

## DIAGNOSTIC DES EFFONDREMENTS ET DE LEURS IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT : CAS DE M'RARA, BAS SAHARA, SUD-EST ALGERIEN

**B. AISSANI** <sup>(1)\*</sup>, **M. HACINI** <sup>(2)</sup>, **A. ZEDDOURI** <sup>(2)</sup> et **M. DJIDEL** <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> *Département des sciences de la terre et de l'univers, Université Kasdi Merbah Ouargla, BP 511 Ouargla 30000, Algérie.*

<sup>(2)</sup> *Laboratoire de biogéochimie des milieux désertiques, Université Kasdi Merbah Ouargla, BP 511 Ouargla 30000, Algérie.*

<sup>(3)</sup> *Laboratoire de Bio-ressources Sahariennes : Préservation et Valorisation, Université Kasdi Merbah Ouargla, BP 511 Ouargla 30000, Algérie.*

\*Email : [aissanibelkacem@hotmail.com](mailto:aissanibelkacem@hotmail.com)

### Résumé

Le Sahara est connu par sa stabilité sur le plan tectonique, sismique et volcanique. M'rara est une région saharienne menacée par plusieurs risques naturels tels que les affaissements, les effondrements et les bétoires. Vue l'insuffisance des études géologiques et hydrogéologiques dans la région, nous a obligé de faire étude d'un diagnostic, qui pourrait nous fournir des informations précieuses sur les différents effondrements qui constituent un danger permanent dans la région et de cerner également les causes ayant contribué à la formation de ces derniers.

Parmi les dégâts des effondrements constatés dans la zone d'étude on cite la fissuration du château d'eau, l'inclinaison des poteaux électriques et les pertes des eaux d'irrigation. On a noté l'existence de quatre effondrements de dimensions considérables alignés selon la direction NW-SE qui coïncide avec le tracé d'Oued Retem.

La géologie de surface montre des formations continentales Plio-Quaternaires de lithologie variant entre sables, conglomérats, argiles, calcaires et gypses. Les deux derniers faciès sont sujet de dissolution suite aux attaques érosives des eaux.

L'origine de ces anomalies est lié à la présence d'un karst par étapes dans les calcaires et les gypses de l'Eocène en liaison avec la circulation des eaux dans les formations sus-jacentes sans oublier la dynamique torrentielle des eaux coulant dans l'oued Retem.

**Mots clés :** effondrement, risque, karst, Sahara.

### Abstract

Sahara is known by its stability on the tectonic, seismic and volcanic level. M'rara is a Saharan area threatened by several natural risks such as subsidence, soil collapses and sink-holes. Reduce natural hazards is a critical need for spatial planning of land use. View the lack of geological and hydrogeological studies in the region, has forced us to study a diagnosis, which might provide valuable information on the various collapses are a constant danger in the region and also identify the causes that contributed to the formation of the latter.

Among sinkhole damage noted in studied zone are cited the cracking of the water tower, the slope of the electric poles and the losses of irrigation water. We noted the existence of four collapses of considerable size aligned according to the direction NW-SE which coincides with the itinerary of Retem Wadi.

The surface geology shows Plio-Quaternary continental formations of lithology varying between sands, conglomerates, clay, limestone and gypsum. The latter two facies are subject to dissolution following the attacks of erosive water. The origin of these anomalies is related to the presence of a karst in Eocene limestone and gypsum in association with water circulation in the overlying formations without forgetting the torrential dynamics of water flowing in Retem wadi.

**Key words:** sinkhole, risk, karst, Sahara.

## 1. Introduction

Limiter les risques naturels est une nécessité primordiale pour la planification spatiale de l'aménagement du territoire. La mise en évidence des principaux facteurs physiques qui ont un impact sur l'occupation et l'affectation du sol tel que les effondrements, glissements, coulées de boue, inondations, activités sismiques et volcaniques... etc., devient une préoccupation majeure chez les autorités locales. Le Sahara est réputé par sa stabilité sur le plan tectonique, sismique et

volcanique. Les mouvements de terrain regroupent un ensemble de déplacements, plus ou moins brutaux, du sol ou du sous-sol, d'origine naturelle ou anthropique.

Le phénomène naturel abordé dans cette étude concerne les effondrements de terrain. Ces derniers provoquent généralement des dégâts humains, matériels et environnementaux. A cet effet, chaque année, on dénombre de nombreuses pertes de vie, d'endommagements, des destructions, des interruptions d'activité engendrant des pertes de production [1].

