

Premier pôle paléomagnétique, d'âge Moscovien contraint par un test du pli, obtenu dans le bassin d'Illizi (Craton saharien, Algérie)

Boualem Bayou^a, Mohamed El-Messaoud Derder^a, Bernard Henry^{b,*}, Hamou Djellit^a, Mohamed Amenna^a

^a CRAAG, B.P. 63, 16340 Bouzaréah, Alger, Algérie

^b Géomagnétisme et paléomagnétisme, IPGP et CNRS, 4, av. de Neptune, 94107 Saint-Maur cedex, France

Reçu le 9 juillet 2001 ; accepté le 15 octobre 2001

Présenté par Jean-Louis Le Mouél

Abstract – First palaeomagnetic pole, of Moscovian age constrained by a fold test, in the Illizi Basin (Saharan Craton, Algeria). Palaeomagnetic study, carried out in the Moscovian (~ 305 Ma) formation in the Edjeleh anticline, shows the existence of three magnetisation components. Two of them are probably Cenozoic and Permian remagnetisations. The third component determined by both well defined ChRMs and remagnetisation circles analysis passes the fold test. Because the folding started before or during the Stephano-Autunian, this third component is the primary magnetisation. Its palaeomagnetic pole (28.3°S, 58.9°E), close to other poles from the Saharan platform obtained from neighbouring periods but without palaeomagnetic tests, confirms the age of these last data. *To cite this article: B. Bayou et al., C. R. Geoscience 334 (2002) 81–87.* © 2002 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

palaeomagnetic pole / Moscovian / Saharan Craton / Africa / fold test

Résumé – L'étude paléomagnétique de la formation moscovienne (~ 305 Ma) de l'anticlinal d'Edjeleh montre l'existence de trois composantes d'aimantations. Deux d'entre elles correspondent vraisemblablement à des réaimantations d'âges Cénozoïque et Permien. La troisième, déterminée aussi bien par des ChRMs que par l'analyse de cercles de réaimantation, présente un test du pli positif. Sachant que le plissement a débuté avant ou pendant le Stéphan-Autunien, cette composante est l'aimantation primaire. Son pôle paléomagnétique (28,3°S, 58,9°E), proche de pôles de la plate-forme saharienne obtenus pour des périodes voisines mais sans tests paléomagnétiques, confirme l'âge de ces dernières données. *Pour citer cet article : B. Bayou et al., C. R. Geoscience 334 (2002) 81–87.* © 2002 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

pôle paléomagnétique / Moscovien / Craton saharien / Afrique / test du pli

Abridged version

1. Introduction

The African palaeomagnetic database for Upper Palaeozoic times is still poor. Most of its reliable poles have been obtained from recent studies from the Saharan platform. As in most of the palaeomagnetic studies in monoclinical or horizontal tabular units, the age of the magnetization ac-

quisition of these poles has not been demonstrated. Age of a recent data obtained in the Reggane Basin [5] is however constrained by palaeomagnetic tests, but the corresponding palaeomagnetic pole is slightly different from all the other poles for the same period. This underlines the importance of obtaining palaeomagnetic test to determine the validity of all these other poles. A new study was therefore carried out on the Moscovian formation of the Edjeleh anticline (27.4°N, 9.5°E, Fig. 1), 60 km southeast of In

* Correspondance et tirés à part.
Adresses e-mail : mderder@hotmail.com (M.E.-M. Derder),
henry@ipgp.jussieu.fr (B. Henry).

Amenas City, on the eastern border of the Illizi Basin (Algeria). This area is the single location where important dips can be observed in the Upper Palaeozoic formations in this basin.

The north–south Edjeleh anticline shows in its central part the northern outcrops of the Saharan Palaeozoic series of the Illizi basin. These series include the marine formation of El Adeb Larache and the Tiguentourine Formation, and are covered by the Zarzaïtine Formation (Fig. 1). This anticline has an asymmetrical shape. The western limb shows beds with very low dip values (0–6°). The outcropping series of the eastern limb are affected by a reverse fault, with higher dip values (20–80°).

The El Adeb Larache Formation [4] is well dated [7, 14] of Moscovian age. It is covered in weak unconformity by the Stephano-Autunian [2] Tiguentourine Formation. Both formations were affected by the folding. The Lower Zarzaïtine Formation, of Upper Triassic age [1], lays unconformably over the folded formations. As the Upper Tiguentourine levels are locally weakly discordant on the Lower Tiguentourine ones in the Illizi Basin (the Lower Tiguentourine is even missing at the Edjeleh anticline), the folding started before or during the Stephano-Autunian.

