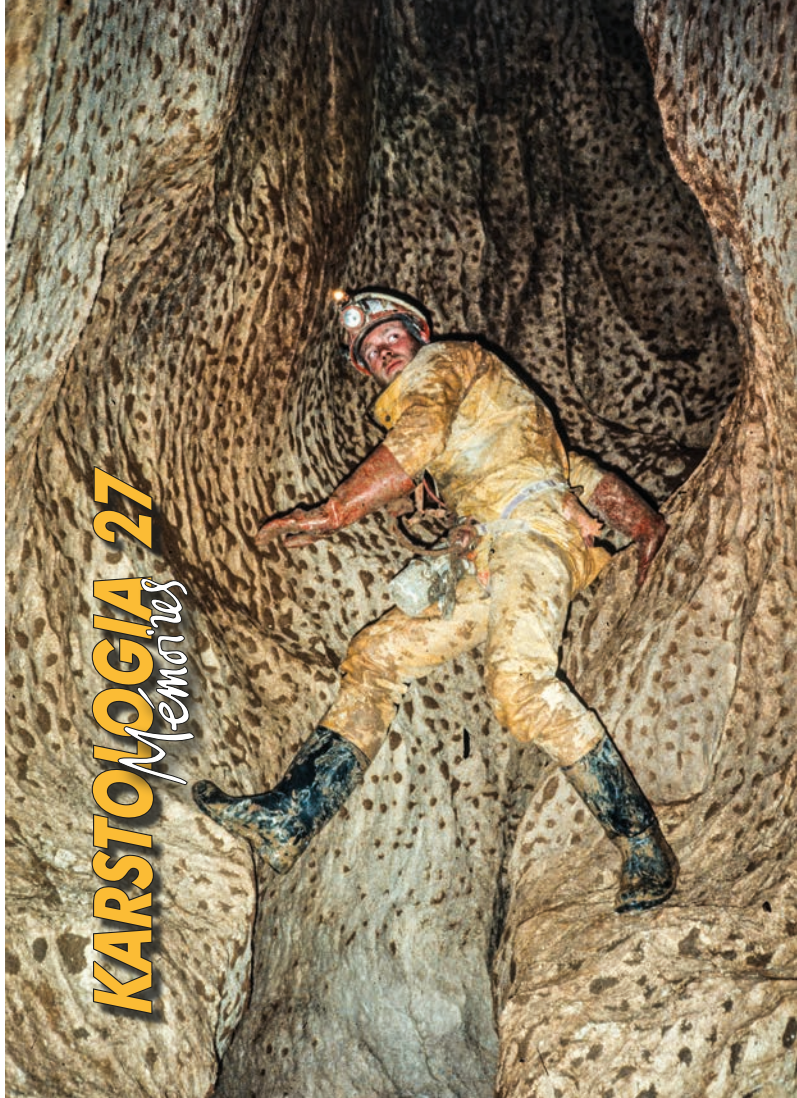


Karsts et grottes d'Algérie

KARSTOLOGIA 27
Mémoires



Karsts et grottes d'Algérie

Les principales régions karstiques d'Algérie et leurs cavités les plus remarquables

Coordination et rédaction : Bernard Collignon

Avec les contributions de :

Anane Toufik	Malek Abdesalam
Atia Redha	Meriem Moulana
Banki Kacem	Mohamed Belaoud
Bernard Lips	Montserrat Ubach-Tarrés
Bernard Pablo	Oleguer Escola-Boada
Chemseddine Fehdi	Paul Benoît
Fehdi Baali	Paul Courbon
Didier Cailhol	Philippe Audra
Fernando Gazquez	Philippe Bence
Fouzia Bensaoula	Robert Fabriol
Gilberto Calandri	Said Ramdane
Hai Cheng	Stéphane Jaillet
Jacek Motyka	Youcef Hakimi
Lawrence Edwards	Yuri Dublyanski
Luc-Henri Fage	Yves Quinif

Karstologia *Mémoires* n° 27 – 2022
Association Française de Karstologie

Les karsts d'Algérie dans le gypse et le sel

Bernard Collignon – collignon@bottombillion.fr

Le sel gemme (halite – NaCl) et le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) sont des roches très solubles et pour cette raison, elles sont sensibles à une érosion de type karstique (avec des rivières souterraines, des pertes et des résurgences). En Algérie, plusieurs types de karst dans le gypse et le sel ont été explorés (Figure 2):

- Les diapirs à sel affleurant de l'Atlas saharien ;
- Les diapirs à gypse affleurant de l'Atlas Tellien, l'Algérie et en Tunisie ;
- Les karsts du gypse miocène peu remanié dans l'Oranie

Lithologie du Trias

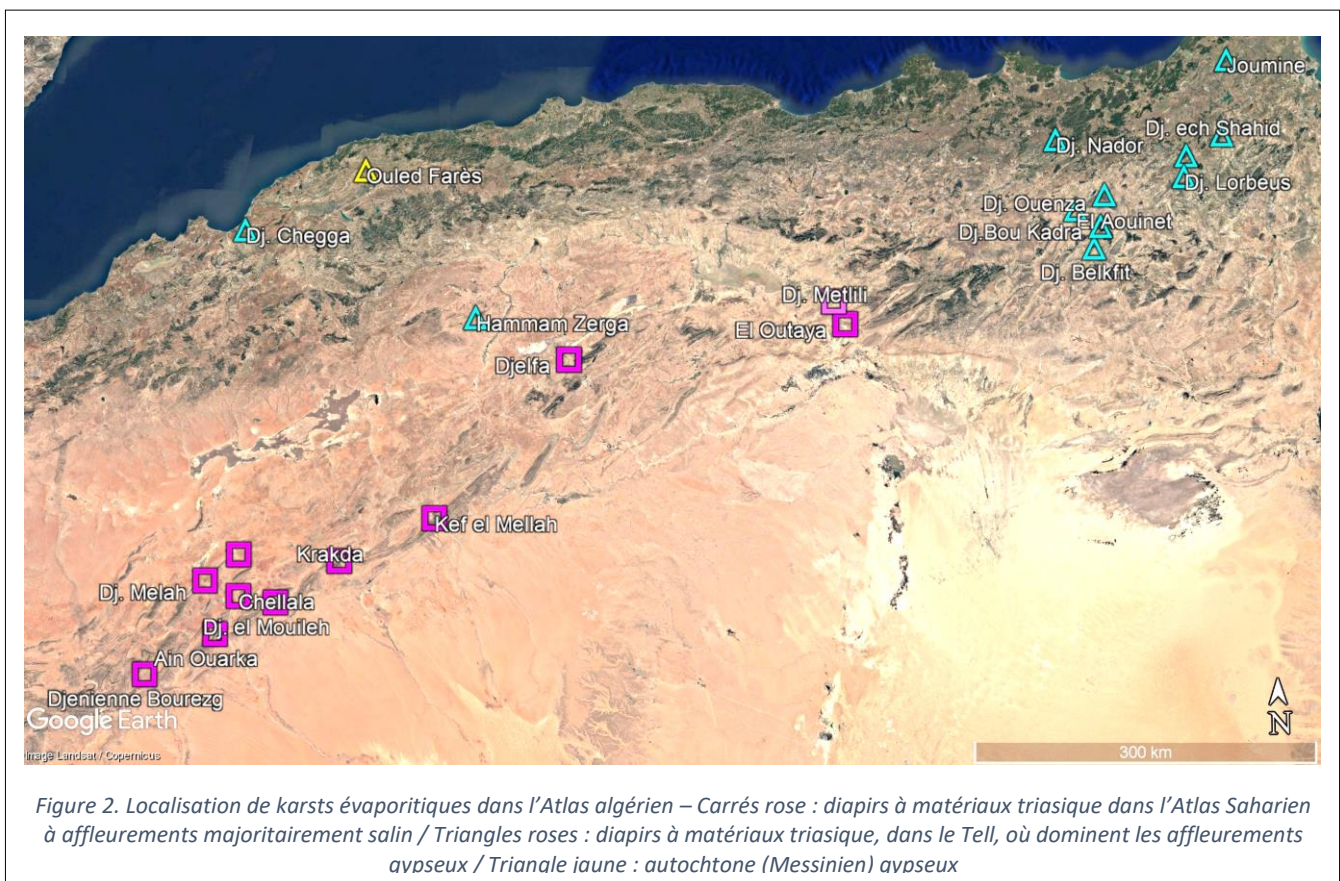
Le Trias, en Algérie, est représenté par différentes formations dont une série assez épaisse de roches évaporitiques, datées du Keuper (Trias supérieur).