Ce travail porte en premier lieu, sur la réalisation d'un diagnostic sur les différents effondrements qui constituent un danger permanent dans la région de M'rara et en second lieu de cerner les causes ayant contribué à la formation de ces derniers.

## 2. Méthodes

Pour réaliser cette étude une exploration sur le terrain a été effectuée dans le but de décrire les différents effondrements et de déterminer leurs dimensions et leur évolution. Un GPS a été utilisé pour la localisation des surfaces effondrées et la détermination des coordonnées géographiques.

Une étude géologique de terrains a permis d'établir une description lithologique des formations. Un prélèvement des échantillons de roches à partir des affleurements et des effondrements a été suivi d'une analyse minéralogique au laboratoire du département de géologie à l'Université Badji Mokhtar Annaba en Algérie.

## 3. Cadre physico-géographique

Le village de M'rara est situé dans la région d'EL Oued (Nord-Est du Sahara algérien), dans la zone de L'Oued Rhir, à environ 110 km à l'Ouest de la ville d'El Oued, 55 km au Nord de Touggourt et 32 km à l'Ouest de Djamaa (Fig.1). C'est une agglomération rurale entourée de terres agricoles fertiles.

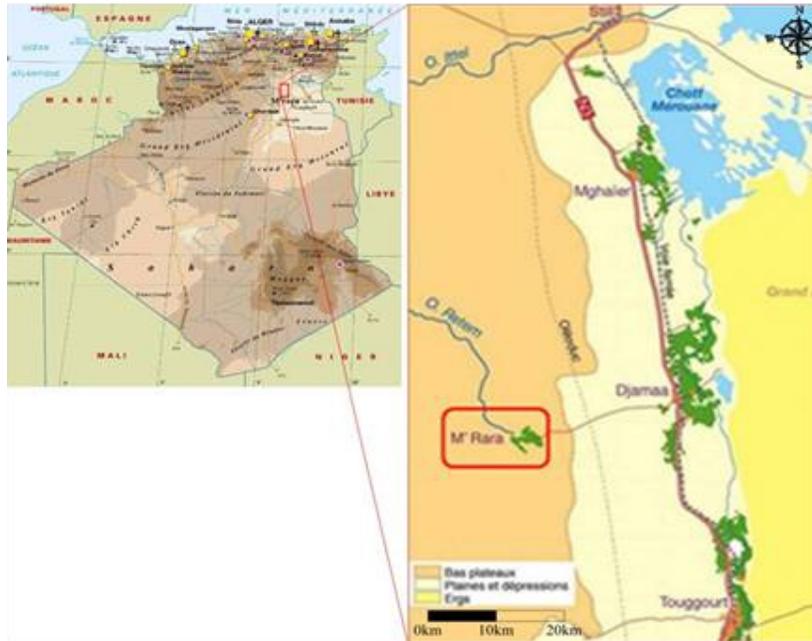


Figure 1 : carte de situation de la région de M'rara [2]

Le climat dans la région est aride de type saharien, avec des étés secs et chauds et des hivers doux. Les écarts entre les températures diurnes et nocturnes sont importants, dépassant souvent les 20°C. La période froide s'étale de Novembre à Mars et la période chaude d'Avril à Octobre.

De point de vue géomorphologique, le village de M'rara se trouve à une altitude d'environ 100 m, dans une cuvette à remplissage Plio-Quaternaire, d'environ 15 km<sup>2</sup> de superficie, entourée par des

collines mio-pliocènes (fig. 2). Ces dernières développent dans l'ensemble une pente à regard Est. Mrara est située dans un bassin versant ayant des faciès calcaires et gypses alternés. Concernant les ressources hydriques de la région, la nappe des calcaires de l'Eocène (appartenant au Complexe Terminal), est la plus exploitée, en raison de sa faible profondeur et de sa qualité. Cette nappe est exploitée surtout par des ouvrages peu profonds destinés à l'irrigation des champs agricoles et des palmeraies. Le débit totale exploitée des eaux thermales de la nappe albienne sur toute la région de M'rara est de 595 l/s. [3].