Because of characteristics unfavourable for a palaeomagnetic study in the Upper Tiguentourine Formation, the study was made only on the Moscovian unit. Rock magnetism studies (blocking temperature spectra, hysteresis loops, Curie curves) reveal the existence of two magnetic carriers according to the facies. Hematite was present in blue–violet limestones, and both magnetite and hematite in blue–green limestones and rubified red clays.

During demagnetisation process, after elimination of a weak viscous component, the analysis of the magnetization directions gives two different kinds of behaviour: ever stable direction characteristic of a single component, or direction evolving along great circle, showing the superimposition of unblocking temperature spectra for at least two components. The analysis of the data indicates that the stable Characteristic Remanent Magnetization (ChRM) have different orientations according to the samples, allowing their separation in three groups (A only of normal polarity, B and C only of reversed polarity).

2. ChRM analyses

2.1. ChRM A

The first one (A), isolated in seven sites, has a mean direction defined by $D = 359.8^\circ$, $I = 44.7^\circ$, $k = 178$, $\alpha_{95} = 4.5^\circ$ and $D = 3.4^\circ$, $I = 44.9^\circ$, $k = 54$, $\alpha_{95} = 8.3^\circ$, respectively before and after dip correction. This direction, better grouped in geographic coordinates (for a progressive unfolding, maximum k value obtained for –5 % unfolding), is very close to that of the present Earth's magnetic field at the site. The palaeomagnetic pole corresponding to this component before dip correction (88.8°N , 164°E , $K = 262$, $A_{95} = 3.3^\circ$) is close to that from some sites of other formations of Illizi basin, which show Cainozoic re-

magnetisation [12]. This direction is then interpreted as a total remagnetisation during Cainozoic times.

2.2. ChRM B

The second orientation of the ChRM (B) was isolated in six sites: $D = 145.0^\circ$, $I = 9.7^\circ$, $k = 58$, $k_\delta = 53$, $\alpha_{95} = 8.9^\circ$ and $D = 145.0^\circ$, $I = 7.9^\circ$, $k = 38$, $k_\delta = 44$, $\alpha_{95} = 11.1^\circ$, respectively before and after dip correction. The fold test is of little significance, because all the corresponding sites are in the same weak dipping limb of the fold. The directions are very close to that, determined at El Adeb Larache in some sites, corresponding to a Permian remagnetisation [12]. In geographic coordinates, this second orientation also yielded a palaeomagnetic pole (43.4°S , 61.7°E , $K = 93$, $A_{95} = 5.9^\circ$) very close to previous poles of Permian remagnetisation determined in other areas of the Saharan Craton, [3, 12]. Thus, this component is probably a total magnetic overprint acquired during Permian times.

2.3. ChRM C

The ChRM C (Fig. 2a), isolated from 32 specimens distributed over six sites, has the following direction: $D = 134.8^\circ$, $I = 34.2^\circ$, $k = 96$, $k_\delta = 66$, $\alpha_{95} = 6.9^\circ$ and $D = 133.7^\circ$, $I = 32.6^\circ$, $k = 254$, $k_\delta = 332$, $\alpha_{95} = 4.2^\circ$, respectively before and after dip correction (Fig. 4a). The maximum value of the precision parameter during a progressive unfolding is obtained for a 92 % of unfolding ($k_\delta = 341$). The difference between k_δ values for 92 and 100 % unfolding is statistically not significant, and the simple and stringent McElhinny fold test [15] is here positive and significant at 99 %.

3. Direction of the C component from great circles analyses

Most of the samples show an evolution along great circles of their magnetisation directions during demagnetisation, and a stable direction was not reached, even at high temperatures (Fig. 2b). The analysis of remagnetisation circles (Fig. 3) using Halls method [8, 9] gives a direction (after dip correction) similar to that obtained by ChRM data: $D = 134.5^\circ$, $I = 35.8^\circ$. This result shows that the McFadden and McElhinny approach [16] is therefore usable to integrate great circles and ChRM data within each site. The use of this method for the sites presenting both ChRM and great circles data gives a result $D = 135.7^\circ$, $I = 32.6^\circ$, $k = 70$, $\alpha_{95} = 2.4^\circ$ (after dip correction) close to that obtained by Halls method and ChRM data. This remarkable coincidence obtained by different approaches confirms the reliability of the results.

