



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Comptes Rendus Geoscience

www.sciencedirect.com



Le point sur

Les chaînes de la marge occidentale du Craton Ouest-Africain, modèles géodynamiques

Mobiles belts on the western part of the West African Craton and geodynamic interpretations

Michel Villeneuve^{a,*}, Abdelkrim El Archi^b, Juste Nzamba^a

^a EA 4229, université de Provence, case 67, 3, place Victor-Hugo, 13331 Marseille cedex 3, France

^b Département de géologie, université Chouaib-Doukkali, BP 20, El Jadida, Maroc

INFO ARTICLE

Historique de l'article :

Reçu le 9 septembre 2009

Accepté après révision le 16 novembre 2009

Présenté par Jacques Angelier

Mots clés :

Afrique de l'Ouest

Orogène Panafricain I

Orogène Panafricain II

Orogène Hercynien

Modèles géodynamiques

Subductions

Arcs volcaniques

Bassins d'arrière-arc et Chaînes

intracontinentales

Keywords:

West Africa

Panafrican I orogen

Panafrican II orogen

Hercynian orogen

Geodynamic models

Subductions

Volcanic island arcs

Back arc basins and Hercynian

intracontinental belt

R É S U M É

Plusieurs synthèses ont essayé de résumer la géologie de la marge marocaine du craton Ouest-Africain, mais aucune n'a produit de modèle géodynamique satisfaisant pour expliquer les trois orogènes successives : Panafricain I, Panafricain II et Hercynien ayant conduit respectivement à l'édification des chaînes des Bassarides, Rokelides et Mauritanides. Des travaux récents sur le Sahara marocain, sur les Mauritanides centrales, sur le substratum du bassin côtier, sur les Bassarides (au Nord de la Guinée) et sur les Rokelides (au Sud de la Guinée), ont permis de proposer un modèle géodynamique intégrant les chaînes du Panafricain I et II dans un système de type marge « Ouest-Pacifique » avec subductions, arcs volcaniques et bassins d'arrière-arc. En revanche, la chaîne hercynienne des Mauritanides serait, soit intracontinentale, soit un « front de nappes » relié à la suture appalachienne de l'Ouest Sénégal.

© 2009 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

A B S T R A C T

Until now, no satisfactory geodynamic model has been delivered concerning the three main West African orogens: Panafrican 1 (Bassaride belt), Panafrican 2 (Rokelide belt) and Hercynian (Mauritanide belt). However, since the last synthetic paper (Villeneuve, 2008), new geological, geophysical and geochronological data, from the Moroccan Sahara to Sierra Leone, allow us to propose a new geodynamical model. It includes the two Panafrican events in a single model very similar to the present western Pacific margin. An old "West African Neoproterozoic ocean" (WANO) was limited by a set of island arcs separated from the West African craton by a series of "back arc basins". The closure of this first round of back arc basins around 650 Ma led to the Bassaride belt (Panafrican 1). Then the WANO was subducting underneath the island arcs (between 650 and 550 Ma) meanwhile a new generation of "back arc basins" opened to the east between the arcs and the craton margin. The closure of the WANO and associated island arcs and back arc basins (550 to 500 Ma) led to the Rokelide belt (Panafrican 2). The Hercynian structures involving a Palaeozoic cover (made with continental material) associated to a "greenschist facies" metamorphism is ascribed to an intracontinental belt.

© 2009 Académie des sciences. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : michel.villeneuve@univ-provence.fr (M. Villeneuve).

Abridged English version

Introduction

New cartographic, geochronological, geochemical and reinterpreted geophysical data, lead to a new geodynamical interpretation. These new geological data concern the Moroccan Sahara (Villeneuve et al., 2006; Villeneuve et al., c), the central part of the Mauritanides (Lahondère et al., 2005; Pitfield et al., 2004; Villeneuve et al. a), the northern part of Guinea (Brinckmann and Meinhold, 2007), the southern part of Guinea (Villeneuve et al. b) and even the Senegalo-Mauritanian coastal basin basement (Nzamba, 2009; Villeneuve et al., submitted).

Our main result is to demonstrate that previous Panafrican geodynamic models should not oppose each other, but be considered as operating at different times. On the other hand, new seismic investigations on the Senegalo-Mauritanian coastal basin basement (Villeneuve et al. submitted a) point to a gap between the western Appalachian structures and the eastern Hercynian ones outcropping within the Mauritanides belt. The Appalachian belt has suffered three different Palaeozoic tectonic events: the “Taconic” event (Mid-Ordovician), the “Acadian” event (Mid-Devonian) and the “Alleghanian” event (Late Carboniferous to Early Permian, 330 to 268 Ma). The Mauritanian belt suffers only one Palaeozoic tectonic event (330 to 270 Ma). The “Alleghanian” and “Mauritanian” structures are contemporary.

Previous works

As opposed to the eastern margin of the CWA (West African Craton), which supports one single Panafrican belt (Transaharan belt; circa 600 Ma), the western margin is bounded by four different belts (Fig. 1a). The first synthetic papers (Sougy, 1962a; Sougy, 1969) differentiated two belts: the “Mauritanides” to the north with a Hercynian structuration and the “Rokelides” to the south with an ante-ordovician structuration. Then, Villeneuve (Villeneuve, 1984) evidenced a more ancient belt in northern Guinea and southern Senegal: the “Bassarides” belt. These three belts are supported by many regional theses, and by geochronological investigations (Clauer et al., 1991; Dallmeyer and Villeneuve, 1987; Dallmeyer and Lecorché, 1989; Dallmeyer et al., 1987). Recently, a fourth belt has been evidenced in the western Sahara: the Souttoufide belt (Villeneuve et al., 2006). Geophysical (Bonvalot et al., 1991; Dorbath et al., 1983; Guetat, 1981; Ponsard et al., 1982; Ritz and Robineau, 1986) and geochemical (Dupont et al., 1984; Souelim, 1990; Rémy, 1987) studies have led to two main geodynamical hypotheses: Panafrican rifting followed by subduction to the west (Dia, 1984), or subduction of an oceanic Panafrican crust to the east with a volcanic island arc and back arc basins (Dorbath et al., 1983).

