

July 20<sup>th</sup> 2018

**Title: Influence of basement heterogeneity on the architecture of low subsidence rate Paleozoic intracratonic basins (Ahnet and Mouydir basins, Central Sahara)**

Authors : Paul Perron, Michel Guiraud, Emmanuelle Vennin, Isabelle Moretti, Éric Portier, Laetitia Le Pourhiet, Moussa Konaté

Solid Earth Discuss., <https://doi.org/10.5194/se-2018-50>

**Principal criteria**

**Scientific significance:**

Does the manuscript represent a substantial contribution to scientific progress within the scope of Solid Earth (substantial new concepts, ideas, methods, or data)? **Yes.**

**Scientific quality:**

Are the scientific approach and applied methods valid? Are the results discussed in an appropriate and balanced way (consideration of related work, including appropriate references)? **Yes, but some references are missing.**

**Presentation quality:**

Are the scientific results and conclusions presented in a clear, concise, and well-structured way (number and quality of figures/tables, appropriate use of English language)? **Yes.**

- 1- Does the paper address relevant scientific questions within the scope of SE? **Yes.**
- 2- Does the paper present novel concepts, ideas, tools, or data? **Yes.**
- 3- Are substantial conclusions reached? **Yes.**
- 4- Are the scientific methods and assumptions valid and clearly outlined? **Yes.**
- 5- Are the results sufficient to support the interpretations and conclusions? **Yes.**
- 6- Is the description of experiments and calculations sufficiently complete and precise to allow their reproduction by fellow scientists (traceability of results)? **NA.**
- 7- Do the authors give proper credit to related work and clearly indicate their own new/original contribution? **Yes.**
- 8- Does the title clearly reflect the contents of the paper? **Yes.**
- 9- Does the abstract provide a concise and complete summary? **Yes.**
- 10- Is the overall presentation well structured and clear? **Yes.**
- 11- Is the language fluent and precise? **Yes.**
- 12- Are mathematical formulae, symbols, abbreviations, and units correctly defined and used? **NA.**
- 13- Should any parts of the paper (text, formulae, figures, tables) be clarified, reduced, combined, or eliminated? **No.**
- 14- Are the number and quality of references appropriate? **Yes, but some references are missing.**
- 15- Is the amount and quality of supplementary material appropriate? **NA.**

## #Referee comments (RCs)

### I-Text

- 1- **Lines 100-101; 106 to 110; 113; 115 to 116; 118 to 120.....**: Put references from oldest to most recent.
- 2- **Line 253:** ~~is composed of fluviatile Cambrian.~~ The whole sedimentary series described in the literature is composed of fluviatile to Braid-deltaic plain Cambrian, not only fluviatile (eg. Brahmaputra River analogue), with a transitional facies from continental to shallow marine (Sabaou et al., 2009, p160).
- 3- **Line 254:**..... ~~glacial Ordovician.~~ Upper Ordovician glaciogenic deposits....
- 4- **Line 255:**..... ~~argillaceous deep marine Silurian...~~ argillaceous deep marine Silurian deposits....
- 5- **Line 255:** Missing the last reference for the Silurian (Djouder et al., 2018).

Djouder, H., Lüning, S., Da Siva, A-C., Abdellah, H., Boulvain, F. (2018), Silurian deltaic progradation, Tassili n'Ajjer plateau, south-eastern Algeria: Sedimentology, ichnology and sequence stratigraphy. *Journal of African Earth Sciences*, Volume 142, June 2018, Pages 170-192

- 6- **Line 266:** the term Algerian platform don't exist, you speak probably about the Algerian part of Saharan platform
- 7- **Line 300 and Figure 2:** ~~In the Illizi basin, these facies are mainly recorded in the Cambrian Ajjers Formation~~

In the Illizi Basin, and Saharan platform, the Ajjers Formation and/or the equivalent formation are dated: Upper Cambrian? to Ordovician (Tremadoc to Caradoc)(Fabre, 2005 ; Vecoli, 2000 ; Vecoli & Playford, 1997; Vecoli et al., 1995 ;Vecoli et al., 1999).

### References for the datation:

Vecoli, M., 2000. Palaeoenvironmental interpretation of microphytoplankton diversity trends in the Cambrian–Ordovician of the northern Saharan Platform. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 160, 329–346.