The confidence zone of the best intersection direction determined by the bootstrap method [10] for all the great circles is much smaller after dip correction than before. This represents another argument in favour of a positive fold test (Fig. 3).

4. Discussion and conclusion

Finally, the mean direction of the C component (from mean ChRM for two sites, combination of ChRM and great circles data for four sites and great circles data for one site) using 32 ChRM data and 25 great circles data distributed over seven sites is $D = 138.0^\circ$, $I = 33.7^\circ$, $k = 59$, $k_\delta = 58$, $\alpha_{95} = 6.9^\circ$ and $D = 136.1^\circ$, $I = 31.2^\circ$, $k = 130$, $k_\delta = 424$, $\alpha_{95} = 4.6^\circ$, respectively before and after dip correction (Fig. 4b). The fold test for these data is again positive and significant for k_δ at 99 % [15]; the maximum values of k_δ and k are respectively obtained for unfolding of 111 % ($k_\delta = 452$) and 98 % ($k = 131$) (Fig. 5). These values are not statistically different from those obtained at 100 % unfolding. The associated palaeomagnetic pole is situated at 28.3°S , 58.9°E , $K = 157$, $A_{95} = 4.2^\circ$.

This positive fold test confirms the early character of the magnetization C, the folding starting before or during the Stephano-Autunian [2]. This component represents thus the primary magnetization of these Moscovian rocks. Since it was obtained from several levels of the Moscovian, it constitutes therefore a new and significant contribution for the Moscovian times.

The palaeomagnetic pole associated with the primary component of this study (28.3°S , 58.9°E , $K = 157$, $A_{95} = 4.2^\circ$) is in good agreement with the corresponding segment of the African Apparent Polar Wander Path. Indeed, it is very close to the palaeomagnetic poles for stable Africa from the same period [3, 6, 2, 13, 17]. But, contrary to all these poles, the age of the Edjeleh pole is constrained by a palaeomagnetic test. As this pole is close to the previous poles, it confirms their age.

1. Introduction

Les données paléomagnétiques africaines pour le Paléozoïque supérieur restent insuffisantes. Les plus fiables proviennent d'études faites sur la plate-forme saharienne. Mais, comme ces données paléomagnétiques proviennent des zones à pendage uniforme, l'âge de l'acquisition de leur aimantation n'est pas bien contraint. L'âge d'une donnée récente obtenue dans le bassin de Reggane [5] est cependant bien contraint par des tests paléomagnétiques, mais le pôle paléomagnétique correspondant est légèrement différent de tous les autres pôles pour la même période. Cela souligne l'importance d'obtenir des tests paléomagnétiques pour déterminer la validité de tous ces autres pôles. Une nouvelle étude a donc été réalisée dans la formation moscovienne de l'anticlinal d'Edjeleh ($27,4^\circ\text{N}$, $9,5^\circ\text{E}$; Fig. 1), à 60 km au sud-est de la ville d'In Amenas, sur la bordure orientale du bassin d'Illizi. C'est en effet le seul endroit de ce bassin où d'importants pendages existent.

2. Cadre géologique et échantillonnage

La région d'Edjeleh correspond à un anticlinal asymétrique d'axe nord-sud (Fig. 1). Les pendages sont faibles ($0-6^\circ$) dans le flanc ouest. En revanche, les séries qui affleurent sur le flanc oriental sont affectées par une faille inverse, avec des pendages plus élevés ($20-80^\circ$). La série comprend, de la base vers le sommet : la formation marine d'El Adeb Larache, la formation de Tiguentourine et la formation du Zarzaïtine (Fig. 1). La formation d'El Adeb Larache [4] est bien datée [7, 14] du Moscovien. Elle est recouverte en légère discordance par la formation stéphano-autunienne [2] de Tiguentourine. Ces deux formations sont affectées par le plissement et recouvertes en dis-

cordance par la série du Zarzaïtine inférieur, d'âge Trias supérieur [1]. Cependant, le Tiguentourine supérieur est lui-même localement discordant sur le Tiguentourine inférieur dans le bassin d'Illizi [2], le Tiguentourine inférieur étant même absent dans l'anticlinal d'Edjeleh. Le plissement a donc débuté avant ou pendant le Stéphano-Autunien.