Geological setting

Fig. 1b shows the main parts of the western belts, with, from North to South:

- The Moroccan Sahara: Arribas, 1960 considered this part of Spanish Sahara as the western end of the Archean Reguibat uplift with remains of Palaeozoic sedimentary cover. However, Sougy (1962b) evidenced the thrusting of metamorphosed mylonites over the Palaeozoic sediments. Then, Bronner et al. (1983) concluded to a Hercynian klippen made with a pile of “nappes”.
- The southern Mauritania. Classically, two main parts have been distinguished:
 - *The Foreland*: this corresponds to the sedimentary formations of the Taoudeni basin. The Neoproterozoic and Palaeozoic cover rocks, locally involved in the Panafrican and Hercynian deformations, contain four groups of sediments separated by regional unconformities (Deynoux et al., 2006). From the base to the top have been distinguished: the Super Group 1 (1000 to 650 Ma), the Wassangara Group (650 to 620 Ma), the Super Group 2 (620 to 450 Ma) and finally the Super Group 3 (450 to 350 Ma).
 - *The belt*. 4 different units have been distinguished. From west to east:
 - (i) The Mount Wa Wa unit: mainly volcanoclastic and displaying an Hercynian metamorphism;
 - (ii) The Guidimakha complex with calc-alkaline intrusions ranging from 680 to 600 Ma;
 - (iii) The axial volcano-sedimentary unit which includes two set of tholeiitic formations: the ante 650 Ma formations (Gadel and Diala Bouanze) and the post-650 Ma formations (Oued Amour, El Aouedja, Hamdallaye and Gabou). These last formations display a set of metamorphic ages around 550 Ma;
 - (iv) The Falemian (or Anietir) unit: which corresponds to the post-650 Ma “foreland deformed zone”;

Gravimetric interpretation (Guetat, 1981) suggests a collision between two different continental blocks of different thicknesses.

- The southeastern Senegal and northern Guinea: According to Bassot, 1969, the Bassaride belt is a part of the Taoudeni Neoproterozoic formations folded before the Cambro-Ordovician fluvialite sandstones of the Bove basin. For Villeneuve, 1984, the Bassarides belt was structured and metamorphosed at circa 650 Ma (Dia, 1984), before the deposition of the “Triade” which is witness to the “Marinhoan” glacial event. Geochemical results (Angeli, 1983; Dupont et al., 1984) suggested a volcanic arc to the west (Niokolo Koba arc) and a “rift” enlarged to a small ocean to the east, in the Bassaris ridges. Villeneuve, 1984, taking into account the Ponsard gravimetric model proposed westward subduction of the rift crust underneath the Niokolo Koba volcanic arc. However, the seismic results of Dorbath et al., 1983 supported a western oceanic crust subducting eastward underneath the Niokolo Koba volcanic arc.
- The southern Guinea and northern Sierra-Leone: The Rokelide domain extends from Guinea to Liberia, (Allen, 1967; Allen et al., 1967). Classically three units are distinguished with, from west to east:
 - (i) *The Kasila unit*. Firstly, considered as Archean (Williams, 1988) it displays a lot of Panafrican II

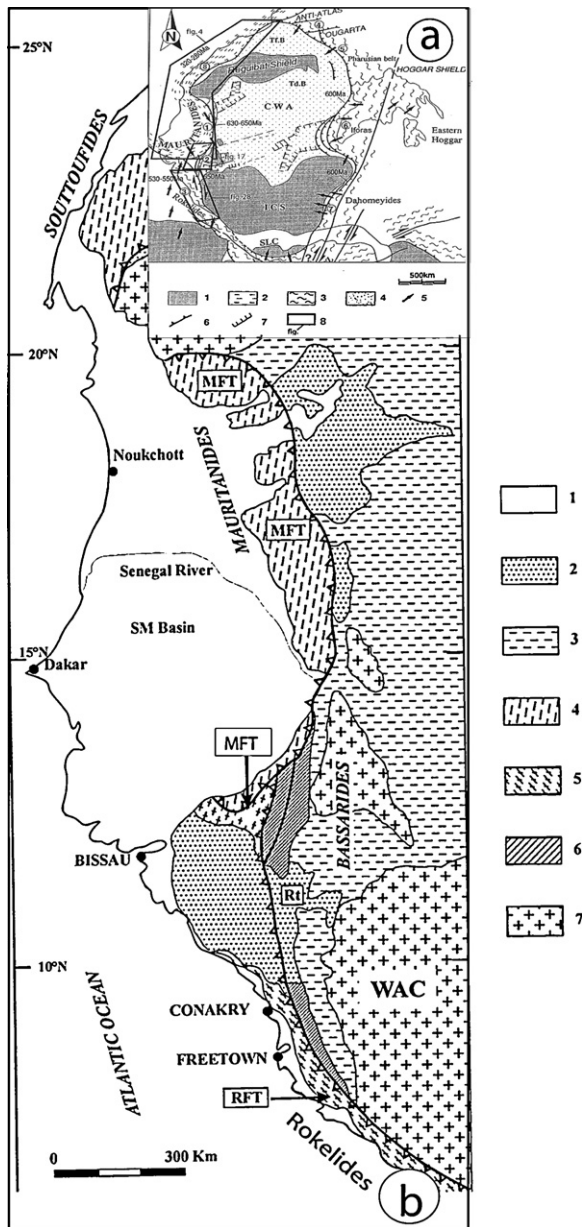


Fig. 1. a)- **Le craton Ouest-Africain et ses chaînes panafricaines** (selon Villeneuve et Cornée, 1994, modifié). Nombres encadrés : 1- Mauritanides, 2- Bassarides, 3-Rokolides, 4-Anti-Atlas, 5, 6 et 7-chaîne Trans-Saharienne, 8- Souttoufide. Tfb = bassin de Tindouf, Tdb. = bassin de Taoudeni, CWA = Craton Ouest-Africain, ICS = Bouclier de Côte d'Ivoire, SLC = Craton de Sao Luis. 1- substratum; 2- chaînes hercyniennes, 3- chaînes panafricaines, 4- bassin d'avant-pays, 5- directions des chevauchements, 6- chevauchements, 7- limites des bassins, 8- zones d'étude. b)- **Les chaînes de la marge occidentale du craton Ouest-Africain** : MFT- chevauchement frontal des Mauritanides, RFT- chevauchement frontal des Rokolides, Rt- fosse des Rokolides, SM bassin Sénégal-Mauritanien, WAC- Craton Ouest-Africain. 1- dépôts méso-cénozoïques, 2- dépôts paléozoïques, 3- dépôts néoproterozoïques et paléozoïques, 4- chaînes hercyniennes (Souttouffides et Mauritanides), 5- chaînes du Panafricain 2 (Rokolides), 6- chaîne du Panafricain 1 (Bassarides), 7- substratum archéen et birrimien.

Fig. 1. a) - **The main structural features of the West African craton** (after Villeneuve and Cornée, 1994, modified), Encircled numbers: 1- Mauritanide belt, 2- Bassaride belt, 3-Rokolide belt, 4-Anti-Atlas belt, 5,

- radiometric ages (550 to 500 Ma) (Allen et al., 1967) either on metamorphic rocks or intrusive granites;
- (ii) *The Kenema unit*. It contains an Archean basement (Bering et al., 1988) covered by remains of metamorphic sheets of various ages (example: the Marampa Group);
- (iii) *The Rokel River unit* which corresponds to a trough infilled by the post tillitic Neoproterozoic sediments (Allen, 1967) and (Culver and Williams, 1979).

New data

The Souttoufides (Moroccan Sahara). Recent works (Le Goff et al., 2001; Villeneuve et al., 2006) evidenced several tectonothermal events including: Grenvillian (1200–950 Ma), Panafrican (660, 580 and 510 Ma) and Hercynian (330, 274 Ma). New interpretations (Villeneuve) distinguish 8 different units. Three of them are linked to the Mauritanide belt, two others are linked to the “exotic terranes” of the Appalachian system, one is linked to the “Rheic ocean” and the last two are linked to the Appalachian Palaeozoic terranes. Thus, the Adrar Souttouf belt (Souttoufides) is a mix of Mauritanides and Appalachian formations.

