

## SCHEMA HYDROGEOLOGIQUE POSSIBLE DE LA MINE DE KERZET YOUSSEF (NORD-EST ALGERIEN).

M.A BELLOUCHE

Institut d'Architecture et des Sciences de la Terre, Université Sétif 1, Algérie.

Reçu le 18/06/2016– Accepté le 28/11/2016

### Résumé

L'étude proposée s'intéresse à la catastrophe provoquée par l'inondation de la mine de Kherzet Youssef par les eaux souterraines. Cette mine est située aux alentours de la commune d'Ain Azel (wilaya de Sétif). Une approche géologique et hydrogéologique est entreprise pour mettre en évidence le ou les cause(s) à l'origine de cet accident. Pour rappel, l'exploitation du minerai s'effectuait par des galeries souterraines avec un pompage continu des eaux. Cependant une trombe d'eau de 22 000 m<sup>3</sup>/h survenue le 2 Juin 1990 a englouti la mine, faisant 19 victimes parmi les mineurs et entraînant son abandon définitif. La présence d'un aquifère en charge de type karstique, insoupçonné jusqu'à lors, situé au droit du niveau d'exploitation 775m (profond de 190m), semble être à l'origine de la catastrophe.

L'étude aborde : (i) la caractérisation des aquifères et (ii) le fonctionnement hydrodynamique. Les résultats hydrodynamiques confirment que la catastrophe est la conséquence du creusement (niveau 775m) ayant atteint la faille écran qui met en contact deux aquifères de nature et d'âge différents. En complément à notre étude, une analyse en composantes principales a permis de suivre l'évolution des rabattements dans les différents sondages. Les résultats de pompage, de l'hydrochimie et de l'analyse en composantes principales (ACP) confirment l'étalement de la zone de faille avant l'accident. Cependant la venue subite des eaux souterraines serait due à l'avancement du front de taille qui a affecté cette zone, formant barrière avec l'aquifère karstique.

**Mots clés :** Kherzet Youssef, Catastrophe, Aquifères, Karst, Faille.

### Abstract

The proposed study focuses on disaster related to the flooding of the Kherzet Youssef mine by groundwater. Geological and hydrogeological approach is implemented to highlight the phenomenon responsible of this accident. As a reminder, ore mining is carried out by underground tunnels with continuous pumping of water. However, a waterspout, surprise, flooded the mine and miner have not been evacuated, including 19 killed. The presence of a palaeokarst unsuspected until then located at East of the 775m level of exploitation. This palaeokarst seems to be the cause of the disaster which flooded mine the 2 June 1990 leading to its definitive closure thereof. The study is based on: (i) the characterization of aquifers, and (ii) the hydrodynamic operation. To achieve this objective, geological and hydro geological approaches are undertaken. The results confirm that the digging has affected the water-resistant area of a fault separating there body from karst ground water, previously unknown and located on the eastern compartment. In addition, a principal component analysis (A.C.P.) is applied and allowed to estimate the relationships between the different drilling of water research.

The data obtained by pumping water, hydrochemistry and the principal component analysis confirm the fault zone sealing before disaster. However the arrival of ground water suddenly would be of advancement of the digging of the fault zone which constitutes a barrier with the karst aquifer of the East compartment.

**Keywords:** Kherzet Youssef, Disaster, Aquifers, Karst, Fault.

### ملخص

تهتم الدراسة المقترحة بالكارثة التي حدثت جراء فيضان المياه الجوفية لمنجم خرزة يوسف المتواجد ببلدية عين أزال (ولاية سطيف). تم توظيف منهاج جيولوجي و هيدروجيولوجي من أجل الكشف عن الأسباب التي كانت وراء هذه الحادثة. إن استغلال المنجم يتم عبر أروقة جوفية عن طريق الضخ المستمر للمياه. لقد غمرت المنجم كمية معتبرة من المياه بطاقة 22000 م<sup>3</sup> / سا بتاريخ 02 جوان 1990 و خلفت 19 ضحية من عمال المنجم ، أدى ذلك إلى غلقه .  
تتطرق الدراسة إلى خصائص المياه الجوفية ووظيفتها الهيدرودينامكية. إن وجود جيب مائي كارستي غير متوقع آنذاك المتواجد في المستوى 775م على عمق 190م ، يبدو عليه أنه كان السبب في الحادث. إن النتائج الهيدرودينامكية تؤكد أن الكارثة هي نتيجة الحفر الذي أصاب الصدع ( المانع)، الذي يحدث تلامسا بين جيبين مائيين مختلفين في الطبيعة والعمر.  
واستكمالاً للدراسة، تم إجراء تحليل وفق المركبات الأساسية (ACP) تؤكد عدم نفاذية منطقة الصدع قبل الحادثة. إلا أن وصول المياه الجوفية المفاجئ يكون سببه تقدم جبهة الحفر التي أصابت المنطقة مشكلة حاجزا مع الجيب المائي الكارستي.

**الكلمات المفتاحية :** منجم خرزة يوسف – كارثة – جيوب مائية – كارست – صدع.

**I. INTRODUCTION :**

La zone d'étude appartient au domaine hodnéen qui fait partie de l'avant pays de la chaîne alpine d'Algérie orientale. La série sédimentaire crétacée est à dominante carbonatée recouverte en discordance par un ensemble détritico néogène.

