,49	533	23,2	30	0,76	158	7,9	54	4,5
OMN53	710	20	563	11,7	106	1,74	343	14,9	28	0,72	208	10	88	7,33
S1BH1	694	19,5	460	9,58			462	20,1	19	0,48	75	3,8	29	2,38
OMJH103	2046	57,6	668	13,9	27	0,44	1103	48	44	1,13	283	14	85	7,08
MD89H1	371	10,5	640	13,3	117	1,92	333	14,4	28	0,71	128	6,4	50	4,16
T1	5698	161	650	13,5	45	0,75	2300	100	220	5,64	854	43	337	28,1
T2	5212	147	2500	521	31	0,5	2180	94,8	192	4,92	923	46	125	10,4

Tableau n°07 : Formules caractéristiques des eaux du Mio-Pliocène dans le Champ de Hassi Messaoud.

Sigle du puits d'eau	Anions	Cations
OMOH106	r%Cl> r%SO4 > r%HCO3	r%(Na+k)> r%Ca > r%Mg
OMKH10H12	r%Cl> r%SO4 > r%HCO3	r%(Na+k)> r%Ca > r%Mg
H1	r%Cl> r%SO4 > r%HCO3	r%(Na+k)> r%Ca > r%Mg
DOS	r%Cl> r%SO4 > r%HCO3	r%(Na+k)> r%Ca > r%Mg
ONJ76H1	r%Cl> r%SO4 > r%HCO3	r%(Na+k)> r%Ca > r%Mg
MDH133	r%Cl> r%SO4 > r%HCO3	r%(Na+k)> r%Ca > r%Mg
GPLS	r%Cl> r%SO4 > r%HCO3	r%(Na+k)> r%Ca > r%Mg
GTP1	r%Cl> r%SO4 > r%HCO3	r%(Na+k)> r%Ca > r%Mg
SHRM2	r%Cl> r%SO4 > r%HCO3	r%(Na+k)> r% Mg > r %Ca
GTP4	r%Cl> r%SO4 > r%HCO3	r%(Na+k)> r%Ca > r%Mg
GTP3	r%Cl> r%SO4 > r%HCO3	r%(Na+k)> r%Ca > r%Mg
BT101	r%Cl> r%SO4 > r%HCO3	r%(Na+k)> r% Mg > r %Ca
E2BH1	r%Cl> r%SO4 > r%HCO3	r%(Na+k)> r%Ca > r%Mg
MD9H1	r%Cl> r%SO4 > r%HCO3	r%(Na+k)> r%Ca > r%Mg
OMM102	r%Cl> r%SO4 > r%HCO3	r%(Na+k)> r%Ca > r%Mg
MD18H1	r%Cl> r%SO4 > r%HCO3	r%(Na+k)> r% Mg > r%Ca
GPLN	r%Cl> r%SO4 > r%HCO3	r%(Na+k)> r%Ca > r%Mg
MD20H1	r%Cl> r%SO4 > r%HCO3	r%(Na+k)> r%Ca > r%Mg
Base.Tubing	r%Cl> r%SO4 > r%HCO3	r%(Na+k)> r%Ca > r%Mg
OMN53	r%Cl> r%SO4 > r%HCO3	r%(Na+k)> r%Ca > r%Mg
S1BH1	r%Cl> r%SO4 > r%HCO3	r%(Na+k)> r%Ca > r%Mg
OMJH103	r%Cl> r%SO4 > r%HCO3	r Ca %> r%(Na+k) > r%Mg
MD89H1	r% SO4> r% Cl > r%HCO3	r%(Na+k)> r%Ca > r%Mg
BN103	r% SO4> r% Cl > r%HCO3	r Ca %> r%(Na+k) > r%Mg
OMPH101	r% SO4> r% Cl > r%HCO3	r%(Na+k)> r%Ca > r%Mg
ENSP105	r% SO4> r% Cl > r%HCO3	r Ca %> r%(Na+k) > r%Mg
ENSP102	r% SO4> r% Cl > r%HCO3	r Ca %> r%(Na+k) > r%Mg
ENSP101	r% SO4> r% Cl > r%HCO3	r Ca %> r%(Na+k) > r%Mg

Tableau n°08: **Analyses Physico-Chimiques des eaux du bourbier d'un Puits à Hassi Messaoud.**

Eléments	Compagne		Valeurs Maximales
	1	2	
Température (°C)	9	17	30
PH	5,5	5,47	5.5-8.5
Hydroxydes (OH ⁻) mg/l	0	0	/
Carbonates(Co3 ²⁻) mg/l	0	0	/
Bicarbonates (HCo3) mg/l	102,24	187,88	/
Matières décantables (%)	2,95	3	/
Densité	1.073 à 18°C	1.066 à 16.5 °C	/
DBO5 mg/l	7	4	40
DCO mg/l	1600	550	120
Oxygène dissous mg/l	3,3	105	/
Matières en suspension mg/l	1020	690	30
Nitrates (No3 ⁻) mg/l	9	0,5	/
Nitrates (No2 ⁻) mg/l	0,02	0	20
Azote amoniacable (N-NH4 ⁻) mg/l	0,2	0	5
Ca ⁺⁺	9442,85	8456,88	200
Mg ⁺⁺	3069,18	2432	/
Fe ⁺⁺	1921,24	1024,29	5
CL ⁻	71197,66	56022,06	600
Na ⁺	33100	27800	/
K ⁺	1500	1400	/
So4	540	580	400
Ni (Nickel)	1,56	1,33	5
Cu (Cuivre)	0,14	0,08	3
Cd (Cadium)	0,2	0,2	0,2
Pb (Plomb)	2,3	1,8	1
Zn (Zinc)	110	100	5
Manganèse (Mn) mg/l	110	100	5
Hydrocarbures mg/l	1500	/	10
Mercuré (Hg) mg/l	12	/	0,01

Rapport interne, Sonatrach(2000).

Tableau n°09: Résultats de la mesure des paramètres physico-chimiques et bactériologiques du site de réalisation de forage à Hassi Messaoud.

