

## Géodynamique

# Événements panafricains dans l'Adrar Souttouf (Sahara marocain)

Michel Villeneuve<sup>a,\*</sup>, Hervé Bellon<sup>b</sup>, Abdelkrim El Archi<sup>c</sup>, Mohamed Sahabi<sup>c</sup>,  
Jean-Pierre Rehault<sup>b</sup>, Jean-Louis Olivet<sup>d</sup>, Abdel M. Aghzer<sup>c</sup>

<sup>a</sup> FRE CNRS 2761, université de Provence, 3, place Victor-Hugo, 13331 Marseille cedex 03, France

<sup>b</sup> UMR CNRS 6538, université de Bretagne occidentale, place Nicolas-Copernic, 29280 Plouzané, France

<sup>c</sup> Département de géologie, université Chouaib-Doukkali, BP 299, 24000 El Jadida, Maroc

<sup>d</sup> Ifremer, Centre de Brest, BP 370, 29280 Plouzané, France

Reçu le 27 juillet 2005 ; accepté après révision le 7 février 2006

Disponible sur Internet le 18 avril 2006

Présenté par Jean Aubouin

## Résumé

Le massif de l'Adrar Souttouf, au Sahara marocain, est l'un des tronçons le plus septentrionaux de la chaîne des Mauritanides. Pendant longtemps, ce tronçon a été considéré comme hercynien et lié à la chaîne Appalaches-Mauritanides. La découverte, dans sa partie la plus méridionale, d'éclogites dont les zircons ont livré un âge Panafricain (595 Ma), ouvrait l'hypothèse d'une chaîne polyphasée, comme les Mauritanides centrales et méridionales. Nos travaux récents au centre de l'Adrar Souttouf, soutenus par des datations K–Ar sur roche totale et minéraux séparés, montrent que cette chaîne est bien polyphasée. Les datations indiquent la présence d'un noyau panafricain très diversifié au cours d'épisodes d'âges compris entre 1000 et 500 Ma, avec des indices d'un environnement océanique et une remobilisation hercynienne importante. L'événement métamorphique proche de 1000 Ma est inhabituel en Afrique de l'Ouest. **Pour citer cet article :** M. Villeneuve et al., *C. R. Geoscience 338 (2006)*.

© 2006 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

## Abstract

**Panafrican events within the Adrar Souttouf Massif (Moroccan Mauritanides).** The Adrar Souttouf belt (Western Sahara) lies in the northern part of the Mauritanide belt and was considered as a part of the Hercynian Mauritanian–Appalachian belt. Recently the presence of a Panafrican protolith (595 Ma) was evidenced by the age of inherited zircons from an eclogitic unit and led to consider complex Panafrican events included in the Hercynian belt, as in the central and southern Mauritanide belt. Our new field survey completed by ten K–Ar dating (whole rocks and separate minerals) confirmed that multiphased Panafrican formations outcrop within the center of the Adrar Souttouf massif. Diverse events ranged from ca. 1000 to 500 Ma, some of them being indicative of an oceanic type environment and metamorphism. The 1000 Ma metamorphic event is recorded for the first time in the West African craton. A large Hercynian remobilisation is also evidenced. **To cite this article:** M. Villeneuve et al., *C. R. Geoscience 338 (2006)*.

© 2006 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

**Mots-clés :** Afrique de l'Ouest ; Sahara ; Mauritanides ; Panafricain ; Hercynien ; Datations radiochronologiques

**Keywords :** West Africa; Sahara; Mauritanian belt; Panafrican; Hercynian; Radiometric datations

\* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : [mville@up.univ-mrs.fr](mailto:mville@up.univ-mrs.fr) (M. Villeneuve).

## Abridged English version

### 1. Introduction

The Adrar Souttoug massif is the northern part of the Mauritanide belt, which extends from the Morocco to the Senegal where it is linked to the Bassarides and Rokelides belts (Fig. 1A). This Mauritanide belt delineated for the first time and named by Sougy [19,20] has been studied by a lot of geologists (of his group and others) since this time, mainly in the central and southern parts. But the northern part, which includes the Adrar Souttoug massif and the Dhlou belt have been neglected, comparatively to the other segments. This results from the politics and military conflicts acting there during the second half of the 20th century.

After the first geological investigations by Spanish geologists [1,2,7,15] concluding to a Mesozoic sedimentary series covering an Archean basement, Sougy [20] favoured an allochthonal scenario with a ‘metamorphic nappe’ overriding the Palaeozoic sedimentary cover, on the western side of the Adrar Souttoug massif. This was enhanced by Bronner et al. [3] and Marchand et al. [12], who proposed a ‘klippen structure’ with metamorphic units capping the Paleozoic sedimentary cover.

Recent works in the Mauritanian belt [10], were dedicated to an eclogitic outcrop and its precise dating yielded a 330-Ma Sm–Nd age, considered by the authors, as a Hercynian age setting. Since several years, geologists from the Moroccan Geological Survey are mapping this part of the Sahara and attributed epimetamorphic units to the Neoproterozoic [16].

Our new cooperative investigations point out several Panafrican events in the central part of the Adrar Souttoug massif.

### 2. Geological setting

This area is a part of the West African belts, surrounding the West African craton where three different belts are distinguished (Fig. 1A): the Bassaride belt in the northern Guinea and southern Senegal (metamorphism at 660–650 Ma); the Rokelide belt from Guinea to Liberia (metamorphism at 550–500 Ma) and the Mauritanide belt from Senegal to southern Morocco (Anti-Atlas) which includes the Bassaride basement and the Paleozoic cover with a metamorphism ca. 330–270 Ma.