La mine de Kherzet Youssef était exploitée pour l'extraction du minerai Zn-Pb. Ce gisement polymétallique de type stratiforme, à structure monoclinale, est encaissé dans des formations carbonatées du Barrémien. Vu l'envoyage des niveaux minéralisés (Pb-Zn) l'exploitation était assurée tout en maintenant un pompage d'eau en continu. La même méthode est appliquée dans le gisement de Chaâbet El Hamra, avec un débit de pompage estimé à environ 90l/s, assuré par 5 sondages [1].

Une faille à caractère régional, de direction subméridienne, met en contact deux blocs : un bloc occidental encaissant le minerai et incluant un aquifère fissuré karstique, et un bloc oriental composé de formations néogènes renfermant un aquifère poreux. En profondeur sous ce dernier, à environ 160m, un autre aquifère karstique est localisé malheureusement après la catastrophe.

La méthodologie suivie dans la réalisation de ce travail de recherche est fondée sur une étude géologique combinée à une approche hydrogéologique. L'étude se fixe pour objectif principal, l'élucidation des causes à l'origine de la mise en eau subite de la mine. Le jour du 2 Juin 1990 une trombe d'eau de 22 000 m3/h (estimé a partir du temps d'envoyage des ouvrage minier) a englouti la mine, faisant 19 victimes parmi les mineurs, restées au fond jusqu'à nos jours ce qui a entraînés sa fermeture définitive.

**II : CONTEXTE GÉNÉRAL DU GISEMENT :**

**2.1 Localisation :**

La mine est située à 50 Km au Sud de Sétif et à 7 Km à l'Ouest de la commune d'Ain Azel (Fig. :1).

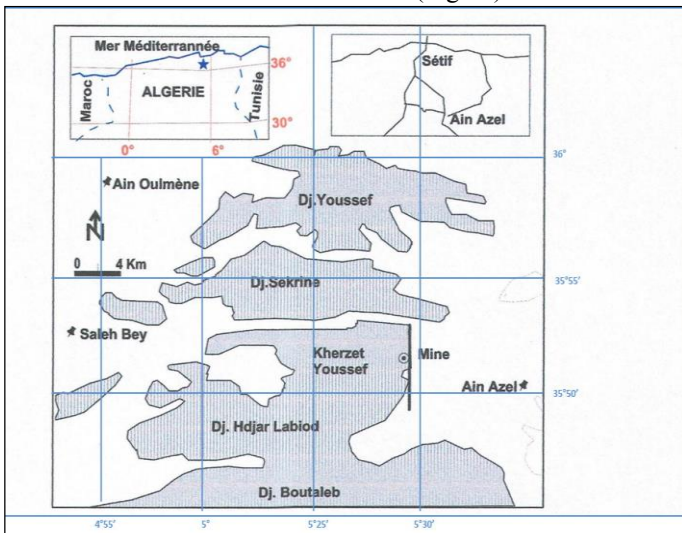


Fig. 1 : Situation géographique de la mine Kherzet Youssef

**2.2 Aperçu géologique :**

La zone d'étude appartient au domaine hodnéen qui fait partie de l'avant-pays de la chaîne alpine d'Algérie orientale. La série sédimentaire crétacée est à dominante carbonatée recouverte en discordance par un ensemble détritico néogène.

Il s'agit d'un gisement polymétallique (Pb, Zn), stratiforme à structure monoclinale, encaissé dans des formations à dominante carbonatée du Barrémien [2].

La déformation tectonique se manifeste par une fracturation intense (fig.2) dont les failles de direction NW-SE sont les plus exprimées. Parmi ces accidents, la faille de "Kherzet Youssef" présente une singularité dans le paysage et joue un rôle fondamental dans la structure de la région. Elle préfigurait sous forme d'une flexure subméridienne depuis le Crétacé inférieur et a rejoué au cours des différentes phases tectoniques ultérieures. Vu les formations récentes qu'elle affecte, elle pourrait être en rapport avec l'activité de l'épisode compressif du Quaternaire basal [3]. C'est une faille normale, subméridienne, subverticale (pendage 65° à 85° Est). Elle constitue la limite orientale de la mine.

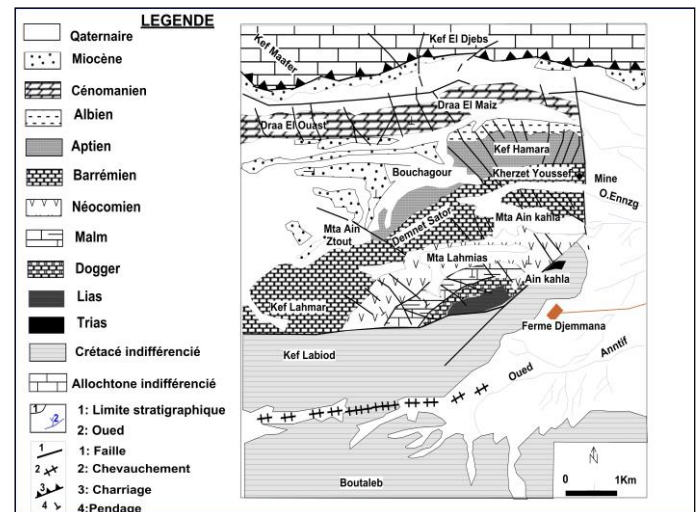


Fig.2 : Carte géologique modifiée et complétée (D'après la carte géologique au 1/50.000 d'Ain Azel, Sonatrach, 1977)

**III : CADRE HYDROGÉOLOGIQUE DU GISEMENT :**

Du point de vue hydrogéologique, la faille de Kherzet Youssef juxtapose deux aquifères potentiels de nature et d'âge différents.