Echantillons	Sol non contaminé				Sol contaminé								
Mesures	E01		E02		E03		E04		E05		E06		
Profondeur (Cm)	0-10		0-10		0-10		0-10		0-10		0-10		
Résultat de la mesure d'humidité													
Poids total Humide(g)	93,25	93,2	101	101	111,9	112	93,29	93,28	86,85	86,77	65,63	65,9	
Poids total sec(g)	93,1	93,1	101	101	106,7	106	79,95	79,64	83,69	83,17	63,03	64,6	
Poids de l'eau(g)	0,14	0,16	0,1	0,09	5,28	5,96	13,34	13,64	3,16	3,6	2,6	1,32	
Poids de la tare(g)	49,21	48,7	49,5	57,7	50,69	49,2	48,79	49,87	49,4	48,04	49,49	57,7	
Teneur en eau (W%)	0,318	0,36	0,19	0,21	9,34	10,7	29,97	31,42	8,43	9,29	19,2	19,2	
W Moyenne %	0,33		0,19		10,02		30,69		8,86		19,19		
Résultat de la mesure du pH													
Ph	9,63		9,64		10,37		10,02		11,53		12,29		
Résultat de la matière organique													
Poids, initial'P1,g)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
P, après combustion	0,019	0,01	0	0,01	0,014	0,02	0,039	0,035	0,209	0,208	0,113	0,11	
Teneur en MO%	1,9	1	0,3	0,8	1,4	2,4	3,9	3,5	20,9	20,8	11,3	11,4	
MO% Moyenne	1,45		0,55		1,9		3,7		20,85		11,35		

Tableau n°10: Distribution granulométrique d'un échantillon de Sable de Surface dans la partie nord du Champ de Hassi Messaoud.

Diamètre (micron)	poids (g)	cumul poids (g)	pourcentage (%)
≤75	30	30	3
75 ≥ D ≤ 90	20	50	5
90 ≥ D ≤ 180	620	670	67
180 ≥ D ≤ 360	320	990	99
≤ 500	10	1000	100

Tableau n°11: Distribution granulométrique d'un échantillon de Sable de Surface dans la partie sud du Champ de Hassi Messaoud .

Diamètre (micron)	poids (g)	cumul poids (g)	pourcentage (%)
≤75	20	20	2
75 ≥ D ≤ 90	30	50	5
90 ≥ D ≤ 180	600	650	65
180 ≥ D ≤ 360	300	950	95
≤ 500	50	1000	100

Tableau n°12: Distribution granulométrique d'un échantillon de Sable de Surface dans la partie Centrale du Champ de Hassi Messaoud.

Diamètre (micron)	poids (g)	cumul poids (g)	pourcentage (%)
≤75	40	40	4
75 ≥ D ≤ 90	30	70	7
90 ≥ D ≤ 180	600	670	67
180 ≥ D ≤ 360	300	970	97
≤ 500	30	1000	100

Tableau n°13: Distribution granulométrique d'un échantillon de Sable de Surface dans la partie est du Champ de Hassi Messaoud .

Diamètre (micron)	poids (g)	cumul poids (g)	pourcentage (%)
≤75	20	20	2
75 ≥ D ≤ 90	30	50	5
90 ≥ D ≤ 180	620	670	67
180 ≥ D ≤ 360	300	970	97
≤ 500	30	1000	100

Tableau n°14: **Distribution granulométrique d'un échantillon de Sable de Surface dans la partie ouest du Champ de Hassi Messaoud .**

Diamètre (micron)	poids (g)	cumul poids (g)	pourcentage (%)
≤ 75	30	30	3
$75 \geq D \leq 90$	20	50	5
$90 \geq D \leq 180$	570	620	62
$180 \geq D \leq 360$	310	930	93
≤ 500	70	1000	100

Tableau n°15: **Classes et notes retenues pour D.**

Classe (m)	Note
0 – 1.5	10
1.5 – 4.5	9
4.5 - 9	7
9.0 – 15.0	5
15 - 23	3
23 - 30	2
> 30	1

ZEROUALI A ,EL MESLOUHI M.(2005)

Tableau n°16: **Classes et notes retenues pour R.**

Classe (mm)	Note
0 - 50	1
50 - 100	3
100 - 175	6
175 - 225	8
> 225	9

ZEROUALI A ,EL MESLOUHI M.(2005)

Tableau n°17: **Classes et notes retenues pour A.**

Classe	Note	Note typique
Massive shale	1 à 3	2
Métamorphique	2 à 5	3
Métamorphique Altéré - grès	3 à 5	6
Calcaire massif	4 à 9	8
Grès massif	4 à 9	6
Sable et gravier	4 à 9	8
Basalte	2 à 10	9
Calcaire Karstique	9 à 10	10

ZEROUALI A ,EL MESLOUHI M.(2005)

Tableau n°18: **Classes et notes retenues pour S.**

Classe	Note
Mince ou absent	10
Graviers	10
Sables	9
Limons sableux	6
Limons	4
Limons silteux	3
Argiles	1

ZEROUALI A ,EL MESLOUHI M.(2005)

Tableau n°19: **Classes et notes retenues pour T.**

Plage de la pente(en degré)	Note
0 à 2	10
2 à 6	9
6 à 12	5
12 à 18	3
> 18	1

ZEROUALI A ,EL MESLOUHI M.(2005)

Tableau n°20: **Classes retenues pour I.**

Nature lithologique	Note	Note typique
Silt et argile	2 à 6	3
Shale	2 à 6	3
Calcaire	2 à 5	3
Grès	2 à 7	6
Sable et gravier avec passage silt et argile	4 à 8	6
Sable et gravier	4 à 8	8
Basalte	2 à 10	9
Calcaire Karstique	8 à 10	10

ZEROUALI A ,EL MESLOUHI M.(2005)

Tableau n°21: **Classes et notes retenues pour C.**

Plage de la perméabilité (en m/s)	Note
$1.5 \cdot 10^{-7} - 5 \cdot 10^{-5}$	1
$5 \cdot 10^{-5} - 15 \cdot 10^{-5}$	2
$15 \cdot 10^{-5} - 33 \cdot 10^{-5}$	4
$33 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-4}$	6
$5 \cdot 10^{-4} - 9.5 \cdot 10^{-4}$	8
$> 9.5 \cdot 10^{-4}$	10

ZEROUALI A ,EL MESLOUHI M.(2005)

Tableau n°22: Ordre de grandeur des principaux paramètres hydrodynamiques.