The Mauritanide belt. New geological investigations on the southern part (Caby and Kienast, 2009; Lahondère et al., 2005; Pitfield et al., 2004) bring us many new datations mainly using the U/Pb radiometric method (on zircon). These datations confirm the ante-650 Ma intrusions in the Guidimakha massif, an important volcanism between 640 and 620 Ma and a Palaeozoic age (post 514 Ma) for the mount Wa Wa quartzites deposition. A study of the metamorphic rocks by Caby and Kienast (Caby and Kienast, 2009) ascribes a HP/HT metamorphism grade to the Panafrican I orogen and a HP/LT metamorphism grade to the Hercynian orogen.

On the other hand, a reinterpretation of ancient “telesismic” profiles across the Mauritanide belt (Mourgues and Poupinet, 1990) leads to a new geodynamic model for this central Mauritanide belt (Villeneuve, submitted):

The Bassaride belt. Recent work on the Guinean part of the Bassaride belt (Brinckmann and Meinhold, 2007) accompanied by many radiometric datations mainly on zircon (using the U/Pb method) evidence several volcanic episodes between 630 and 499 Ma. A part of them is linked to the Niokolo Koba volcanic arc and others are linked to the Bassarides back-arc basins. However, the authors support a 1280 Ma metamorphic event for the

6 and 7-Trans-Saharan belt, 8- Souttoufide belt. Tfb = Tindouf basin, Tdb. = Taoudeni basin, CWA = West-African craton, ICS = Ivory Coast shield (Leo Uplift), SLC = Sao Luis craton. 1- Crystalline basement; 2- Main Hercynian Belts, 3- Pan-African Belts, 4- Foreland basin, 5- Thrust directions, 6- Thrusts, 7- Basin boundaries, 8- Studied areas. b) - **Belts on the western margin of the CWA**: MFT- Mauritanides Front Thrust, RFT- Rokolides Front Thrust, Rt- Rokolide trough, SM- Senegalo-Mauritanian basin, WAC- West-African craton. 1- Meso-Cenozoic deposits, 2- Paleozoic deposits, 3- Neoproterozoic to Paleozoic deposits, 4- Hercynian belts (Souttouffides and Mauritanides), 5- Panafrican 2 belt (Rokolides), 6- Panafrican 1 belt (Bassarides), 7- Archean and Birrimian basement.

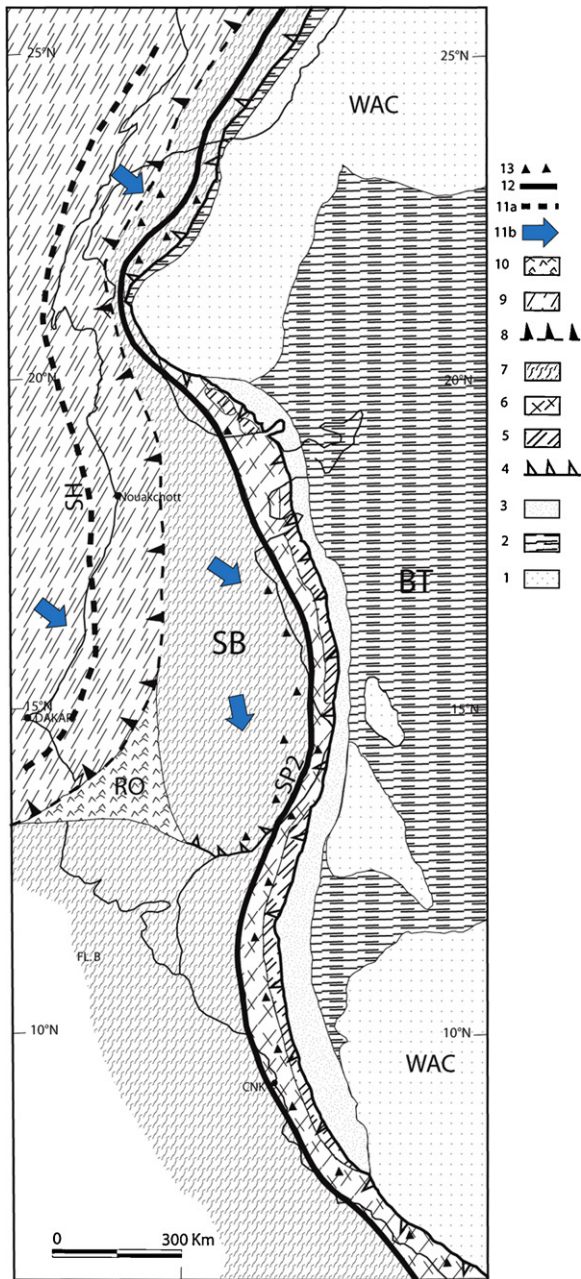


Fig. 2. Schéma géologique de la marge occidentale du craton Ouest-Africain. WAC-Craton Ouest Africain, SH-Suture alleghanienne, SP2-suture du Panafricain 2, AFT-chevauchement frontal « alleghanien », SB-Bloc sénégalais, Ro-Océan Rhéique, FL.B-Bloc de Floride, CNK-Conakry, F-Freetown, 1-sousbassement, 2-couverture néoproterozoïque à paléozoïque, 3-sillons ou bassins d'arrière arc déformés, 4-chevauchements frontaux, 5-massifs du Panafricain I, 6-arcs volcaniques PII, 7-unités internes du panafricain II, 8-« front thrust » du domaine « appalachien », 9-domaine Allaghanienne, 10-reliques possible de l'océan « Rheiique », 11a-suture appalachienne liée à l'orogénèse « alleghanienne » (SH), 11b-direction de mouvement des blocs, 12-suture du Panafricain II (SP2), 13-volcanisme supposé.

Fig. 2. Geological sketch map of the western margin. WAC-West African Craton, SA- Alleghanian suture, SP2- Panafrican 2 suture, AFT-Alleghanian Front Thrust, SB- Senegalese Block, Ro-Rheic ocean, FL.B-Florida block, CNK-Conakry, F-Freetown, 1- basement, 2- Neoproterozoic to Palaeozoic cover, 3-deformed back-arc basins, 4-front thrusts, 5-

Bassarides orogen. However, this isolated data is controversial. In any case, this study validates the [Dorbath et al., 1983](#) geodynamic model, but only for the Panafrican II period (650 to 550 Ma).

The Rokelide belt. In southern Guinea, Brinckmann and Meinhold (2007) indicate a polyphase evolution for the Tabouna granite (the last stage is around 530 + 20 Ma). On the other hand, unpublished datations (H. Bellon and M. Corsini, personal communication) on the metamorphic “nappes” resting on the Kenema Archean basement (Marampa group), indicate Panafrican I (650 Ma) and Panafrican II (550 Ma) metamorphic ages.