Tous les niveaux du Moscovien affleurant dans la région d'Edjeleh ont été prélevés. 175 échantillons, repartis sur 14 sites, ont été prélevés sur le flanc ouest de l'anticlinal. Sur le flanc est, à cause de mauvaises conditions d'affleurement, seuls deux sites (27 échantillons) ont été échantillonnés.

3. Étude paléomagnétique

Des études de magnétisme des roches (spectre des températures de blocage, cycles d'hystérésis et courbes de Curie) ont mis en évidence l'existence de deux porteurs magnétiques, selon le faciès. L'hématite est présente dans les calcaires bleu violacé et la magnétite et l'hématite dans les calcaires bleu-vert et les argiles rouges rubéfiées.

Durant le processus de désaimantation, les directions d'aimantation présentent, soit une direction stable, caractéristique d'une seule composante, soit une évolution dans un plan (cercle de réaimantation sur la sphère de projection), liée à la superposition des spectres de température de blocage d'au moins deux composantes. L'analyse de l'orientation de l'aimantation rémanente caractéristique (ChRM) met en évidence, selon les échantillons considérés, trois composantes différentes (A de polarité normale, B et C, assez voisines et de polarité inverse). La distinction entre ChRMs B et C est claire dans les sites où ces deux directions sont visibles.

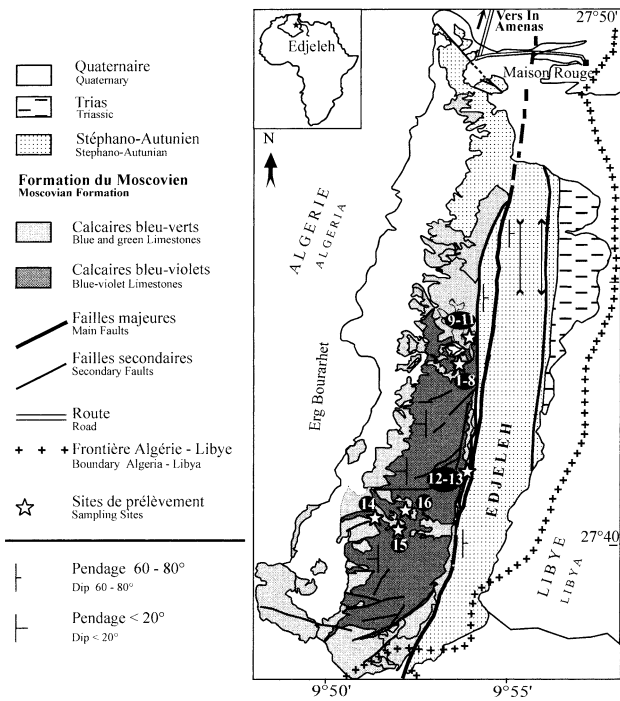


Figure 1. Carte géologique simplifiée de la région d'Edjeleh avec la localisation des sites de prélèvement.

Figure 1. Simplified geological map of the Edjeleh area with the location of sampling sites.

3.1. Analyses des ChRMs

3.1.1. ChRMA

La composante A, isolée dans sept sites, présente une direction moyenne définie par : $D = 359,8^\circ$, $I = 44,7^\circ$, $k = 178$, $\alpha_{95} = 4,5^\circ$ et $D = 3,4^\circ$, $I = 44,9^\circ$, $k = 54$, $\alpha_{95} = 8,3^\circ$, respectivement avant et après correction de pendage. Cette direction, mieux groupée en coordonnées géographiques, est proche de celle du champ magnétique actuel sur le site. Le pôle paléomagnétique qui lui est associé avant correction de pendage ($88,8^\circ\text{N}$, 164°E , $K = 262$, $A_{95} = 3,3^\circ$) est voisin de ceux de réaimantations cénozoïques déterminées précédemment dans d'autres formations du bassin d'Illizi [12]. Cette composante est donc interprétée comme une réaimantation totale d'âge Cénozoïque. Elle n'a été obtenue que dans les faciès avec à la fois magnétite et hématite ; sa température maximale de blocage est toujours inférieure à 580°C . Elle est donc très vraisemblablement portée par la magnétite. Dans deux échantillons où une ChRM C a été isolée, elle représente une composante partielle d'aimantation.