Roches	Porosité totale (interstice)	Porosité cinématique	Conductivité hydraulique (m/s)
graviers, galets	25 - 40%	20 - 40%	$3 \cdot 10^{-2} - 10^{-6}$
sables	~ 40%	5-15%	$2 \cdot 10^{-4} - 10^{-6}$
argiles	40 - 45%		$5 \cdot 10^{-9} - 10^{-11}$
craies	30 - 45 %	5%	$6 \cdot 10^{-6} - 10^{-9}$
calcaires lithographiques	5%	ϵ	
calcaires karstifiés	< 30%	30%	$2 \cdot 10^{-2} - 10^{-4}$
dolomies secondaires	30%	5 - 30%	$6 \cdot 10^{-6} - 10^{-9}$
grès	5 - 30 %	$\epsilon - 10\%$	$6 \cdot 10^{-6} - 3 \cdot 10^{-10}$
basaltes	5 - 20 %	$\epsilon - 20\%$	$4 \cdot 10^{-7} - 2 \cdot 10^{-11}$
granites, gneiss	0.1 - 1%	ϵ	$2 \cdot 10^{-10} - 3 \cdot 10^{-12}$
sels	0.1%	ϵ	

ZEROUALI A ,EL MESLOUHI M.(2005)



TERMINOLOGIE

1. La viscosité Marsh : Son principe est de mesurer le temps (exprimé en seconde) d'écoulement un volume de 946cm^3 de fluide à travers l'alésage calibré d'un entonnoir (Voir fig n 37).

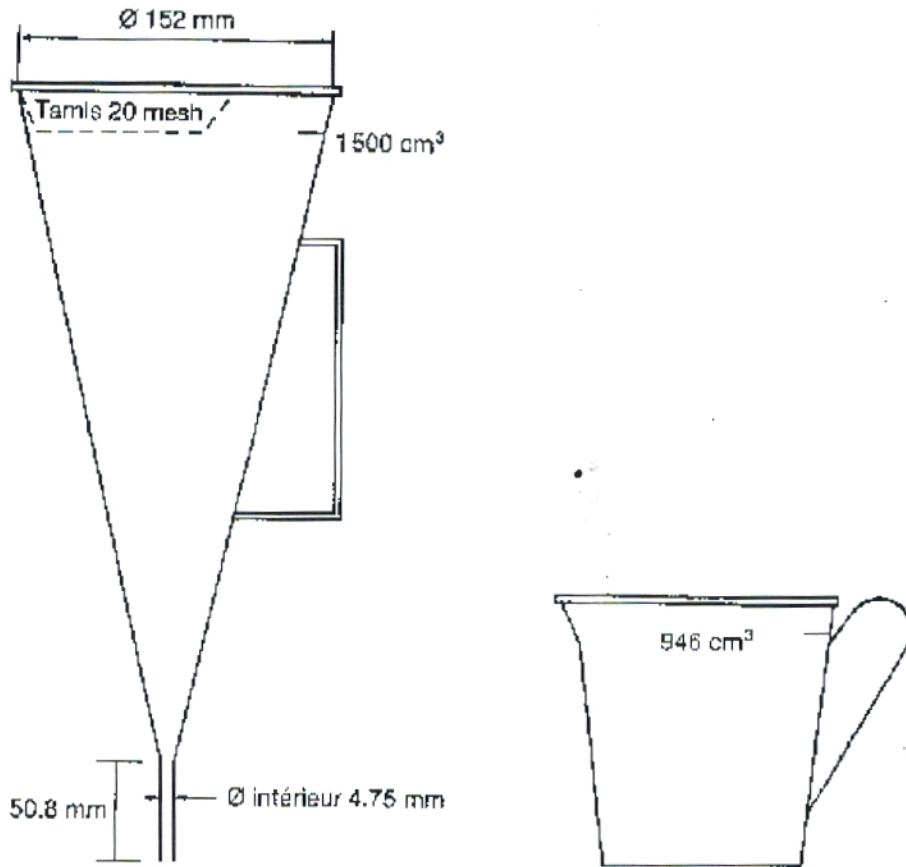


Fig n37: Viscosimètre Marsh.

2. **Le Viscosimètre** : est un appareil à cylindres coaxiaux où l'échantillon de boue à mesurer remplit l'annulaire entre les deux cylindres. Le cylindre extérieur (rotor) peut tourner aux vitesses 3, 6, 100, 200, 300, 600 tr/min. Il permet de déterminer le rhéogramme d'un fluide de forage, présenté par la fonction $T=f(\gamma)$. Pour chaque vitesse, on lit le couple transmis par le fluide sur le cylindre intérieur (stator). Ces six points de mesure permettent de tracer le rhéogramme de la fonction $T=f(\gamma)$. Cette dernière nous permis d'avoir une idée sur le régime rhéologique de la boue et sur la fraction solide dans le fluide.

Avec : $T=f(\gamma)$

T : tension de cisaillement.
 γ : taux de cisaillement.

