

APPORT DE L'ETUDE DE LA FRACTURATION AU DEVELOPPEMENT DES PHENOMENES KARSTIQUES AU NORD DU SAHARA ALGERIEN

MELOUAH OUALID¹, ZEDDOURI AZIEZ¹

1 Université Kasdi Merbah, Laboratoire Géologie du Sahara, BP 511, Route Ghardaïa, Ouargla, Algérie

Oualid411@yahoo.fr

melouah.oualid@univ-ouargla.dz

Résumé :

L'étude de la karstification nécessite la bonne connaissance de la géologie et des facteurs influençant l'évolution du phénomène. Cette étude menée dans la partie Nord du Sahara algérien vise la classification des karsts observés selon leur genèse. La première étape de ce travail est l'élaboration d'un modèle structural de la zone d'étude en utilisant des techniques de traitement des données gravimétriques. L'étape suivante est l'étude de l'exokarst par recensement des formes géomorphologiques liées au phénomène nommées localement les Dayas ; ces édifices sont la manifestation en subsurface du réseau karstique couvert par les formations récentes. La carte structurale élaborée a permis d'identifier plusieurs orientations principales de direction **N120°-130°**, **N150-160°**, **N90°-100°**. Les méthodes utilisées pour atteindre cet objectif sont la technique des gradients dans laquelle les maxima du gradient horizontal permettent la localisation des linéaments gravimétriques et la déconvolution d'Euler permettant la détermination des profondeurs des anomalies gravimétriques.

La superposition des formes géomorphologiques avec le modèle structural a permis d'identifier un système karstique du type doline karst caractérisé par la présence de plus de 1200 dayas.

Key Word: Carte structural, Technique du Gradient Horizontal, Gravimétrie, Linéament, Karst, Déconvolution d'Euler

Introduction :

L'étude des karsts contribue à la bonne connaissance des potentialités hydriques profondes. Divers approches dans le monde ont traité cette problématique, (**Martinez-Moreno et al, 2013 ; Benac et al, 2013**). Les roches calcaires sont les plus propices à la karstification, d'autant plus qu'elles sont déformées (fractures, failles) et soumises à un gradient hydraulique. Les facteurs climatiques conditionnent la dynamique chimique de karstification (**Lignier, 2008**). Dans de tels contextes géologiques, la préservation des ressources profondes nécessite la connaissance de la morphologie des karsts et notamment de l'exokarst par lequel passent les eaux de surface avant d'atteindre l'endokarst, (**Waele, 2009 ; Emblanch et al, 2003**).

Les pseudos karsts (**Aubrecht et al, 2011**) et les karsts carbonatés résultent de la circulation des eaux à travers des milieux géologiques solubles, provoquant des subsidences, des dolines, des cavités et des effondrements (**Gil et al, 2013 ; Goepfert et al, 2011**), ces phénomènes apparaissent en profondeur et à la surface.

La classification des karsts se base sur plusieurs critères. La géomorphologie de surface et la présence de formes géométriques spécifiques à chaque type de karst est le critère le plus important (**Ford et Williams, 1982**). **Welthman et al (2005)** a repartie cinq catégories de karst en se basant sur les caractéristiques géomorphologiques de celui-ci, on cite à titre indicatif : les glaciokarst, fluviokarst, doline karst, cone karst, tower karst.

L'objectif du présent manuscrit est la mise en évidence de la relation entre la tectonique et la distribution des phénomènes karstiques observés, par le biais des techniques de traitement des données gravimétriques telles que la déconvolution d'Euler et le Gradient Horizontal, ainsi que la classification des karsts selon les modalités de la genèse.

Cadre géologique et hydrogéologique :

Le secteur étudié (92000 km²) est située entre la barrière sud atlasique et la région des chottes. Il est constitué d'une succession de montagnes et de dépressions : de l'Est à l'Ouest la chebka du Mzab et la dépression d'Oued Mya et du Nord vers le Sud le Djebel Dokhane et Djebel Seba El Hdid et les monts du Zab.

La Chebka du Mzab est constitué de formations du Crétacé supérieur et moyen. Les affleurements du Sénonien carbonatés et fissurés couvrent environ 15 000 km² et constituent une zone de recharge potentielle des nappes du Complexe Terminal. Le Turonien est calcaro-marneux, sauf dans la région du Mzab où il est essentiellement calcareux. Vers l'Est, le Sénonien et l'Eocène plongent en profondeur, dans la région d'Ouargla et Haoud Berkaoui il est carbonaté dans sa partie supérieure et anhydritique dans sa partie basale.

