

ETAT DES CONNAISSANCES ET MISE AU POINT SUR LES CRATERES METEORITIQUES DU SAHARA ALGERIEN DES INDICATEURS DE PIEGES A HYDROCARBURES?

Djelloul BELHAI*, Olivier MERLE**, Pierre VINCENT**, Bertrand DEVOUARD **
et Abdelhafid AFALFIZ *

Résumé

Dans le Sahara algérien, quatre cratères d'impacts météoritiques, dont deux de type simple et deux de type complexe, sont décrits. Ces cratères (Amguid, Maadna (Talemzane), Tin Bider et Ouarkiz) situés tous dans la plate-forme saharienne, représentent 26,6% de la totalité de ceux qui existent en Afrique.

Le cratère de Tin Bider, le plus grand des cratères algériens (6000m de diamètre), est situé à 265 km à l'Est d'In Salah dans le plateau de Tinher, et au Nord du reg Asfer qui est un réservoir de plusieurs centaines de météorites. Celui de l'Ouarkiz qui se trouve près de la frontière algéro-marocaine, le deuxième en Algérie, de par son extension (diamètre de 3500m), présente toutes les caractéristiques d'un cratère de type météoritique. Ces deux cratères sont de type complexe et constituent des structures annulaires avec un piton central.

Les cratères d'Amguid et de Maadna (Talemzane) sont de type simple, de diamètres respectifs de 550 m et de 1750 m.

La relation entre la profondeur réelle d_1 et le diamètre D est déduite pour les cratères simples à partir de l'équation de Grieve (1987), et pour les cratères complexes à partir de l'équation de Pike (1980).

Dans le monde, certaines structures météoritiques sont reconnues comme génériques d'hydrocarbures exploitables. Les structures les plus documentées sont celles d'Avac (Alaska) (Kirschner *et al.*, 1992), et Viewfield et Red Creek (Donofrio, 1981).

L'analyse géologique des cratères de Tin Bider et de l'Ouarkiz révèle des caractères identiques à ceux d'Avac et de Viewfield. Leur étude détaillée permettra de trancher quant à la présence ou non d'hydrocarbures dans ses structures.

Mots clés - Cratère météoritique - Hydrocarbures - Tin Bider et Ouarkiz - Plateforme saharienne - Algérie.

*Laboratoire GGIP, FSTGAT, USTHB, BP 32 El Alia, Alger (Algérie). e-mail : dbelhai2001@yahoo.fr

**Laboratoire Magmas et Volcans, UBP Clermont Ferrand, 5 rue Kessler France ;

- Manuscrit déposé le 13 Juin 2005, accepté après révision le 10 Octobre 2005.

STATE OF ART AND FOCUS ON METEORITIC CRATERS OF THE ALGERIAN SAHARA. POTENTIAL HYDROCARBON TRAPS ?

ABSTRACT

In the Algerian SAHARA four craters of meteoritic impact in which we describe two simple and two complex types. And others premonited. They account for 26.6% of all the craters which exist in the African continent.

We undertook geological investigation for all these craters, Amguid, Maadna (Talemzane), Tin Bider and Ouarkziz.

All located in the saharan platform, they respectively form circular depression of 450 m to 6km in diameters for amguid with this Bider.

Those of Tin Bider and Ouarkziz are of a complex type and annular structures

Tin Bider is the complex crater located on the chart at the 1/200.000^{ème} of Til mas Lamra, in north east of the erg Asfer and Aguemmour which is a tank of several hundreds of meteorits collected this last decade. It is situated at the 265 km in the East of In salah in the plate of Tinrherth by 27°36' NR 005° 07'.

The crater of Ouarkziz is located close to the Algero- morrocan border, to 70 km in the North East of Tindouf and to 20 km in the North West of Foum-Defili by western 7° 33' and 29° 00' North. Of a diameter of 3500 meters, it is the second in Algeria by its extension.

Called round of Ouarkziz by Fabre and al. (1970). This crater has all the characteristics of the meteoritic type.

In the world some meteoritic structures are recognized as exploitable hydrocarbon credits. The most documented structures are those of Avac (Alaska) (Kirshner and al., 1992) and Viewfield and Red Creek (Donofrio, 1981).

The geological analysis of the meteoritic craters of Tin Bider and Ouarkziz (Sahara-Algeria) reveals identical characters to those of Avac and Viewfield . Their detailed study will make it possible to slice for the presence or not of hydrocarbons.

Key words - Meteoritic crater - Hydrocarbons - Tin Bider and Ouarkziz - Saharan Platform - Algeria.

ÉTAT DES CONNAISSANCES ET MISE AU POINT SUR LES CRATÈRES MÉTÉORITIQUES DU SAHARA ALGÉRIEN
DES INDICATEURS DE PIÈGES À HYDROCARBURES ?

I - INTRODUCTION

Le territoire algérien, en grande partie désertique, constitue l'un des réservoirs de météorites trouvées sur la planète. En effet, la quantité de météorites comprise, entre 2 et 3% qui y a été récoltée est loin d'être négligeable, par rapport à l'échelle mondiale. Cette estimation peut être doublée si l'on tient compte de celles qui attendent d'être classées, la quasi totalité étant dans les musées étrangers et auprès des collectionneurs privés.

Ces météorites généralement de petite taille, n'ont pas toutes creusé des cratères tels que ceux répertoriés dans le désert saharien d'Algérie. En effet, quatre cratères d'impact météoritiques sont décrits et d'autres sont pressentis. Ce nombre comparé aux cratères qui existent sur le continent africain est un record certain. Il représente en densité 26,6%, soit 4 cratères sur 15 dans le continent africain et 2,63% des cratères de la planète (fig.1).

Ils sont tous situés dans le Sahara et sont relativement récents. Leur âge précis n'est cependant pas pour l'instant très bien connu, mais se situerait postérieurement au Crétacé. Ce sont les cratères d'Amguid, de l'Ouarkiz, de Maadna (Talemzane) et de Tin Bider. Deux d'entre eux sont de type simple et les deux autres de type complexe.

II - GÉNÉRALITÉS

1 - Notions de cratères d'impact de météorites

Les cratères d'impact sont des structures circulaires nées lors d'une chute sur terre d'une météorite de diamètre appréciable.

L'origine extraterrestre de ces structures est restée longtemps sans explication. La découverte de météorites adjacentes à ces structures circulaires mit définitivement fin au débat.