3.1.2. ChRMB

La ChRM B a été isolée dans six sites : $D = 145,0^\circ$, $I = 9,7^\circ$, $k = 58$, $k_\delta = 53$, $\alpha_{95} = 8,9^\circ$ et $D = 145,0^\circ$, $I = 7,9^\circ$, $k = 38$, $k_\delta = 44$, $\alpha_{95} = 11,1^\circ$, respectivement avant et après correction de pendage (k_δ est

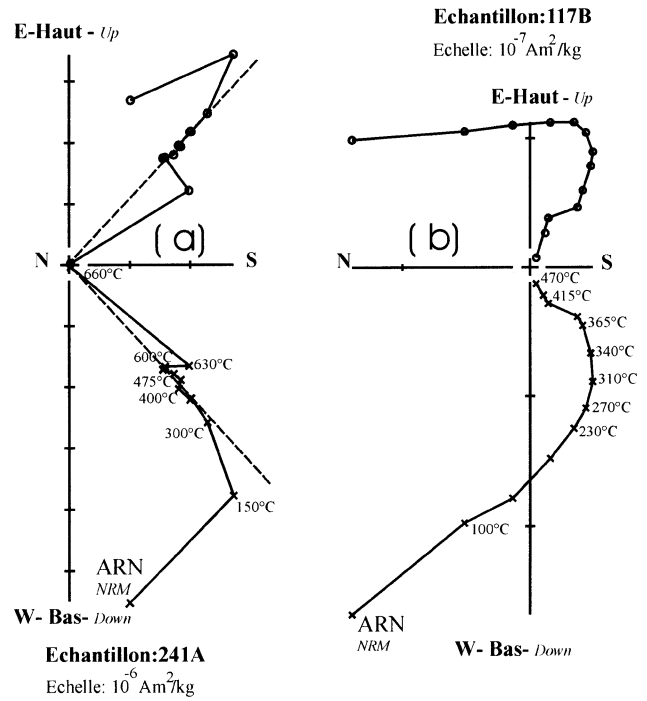


Figure 2. Diagramme de projection orthogonale en coordonnées géographiques. **a.** Échantillon 241A montrant une direction magnétique stable. **b.** Échantillon 117B montrant un recouvrement presque total des spectres de températures de blocage de deux composantes d'aimantation. Projections dans le plan horizontal (cercles) et vertical (croix).

Figure 2. Orthogonal vector plot (geographic coordinates). **a.** Sample 241A showing a stable magnetic direction. **b.** Sample 117B, showing a nearly total overlap of blocking temperature spectra of two components of magnetisation. Projections on horizontal (open symbols) and on vertical (crosses) planes.

le paramètre de précision, déduit à partir de la zone de confiance elliptique, dans la direction perpendiculaire à l'axe du pli [11]). Le test du pli n'est pas significatif, les six sites appartenant au flanc peu incliné de l'anticlinal. Le pôle paléomagnétique correspondant (avant correction de pendage $43,4^\circ\text{S}$, $61,7^\circ\text{E}$, $K = 93$, $A_{95} = 5,9^\circ$) est très proche des pôles de la réaimantation permienne, déterminés précédemment sur la plate-forme saharienne [3, 12]. Cette composante B, portée par l'hématite (température maximale de blocage souvent supérieure à 580°C), constitue donc probablement une réaimantation de cet âge.

3.1.3. ChRMC

La ChRM C (Fig. 2a) a été isolée à partir de 32 échantillons distribués sur six sites (cinq dans le flanc ouest et un dans le flanc est) : $D = 134,8^\circ$, $I = 34,2^\circ$, $k = 96$, $k_\delta = 66$, $\alpha_{95} = 6,9^\circ$ et $D = 133,7^\circ$, $I = 32,6^\circ$, $k = 254$, $k_\delta = 332$, $\alpha_{95} = 4,2^\circ$, respectivement avant et après correction de pendage (Fig. 3). Le paramètre de précision k_δ présente durant une correction de pendage progressive une valeur maximale pour un déplissement de 92% (k_δ