- Le premier est situé à l'Ouest de la faille, composé de formations d'âge barrémien supérieur. L'étude lithostratigraphique montre que les assises inférieures sont caractérisées par une alternance de grès, de calcaires et de marnes renfermant des niveaux de calcaire dolomitique à grains fins. Ces derniers sont surmontés par des calcaires argileux, de grès et de marnes [4]. Le toit des ces assises se compose de grès quartzeux blanc et des marnes jaunes. Les

assises supérieures débutent par un faisceau massif de calcaires dolomitiques de teinte gris foncé alternant avec des calcaires marneux, des grès et parfois des argiles. Des marnes jaunes terminent ce faisceau.

La minéralisation se localise dans les dolomies et rarement dans les marnes. Cette alternance de couches imperméables (marnes/argiles) et de couches perméables (grès, dolomies et calcaires), traduit, dans le détail, la présence de plusieurs niveaux aquifères étagés. Toutefois cette structure, lorsqu'elle est considérée dans son ensemble, présente une certaine homogénéité. En effet les failles et les fissures karstifiées mettent en relation les différents niveaux aquifères et donnent lieu à un seul aquifère fissuré et karstique (ce fait est confirmé par les venues dans à travers les fissures lors du fonçage des galeries).

- Le second réservoir à l'Est, est représenté par des formations d'âge néogène indifférencié qui comblent les dépressions des mechtas d'Ain Kahla et celle de la plaine d'Ain Azel. Les carottes, de sondages réalisés par la SONAREM (1973-1977) [5] dans ces formations, montrent que le Néogène correspond à un ensemble détritique composée de grès, de sable, de gravier, de roches fortement bréchifiées et d'argiles rouges parfois verdâtres enrobant des éléments plus ou moins arrondis. Leur épaisseur s'accroît au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la faille vers l'Est, passant de 100 m à 150 m à proximité de la faille à plus de 300 m plus à l'Est. La profondeur du substratum a été vérifiée par l'étude par prospection électrique réalisée par les sociétés

BEREGH/ANRH(2004) [6]. Ces dépôts détritiques sont favorables au développement d'un aquifère poreux (Fig.3).

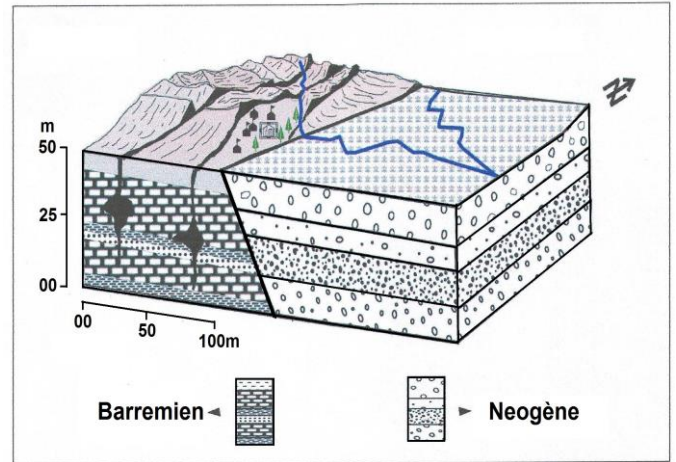


Fig.3 : Bloc diagramme du gisement de Kherzet Youssef

### III.1. PRÉSENTATION DU RÉSEAU D'OBSERVATION :

Pour l'étude hydrogéologique nous disposons du réseau d'observation présenté sur la figure 4. Les sondages : 2H, 3H, 4H, 5H, 8H et 7H sont implantés à l'Ouest de la faille de Kherzet Youssef dans les assises carbonatées du Crétacé.