Au Nord, vers Messaad, les affleurements datent du Crétacé supérieur marin et continental, de l'Eocène Inferieur Marin et du Mio-pliocène. (Pontien). Dans la région de Hassi R'mel, les formations géologiques sont d'âge pliocène et mio-pliocène. partir du Nord du bassin de Chanbaa le Néocomien est représenté par une alternance d'argiles vertes et rouges et d'anhydrite en bancs massifs, puis une alternance de dolomies et d'argiles. Dans la région de Hassi R'mel, les argiles et les sables contiennent quelques couches de lignites et des rares bancs carbonatés. Cette évolution s'accroît de plus en plus en allant vers le Mzab.

Méthode et traitement

La compréhension du mécanisme de la karstification dans les zones arides nécessite la combinaison de plusieurs techniques. La méthodologie adoptée pour la reconnaissance d'un terrain karstique couvert diffère de celle d'un karst nu. Le recensement des indices de surface telle que dolines, gouffres, cavités exige l'emploi de la cartographie de terrain combiner à la télédétection et la géophysique de subsurface. La gravimétrie à son tour apporte plus d'information sur la localisation des discontinuités tectoniques par l'application des traitements spécifiques telle la deconvolution d'Euler, le gradient horizontal et le signal analytique. Toute ces informations sont indispensables pour la caractérisation géométrique du karst.

Les données gravimétriques obtenues proviennent de la base de données du **Bureau Gravimétrique international (BGI)**. L'anomalie de Bouguer est calculée en utilisant une densité de 2.670 g/cm³. Ces données sont issues des campagnes d'acquisitions terrestres et aéroportées.

Les informations obtenues à partir de la carte des anomalies de Bouguer se limitent à la distribution des hétérogénéités gravimétrique dues aux contrastes de densités entre les matériaux géologiques.

Afin de mieux exploiter ces résultats, un traitement spécifique par des techniques de filtration du signal gravimétrique s'avère indispensable.

La première étape consiste à séparer les anomalies gravimétriques régionales et résiduelles par l'application de la technique des polynômes.

La deuxième étape consiste à l'application des techniques d'interprétation telle que la Déconvolution d'Euler et le Gradient Horizontal.

Déconvolution d'Euler

La Déconvolution d'Euler (**Reid et al.1990, Thompson, 1982**) est une technique utilisée pour la localisation des sources gravimétriques et magnétiques. Elle est basée sur la résolution de l'équation d'homogénéité d'Euler :

$$[(x - x_0)\partial T / \partial x] + [(y - y_0)\partial T / \partial y] + [(z - z_0)\partial T / \partial z] = N(B - T)$$

Où (x_0, y_0, z_0) sont les positions des sources gravimétriques et magnétiques détectées à partir du champ total T à la position (x, y, z) . Le champ total a une valeur régional B et le degré d'homogénéité N peut être interprété comme Indice Structural **SI (Reid et al, 1990)**.

Dans ce travail plusieurs indices structural ont été testés ($N=0$, $N=0.5$, $N=1$). Les solutions les plus appropriées et qui vérifient ces conditions sont obtenues par l'indice structural $N=0$.

Le Gradient Horizontal :

Le gradient horizontal est une technique basée sur le calcul des dérivées selon x, y d'un champ de potentiel. Cette méthode est utilisée pour la localisation des corps à fort contraste gravimétrique et magnétique (**Cordell et Grauch, 1982**). L'amplitude d'un gradient horizontal est exprimée par :

$$GH = \left[(\partial g / \partial x)^2 + (\partial g / \partial y)^2 \right]^{1/2}$$

Où $(\partial g / \partial x)$ et $(\partial g / \partial y)$ sont les dérivées horizontales selon x et y du champ de gravité.