Au niveau de la plate-forme saharienne, ces formations ont été largement explorées grâce aux forages pétroliers qui les retrouvent en position normale, sous les formations datées du Jurassique. Leur épaisseur dépasse souvent 1000 mètres.

À l'affleurement, le Trias est représenté par plusieurs types de roches, mélangées par la tectonique spécifique des massifs évaporitiques et il serait vain d'y chercher une

succession stratigraphique. On observe quatre composants principaux :

- Des évaporites : sel gemme (halite – NaCl) ou gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$). Les autres éléments du cortège évaporitiques sont probablement présents en plus petites quantités (sylvine - KCl, anhydrite – CaSO_4 ou dolomite – $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), mais ce qui marque le paysage, ce sont les énormes accumulations d'halite (dans l'Atlas Saharien) ou de gypse (dans l'Atlas, en Algérie et en Tunisie).
- des argiles bariolées parmi lesquelles il est difficile de distinguer des strates originelles et des remaniements causés par l'ascension du diapir (voir ci-dessous).
- des ophites (roches volcaniques)
- de blocs de calcaire qui, quand ils peuvent être datés, correspondent aux étages superposés aux couches sédimentaires du Trias (Jurassique et Crétacé). Comme l'écrit Gautier, on pourrait parler de brèche, mais la taille des éléments de cette brèche peut atteindre celle d'une maison (Gautier, 1915).



La tectonique spécifique aux massifs gypso salifères du Trias de l'Atlas

Lors de la formation des chaînes de l'Atlas, l'ensemble de cette région a été soumis à une intense tectonique compressive (c'est une conséquence du rapprochement des plaques africaines et eurasiatiques). Les quelques kilomètres de roche sédimentaire déposés au-dessus du socle ont été fortement comprimés, donnant naissance à des plis de grande amplitude (dans l'Atlas Saharien), des nappes de charriage (dans le Tell) ou une tectonique plus cassante, là où les épaisseurs de roche carbonatée étaient plus importantes (dans la meseta oranaise).

Les couches évaporitiques du Trias se situaient dans la partie inférieure de ces séries sédimentaires. Elles sont considérablement plus plastiques et plus légères que les roches qui les surmontent. Elles vont donc profiter de l'occasion (les coquines) pour s'insinuer au travers des accidents cassants, pour boursier l'intérieur des anticlinaux (diapirs) ou pour transpercer, à l'emporte-pièce, les masses d'argiles (Figure 3). Ce comportement mécanique propre aux couches évaporitiques constitue ce que les géologues appellent l'*halocinèse* (Aoudjehane et al., 1992).

Comme elles sont particulièrement plastiques, elles facilitent la formation des nappes de charriage et c'est sur une semelle de Trias évaporitique que la plupart des nappes Tellienues se sont déplacées (pour reprendre une métaphore de mécanicien, on parle de *couche-savon*). On observe alors les évaporites du Trias au front de la nappe, sous la forme d'un cordon de quelques dizaines ou centaines de mètres de large, où se mêlent évaporites, ophites et passagers clandestins (des débris rocheux divers arrachés au cours de la déformation).

À ma connaissance, il n'existe pas dans l'Atlas de dômes de sel stricto sensu, c'est-à-dire de masses de sel qui remontent par le simple effet de la gravité à travers des