In the Adrar Souttoug area, Sougy [19,20] pointed out the thrusting of metamorphic units with basal mylonite over the sedimentary pile, Ordovician to De-

vonian in age, when Le Goff et al. [10] evidenced an Hercynian metamorphism and a Panafrican protolith on the basis of highly precise Sm–Nd and U–Pb datings. The Adrar Souttoug massif mainly consists of five SW–NE elongated structural units (Fig. 1B, C): (1) the Oued Togba unit consisting of metamorphic and granitic rocks; (2) the Sebkha Gezmayet unit made of metamorphic and granitic rocks; (3) the Dayet Lawda unit mainly with ultrabasic rocks; (4) the Sebkha Matallah unit consisting of metamorphic rocks; (5) the Dhloa Ensour unit with Ordovician to Devonian sediments. These units are, to the west, capped by the Meso-Cenozoic sediments of the Atlantic Coastal basin and to the east, the Palaeozoic covers rest upon the Archean basement of the Reguibat uplift.

### 3. Structure of the Matallah area

The Matallah area (Fig. 2) includes the Sebkha Gezmayet unit, the Dayet Lawda unit and the Matallah unit. Based on new whole rocks and separated minerals K–Ar datings (Table 1), carried on ten samples characteristic of the formations, we propose a new geological scheme of this Adrar Souttoug massif.

The Sebkha Gezmayet unit contains metamorphic (mylonites, gneiss, micaschists) and granitic rocks. All of them intruded by basaltic dykes. The sample D 44 displays a 665-Ma whole Rocks age.

The Dayet Lawda unit includes four formations: (1) formation A with amphibolitic rocks which contain the sample D 49 for which the whole rock has been dated to 396 Ma; (2) formation B contains olivine-gabbros. One gabbro (D 72) yields a 1060 Ma whole rocks age; (3) formation C contains gabbros, amphibolites and basalts. One sample (D 56) from this latter unit displays a ‘whole rock’ age of 773 Ma. But amphiboles separated from cataclastic granites (D 52) display an age of 953 Ma; and (4) formation D contains gabbros and gabbros-diorites among which three samples (D 58, D 59 and D 78) give results circa 500 Ma.

A gabbro (D 75b), at the contact between formations C and D, displays a whole rocks age of 274 Ma, but separated feldspars are 251 Ma old. An age ca. 300 Ma can be presumed for this gabbro rejuvenated at least for its feldspars.

The Sebkha Matallah unit contains various metamorphic rocks (amphibolites, migmatites and phylladic rocks). Amphiboles separated from a gabbro-diorite (D 60) included in this unit display an 1109 Ma age, but the whole rock datation displays a 1761 Ma age.

The tectonic framework shows a SW–NE shistosity with a 20° to 60° dip to the NW in the metamor-

phic rocks but a lot of gabbros and basalts exhibits a very light deformation comparatively to the metamorphic rocks.

#### 4. Discussion

The major part of results range from 1110 to 251 Ma (Table 1), and four main groups could be distinguished, taking account of age data carried both on whole rock and separated minerals for three samples.

A first group includes ages ca. 1100–1000 Ma, as shown by three samples: amphiboles from D 60 and D 52 and whole rock D 72. This kind of age was totally unknown in West Africa except for doleritic dykes intruding the Reguibat or the Leo uplifts. These results could be linked to a metamorphic or magmatic event and could have to be compared with the ‘Grenvillian ages’ in the North American craton. A link with the Rodinia Ocean has also been evocated [14].

A second cluster of results, between 733 and 660 Ma, has to be compared with ages reported from the Basaride Belt, outcropping in the Central Mauritanide belt. Two main units have been distinguished there: an ultrabasic unit to the east [6] older than 660 Ma and a western metamorphic unit displaying a 680 to 660 Ma ages [25].

A third group of ages is close to 500 Ma. Three samples, which display ages from 514 to 485 Ma, show, in thin section, no trace of remobilisation. This could be the witness of a magmatic event around 500 Ma.

The whole rock age of 274 Ma of the gabbro D 75b results from the rejuvenation of its feldspars at 251 Ma. The true age should be close to that of the Hercynian orogen, ca. 300 Ma. A Permo-Triassic remobilisation related with the initiation of the Atlantic Ocean opening can be suspected there. Similarly the 396 Ma age for sample D 49, at the contact between Sebkhah Gezmayet and Dayet Lawda units, is suspected to have been rejuvenated during the Hercynian event. The 1761-Ma age of the D 60 (whole rock) is linked to the Archean basement rejuvenation

If the Panafrican and Hercynian tectonic events, well known in the Central Mauritanide belt or in the Anti-Atlas belt, have been evidenced in this area, no evidence of sediments belonging to the Neoproterozoic cover observed in the Central Mauritanides and the Anti-Atlas belt has been observed up to now, in the Adrar Souttouf area.

#### 5. Conclusion

Our field work and radiometric investigations are in good agreement with the previous [9] and with the ge-

ological background of the surroundings parts of the Mauritanide belt namely several Panafrican events remobilised by the Hercynian orogen which led to the Mauritanian-Appalachian system during the 330 to 270 Ma period.

Four main events have been established during the Panafrican, respectively ca. 733, 660, 595 and 500 Ma. The lack of Neoproterozoic sediments remains a large question in this area. Magmatic and metamorphic events close to 1000 Ma in this part of West Africa have been evidenced, but remain still unrelated with major geodynamic processes at this time.

### 1. Introduction

Le massif de l’Adrar Souttouf fait géologiquement partie, avec celui du Dhlou-Zemmour, du tronçon septentrional de la chaîne des Mauritanides, laquelle s’étend jusqu’au Sénégal, où elle est relayée par la chaîne des Rokélides jusqu’en Sierra Leone (Fig. 1A).

Les grandes lignes des Mauritanides ont été tracées en 1962 et 1964 par J. Sougy [19–21]. Depuis, de nombreux auteurs de son équipe et d’autres se sont attachés à étudier ses caractéristiques, notamment celles des tronçons central et méridional. Le tronçon septentrional, qui affleure dans l’ex-« rio de Oro » a, lui, été très peu étudié à cause des difficultés d’accès.

Les premiers géologues espagnols, Quiroga [15], Alia Medina [1], De la Vina et Cabezon [7] et Arribas [2], ont mis en évidence des formations métamorphiques précambriennes, recouvertes par des sédiments principalement du Silurien. Par la suite, Sougy [8,18], au cours d’une courte mission de reconnaissance dans la partie orientale du massif, a mis en évidence le caractère allochtone des formations métamorphiques sur les sédiments paléozoïques.