Les maxima du gradient horizontal calculés selon la méthode de **Blakly et Simpson (1986)** permettent la localisation des contacts géologiques liés à la présence de failles et discontinuités géologiques (**Khattach et al, 2004 ; Cordell et al, 1982**)

Mécanisme de la karstification au Nord du Sahara algérien

Dans la partie Nord du secteur d'étude le réseau hydrographique est bien développé et comporte des cours d'eau de divers ordre de 1 à 5 intercalés par une concentration importante de dayas (3 à 5 dayas /km²), ces formes sont circulaires à allongées avec des diamètres allant de quelques mètres à plus de 1km, leur profondeur dépassant les quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres avec des abruptes très raides et à pentes douces pour les dayas les moins développés, elles sont interconnectées par des petits chenaux ou par des fractures continues en subsurface, le fond de ces édifices est remplie de matériaux évacués par les oueds (souvent sec, sauf crue et torrent), leur puissance

est ressentie à travers le désordre du paysages ,les matériaux sont transportés de part et d'autre formant des croutes consolidées ,les formations géologiques de surface sont constituées de calcaire,grés,des affleurements gypseux à vaste étendue et des formations alluvionnaire, dans les parois de ces dayas plusieurs cavités sont creusées de taille et de dimension inconnue l'entrée des cavités est remplis de dépôts sédimentaires ,plusieurs fractures sont observées souvent élargies sur une dizaine de mètre (galerie longitudinale) par l'effet de la dissolution et l'érosion mécanique .

Au centre et au sud de la région d'étude les dolines sont absentes, les phénomènes karstiques sont reconnaissable à travers quelques effondrement d'une dizaine de mètre de diamètre et à travers l'analyse des données de forages réalisés, des pertes totales ont été observées dans les formations carbonatées du Sénonien (de 80 à plus de 250m) surtout dans la région de Berkaoui et Guerrara. En allant vers Hassi Fhal un puits vertical naturellement creusé dans le paysage calcaire par le déversement des eaux d'oued Ghzalat et oued Touil celui-ci dépasse 250 m de profondeur d'après les témoignages des habitants de cette région. Aucune information n'est disponible concernant sa profondeur totale ni son extension car aucune reconnaissance spéléologique n'a été menée à nos jours.

La rareté des précipitations dans les zones arides et semi aride engendre une morphogenèse karstique peu développée et désordonnée. A partir des données géologiques disponibles et des résultats obtenus, le karst s'organise dans la zone d'étude sous plusieurs manières : les dolines Karst dans la partie Nord de la zone d'étude témoignent d'alternance entre périodes secs et humides vu la présence de croutes carbonatées et évaporitiques. Ces édifices sont héritées de périodes humides qui ont affecté le Sahara favorisant son développement. Au quaternaire les bouleversements climatiques ont ralenti l'évolution des karsts par dissolution chimique (estimé par J.N Salomon dans les zone aides à 3,4 mm/1000 ans) laissant la place à l'érosion mécanique produite par les pluies torrentielles et dévastatrices qui marque les climats arides et semi arides. Ce type de karst se développe à l'occurrence d'un réseau de drainage superficiel actif intercalé par des dolines dispersées un peu partout dans la région.

L'absence de données sur l'hydrogéologie superficielle et de simulation sur les écoulements des oueds ainsi que des estimations des niveaux de base de la tranche d'eau durant l'Holocène rend la supposition de la présence de fluviokarst difficile à prouver. Les indices observés dans La partie centrale et sud de la zone d'étude caractérisent un karst classique bien développé en profondeur qu'en surface. Les formations superficielles perméables à semi perméables jouent le rôle d'epikarst et favorisant l'écoulement vers les calcaires sénoniens et turoniens affectés par la tectonique. L'exemple le plus significatif est celui de la région de berkaoui, Guerrara, Hassi Messaoud et Sahb el Bir. La géomorphologie karstique est moins marquée à la surface vue l'aridité du climat et la violence des crues estompant toutes traces de celui –ci.

Conclusion :

L'utilisation des données gravimétriques a permis de déterminer plusieurs axes gravimétriques positifs et négatifs, représentant des structures géologiques diverses.La combinaison des résultats de la Déconvolution d'Euler avec la technique des gradients a permis de localiser plusieurs accidents tectoniques de direction N120°-130°, N150°-160°, N 90°-100°.Ces orientations sont en concordances avec l'alignement des dayas et des dolines affectant le Nord du Sahara algérien mais ces conclusions restent préliminaires car les linéaments sont sub-profonds à profonds

Plus de 1200 dolines et dayas ont été recensés dans le Nord du Sahara algérien ce qui montre l'ampleur du phénomène. Ces formes géomorphologiques présentes en surface étant des indices d'une évolution importante en profondeur. Dans la région d'étude l'évolution du réseau hydrographique est très liée avec les différentes phases tectoniques régionales.