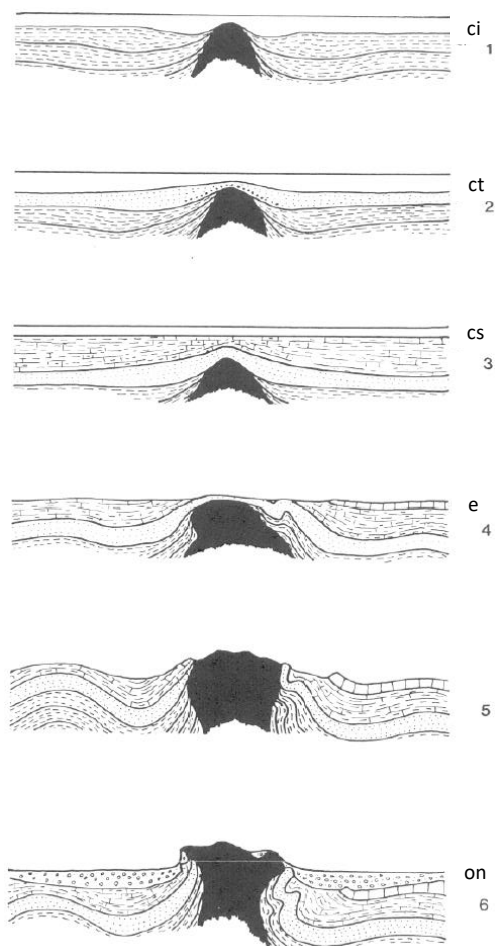
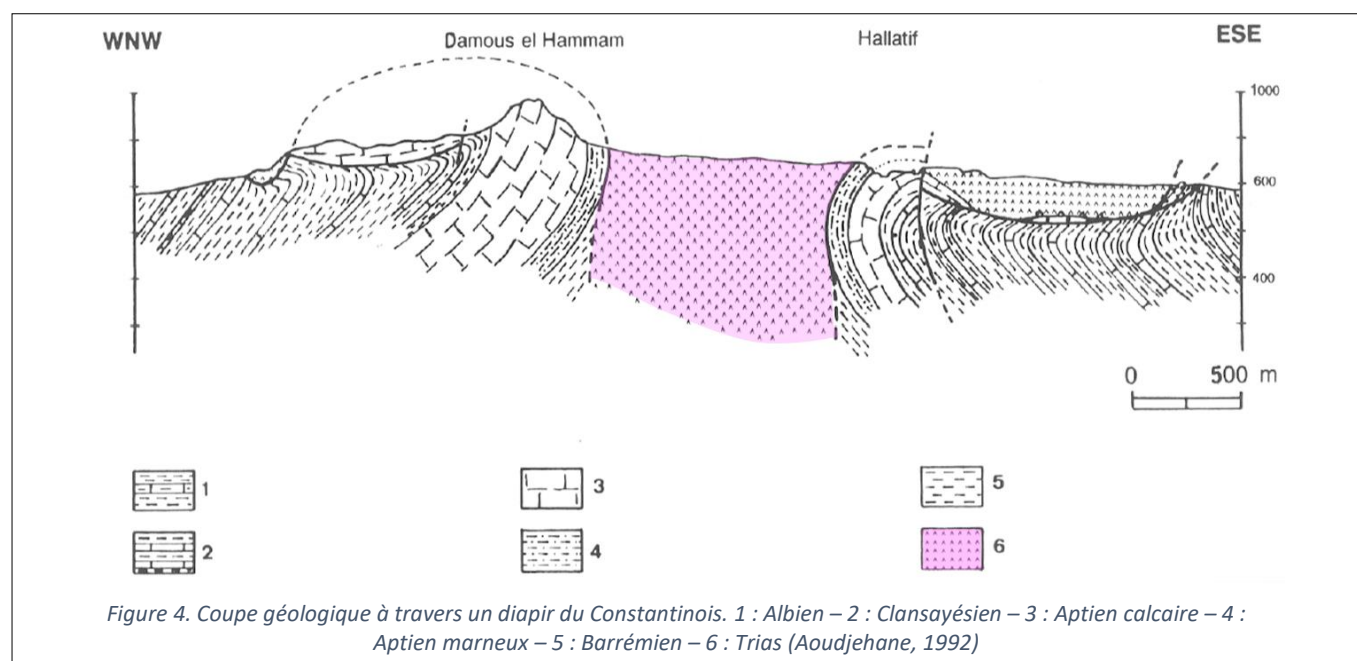


Figure 3. Essai de reconstitution de l'évolution diapirique du Dj. Lorbeus (Tunisie). 1 : Extrême début du Cénomanien; 2 : Turonien; 3 : fin du Crétacé; 4 : Eocène moyen; 5 : fin de l'Eocène; 6 : début du Néogène, (ci : Crétacé inférieur et moyen; ct : Cénomanien et Turonien; es : reste du Crétacé supérieur; e : Eocène; on : Oligocène et Néogène). (d'après Perthuisot, 1979).



couches plastiques plus denses (comme de l'argile), sans intervention de contraintes tectoniques compressives.

En revanche, les formations salines du Miocène sont bien connues pour former des dômes de sel à travers toute la Méditerranée occidentale, et notamment sur la marge sous-marine algérienne, dans les épaisses couches de sel qui se sont déposées pendant le Messinien (Domzig, 2006).

La karstification du gypse et de l'halite

Le gypse et l'halite sont très solubles. Comme les carbonates, ils sont donc sujet à des phénomènes de karstification, avec cependant plusieurs facteurs limitants :

- Les affleurements du Trias comportent le plus souvent un mélange d'évaporites et de roches peu solubles (notamment des argiles) ; lors de la dissolution des évaporites, les argiles vont constituer des résidus insolubles qui peuvent colmater une partie des vides karstiques ;
- La résistance mécanique de l'halite et du gypse est plus faible que celle des calcaires et des dolomies ; les éboulements sont donc fréquents, quand la dissolution dégage des vides souterrains de grande portée.

La nature des processus de mise en place des roches du Trias gypso-salifère en Algérie (charriage, diapirs, dômes de sel) favorise aussi la constitution d'affleurements de petite taille complexes, découpés par de nombreux accidents et non de grands affleurements tabulaires, qui seraient plus favorables à la constitution de grands réseaux souterrains (comme ceux qui ont été explorés en Ukraine par exemple).

Spéléogénèse et type de cavités explorées dans les évaporites en Algérie

On retrouve dans le gypse et l'halite la majorité des formes caractéristiques de la karstification des roches carbonatées (calcaires et dolomies).

Lapiaz

Dans les diapirs de sel de l'Atlas Saharien (voir plus loin l'article de Montserrat Ubach-Tarrés & Oleguer Escola-Boada), les parois d'halite directement exposées à la pluie sont couvertes de lapiaz avec des microformes tout-à-fait similaires à celles que l'on observe dans les karsts haut-alpins ou dans les karsts intertropicales humides : cannelures, pinacles... La principale différence est dans l'échelle des phénomènes : les cannelures font quelques cm de large et les pinacles font quelques dm de haut.

Dolines de dissolution

Les dolines de dissolution sont l'un des traits dominants des karsts du sel et on en trouve aussi dans les grands massifs de gypse (voir plus loin l'article de Gilberto Calandri). Ces entonnoirs ont souvent une pente régulière (de 60 à 100%) et aboutissent à un aven.

Avens

Dans l'halite, la majorité des gouffres sont des avens de dissolution et non le produit d'un effondrement. Leurs parois, presque verticales, sont marquées par des cannelures profondes, chacune marquant simplement un cheminement préférentiel de l'eau.

Rivières souterraines

La formation des dolines et des avens n'est possible que parce que les produits de la dissolution sont régulièrement évacués. Il y a donc des rivières souterraines dans ces karsts, qui coulent quelques jours ou quelques heures chaque année, lors des épisodes pluvieux les plus intenses.

La vitesse de la karstification

Finalement, qu'est-ce qui différencie le plus les karsts des évaporites et ceux des roches carbonatées ? C'est le rythme de l'érosion.

À 20°C, le gypse est environ 10 fois plus soluble que la calcite (pour une eau qui contient du CO₂) et l'halite est 1000 fois plus soluble.

On conçoit donc que la karstification dans ce type de roche puisse être beaucoup plus rapide que dans les calcaires...pour autant qu'il y ait un peu de pluie. (Sesiano, 2004).

Les diapirs de sel de l'Atlas Saharien

La structure de l'Atlas saharien est constituée par une succession de plis d'orientation N60E et de grandes dimension (30 à 100 km de long et 3 à 20 km de large). Les matériaux gypso salifères du Trias bourrent le cœur des anticlinaux et dans au moins 7 cas, ils percent le recouvrement jurassique et crétacé et affleurent sous la forme de massifs de sel (halite) qui s'étendent sur plusieurs km².