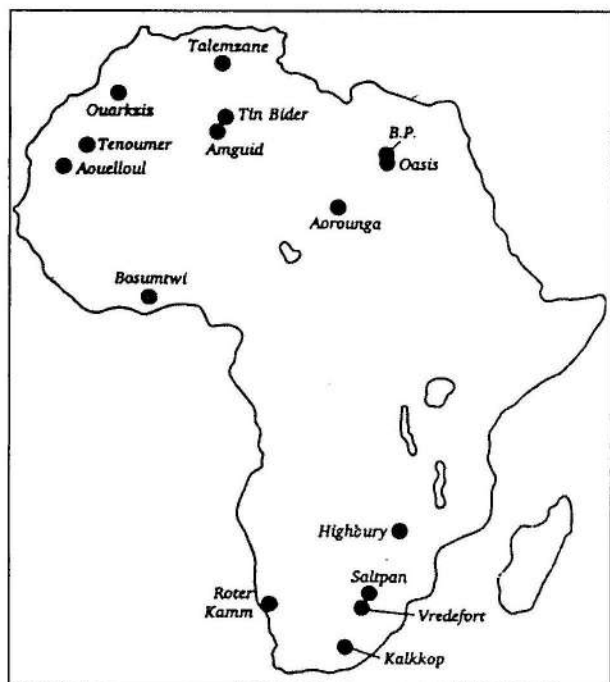


Fig. 1 a - Les cratères météoritiques d'Afrique
Meteoritic craters of Africa

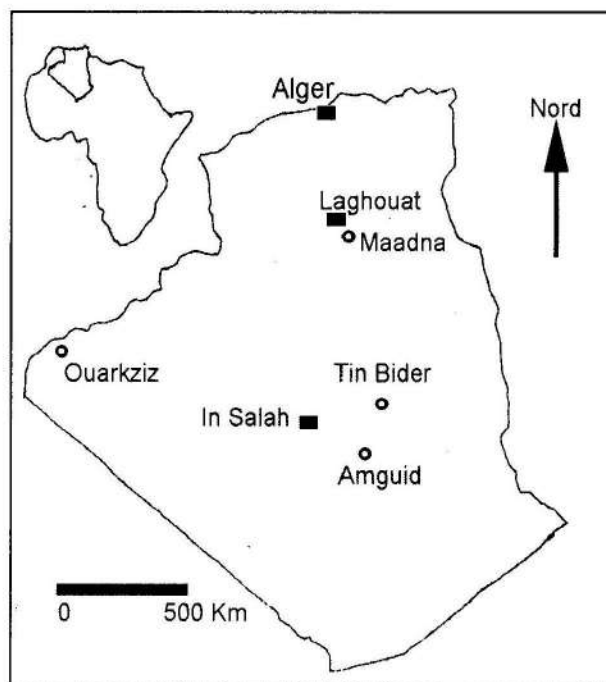


Fig. 1 b - Les quatre cratères en Algérie
the four craters of Algeria

On distingue trois types de cratères, classés selon leur diamètre.

- Les cratères simples ont un diamètre de 2 km (sur Terre) dans les roches cibles sédimentaires et jusqu'à 4 km dans les roches cristallines. Ils sont caractérisés par une dépression en forme de bol, de profondeur égale au 1/10^{ème} de leur diamètre.

- Les cratères complexes ont des diamètres supérieurs à 2 km dans les roches sédimentaires et à 4 km dans les roches cristallines. Ce sont

des structures peu profondes, caractérisées par un piton central et des anneaux concentriques.

- Les bassins anneaux sont les grandes structures comparables à celles qui sont connues sur la lune. On connaît les bassins à anneaux internes et les bassins à anneaux externes.

Trois bassins anneaux sont connus sur Terre, il s'agit du Chicxulubau dans le Yucatan (Mexique), du Vredeford (Afrique du Sud) et du Sudbury dans l'Ontario (Canada).

2 - Morphologie et mécanisme de la formation des cratères d'impact

Chaque type de cratère a sa morphologie propre et son mécanisme de formation. Nous nous contenterons de discuter les deux premiers cas, les cratères de type simple et ceux de type complexe.

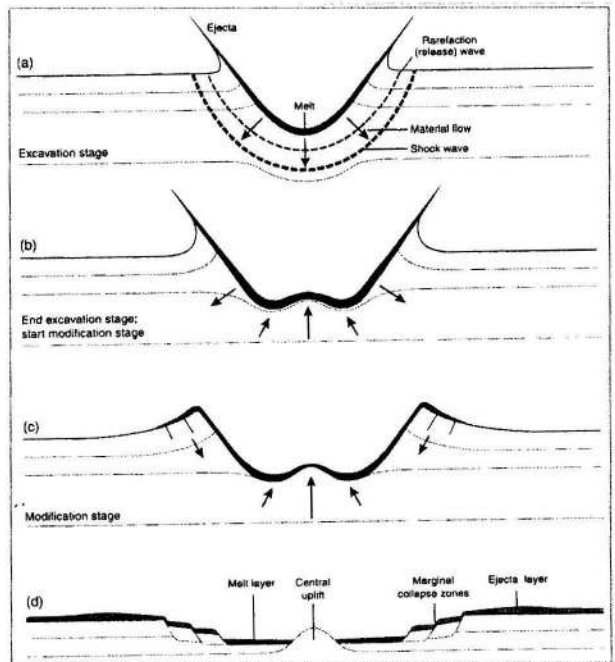
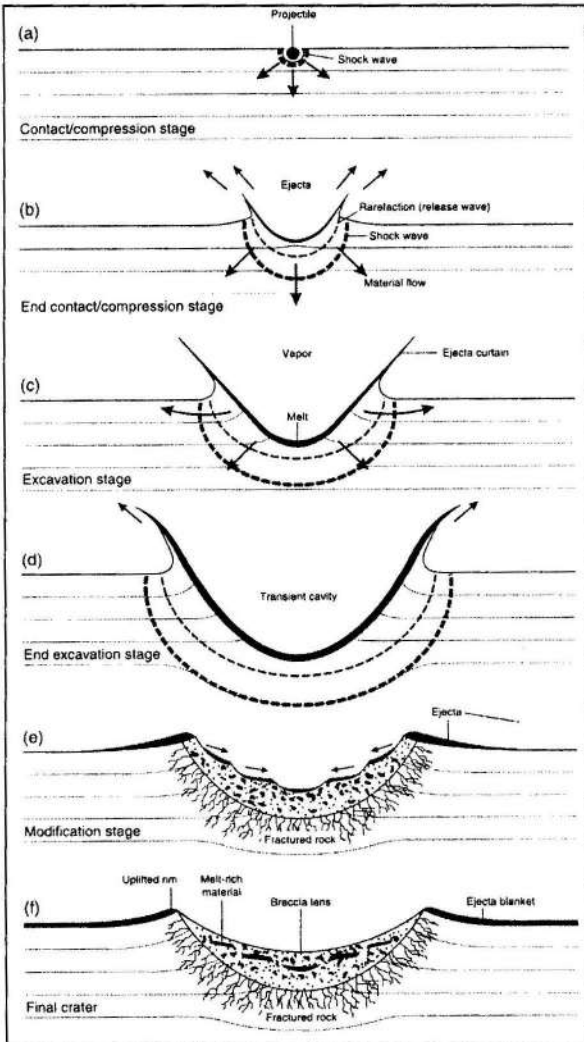


Fig. 2 – La formation des cratères. a) simple et b) complexes

Development of impact structures. a) simple and b) complex (Melosch, 1989)

Les petits cratères qui ne dépassent pas quelques kilomètres se présentent toujours en forme de cendrier. Leur diamètre est égal à environ dix fois leur profondeur. Ils sont entourés d'une couronne d'éjectas. L'intérieur est plat et rempli d'éjectas sur lesquels se sédimente une formation généralement plus fine qui masque cette partie intérieure alors que les bords sont abrupts et déformés (Melosh, 1989).

La formation de ce type de cratères est réalisée comme suit (fig.2 a) :

Une météorite qui percute le sol possède une énergie considérable qui va se transformer lors du choc en partie en énergie thermique et en partie en énergie mécanique. L'énergie thermique vaporise plus ou moins complètement la météorite et fait fondre environ 5 à 10% des débris issus du cratère. Les effets mécaniques sont plus importants : La météorite comprime le sol jusqu'à une pression formidable (plusieurs millions d'atmosphères). La pression se propage sous forme d'une onde de choc qui se déplace à près d'une dizaine de kilomètre par seconde. Elle pulvérise la zone cible, celle-ci comprimée d'abord se détend brusquement. L'onde éjecte les matériaux déjà pulvérisés et cassés qui vont retomber. le cratère se vide, puis se remplit à moitié par le matériau retombé. Les produits de projection se retrouvent sur les parois parfois assez éloignées.

Au-delà d'un certain diamètre (> à 3 km) le fond n'est plus le même; il présente un piton central et des anneaux concentriques de plus en plus épais et de plus en plus élevés au fur et à mesure que l'on s'éloigne du centre. Pitons et anneaux se développent parce qu'après l'impact, le fond du cratère est projeté vers le haut comme si l'on jette un objet dans une flaque d'eau. Lors de la projection les flancs du cratère s'affaissent formant une série de terrasses appelées anneaux.

Quant à la formation des cratères complexes, elle suit un cheminement presque identique mais la météorite étant plus grande, elle crée des structures un peu différentes (fig.2 b).