The Senegalo-Mauritanian basement. A new seismic study, associated to new observations on the basement samples collected from petroleum wells ([Nzamba, 2009; Villeneuve et al., submitted a](#)), shows that the western Palaeozoic structures (Appalachian?) are not directly connected to the Mauritanide Hercynian structures. Both are separated by the Senegalese block (Fig. 2).

New geodynamic interpretations

All these new data (recently published or not yet published) have changed our approach on the geodynamic interpretation. There is no strong evidence in the south for a “Grenvillian” (or Kibarian) orogen (1000 Ma) except to the north (in the Moroccan Sahara).

The Panafrican I orogen (650 Ma) evidenced in the Bassarides, is confirmed in many places and particularly in central Mauritania. However, it does not exist in the Moroccan Sahara.

The Panafrican II orogen previously limited to the southern area also exists in the northern area and even in the Moroccan Sahara.

The Hercynian structures of the Mauritanide belt are not connected to the western Senegal subsurface Palaeozoic structures and consequently not directly connected to the Appalachian Hercynian suture.

Taking into account all these new informations we propose here a new geodynamic model (Fig. 3). This model contains, from west to east: a West African Neoproterozoic Ocean (WANO), a volcanic arc (Niokolo Koba and Guidimakha), several generations of back arc basins: (1-Guinguan and Gadel, 2-Termesse, Gabou, El Aouedja, 3-Faleme, Komba, Kolente and Rokel River) and finally the West African Craton margin (CWA).

- The Panafrican I (650 Ma) is linked to the collision between the Niokolo Koba–Guidimakha volcanic arc and the CWA.
- The closure of the WANO by subduction underneath the CWA on one side and underneath the western Senegalese block, on the other side, led to the collision of these two blocs (Panafrican II or Cadomian orogen at circa 550 Ma).

Panafrican 1 massifs, 6- Panafrican 2 volcanic arcs, 7- Panafrican 2 inner units, 8-Appalachian front thrust, 9-Appalachian domain, 10- Rheiic ocean relicts?, 11b- blocks motions, 11a- Appalachian suture (Alleghanian orogen), 12- Panafrican II suture, 13- volcanic occurrences.

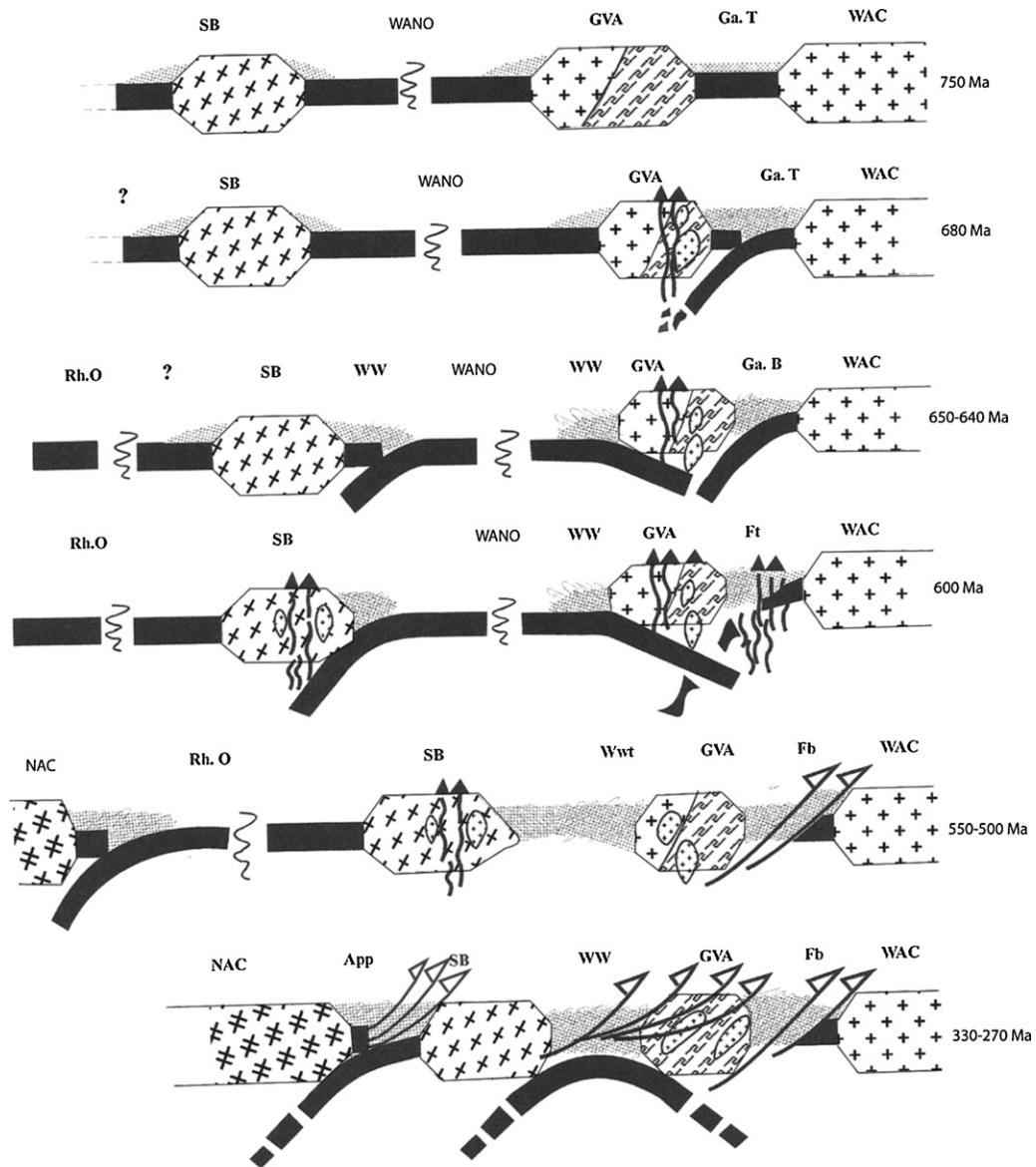


Fig. 3. **Modèle géodynamique pour les Mauritanides centrales.** SB-Bloc sénégalais, WANO- Océan néoproterozoïque de l'Afrique de l'Ouest, GVA- arc volcanique du Guidimakha, Ga.t- fossé de Gadel, WAC- craton Ouest-Africain, Rh.O-océan Rhéique, WW- dépôts volcano-sédimentaires de l'unité de M'Bout et monts Ouwa Ouwa, Ga.B- chaîne de Gadel, Ft-Falémé trough, NAC-Craton Nord-Américain, Fb-chaîne falemienne, Wwt-sillon des monts Ouwa-Oua, App-Appalaches.

Fig. 3. **Geodynamic models for the central Mauritania belt.** SB- Senegalese block, WANO-West African Neoproterozoic Ocean, GVA-Guidimakha volcanic arc, Ga.T- Gadel trough, WAC, NAC-North American Craton, Rh.O- Rheic ocean, WW- M'Bout unit, GaB-Gadel belt, FT-Faleme trough, NAC- North American craton, Fb- Falemian belt, WW, mount Wa Wa deposits, Wwt- Mount Wa Wa trough, App-Appalaches.