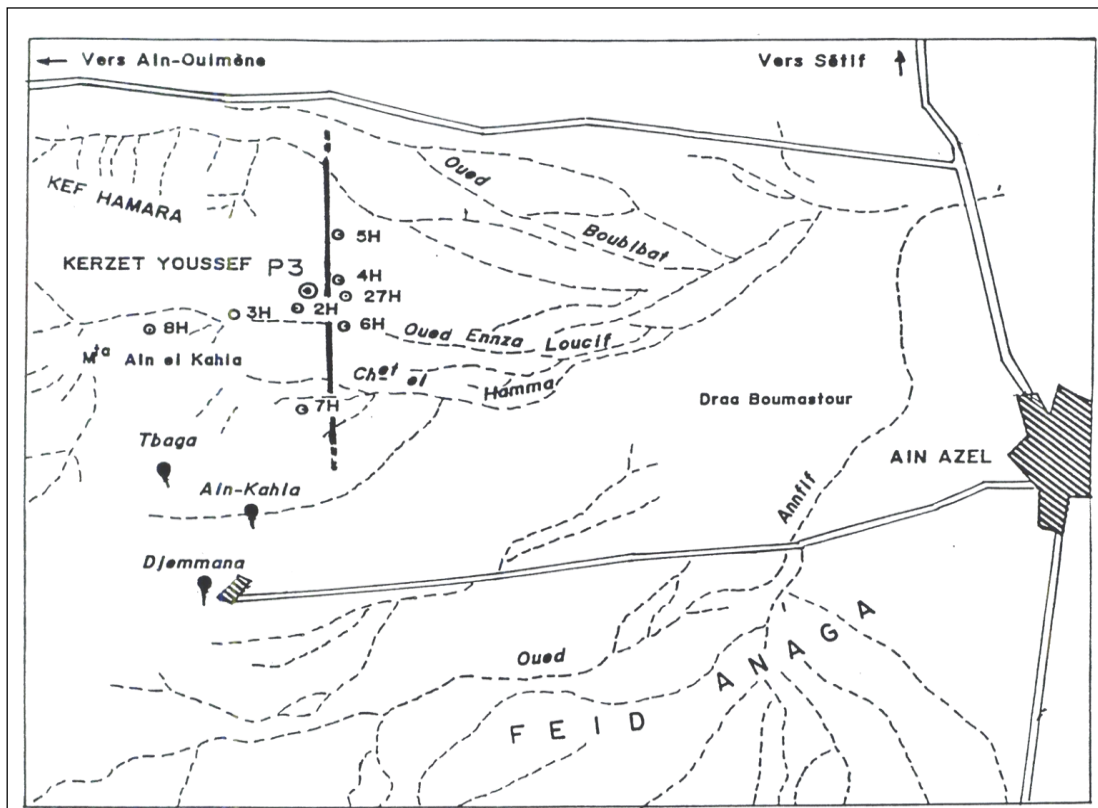


Fig.4 : Carte de situation des sondages d'observations (D'après les documents de la mine,)

Les sondages : 6H et 27H, localisés à l'Est de la faille, sont implantés dans les formations détritiques du Néogène supérieur.

Les débits étudiés correspondent aux exhaures du puits de mine P3 (durant la période allant du 10/12/75 au 08/1/1979 – [5] .Les rabattements qui s'en suivent sont mesurés sur l'ensemble du réseau d'observation.

### III.2. PIÉZOMÉTRIE

Le milieu étant particulièrement fissuré, il a été impossible d'obtenir une carte piézométrique cohérente. Néanmoins nous avons pu établir des sens d'écoulement probable.

Les eaux souterraines convergent vers la faille et sont ensuite drainées vers le Sud par la zone de broyage.

En tenant compte des écoulements et du rabattement lors du pompage d'exploitation, il ressort que :

- La piézométrie indique une circulation lente et indépendante dans les deux aquifères.
- Le diagramme rabattement-durée de pompage (fig.5), montre que les sondages 6H et 27H situés dans la plaines (fig.4) ne sont pas influencés par le pompage d'exploitation bien que ce dernier a un rayon d'influence assez important puisqu'il affecte le sondage (8H) foncé dans l'encaissant et considéré comme étant le plus éloigné. Le P3 étant le puits de pompage d'exploitation et son décrochement est du à l'épuisement de l'effet de capacité.

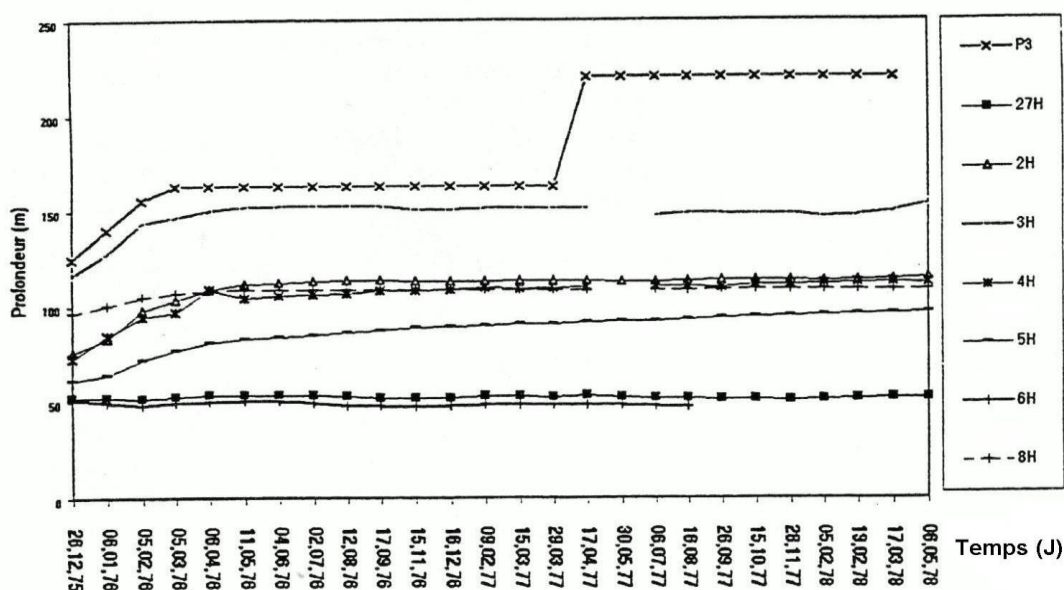


Fig.5 : Evolution des niveaux d'eau au cours du pompage d'exploitation

### III.3. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES :

Une approche en composantes principales [7] est réalisée dans le but d'apprécier l'évolution des niveaux d'eaux dans les sondages (fig.6).