- La détente du sol après l'impact donne naissance à l'onde éjectrice qui commence à creuser le cratère transitoire.

- Le fond du cratère aura tendance à s'aplanir et il s'y forme un piton central qui apparaît par rebond du matériau du fond.

- Le piton remonte alors que les bords s'affaissent formant des terrasses et les éjectas retombent soit à l'intérieur soit sur les bords. Toutes ces étapes se réalisent en moins d'une minute.

Tous les cratères ont une forme circulaire car l'intersection entre une planète et un front d'onde, tous deux sphériques, donne un cercle.

III - LES CRATÈRES D'IMPACT D'ALGÉRIE

Les cratères de Maadna (Talemzane), d'Amguid, de Tin Bider et de l'Ouarkziz se situent dans la plateforme saharienne. Ils forment des dépressions circulaires de 550 mètres pour Amguid et 6 km pour Tin Bider. (fig. 3).

1 - Le cratère d'Amguid

Cette structure circulaire se trouve dans le Mouydir (Sahara central) à une cinquantaine de kilomètres à l'ouest d'Amguid. Situé sur la carte au 1/200 000^{ième} de Khanguet el Hadid dont les coordonnées géographiques sont 26°05'00" Nord et 04°23'25" Est à 90 km du fort d'Amguid. Creusé dans des grès d'âge dévonien inférieur de la plateforme saharienne, il a un diamètre de 550 m et une profondeur de 65 mètres. Le cratère est bien conservé dans les terrains du Dévonien inférieur des grès de la

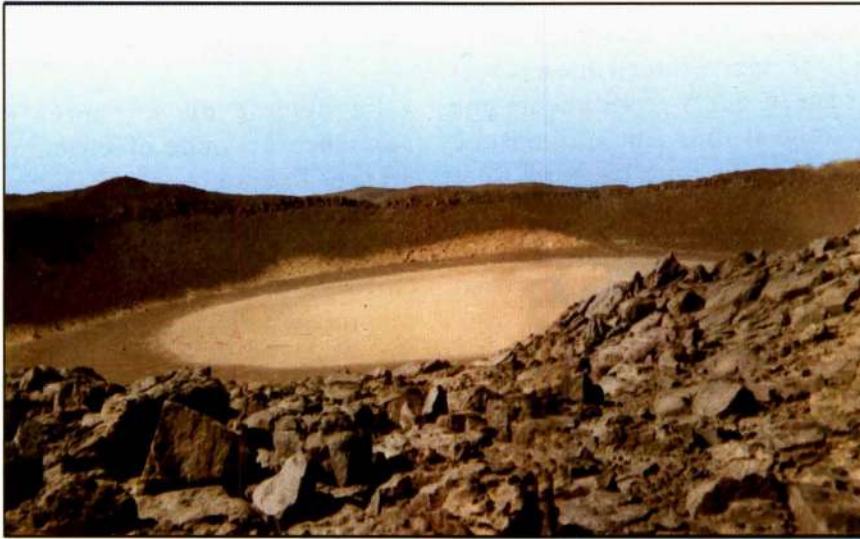


Fig. 3 - Le Cratère d'Amguid
The Amguid crater

série du Tassili externe (Karpof, 1954; Lefranc, 1969); entre deux oueds, l'oued Tafrakrak à l'Est et l'oued Tihiet à l'Ouest.

La conjonction d'ensemble d'éléments dont la forme circulaire, la profondeur, la présence de brèches d'éjectas, la fracturation intense, le plissement des couches (sur une dalle monoclinale), la présence de pseudo cônes de choc (shatter cones) et des quartz lamellaires permettent d'établir le caractère météoritique de ce cratère.

2 - Le cratère de l'Ouarkziz

Le cratère de l'Ouarkziz est situé près de la frontière algéro-marocaine, à 170 km au Nord-Est de Tindouf et à 20 km au Nord-Ouest de Fom-Defili par 7°33'Ouest et 29° 00' Nord. Il fut d'abord cartographié par Fabre et Greber en 1956 (*in* Fabre et *al.*, 1970) puis par Monod (1965) et reconnu comme structure météoritique par Fabre et *al.*, (1970). Appelé rond de

l'Ouarkziz par Fabre et *al.*, (1970), on y a reconnu toutes les caractéristiques d'un cratère de type météoritique (fig. 4).

Forme et structure de l'édifice

Il est creusé dans des terrains d'âge carbonifère inférieur (Viséen). C'est une forme circulaire de 3500 m de diamètre sur 100 m de profondeur. Il est structuré en deux anneaux concentriques et comprend une zone interne comportant un piton central (uplift). On distingue :

- L'anneau le plus externe qui est formé par les reliefs les plus imposants dont la crête domine d'une centaine de mètres le fond plat.
- La couronne interne.
- La zone interne ou le centre du rond qui comporte dans sa partie centrale un piton.

ÉTAT DES CONNAISSANCES ET MISE AU POINT SUR LES CRATÈRES MÉTÉORITIQUES DU SAHARA ALGÉRIEN
DES INDICATEURS DE PIÈGES À HYDROCARBURES ?

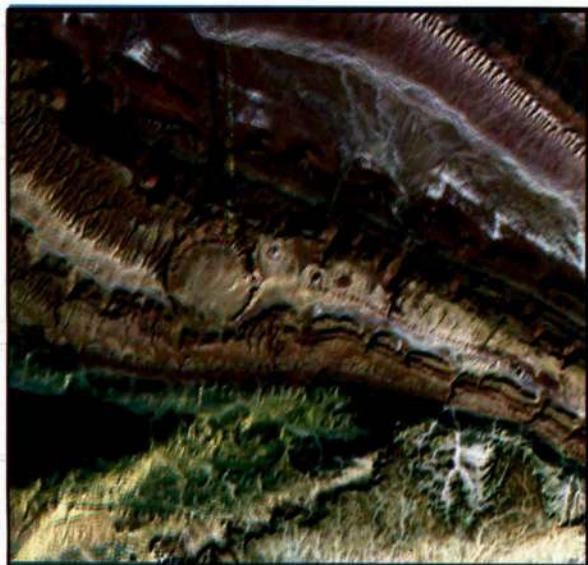


Fig 4a - Le cratère météoritique de l'Ouarkiz
(Fabre et al., 1970)

*The meteoritic crater of Ouarkiz
(Fabre and al., 1970)*

Stratigraphie

Le cratère affecte les derniers termes du Viséen supérieur formés de bancs calcaires métriques alternant avec des marnes vertes (Monod, 1965; Fabre et al., 1970). Ces couches sont surmontées normalement par une cinquantaine de mètres de marnes et grès argileux à lentilles de gypse, puis par une centaine de mètres de calcaires lités et de marnes du Namurien inférieur, eux-mêmes couronnés par 500 à 700 m de grès et argiles continentaux du Namurien.

Les couronnes internes et externes ont une même composition lithologique à savoir la partie supérieure du Viséen (calcaires et marnes vertes) et la partie inférieure du Namurien (marnes et grès argileux à lentilles de gypse).

Les brèches

La partie externe de l'édifice montre une zone de brèche hétérométrique, hétérogéni-

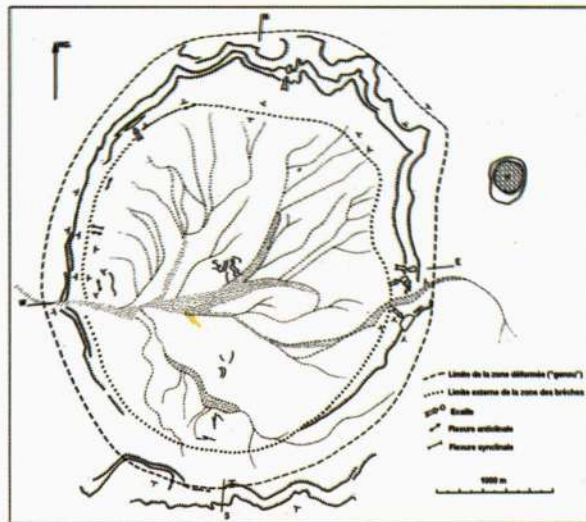


Fig. 4b - Carte et coupe du rond de l'Ouarkiz
(Fabre et al., 1970)

*Map and the cross section of Ouarkiz crater
(Fabre and al., 1970)*

que, associée à de gros panneaux de calcaires déplacés.

