

KARSTOLOGIE EN ZONE ARIDE : FORMATIONS KARSTIFIÉES DU SUD-EST ALGERIEN. METHODES ET OUTILS.

R. KARDACHE*, RACHID LOUNIS*, M. ABDESSELAM*, N.HANNACHI*, L. DJABRI**

* Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou – Algérie.

** Université Badji Mokhtar, Annaba - Algérie
kardachefarid@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Un karst est un espace ouvert sur l'extérieur permettant l'introduction dans une roche compacte peu soluble, de traceurs des événements climatiques d'une période donnée. Un karst est donc un conservatoire, mémoire de l'histoire d'une région, d'un pays, d'un continent, voire d'un espace plus vaste encore.

Comme dans tout le Bassin méditerranéen, en Algérie subsistent des formations karstiques. Celles-ci ont été étudiées par quelques auteurs et non des moindres tels : Durozoy G., Collignon B., Coiffait P.E., Quinif Y., Maire R. et plus récemment Abdessalem M., Kardache R. etc. Toutes les informations recueillies, du reste aussi importantes les unes que les autres, ne suffisent toujours pas à cerner la karstologie du SE algérien. Beaucoup de travail reste à accomplir tant la répartition de ces formations en surface est importante, s'étendant jusqu'au piémont du Sahara algérien. Un seul chercheur ne peut y suffire.

A cet effet, il nous semble important de tenter une reconstitution des événements qui ont atteint ces formations.

En première approche, les karsts du SE de l'Algérie, s'inscrivant dans un milieu aride où règnent une pluviosité extrêmement irrégulière et de très longues périodes sèches, sont cités comme exemple.

L'étude, en l'absence du recours aux techniques de mesures isotopiques, s'est principalement basée sur l'histoire géologique de la région en insistant davantage sur la paléosédimentologie, les phases tectoniques, les épisodes d'érosion, d'émersion et d'accumulation des corps sédimentaires, le paléoclimat enfin.

MOTS CLÉS: Aride, Carbonates, Tectonique, Karst, Karstologie.

ABSTRACT

A Karst is an open out space allowing the introduction inside a low solubility compact rock, tracers of climatic events which had taken place within a certain period. A Karst is therefore a conservatory, memory of the history of a region, a country, a continent or even a wider space.

In Algeria still remain Karstic structures like all over the Mediterranean area. These structures have been investigated by some eminent authors: Durozoy G., Collignon B., Coiffait P.E., Quinif Y., Maire R. and Abdessalem M., Kardache R. etc. All the collected information besides being important one another do not rise up to the level required for a sound Karstology study of the region. Much more needs to be done in accordance with the wide distribution of these structures, spreading up to the Algerian Sahara piedmont. One single researcher on his own will not be able to cope.

In this respect, it seems important to try a reconstitution of events that had a marked impact on these structures.

As first approach, Karsts of SE Algeria, belonging to a dry area with extremely scarce rainfall and very long drought periods, are taken as examples.

The study not using new techniques of isotopic measurements, has mainly been based upon geologic history of the region with an emphasis on the paleosedimentology, tectonic phases, erosion periods emersion and the build up of sedimentary bodies and finally the paleoclimate.

KEYWORDS: Arid, Carbonate, Tectonics, Karst, Karstology,

1 INTRODUCTION

Toutes les informations acquises à partir des études faites sur le karst ne suffisent pas à cerner la karstologie de la région du SE algérien. Celles-ci sont insuffisantes pour prétendre dater les phénomènes karstiques avec précision ; aussi, l'attribution du phénomène à une époque donnée reste délicate en l'absence de l'utilisation des nouvelles techniques de mesures isotopiques. Dès lors l'étude s'est principalement basée sur l'histoire géologique de la région en s'appuyant davantage sur les :

- **phases tectoniques**, principaux facteurs déterminant le schéma final de la matrice par l'intermédiaire des diaclases, failles, glissements au niveau des joints de sédimentation ;
- **épisodes d'érosion**, émergence et accumulation des corps sédimentaires ;
- **le paléoclimat**.