- A new ocean (Rheic?) then opened between the "Senegalese block" and the North American Craton. The closure of this ocean by subduction underneath the North American Craton margin led to the Hercynian Appalachian and Mauritanian belts (330–290 Ma).

Thus, three separate sutures have been identified on the western African margin (Figs. 2 and 3).

Our interpretation is reconciling the previous geodynamic models instead of maintaining them in

a conflicting position. The Ponsard et al. (1982) and the Dorbath et al. (1983) models are not in opposition, but they are consecutive in time: the first during the Panafrican I orogen and the second during the Panafrican II. However, no evidence of an oceanic suture has been found for the Hercynian Mauritanide structures. Thus, we propose an intracontinental belt for it. This is in accordance with the "greenschist facies" ascribed to the mount Wa Wa metamorphism by Diop (1996).

1. Introduction

Plusieurs synthèses ont été consacrées aux « chaînes mobiles » de la bordure occidentale du craton Ouest-Africain (CWA) qui s'étendent depuis le Sud du Maroc jusqu'au Liberia (Fig. 1). La dernière d'entre elles, est récente (Villeneuve, 2008). Entre temps, des travaux publiés, sous presse ou en cours, aussi bien sur le Sud marocain (Villeneuve et al., 2006 ; Villeneuve et al., soumis c) que sur la Mauritanie centrale (Lahondère et al., 2005 ; Pitfield et al., 2004 ; Villeneuve, soumis ; Villeneuve et al., soumis a), le Nord de la Guinée, (Brinckmann et Meinhold, 2007), le Sud de la Guinée (Villeneuve et al., soumis b) ou la Sierra Leone (Lytwyn et al., 2006), justifient une nouvelle mise au point. Cette nouvelle mise au point permet de formuler de nouvelles hypothèses géodynamiques concernant l'ensemble des chaînes de cette marge du CWA.

2. Données géologiques antérieures

Contrairement à la bordure orientale du craton Ouest-Africain bordée d'une seule chaîne : la chaîne « trans-saharienne » (610–580 Ma), la bordure occidentale de ce craton est polyphasée (Fig. 1a). La zone mobile ouest-africaine qui s'étend de l'Anti-Atlas marocain, au nord, jusqu'au Liberia au sud, est le résultat de 3 cycles orogéniques successifs (Fig. 1b) : Panafricain 1 (900–650Ma), Panafricain 2 (650–550Ma) et Hercynien (550–290 Ma), ayant abouti à l'édification de trois chaînes superposées : les Bassarides, les Rokelides et les Mauritanides (Fig. 1b). Une nouvelle chaîne, les Souttoufides, est proposée pour le Sahara marocain.

Les premières synthèses (Sougy, 1962a, 1969) distinguaient seulement deux chaînes : une chaîne ancienne (cambrienne) qui rejoignait les Rokelides (Allen, 1967) et une chaîne hercynienne qui se superposait à la précédente, du Nord de la Mauritanie au Nord de la Guinée Bissau pour former les Mauritanides proprement dites. Puis, Villeneuve, 1984 rajouta une troisième chaîne, plus ancienne, située entre la Guinée et le Sénégal : les Bassarides (660 Ma). Cette distinction en trois chaînes superposées, qui fut adoptée depuis les années 1985, s'appuyait sur les thèses, les cartes géologiques et les datations radiométriques de l'époque (méthodes Ar/K, Rb/Sr et Ar/Ar). Des hypothèses géodynamiques reposant sur les données géochimiques (Dupont et al., 1984 ; Souelim, 1990 ; Rémy, 1987) et géophysiques : gravimétriques (Bonvalot et al., 1991 ; Souelim, 1990 ; Ponsard et al., 1982), magnéto-telluriques (Ritz and Robineau, 1986) et sismologiques (Dia, 1984) ont été publiées. Elles peuvent se résumer à deux principales : « un rift intracontinental redéformé » (Dupont et al., 1984 ; Villeneuve, 1984) ou subduction océanique sous le craton Ouest-Africain avec bassin d'arrière-arc (Dorbath et al., 1983) au Panafricain.

Les synthèses géologiques ont favorisé l'hypothèse d'un « rifting » n'ayant pas atteint un stade océanique avancé (type Mer Rouge), suivi de collisions intracontinentales au cours des trois orogènes principales. La dernière synthèse publiée en 2008, mais soumise en 2006 (Villeneuve, 2008), n'a pu intégrer les derniers travaux.

3. Cadre géologique

La Fig. 1b montre la localisation des différents secteurs d'étude avec, du nord vers le sud :

Le Sahara occidental (Souttoufides) : Les travaux anciens (Arribas, 1960) qui considéraient le massif de l'Adrar Souttouf comme la partie occidentale de la dorsale Réguibate (Archéen et Eburnéen) ont été modifiés par Sougy, 1962b qui mit en évidence le charriage hercynien d'un massif plutono-métamorphique sur la couverture sédimentaire paléozoïque appartenant à la bordure sud-occidentale du bassin de Tindouf. Grâce à une étude photogéologique, Bronner et al. (Bronner et al., 1983) en déduisaient une structure en « klippe » constituée par une série de nappes empilées comme des « assiettes ».

3.1. Le secteur des Mauritanides centrales

Classiquement, on y distingue l'avant-pays et la chaîne proprement dite :

- L'avant-pays est constitué par des formations sédimentaires subhorizontales ou peu déformées classées en 4 super-groupes principaux séparés par des discordances de ravinement (Deynoux et al., 2006) : *le super-groupe 1*, (1000 à 650 Ma), *le groupe de Wassangara* (650–620 Ma ?), *le super-groupe 2* (620–450Ma) débutant par la « triade » d'Afrique de l'Ouest, *le super-groupe 3* (450–350 Ma) débutant par la tillite de l'Ordovicien supérieur et se terminant par les pélites fossilifères du Famennien, (Villeneuve, 1984).
- La chaîne : Dans ce secteur, les Mauritanides sont constituées par 4 bandes allongées nord-Sud. Ces bandes qui forment des « unités » se chevauchent d'ouest en est :
 - *l'unité des Monts Oua-Oua* essentiellement volcano-détritique et détritique présentant un métamorphisme d'âge Hercynien (Dallmeyer et al., 1987) ;
 - *l'unité des granites et granodiorites du Guidimakha* (unité de M'Bout ou complexe acide), d'âge très variable depuis 680 Ma jusqu'à des granites intrusifs à 600Ma ;
 - *l'unité des complexes volcano-sédimentaires de la zone axiale* (unité de Gadel ou complexe UB-B) comprenant des ophiolites, des basaltes, des dolérites et des formations volcano-détritiques principalement basiques. Leur âge pose problème, car les ophiolites sont difficilement datables. Cependant, deux ensembles basiques peuvent être distingués : un inférieur (unités de Gadel et de Diala Bouanzé = 840 à 645 Ma) et un autre supérieur (unités d'El Aouedja, d'Hamdallaye et de Gabou = 640 à 620 Ma, (Lahondère et al., 2005)).
 - *l'unité volcano-sédimentaire de la Falémé* (unité d'Anietir) qui correspond, « grosso-modo », aux formations de couverture de l'avant-pays des Mauritanides (tillites, shales, grès et conglomérats et volcano-sédiments acides et basiques) plissées et quelquefois métamorphisées.