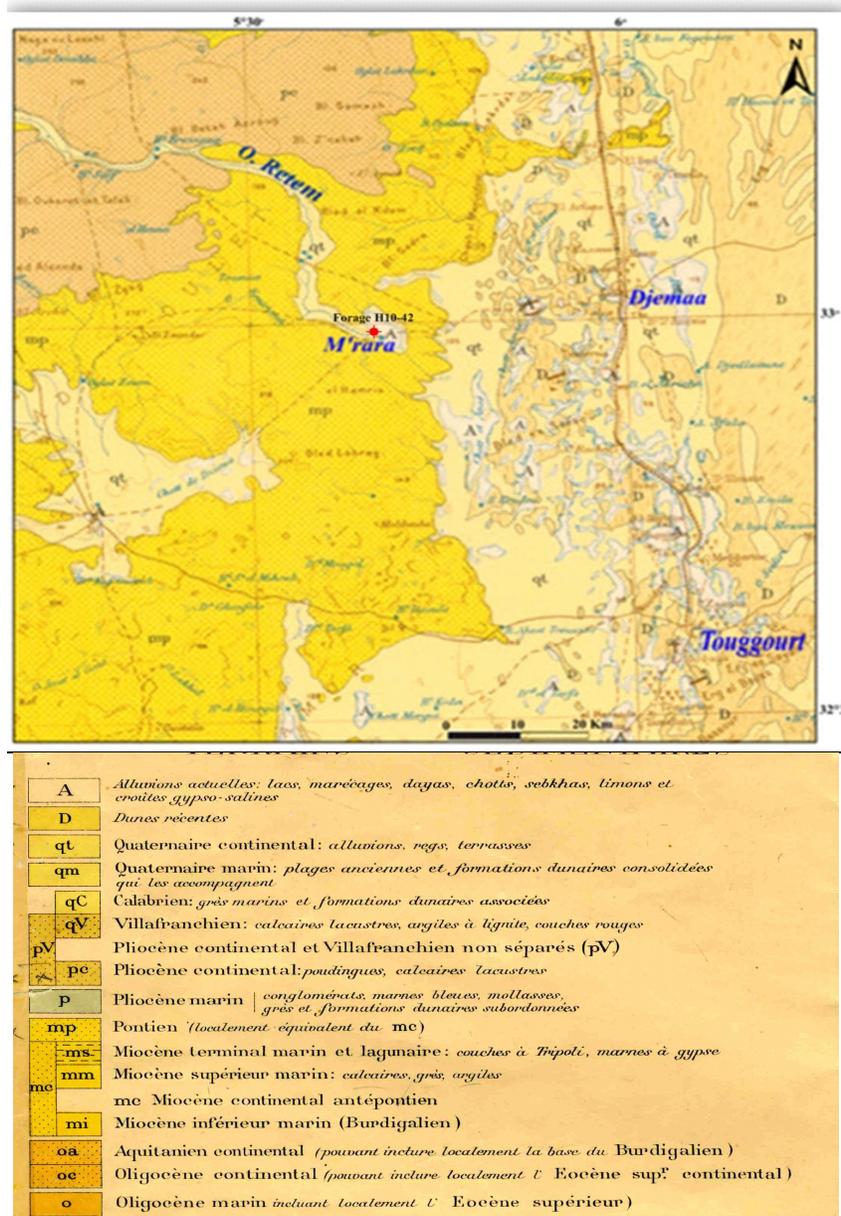
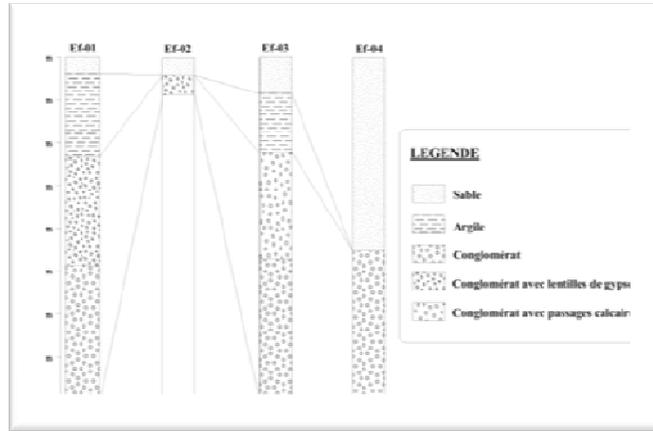


Figure 2 : Extrait de la carte géologique de l'Algérie (D'après M.M. Cornet, N. Gousskov et al., 1952 [4])

#### 4. Cadre géologique

Plusieurs visites ainsi que plusieurs coupes géologiques ont été effectuées sur les différents affleurements. Ces derniers constituent une lithologie, de bas vers le haut presque constante, il s'agit des grès, argiles et gypses avec lentilles de craies. La plupart de ces coupes géologiques présentent dans leur partie sommitale des surfaces polygonales, conséquences de la régression des eaux.