En complément à ces études faites en milieu aride, il est utile comme première approche approfondie, de citer l'exemple des karsts du SE algérien (figure 1).

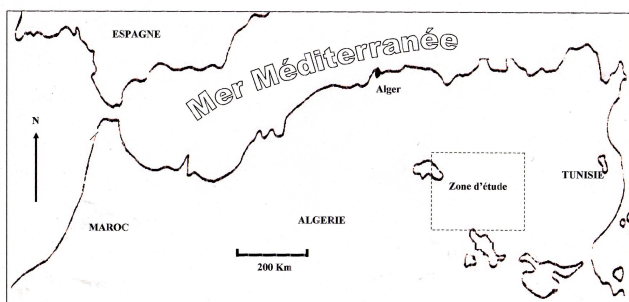


Figure 1: Situation géographique de la zone d'étude Geographical location of studied area

2 OUTILS

Avant de procéder à une quelconque analyse en karstologie, il faut tout d'abord définir l'élément clé de la recherche : roches sédimentaires carbonatées (calcaires francs ou calcaires dolomitiques), dont la base est certainement la formation de carbonates d'origine biologique, et qui sont presque exclusivement des roches karstifiables d'une part ; d'autre part la karstification est un processus évolutif, consistant à utiliser les voies fissurales d'un massif rocheux dont la solubilité est inégale, pour mobiliser les carbonates simples ou plus complexes par la voie de la dissolution. Celle-ci est subordonnée aux facteurs température, pression du dioxyde de carbone dissous (p [CO₂]) et de la végétation.

Dans le bassin méditerranéen, les structures karstifiées correspondent essentiellement aux paléo-ensembles récifaux et marins ouverts, qui se sont développés pendant l'ère secondaire, principalement au Jurassique et au Crétacé

(Avias, 1992).

Dans la genèse des massifs carbonatés du SE algérien (milieu aride), la lithologie joue un rôle direct sur la constitution de la série karstifiable. La paléogéographie régionale peut nous renseigner sur l'importance de ce rôle.

3 APERÇU SUR LA STRATIGRAPHIE DE LA REGION D'ETUDE

Cette synthèse stratigraphique (figure 2) a été établie à partir des travaux de R. Laffitte (1939), R. Guiraud (1973).

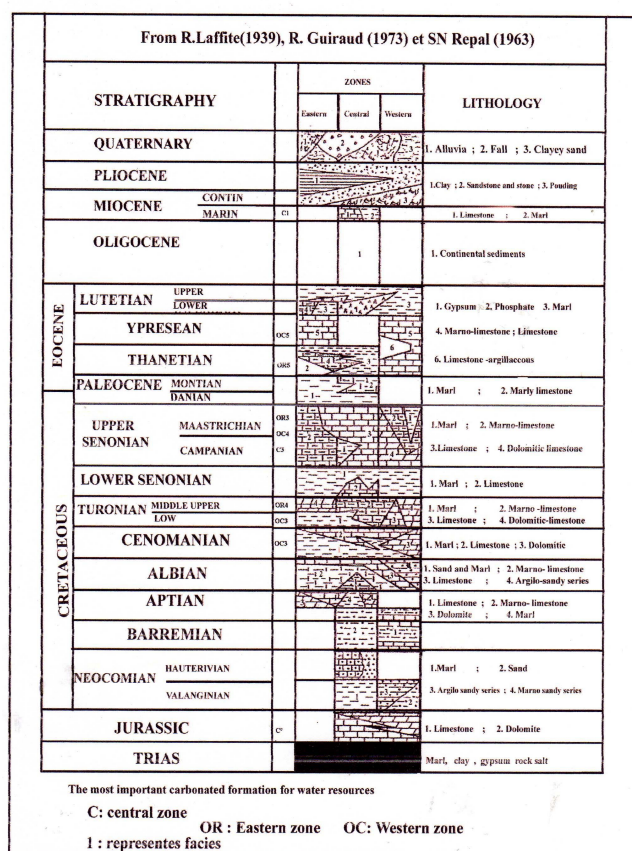


Figure 2: Log. lithostratigraphique synthétique Lithostratigraphical synthesis

Dans la région des Aurès les terrains mésozoïques affleurent en position stratigraphique normale.