Analyse structurale

De l'intérieur vers l'extérieur de l'édifice, l'intensité de la déformation est croissante. Sur les bords de la couronne externe, les gros bancs calcaires sont affectés par des fentes de tension, des fractures radiales et concentriques, des rebroussements des bancs et des plans de chevauchement.

Dans le piton central, les couches calcaires sont verticalisées et montrent des plis très aplatis. Les mesures de fracturation montrent des directions radiales et concentriques, comme ce qui a été mis en évidence dans les cratères de Maadna (Belhai et al., 1999; Belhaï, 2002).

L'analyse microstructurale révèle des quartz à pseudo-clivages (planar features) considérés comme des quartz choqués.

3 - Le cratère de Maadna (Talemzane)

C'est le cratère le plus visité actuellement en Algérie du fait de sa position très septentrionale du Sahara algérien.

Cratère situé à 40 km à l'Est du village de Hassi Dellaa (Daïra de Hassi R'Mel, wilaya de Laghouat), et à 70 km au Nord de Guerrara (Wilaya de Ghardaïa). Il est aussi appelé cratère de Talemzane (Karpoff, 1954; et Monod, 1965). Il a pour coordonnées 33°19' Nord et 04°02' Est. D'un diamètre de 1750 mètres et de 55 mètres de profondeur, il est creusé dans les terrains d'âge sénono-eocène de la plateforme saharienne (fig. 5 et 6). Nous proposons de le désigner désormais sous le nom de cratère de Maadna, relatif à la Daïat el Maadna (Belabbes et Debili, 1998; Belhai et al., 1999; Belhaï et al., 1999).

Les brèches sommitales couvrent les parties externes et se retrouvent à l'intérieur; leurs éléments sont de toute tailles et les blocs les constituant atteignent parfois des dimensions gigantesques (quelques dizaines de mètres). Les éléments sont souvent anguleux, on y trouve des

silex éclatés qui témoignent d'un choc.

Ces brèches s'étalent autour des bords du cratère sur une distance qui atteint plus de 500m (éjecta).

Analyse structurale

Les couches du bord du cratère sont inclinées de façon très variable et les pendages varient de quelques degrés (sub-horizontale) jusqu'à la verticale voire des couches renversées. On y voit des plis à grand rayon de courbure.

La fracturation y est intense et à toutes les échelles. L'analyse des fractures montre qu'elles sont organisées suivant une géométrie radiale d'échelle variée obéissant à une loi fractale (Belhaï, 2002).

L'analyse pétrographique a permis à Lambert et al. (1980) de mettre en évidence quelques structures planaires dans les quartz qui confirment le caractère météoritique du cratère de Maadna (Talemzane).

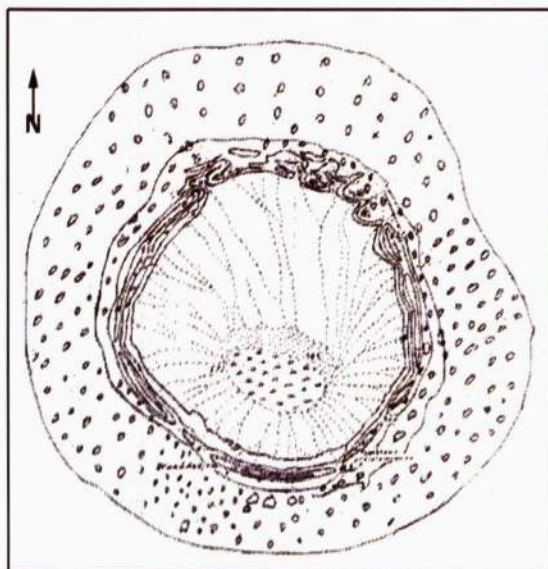


Fig. 5 - Le cratère de Maadna (Talemzane) : vue aérienne (a) et carte géologique (b)
The Maadna crater (Talemzane) : acrian show (a) geologic map (b)

ÉTAT DES CONNAISSANCES ET MISE AU POINT SUR LES CRATÈRES MÉTÉORITIQUES DU SAHARA ALGÉRIEN
DES INDICATEURS DE PIÈGES À HYDROCARBURES ?

4 - Le cratère de Tin Bider

Tin Bider est un cratère complexe situé dans le plateau du Tinrhert, sur la carte au 1/200 000 de Tilmas Lamra, au Nord Nord-Est du Tidikelt et des regs Aguemmour et Asfer (265 km à l'Est d'In Salah). Il constitue un réservoir de plusieurs centaines de météorites récoltées cette dernière décennie. Ses coordonnées sont : 27°36' N 05°07' Est (fig. 6).

Il a été décrit par Guillemot (1962) et nommé Tadmait par Monod (1965). C'est Busson (1972) qui a interprété son origine météoritique.

Ce cratère a 6 km de diamètre et il est creusé dans les terrains crétacés.

Stratigraphie

Les roches qui affleurent à Tin Bider et qui constituent les faciès cibles vont de l'Albien (grès du continental intercalaire) au Sénonien



3 km

Fig. 6 - Cratère de Tin Bider (Image Landsat TM)
Tin Bider crater (Landsat TM image)

supérieur. On distingue de bas en haut les termes suivants (Lambert *et al.*, 1981 et observations personnelles) (fig. 7) :

- Des grès quartzites fins blanchâtres à la cassure et à patine marron oxydée qui s'intercalent avec des grès grossiers parfois friables ocres ou rouillés. Ils sont d'âge albien (continental intercalaire) et affleurent au cœur de la structure.

- Des argiles versicolores et lentilles de gypse d'âge probable cénonanien.

- Des calcaires de couleur ocre, parfois crayeux à silex en lits ou en lentilles du Cénonano-Turonien.

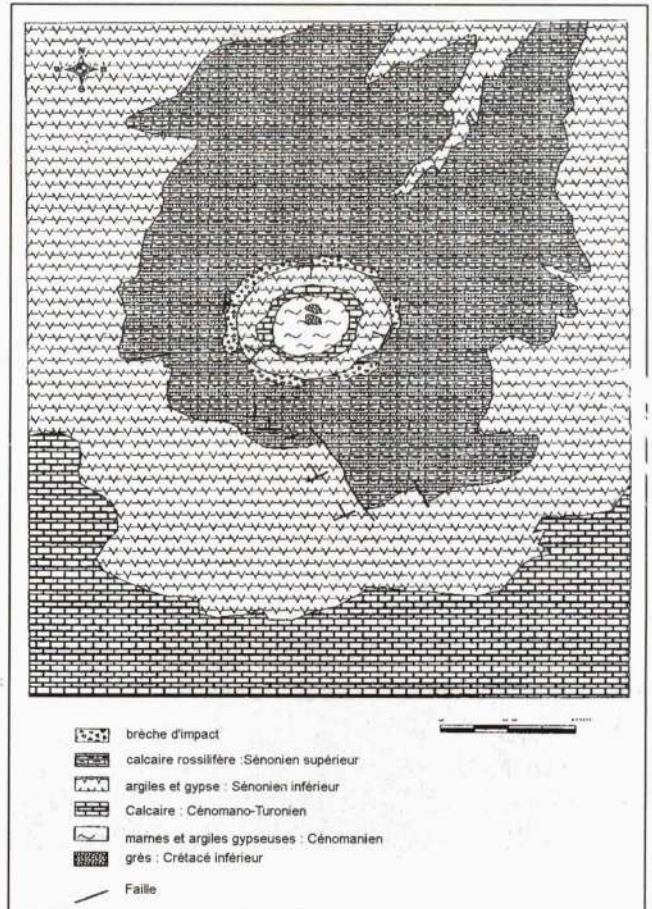


Fig. 7 - Carte géologique du cratère météoritique de Tin Bider

Geologic map of meteoritic crater of Tin Bider

- Des argiles, gypse et marnes et calcaires fins du Sénonien inférieur.