En établissant un parallèle avec la partie sud des Mauritanides, il conclut à la présence d’une chaîne issue de l’orogénèse hercynienne. Le caractère allochtone a été généralisé à tel point, que Bronner et al. [3] et Marchand et al. [12] ont considéré ce tronçon comme un empilement de nappes (dix nappes superposées de plus en plus métamorphiques de la base vers le sommet) formant un synclinal (de nappes) et reposant, soit directement sur le socle archéen de la dorsale Reguibat, soit sur sa couverture paléozoïque fossilifère ordovicienne à dévonienne

Ce caractère allochtone est représenté sur la carte géologique du Maroc au 1:1 000 000 [4]; mais, en l’absence de datations isotopiques, l’Adrar Souttouf gardait son statut de chaîne hercynienne remobilisant des terrains d’âge indéterminé.

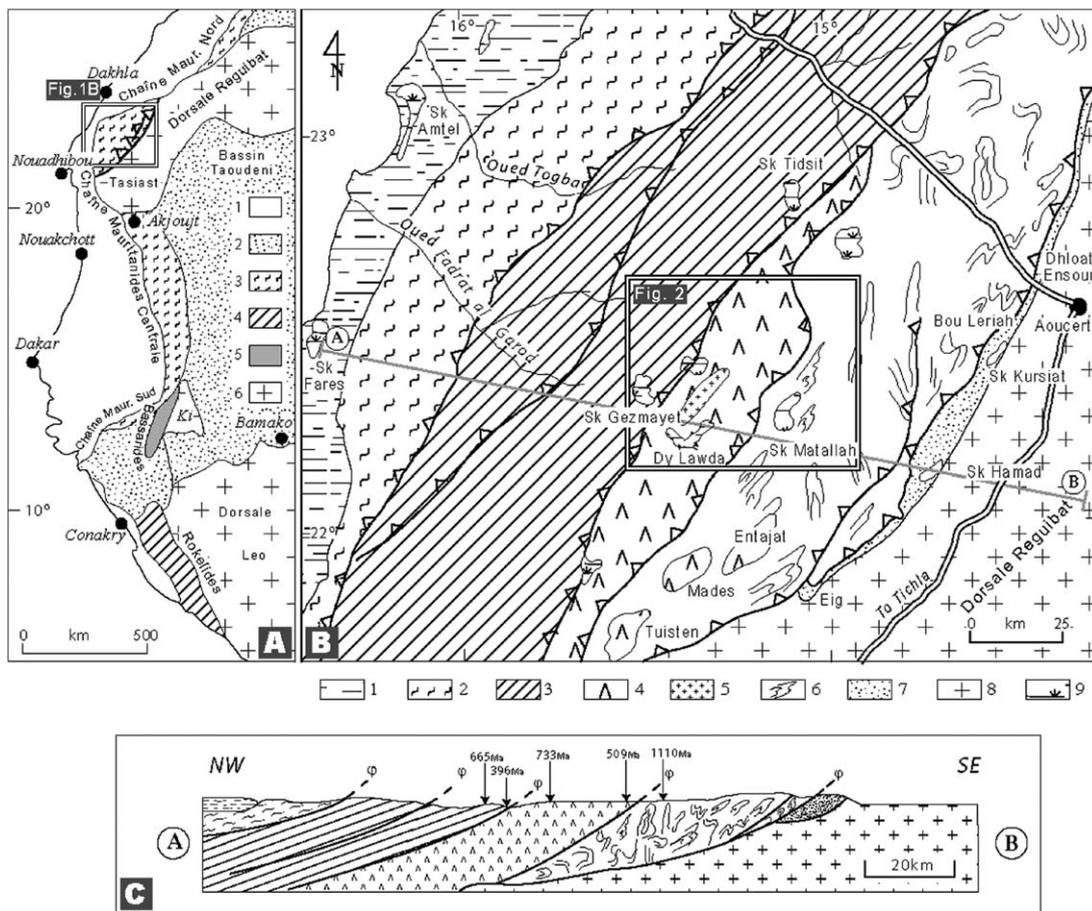


Fig. 1. Localisation et géologie de l'Adrar Souttouf en Afrique de l'Ouest. (A) Les chaînes de la bordure occidentale du craton ouest-africain. 1 – Formations mésozoïques et cénozoïques. 2 – Bassins sédimentaires protérozoïques et paléozoïques. 3 – Chaîne hercynienne. 4 – Chaîne des Rokélides (Panafricain II). 5 – Chaîne des Bassarides (Panafricain I). 6 – Substratum birrimien ou archéen. (B) Schéma géologique de l'Adrar Souttouf. 1 – Formations mésozoïques et cénozoïques. 2 – Unité de l'Oued Togba. 3 – Unité de Sebkhha Gezmayet. 4 – Unité de Dayet Lawda. 5 – Granites de l'unité de Dayet Lawda. 6 – Unité de Sebkhha Matallah. 7 – Unité de Dhloat Ensour. 8 – Dorsale Reguibat. 9 – Dépôts quaternaires dans les sebkhhas. (C) Coupe schématique AB de la Fig. 1B. Voir légende de la Fig. 1B.

Fig. 1. Location and geology of the Adrar Souttouf in West Africa. (A) Belts on the western side of the West African craton. 1 – Mesozoic-Cenozoic formations. 2 – Proterozoic and Paleozoic sedimentary basins. 3 – Hercynian belt. 4 – Rokélides (Panafrican II) Belt. 5 – Bassaride (Panafrican I) Belt. 6 – Birrimian and Archean basement. (B) Geological sketch map of the Adrar Souttouf. 1 – Mesozoic-Cenozoic formations. 2 – Oued Togba unit. 3 – Sebkhha Gezmayet unit. 4 – Dayet Lawda unit. 5 – Granites within the Dayet Lawda unit. 6 – Sebkhha Matallah unit. 7 – Dhloat Ensour unit. 8 – Reguibat basement. 9 – Quaternary deposits in sebkhhas. (C) Sketch of AB section in Fig. 1B. Same symbols as in Fig. 1B.