Vecoli, M., Playford, G., 1997. Stratigraphically significant acritarchs in uppermost Cambrian to basal Ordovician strata of Northwest Algeria. *Grana* 36, 17–28.

Vecoli, M., Albani, R., Ghomari, A., Massa, D., Tongiorgi, M., 1995. Précisions sur la limite Cambrien–Ordovicien au Sahara Algérien (secteur de Hassi-R'mel). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris* 320 (IIa), 515–522.

Vecoli, M., Tongiorgi, M., Abdesselam-Rouighi, F.F., Benzarti, R., Massa, D., 1999. Palynostratigraphy of Upper Cambrian–Upper Ordovician intracratonic clastic sequences, North Africa. *Bollettino della Società Paleontologica Italiana* 38 (2–3), 331–341.

Vecoli, M., Videt, B., Paris, F., 2008. First biostratigraphic (palynological) dating of Middle and Late Cambrian strata in the subsurface of northwestern Algeria, North Africa: implications for regional stratigraphy. *Review of Palaeobotany and Palynology* 149 (1–2), 57–62.

- 8- There was confusion about the subdivision used. Often, it is extracted from English papers. It is best to keep the original nomenclature in French, as it was established by geologists (BRPA, 1964; in Beuf et al., 1971), in fact: (Beuf et al., 1971, Tab-1, p.158: Bennacef et al., 1971; Fabre, 2005).

From de base to the top, we observe:

A- The Ajjers Formation

It's divided from the bottom to the top:

In the Tassilis-N-Ajjers (Outcrops)

- Les Grès/Conglomérats d' El Moungar (Unit I)
- Les Grès de Tin Taradjelli (Unit II)
- La Vire du Mouflon (Unit III-1)
- La Banquette (Unit III-2)

In the Illizi basin (Subsurface equivalents)

- (Unit II) : R3+R2+Ra +Ri
- (Unit III-1) : La Zone des Alternances + Les Argiles d'El Gassi + les Grès d'El Atchane
- (Unit III-2) : Les Quartzites de Hamra

B- The In Tahouite Formation (Unité III-3) (outcrops)

(Unit III-3) : Les Grès de Ouargla + Argiles d'Azzel + Grès de Oued Saret (subsurface)

C- The Tamadjert Formation (Unit IV) (outcrops)

Ajjers Formation + In Tahouite Formation represent the Sequence 1 (Preglacial-deposits)

Tamadjert Formation (Outcrops) and the equivalent in the subsurface (Unit-IV) is the sequence 2 (syn-glacial deposits)

Also for The Siluro-Devonian, keep the original nomenclature in French (Text and Fig.2):

~~Tigillites Talus~~: Talus à Tigillites (Lines 348 ; 371)

~~Passage Zone~~: Zone de passage (Lines 379, 427)

~~Middle Bar~~: Barre Moyenne (Lines 301, 335)

~~Sidewalks~~: Trottoirs

~~Upper Bar~~: Barre Supérieure (Lines 301, 335).....etc.

#### References for The Ajjers Formation:

Bennacef, A., Beuf, S., Biju-Duval, B., De Charpal, O., Gariel, O., Rognon, P., 1971. Example of cratonic sedimentation: Lower Palaeozoic of Algerian Sahara. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin 55 (12), 2225–2245.

Beuf, S., Biju-Duval, B., de Charpal, D., Rognon, R., Bennacef, A., 1971. Les gres du Paleozoïique inferieur au Sahara. Sedimentation et discontinuite: evolution structurale d'un craton. Institut Francais Petrole, Collection Sciences Techniques P&role 18, 464~.

Sabaou, N., Aït Salem, H., Zazoun, R.S., 2009. Chemostratigraphy, tectonic setting and provenance of the Cambro-Ordovician clastic deposits of the subsurface Algerian Sahara. Journal of African Earth Sciences 55 (3–4), 158–174.

Zazoun, R.S., Mahdjoub, Y., 2011. Strain analysis of Late Ordovician tectonic events in the In-Tahouite and Tamadjert Formations (Tassili-n-Ajjers area, Algeria). *J. Afr. Earth Sci.* 60, 63–78.