Les données géochimiques (Souelim, 1990 ; Rémy, 1987) ont montré les affinités calco-alcalines des granites de l'unité de M'Bout et le caractère tholéitique des formations basiques des unités de Gadel et d'El Aouedja.

Les données gravimétriques montrent une forte anomalie positive à l'Ouest de la chaîne, entre Aleg et Kaedi. Ces données traitées et interprétées par [Guetat, 1981](#) ont conduit à un modèle de collision entre deux blocs continentaux d'épaisseurs différentes.

3.2. Le Sénégal oriental et le Nord Guinée (Les Bassarides)

[Bassot, 1969](#) raccorde la « série des Bassaris » à la série de la « Falémé » qui est, en fait, un équivalent plus ou moins métamorphique des séries sédimentaires postérieures à la tillite du Néoprotérozoïque (triade), tout en admettant que certains termes de la série des Bassaris pouvaient être antérieurs (Birimien ?). Pour [Villeneuve, 1984](#), les Bassarides constituent, au contraire, une chaîne antérieure à la tillite néoprotérozoïque et, se basant sur des datations Ar/Ar sur des muscovites métamorphiques ([Dallmeyer et Villeneuve, 1987](#)) en fait une chaîne panafricaine métamorphisée vers 650 Ma. S'appuyant sur les données géochimiques ([Angeli, 1983](#) ; [Dupont et al., 1984](#)) et géophysiques ([Ponsard et al., 1982](#)), [Villeneuve, 1984](#) admet la subduction vers l'ouest d'un plancher océanique de la zone des Bassaris, laquelle subduction aurait alimenté l'arc volcanique du Niokolo-Koba, situé plus à l'ouest. Mais [Dorbath et al., 1983](#) s'appuyant sur un profil de télé-sismique reliant Kédougou à Tambacounda, mettent en évidence un plan à « vitesse sismique faible » penté vers l'est, au niveau de la localité de Missira. Ils considèrent ce plan comme la trace fossile d'un plan de subduction et en déduisent que le massif du Niokolo-Koba est un arc volcanique alimenté par une subduction se situant à l'ouest de cet arc.

3.3. Le Sud de la Guinée, la Sierra Leone et le Liberia (les Rokelides)

Du Sud de la Guinée au Liberia, s'étend la chaîne des Rokelides dont les derniers stades métamorphiques sont datés entre 550 et 500 Ma ([Allen et al., 1967](#)).

Classiquement, la chaîne des Rokelides comprend trois unités avec, en allant de l'ouest vers l'est :

- Le groupe de Kasila. Cette bande a longtemps été considérée comme archéenne ([Williams, 1988](#)). Cependant, la plupart des datations sur minéraux (principalement biotite) ont fourni des âges compris entre 550 et 500 Ma ([Allen et al., 1967](#)) ;
- Le « Kenéma assemblage » comprend des terrains métamorphiques polyphasés recouverts par des formations gréso-conglomératiques, corrélées avec les formations de la Rokel-River. Des âges archéens proches de 2840 ± 8 Ma et 2870 ± 3 Ma sont confirmés par des datations récentes sur zircon dans une granodiorite et un filon de dacite ([Bering et al., 1988](#)). Mais des mesures effectuées sur biotite ou muscovite ont fourni des âges compris en 550 et 500 Ma datant un événement tectono-métamorphique panafricain (M. Corsini, personal communication) ;
- Le sillon de la Rokel-River ([Allen, 1967](#) ; [Culver and Williams, 1979](#)) est comblé par des dépôts gréso-silteux surmontant un niveau de base tillitique.

Sur le plan géodynamique, deux modèles différents ont été proposés : subduction vers l'est avec arc volcanique dans le groupe de Kasila, dans les Rokelides ([Nomade et al., 2002](#)) et subduction vers l'ouest au Panafricain 1, puis vers l'est au Panafricain 2, en Guinée et Sierra Leone ([Lytwyn et al., 2006](#)).

4. Les données nouvelles

4.1. Au Sahara marocain

Des travaux récents en Mauritanie ([Le Goff et al., 2001](#)) et au Maroc ([Villeneuve et al., 2006](#)) ont montré que ce tronçon de la chaîne des Mauritanides était polyphasé, avec des métamorphismes d'âges panafricains et hercyniens. Les travaux en cours ([Villeneuve et al., soumis c](#)) confirment la structure en écailles imbriquées de ce massif et mettent en évidence plusieurs épisodes métamorphiques et plutoniques (à 660 Ma, 580 Ma, 510 Ma et 330 Ma). Mais les âges les plus remarquables sont ceux obtenus sur des gabbros, des basaltes et des phyllades, entre 1200 et 950 Ma.

Les interprétations nouvelles ([Villeneuve et al., soumis c](#)) distinguent, de l'est vers l'ouest : 8 formations chevauchantes les unes sur les autres. Les trois premières appartiennent à la marge du craton Ouest-Africain et à ses océans adjacents ; les deux suivantes appartiennent à des « exotiques terranes » des Appalaches, la suivante correspond à une relique du « Rheic Ocean » et les deux dernières à des terrains Appalachiens, charriés sur la dorsale Réguibate lors de l'orogénèse hercynienne.

4.2. En Mauritanie

Des travaux ont eu lieu dans les Mauritanides méridionales où de nouvelles cartes géologiques ont vu le jour ([Lahondère et al., 2005](#) ; [Pitfield et al., 2004](#)). Ces données cartographiques sont appuyées par de nouvelles datations (une vingtaine) principalement en U/Pb sur des zircons. Ces datations ont confirmé les intrusions granitiques du Guidimaka comprises entre (680 et 640 Ma), la présence d'un volcanisme important entre 635 et 600 Ma ([D.Lahondère et J. Le Métour, communication personnelle](#)) et ont montré que les quartziques des monts « Oua-Oua » se sont déposées postérieurement au Cambrien moyen (514 Ma).

[Caby et Kienast \(2009\)](#), dans une étude très locale, ont mis en évidence deux types de métamorphisme : un métamorphisme de HP/HT qu'ils attribuent à l'orogénèse du Panafricain I (antérieur à 640 Ma) et un métamorphisme HP/BT qu'ils attribuent à l'orogénèse hercynienne.

Enfin une réinterprétation des données de « télé-sismique » de Mourgues et Poupinet ([Mourgues and Poupinet, 1990](#)) nous a conduit à admettre, à titre d'hypothèse, un modèle à deux subductions (à vergences opposées), au niveau d'un axe Aleg/Kaedi. Ce modèle ([Villeneuve, soumis](#)) qui est connu dans les zones de subduction actuelles du Sud-Est asiatique (exemple : mer des Moluques) nous paraît mieux correspondre aux données géologiques connues du Panafricain 2, qu'à celles de l'Hercynien.