**Fig. 3 : Coupe géologique passant à travers les effondrements**

La représentation de la coupe géologique à travers les différents effondrements, dont la mesure des épaisseurs (profondeurs) est approximative, reste difficile vue les difficultés à s'approcher des cavités. Ces dernières représentent des épanchements avec des profondeurs difficilement mesurables et à accès limité.

## 5. Résultats

### 5.1 Observations de surface

La nappe du complexe terminal a une composante karstique développée, causée par les vides résultant des interactions roche-eau, telles que les réactions chimiques entre les eaux agressives riches en acide carbonique  $H_2CO_3$  qui attaque les carbonates et les gypses. Ces réactions de dissolution conduisent à la formation de vides qui provoquent des effondrements karstiques. La présence des vides de tailles variées est indiquée par des pertes totales de boue au cours de la réalisation des forages.

Les observations de terrain ont permis de détecter quatre effondrements et deux fissures (Fig. 3).



**Figure 3 : Position des effondrements et des fissures.**

#### a. Les effondrements

Les caractères morphométriques diffèrent d'un effondrement à un autre. Le tableau 1 récapitule les dimensions des cavités, la surface effondrée et le volume des alluvions déplacées.

**Tableau 1 : Morphométrie des effondrements**

Effondrements	Longueur (m)	Largeur (m)	Profondeur (m)	Surface (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
1	25	20	18	500	9000
2	3	3	1.5	9	13.5
3	7.5	6.5	15	48.75	731.25
4	70	40	15	2800	42000
<b>Total</b>				<b>3357.75</b>	<b>51744.75</b>

▪ **Effondrement 1**

L'effondrement 1 (photo 1) se trouve à 117 m au Nord-Est du forage H10-42. La date exacte de son apparition n'est pas connue, mais elle demeure néanmoins récente. Le remblaiement du côté Sud de cet effondrement a en partie entravé son analyse, notamment sur le plan géométrique. Mais, en contrepartie cela nous a facilité l'accès à la partie dégagée de la cavité ce qui a permis sa description.



**Photo 1 : effondrement 1.**

Une étude faite par le centre de recherches astronomiques, astrophysiques, et géophysiques (CRAAG,) montre que l'aven est de forme elliptique, d'environ 10 m de long sur 5 m de large et allongé dans la direction N80. Il constitue l'ouverture d'une cavité de forme ovale, allongée suivant la même direction et profonde d'environ 8 à 10m [5]. Lors de notre visite en Mars 2010, l'exploration faite sur terrain montre une nette évolution des dimensions de cet effondrement ; la longueur est devenue de 25 m, la largeur est de 20 m, tandis que la profondeur est de (18-20 m). D'un point de vue lithologique, la paroi interne de l'effondrement d'âge Plio-Quaternaire est constituée principalement, de bas en haut :

- ✓ d'un niveau argileux rougeâtre,
- ✓ des conglomérats monogéniques très peu consolidés, de 5 à 6 m d'épaisseur, comprenant des galets à calcaires arrondis de dimension décimétriques, appartenant à la fraction rudite et un ciment argilo-sableux fin appartenant aux fractions des arénites et des lutites. L'analyse des galets montre, qu'il s'agit de poudingues monogéniques intraformationnels calcaires, constitués de cailloux homométriques de calcaires travertins très arrondis, témoignant de l'usure mécanique en relation avec un long transport fluvial et un ciment de nature calcaire.
- ✓ Des blocs métriques de calcaires lacustres gris, d'aspect vacuolaire, existent au sommet du niveau conglomératique. Leur provenance est le Pliocène continental situé au Nord-Ouest, en amont de l'Oued Retem.
- ✓ La lithologie se termine par les argiles et sables fins, d'environ 1 m d'épaisseur.
- ✓ La paroi dégagée de l'effondrement, côté Nord, montre que, les conglomérats sont grossièrement stratifiés. Les éléments de la fraction rudite, montrent une orientation préférentielle suivant cette stratification. Celle-ci, est peu ondulée et plonge globalement vers la direction Nord à Nord-Ouest. D'ailleurs, plusieurs fissures affectent le niveau conglomératique et se coïncident parfois avec les joints de la stratification.