Récemment, les géologues du BRGM [10] travaillant dans le Tasiast de Mauritanie ont découvert des écolites dans un secteur situé au sud de l'Adrar Souttouf. Les datations U–Pb de cristaux individuels de zircon indiquent un âge de 595 Ma pour le protolite, qui est donc d'âge Panafricain. La datation Sm–Nd à 330 Ma de ces écolites révèle un métamorphisme hercynien. Ainsi, pour la première fois, a été démontrée la présence de reliques panafricaines au sein de cet ensemble géologique. De leur côté, les équipes du service géologique du Maroc ont attribué certaines unités épimétamorphiques au

Néoprotérozoïque, malgré l'absence de fossiles et de datations radiométriques [16].

Nos travaux réalisés au cours d'une première mission effectuée en novembre 2002, dans la partie orientale de l'Adrar Souttouf, permettent de montrer que le cœur de cette chaîne est bien d'âge Panafricain, grâce notamment à de nouvelles datations par la méthode potassium-argon sur roches totales et minéraux séparés, présentées dans le Tableau 1. Ce Panafricain comprend, en fait, plusieurs événements : on y trouve des âges à 660–650 Ma, et d'autres autour de 500 Ma.

Tableau 1

Résultats des datations potassium–argon sur roche totale (RT) et minéraux séparés (Amp, amphibole et Fds, feldspath) des faciès magmatiques et métamorphiques caractéristiques constituant la zone de Matallah dans le massif de l'Adrar Souttouf. Sur la colonne 2, les âges moyennés sont calculés à partir de deux lignes au moins du tableau pour un échantillon. Les résultats en italiques rappellent les âges calculés à partir d'une seule détermination pour un échantillon

Table 1

Isotopic K–Ar datings for whole rock (RT) and separated minerals (Amp, amphibole and Fds, feldspar) of characteristic magmatic and metamorphic facies collected in the Matallah zone within the Adrar Souttouf massif. In column 2 is listed the mean age for one sample when more than one determination was done for it. In other cases the age is indicated in italics

Échantillon	Coordonnées	Âge moyen ± incertitude (Ma)	N° exp	Âge ± Inc (Ma)	<sup>36</sup> Ar exp (10 <sup>-9</sup> cm <sup>3</sup> )	<sup>40</sup> Ar* (%)	<sup>40</sup> Ar*/g (10 <sup>-7</sup> cm <sup>3</sup> )	K <sub>2</sub> O (%)	Poids (g)
Gezmayet									
D 44 RT	N22°23'04.2 W15°30'08.5	665 ± 16	6417-8	657.0 ± 15.1	1.48	94.7	260.60	1.02	0.3008
			6424-7	661.1 ± 15.2	1.37	95.2	262.60		0.3087
			6393-2	675.9 ± 15.5	1.32	95.5	269.60		0.3057
Lawda A									
D 49 RT	N22°22'20.1 W15°25'44.4	396 ± 9	6818-5	394.8 ± 9.1	1.42	91.2	122.40	0.86	0.3560
			6819-6	398.0 ± 9.2	1.25	89.4	123.50		0.2514
Lawda B									
D 72 RT	N22°34'25.3 W15°13'18.8	1061 ± 25	6394-3	1065.9 ± 24.9	1.77	79.3	65.59	0.14	0.3057
			6397-6	1056.7 ± 24.7	1.71	79.6	64.83		0.3037
Granite de Lawda									
D 52 RT	N22°21'11.0 W15°20'44.9	623	6532-1	622.7 ± 14.3	1.87	94.6	316.50	1.32	0.3084
D 52 Fds		555 ± 13	6616-7	547.7 ± 12.6	0.94	95.0	173.30	0.84	0.3033
			6540-9	563.1 ± 13.0	1.33	93.2	178.90		0.3001
D 52 Amp		953 ± 23	6538-7	967.5 ± 22.6	2.73	96.0	639.70	1.55	0.3006
			6618-9	938.2 ± 21.5	1.84	97.2	614.90		0.3014
Lawda C									
D 56 RT	N22°20'42.3 W15°18'08.3	733 ± 17	6361-1	733.4 ± 17.1	2.40	81.8	78.77	0.27	0.4035
			6372-3	733.4 ± 17.0	1.19	87.2	78.76		0.3031
D 75b RT	N22°28'50.7 W15°13'50.2	274 ± 12	6615-6	262.1 ± 6.1	1.73	88.2	123.70	1.36	0.3129
			6534-3	286.1 ± 6.6	2.15	87.5	135.90		0.3079
D 75b Fds		251 ± 6	6537-6	247.8 ± 5.7	2.06	92.1	216.70	2.53	0.3300
			6617-8	253.5 ± 5.8	2.14	91.4	222.00		0.3029
Lawda D									
D 58 RT	N22°20'09.8 W15°15'00.5	514 ± 12	6690-2	505.3 ± 11.8	0.91	78.7	48.88	0.26	0.2029
			6692-4	522.6 ± 12.2	0.77	82.0	50.81		0.2052
D 59 RT	N22°19'17.5 W15°10'01.2	509	6837-3	509.3 ± 11.9	2.11	79.9	55.02	0.29	0.4512
D 78	N22°22'07.6 W15°11'51.1	484	6844-7	483.9 ± 11.1	1.17	91.9	110.90	0.62	0.3508
Matallah									
D 60 RT	N22°19'17.5 W15°09'13.7	1761 ± 42	6282-2	1718.5 ± 39.1	2.11	89.3	259.30	0.28	0.2018
			6533-2	1805.0 ± 41.5	2.17	92.9	280.10		0.3012
D 60 Amp		1110 ± 26	6539-8	1134.0 ± 26.0	1.41	90.3	127.30	0.25	0.3041
			6613-4	1084.4 ± 25.0	1.13	91.6	119.80		0.3044

## 2. Cadre géologique

Les Mauritanides font partie du réseau de chaînes qui entourent de toutes parts le craton ouest-africain. Sur la bordure occidentale de ce craton, on distingue [24] trois

chaînes principales : (1) la chaîne des Bassarides, au Sénégal et en Guinée, structurée au cours de l'orogénèse du Panafricain I, vers 660–650 Ma ; (2) la chaîne des Rokérides, en Guinée, Sierra Leone et Liberia, tectonisée au cours du Panafricain II, autour de 550 Ma ; (3) la

chaîne des Mauritanides dans son ensemble, du Sénégal jusqu'au Maroc, qui a subi l'orogénèse hercynienne de 330 à 300 Ma.