Nous observons depuis la base des terrains triasiques affleurant sous forme de pointements diapiriques formés notamment par des dépôts évaporitiques.

Le Trias est surmonté par des formations jurassiques constituant la majeure partie des cœurs des anticlinaux : elles sont composées par un ensemble calco-magnésien à la base et un terme supérieur argilo-marneux.

Le Crétacé présente une dualité de faciès : Crétacé inférieur

essentiellement gréseux, constituant l'essentiel des reliefs les plus élevés (ex. Dj. Chélia) et le Crétacé supérieur argilo-carbonaté avec des variations de faciès. Ce sont des formations puissantes dans les régions du Hodna et des Aurès.

Le Cénozoïque débute par le Paléocène, essentiellement carbonaté, aux passées évaporitiques et détritiques, surmonté par des formations éocènes aux termes assez gypsifères notamment au niveau de leur terme supérieur intercalé dans les argiles marneuses passant vers un Eocène supérieur lagunaire à gypse.

Le Mio-Pliocène est formé par des dépôts alluvionnaires, continentaux pour la plupart. Quelques passées à caractère marin sont également observables.

Le Quaternaire est représenté par des sables grossiers, mal classés aux passées d'argiles beiges et de grès jaunâtres.

4 APERÇU SUR LA PALEO GEOGRAPHIE DE LA REGION D'ETUDE

(Guiraud, 1973 ; Kazi Tani, 1986 ; Schlumberger, 1985)

Au Trias, l'Est algérien offre un faciès lagunaire (argilo-détritique). Au Jurassique, le caractère marin domine, notamment au Lias au cours duquel la transgression atteint son maximum.

Au Crétacé, le niveau marin fluctue, marqué par des transgressions et des régressions. Le Crétacé inférieur se caractérise par une régression maximum (Néocomien-Barrémien).

Au Crétacé supérieur nous observons une transgression majeure, la mer recouvrant tout le Nord de l'Algérie et le Sahara (Kazi Tani, 1986); les faciès calcaires et dolomitiques envahissent toute la région, les dépôts atteignent 1300m d'épaisseur (figure 3)

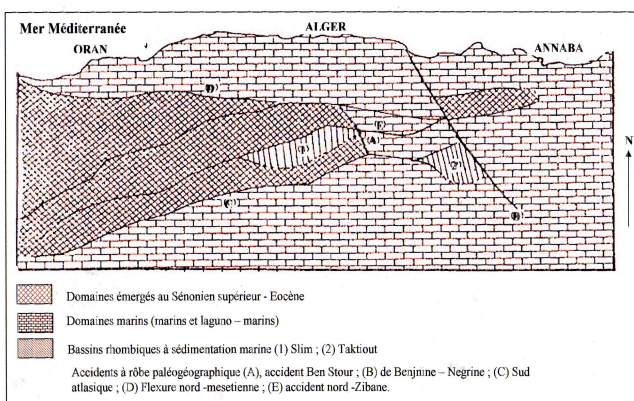


Figure 3: Carte paléogéographique de l'Algérie à la fin du Crétacé supérieur Paleogeographical map of Algeria in Upper Cretaceous (N. Kazi Tani, 1986)

Des instabilités de bordures des bassins ont marqué le début du Tertiaire, notamment au Paléocène. A l'Eocène une

régression générale amorce la surrection dans la région du Hodna. D'importants apports de matériel gréseux ont marqué l'Oligocène.