**9- Line 489:** ~~as Hirnantian glacial valleys~~...as Hirnantian glacial-Palæovalleys

**10- Line 534:** Hoggar shield ? sometimes, you speak about Tuareg shield (TS)...Hoggar is the massif and the Tuareg is the shield.

**11- Line 526 :** Missing reference: Hercynian Tectonic Event

According to [Zazoun \(2001\)](#).....The basement fabric features exerted a very strong control on the structural evolution during the Hercynian deformation (See also [Haddoum et al., 2001](#)).

#### References for The Hercynian Tectonic Event

[Haddoum, H., Guiraud, R., Moussine-Pouchkine, A., 2001. Hercynian compressional deformations of the Ahnet-Mouydir Basin, Algerian Saharan platform: far-field stress effects of the Late Paleozoic orogeny. \*Terra Nova\* 13, 220–226.](#)

[Zazoun, R, S. 2001. La tectogenèse hercynienne dans la partie occidentale du bassin de l’Ahnet et la région de Bled El-Mass, Sahara Algérien: un continuum de déformation \*Journal of African Earth Sciences\* Vo.32, N°4, 869-887.](#)

**12- Lines 671:** ~~Abdesslam-Roughi, F~~ ; Abdesselam-Rouighi, F.F

**13- Line 902:** [Fabre, J. 2005. Géologie du sahara occidental et central. Musée Royal de l’Afrique Centrale-Belgique. Tervuren African Geoscience Collection Vol.108. ISBN 90-75894-66-x ; ISSN : 1780-8551, 610 p.](#)

**14- Line 980:** Hassan Kermadjji, A.M or Kermadjji, A.M.H., ?

**15- For the terranes notion please see the last publication about this topic :**

[Sonia Brahimi, Jean-Paul Liégeois, Jean-François Ghienne, Marc Munsch, Amar Bourmatte. 2018. The Tuareg shield terranes revisited and extended towards the northern Gondwana margin: Magnetic and gravimetric constraints. \*Earth-Science Reviews\*, doi:10.1016/j.earscirev.2018.07.002 \(Accepted manuscript\)](#)

**16- Lines 64 and 1313**

Missing : Intra-Arenig unconformity cited by ([Fabre 2005, pp 169](#)) in the North Africa, [Eschard et al., \(2010\)](#) and [Kracha thesis, \(2011\)](#) in the Ahnet Basin and [Beuf et al., \(1968-1971\)](#) in the Tassilli-N-Ajjers and [Eschard et al. \(2006\)](#) in the Berkine Basin.

*“Erosion occurred in many places during an intra-Arenig unconformity” ([Eschard et al., 2010](#))*

*“ Une discordance de faible amplitude, mais dont l’extension intéressera tout le Maghreb depuis l’Anti-Atlas occidental jusqu’à la Libye marque la fin...de ce premier cycle Ordovicien » c’est-à-dire Tremadoc et Arenig inférieur....([Fabre, 2005](#))*

« De même, les « Argiles de Tiferouine » transgressent progressivement sur la série de Bled El Mass, et sont limitées à la base par une discordance angulaire conglomératique, qui pourrait bien correspondre à la discordance Intra-Aréniq, mise en évidence dans de nombreuses régions sahariennes (Beuf et al., 1968; 1971; Eschard et al., 2006)..... » in Kracha., 2011, pages 73-86-100

« Le passage des « Quartzites de Hamra » vers les « Grès de Ouargla » se fait de manière progressive, et l'on assiste par la suite à la troncature des termes sommitaux de cette formation sous la discordance Intra-Aréniq qui annonce l'arrivée brutale des « Argiles d'Azzel-Tiferouine ». Les « Grès d'Oued Saret » sont peu préservés sous les ravinements glaciaires de l'Unité IV (et/ou la discordance Taconique) (Kracha, 2011)..... Pages 113 et 121.

#### References for the Intra-Arenig unconformity

Beuf. S., Biju-Duval. B., Mauvier, A., Legrand Ph. (1968). Nouvelles observations sur le "Cambro-Ordovicien" du Bled El Mass (Sahara central), Publ. Serv. Géol. Algérie, Bulletin n° 38, p.39-51.

Beuf. S., Biju-Duval. B., De Charpal. O., Rognon. P., Gariel. O., et Bennacef, A. (1971). Les grès du Palaeozoïque inférieur du Sahara. Publication Institut Français du Pétrole, Collection Science et Technologie du Pétrole, Paris, No. 18. 484 p.