Au Sénégal et en Mauritanie, la chaîne hercynienne remobilise fortement une partie des Bassarides qui constituaient, à cet endroit, son substratum anté-paléozoïque.

Au Maroc méridional, les deux tronçons affleurants de cette chaîne, l'Adrar Souttouf et la chaîne du Dhlou [5] montrent pour le premier une remobilisation d'un socle ancien et la déformation de sa couverture paléozoïque et pour l'autre, le plissement de la couverture sédimentaire néoprotérozoïque et paléozoïque (Fig. 1A). Il est montré, dans la chaîne du Dhlou [5,21], que la partie occidentale du bassin de Tindouf était fortement plissée et écaillée voire chevauchante [18]. Dans l'Adrar Souttouf, Sougy [19,20] a montré que des unités épi-métamorphiques débutant par des mylonites et d'âge inconnu reposaient en nappes sur la couverture paléozoïque plissée (notamment au Guelb Bou Leriah). Les éclogites panafricaines (dont l'âge a pu être déterminé grâce zircons hérités) ont été fortement métamorphisées lors de cette orogénèse hercynienne [10], puisque les grenats ont été datés de 330 Ma.

Ce massif de l'Adrar Souttouf, orienté SSW–NNE, est recouvert, à l'ouest et au nord, par la couverture

mésozoïque du bassin côtier atlantique. À l'est, la couverture du Paléozoïque (débutant à l'Ordovicien) repose sur la dorsale Reguibat laquelle a livré des âges archéens (2500–3000 Ma) à l'ouest et des âges birrimiens (1800–2000 Ma) au nord et à l'est.

Les Figs. 1B et C montrent que ce tronçon de chaîne est constitué de nappes empilées les unes sur les autres, d'ouest en est. Ces nappes ont été regroupées en cinq grandes unités avec de l'est vers l'ouest, c'est-à-dire de la base vers le sommet de l'empilement : (1) l'unité de Dhloa Ensour, sédimentaire, d'âge Ordovicien à Dévonien, (2) l'unité de la Sebkhia Matallah, très diversifiée comprenant des migmatites et des phyllades, (3) l'unité de Dayet Lawda, principalement constituée de roches basiques et ultrabasiques, (4) l'unité de la Sebkhia Gezmayet, métamorphique (micaschistes et gneiss) et granitique et (5) l'unité de l'Oued Togba, métamorphique (micaschistes et gneiss).

### 3. Structure de la zone de Matallah

La zone de Matallah (Fig. 2) est à cheval sur les unités de la Sebkhia Gezmayet, de Dayet Lawda et de la Sebkhia Matallah. Dix roches parmi les plus caractéristiques de ces unités ont fait l'objet de datations par la méthode potassium–argon présentées dans le Tableau 1.

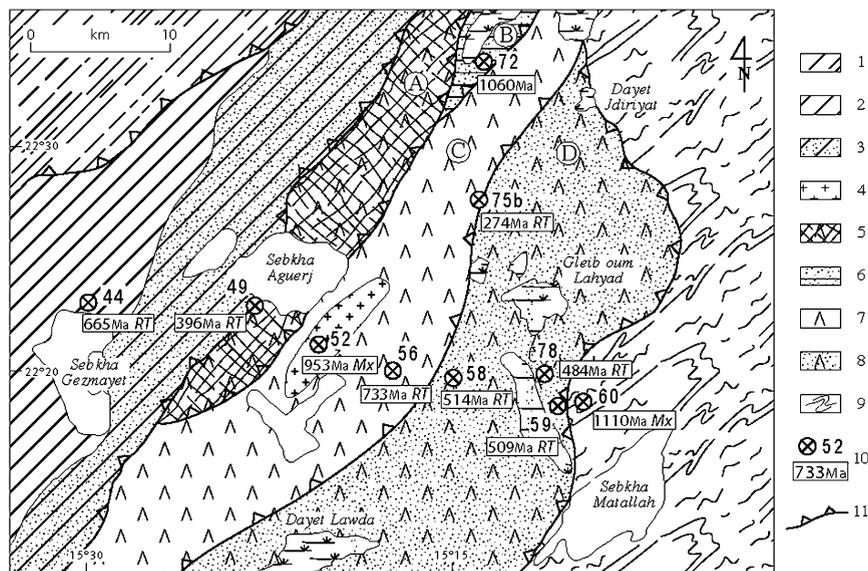


Fig. 2. Schéma géologique de la zone de Sebkhia Matallah. 1 – Dépôts quaternaires dans les sebkhas. 2, 3 – Unité de Sebkhia Gezmayet. 4 – Granites de l'unité de Dayet Lawda. 6 – Formation B de l'unité de Dayet Lawda. 7, 8 – Formations C et D de l'unité de Dayet Lawda. 9 – Unité de Sebkhia Matallah. 10 – Localisation, Numéro et âges en Ma (Millions d'années) des échantillons datés (sur Roche totale RT ou minéraux MX). 11 – Principaux chevauchements.

Fig. 2. Geological Sketch Map of the Sebkhia Matallah area. 1 – Quaternary deposits in sebkhas. 2, 3 – Sebkhia Gezmayet unit. 4 – Granites within the Dayet Lawda unit. 5 – Formation A of the Dayet Lawda unit. 6 – Formation B of the Dayet Lawda unit. 7 – Formation C of the Dayet Lawda unit. 8 – Formation D of the Dayet Lawda unit. 9 – Sebkhia Matallah unit. 10 – Location, code and age (in Ma) of samples for K–Ar datings. 11 – Main thrusts.