#### L'ANALYSE DANS L'ESPACE DES VARIABLES.

Le facteur F1 est le plus important par rapport aux autres facteurs. En effet le plan (F1-F2) exprime plus de 90% de variance (Tableau IV.1) Ainsi la représentation graphique dans ce plan rend compte de manière satisfaisante de la structure des données.

Tableau IV.1 : Valeurs propres et pourcentage de variance exprimée par chaque facteur :

	F1	F2	F3
Valeurs propres	05.75	1.50	0.52
% variance exprimée	72.00	18.70	6.50
% variace exprimée cumulée	72.00	90.70	97.20

Les valeurs des saturations sont portées sur tableau IV.2. Les valeurs des saturations correspondant, aux coordonnées des variables par rapport aux axes factoriels, permettent de construire le graphique.

Comme on utilise une A.C.P centrée réduite, ces valeurs de saturation correspondent aux coefficients de corrélation variables –facteurs.



**Tableau IV.2: les saturations**

	F1	F2	F3
<b>P3</b>	0.3093	0.1675	0.8763
<b>27H</b>	0.1439	-0.74.29	0.1312
<b>2H</b>	0.4113	-0.0677	-0.1486
<b>3H</b>	0.3947	-0.1359	-0.3175
<b>4H</b>	0.4116	-0.0244	-0.0741
<b>5H</b>	0.4031	-0.0644	0.1206
<b>6H</b>	-0.2446	-0.6215	0.2021
<b>8H</b>	0.4085	-0.0768	-0.1764

-Le Facteur1 (F1) :

Puisque toutes les saturations ne présentent pas de fortes valeurs et que certaines ne sont pas de même signe, cela signifie que ce facteur n'est pas un facteur taille.

Il est déterminé par les sondages 4H, 2H, 8H, 5H et 3H (ordre décroissant des saturations)

-Le Facteur2 (F2) :

Il est caractérisé essentiellement par les sondages 27H et 6H.

-Le facteur3 (F3) :

Il est défini par le puits d'exploitation P3.

La figure 6 permet de visualiser ces facteurs dans l'espace des variables et aide à leur interprétation.

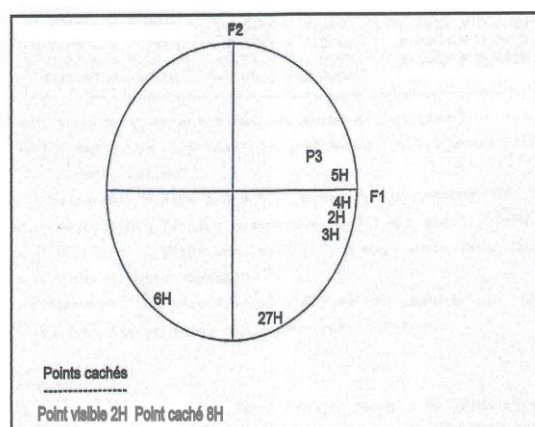


Fig.6 : Cercle des corrélations dans l'espace des variables (A.C.P.)

On constate sur cette figure que le facteur1 (F1) regroupe le puits de pompage P3 et les sondages d'observation situés dans le barrémien. La différence de signe indique l'existence d'une proportionnalité inverse entre les sondages d'observation et le puits de pompage. Elle est due probablement à la différence de diamètre qui conduit à un effet de capacité différent.

Le puits P3 est proche de (F1) dans la visualisation sur le plan factoriel (F1-F2), présente pourtant la saturation la plus élevée sur (F3). Cependant, l'évaluation des corrélations multiples et les carrés des corrélations variables - variétés factorielles (tableau IV.3), permet de voir comment chaque facteur contribue à l'explication d'une variable.

**Tableau IV.3 : corrélation variables -variétés factorielles**

	AXE1	AXE2	AXE3
<b>P3</b>	0.7421*0.5507	0.2051*0.0421	0.6311*0.3983
<b>27H</b>	0.3453*0.1192	-0.9099*0.0421	0.0945*0.0089
<b>2H</b>	0.9869*0.9740	-0.0830*0.0069	-0.1070*0.0115
<b>3H</b>	0.9471*0.9770	-0.1664*0.0277	-0.2287*0.0523
<b>4H</b>	0.9876*0.9754	-0.0299*0.0009	-0.0534*0.0029
<b>5H</b>	0.9673*0.9356	0.0789*0.0062	0.0868*0.0075
<b>6H</b>	-0.5870*0.3446	-0.7612*0.5795	0.1456*0.0212
<b>8H</b>	0.9801*0.9606	-0.0940*0.0088	-0.1271*0.0161

#### Colonne 1 : Corrélation entre les variables et les axes principaux

L'A.C.P. a permis de distinguer deux ensembles de variables obéissant chacun à des phénomènes différents.