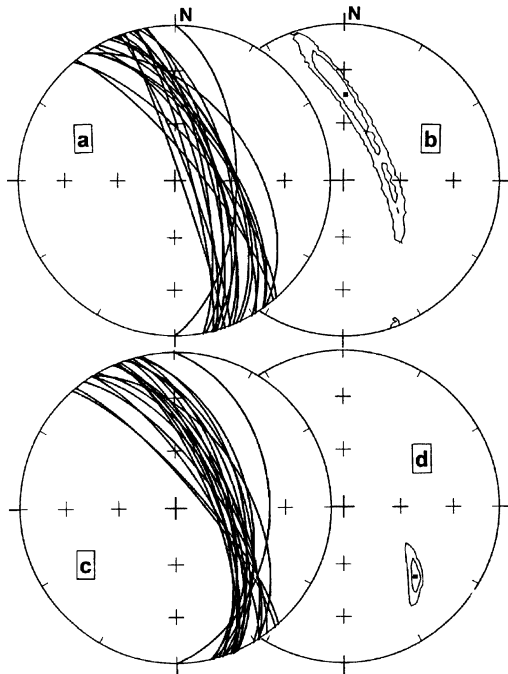


Figure 3. Projection à égale surface (hémisphère inférieur) : cercles de réaimantation (a, c) avec leurs zones de confiance de la meilleure intersection (b, d) à 63 et 95 %, déterminées par la méthode *bootstrap* [10], en coordonnées géographiques (a, c) et stratigraphiques (b, d).

Figure 3. Equal area plot (lower hemisphere): great circles (a, c) with their corresponding confidence zone of the best intersection (b, d) at 63 and 95 % determined using bootstrap method [10], in geographic (a, b) and stratigraphic (c, d) coordinates.

= 341). La différence entre les valeurs de k_{δ} pour un déplissement de 92 et 100 % n'est pas statistiquement significative, et le simple mais rigoureux test du pli de McElhinny [15] est positif à 99 %. La ChRM C est portée par l'hématite, sa température maximale de blocage étant souvent supérieure à 580 °C.

3.2. Direction de la composante C à partir de l'analyse des cercles de réaimantation

La plupart des échantillons présentant une évolution en cercles de réaimantation n'ont pas fourni une direction stable, même en fin de traitement thermique (Fig. 2b). L'analyse des données de grands cercles, utilisant la méthode de Halls [8, 9] a donné une direction d'intersection (après correction de pendage $D = 134,5^{\circ}$, $I = 35,8^{\circ}$) très proche de celle obtenue par les données de ChRM. L'application de la méthode de McFadden et McElhinny [16], intégrant au sein d'un même site à la fois les données de ChRM et de grands cercles, se trouve ainsi justifiée. Elle fournit un résultat ($D = 135,7^{\circ}$, $I = 32,6^{\circ}$, $k = 70$, $\alpha_{95} = 2,4^{\circ}$, après correction de pendage) cohérent avec celui des deux autres approches.

La zone de confiance de la direction d'intersection déterminée par la méthode *bootstrap* [10] de tous les

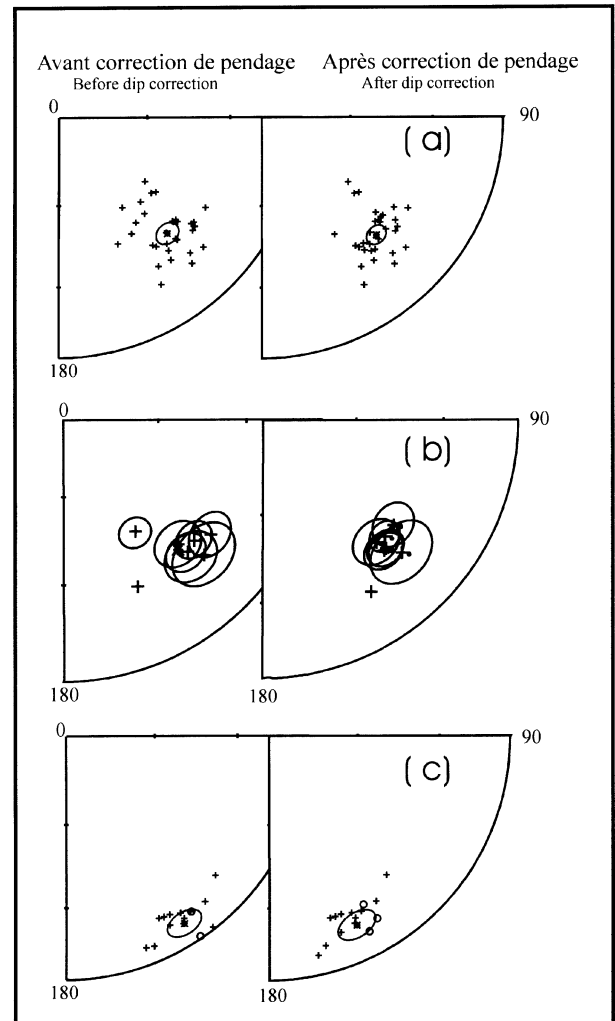


Figure 4. Projection à égale surface dans l'hémisphère inférieur (croix, ligne continue) et supérieur (o, pointillé). a. ChRMs C avec la zone de confiance pour l'ensemble des directions. b. Pour chaque site, direction moyenne de la ChRM C avec, pour les sites ayant plus de deux échantillons donnant une direction significative, la zone de confiance à 95 %. c. ChRMs B, avec la zone de confiance pour l'ensemble des directions.