Le sel à l'affleurement est soumis à une érosion de type karstique (creusement de la roche par dissolution, infiltration de l'eau dans le sous-sol et développement d'un réseau de puits et de galeries). Les formes karstiques de surface sont comparables à celles que l'on observe dans les roches carbonatées (lapiaz, dolines, avens).

Le sel à l'affleurement est soumis à une érosion de type karstique (creusement de la roche par dissolution, infiltration de l'eau dans le sous-sol et développement d'un réseau de puits et de galeries). Les formes karstiques de surface sont comparables à celles que l'on observe dans les roches carbonatées (lapiaz, dolines, avens).

Morphologie superficielle des karsts du sel

Le paysage typique des diapirs de sel est un immense champ de petites dolines (10 à 30 mètres de diamètre) qui recèlent souvent un aven au point le plus bas. Les parois des avens sont franches, presque verticales. On y voit la masse de sel directement attaquée par l'eau. C'est un lapiaz vertical, fait de rides et de chenaux. Ces avens se prêtent bien à l'exploration sur corde. En revanche, il n'est pas toujours facile de trouver de bons amarrages et surtout d'installer des relais intermédiaires dans une roche qui est souvent moins dure que le calcaire le plus tendre. Cela

Diapir dans l'Atlas Saharien		latitude (°N)	longitude (°E)	étendue (km ²)	dénivelée (m)
1	Djenienne Bourezg	32.4	-0.79	2.1	45
2	Ain Ouarka	32.73	-0.14	1.9	90
3	Djebel el Mouileh	32.98	0.41	1.7	135
4	Chellala	33.03	0.07	0.32	20
5	Djebel Melah	33.14	-0.24	4.1	80
6	Krakda	33.31	0.99	2.5	190
7	n.a.	33.35	0.07	0.14	35
8	n.a.	33.42	0.57	3.8	80
9	Kef el Mellah	33.64	1.86	2.1	270
10	n.a.	33.79	1.59	7	110
11	Khanguet el Melah (Djelfa)	34.83	3.09	1	90
12	El Outaya	35.06	5.62	6.4	290
13	Djebel Metili	35.23	5.53	1.2	190

Photo 10. Quelques grands diapirs du Trias gypso-salifère, repérés sur images satellitaires de l'Atlas Saharien

justifie l'utilisation de broches assez longues (port du casque obligatoire et peut-être pas suffisant pour éviter un accident).

Le fond des avens est souvent encombré de résidus de la dissolution du sel (argile, cailloutis calcaires). Il existe cependant de nombreux avens qui permettent de rejoindre un embryon de réseau souterrain (par exemple les cavités S1, S2, S4 et S8 à Djelfa et Dar el Tahta, à Outaya, qui ont été très soigneusement topographiées par Ubach-Tarrés et al. – voir plus loin), voire une petite rivière souterraine.

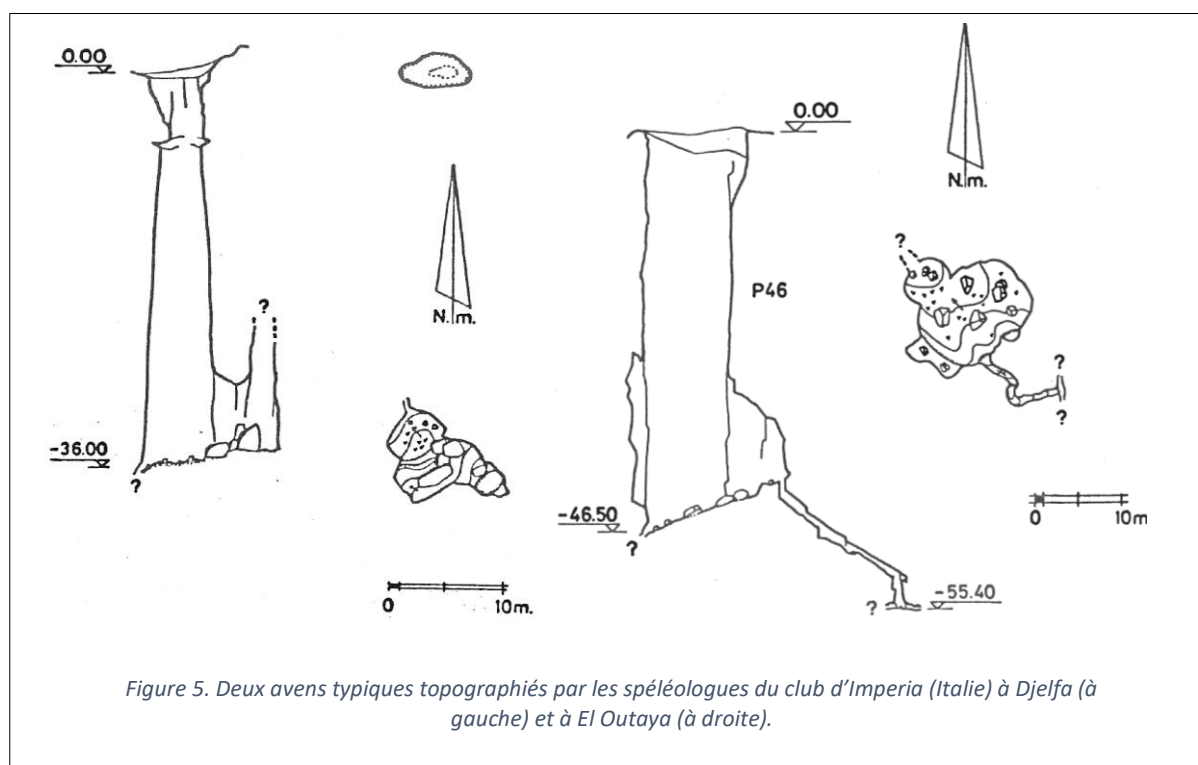


Figure 5. Deux avens typiques topographiés par les spéléologues du club d'Imperia (Italie) à Djelfa (à gauche) et à El Outaya (à droite).

L'eau qui s'infiltre dans les dolines circule pourtant à travers la masse de sel et ressort systématiquement en bordure du massif, par un nombre limité de résurgences. Cela signifie que le réseau de drainage souterrain est bien intégré et que l'on peut donc espérer y trouver des rivières souterraines d'eau salée de plusieurs centaines de mètres de long (par exemple les grottes S7, à Djelfa et Dar el Tahta, à Outaya, qui ont été topographiées par Ubach-Tarrés et al. – voir plus loin).

En revanche, je n'ai pas connaissance de grands vides souterrains (de plusieurs dizaines milliers de m³). Il est probable que la plasticité des massifs de sel ne soit pas favorable à la formation de voûtes de plus de 10 à 15 mètres de large.

Le Rocher de sel de Djelfa (Khanguet el Melah)

Le Rocher de sel de Djelfa est bien connu, parce qu'il se situe non loin de la route qui va de Alger à Djelfa. Il a fait l'objet d'une étude pionnière par un géologue de l'Université d'Alger (Gautier, 1914). Des spéléologues espagnols ont mené une prospection plus systématique des avens et des rivières souterraines du même Rocher de sel de Djelfa et du massif de sel de El Outaya, qui est le plus étendu d'Algérie (et aussi le seul à faire l'objet d'une exploitation industrielle de l'halite) (voir plus loin dans le même chapitre).