- Le premier ensemble, regroupe les sondages 2H, 3H, 4H, 5H, 8H, qui captent les formations carbonatées encaissantes. Il montre des variations de niveaux d'eau liées à la circulation des eaux vers les ouvrages de captages sous l'influence du pompage d'exploitation.

- Le second ensemble, comprenant les sondages : 6H et 27H, réalisés dans les formations détritiques de la plaine, présente des variations des niveaux d'eaux dues au régime naturel des eaux souterraines. Ces sondages ne sont pas influencés par le pompage effectué en P3. Cela atteste l'étanchéité de la faille.

**III.4. ÉTUDE HYDROCHIMIQUE :**

Deux sondages (2H et 6H), pris à titre de comparaison, sont localisés respectivement sur les deux compartiments, de part et d'autre de la faille de Kherzet Youssef. Les valeurs moyennes des caractéristiques physico-chimiques des eaux provenant de ces sondages sont indiquées sur le tableau III.1. Les analyses des eaux souterraines ont été réalisées avant la mise en exploitation minière [8].

	CATIONS			ANIONS			
	Na+K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	CO <sub>3</sub> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> (mg/l)	Cl (mg/l)	SO <sub>4</sub> (mg/l)
2H Moyenne de 6 analyses	161	142	88.5	24	265	134.7	591.8
6H Moyenne de 10 analyses	193.2	130.7	16.8	12	268	134.7	649

**Tableau III.1 : Résultats des analyses chimiques des eaux**

A partir de ces résultats, un diagramme de Scoller Berkaloff a été réalisé (Fig.7)

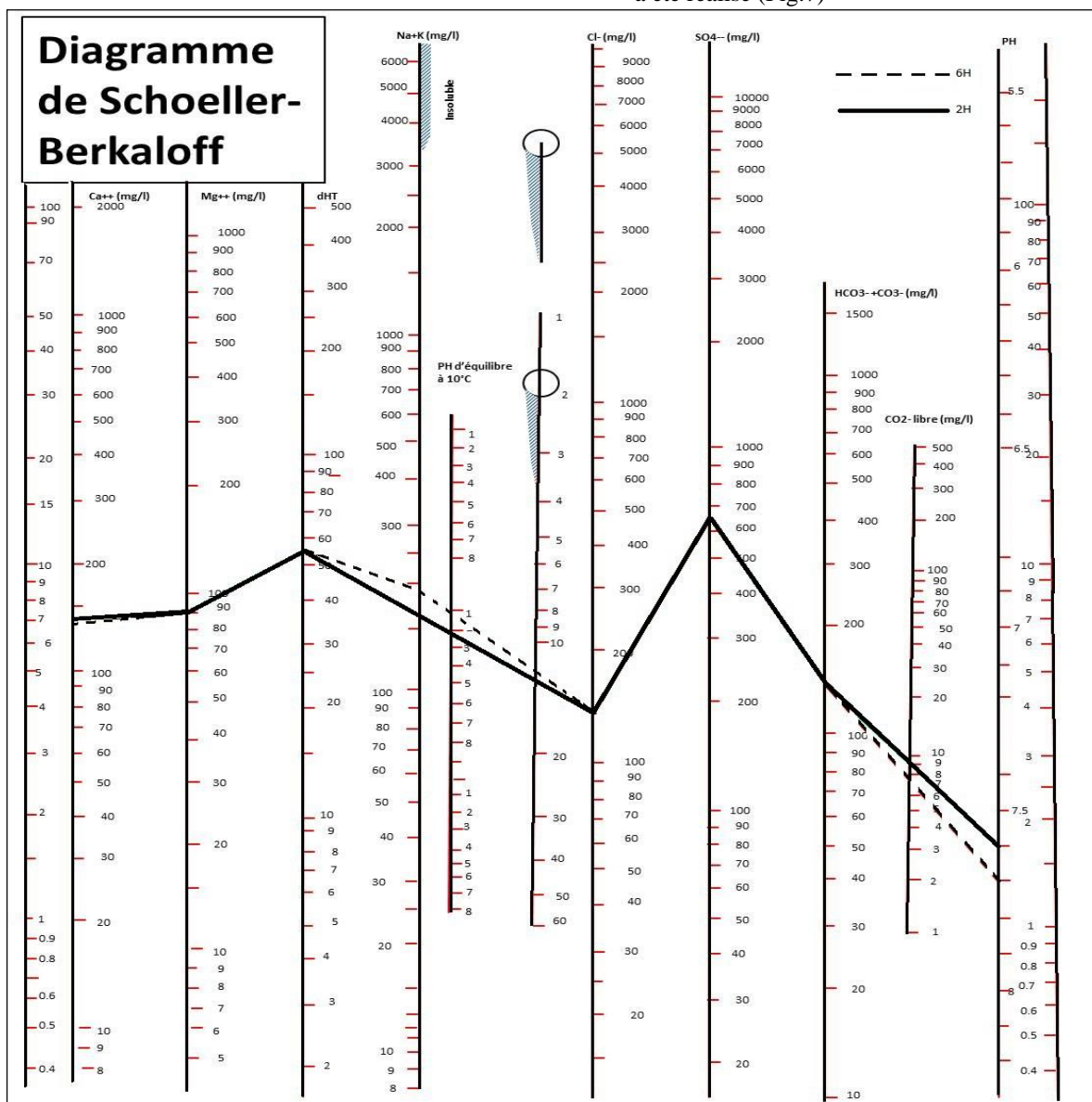


Fig. 7- Classification des eaux d'après le diagramme Schoeller-Berkaloff

Ce diagramme montre que les deux eaux des deux sondages ont un faciès très proche

Les eaux de l'aquifère barrémien (captées par le sondage 2H) présentent une minéralisation élevée (près de 1500mg/l), à faciès géochimique sulfaté magnésien et calcique.