Eschard.R, Hellat.C, Malla.M, Bénamane.K, Betioui.H, Callot.J.P, Carpentier.B, Chelcheb.S, Couprie.E, Dahi.M, Delmarre.S, Desaubliaux.G, Deschamps.G, Euzen.T, Hachemi.L, Hannoun.R, Jacolin.J.E, Lassal.A, Leblond.C, Levêque.I, Lorant.F, Mokhtari.N, Lorin.T, Rabary.G, Rudkiewicz.J.L, Wattine.A. (2006). Berkine Gas project. Evaluation of the Gas potential in the Berkine basin (Algeria). Rap. Conf. Ifp.

Eschard. R, Braik.F, Bekkouche.D, Ben Rahuma.M, Desaubliaux.G Deschamps.R et Proust. J. N. (2010). Paleohighs: their influence on the North African Paleozoic petroleum systems. Geological Magazine, 147 (1), 28-41.

Kracha, N. 2011. Relations entre sédimentologie, fracturation naturelle et diagenèse d'un réservoir à faible perméabilité : application aux réservoirs de l'Ordovicien, Bassin de l'Ahnet, Sahara Central, Algérie. Thèse de Doctorat, Université des sciences et Technologies de Lille. 458p, Thèse non publiée.

**17-** It would be desirable to speak also about the work of Boote et al (1998). These authors define the notion of "The Gondwana Super-cycle" between the infra-Cambrian (Panafrican) Unconformity and the Hercynian Unconformity. This Super-cycle has been divided in 02 Super-cycles: a Lower Gondwana Super-cycle and an Upper Gondwana Super-cycle. This nomenclature which is defined at the scale of north Africa also applies in South America (Souza Cruz et al., 2000) and Saudi Arabia (Sharland et al., 2000, Davidson et al. 2001), even if a slight diachrony may exist between these areas.

- 1- Lower Gondwana Super-cycle (Infra-Cambrian Unconformity to Caledonian Unconformity): is a major second order transgressive-regressive megacycle, in the sens of Vail et al. ( 1977)
- 2- Upper Gondwana Super-cycle (from the Caledonian Unconformity to the Hercynian Unconformity)  
(in: The Lower Paleozoic sedimentation of the Algerian Saharan craton, Tassili N'Ajjer oucrops. Field Guide Book, February 20-25, 2003. AAPG symposium, Algiers 18-20 February 2003, 103p).

## References for "The Gondwana Super-cycle"

Davidson, L., Bestwetherick, S., Craig, J., Eales, M., Fisher, A., Himmali, A., Jho, J., Mejrab, B. and Smart, J. 2000. The structure, stratigraphy and petroleum geology of the Murzuk basin, southwest Libya. In Geological exploration in Murzuq basin, (in: Eds M.A. Sola and D.Worsley), Elsevier, 295-320.

Sharland, P.R., Archer, R., Casey, D.M., Davies, R.B., Hall, S.H., Heward, A.P., Horbury, A.D. and Simmons, M.D., 2001. Arabian Plate Sequence Stratigraphy. Georabia, Special Publications, 2, 371p, 2 plates.

Souza Cruz, C.E., Miranda, A. P., and Oller, J. 2000. Facies analysis and depositional systems of Late Silurian-Devonian subandean basin, southern Bolivia and Northern Argentina. In: Memorias del Congreso Geologico Boliviano, La Paz, 14-18 Noviembre 2000, 85-90.

### **18- Thermal History of Ahnet and Sbaa Basins (Histoire Thermique)**

**(See Akkouche Thesis) : you will find below the conclusions of Mr. Akkouche about the Fission track study of Ahnet and Sbaâ**

Akkouche, M. 2007, Application de la datation par traces de fission à l'analyse de la thermicité de bassins à potentialités pétrolières. Exemple de la cuvette de Sbaâ et du bassin de l'Ahnet-Nord (plate-forme saharienne occidentale, Algérie). Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux 1, 297p.