- Et enfin des calcaires en bancs épais parfois crayeux à rognons de silex avec de nombreux fossiles du Sénonien supérieur.

A l'intérieur de la dépression centrale se rencontrent des brèches hétérogéniques et hétérométriques avec des clastes de silex bien éclatés. Parfois ces brèches se mettent dans des fentes métriques ouvertes sur les bordures prenant souvent l'aspect de strates au sein de la formation. Non loin du piton central, ces formations sont limitées à l'intérieur de l'anneau interne (fig. 8 a). La présence de clastes de silex éclatés et l'absence de ces brèches ailleurs dans la série milite en faveur d'une origine tardive qui serait liée au choc car il y a absence totale de discordance et de phase tectonique importante connue dans le secteur.

Analyse structurale

Ce cratère très érodé relativement aux autres cratères d'Algérie a une forme arrondie et des dimensions qui contrastent avec le plateau environnant. Dans une zone aussi tabulaire que

le plateau de Tinhert, on attribue le nom d'accident circulaire à cette structure dont les flancs sont fortement déformés. En effet, la multitude des plis de toutes formes et de toutes classes (au sens de Ramsay, 1967), ainsi que des failles (normales, décrochements et chevauchements) tranchent nettement avec cette structure tabulaire (fig. 8 a et b).

L'analyse des marqueurs structuraux permet de caractériser cette structure et de discuter son origine.

Les plis : Un plissement intense affecte les couches dont l'intensité augmente depuis la périphérie vers le centre du cratère. La classification par la méthode de Ramsay (1967) des différents plis pris sur chaque anneau, nous a permis de voir un gradient croissant depuis les terrains presque tabulaires de la périphérie vers le centre où les couches sont fortement plissées et laminées. Ainsi, sur l'anneau le plus externe, les plis sont de classe 1a à 1b de type isopaque, très ouverts dans la classification de Ramsay (1967) (fig. 9).

Le deuxième anneau montre des plis de classe 1c, concentriques aplatis, droits, déversés ou couchés. Dans l'anneau intérieur, les plis sont



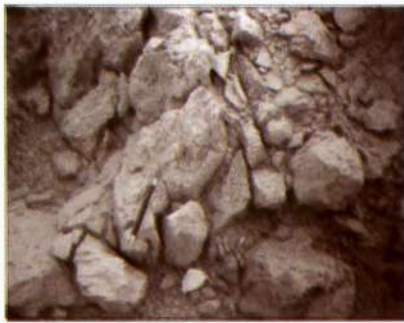
a) Uplift central
Central uplift



b) pli déversé dans l'anneau médian
Overfolded in median rin

Fig. 8 - Cratère de Tin Bider
Tin Bider crater

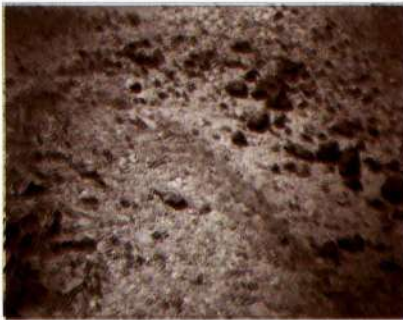
ÉTAT DES CONNAISSANCES ET MISE AU POINT SUR LES CRATÈRES MÉTÉORITIQUES DU SAHARA ALGÉRIEN
DES INDICATEURS DE PIÈGES À HYDROCARBURES ?



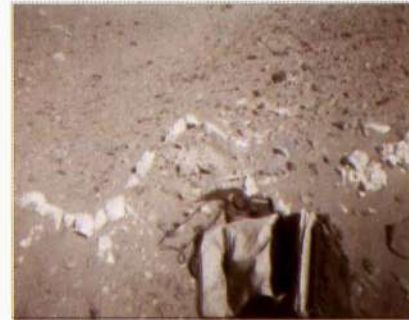
a) Classe 3
Class 3



b) Classé 2
Class 2



c) Classe 1c
Class 1c



d) Classe 1b
Class 1b

Fig. 9 - Les classes de plis depuis le centre vers la périphérie du cratère
The class of fold from center to periphery of crater

de classe 2, semblables, à flancs parallèles où les calcaires et les silex sont fortement étirés. Vers l'intérieur de cet anneau, les plis sont encore plus déformés et sont de classe 3.

Le petit anneau très interne montre dans des calcaires recristallisés, des plis de classe 3 et des plis en fourreau. Le centre du cratère étant quartzitique, les couches sont verticalisées, très fracturées et schistosées mais ne montrent pas de plissement. Il est remarquable de préciser que la morphologie des bordures est liée directement à la structure plicative. Ainsi les anticlinaux sont érodés et apparaissent en vallée anticlinale, où les cours d'eau sont creusés; et les sommets sont constitués par des synclinaux perchés. Ils sont déversés soit vers l'intérieur soit vers l'extérieur.

Par ailleurs, une intense fracturation affecte cet édifice, qui se manifeste par des failles inverses, des failles normales et des décrochements.

Les failles inverses sont visibles à la base de plis déversés ou couchés, vers l'intérieur ou vers l'extérieur du cratère. Elles sont de toutes tailles.

Les failles normales sont visibles dans l'anneau externe et ont un regard vers le centre du cratère (fig. 10).

Les failles en décrochement traversent tout le cratère et se dirigent vers le centre de celui-ci. Elles épousent souvent les épontes des zones bréchifiées. Les décrochements de l'échelle du



Fig. 10 - Les failles décrochantes normales dans l'anneau externe

The normal strike slip faults in the external rim

demi-rayon du cratère accommodent souvent des failles normales listriques qui sont à l'extérieur de la structure.

Les plis fortement déversés ou couchés vers l'intérieur sont interprétés ici comme le résultat d'un glissement le long des plans des failles normales, suite aux remontées du compartiment externe.

Dans les grès du centre, Lambert et *al.*, (1981) ont décrit des quartz avec des structures planaires. Ce sont des quartz choqués typiques des zones d'impact.

L'observation des pseudo-clivages dans ces quartz montre qu'ils pourraient être interprétés comme le résultat du choc principal.

La structure de Tin Bider est celle d'un grand anticlinal de fond dont le cœur affleurant est formé de grès du Crétacé inférieur (continental intercalaire). Les anneaux sont très écaillés et structurés en plis, ces derniers sont formés de roches argilo-gypseuses et carbonatées du Crétacé moyen et supérieur (Belhaï et *al.*, 2005) (fig. 8).

Relation entre diamètre des cratères et profondeurs réelle et apparente

Il existe une relation empirique entre le diamètre d'un cratère météoritique et ses profondeurs réelle et apparente (Grieve, 1987).

Dans les cratères terrestres, les équations sont différentes, qu'il s'agisse de cratères simples ou de cratères complexes.