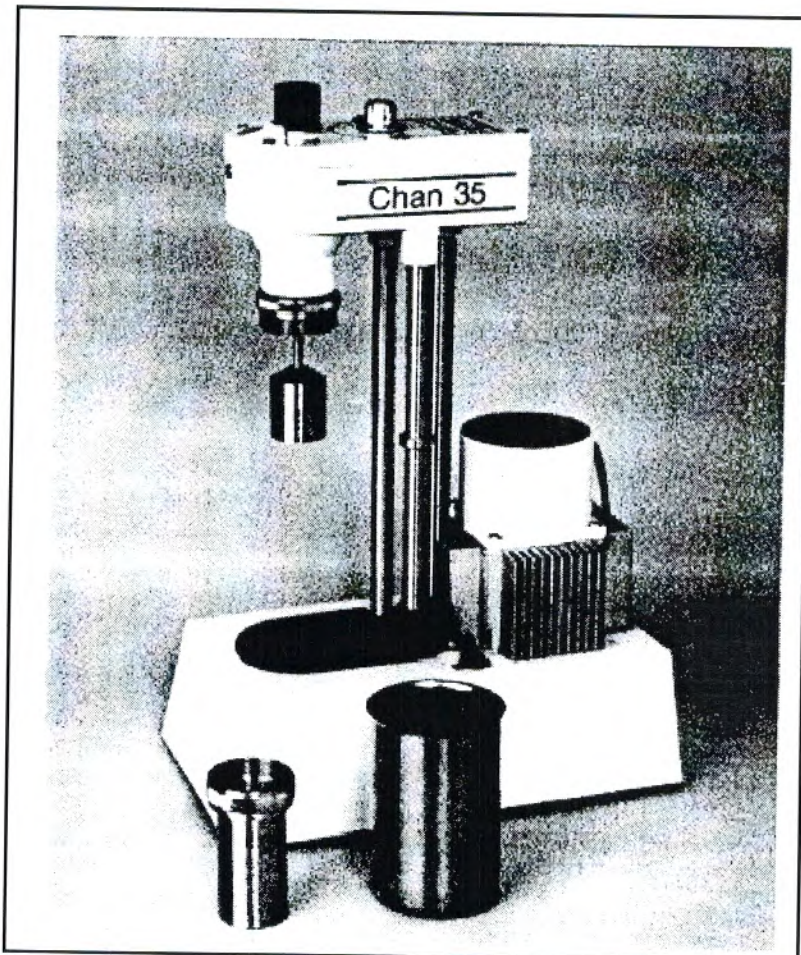


Fig n°38: Viscosimètre.

2.1 Apparent Viscosité (VA): est la moitié de la force de cisaillement produite par la rotation du fluide à 600tr/mn ,soit : $VA (CP)=r600/2$

2.2 Viscosité Plastique (VP) : elle est reliée à la forme, la taille et à la quantité de la matière solide dans la boue de forage, si elle est supérieure à la valeur voulue, elle indique que la fraction de la matière solide est grande, pour réduire cette fraction, il faut utiliser des machines conçues pour ce type de problème. La viscosité plastique est représentée par la formule suivante : $VP (CP) = r600 - r300$

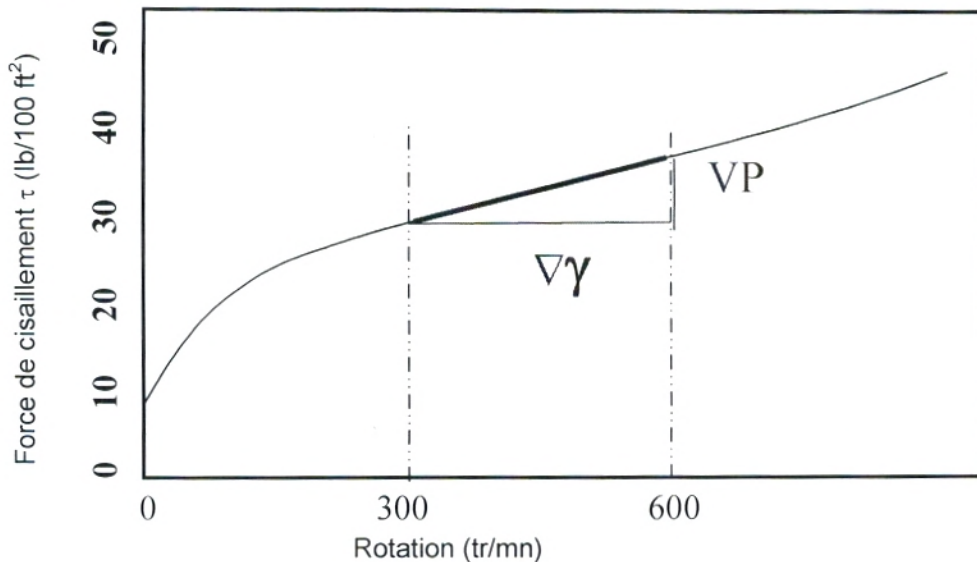


Fig n°39: représentation graphique de la viscosité plastique.

2.3. Yield Point (YP): est la force de cisaillement requise pour déclencher l'écoulement. Elle est en fonction de la propriété de la matière liquide, son diminution témoigne d'une dilution (apport d'eau), pour augmenter cette propriété du liquide, il faut ajouter de la bentonite ou des polymères. La Yield point est représentée par les formules suivantes :

$$YP (lb/100ft^2) = r300 - PV \text{ ou } YP (g/100cm^2) = (r300- PV)/2 = AV - PV$$

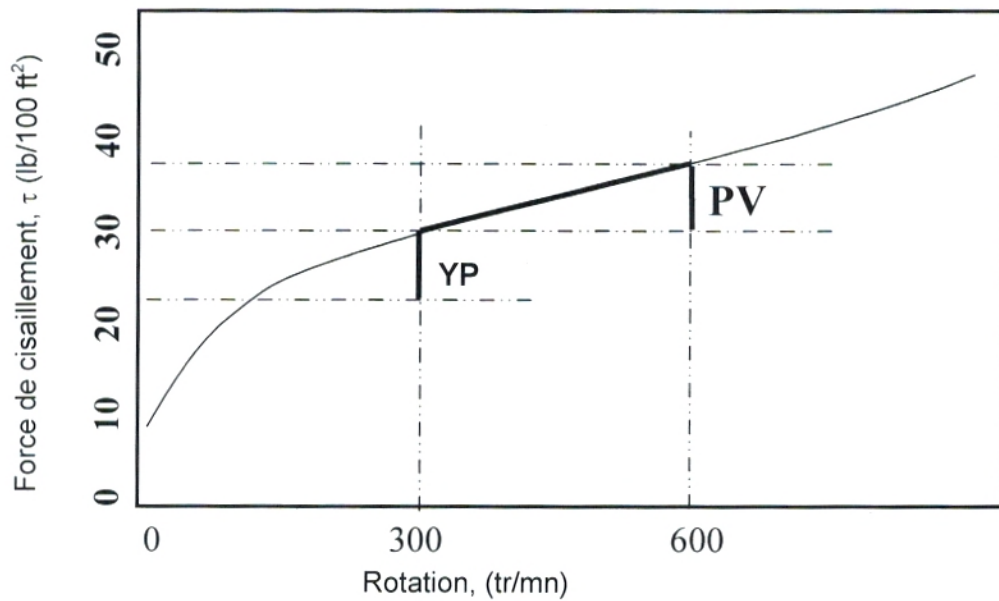


Fig n°40: représentation graphique de la Yield point.