Les eaux de l'aquifère néogène sont captées par le sondage 6H, se caractérisent par une minéralisation comparable à celle du sondage 2H (de l'ordre de 1500mg/l). Cependant le faciès est sulfaté sodique et calcique.

*L'hydrochimie montre enfin, que les eaux du Barrémien, présentent un faciès géochimique sulfaté magnésio-calcique alors que les eaux du Néogène ont un faciès sulfaté-sodique.*

Ces résultats confirment que les eaux, situées de part et d'autre de la faille, sont indépendantes. Par conséquent cela atteste de l'étanchéité de cette faille.

#### IV. CONDITIONS HYDROGÉOLOGIQUES APRES L'ACCIDENT :

Après la catastrophe, le schéma hydrogéologique du gisement (fig.8) a été complètement bouleversé par l'arrivée soudaine d'une trombe qui a noyé la mine en quelques heures.

Un forage profond de trois cent mètres, réalisé dans la plaine, a traversé un nouveau horizon aquifère inconnu jusque là, après 120m de creusement dans le Néogène (Unité B). Un niveau d'argile rouge, sous-jacent, de 20 m d'épaisseur est recoupé par ce forage. Une remontée de cutting de calcaire dolomitique suivi d'une perte totale de boue est constatée au dessous de ce niveau. Il est probable que cette perte correspond à la présence d'un paléokarst noyé. Cela confirmerait donc la présence d'un troisième aquifère karstique insoupçonné (Fig.8), (Unité C), qui vient s'ajouter au schéma hydrogéologique de la mine. En effet le schéma, d'exploitation au niveau 775 m (Unité A), montre que le front de taille a atteint la faille et a fragilisé la zone étanche de cette dernière, qui la sépare de l'aquifère karstique. De plus l'exploitation, du niveau inférieur 692m, en utilisant l'explosif dans l'abattage du minerai, aurait rendu la faille plus vulnérable à l'endroit du front de taille du niveau 775m. Par conséquent la rupture de la « zone-barrière » a provoqué l'envahissement de cette galerie par les eaux venant de l'aquifère karstique.

Le pompage de dénoyage à 2000m<sup>3</sup>/h n'a pas pu atteindre le rabattement escompté pour récupérer les victimes. A la suite de moult tentatives infructueuses, la mine a été fermée et abandonnée.

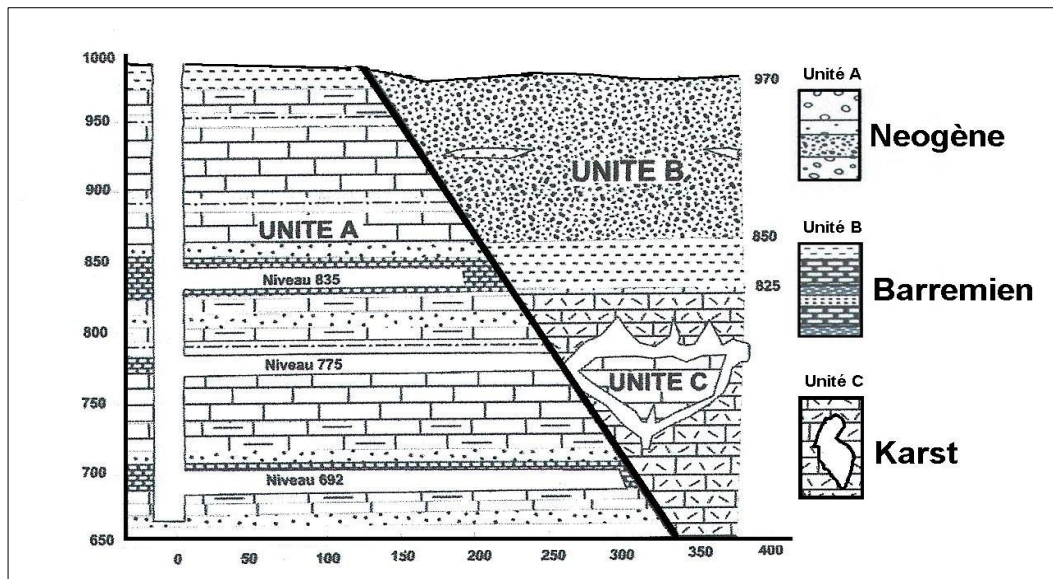


Fig.8 : Schéma hydrogéologique possible du gisement

#### V. DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS :

L'exploitation des différentes données a permis d'identifier deux réservoirs, séparés par une faille étanche à caractère régionale, en relation avec deux aquifères de nature différente. Le pompage d'exploitation a montré que ces deux

aquifères sont individualisés du point de vue hydrodynamique.