En Algérie, le Néogène est surtout généralisé par l'individualisation des bassins intra-montagneux (bassins du Tafna, bas et moyen Chéelif, le Hodna, le Sébaou, etc.).

Durant le Miocène inférieur, une vaste transgression suivant une ligne sensiblement E-W affecte la marge Algérienne.

Le Miocène supérieur est traduit par une régression, suivie par une transgression progressive qui se généralise et atteint au Langhien les marges de l'Atlas saharien oriental et du Sahara septentrional.

Le domaine marin persiste jusqu'au Pliocène inférieur à moyen dans le Hodna.

La paléogéographie du Quaternaire est très variable. Ainsi, la faible épaisseur des formations du Quaternaire ancien et leur monotonie dans le Hodna et les régions avoisinantes suggèrent la persistance de conditions climatiques peu contrastées ; celles-ci semblent traduire l'implantation assez rapide d'un climat sec et chaud et c'est à cette même époque que semblent s'installer le régime lagunaire et les sebkhas.

Le Quaternaire moyen a conservé les traces de trois pulsations humides et fraîches à travers la présence de dépôts périglaciaires des Monts des Belezma, du Hodna et des Aurès suivies de périodes plus sèches (climat semi-aride à aride).

Le Quaternaire récent est caractérisé par le creusement de la plaine du Chott Hodna, dissection suivie par une phase de comblement liée à une période humide ; une courte période aride succède à cette dernière puis une nouvelle période plus ou moins humide s'installe, accompagnée d'apparition de lacs. De nouvelles pulsations humides et froides se manifestent et sont suivies d'un épisode aride et enfin de l'actuelle période.

5 TECTONIQUE

La structuration des Aurès, des Némentcha et des Monts de Tébessa (figure 4), est le résultat de plusieurs phases tectoniques importantes qui ont affecté ces terrains depuis le début du Secondaire (Aissaoui, 1979 ; Aissaoui, 1984)

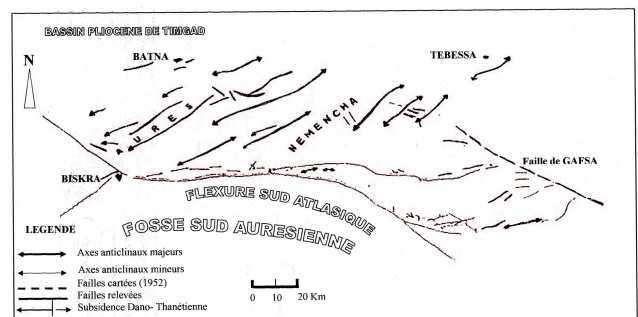


Figure 4: Schéma structural simplifié Simplified structural map

Une distension responsable de la formation du sillon atlasique (Ait Ouali, 1991 ; Kazi Tani, 1986 ; Schlumberger, 1995) affecte cette région au Trias ; elle se poursuit jusqu'au début du Jurassique (Lias).

De nombreuses phases ont été identifiées au Crétacé, parmi elles, la phase néo-cimmérienne (Berriasien moyen), compressive, responsable des plis concentriques droits (Caire, 1978 ; Guiraud, 1973 ; Schlumberger, 1995).

Au Crétacé moyen (Aptien - Albien moyen), une phase de raccourcissement E-W a été identifiée (la phase autrichienne) ; elle serait à l'origine de plusieurs structures plicatives (Boudjema, 1987)

A la fin du Crétacé supérieur la phase laramienne, compressive, marque les premiers mouvements de surrection de l'Atlas Saharien (Guiraud, 1973 ; Kazi Tani, 1986).

La fin du Crétacé (fini Turonien – Sénonien) est marquée par une phase distensive (la phase émsérienne) (Savornin, 1931), responsable de structures synsédimentaires (Guiraud, 1973).