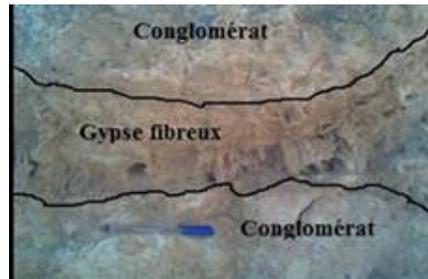
### ▪ Effondrement 2

Situé à 110 m au Nord- Est du forage H10-42 et 30 m par rapport à l'effondrement 1. Il est formé probablement depuis 3 ans d'après les témoignages des habitants. L'examen de cette cavité montre, que sa forme a un aspect circulaire avec un diamètre de 3 mètres et une profondeur de 1.5 mètres (photo 2).



**Photo 2 : Effondrement 2.**

D'un point de vue lithologique, les parois internes de cet effondrement sont constituées d'une formation d'âge Plio-Quaternaire, principalement conglomératique monogénique très peu consolidée, avec un remplissage gypseux. Une attention particulière est accordée à l'évaluation de la dissolution de gypse [6].



**Photo 3 : Lithologie des parois de l'effondrement 2**

### ▪ Effondrement 3

L'effondrement est situé à 1300 m au Nord-Ouest du forage H10-42 et à 1410 m par rapport à l'effondrement 1. D'après les habitants locaux, son apparition date du mois d'octobre 2007. Les analyses de cette cavité (effondrement) montrent une ouverture de forme elliptique (photo 4), moins prononcée que dans l'effondrement précédent, de 5 m de longueur sur 4m de largeur. Les mesures récentes du mois de Mars 2010 montrent une longueur de 7.5 m et une largeur de 6.5 m et de direction N100. La cavité est profonde d'environ 10 à 15 m. On note également que les changements de dimensions sont en faveur d'une progression du gouffre. Malheureusement nous n'avons pas pu accéder à cet effondrement, en raison de sa profondeur et le manque des moyens permettant d'explorer son intérieur.



**Photo 4 : effondrement 3**

▪ **Effondrement 4 :**

Il est situé dans une palmeraie à 2.1 km au Sud Est du forage H10-42. Sa forme est elliptique (photo 5), de 70 m de longueur sur 40 m de largeur, dans la direction N10 à N20. La profondeur de l'effondrement est d'environ 15 m.

De point de vue lithologique, les formations sont d'âge Plio-Quaternaire constituées principalement, de bas en haut, d'un niveau conglomératique monogénique très peu consolidé de 6 m d'épaisseur, surmonté d'un niveau de sable rougeâtre de 9 m d'épaisseur.



**Photo 5 : effondrement 4**

**3.2. Affaissements, fissures et bétoires**

▪ **Affaissement**

Au près du forage H10-42, il existe un édifice clôturé qui servait de système de refroidissement des eaux chaudes remontées de la nappe l'Albienne par forage. A l'intérieur du périmètre de cet édifice, nous avons constaté en place la présence d'un affaissement de forme circulaire (d'environ 5 m de diamètre). Le bac à eau est fissuré sous l'effet du déplacement du sol (Photo 6). Ce dernier est estimé à environ 30 cm en profondeur. L'existence de cet affaissement nous amène à présenter une hypothèse sur l'existence d'une cavité en dessous, dont l'état de géométrie reste à vérifier.



**Photo 6 : vue d'ensemble de l'affaissement près du forage H10-42**

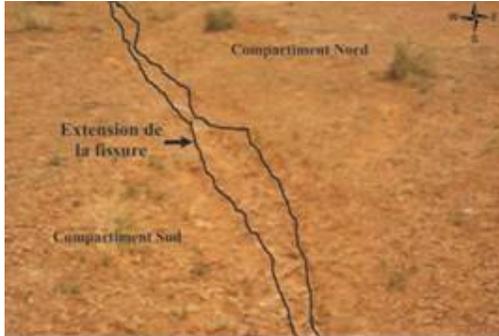
▪ **Les fissures :**

A environ 770 m au Sud du forage H10-42, il existe dans les conglomérats Plio-quaternaire une fissure importante, rectiligne, parfois sinueuse, de plus de 50 m de long et orientée N80. Dans le détail, il s'agit pratiquement d'un chapelet de petits creux profonds entre 10 et 20 cm, de quelques centimètres de large, dont la continuité définit la fissure (photo 7). Il n'existe pas de rejet perceptible entre les deux compartiments, qui sépare la fissure. En revanche, l'allure des creux nous a permis de déceler un léger déplacement latéral dextre, le compartiment Nord s'est déplacé vers l'Est par rapport au compartiment sud.