Les résultats permettent de différencier les unités suivies à l’affleurement. Ces âges ont été mesurés sur roche totale (fraction granulométrique de 300 à 180  $\mu\text{m}$ ) et/ou sur les minéraux séparés par tri magnétique sur la fraction 180 à 100  $\mu\text{m}$ . Les résultats sont donnés en millions d’années (Ma) et l’incertitude calculée pour un écart type en adoptant les constantes de Steiger et Jäger [22], selon l’équation de Mahood et Drake [11].

L’unité de la sebkha Gezmayet est constituée essentiellement par des granites orientés, mylonitiques, des granites à grenats, des gneiss à amphiboles, des mica-schistes, des rhyodacites, et des amphibolites finement litées. On note des intercalations de matériel basique (basaltes principalement) à débit en boules, ainsi que des quartzites fortement engrenés. Ces roches sont recoupées par des filons de basalte. L’échantillon D 44 a fourni un âge de 665 Ma sur roche totale.

L’unité de Dayet Lawda est constituée essentiellement par des gabbros, des amphibolites, des serpentines et des basaltes. Sur la Fig. 2, nous avons distingué quatre sous-unités différentes, de l’est vers l’ouest :

- **la sous-unité A**, qui contient des gneiss à amphibole, des amphibolites, des granites lités et des filons de dolérite. L’échantillon D 49, daté de 396 Ma sur roche totale, appartient à cette sous-unité ;
- **la sous-unité B**, qui comprend en particulier des gabbros à texture doléritique, à cristaux d’olivine serpentinisée et à plagioclases et amphiboles sans trace de déformation. Ces roches évoquent les conditions métamorphiques du faciès granulitique. Les amphiboles séparées de ce gabbro (D 72) ont livré un âge de 1061 Ma ;
- **la sous-unité C**, qui est constituée principalement de gabbros, de basaltes, d’amphibolites et de péridotites. Les basaltes (D 56) ont livré un âge sur roche totale de 733 Ma. C’est dans cette sous-unité que se trouvent les granites à enclaves sombres (D 52), dont les relations géométriques avec les basaltes et les gabbros ne sont pas reconnues ;
- **la sous-unité D**, qui comprend surtout des gabbros et des gabbros-diorites. Les échantillons D 58, D 59 et D 78 provenant de cette formation ont fourni des âges voisins de 500 Ma. L’échantillon de gabbro D 75b qui se trouve au contact tectonisé, entre les sous-unités C et D, a livré un âge de 274 Ma sur roche totale.

L’unité de la Sebkha Matallah est pétrographiquement très hétérogène et comprend aussi bien des granites, des migmatites et des amphibolites que des phyllades siliceuses ou calcareuses, des quartzophyllades,

des mylonites ou des quartzites, d’âge encore inconnu. Cependant, dominent des roches granitiques et amphibolitiques à grandes amphiboles. Les amphiboles séparées d’un gabbro dioritique (D 60) ont livré un âge de 1110 Ma.

Tectoniquement, ces unités sont relativement homogènes, tout au moins dans la direction des schistosités qui varient en direction entre 20°N et 60°N, avec un pendage globalement vers l’ouest.

Dans l’unité de la Sebkha Gezmayet, les linéations et schistosités de type flux, sont déformées en plis P2 à plans axiaux subverticaux ou fortement pentés vers l’ouest et de direction en moyenne 60°N à 80°N (accompagnés d’une schistosité de type fracture).

Dans l’unité de Dayet Lawda, les gneiss et amphibolites sont fortement schistosés, alors que les gabbros et les basaltes ne présentent que de la fracturation. La schistosité varie de 60°N à 135°N. À ce stade de l’étude, il est difficile d’y distinguer plusieurs phases tectoniques distinctes. Des filons de granites ou de basaltes recoupent ces sous-unités métamorphiques dans plusieurs directions.

#### 4. Discussion et interprétation

Les résultats des datations isotopiques du Tableau 1 s’étalent entre 1109 et 251 Ma. On peut, cependant, y distinguer quatre groupes d’âges que l’on discute ci-dessous, en tenant compte des résultats obtenus sur les couples « roche totale–minéraux séparés » de plusieurs échantillons.

##### 4.1. Les âges autour de 1100–1000 Ma

Les amphiboles séparées du gabbro D 60 et la roche totale du gabbro dioritique D 72 ont livré des âges voisins, respectivement de 1109 et 1060 Ma, alors que la roche totale du gabbro D 60 a fourni un résultat de 1761 Ma. Si les amphiboles séparées du granite D 52 indiquent un âge de 953 Ma, le résultat sur la roche totale (623 Ma) montre que ce granite a subi une remobilisation, au moins tectonique, qui a rouvert les systèmes « feldspaths » rajeunis à 555 Ma. On peut considérer, au moins pour le gabbro D 60, qu’il s’agit du rajeunissement d’une formation plus ancienne, par exemple des complexes ultrabasiques du socle archéen de la dorsale Reguibat datés à 2500 Ma dans le Tasiast [13] ou du Protérozoïque inférieur, comme dans le Zemmour blanc. L’état de fraîcheur des minéraux du D 72 nous fait pencher pour l’appartenance à un protolite de 1000 à 1100 Ma. Mais de tels âges sont très rares en Afrique de l’Ouest. Ils ne sont connus que dans les filons de do-

lérique qui traversent le craton ouest-africain. Or, il s'agit ici de massifs de gabbros.

Des âges compris entre 1000 et 900 Ma sont également fournis par des charnockites prélevées en forage au pied de l'escarpement de Mazagan [17], au large d'El Jadida. Ces âges sont à rapprocher de ceux de l'orogénèse « Grenvillienne », présente sur la marge orientale du bouclier d'Amérique du Nord. Ces témoins probables d'une croûte inférieure signaleraient un fort amincissement crustal et la proximité d'un domaine océanique. On peut penser qu'il s'agirait de reliques d'un océan protérozoïque qui, à cette époque, entourait le continent Rodinien [14].