Au Tertiaire la région a été structurée par une phase majeure compressive (pyrénéenne), responsable de la surrection du domaine atlasique (Addoun, 1995 ; Aissaoui, 1984 ; Boudjema, 1987 ; Ghandriche, 1991 ; Guiraud, 1973 ; Kazi Tani, 1986 ; Laffitte, 1931) et de l'apparition de structures NE-SW accompagnée d'une fracturation parallèle, ou oblique aux structures anticlinales E-W, NW-SE à WNW-ESE, ainsi qu'à des rejeux en inverse de failles de direction NE- SW.

La surrection générale du domaine atlasique à l'origine de l'environnement actuel a été générée par une phase compressive N-S au Miocène (Kazi Tani, 1986).

Une phase de raccourcissement subméridienne, datée du Plio - Quaternaire réoriente les structures héritées au cours de la phase atlasique ; elle persiste jusqu'au Villafranchien (Boudjema, 1987) ; enfin, une phase Post-Villafranchienne compressive de direction N-S est identifiée entre Biskra et Negrine.

En résumé

La structuration du Jurassique, Crétacé et Eocène, s'applique à des roches pour la plupart carbonatées karstifiables.

Ces discontinuités créées dans la matrice à l'issue de ces différentes phases orogéniques sont ensuite agrandies par dissolution sous l'effet d'une eau agressive (chargée en CO₂) liée aux climats chauds et humides et à une activité végétale intense.

Ainsi la région présente tous les phénomènes classiques des pays d'Europe à sédimentation carbonatée. Ils se manifestent par des indices de karstification très développés (grottes, lapiaz, dolines, sources etc....).

6 METHODES

Les remplissages et les dépôts karstiques sont à la fois les enregistreurs de son évolution, sa mémoire et ses archives. Ils sont le témoignage de conditions passées dans l'évolution du karst (conditions climatiques ou tectoniques ; périodes de calme ou reprises d'érosion ; surrection du karst, etc.) (Salomon, 2006).

Les plateaux calcaires, jurassiques à miocènes sont le plus souvent concernés. Les fissures absorbantes peu profondes sont le siège :

- d'une vie hypogée constituée par des insectes, petits reptiles lacertiliens, animaux sociaux : fourmis, guêpes, petits rongeurs etc...Leurs squelettes et leurs faciès sont la signature de leur habitat. Les formes déjà fossilisées sont une façon de dater la possibilité de colonisation du site hypogé ;
- dans la même perspective, un remplissage au modelé éolien apporte une information de plus ;
- enfin, une présence de cendre volcanique alternant avec de l'éolien indique une périodicité des apports. Chaque cendre porte une signature (Etna, Santorin, etc...). Les couloirs karstiques, secs ou irrigués, ont conservé des plaques de sédiments fins apportés par les eaux. Une reconnaissance granulométrique s'impose, après un traitement comportant les phases de décarbonatation, sédimentation, calibrage, identification binoculaire. Dans ce cas encore, des laves d'origine diverses peuvent être identifiées. Point n'est besoin d'un spectromètre de masse et de techniques nucléaires pour avancer dans la connaissance de l'évolution d'un karst, quelles que soient ses dimensions.

L'étude des spéléothèmes est aujourd'hui l'une des branches les plus actives de la karstologie (Blanc, 2005). Grâce à cette étude, l'âge et la genèse d'un karst sont des objectifs accessibles. Soit *de visu* en échantillonnant une stalactite, on peut déterminer la série chronologique en s'appuyant sur la croissance des microséquences de lamines, liée aux différents contextes bioclimatiques. Une croissance rapide est liée aux périodes chaudes et humides (eaux agressives, dissolution active des calcaires). Inversement une croissance lente correspond à un contexte rhexistatique sec ou très froid (Gascoyne, 1992).

Les techniques de datation du karst ont beaucoup progressé depuis les années 1970. Les karstologues utilisent très souvent les techniques d'analyses isotopiques tels que le ¹⁴C, le rapport Uranium/Thorium, qui sont évidemment soumises à condition. La limite de précision de la méthode U/Th est de 350 000 ans (Maire, 1992). Il existe d'autres techniques qui sont moins utilisées.