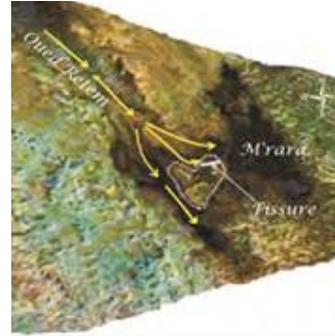
Aussi, il est vraisemblable, que cette fissure soit l'expression d'un phénomène d'instabilité de terrain, en relation directe avec sa situation par rapport à l'Oued adjacent (Oued Retem). L'analyse

de l'image satellitaire Landsat TM7 [5] de ce secteur a permis de constater, que cette fissure se trouve sur le bord septentrional d'une grande colline entourée par l'Oued (photo 8).

A environ 2900 m au Sud-Est du forage H10-42, il y a existence d'une autre fissure de plus 70 m de long et de direction N160. Cette fissure est perpendiculaire à la précédente.



**Photo 7 : Allongement de la fissuration selon la direction NW-SE.**



**Photo 8 : disposition de la fissure par rapport au tracé de l'Oued Retem.**



**Photo 9 : inclinaison des poteaux électriques sous l'effet de l'effondrement.**

#### ▪ Les Bétoires

Ils existent plusieurs bétoires dans la zone des palmeraies et près du château d'eau. Ces bétoires absorbent des quantités importantes d'eaux pluviales et d'irrigation.

Un exemple est situé à 200 m au Nord-Ouest de forage H10-42. L'analyse de cette bétoire montre une ouverture de forme elliptique avec une longueur de 120 cm et 65 cm de largeur, et orientée u N10. Cette bétoire est profonde d'environ 50 cm (Photo 10).



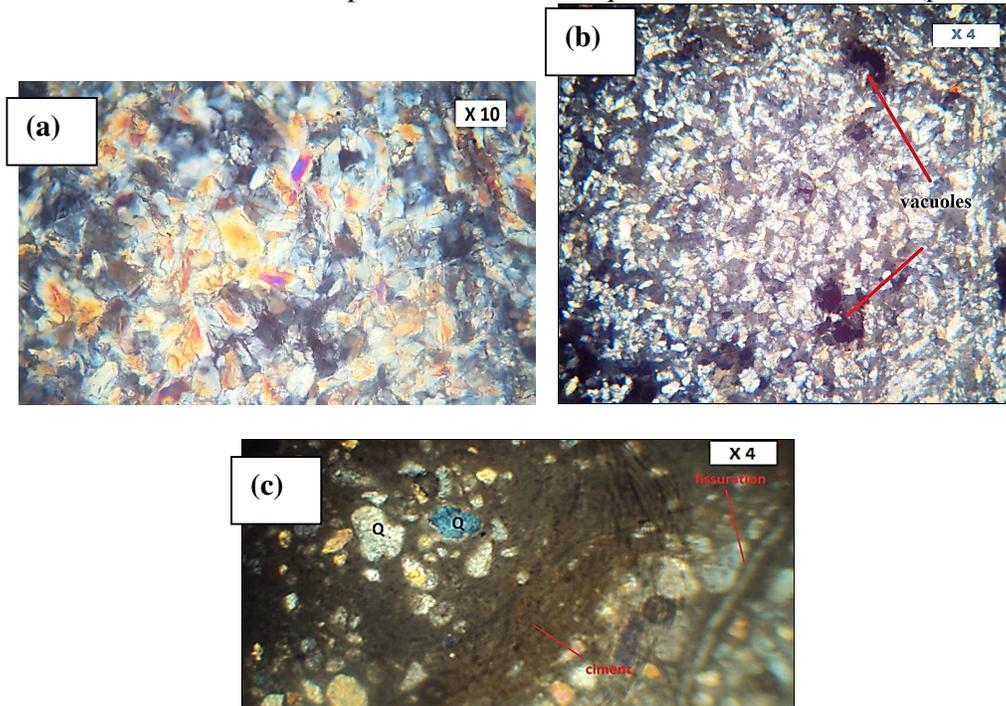
**Photo 10: Exemple d'une bétoire observée dans la palmeraie, près de l'effondrement 1.**

Des petits affaissements de terrain sont observés au niveau d'une palmeraie située à 250 m au Nord-Est du forage H10-42. Le plus important, de forme elliptique, possède une longueur de 3m, une largeur d'environ 1m. Selon le propriétaire de la palmeraie, toute l'eau déversée dans ce secteur agricole pour l'irrigation disparaît très rapidement, à titre d'exemple : l'équivalent d'un camion-citerne en eau a été complètement absorbé en quelques minutes. Près de cet affaissement, se trouve un canal creusé sur le même sol, dans lequel coule l'eau d'irrigation. Le fait que l'allongement de l'affaissement soit parallèle au canal, direction N30, et que l'asymétrie soit dirigé vers celui-ci, suggère que cet affaissement est dû à l'action de l'eau circulant dans le canal. Cette eau s'infiltre en creusant, à une faible profondeur, de petites cavités provoquant l'affaissement superficiel du sol.