À ma connaissance, les massifs du Djebel Mouileh, de Krakda, du Djebel Metlili et de Kef el Mellah n'ont pas encore fait l'objet d'investigations spéléologiques et ils le mériteraient certainement, car ils sont parsemés de champs de plusieurs dizaines ou plusieurs centaines de dolines, bien visibles sur les images satellitaires en haute définition. Chacune de ces dolines est centrée sur un aven

de dissolution aux parois verticales, qui communique avec une petite rivière souterraine qui évacue le sel et l'argile.

Attention : ce n'est pas une simple partie de plaisir : l'exploration des karsts du sel est éprouvante. Le contact de la roche est irritant et en été, ce sont des fournaises. Il n'y a pas de point d'eau douce ni de végétation. L'amarrages des cordes n'est pas facile et les entonnoirs qui surmontent les avens sont parsemés de blocs instables. On vous aura prévenus !

Diapir dans l'Athas Sararien		Intérêt karstologique
1	Djenienne Bourezg	Peu (pas ?) de sel à l'affleurement.
2	Ain Ouarka	Peu (pas ?) de sel à l'affleurement. Exploitation à petite échelle du sel enfoui sous des dépôts argileux.
3	Djebel el Mouileh	Immense rocher de sel. Grand champ de dolines. Grottes tunnels.
4	Chellala	Fort recouvrement argileux
5	Djebel Melah	Canyons - dolines isolées - recouvrement argileux
6	Krakda	Immense rocher de sel. Grand champ de dolines
7	n.a.	Fort recouvrement argileux
8	n.a.	Quelques affleurements de sel - Fort recouvrement argileux
9	Kef el Mellah	Immense rocher de sel. Grand champ de dolines
10	n.a.	Quelques dolines - Fort recouvrement argileux
11	Khanguet el Melah (Djelfa)	Immense rocher de sel. Grand champ de dolines. Petite rivière souterraine.
12	Djebel Metlili	Immense rocher de sel. Immense champ de dolines. Petite rivière souterraine. Exploitation industrielle par la société ENASEL
13	El Outaya	Grand rocher de sel. Grand champ de dolines.

Photo 11. Intérêt karstologique des principaux diapirs de l'Atlas Saharien

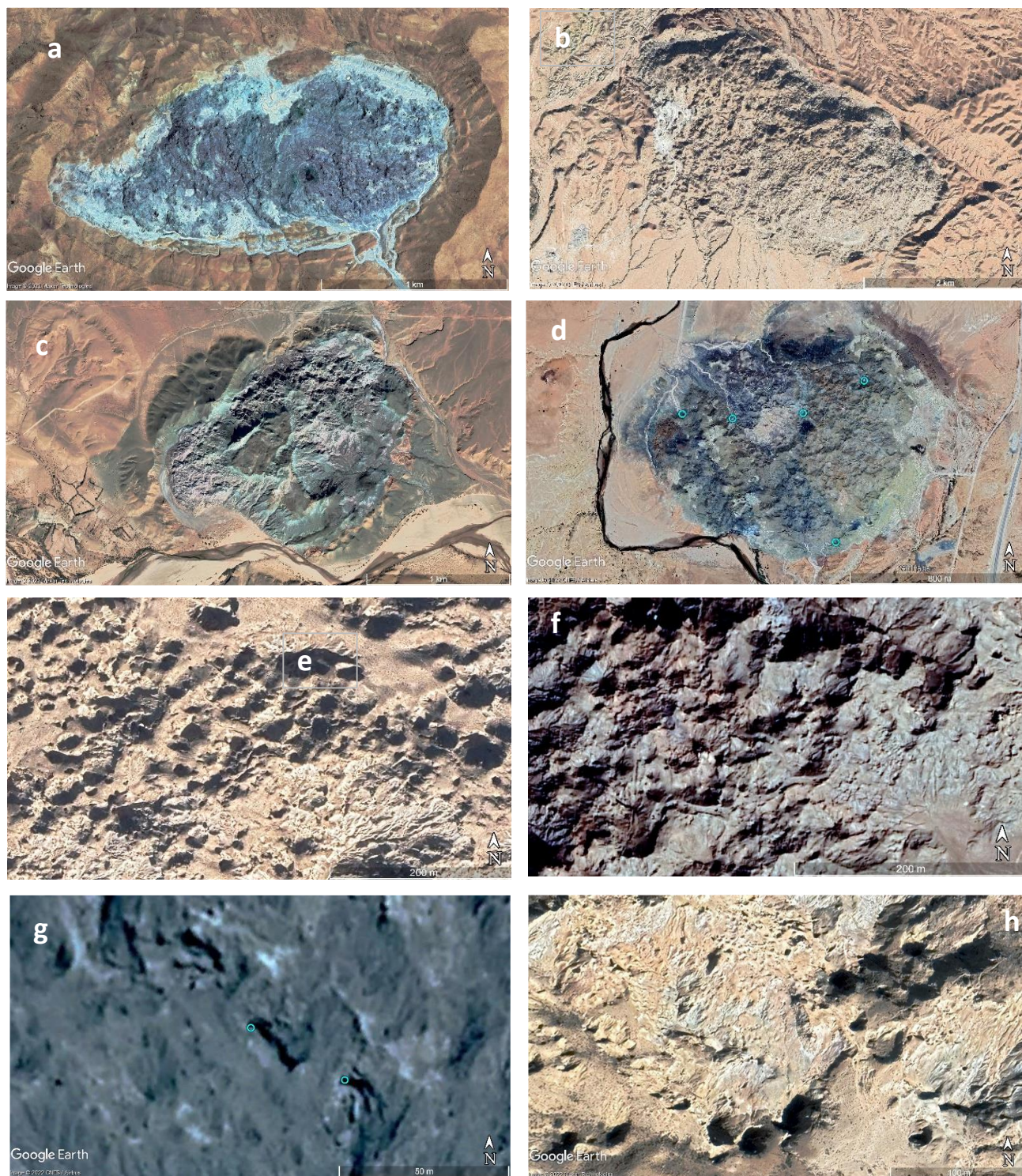


Figure 6. Images satellitaires de diapirs de sel de l'Atlas Saharien (satellite Worldview – Google Earth)

- a - Jebel el Mouileh b - Jebel Outaya
c - Krakda d - Djelfa (les cercles bleus correspondent à des résurgences)
e - Champ de dolines (El Outaya) f - Champ de dolines (Djelfa)
g - Grottes-tunnels (Dj. el Mouileh) h - grandes dolines-puits (Dj. Metlili)

Karst du gypse dans l'est de l'Algérie et du nord de la Tunisie

Un grand nombre de diapirs

La plus grande densité de diapirs se rencontre dans le Tell Oriental (Figure 7, page suivante) et dans son prolongement dans le nord de la Tunisie (Figure 8, page suivante).