Figure 4. Equal area plot in the lower (cross, continuous line) and upper (o, dotted line) hemisphere). a. ChRMs C with the confidence zone for all the directions. b. For each site, mean ChRM C direction with, for sites with more than two significant directions, the confidence zone at 95 %. c. ChRMs B with the confidence zone for all the directions.

grands cercles est beaucoup plus réduite après correction de pendage qu'avant (Fig. 3) ; ceci constitue un autre argument en faveur d'un test de pli positif.

Finalement, la direction moyenne de la composante C (moyenne des ChRMs pour deux sites, combinaison ChRMs–grands cercles pour quatre sites et grands cercles pour un site) utilisant 32 données de ChRM et 25 données de grands cercles répartis sur sept sites, est $D = 138,0^{\circ}$, $I = 33,7^{\circ}$, $k = 59$, $k_{\delta} = 58$, $\alpha_{95} = 6,9^{\circ}$ et $D = 136,1^{\circ}$, $I = 31,2^{\circ}$, $k = 130$, $k_{\delta} = 424$, $\alpha_{95} = 4,6^{\circ}$ respectivement avant et après correction de

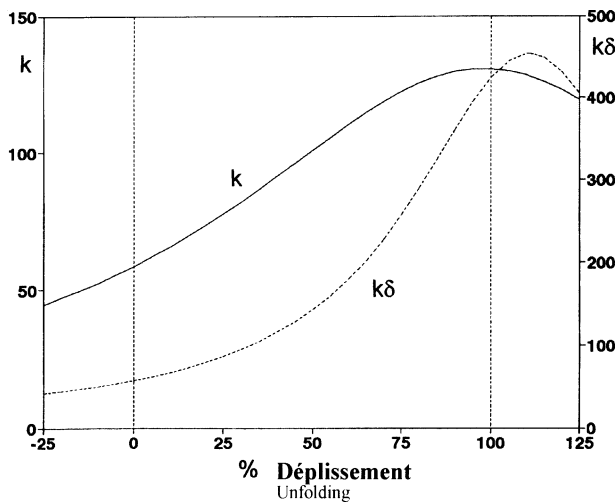


Figure 5. Variation des paramètres k_{δ} [11] et k pendant un déplissement progressif.

Figure 5. Variation of k_{δ} [11] and k parameters during progressive unfolding.

pendage. Le test du pli pour cette nouvelle donnée est positif (Fig. 5) et significatif pour k_{δ} à 99 % [15]. Les valeurs maximales pour k_{δ} et k correspondent respectivement (Fig. 5) à des déplissements de 111 % ($k_{\delta} = 452$) et de 98 % ($k = 131$). Ces valeurs ne sont pas significativement différentes de celles obtenues pour un déplissement de 100 %.

Références

- [1] A. Achab, Le Permo-Trias saharien. Associations palynologiques et leurs applications en stratigraphie, thèse, université d'Alger, 1970.
- [2] A. Attar, J. Fabre, P. Janvier, J.P. Lehmann, Les vertébrés de la formation de Tiguentourine (Permo-Carbonifère, bassin d'Illizi, Algérie), Bull. Mus. Nat. Hist. Nat. Paris, 4^e Série 3C (1981) 301–309.
- [3] L. Daly, E. Irving, Paléomagnétisme des roches carbonifères du Sahara central ; analyse des aimantations juxtaposées ; configurations de la Pangée, Ann. Geophys. 1 (1983) 207–216.
- [4] A.F. de Lapparent, Première description géologique de l'Edjeleh Tan In Azzaoua (NE de l'Ajjers, Sahara), Ann. Soc. Géol. Nord 69 (1949) 86–89.
- [5] M.E.M. Derder, B. Smith, B. Henry, A.K. Yelles, B. Bayou, H. Djellit, R. Ait Ouali, H. Gandriche, Juxtaposed and superimposed paleomagnetic components from folded Middle Carboniferous sediments in the Reggane basin (Saharan Craton, Algeria), Tectonophysics 332 (2001) 403–421.
- [6] M.E.M. Derder, B. Henry, N. Merabet, M. Amenna, S. Bourouis, Upper Carboniferous Palaeomagnetic Pole from stable Saharan Craton and the Gondwana reconstructions, J. Afr. Earth Sci. (sous presse).
- [7] P. Durif, Observations micropaléontologiques (foraminifères) sur le Carbonifère marin du bassin de Fort de Polignac (Sahara oriental), Bull. Soc. géol. France 7 I (1959) 163–165.