Ainsi pour les cratères simples, la relation entre la profondeur apparente d_a et le diamètre D s'écrit (fig. 11):

$$d_a = 0,14 D^{1,02} \quad (1) \quad (\text{Grieve, 1987})$$

La relation entre la profondeur réelle d_1 et le diamètre D s'écrit :

$$d_1 = 0,29 D^{0,93} \quad (2) \quad (\text{Pike, 1980})$$

Quant aux cratères complexes, la relation entre le diamètre D et la profondeur apparente d_a est :

$$d_a = 0,27 D^{0,16} \quad (3)$$

Si on applique la relation (1) aux deux cratères simples d'Amguid et de Maadna, il ressort pour le premier qui a un diamètre de 550 m, la dimension théorique :

$$d_a = 0,14.(550)^{1,02} = 87 \text{ m.}$$

Cette valeur est supérieure à la valeur mesurée sur le terrain qui est égale à 65 m. La différence de 22 mètres peut être interprétée comme le taux d'érosion qui s'est effectuée depuis la formation du cratère. Si celle-ci est de 1 mm par an, l'âge approximatif du cratère est proche de 22.000 ans, alors que si elle n'est que de 0.1 mm par an, l'âge serait de 220.000 ans. Ce qui est un âge relativement récent.

ÉTAT DES CONNAISSANCES ET MISE AU POINT SUR LES CRATÈRES MÉTÉORITIQUES DU SAHARA ALGÉRIEN
DES INDICATEURS DE PIÈGES À HYDROCARBURES ?

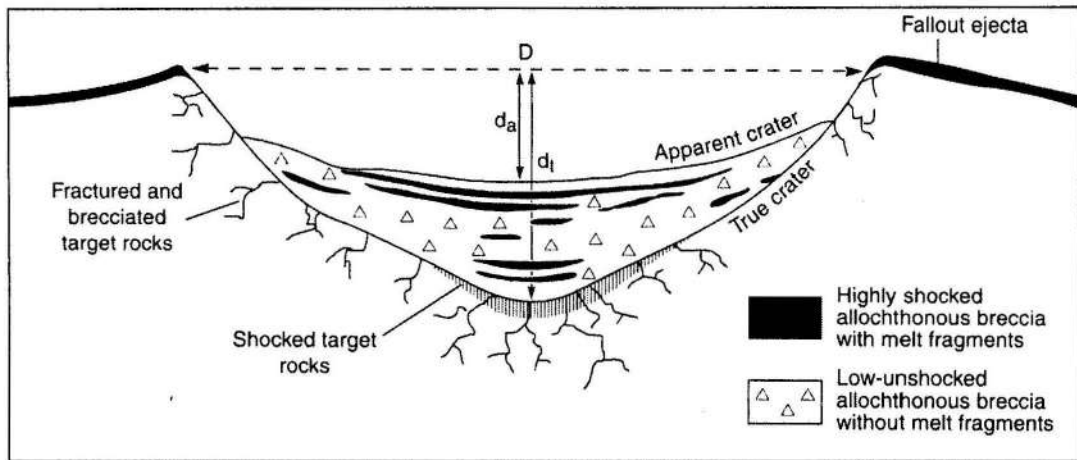


Fig. 11 - Diamètres réel et apparent dans un cratère simple (French, 1998)
True depth and apparent depth in simple impact crater (French, 1998)

Quant à la profondeur réelle, elle est selon la relation (2) :

$$d_a = 0,29 D^{0,93},$$

soit :

$$d_t = 0,29 550^{0,93} = 102 \text{ m},$$

ce qui correspond à une épaisseur des brèches de :

$$E_{\text{brèche}} : 102 \text{ m} - 87 \text{ m} = 15 \text{ m}.$$

Pour le cratère de Maadna (Talemzane) de diamètre $D = 1750 \text{ m}$, la valeur théorique de la profondeur apparente est :

$$d_a = 0,14.(1750)^{1,02}$$

$d_a = 0,14.1750 = 284 \text{ m}$. Sur le terrain, la mesure donne 55 m , ce qui correspond à une différence de $284 \text{ m} - 55 \text{ m} = 229 \approx 230 \text{ m}$. Cette valeur est le bilan comblement-érosion. Soit une érosion de 230 m . Si le taux d'érosion est de 1 mm par an, l'âge de la formation du cratère est de $230 000 \text{ ans}$. Si cette érosion est de $0,1 \text{ mm}$ an, alors son âge serait de $2,3 \text{ millions d'années}$.

Pour les cratères complexes de Tin Bider qui a un diamètre de 6000 m et de l'Ouarkiz d'un diamètre de 3500 m , le même raisonnement est suivi avec les formules de Pike (1980) :

$$d_a = 0,27 D^{0,16}$$

$d_a = 0,27.(6000)^{0,16} = 1,086 \approx 1 \text{ m}$, pour Tin Bider

et

$d_a = 0,27.(3500)^{0,16} = 0,99 \approx 1 \text{ m}$ pour Ouarkiz.

IV - IMPLICATION SUR LE PIÈGEAGE DES HYDROCARBURES

Classiquement, les pièges structuraux d'hydrocarbures, pétrole et gaz sont localisés dans des structures géologiques liées à des déformations tectoniques lentes (plis anticlinaux, failles, diapirs). Actuellement un grand nombre de structures non conventionnelles sont mises en évidence où les champs d'hydrocarbures ne semblent pas relever des processus classiques. En effet, plusieurs structures d'impact météori-

tiques établies ont révélé un potentiel important en gaz et en pétrole.

La signification économique des cratères météoritiques a attiré l'attention de plusieurs auteurs depuis fort longtemps, notamment sur le rôle que pourrait jouer la cratérisation d'une zone par un impacteur extraterrestre, de type météorite ou comète.

Les processus de la formation des cratères d'impact aboutissent à des structures particulières.

Ainsi le champ de gaz de Barrow dans la structure d'Avac en Alaska, est d'origine impact-titique (Kirschner et al., 1992). D'autres structures pétrolifères ont été depuis longtemps décrites, Viewfield et Red Wing Creek (Donofrio, 1981) comme structures d'impact météoritique qui recèlent une quantité appréciable d'hydrocarbures exploitables. L'analyse géologique du cratère de Tin Bider révèle des caractères identiques à ceux d'Avac et de Viewfield. Son étude détaillée permettra de trancher quant à la présence ou non d'hydrocarbures dans ses formations.

Nous discuterons dans ce travail uniquement du champ d'Avac (Kirschner et al., 1992).

Le champ de gaz auquel appartient la structure circulaire d'Avac (Arctic, Alaska) présente toutes les caractéristiques d'un cratère météoritique (Kirschner et al., 1992).

Sur la côte arctique, à 12 km du village de Barrow (Alaska) apparaît Avac, une structure sub-circulaire avec un piton central et une déformation chaotique impliquant des terrains allant du Trias au Crétacé inférieur. D'un diamètre de 8 km et d'une profondeur de 1 km, elle est en outre limitée par une zone à failles normales qui va jusqu'à 12 km de diamètre. Les sédiments ont subi une déformation de bas grade dont l'intensité augmente vers le centre de la structure (uplift) (fig. 12).

Sur le plan structural, Avac montre des couches fortement déformées et redressées, des brèches mixtes, des grains de quartz choqués en mosaïque et des quartz lamellaires, des shatters cones (cônes de choc) trouvés en bordure de la structure. Tous ces éléments constituent des indicateurs sûrs pour attribuer une origine météoritique à la structure. Avac 1 est la première structure qui a été reconnue durant l'exploration de la National Petroleum Reserve n°4 (NPR 4) par l'US Navy pendant la période 1943-1953. On y a utilisé la sismique, la gravimétrie et la sonde d'Avac1 (Collins, 1961), Collins et Robinson (1967) (fig. 15). Ces auteurs avaient suggéré une origine magmatique à la structure, alors que Dietz, (1960) avait reconnu son caractère météoritique. L'étude détaillée conduite par la suite par Kirschner a permis de mieux cartographier les failles listriques bordières ainsi qu'une bonne analyse pétrographique, micropaléontologique et biostratigraphique, ce qui a amené l'auteur à proposer une origine diapirique à la structure. Par la suite la multiplication d'arguments qui étaient tous compatibles a permis d'y reconnaître un cratère météoritique de type complexe.

La position du petit Barrow, de l'Est Barrow et du champ pétrolier de Sikulik sur le bord du cratère (annulaires rimes) (Lanz, 1981) implique leur mise en place post structure d'Avac. Ils sont ainsi la conséquence directe de l'impact.