Il y a sur ce territoire d'environ 50 000 km² pas moins d'une cinquantaine de diapirs, dont certains de très grande dimension (celui de Ouenza atteint 200 km²).

Géologie

Les diapirs du Tell Oriental ont commencé à se mettre en place dès le Crétacé (Perthuisot, 1979) et ont continué à évoluer de manière continue au cours des périodes ultérieures.

Le moteur principal de l'halocinèse est vraisemblablement constitué par une épaisse couche d'halite, qui n'apparaît pas à l'affleurement, mais qui a été reconnue en forage sur 500 m d'épaisseur. Elle est surmontée par une série plus riche en gypse et c'est le gypse qui affleure effectivement au cœur de la plupart des diapirs. On trouvera donc dans cette région des karsts du gypse, dont Gilberto Calandri a étudié un très bel exemple : le Djebel Nador, qui recèle une grande cavité active, de plus de 2 km de long et 200 m de dénivelée (voir plus loin, dans le même chapitre).

La masse de sel et de gypse traverse toutes les formations qui lui sont superposées (voir Figure 3) en arrachant au cours de son ascension des lambeaux des formations traversées. Les pourtours des diapirs du Tell Oriental constituent ainsi des sites privilégiés pour étudier les formations géologiques enfouies sous les nappes de charriage.

Enfin, les diapirs (et les dômes de sel) jouent le rôle de réacteurs chimiques. La circulation des eaux en profondeur est favorisée par le caractère soluble des évaporites et la déformation continue des masses rocheuses, qui entretient l'hydraulicité d'un dense réseau de fissures. Ces eaux chaudes et hypersalées vont dissoudre une partie des roches traversées par le diapir. En cas de changement des conditions physico-chimiques (température, pH, redox), de nouvelles minéralisations peuvent avoir lieu et donner naissance à des gisements minéraux d'intérêt économique (comme le Djebel Ouenza, près de la frontière tunisienne).

Les diapirs du Trias dans les autres régions du Tell et de la meseta oranaise

Il existe également des diapirs dans les autres régions du Tell et de la meseta oranaise, mais ils sont moins nombreux et de moindre extension que ceux qui sont connus dans le Constantinois et en Tunisie.

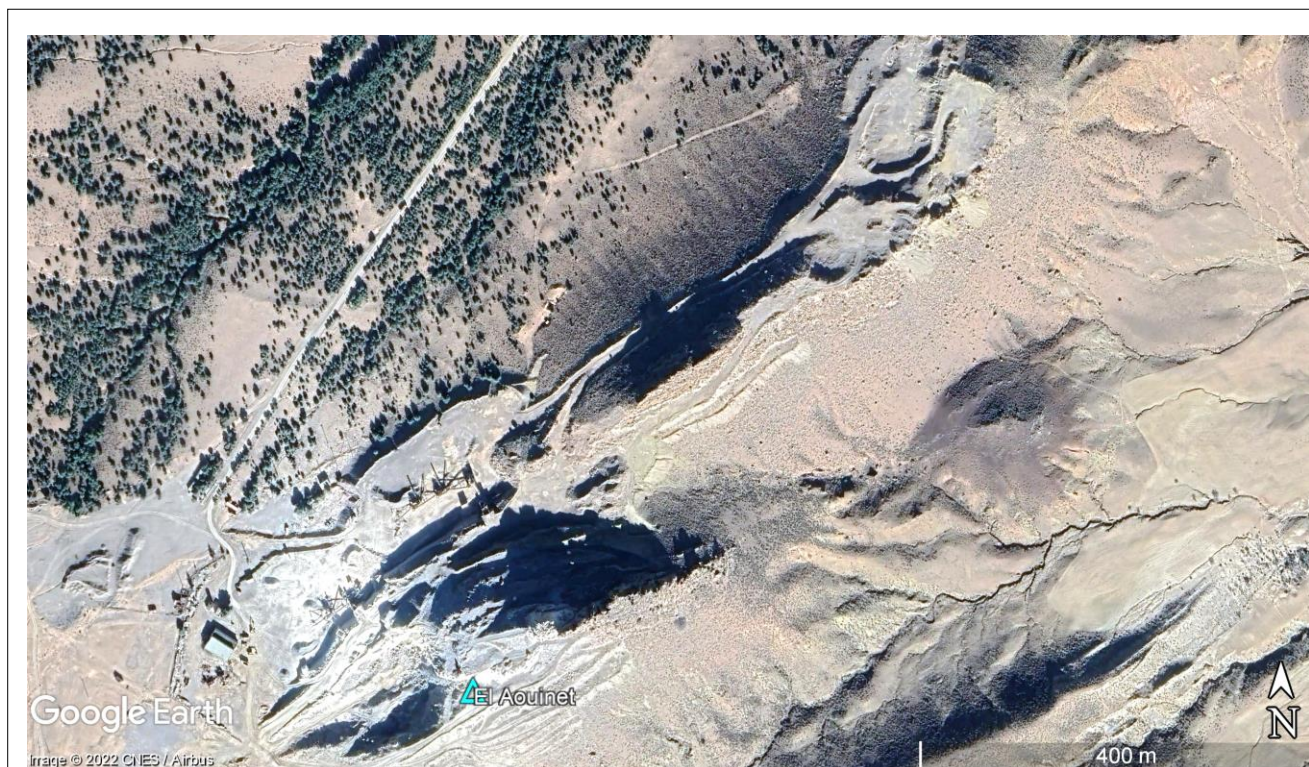


Figure 7. Carrière exploitant le diapir de El Aouinet (80 km au S-E de Guelma). On notera les bancs calcaires redressés à la verticale, tout le long du diapir. Ils ont été repoussés par l'ascension de la masse gypso-salifère (image satellitaire CNES AIRBUS – Google Earth)

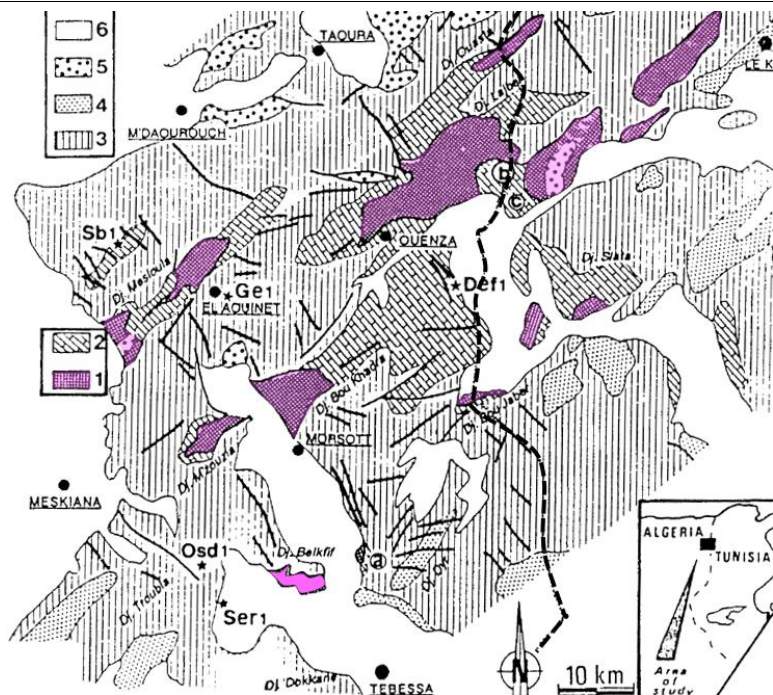


Figure 8. Localisation des principaux diapirs avec Trias affleurant dans la zone frontalière algéro-tunisienne (Aoudjehane, 1992).