4. Discussion et conclusion

Le test du pli positif confirme le caractère précoce de l'aimantation C, qui a été acquise avant le plissement qui a débuté avant ou durant le Stéphano-Autunien [2]. L'isolation de la réaimantation permienne dans certains échantillons montre, par ailleurs, que la composante C ne peut être cette réaimantation permienne. La composante C représente donc l'aimantation primaire des roches de cette formation marine bien datée du Moscovien. Comme elle a été obtenue sur plusieurs niveaux du Moscovien, son pôle paléomagnétique ($28,3^{\circ}\text{S}$, $58,9^{\circ}\text{E}$, $K = 157$, $A_{95} = 4,2^{\circ}$) constitue une nouvelle contribution significative à la connaissance de la CDAP africaine. Il est très proche des pôles paléomagnétiques africains obtenus pour le Carbonifère supérieur : Moscovien [12] et Bashkirien [6] du bassin d'Illizi, Namurien supérieur–Moscovien inférieur [3] et Moscovien inférieur [3] du bassin de l'Ahnet, Namurien [17] et Stéphaniens inférieur [13] du bassin de Tindouf. Ce nouveau résultat, contraint par un test du pli positif, confirme ainsi l'âge de ces différents pôles. L'écart angulaire de ces pôles avec celui du bassin de Reggane [5] pourrait alors être lié à un âge légèrement différent ; les aimantations dans ce dernier bassin sont d'ailleurs les seules à présenter à la fois des polarités normales et inverses parmi tous les pôles permo-carbonifères acquis dans le Craton saharien.

[8] H.C. Halls, A least squares method to find a remanence direction from converging remagnetization circles, Geophys. J. R. Astr. Soc. 45 (1976) 297–304.

[9] H.C. Halls, The use of converging remagnetization circles in paleomagnetism, Phys. Earth Planet. In. 16 (1978) 1–11.

[10] B. Henry, Confidence zone from remagnetization circles: a new possibility for the fold tests, Europ. Un. Geosciences 10, Strasbourg, France, 1999.

[11] B. Henry, M. Le Goff, A new tool for palaeomagnetic interpretation: the bivariate extension of the Fisher statistics, in: XIXth Gen. Assemb. Europ. Geophys. Soc., Grenoble, France, 1994, p. 123.

[12] B. Henry, N. Merabet, A. Yelles, M.E.M. Derder, L. Daly, Geodynamical implications of a Moscovian palaeomagnetic pole from the stable Sahara Craton (Illizi Basin, Algeria), Tectonophysics 201 (1992) 83–96.

[13] B. Henry, N. Merabet, H. Bouabdallah, S. Maouche, Nouveau pôle paléomagnétique stéphaniens inférieur pour le craton saharien (formation de Merkala, bassin de Tindouf, Algérie), C. R. Acad. Sci. Paris, série IIA 329 (1999) 161–166.

[14] M. Legrand-Blain, Le Carbonifère marin du bassin d'Illizi (Sahara algérien oriental). Mise au point stratigraphique, C. R. somm. Soc. géol. France 3 (1980) 81–83.

[15] M.W. McElhinny, Statistical significance of the fold test in paleomagnetism, Geophys. J. R. Astr. Soc. 8 (1964) 338–340.

Pour citer cet article : B. Bayou et al., C. R. Geoscience 334 (2002) 81–87

[16] P.L. McFadden, M.W. McElhinny, The combined analysis of remagnetization circles and direct observations in palaeomagnetism, *Earth Planet. Sci. Lett.* 87 (1988) 161–172.

[17] N. Merabet, B. Henry, H. Bouabdallah, S. Maouche, Paleomagnetism of the Djebel Reouiana Namurian formation (Tindouf Basin, Algeria), *Stud. Geophys. Geod.* 43 (1999) 376–389.