*La catastrophe de Kherzet Youssef est due à une inondation de la mine par une venue soudaine des eaux souterraines avec un énorme débit. Cette venue d'eau au niveau 775, ne peut s'expliquer que par un régime d'écoulement comparable à celui d'une brèche faite dans la digue d'un barrage. La cause serait la fragilisation, par creusement, de la limite étanche formée par une zone de faille séparant l'aquifère karstique et le gisement en exploitation. Cet aquifère était inconnu auparavant, il a été mis en évidence après la catastrophe par un forage de 300m de profondeur.*

*L'étanchéité de la faille est corroborée par la différence des faciès hydrochimiques des aquifères situés de part et d'autre de celle-ci. Aussi l'étude piézométrique et l'analyse en composantes principales montrent une indépendance des forages implantés sur les deux compartiments de la faille.*

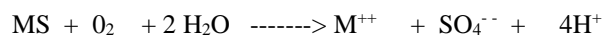
*Donc la mauvaise connaissance du schéma hydrogéologique de la mine, serait à l'origine de cette catastrophe ayant entraîné, malheureusement, la mort de 19 mineurs de fond et sa fermeture définitive.*

*Le recoupement de différentes études semblent attester de l'étanchéité de la faille de «Kherzet Youssef». L'ensemble des données obtenues, nous permet de qualifier cette faille de : "faille barrage [9].*

*L'hydrochimie montre enfin que les eaux du Barrémien, présentent un faciès géochimique sulfaté magnésio-calcique alors que les eaux du Néogène se caractérisent par un faciès sulfaté sodique.*

Ces faciès hydrochimiques différents et indépendants viennent aussi confirmer la non existence de relation mine-plaine. Cependant les résultats de l'analyse hydrochimique, posent la question sur l'origine des sulfates.

Sachant que les formations du Néogène renferment une matrice argilo-gypseuse, elles pourraient constituer une source de ces sulfates. Une seconde hypothèse, plausible, se rapporterait au diapirisme triasique qui serait à l'origine de la prédominance des sulfates, des chlorures et du sodium dans les eaux.. Tandis que les eaux associées au Barrémien, la source la plus probable de cette prédominance sulfatée serait rattachable au minerai sulfuré (blende, galène, pyrite,...). Les sulfures en présence d'eau s'oxydent en donnant des sulfates selon la réaction suivante



L'oxydation du soufre, de la sphalérite et de la galène, conduit à la mise en solution du zinc et du plomb et libère en abondance des ions H<sup>+</sup> qui rendent l'eau agressive. Cela expliquerait la présence des vides observés dans les carottes de forage et dans les fronts de taille des galeries de la mine. L'aquifère barrémien subit "une dissolution endogène" locale conduisant à la formation de poches "karstiques" isolées les unes aux autres.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1].KADA, H. 2014. Contexte Géologique, Hydrogéologique et Métallogénique du gisement de Zinc de Chaâbet-El-Hamra à Ain Azel – Wilaya de Sétif-, Nord Oriental algérien. Mémoire de magister en Géologie Appliquée et Ressources Minérales, Univ. Setif, 114p
- [2].KHALDI, A. 1987. Le gisement de Kherzet Youssef : Une minéralisation Pb-Zn-Fe-(Ba) stratiforme dans le membre médian marno-carbonaté du barrémien de la région d'Ain Azel (Hodna, Algérie), Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, Inst. Nat. Polytec. de Loraine, 439p.
- [3].MARMI, R., GUIRAUD, R. 2006. End Cretaceous to Recent polyphased compressive tectonics along the « Môle Constantinois » and foreland (NE Algeria). *Journal of African Earth Sciences*, 45, 123-136.
- [4].GUIRAUD, R. 1990. Evolution post-triasique de l'avant-pays de la chaîne alpine d'Algérie, d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines. Mémoire 3, Pub. Serv. Géol. d'Algérie, 271p.
- [5]. BULGARGEOMINE, 1979. Rapport sur les résultats de dénoyage réalisé et les observations hydrogéologiques de la mine de Kherzet Youssef pour la période du 15 Décembre 1975 au 30 Avril 1979, Alger.
- [6]. BEREGH/ANRH (2004). Rapport sur l'étude géophysique par la prospection gravimétrique et électrique dans la plaine d'Ain Azel wilaya de Sétif.
- [7].- BENAÏSSA, A., BELLOUCHE, M.A. , 1990. Apport de l'analyse en composantes principales (ACP) en hydrodynamique : Exemple d'application sur la mine de Kherzet Youssef (Algérien Nord-Orientale), *Pangéa* page 5,12.
- [8].- SO.NA.RE.M. 1977. Rapport sur les travaux exécutés en 1973-1977 sur le gisement de Kherzet Youssef, SONAREM, Division recherches, Base "C". Skikda.
- [9]. - BELLOUCHE, M.A. 1996. *L'eau dans les mines et les travaux souterrains : Cas de la mine de Kherzet Youssef (Ain Azel – Sétif)*. Mémoire de magister en hydrogéologie, Univ. Mentouri, 139p.