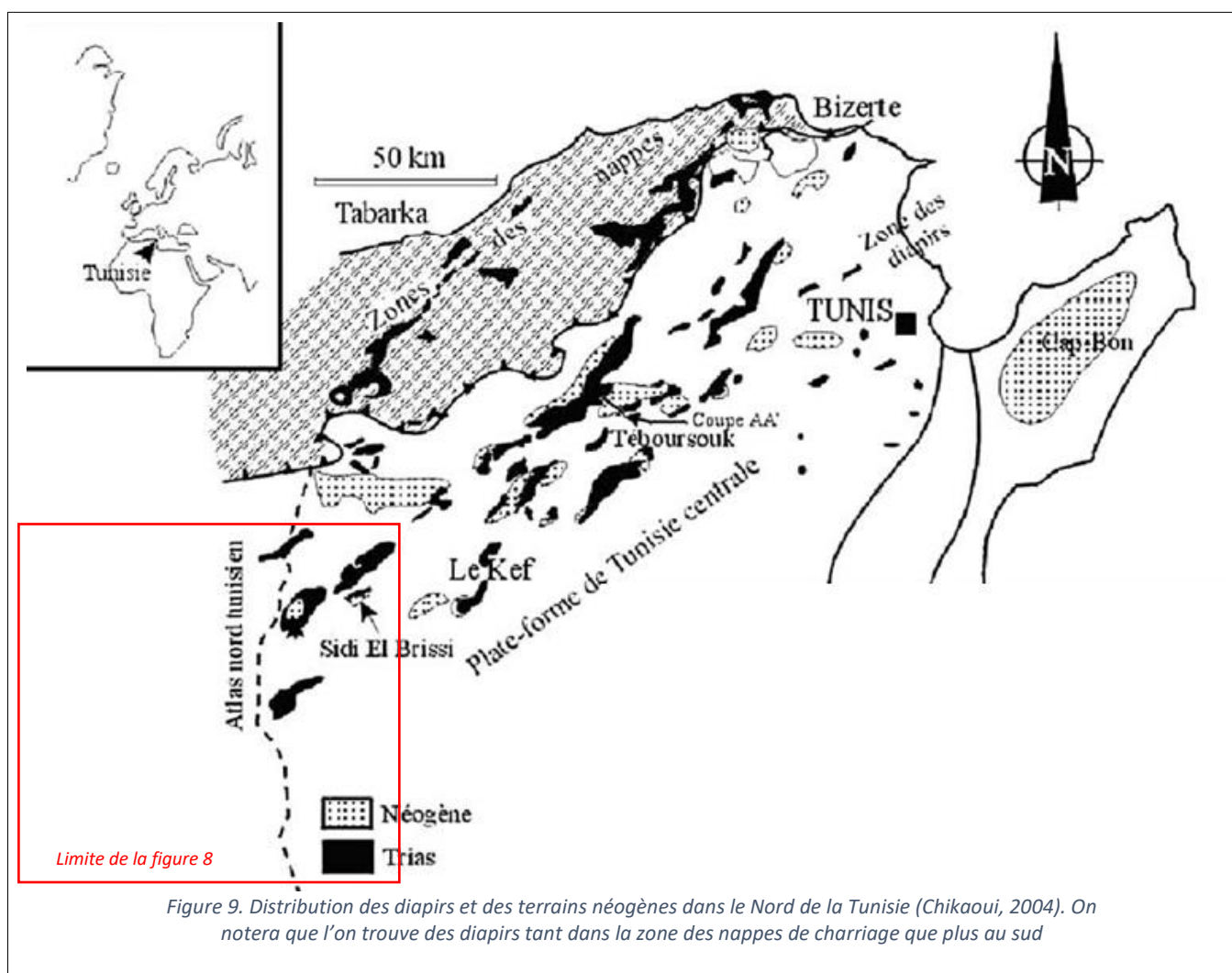


Figure 9. Distribution des diapirs et des terrains néogènes dans le Nord de la Tunisie (Chikoui, 2004). On notera que l'on trouve des diapirs tant dans la zone des nappes de charriage que plus au sud

Le Miocène gypseux dans le Tell Oranais

En Algérie, les formations évaporitiques du Trias affleurent toujours à la faveur de déformations tectoniques intenses (charriages, plis diapirs).

Il en est tout autrement avec les évaporites du Miocène (plus précisément, du Tortonien supérieur). On les observe en place, en continuité stratigraphique avec les grès du Tortonien, qui sont très abondants dans le Tell occidental (Figure 10).