Comme nous l'avons déjà annoncé, notre analyse se basera sur l'histoire géologique de la région et sur les théories classiques. Les phénomènes karstiques ont pu se développer pendant la période d'exhaussement des terres émergées et des mouvements importants provoquant des érosions vers la fin du Crétacé supérieur (Sénonien supérieur).

Notons que le réseau de fractures apparu à la suite de processus distensifs lors du rifting amorcé depuis le Trias et qui s'est poursuivi durant le Jurassique semble préparer la matrice pour l'édification du Karst.

Les différents mouvements compressifs du Crétacé moyen - supérieur et du Tertiaire (phase atlasique) ont réactivé le réseau de fractures préexistant et provoqué la surrection de l'édifice structural. Ces mouvements tectoniques seraient à l'origine de l'apparition de nouvelles directions structurales ainsi que du rejeu de l'ancien réseau qui prédisposeraient ces terrains à l'ouverture de nouveaux espaces et au comblement de l'ancien karst.

Le même phénomène se rencontre également en Kabylie ((Djurdjura), selon M. Abdesslem « les remplissages jurassiques et les grottes... témoins de phases de karstification... » (Abdesslem, 1995), donc antérieures au Crétacé.

L'action de ces différentes phases tectoniques importantes qui se sont succédé depuis le Trias jusqu'au Quaternaire (cf. § V) ainsi que l'érosion qui a attaqué les reliefs formés, a dû intervenir dans le développement du karst. Les mêmes processus semblent présider à l'édification du Karst dans les massifs néritiques constantinois situés au Nord de la région d'étude (Coiffait, Quinif et Vila, 1975). Cette structure karstique est comparable à celle du défilé étroit des Gorges de Régalon (à quelques kilomètres de Cavaillon, France). Il y a aussi le karst sous-marin de Cassis (Marseille, France) qui draine les infiltrations sur le plateau continental et s'évacue sous la mer en un torrent d'eau douce. Un lien intercontinental entre des phénomènes qui, pour être lointains, sont sûrement apparentés.

Des phénomènes de karstification ont été également mis en évidence par J.M. Vila (1980) dans la série carbonatée sud-sétifienne, karsts fossiles à remplissage ferrugineux. Des observations similaires ont été rapportées par le même auteur au niveau des calcaires du Cénomaniens moyen - supérieur de l'unité péni-tellienne ; cette karstification serait d'âge anté-nappes (Vila, 1980).

Dans la région des Belezma et sur la rive gauche de l'oued Allah Aouf, Y.J.-C. Bellion (1976) a reconnu le comblement, par le Miocène marin, des diaclases et poljés des calcaires d'âge turonien.

L'évolution karstique a eu lieu après l'érosion des sédiments sénoniens, vraisemblablement à la fin de la longue période d'émersion du Tertiaire.

Dans la région de Khenchela, une grotte à remplissage quaternaire, dans les calcaires d'âge maestrichtien, a été citée par R. Laffitte, 1939.

Les connaissances acquises dans le domaine des karsts et particulièrement leur évolution, montrent que leur développement s'intensifie sous un climat chaud et humide. De par ces considérations et en se rattachant au paléoclimat du Tertiaire, à partir notamment d'indices lithologiques, R. Laffitte (1939) émet l'hypothèse d'un climat chaud avec alternance d'une saison sèche et d'une saison humide. Il s'est basé sur la présence des couches rouges « ... puisque

aujourd'hui il ne se forme pas de sols rouges dans les déserts du Nord de l'Afrique, alors que les *Terra rossa* d'une part, et les latérites d'autre part, se forment dans les régions méditerranéennes et soudanaises » (Laffitte, 1939).