#### 4.2. Les âges compris entre 750 et 660 Ma

Un basalte nondéformé de l'unité de Dayet Lawda a donné un âge de 733 Ma sur roche totale, proche de ceux rencontrés dans les Mauritanides centrales (unités d'El Aouejja et de l'Oued Amour) [8,9] et qui correspondraient à des ophiolites rattachées à la chaîne des Bassarides [6]. L'âge de 665 Ma sur roche totale, fourni par les filons de basalte de l'unité de la Sebkhah Gezmayet (D 44), post-date toutes les formations métamorphiques encaissantes. Si ce métamorphisme est lié à l'orogénèse du Panafricain I, celle-ci est plus précoce que dans les Bassarides, composées de deux parties : (1) les Bassarides orientales constituées de reliques océaniques mal datées, mais antérieures à 660 Ma, âge du métamorphisme qui affecte ces séries océaniques [6], et (2) les Bassarides occidentales granito-gneissiques qui contiennent des massifs granitiques calco-alcalins, d'âge compris entre 680 et 660 Ma [24]. Cette unité occidentale est interprétée comme une marge active panafricaine.

L'unité de Dayet Lawda pourrait être un équivalent de la partie océanique de la chaîne des Bassarides, tandis que celle de la Sebkhah Gezmayet correspondrait à la partie calco-alcaline.

#### 4.3. Les âges proches de 500 Ma

Les échantillons de gabbros D 58, D 59 et D 78 ont livré sur roche totale des résultats compris entre 514 et 484 Ma. On pourrait penser à un rajeunissement global dû à un événement tectonothermal vers 500 Ma, sans exclure les effets développés lors de l'orogénèse hercynienne. Cependant, l'état de fraîcheur des minéraux et la cohérence des mesures effectuées sur ces trois échantillons, nous font pencher ici pour l'âge de mise en place d'un protolite au Cambrien supérieur.

Nous n'avons pas retrouvé l'âge de 595 Ma sur zircon des éclogites du Tasiast [10].

#### 4.4. Les âges proches de 300 Ma

Le gabbro (D 75b) a fourni sur roche totale un résultat de 274 Ma et sur les feldspaths séparés un résultat de 251 Ma. Ces gabbros très déformés appartiennent à l'unité de Dayet Lawda et se trouvent au contact tectonique entre deux formations. Il s'agit probablement d'une roche ancienne, rajeunie lors de l'orogénèse hercynienne. Ce résultat est à rapprocher du métamorphisme des éclogites du Tasiast [10] datées à 330 Ma. L'orogénèse hercynienne se situe dans la fourchette d'âges comprise entre 330 Ma et 270 Ma [23]. L'âge plus jeune des feldspaths (251 Ma) rappelle les résultats obtenus sur le cortège filonien des Jbilettes centrales, au nord de Marrakech [26]. Cette réouverture du système isotopique serait liée aux prémices permo-triasiques de l'ouverture de l'océan Atlantique.

De même, l'âge sur roche totale de 396 Ma obtenu sur les gneiss à amphibole (échantillon D 49) résulte probablement de leur rajeunissement lors de l'orogénèse hercynienne. Ces gneiss situés dans le contact entre les unités de la Sebkhah Gezmayet et de Dayet Lawda, sont déformés et cataclasés.

Bien que très insuffisants en nombre pour décrypter la complexité de cette partie de la chaîne des Mauritanides, ces résultats montrent déjà que les principaux événements métamorphiques présents dans les Mauritanides centrales et méridionales se retrouvent dans ce tronçon séparé du reste de la chaîne par quelques centaines de kilomètres. On ne trouve pas trace dans l'Adrar Souttouf (ni dans son avant-pays) des formations cambriennes qui, dans les Mauritanides centrales, cachètent la chaîne du Panafricain I, alors que les formations de la « Triade » glaciaire sont bien représentées dans l'Anti-Atlas marocain. La couverture sédimentaire paléozoïque autochtone débute avec la discordance des grès d'origine glaciaire de l'Ordovicien supérieur.

### 5. Conclusion

Ces travaux nouveaux, appuyés par des résultats chronologiques, montrent, d'une part, la présence d'une chaîne panafricaine au cœur du massif de l'Adrar Souttouf, à matériel métamorphique d'âge jusqu'ici inconnu et, d'autre part, sa remobilisation lors de l'orogénèse hercynienne.

Si le métamorphisme hercynien est relativement bien contraint dans les Mauritanides (entre 330 et 270 Ma), l'orogénèse panafricaine montre plusieurs épisodes de mise en place de matériel volcanique ou plutonique basique (vers 733, 665, 595 et 500 Ma). L'absence de sédiments néoproterozoïques ou cambriens ne permet pas

de préciser le contexte géologique de ces événements panafricains.

En revanche, nous avons mis en évidence des roches à reliques d'olivines, qui auraient pu se former aux environs de 1100–1000 Ma, et s'être mises en place à la faveur d'un fort amincissement crustal à proximité d'un domaine océanique.

Bien que ces résultats permettent de mieux comprendre la structure de l'Adrar Souttouf, il nous reste encore à étudier l'ensemble de ce tronçon, avant de pouvoir effectuer des corrélations avec les autres tronçons des Mauritanides, en Mauritanie et dans l'Anti-Atlas.

Il reste aussi à identifier la séquence tectono-métamorphique responsable des rajeunissements, vers 1000 Ma, de minéraux de roches plus anciennes.

## Remerciements

Ces travaux ont été réalisés dans le cadre de la mission « Dakhla » de géophysique marine et terrestre, organisée conjointement par Ifremer, TOTAL et IUEM (université de Brest). La collaboration de l'ONHYM, de l'université d'El Jadida et de la Société Géoatlas, en particulier M. Delaporte, fut essentielle. Nous remercions vivement les autorités civiles et militaires du Maroc de nous avoir délivré les autorisations et mis à disposition des soutiens logistiques, de même que le service géologique de Laayoune et M. Rjmati, responsable de ce service. Merci également à Jean-Claude Philippet pour son aide et sa rigueur dans les datations au laboratoire de l'UMR 6538, Brest.