### 5.2 Observations en profondeur

Le forage H10-42 constitue un exemple typique des difficultés rencontrées au cours et après sa réalisation. Sa mauvaise cimentation a incité les responsables de l'ANRH de procéder à sa fermeture en 1974. Un affaissement important est observé près de ce forage (photo 6), engendrant des fissurations au niveau de l'édifice du refroidisseur.

Tous les effondrements étudiés sont représentés de bas en haut par des conglomérats monogéniques, des conglomérats à lentilles de gypses et des calcaires, des argiles et des sables. La forte friabilité des roches de Mrara n'ont permis la confection que de trois lames minces (photos 11).



**Photos 11: Microphotographies en lumière polarisée et analysée des lames minces : (a) texture saccharoïde d'un gypse, prélevé au niveau de Oued Rtem, en masses granulaires pulvérulentes suggérant un dépôt dans un milieu lagunaire, (b) gypse vacuolaire pris de l'affleurement des gypses, (c) conglomérat à ciment calcitique prélevé à l'intérieur de l'effondrement 4.**

### 6. Discussions

Plusieurs hypothèses peuvent être présentées pour expliquer l'origine de ces effondrements : la première, à l'instar du puits OKN32 de Haoud Berkaoui, est basée sur la dissolution de la couche salifère du Sénonien inférieur suite à la circulation des eaux de la nappe albienne faute d'une mauvaise cimentation de tubage du forage. [7]

Un deuxième argument est lié au phénomène de karst (comme le cas de l'effondrement de Sahb El Bir à El Mansoura, W. Ghardaia) [8]. La progression du phénomène de karstification induit la création de cavités souterraines qui provoquent les dites effondrements. Cela s'explique par la perte

totale de la boue au niveau des formations Eocène observée au forage H10-42 à une profondeur allant de 57m à 135m (fig.3).

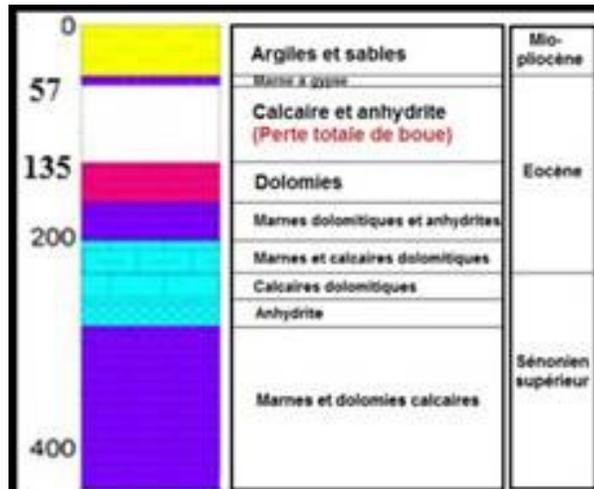
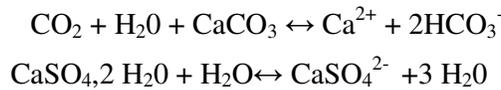


Figure 4 : colonne lithostratigraphique du forage H10-42 [5]

Les réactions chimiques responsables de la dissolution des carbonates et des gypses sont les suivantes :



D’après C. Nesson, (1967), il s’agit d’un phénomène karstique réalisé par étapes [9]. L’origine de ces anomalies peut être aussi liée, selon la troisième hypothèse, à la circulation des eaux de Oued Retem, aux eaux d’irrigation et aux eaux de précipitations dans les formations Mio-Plio-quadernaires. Ces dernières contiennent des bancs de calcaires et de gypses pouvant, suite à leur dissolution, créer des gouffres qui évoluent à leur tour pour donner lieu aux effondrements (Photo 3). D’après ce diagnostic, l’origine de ces effondrements est liée aux effets combinés entre la circulation des eaux superficielles dans la nappe libre et le phénomène du karst se développant dans les calcaires et les gypses de l’Eocène.