Au Quaternaire moyen et récent, R. Guiraud (1990), grâce à des indices lithologiques représentés par des dépôts périglaciaires des Monts des Belezma, du Hodna et des Aurès suivis de périodes plus sèches (climat semi-aride), montre que des périodes humides ont succédé aux périodes froides et sèches (Guiraud, 1973).

Toutes ces considérations permettent d'aboutir à ce constat : des réseaux actifs furent creusés au Quaternaire moyen (Kardache, 1988) et les réseaux karstiques qui ne sont plus fonctionnels datent du Miocène et même bien avant, voire du Crétacé supérieur période au cours de laquelle régnait un climat tropical. C'est alors que s'installèrent les mers épicontinentales à l'origine de l'édification des différentes plateformes carbonatées. Selon J. Avias (1992) l'absence des apports terrigènes dans les calcaires du Secondaire correspond vraisemblablement aux périodes chaudes et sèches, alors que les aquicludes correspondent -eux- à des périodes pluvieuses, car les apports terrigènes argileux sont dans ce cas importants.

Une mesure isotopique, même si elle apporte beaucoup, ne doit pas être dissociée du reste des autres disciplines. Si nous nous intéressons à la structure karstique de Cassis, le ruissellement, en découpant les formations superficielles et les transportant vers l'aval, peut donner l'impression que le karst a été ouvert à telle époque. Son remplissage résulte d'apports successifs datés du Miocène provençal subtropical aux quatre glaciations. Autre considération importante, un sable désertique à façonnage éolien, poussé vers l'Atlantique (Maroc) où, immergé et brassé sous les eaux, acquiert une morphoscopie différente. Si ce sable remplit par exemple les vides d'un karst sous-marin, comment dater celui-ci ?

7 CONCLUSION

Cette courte présentation est incomplète en raison de la complexité des formations karstiques et d'une analyse basée sur les théories classiques. Certes cette méthodologie adoptée paraît limitée, mais au vu de l'état actuel des recherches sur le karst en Algérie en général et en milieu aride en particulier, elle a néanmoins permis de réunir et d'apporter des informations d'une part, de localiser d'autre part les phases de karstification les plus récentes qui, associées au niveau de base actuel, participent au fonctionnement des aquifères. Cette étude a aussi mis en évidence l'enchaînement des paysages et du climat.

Nous souhaitons que ce travail puisse contribuer à la poursuite de la recherche dans le domaine des karsts en milieu aride. Pour atteindre des résultats plus probants il faudrait introduire les techniques de mesure s'appuyant sur les datations radiométriques (U/Th), multiplier les recherches d'éventuels indices sur le terrain et se baser sur les critères géomorphologiques. Nous pourrions alors confronter les résultats entre eux.

Notre approche pourra prendre une dimension différente lorsque nous aurons à nouveau accès aux sites où nous irons prélever les échantillons riches en paléomémoire des événements géostructuraux et disposer des moyens permettant l'accès à une technologie qui devrait être accessible non seulement à l'exceptionnel, mais aussi au quotidien.