You can download the thesis at the link below :

[www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/41/021/41021844.pdf](http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/41/021/41021844.pdf)

#### **Histoire Thermique du bassin de l'Ahnet**

Les traces de fission témoignent d'épisodes thermiques et d'érosion différents suivant les domaines du bassin avec une tendance générale à l'effacement des traces du Nord vers le Sud. Au Nord du bassin de l'Ahnet (MRS-1 et MSL-1), les âges obtenus dans les formations de l'Ordovicien et de la base du Silurien sont de 50 Ma environ. Ils témoignent d'une phase thermique post-varisque qui a affecté la colonne paléozoïque. On peut estimer que les températures atteintes au cours de cet épisode thermique, probablement >100°C, sont également à mettre en relation avec l'épisode thermique d'extension régionale d'âge triasico-jurassique. Cet événement thermique pourrait également être à l'origine de l'effacement total des traces pré-existantes du niveau dévonien du forage MSR-1 qui présente, à 505 m sous la discordance varisque, un âge TF de 100 Ma. Plus au Sud, les âges respectifs de 37 Ma et 26 Ma obtenus à des profondeurs de 1030 m (forage MKRN-1) et 1532 m (forage BH-5), suggèrent une altération thermique cénozoïque des traces de fission plus intense que celle mise en évidence dans le Nord du bassin. Cette caractéristique pourrait refléter une érosion récente plus importante, mais également l'action éventuelle de gradients géothermiques plus élevés

#### **Histoire Thermique de la cuvette de Sbaâ basin (See Akkouche Thesis)**

La plupart des résultats obtenus sur les échantillons prélevés dans les forages de la cuvette de Sbaâ est compatible avec ceux obtenus par les chercheurs de la Société GEOTRACK sur le forage OTRA-1, situé à 50 kilomètres du forage ODZ 1-bis. Dans le forage ODZ-1bis, les résultats suggèrent une histoire thermique marquée par trois événements de refroidissement. Le plus ancien se situe entre 200 et 300 Ma. Le second aurait un âge proche de 170-210 Ma et le plus récent entre 30 et 50 Ma. Ces âges témoigneraient successivement des événements de refroidissement carbonifère (fin de l'orogénèse varisque), jurassique (détumescence thermique post-rifting atlantique) et éocène (bombement du Hoggar). Un seul échantillon présente un résultat surprenant. Il s'agit de

l'échantillon n°644 (forage ODZ-1bis) qui donne un âge de  $472\pm 11$  Ma, prélevé dans un horizon détritique du Tournaisien. Onze des 12 apatites de cet échantillon présentent des traces de fission fossiles pré-datant nettement le Carbonifère. En d'autres termes, l'épisode varisque n'a jamais atteint un seuil thermique suffisant pour effacer ces traces au niveau de la bordure septentrionale de la cuvette de Sbaâ. Ce constat suggère que la cuvette de Sbaâ est un des domaines de la plate forme saharienne occidentale les moins affectées par les événements thermiques post-varisques. De toute évidence, à partir de la fin du Carbonifère, voire du Permien, la cuvette de Sbaâ est structurée et demeurera dans un climat structural relativement superficiel.

## II-Figures

### 1- Figure 2 :

- Column 4 : Mouydir not Mouyrdir
- Column 6 (Tassili) : In Tahouite Formation is the Unit III-3, not The Unit III-2  
Tin Taradjelli Sandstones is the Unit II
- Column 6: Orsine Formation not Orsine  
Tin Meras Formation not Tin Meras  
Illrene Formation not Illrene  
El Moungar Conglomerat is the Unit I
- The intra-Arenig unconformity is missing

## III- Conclusions : (See Referee comments above)

- Several references have been omitted (Ajjers Formation, Silurian, Hercynian tectonic Event, Terranes...): see bibliography attached for each remark.
- Very minor corrections are required.
- The intra-Arenig unconformity was not mentioned.
- Figure 2 is to be corrected.
- Put references from oldest to most recent.
- Some typographic mistakes about the names of the authors.
- Ovoid the translation of the nomenclature in English language.

### Réda Samy ZAZOUN

Senior Géologue Structuraliste  
Sonatrach

Division Petroleum Engineering & Développement  
8, Chemin du Résevoir, Hydra, Alger, Algérie  
E-mail :reda-samy.zazoun@sonatrach.dz  
Alternatif E-mail: [redasamy@hotmail.com](mailto:redasamy@hotmail.com)