### 7. Conclusions et recommandations

La région de M’rara court un grand risque d’effondrement dont les dégâts sont visibles à l’œil nu et représentés par la fissuration du château d’eau, l’inclinaison des poteaux électriques, les pertes des eaux d’irrigation et les risques d’effondrement des habitations. On a constaté l’existence de quatre effondrements de dimensions considérables et des fissures alignées selon une direction NW-SE qui coïncide avec le tracé d’Oued Retem ainsi que le sens de l’écoulement des eaux de la nappe superficielle du Mio-Pliocène.

La géologie de surface montre des formations continentales Plio-Quaternaires de lithologie variable entre sables, conglomérats, argiles, calcaires et gypses. Les deux derniers faciès sont sujets à la dissolution suite aux attaques érosives des eaux.

L’argument le plus fiable pour expliquer l’origine de ces anomalies est la présence d’un karst dans les calcaires et les gypses de l’Eocène en liaison avec la circulation des eaux dans les formations sus-jacentes sans oublier la dynamique torrentielle des eaux de l’Oued Retem.

Pour mieux cerner ce problème, une étude géophysique détaillée serait très utile pour déterminer l’existence des cavités souterraines [10]. Il faut, en outre, préciser l’hydrogéologie locale de façon à reconnaître toutes les ressources en eaux et leurs caractéristiques. La réalisation d’une carte de risque est très souhaitée. D’autre part, un travail de sensibilisation de la population contre ce danger naturel demeure une nécessité de premier ordre. Pour éviter les pertes humaines et animales, on

procèdera à délimiter les cratères par des grillages. Il est également recommandé de planter des poteaux témoins à une distance de 20 m des cavités à fin de suivre leur évolution. Et enfin, pour réduire l'évolution de ces effondrements, il est recommandé de revoir les mécanismes de la gestion des eaux d'irrigation et les eaux urbaines en utilisant les nouvelles technologies permettant d'économiser les ressources hydriques (systèmes gouttes à gouttes et les pivots).

## Références

- [1] M. Van Den Eeckhaut, J.Poesen, M. Dugar, V. Martens et Ph. Duchateau ; Sinkhole formation above underground limestone quarries : A case study in South Limburg (Belgium); Géomorphology Journal, Volume **91**, issue 1-2, pp 19-37, (2007).
- [2] J-L. Ballais ; Des oueds mythiques aux rivières artificielles : l'hydrographie du Bas-Sahara algérien ; Géographie Physique et Environnement, Vol. **4**, pp 107-12, (2010).
- [3] SARL ABAR ; Rapport de réparation de neuf forages à travers la wilaya d'El Oued, (2008).
- [4] Extrait de la Carte géologique de l'Algérie ; M.M. Cornet, N. Gousskov, M. Dalloni, P. Deleau , F.M. Gautier, Y. Gourinard, R. Laffitte, avec la collaboration de M.M. Aye, J. Bertraneu, A. Caire, L. Chadenson, G. Cheylan, A. Clair, G. Cornet, C.C. Drooger, G. Dubourdiou, L. Duplan, M.D. Delga, G. Durosoy, P. Gevin, J. Glac, I. Glangeaud, J. Guillemot, J. Hilly, R. Karpoff, G. Lucas, P. Marks, M. Mattaui, H. Moussu, P. Muraour, A. Rast, Th. Raven, G. Sadran, J. Thiébaud, R.J. Vande Iert, L. Visse, C.Voute ; (1952).
- [5] CRAAG ; Etude géophysique à M'rara, Daïra de Djemaa, W. El Oued. rapport inédit, (2008).
- [6] J. Lamont-Black, P.L. Younger, R.A. Forth, A.H. Cooper et J.P. Bonniface ; A decision-logic framework for investigating subsidence problems potentially attributable to gypsum karstification. Engineering geology, Volume **65**, issue 2-3. pp 205-215, (2002).
- [7] SONATRACH HBK ; Rapport interne de l'étude géologique de l'effondrement OKN32, (1995).
- [8] A. HAMIS et E.H. Cherfouh ; Effondrement de Sahb-El-Bir Wilaya de Ghardaïa. Rapport interne. ORGM (1995).
- [9] C. NESSON ; évolution de la bétouire de la Daïa de M'rara. Travaux de l'institut de recherches sahariennes, tome XXVI, (1967).
- [10] K. El Khammari, A. Najine, M. Jaffal, T. Laifa, M. Himi, D. Vasquez, A. Casas et P. Andrieux ; Imagerie combinée géo-électrique-radar géologique des cavités souterraines de la ville de Zaouit Ech Cheikh (Maroc). Comptes rendus géosciences, Volume **339**, issue 7, pp 460-467, (2007).