Si l'on compare les deux cratères complexes de Tin bider et de l'Ouarkziz. On constate qu'ils présentent tous les caractères de ceux d'Avac avec notamment:

La présence de roches poreuses tels que les grès, des roches fissurées à cause du choc, qui forment la roche réservoir. Par ailleurs, on constate la présence d'une formation étanche qui forme la couverture matérialisée par les argiles gypseuses. Lors de l'impact l'onde de choc a induit une remontée de la zone centrale en forme d'anticlinal (dôme ou piton central).

ÉTAT DES CONNAISSANCES ET MISE AU POINT SUR LES CRATÈRES MÉTÉORITIQUES DU SAHARA ALGÉRIEN
DES INDICATEURS DE PIÈGES À HYDROCARBURES ?

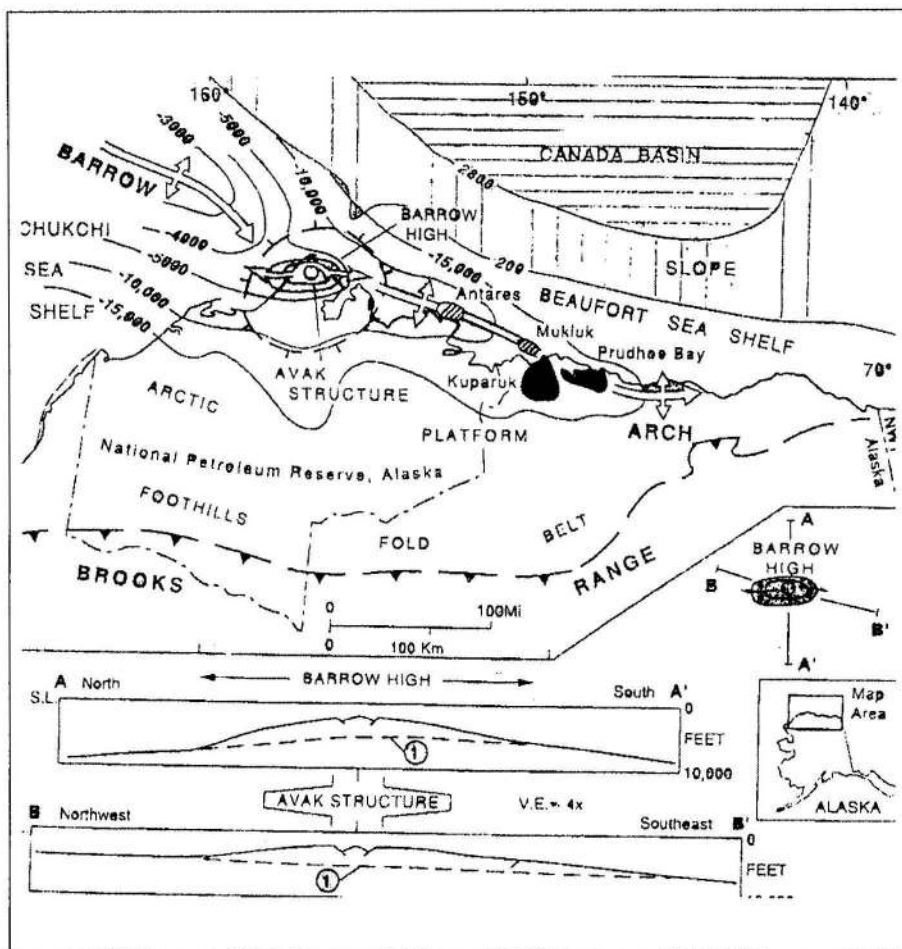


Fig. 12 - Le champ pétrolier d'Avac (Kirschner *et al.*, 1992)
Oil field of Avac crater (Kirshner et al., 1992)

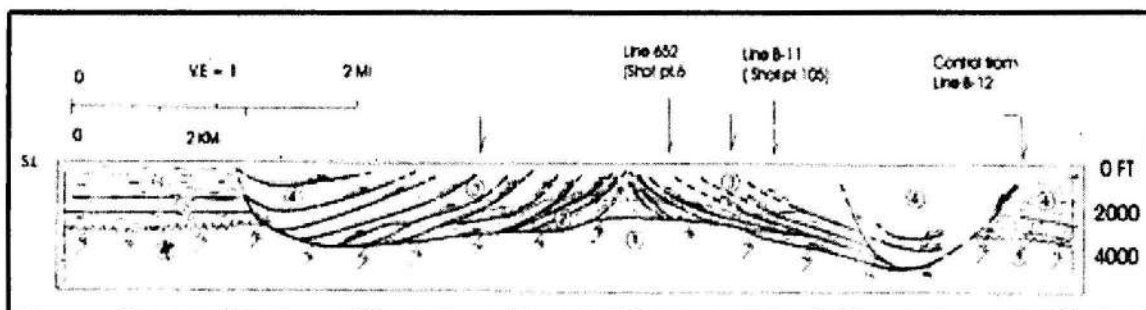


Fig. 13 - Coupe à travers le cratère d'Avac (Kirshner *et al.*, 1992)
Cross section in Avac crater (Kirshner et al 1992)

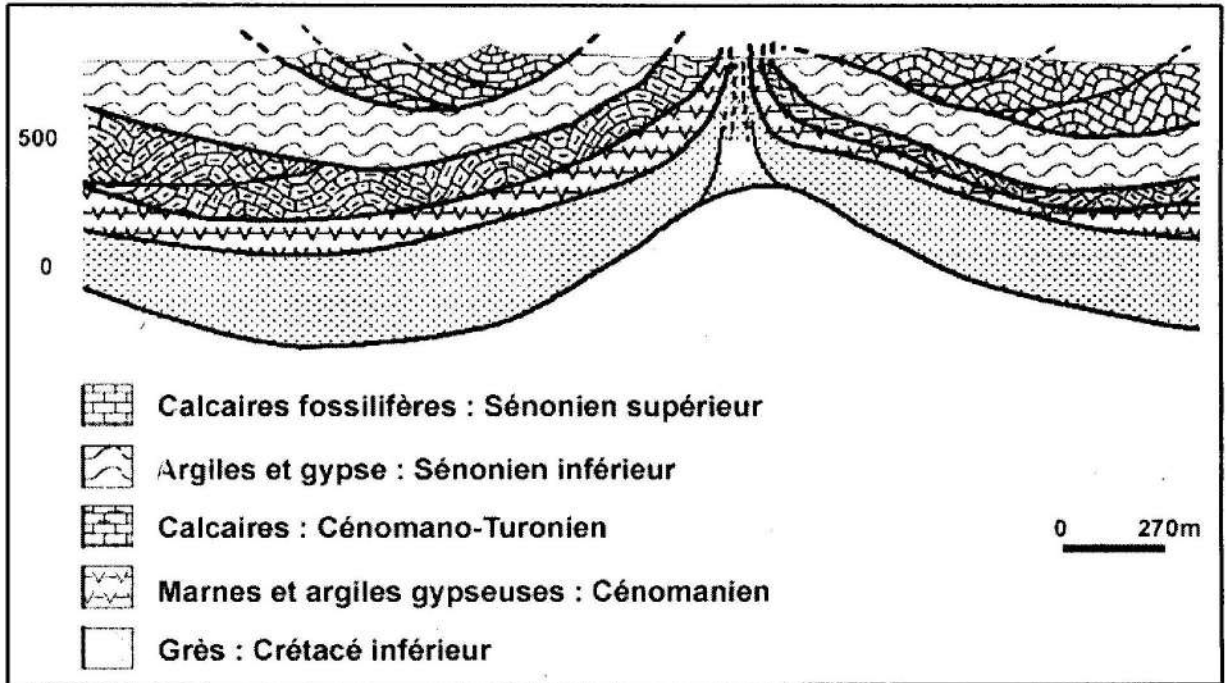


Fig 14 - Coupe géologique interprétée à travers le cratère de Tin Bider

Interpreted cross section in Tin Bider crater

Tous ces éléments militent en faveur de zones potentielles à hydrocarbures. D'autant plus que l'environnement régional à savoir cette partie de la plateforme saharienne est une province à hydrocarbures.