Les travaux de terrain ont permis de détecter un nombre important de cavités souterraines dans la région. Une étude des dépôts karstiques permettra de déchiffrer l'évolution du phénomène et d'en déduire les mécanismes souterrains impliqués.

Ce travail a permis non seulement la mise en évidence de karst couvert par les dépôts quaternaires mais de différencier deux type abondant dans la région : les karsts classiques et les dolines karsts

Bibliographie

Aubrecht, R, T. Láncoz , M. Gregor , J. Schlögl , B. Šmída , P. Liščák , Ch. Brewer-Carías , L. Vlček; Sandstone caves on Venezuelan tepuis: Return to pseudokarst?, *Geomorphology* 132 (2011) 351–365. **Benac.C ,MladenJuračić , DubravkoMatičec , Igor Ružić , Kristina Pikelj**; Fluviokarst and classical karst: Examples from the Dinarics (Krk Island, Northern Adriatic, Croatia); *Geomorphology* 184 (2013) 64–73.

Blakely, R.J, Simpson, R.W, 1986. Approximating edges of source bodies from magnetic and gravity anomalies. *Geophysics* 51, 1494-1498.

Cordell, L, Grauch, V.J.S; Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data. In: 52nd Ann. Int. Meet. Soc. Explor. Geophys, Dallas. The San Juan Basin, New Mexico, (1982), pp. 246–247 (abstracts and biographies).

Emblanch, C, Zuppi, G.M, Mudry, J, Blavoux, B, Batiot, C; Carbon 13 of TDIC to quantify the role of the unsaturated zone: the example of the Vaucluse karst systems (Southeastern France). *Journal of Hydrology* (2003) 279, 262–274.

Ford D.C. and Williams P.F; *Karst Geomorphology and Hydrology*. Unwin Hyman: London, 1989, 601pp.

Gil, H, A. Luzón, M.A. Soriano, I. Casado, A. Pérez, A. Yuste, E. Pueyo, A. Pocoví; Stratigraphic architecture of alluvial-eolian systems developed on active karst terrains: An Early Pleistocene example from the Ebro Basin (NE Spain), *Sedimentary Geology* 296 (2013) 122–141.

Goepfert, N, Nico Gold scheider, Herbert Scholz; Karst geomorphology of carbonatic conglomerates in the Folded Molasse zone of the Northern Alps (Austria/Germany), *Geomorphology* 130 (2011) 289–298.

Khettache.D, Keating.P, Mili E.M, Chennouf .T, Andrieux.P, Milhi.A ; Apport de la gravimétrie a l'étude de la structure du bassin des Triffa (Maroc nord-oriental) : implication hydrogéologique *C.R Geosciences* 336 (2004) 1427 -1432.

Lignier .V; Stéphane Jaillet ; Anne-Sophie Perroux ; Mathieu Thomas ; Emmanuel Malet ; Guillaume Devès ; Laurent Morel ; Jean-Jacques Delannoy ; Dynamique sédimentaire et effets de site en zone noyée du karst : l'exemple du siphon de Chevaline (Grottes de Choranche, Vercors, France). *Karstologia*, 2012, pp. 23-32.

Martínez-Moreno.F.J, A. Pedrera , P. Ruano , J. Galindo-Zaldívar , S. Martos-Rosillo ,L. González-Castillo, J.P. Sánchez-Úbeda , C. Marín-Lechado ; Combined microgravity, electrical resistivity tomography and induced polarization to detect deeply buried caves: Algaidilla cave (Southern Spain). *Engineering Geology* 162 (2013) 67–78.

Reid, A. B, Allsop, J. M, Grancer, H, Millett, A. J, and Somerton, I. W; Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution: *Geophysics*, 55, (1990), 80-91.

Thompson, D. T, 1982, EULDPH: A new technique for making computer- assisted depth estimates from magnetic data: *Geophysics*, 47, (2000), 31–37.

Waele. J.D, Lukas Plan, Philippe Audra; Recent developments in surface and subsurface karst geomorphology: An introduction, *Geomorphology* 106 (2009) 1–8.

Waltham.A.C, P.G.Fookes; Engineering classification of karst ground conditions *Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers*, 2005, 3 (1), 1-20.