2.4. Le Gel : est la capacité du fluide de suspendre la matière solide dans la boue de forage. La structure rigide ou semi-rigide du gel s'est développée pendant des périodes sans écoulement. Le Gel correspond à la force de cisaillement produite par la rotation trois t/mn .

2.4.1 Gel 0 : C'est la force de cisaillement produite par la vitesse de 3tr/mn après un repos du fluide pendant 10 secondes.

2.4.2 Gel 10 : C'est la force de cisaillement produite par la vitesse de 3r après un repos du fluide pendant 10 minutes.

Nb : r exprime ,tour par minute.

- **Filtrat:** (Fig n°41) : est la quantité du liquide (en cm^3) recueillie en 30min ,sous une pression de 100psi. On note également l'épaisseur du cake formée sur le papier.

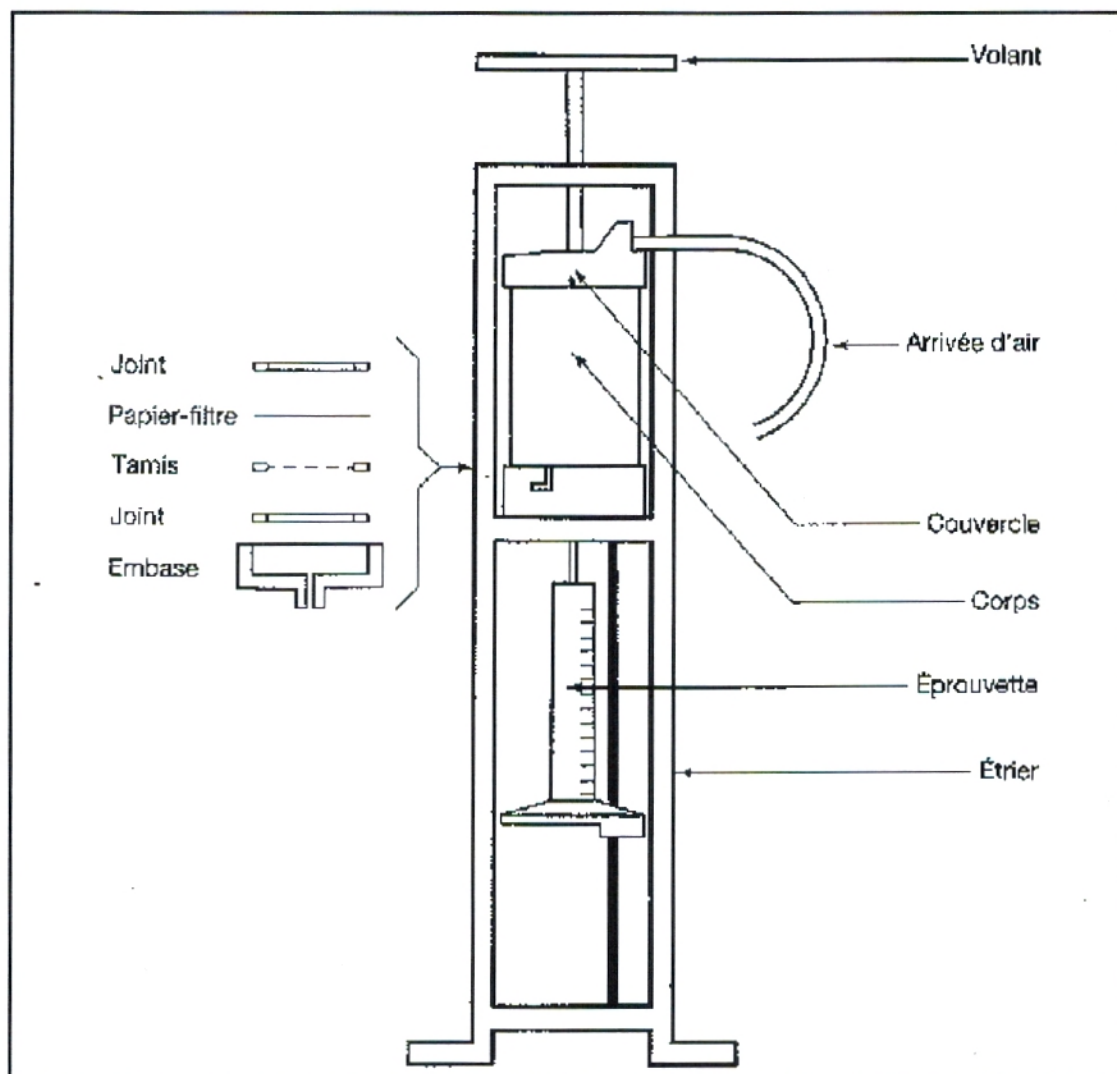


Fig n°41: Appareil de mesure du filtrat .

3. L'hydrocyclone :

Le fluide de forage est projeté de façon tangentielle à proximité du sommet du cône, ce qui crée un mouvement descendant en spirale. La force centrifuge créée pousse les solides vers l'extérieur. Le fluide nettoyé est refoulé vers le sommet du cône, alors que les solides sont rejetés vers le bas.