REFERENCES

- [1] **Abdesselam, M. 1995.** Structure et fonctionnement d'un Karst de montagne sous climat méditerranéen : exemple du Djurdjura occidental (Grande Kabylie, Algérie). *Thèse Doc. Univ. Besançon*, 237p.
- [2] **Addoum, B. 1995.** L'Atlas saharien sud-oriental : cinématique des plis-chevauchements et reconstitution du bassin sud-est constantinois (confins algéro-tunisiens). *Thèse doctorat ès. Univ., Paris XI (Orsay)*, 200p.
- [3] **Ait Ouali, R. 1991.** Le rifting des monts des Ksour au Lias. Organisation du bassin diagénetique des assises carbonatées. Place dans les ouvertures Mésozoïques au Maghreb. *Th. Doct. USTHB*, 302p.
- [4] **Aissaoui, D.M. 1979.** Les séries carbonatées du Jurassique supérieur des Aurès-Hodna (Algérie) sédimentogenèse et diagenèse syn-sédimentaire. *Thèse de 3ème cycle, Univ. Paris VI*, 343p.
- [5] **Aissaoui, D. 1984.** Les structures liées à l'accident sud atlasique entre Biskra et le Djebel Mandra (Algérie) : évolution géométrique et cinématique. *Thèse doctorat, Univ. I, Pasteur-Strasbourg*, 145 p, 12pl.photo.
- [6] **Avias, J.V. 1992.** Contrôles géologiques des systèmes aquifères karstiques (S.A.K.) de type Méditerranéen : SAK de la source du lez. *Hydrogéology of selected karst regions*. Volume 13, 89-113.
- [7] **Bellion, Y.J.-C. 1976.** Etude géologique et hydrogéologique de la partie occidentale des monts de Belezma (Algérie). *Thèse 3ème cycle Uni. Paris VI*, 220p.
- [8] **Blanc, J.J. 2005.** La croissance des spéléothèmes : un enregistrement climatique à haute résolution, analyses d'images, périodes passées et futures, essais d'interprétation. (*In L'anthropologie* 109, 214-248, Elsevier).
- [9] **Boudjema, A. 1987.** Evolution structurale du bassin pétrolier « triasique » du Sahara nord oriental, Algérie). *Thèse, Univ. Paris Sud (Orsay)*, 290p, 147fig.
- [10] **Caire, A. 1971.** Chaînes alpines de la Méditerranée centrale (Algérie et Tunisie septentrionales, Sicile, Calabre et Apennin méridional). *Unesco, Tectonique de l'Afrique (Sc.de la Terre)*, vol.6, 61-90.
- [11] **Coiffait, P.E., Quinif, Y. et Vila, J.M. 1975.** Histoire géologique et karstification des massifs néritiques constantinois (Algérie). *Ann. Spéléol.* 1975,30, 4, 619-627.
- [12] **Gascoyne, M. 1992.** Paleoclimate determination from cave calcite deposit. *Quaternary Sci. Rev.* 11, 609-632.
- [13] **Ghandriche, H. 1991.** Modalité de la superposition de structures de plissement chevauchement d'âge alpin dans les Aurès (Algérie). *Thèse Univ. Orsay*, 189p.
- [14] **Guiraud, R. 1973.** Evolution post-triasique de l'avant pays de la chaîne alpine en Algérie d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines. *Thèse Doc. Ès. Sci. Univ. Nice*, 270p, 114 fig.
- [15] **Kardache, R. 1988.** Ressources en eaux des karsts du Sud -Est algérien. *Thèse Doct-Ing. U.S.T.L. Montpellier*, 236p + 1 carte h.-t.
- [16] **Kazi Tani, N. 1986.** Evolution géodynamique de la bordure nord africaine. Le domaine intraplaque nord algérie. Approche mégasequentielle. *Thèse ès. Sciences., Univ. Pau*. 2vol, 870p.
- [17] **Laffitte, R. 1939.** Etude géologique de l'Aurès. *Thèse ès. Sciences. Univ. Paris. Bull. Sve Carte Géol., Algérie*, 484p.
- [18] **Maire, R. 1992.** La haute montagne calcaire. *Karstologia-Mémoires* n°3, 731 p.
- [19] **Salomon, J.N. 2006.** Précis de Karstologie. 2^e édition, *Presses universitaires de Bordeaux*.
- [20] **Savornin, J. 1931.** La géologie algérienne et nord africaine depuis 1830. *Bull. Sve Carte Géol., Algérie*, 1vol. ,395p, 21pl. h.-t., 2 cartes h.-t., Alger.
- [21] **Schlumberger, 1995.** Well Evaluation Conference (WEC), 93p.
- [22] [21] **Vila, J.M. 1980.** La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. *Thèse Doc.ès. Sc. Univ. Pierre et Marie Curie (Paris VI)*, 665p., 200 fig., 7pl. h.-t.