4.3. Au Sénégal et au Nord de la Guinée

Des travaux récents (Brinckmann et Meinhold, 2007) comprenant de nombreuses datations (U/Pb), sur des zircons aussi bien néoformés que détritiques et des datations par la méthode Ar/Ar sur minéraux, mettent en évidence des dépôts postérieurs à 1300 Ma et un hypothétique métamorphisme autour de 1280 Ma dans les formations métabasiques des Bassarides. Ces auteurs montrent aussi que les formations volcaniques du Niokolo-Koba et les intrusions dans la zone des Bassaris ont des âges compris entre 630 et 499 Ma. Ils valident ainsi le modèle géodynamique de Dorbath et al., 1983, mais seulement dans l'intervalle de temps compris entre 640 et 499 Ma. D'autre part, une étude des lignes sismiques du substratum du bassin du Sénégal (Nzamba, 2009) a montré que des formations d'origine appalachienne (reliées à la suture « Alleghanienne » matérialisée par les anomalies magnétiques WACMA et ECMA) seraient présentes jusqu'au milieu du bassin du Sénégal (Fig. 2). L'examen des roches du substratum atteintes par les forages profonds (Villeneuve et al., soumis a) montrent que, d'une part, les matériaux des unités internes des Mauritanides sont plus métamorphiques (micaschistes, gneiss et granites mylonitiques) que ceux des nappes appalachiennes de subsurface (schistes, shales et pélites) et que, d'autre part, ces structures appalachiennes recouvrent, au sud, une portion de l'océan Rhéique non déformé et, à l'est, le bloc sénégalais. Cependant, les lignes sismiques montrent que, dans la partie orientale du bassin sénégal-mauritanien, les formations mésozoïques reposent directement sur le bloc sénégalais. Il est donc impossible de dire si cette absence de Paléozoïque est liée à un non-dépôt ou à une érosion post-hercynienne et anté-Crétacé.

4.4. Au Sud de la Guinée et en Sierra Leone

Au Sud de la Guinée occidentale, de nouvelles datations intéressent les intrusions granitiques de Tabouna (arc volcanique occidental), les formations métamorphiques équivalentes à celle de Marampa, ainsi que les intrusions granitiques dans la formation occidentale de Kasila.

- Les granites de Tabouna (à l'est de Kindia). Des datations U/Pb sur zircon (Brinckmann et Meinhold, 2007) ont fourni trois âges (530 + 20, 646 + 36 et 651 + 9 Ma). Ces âges montrent que le complexe granitique intrusif de Tabouna est polyphasé. Une estimation maximale de l'âge de l'intrusion de ce granite est donnée à 530 ± 20 Ma (Brinckmann et Meinhold, 2007) ;
- Les amphibolites de Marampa. L'âge des formations de Marampa est très controversé. Une étude pétrographique et géochimique (Lytwyn et al., 2006) en faisait un équivalent des formations volcaniques du Panafricain 1 des Bassarides. Cette hypothèse est validée partiellement par de nouvelles datations radiométriques sur les amphibolites et les mylonites du groupe de Marampa (H.Bellon et M.Corsini, communication personnelle), lesquelles ont fourni des âges compris entre 650 Ma et 660 Ma. Cependant, des amphiboles d'un autre échantillon (G 787c), situé plus à l'est (dans une klippe

reposant sur le substratum archéen) ont fourni un âge Ar/Ar de 550 Ma toujours sur amphibole (Villeneuve et al., soumis b). Ceci démontre que les formations attribuées au groupe de Marampa reposant sur le socle archéen du « Kenema assemblage » appartiennent, soit à des reliques de la chaîne des Bassarides (Panafricain 1), soit à des klippes de matériel provenant du groupe de Kasila (Panafricain 2) ;

- Les intrusions du groupe de Kasila. D'autres études (Delor et al., 2002 ; Villeneuve et al., soumis b) ont montré que le batholite de Forecariah qui, à l'inverse de l'intrusion granitique de Coyah (530 Ma) présente une foliation très nette, a un âge compris entre 580 et 550 Ma.

5. Discussion et interprétations géodynamiques nouvelles

Ces données nouvelles permettent :

- de mettre en doute l'existence d'une chaîne d'âge Kibarien ou Grenvillien (1300 à 1000 Ma) allant du Liberia au Sahara occidental, sauf au Sahara occidental ;
- de confirmer l'existence d'une chaîne du Panafricain I (660–650 Ma). Cet événement tectono-métamorphique reconnu, pour la première fois dans les quartzites métamorphiques des Bassarides (Dallmeyer and Villeneuve, 1987) a été étendu à l'ensemble des chaînes de l'Afrique de l'Ouest par la plupart des auteurs régionaux ;
- d'étendre la chaîne du Panafricain II (550–500 Ma) à toute la marge CWA. Les âges correspondant à cet événement tectono-métamorphique, abondants au Liberia, en Sierra Leone et au Sud-Ouest de la Guinée ont aussi été mis en évidence au Sud Sénégal (Dallmeyer and Villeneuve, 1987), dans les Mauritanides centrales (Dallmeyer et Lecorché, 1989) et au Sahara occidental (Villeneuve et al., soumis c). Mais cette période est suffisamment abondante en intrusions magmatiques rapportées, soit à des arcs volcaniques, soit à des bassins d'arrière-arc, pour justifier l'hypothèse d'une marge active du Panafricain II jalonnant toute la marge ouest du Craton ;
- de réinterpréter la chaîne hercynienne des Mauritanides. Si tectoniquement cette orogénèse est confortée par l'abondance des âges radiométriques, aucune formation paléozoïque n'indique la présence d'une marge active (sauf au Sahara marocain). En clair, on ne trouve aucune preuve d'une subduction océanique de cette période pouvant justifier un métamorphisme HP/BT (Caby et Kienast, 2009).

Toutes ces données nouvelles nous ont permis de proposer un schéma structural de cette marge du craton Ouest-Africain (Fig. 2). Ce schéma montre que les chaînes panafricaines sont parallèles de la Mauritanie au Liberia, tandis que la chaîne appalachienne se raccorde à la chaîne des « Souttoufides ».

En prenant en compte toutes les données replacées dans leur cadre chronologique, nous proposons les modèles géodynamiques suivants (Fig. 3) :

Pour le cycle Panafricain I. Ouverture d'un bassin marginal (vers 1000 ou 850 Ma) qui s'est refermé vers

650 Ma. Ce modèle est cependant contesté (Brinckmann et Meinhold, 2007).

Pour le cycle Panafricain II. Le modèle suppose la subduction d'une lithosphère océanique (West African Neoproterozoic Ocean = WANO) vers l'est, entre 640 et 530 Ma, sous l'arc volcanique du Niokolo-Koba. Cette subduction serait responsable de la formation d'un (ou plusieurs) bassins d'arrière-arc. Vers le nord, dans les Mauritanides centrales, on aurait deux plans de subduction océaniques opposés : l'un penté vers l'ouest, sous le « bloc Sénégalais » et l'autre vers l'est, sous le craton Ouest-Africain. À titre d'hypothèse, nous relierions le métamorphisme HP/BT (Caby et Kienast, 2009) à cette orogénèse du Panafricain II. Au Sahara marocain enfin, les formations basiques d'âge Panafricain I (770 Ma) ou d'âge Panafricain II (520 et 500 Ma) seraient les reliques d'anciens océans disparus.