CONCLUSION

Les quatre cratères d'Algérie, deux de type simple et les deux autres de type complexe, localisés tous dans la plateforme saharienne ne montrent pas de trace de l'impacteur (la météorite). Néanmoins, les différents éléments permettent de conclure quant à leur origine météoritique. Leurs âges ne sont pas établis, mais sont approchés par des méthodes indirectes. Notamment celle qui établit une relation entre le diamètre des cratères, les profondeurs réelle et apparente et l'érosion.

Les cratères d'impact de type complexe ont une structure en dôme (les formations les plus anciennes affleurent au centre quand la structure est érodée comme à Tin Bider ou à Ouarkiz). Le pétrole, substance légère, peut migrer vers le haut et peut venir se piéger dans cette structure comme elle le fait dans un anticlinal. Les mêmes conditions que dans un gisement classique sont bien sûr nécessaires et dans le cas de Tin Bider, elles sont présentes : présence de roches magasins, couverture imperméable et roches-mères. La tectonique particulière associée aux astroblèmes (charriages, discordances tectoniques, fracturation intense) peut permettre l'existence de ce type de piège.

Par ailleurs, par leurs ressemblances lithologiques, structurales et leur localisation dans un environnement géologique particulier, avec les champs d'Avac et de Viewfield, bien qu'ils soient

plus petits, les cratères de Tin Bider et de l'Ouarkiz peuvent constituer des potentiels pièges à hydrocarbures.

Pour une meilleure connaissance de leurs structures et de leur potentiel en hydrocarbures, il est nécessaire de procéder à une étude géologique et géophysique détaillée et étudier la possibilité de procéder à un sondage afin de confirmer ou non la présence d'hydrocarbures dans ces cratères.

Remerciements : Nous remercions vivement C. Perron (MNHN, Paris), M. Franco (Chamonix, France), Belkhouja L., M. Messaoudi et M. Ayad (USTHB, Alger) nos compagnons de terrain saharien, ainsi que F. Aït Hamou pour avoir lu et corrigé le manuscrit. Ce travail a été effectué dans le cadre de la coopération algéro-française AP/CMEP (projet 01 MDU 522).

BIBLIOGRAPHIE

- BELABBES, A. ET DEBILI, N., 1998.** Etude géologique du cratère météoritique de Maadna (Hassi Dellaa, Laghouat). *Mém. Ing. IST, USTHB, Alger*.
- BELHAI, D., BELABBES, A. ET DEBILI, N., 1999.** Le cratère météoritique de Maadna (Hassi Dellaa): Etude géologique. *2^{ème} Sémin. Interne de géologie, IST, USTHB, Alger*.
- BELHAI, D., HAMOUDI, M. ET BAKER, H., 1999.** The meteoritical carte of Maadna (Saharan Algeria). *62nd Annual Meeting Meteoritical Society 1999. Johannesburg (South Africa)*.
- BELHAI, D., 2002.** Algerian meteoritic craters. Sixth International Conference on the Geology of the Arab World (GAW-6). *Cairo university (Egypt)*.
- BELHAI, D., MERLE, O., VINCENT, P., DEVOUARD, B. AND AFALFIZ, A., 2005.** *Are the Complex Algerian Meteorites Craters potentials Hydrocarbon traps.* 36th Lunar and Planetary - Brady, L.F. (1954): The craters of Talemzane in Algeria. *Sky and Telescope*, 297-298.
- BRADY, L.F., 1954.** The craters of Talemzane in Algeria. *Sky and Telescope*, pp: 297-298.
- BRENAN, R.L., PETERSON, B.L. AND SMITH, H.J., 1975.** The origin of Red wing Creek structure. *Mc Kenzie County, North Dakota, Wyoming Geol. Assoc. Earth Bull.*, 8, 1-41.
- BUSSON, G., 1972.** Principales méthodes d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. In «Mémoires du Muséum d'Histoire Naturelle», *Nelle. Série, Tome 26*, pp. 320-323.
- COLLINS F.R., 1961.** Core tests and test wells Barrow area, Alaska : *USGS Professional Paper 305-K* pp: 569-644.
- COLLINS, F.R. AND ROBINSON, F.M., 1967.** Subsurface stratigraphy, structural and economic geology, Northern Alaska : *USGS Open File Report 287* (also 67-64), 252 p.
- DIETZ, R.S., 1960.** Meteorite impact suggested by shatter cones in rocks: *Science*, v. 131, n°3416, pp: 1781-1784.
- DONOFRIO, R. R., 1981.** Impact craters : implications for basement hydrocarbon production. *Journal of Petroleum Geology*, 3, 3 pp. 279-302.
- FABRE, J., KAZI TANI, N. AND MEGARTSI, M., 1970.** Le «rond» de l'Ouarkiz (Sahara nord-occidental) : Un astrolème ? *C.R. Acad. Paris, t. 270*, p. 1212-1215.
- FABRE, J., 1976.** La géologie du Sahara. *Edition SNED, Alger*.
- FRENCH, B.M., 1998.** Traces of Catastrophe. A handbook of shock-metamorphic effects in terrestrial meteorite impact structures. *LPI Contribution n° 954*.
- GRIEVE, R.A.F., 1987.** Terrestrial impact structures. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* 15: 245-270
- GUILLEMOT, J., 1962.** Fiches descriptives des trois accidents circulaires sahariens. In *photo-interpretation*, n°4, fascicule 1.

- KARPOFF, R., 1954.** Un cratère de « météorite » à Talemzane dans le Sud Algérien. *C.R. Congrès Geol. Intern. Alger, 1952. Sect. 13, Fasc. 14, 233-241.*
- KIRSCHNER, C.E., GRANTZ, A. AND MULLEN, M.W., 1992.** Impact origin of the Avac structure, Arctic Alaska, and genesis of the Barrow gas fields. *The American Association of Petroleum Geologist Bulletin. V. 76, n° 5. P. 651-679.*
- LAMBERT, P., MC HONE, J.R., DIETZ, R.S. AND HOUFANI, M., 1980.** Impact and Impactlike structures in Algeria. Part I. Four Bowl-shaped depressions. *Meteoritics 15, n°2, 157-179*
- LAMBERT, P. MC HONE, J.R., DIETZ, R.S., BRIEDJ, M. AND DJENDER, M., 1981.** Impact and Impactlike structures in Algeria. Part II. Multi-Ringed Structures. *Meteoritics, Vol, 16, n°3. 203-227.*
- LANZ, R.J., 1981.** Barrow gas fields-North Slope, Alaska : *Oil and Gas Journal, V. 79, n° 13, pp : 197-200.*
- LEFRANC, J.P., 1969.** Reconnaissance du cratère météoritique d'Amguid (Mouydir, Sahara Central). *C.R. Acad. Sci. Paris, Fr. 268 (6), 900-902.*
- MELOSH, H.J., 1989.** Impact cratering. A geological cratering. *Oxford University Press. New York.*
- MONOD, 1965.** Contribution à l'établissement d'une liste d'accidents circulaires d'origine météoritique (reconnue, possible ou supposée) cryptoexplosive. *I.F.A.N., Dakar, Catalogues et documents, n° 18, 96 p.*
- PIKE, R.J., 1980.** Formation of complex impact craters: evidence from Mars and other planets. *Icarus 43 : 1-19.*
- RAMSAY, 1967.** Folding and Fracturing in rocks. *Mc Graw Hill.*
- ZANDA, B. ET ROTARU, M., 1996.** Les Météorites. *Carnets d'histoire naturelle. Bordas, Paris, 128 p.*