LISTE DES TABLEAUX

Tableau n°1:Précipitations moyennes annuelles au niveau de Hassi Messaoud.....	6
Tableau n°2:Précipitations torrentielles enregistrées à Hassi Messaoud.....	6
Tableau n°3:Distribution des précipitations à la station de Hassi Messaoud.....	8
Tableau n°4:Calcul du χ^2 par la loi racine.....	9
Tableau n°5:Calcul du χ^2 par la loi log normale.....	10
Tableau n°6 :Températures moyennes mensuelles mesurées à la station météorologique de Hassi Messaoud.....	12
Tableau n°7:Luminosité moyenne mensuelle à Hassi Messaoud.....	13
Tableau n°8:Vitesses moyennes mensuelles du vent à la station de Hassi Messaoud.....	13
Tableau n°9:L'humidité de l'air, moyenne annuelle à Hassi Messaoud.....	14
Tableau n°10:Indice de continentalité de quelques villes en Algérie.....	17
Tableau n°11:Evaluation de la réserve.....	37
Tableau n°12:Aspects environnementales associés à chaque procédé, activité ou étape.....	72
Tableau n°13:Sévérité de la conséquence.....	73
Tableau n°14:Degré de l'exposition aux risques.....	73
Tableau n°15:Probabilité d'occurrence.....	73
Tableau n°16:Matrice d'évaluation des risques.....	74
Tableau n°17:Canevas Analyse Environnementale.....	74
Tableau n°18:Analyse des eaux du bourbier et du puits témoin (1994 et 2002).....	83
Tableau n°19:Détermination des éléments indicateurs de pollution.....	84
Tableau n°20:Propriétés de chaque paramètre et le poids qui lui est affecté.....	86
Tableau n°21:Indices Drastics et degré de vulnérabilité (Fréchette 1987).....	88
Tableau n°22:Intervalles des indices Drastics et degrés de vulnérabilité pour le champ de Hassi Messaoud.....	91
Tableau n°23:Volume récupéré de la boue à base huile pour un puits pétrolier à Hassi Berkine par la compagnie ANADARKO, lors de l'utilisation de la Vert-G-Dryer.....	98



LISTE DES PHOTOS

Fig n°26 : Carte d'isoteneur du $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ des eaux de la nappe du MioPliocène au niveau du champ de Hassi Messaoud.....	52
Fig n°27 : Carte d'isoteneur des Chlorures des eaux de la nappe du MioPliocène au niveau du champ de Hassi Messaoud.....	54
Fig n°28 : Carte d'isoteneur des Sulfates des eaux de la nappe du MioPliocène au niveau du champ de Hassi Messaoud.....	55
Fig n°29 : Carte d'isoteneur du Bicarbonates des eaux de la nappe du MioPliocène au niveau du champ de Hassi Messaoud.....	56
Fig n°30 : Carte d'indice d'échange de base des eaux de la nappe du MioPliocène au niveau du champ de Hassi Messaoud.....	58
Fig n°31 : Carte caractéristique des eaux de la nappe du MioPliocène au niveau du champ de Hassi Messaoud.....	60
Fig n°32 : Analyse granulométrique du sol du MioPliocène au niveau du champ de Hassi Messaoud.....	82
Fig n°33 : Carte de profondeurs de la nappe du MioPliocène au niveau du champ de Hassi Messaoud.....	89
Fig n°34 : Carte des indices Drastics de la nappe du MioPliocène au niveau du champ de Hassi Messaoud.....	92
Fig n°35 : Carte de vulnérabilité de la nappe du MioPliocène au niveau du champ de Hassi Messaoud.....	93
Fig n°36 : Schéma du circuit de la boue de forage.....	99
Fig n°37 : Viscosimètre Marsh.....	120
Fig n°38 : Viscosimètre.....	121
Fig n°39 : Représentation graphique de la viscosité plastique.....	122
Fig n°40 : Représentation graphique de la Yield Point.....	123
Fig n°41 : Appareil de mesure du Filtrat.....	124

ملخص

إن النشاط البترولي قد بلغ من التقدم والازدهار أقصى درجة في ميادين البحث والتنقيب عن البترول، لكن هذه الخاصية قد نتج عنها حالات تلوث قد تتعكس سلباً على الطبيعة و تؤدي إلى تدهور المحيط. من ضمن منابع التلوث في حاسي مسعود، النفايات الخاصة بمراكز تصفية البترول وحفر الآبار. هذا النوع من النفايات يهدد بصفة مباشرة تلوث الأرض فهو يحتوي على كميات مرتفعة من البترول الخام والمعادن.

في التسعينيات، قسم سوناطراك اعتمد حفر الآبار باستعمال وحل بوليمار لحماية المحيط و نوعية المياه الجوفية، لكن هذا الوحل انجر عنه عدة مشاكل مثل تعطل ملحقات الآبار و المراقبة الدائمة لخصائصه الغير مستمرة (سلسلته الثمادية معرضة للبيش والحرارة) لهذا سوناطراك اختارت الوحل الزيتي لتقلص تكاليف إنجاز الآبار.

التحليل الفيزيوكيميائية و البيولوجية لمياه مركز تجميع الوحل و مياه البئر الذي أختبر أوضحت أن طبقة المياه الجوفية للعهده الميولوسيني معرضة للتلوث.

لقد ارتأينا، من خلال هذه الدراسة، أن نقترح خريطة لقابلية التلوث في منطقة حاسي مسعود و التي قد تعتبر كمرجع أساسي لحفر مستقبلي لآبار البترول أو لنشاط صناعي..

إن بئر البترول يعتبر منبعاً آخر للتلوث عن جراء انسياب النفايات، إما على السطح أو في الأعماق. التحريات المجراة حول وضعية المحيط في حقل حاسي مسعود أوضحت لنا أنه معرض لحد أقصى للتلوث، إذن على السلطات المعنية أخذ الاحتياطات اللازمة لمعالجة هذا المشكل.

خريطة قابلية التلوث، اعتماداً على طريقة " دراستيك " و مجالات " فريشت " بينت أن طبقة المياه الجوفية للعهده الميولوسيني في حقل حاسي مسعود، لها حد قابلية التلوث

متوسط، لكن التحليل الفيزيوكيميائية و البيولوجية أوضحت تلوثاً في منطقة لها مجال " دراستيك " صغير مقارنة مع المناطق الأخرى. الناتج، هو أننا قد وضعنا مجالات جديدة و خريطة لقابلية التلوث خاصة بحاسي مسعود، مما أوضحت أن الجهات الجنوبية و الشرقية أكثر قابلية مقارنة مع الجهات الأخرى.