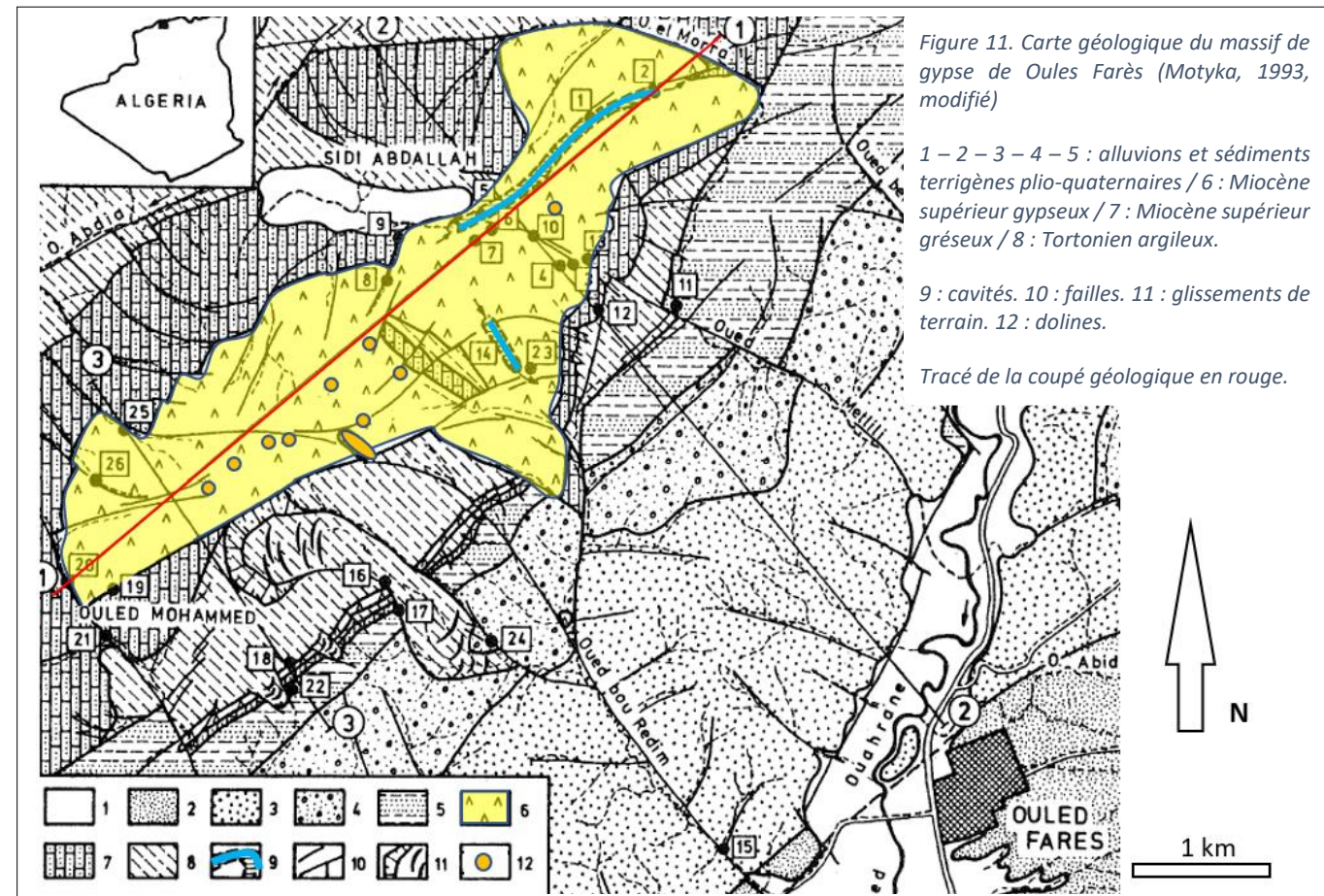
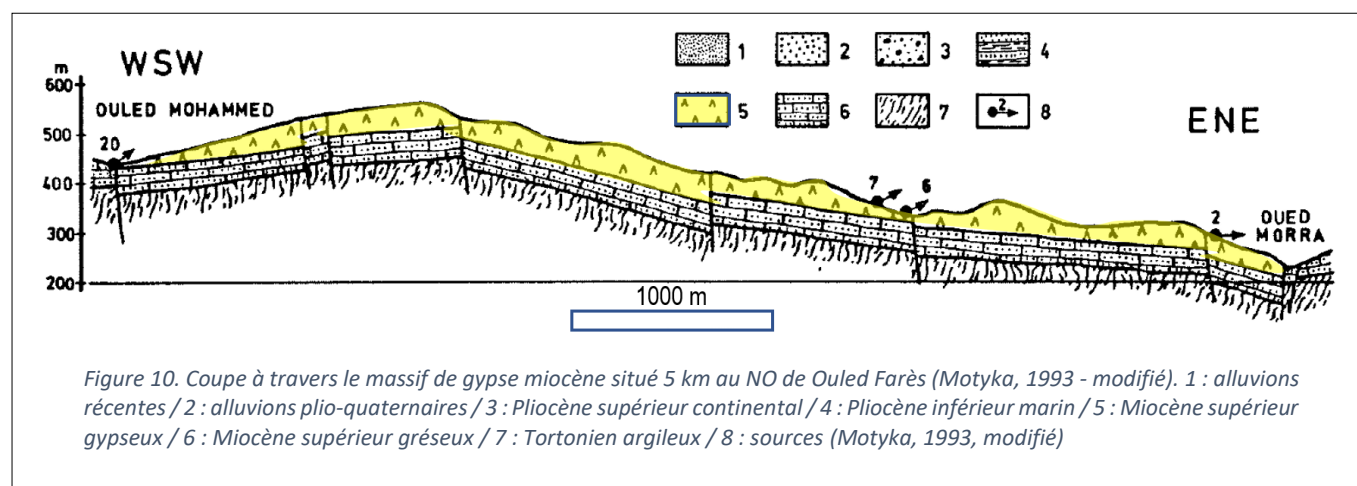
Ain Farès

Ce massif de gypse a été soigneusement cartographié par Jacek Motyka (1993) dans le cadre d'une étude des

ressources en eau. Il a mis en évidence un karst du gypse d'une dizaine de km² (Figure 11), caractérisé par de nombreux avens et des résurgences.

Motyka y décrit plusieurs cavités importantes, à dominante horizontale (> 500 m et > 2000 m). Ces cavités drainent une grande partie des écoulements de la zone. Il décrit aussi des ponors, des sources temporaires et des avens qui se sont développés le long de grandes fractures.

Ces cavités n'ont pas encore été topographiées, à ma connaissance, et cela justifierait une prospection spéléologique approfondie, d'autant plus que le massif de gypse de Ouled Farès n'est pas le seul de son espèce dans le Tell occidental.



Références

- Aoudjehane M., Bouzenoune A., Rouvier H. et Thibieroz J. 1992. Halocinèse et dispositifs d'extrusion de Trias dans l'Atlas saharien oriental. *Géologie Méditerranéenne*, 19, 4, pp. 273-286.
- Calandri G. & Ramella L. 1972. Sistema Sotteraneo di Dahrak. *Boll. di grupo Speleologico Imperiese.*, n° 28.
- Calandri G. & Pastor R. 1988b. Ghar Kef: una sorpresa nei gessi d'Algeria. *Speleologia*, n°18, pp. 4-7.
- Chikaoui M. 2004. Contrôle tectonique de la sédimentation néogène dans la zone des diapirs de Tunisie septentrionale. *C.R.Geoscience*, 336, 1131–1136
- Domzig A. 2006. Déformation active et récente et structuration tectono-sédimentaire de la marge sous-marine algérienne. Thèse (Université de Bretagne Occidentale). 343 p.
- Gautier E-F. 1915. Le rocher de sel de Djelfa. *Annales de Géographie*, 23, 129, pp. 245-260.
- Motyka Jacek. 1993. The gypsum karst aquifer in the Ouled Farès area. *Bull.Soc.Géogr.Liège*, 29, pp. 21-27.
- Perthuisot V. et Rouvier H. 1992. Les diapirs du Maghreb central et oriental. *BSGF*, t.163, pp. 751-760.
- Sesiano J. 2004. Les diapirs de sel, un phénomène géologique intéressant du sud de l'Iran. *Rev.genevoise de géogr.*, 144, pp. 139-144.
- Ubach-Tarrés M. & Escola-Boada O. 2022. Première reconnaissance spéléologique des rochers de sel de Djelfa et d'El Outaya. In *Karst et grottes d'Algérie – Karstologia Mémoires n°27* (Ed. B.Collignon), p.213-219.