## Références

- [1] M. Alia-Médina, El Sahara espanol, 2<sup>e</sup> part: Estudio geologico, Instit. Est. Africanos, Madrid, 1949, pp. 201–414.
- [2] A. Arribas, Las Formaciones metamorficas del Sahara espanol y sus relaciones con el Precambrico de otras regiones africanas, in: Rep. 21st Int. Geol. Congr. Norden, Copenhagen, Denmark, part IX, 1960, pp. 193–202.
- [3] G. Bronner, J. Marchand, J. Sougy, Structure en synclinal de nappes des Mauritanides septentrionales (Adrar Souttouf, Sahara occidental), in: 12<sup>e</sup> Colloque de géologie africaine, Bruxelles, 1983, p. 15.
- [4] Carte géologique du Maroc 1:1 000 000, Service géologique du Maroc, 1985.
- [5] A. Dacheux, Étude photogéologique de la chaîne du Dhlou (Zemmour–Mauritanie septentrionale), rapport du laboratoire de géologie, faculté des sciences, université de Dakar, 22, 1967 (45 p.).
- [6] R.D. Dallmeyer, M. Villeneuve, <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar mineral age record of polyphase tectonothermal evolution in the southern Mauritanide orogen, southeastern Senegal, Geol. Soc. Am. Bull. 98 (1987) 602–611.
- [7] J. De la Vina et M. Cabezon, Mapa geologico del Sahara espanol y zonas limitrofes, Escala 1/1 500 000, Inst. Geol. y Min., Madrid, 1958.
- [8] O. Dia, La chaîne panafricaine et hercynienne des Mauritanides face au bassin protérozoïque supérieur à dévonien de Taoudeni dans le secteur-clé de Mejeria (Taganet-Sud, RIM), thèse, université Aix–Marseille-3, 1984 (516 p.).
- [9] J.-P. Lécorché, G. Bronner, R.D. Dallmeyer, G. Rocci, J. Rousset, The Mauritanide Orogen and its northern extensions (western Sahara and Zemmour), West Africa, in: The West African Orogens and Circum-Atlantic Correlatives, Springer-Verlag, Berlin, 1991, pp. 187–227.
- [10] E. Le Goff, C. Guerrot, G. Maurin, V. Iohan, M. Tegye, M. Ben Zarga, Découverte d'éclogites hercyniennes dans la chaîne septentrionale des Mauritanides (Afrique de l'Ouest), C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIA 333 (2001) 711–718.
- [11] G.A. Mahood, R.E. Drake, K–Ar dating of young rhyolitic rocks: a case study of the Sierra la Primavera, Mexico, Geol. Soc. Am. Bull. 93 (1982) 1232–1241.
- [12] J. Marchand, G. Bronner, J. Sougy, Carte géologique provisoire du Maroc à l'échelle du 200 000. Notice explicative de la feuille de Bir Anzarane (NF 28 XXII), Serv. Géol. Maroc, Notes Mém. 342 (1984) (18 p.).
- [13] G. Maurin, Notice explicative de la carte géologique au 1:200 000, Chami, RIM, 1997 (32 p.).
- [14] J.B. Murphy, R.A. Strachan, R.D. Nance, K.D. Parker, M.B. Fowler, Proto-Avalonia: A1.2-1Ga tectonothermal event and constraints for the evolution of Rodinia, Geology 28 (2000) 1071–1074.
- [15] F. Quiroga, Observaciones geologicas hechas en el Sahara occidental, An. Soc. Esp. Hist. nat. X VIII (1889) 337–393.
- [16] E. Rjmati, A. Zemmouri, Notice de la carte géologique du Maroc au 1:50 000, feuille Asward, Notes Mém. Serv. Géol. Maroc 439 bis (2002) (38 p.).
- [17] E. Ruellan, Évolution de la marge atlantique du Maroc (Mazagan) étude par submersible, Seabeam, et Sismique réflexion, thèse, université de Bretagne occidentale, Brest, 1985 (297 p.).
- [18] J. Sougy, Bir Aidate, carte géologique au 50 000<sup>e</sup>, 1960 (1 feuille).
- [19] J. Sougy, West African Fold Belt, Geol. Soc. Am. Bull. 73 (1962) 871–876.
- [20] J. Sougy, Contribution à l'étude géologique des guelbs Bou-Leriah (région d'Aoucert, Sahara espagnol), Bull. Soc. géol. France 4 (1962) 436–445.
- [21] J. Sougy, Les formations paléozoïques du Zemmour noir (Mauritanie septentrionale). Étude stratigraphique, pétrographique et paléontologique, thèse, 1960 et Ann. Fac. Sci. Univ. Dakar 15 (1964) (695 p.).
- [22] R.H. Steiger, E. Jäger, Sub-commission on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology, Earth Planet. Sci. Lett. 36 (1977) 359–362.
- [23] M. Villeneuve, R.D. Dallmeyer, Geodynamic evolution of the Mauritanide, Bassaride and Rokelide orogens (West Africa), Precambrian Res. 37 (1987) 19–28.
- [24] M. Villeneuve, J.-J. Cornée, Structure, evolution and paleogeography of the West African craton and bordering belts during the Neoproterozoic, Precambrian Res. 69 (1994) 307–326.
- [25] M. Villeneuve, J.-P. Bassot, B. Robineau, R.D. Dallmeyer, J.F. Ponsard, The Bassaride Orogen, in: The West African Orogens and Circum-Atlantic Correlatives, Springer-Verlag, Berlin, 1991, pp. 151–185.
- [26] N. Youbi, H. Bellon, A. Marzin, A. Piqué, J. Cotten, B. Cabanis, Du cycle orogénique hercynien au pré-rifting de l'Atlantique central au Maroc occidental : les microdiorites des Jbilet sont-elles des marqueurs magmatiques de ce passage ?, C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIA 333 (2001) 295–302.