الكلمات الأساسية:

نشاط بترولي – طبقة جوفية حرة – وحل – مركز تجميع الوحل – تلوث – طريقة " دراستيك ".

RESUME

L'activité pétrolière ne cesse de croître et atteindre un stade de développement considérable dans les domaines de recherche et de production des hydrocarbures, cette situation génère des sources de pollution qui peuvent nuire à la nature et à la qualité de vie.

Parmi ces sources de pollution à Hassi Messaoud, les rejets liquides constitués par les eaux résiduelles des centres de traitement des Hydrocarbures et lors des réalisations des forages. Ce type de rejet engendre d'une manière directe la pollution du sol, caractérisée par des teneurs élevées d'Hydrocarbures et de métaux lourds.

Dans les années 90, la division de la Sonatrach a essayé de réaliser des forages pétroliers par des Boues polymères pour bien préserver l'environnement et la qualité des eaux souterraines. Néanmoins, cette boue a provoqué plusieurs problèmes, tels que les coincements de la garniture de forage et la surveillance permanente des caractéristiques de la boue qui sont instables (sa chaîne moléculaire est influencée par le PH et la température). Pour cela, la Sonatrach a opté pour la boue à base huile pour réduire le coup de réalisation du forage pétrolier.

Les analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux des bourbiers et des eaux du puits témoin ont montré que la nappe du Miopliocène est exposée à la contamination.

Nous avons essayé à travers cette étude de proposer une carte de vulnérabilité à la pollution du champ de Hassi Messaoud qui constituera un élément de base à toute implantation future de forage pétrolier ou d'activité industrielle.

Un puits pétrolier est considéré comme une autre source de pollution par le déversement des rejets liquides soit en surface ou en profondeur. L'enquête menée sur l'état de l'environnement du Champ de Hassi Messaoud nous a montré que ce dernier est exposé à un risque environnemental élevé, donc les autorités concernées doivent prendre les dispositifs adéquats pour remédier à ce problème.

La carte de vulnérabilité, établie par la méthode DRASTIC et par les intervalles de Fréchette, a montré que la nappe du Miopliocène dans le Champ de Hassi Messaoud a un degré de vulnérabilité moyen, toute fois les analyses physico-chimiques et bactériologiques ont révélé une contamination dans une zone qui a un indice DRASTIC faible par rapport aux autres régions. Par conséquent, nous avons attribué de nouveaux intervalles et une nouvelle carte de vulnérabilité propre à Hassi Messaoud, ce qui a montré que les parties : sud et est sont plus vulnérables par rapport aux autres régions.

Mots clés :

Activité pétrolière –Nappe libre –Boue de forage –Bourbier –Contamination –Méthode DRASTIC.

SUMMARY

The oil activity does not cease growing and to reach a considerable stage of development in the fields of research and production of oil, this situation generates sources of pollution which can harm the nature and the quality of life.

Among these sources of pollution in Hassi Messaoud, the rejections waste water made up by processing centers of Hydrocarbons and at the time of the achievements of drillings. This type of rejection generates in a direct way, the pollution of the ground, characterized by high contents of Hydrocarbons and heavy metals.

As in the Nineties, the division of Sonatrach tried to carry out oil drillings by polymeric Muds for preserving well the environment and the quality of subsoil waters. Nevertheless this mud caused several problems, such as wedgings the drill pipe string, and the permanent monitoring of the characteristics of mud which are unstable (its molecular chain is influenced by the pH and the temperature). For that, Sonatrach with chosen mud at base oils to reduce the blow of realization of oil drilling.

Physicochemical and bacteriological analyses of water of the mud pits and water of the pilot well with shown that the tablecloth of Miopliocène is exposed to the contamination.

We tried through this study to propose a chart of vulnerability to pollution fields of Hassi Messaoud which will constitute a basic element with any future establishment of oil drilling or industrial activity.

An oil well is regarded as another source of pollution by the discharge of the rejections liquidate is on the surface or in-depth. The investigation carried out knew the state of the environment of the Field of Hassi Messaoud us showed that this last is exposed at the high environmental risk, therefore the authorities concerned must take the appropriate provisions to cure this problem.

The chart of vulnerability, established by DRASTIC method and the intervals of Fréchette, showed that the tablecloth of Miopliocène in the Field of Hassi Messaoud has an average degree of vulnerability, any time the analyses physicochemical and bacteriological revealed a contamination in a zone has a weak index DRASTIC compared to the other areas. Consequently, we allotted new intervals and a new chart of vulnerability suitable for Hassi Messaoud, ce which showed that the Southern part and East are more vulnerable compared to the other areas.

Key words:

Oil activity- Hassi Messaoud – Unconfined water –Mud of drilling –Mud pit –Contamination –DRASTIC method.

ملخص

إن النشاط البترولي قد بلغ من التقدم و الإزدهار أقصى درجة في ميادين البحث و التقيب عن البترول، لكن هذه الخاصية قد نتج عنها حالات تلوث قد تتعكس سلبا على البيئة تؤدي إلى تدهور المحيط. من ضمن منابع التلوث في حاسي مسعود، النفايات الخاصة بمراكز تصفية البترول و حفر الآبار. هذا النوع من النفايات يهدد بصفة مباشرة تلوث الأرض فيرو على كميات مرتفعة من البترول الخام و المعادن.

في التسعينيات، قسم سوناطراك اعتمد حفر الآبار باستعمال وحل بوليمار لحماية المحيط و نوعية المياه الجوفية، لكن هذا الوحل انجر عنه عدة مشاكل مثل تعطل ملحقات المراقبة الدائمة لخصائصه الغير مستمرة (سلسلته الشاردية معرضة للبي ائش و الحرارة). لهذا سوناطراك اختارت الوحل الزيتي لإتفاص تكاليف إنجاز الآبار.

التحاليل الفيزيوكيميائية و البيولوجية لمياه مركز تجميع الوحل و مياه البئر الذي اختير أوضحت أن طبقة المياه الجوفية للعهد الميوليوسيني معرضة للتلوث. لقد ارتأينا، من خلال هذه الدراسة، أن نقترح خريطة لتقالبية التلوث في منطقة حاسي مسعود و التي قد تعتبر كمرجع أساسي لحفر مستقبلية لآبار البترول أو لنشاط صناعي. إن بئر البترول يعتبر متبعا آخر للتلوث عن جراء انسياب النفايات، إما على السطح أو في الأعماق. التحريات المجراة حول وضعية المحيط في حقل حاسي مسعود أوضحت لنا أنه معرض أقصى للتلوث، إذن على السلطات المعنية أخذ الاحتياطات اللازمة لمعالجة هذا المشكل.

خريطة تقالبية التلوث، اعتمادا على طريقة " دراستيك " و مجالات " فريشت " بينت أن طبقة المياه الجوفية للعهد الميوليوسيني في حقل حاسي مسعود، لها حد تقالبية متوسط، لكن التحاليل الفيزيوكيميائية و البيولوجية أوضحت تلوثا في منطقة لها مجال " دراستيك " صغير مقارنة مع المناطق الأخرى. الناتج، هو أننا قد وضعنا مجالات جديدة و خريطة التلوث خاصة بحاسي مسعود، مما أوضحت أن الجهات الجنوبية و الشرقية أكثر تقالبية مقارنة مع الجهات الأخرى.

الكلمات الأساسية :

نشاط بترولي – طبقة جوفية حرة – وحل – مركز تجميع الوحل – تلوث – طريقة " دراستيك " .

RESUME

L'activité pétrolière ne cesse de croître et atteindre un stade de développement considérable dans les domaines de recherche et de production des hydrocarbures, cette situation génère des sources de pollution qui peuvent nuire à la nature et à la qualité de vie.

Parmi ces sources de pollution à Hassi Messaoud, les rejets liquides constitués par les eaux résiduelles des centres de traitement des Hydrocarbures et lors des réalisations des forages. Ce type de rejet engendre d'une manière directe la pollution du sol, caractérisée par des teneurs élevées d'Hydrocarbures et de métaux lourds.

Dans les années 90, la division de la Sonatrach a essayé de réaliser des forages pétroliers par des Boues polymères pour préserver l'environnement et la qualité des eaux souterraines. Néanmoins, cette boue a provoqué plusieurs problèmes, tels que les engorgements de la garniture de forage et la surveillance permanente des caractéristiques de la boue qui sont instables (sa chaîne moléculaire est influencée par le PH et la température). Pour cela, la Sonatrach a opté pour la boue à base huile pour réduire le coup de production du forage pétrolier.

Les analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux des bourbiers et des eaux du puits témoin ont montré que la nappe du Miopliocène est exposée à la contamination.

Nous avons essayé à travers cette étude de proposer une carte de vulnérabilité à la pollution du champ de Hassi Messaoud qui constituera un élément de base à toute implantation future de forage pétrolier ou d'activité industrielle.

Un puits pétrolier est considéré comme une autre source de pollution par le déversement des rejets liquides soit en surface ou en profondeur. L'enquête menée sur l'état de l'environnement du Champ de Hassi Messaoud nous a montré que ce dernier est exposé à un risque environnemental élevé, donc les autorités concernées doivent prendre les dispositifs adéquats pour remédier à ce problème.

La carte de vulnérabilité, établie par la méthode DRASTIC et par les intervalles de Fréchette, a montré que la nappe du Miopliocène du Champ de Hassi Messaoud a un degré de vulnérabilité moyen, toute fois les analyses physico-chimiques et bactériologiques ont révélé une contamination dans une zone qui a un indice DRASTIC faible par rapport aux autres régions. Par conséquent, nous avons allotté de nouveaux intervalles et une nouvelle carte de vulnérabilité propre à Hassi Messaoud, ce qui a montré que les parties : sud et est sont plus vulnérables par rapport aux autres régions.

Mots clés :

Activité pétrolière –Nappe libre –Boue de forage –Bourbier –Contamination –Méthode DRASTIC.

SUMMARY

The oil activity does not cease growing and to reach a considerable stage of development in the fields of research and production of oil, this situation generates sources of pollution which can harm the nature and the quality of life.

Among these sources of pollution in Hassi Messaoud, the rejections waste water made up by processing centers of hydrocarbons and at the time of the achievements of drillings. This type of rejection generates in a direct way, the pollution of the ground, characterized by high contents of Hydrocarbons and heavy metals.

As in the Nineties, the division of Sonatrach tried to carry out oil drillings by polymeric Muds for preserving well the environment and the quality of subsoil waters. Nevertheless this mud caused several problems, such as wedgings the drill pipe string, the permanent monitoring of the characteristics of mud which are unstable (its molecular chain is influenced by the pH and the temperature). For that, Sonatrach with chosen mud at base oils to reduce the blow of realization of oil drilling.

Physicochemical and bacteriological analyses of water of the mud pits and water of the pilot well with shown that the tablecloth of Miopliocène is exposed to the contamination.

We tried through this study to propose a chart of vulnerability to pollution fields of Hassi Messaoud which will constitute an element with any future establishment of oil drilling or industrial activity.

An oil well is regarded as another source of pollution by the discharge of the rejections liquidate is on the surface or in-depth. Investigation carried out knew the state of the environment of the Field of Hassi Messaoud us showed that this last is exposed at the environmental risk, therefore the authorities concerned must take the appropriate provisions to cure this problem.

The chart of vulnerability, established by DRASTIC method and the intervals of Fréchette, showed that the tablecloth of Miopliocène in the Field of Hassi Messaoud has an average degree of vulnerability, any time the analyses physicochemical and bacteriological revealed a contamination in a zone has a weak index DRASTIC compared to the other areas. Consequently, we allotted new intervals and a new chart of vulnerability suitable for Hassi Messaoud, ce which showed that the Southern part and East are more vulnerable compared to the other areas.

Key words:

Oil activity –Ground water –Mud of drilling –Mud pit –Contamination –DRASTIC method.