Pour le cycle Hercynien. Une grande partie du matériel déformé au cours de cette orogénèse appartient au substratum anté-paléozoïque. Cependant, le matériel clastique grossier attribué au Paléozoïque forme des écaillés très pelliculaires ou des nappes (Burg et al., 1993 ; Diop, 1996), avec des directions de transport vers l'est ou l'ESE. Mais ces structures ne sont pas connectées aux structures appalachiennes reliées à la suture aléghannienne (matérialisée par les anomalies magnétiques WACMA et ECMA) qui longe la côte Atlantique. En revanche, les formations tectono-métamorphiques hercyniennes qui affleurent à l'Ouest du Sahara et qui contiennent des « éclogites » datées à 330 Ma (Le Goff et al., 2001) et des pélites mylonitiques, appartiendraient aux structures appalachiennes (Villeneuve et al., soumis a).

6. Conclusions

L'orogénèse du Panafricain I mise en évidence dans les Bassarides (Villeneuve, 1984), serait liée à la fermeture vers 650 Ma de bassins marginaux en bordure du craton Ouest-Africain.

L'orogénèse du Panafricain II mise en évidence dans les Rokelides correspond en fait à une collision entre le craton Ouest-Africain et des blocs occidentaux (bouclier guyanais, bloc de Floride, bloc sénégalais, etc.), après fermeture vers 550 Ma d'un océan néoproterozoïque (WANO). C'est à cette orogénèse que nous rapportons le métamorphisme HP/BT (Caby et Kienast, 2009).

L'orogénèse hercynienne qui est à l'origine de nappes et de chevauchements importants dans les Mauritanides centrales, ne semble pas pouvoir être reliée, localement, à un modèle océanique de type subduction/collision. Faute de plus d'informations, nous considérons les nappes hercyniennes des Mauritanides, comme intracontinentales.

Non seulement ces nouvelles hypothèses concilient les modèles géodynamiques panafricains jusqu'ici opposés, alors qu'ils se sont succédé dans le temps, mais elles ouvrent des perspectives pour les corrélations avec le Brésil (où les chaînes panafricaines semblent se prolonger) et pour les corrélations paléozoïques entre les Mauritanides et les Appalachies.

Références

- Allen P.M., 1967. The geology of part of an orogenic belt in Sierra Leone, PhD thesis, University of Leeds, GB, 313 p.
- Allen, P.M., Snelling N.J., Rex, D.C. 1967. Age determinations from Sierra Leone, 15th annu. Rep. Dept. Geol.Geophys. Massachussets Institute of Technology, 23, 17–22.
- Angeli, H., 1983. Le magmatisme protérozoïque de l'ensemble Niokolo-Koba Koulountou, Témoins d'une marge continentale active au Panafricain, DEA, université de Nancy.
- Arribas, A., 1960. Las formaciones metamórficas del Sahara español y sus relaciones con el Precámbrico de otras regiones africanas, in: Rep. 21st Int. Geol. Congr. Norden, Copenhagen, Denmark, part IX, 193–202.
- Bassot, J.P., 1969. Aperçu sur les formations précambriennes et paléozoïques du Sénégal oriental. Bull. Soc. Geol. Fr. 7 (11), 160–169.
- Bering, D., Brinckmann, J., Camara, N.D., Diawara, M., Gast, L., Keita, S., 1988. Evaluation de l'inventaire des ressources minérales de Guinée. Etude Institut Fédéral de Géosciences et Ressources Naturelles (BRG), Hanovre, 106 p.
- Bonvalot, S., Villeneuve, M., Albouy, S., 1991. Gravity interpretation of western Sierra Leone (West Africa): implications on the structure and evolution of the Rokelide orogenic belt. C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. II 312, 841–848.
- Brinckmann, J., Meinhold, K.D., 2007. La géologie de la chaîne des Bassarides et des terrains environnants au Nord-Ouest de la Guinée. Geol. Jahrb., Hannover, B, SB1, 446 p.
- Bronner, G., Marchand, J., Sougy, J., 1983. Structure en synclinal de nappes des Mauritanides septentrionales (Adrar Souttouf, Sahara occidental), in: 12e Colloque de géologie africaine, Bruxelles, p. 15.
- Burg, J.P., Corsini, M., Diop, C., Maurin, J.C., 1993. Structure et cinématique du Sud de la chaîne des Mauritanides : un système de nappes tégumentaires varisques. C. R. Acad. Sci., Paris, Ser. II 317, 697–703.
- Caby, R., Kienast, J.R., 2009. Neoproterozoic and Hercynian metamorphic events in central Mauritanides: implications for the geodynamic evolution of West Africa. J. Afr. Earth Sci. 53, 122–136.
- Clauer, N., Dallmeyer, R.D., Lécorché, J.P., 1991. Age of the Late Palaeozoic tectonothermal activity in north central Mauritanide, West Africa. Precamb. Res. 49, 97–105.
- Culver, S.J., Williams, H.R., 1979. The Late Precambrian and Phanerozoic geology of Sierra Leone. J. Geol. Soc. Lond. 136, 605–618.
- Dallmeyer, R.D., Villeneuve, M., 1987. ⁴⁰Ar/³⁹Ar mineral age record of polyphase tectonothermal evolution in the southern Mauritanide orogen, southeastern Senegal. Geol. Soc. Am. Bull. 98, 602–611.
- Dallmeyer, R.D., Lécorché, J.P., 1989. ⁴⁰Ar/³⁹Ar polyorogenic mineral record within the central Mauritanide orogen, West Africa. Geol. Soc. Am. Bull. 101, 55–70.
- Dallmeyer, R.D., Caen-Vachette, M., Villeneuve, M., 1987. Emplacement age of post tectonic granites in southern Guinea (West Africa) and the peninsular Florida subsurface: implications for origin of southern Appalachian exotic terranes. Geol. Soc. Am. Bull. 99, 87–93.
- Delor, C., Lafon, J.M., Milesi, J.P., Fanning, M., 2002. First evidence of 560–575 Ma granulites and syn-tectonic magmatism in the Rokelides belt: geology, geochronology and geodynamic implications. 19th CAG, El Jadida, Morocco, 19–22 March, El Jadida University Press.
- Deynou, M., Affaton, P., Trompette, R., Villeneuve, M., 2006. Pan-African tectonic cycle and glacial climate registered in Neoproterozoic to Cambrian cratonic and foreland basins of West Africa. J. Afr. Earth Sci. 46, 397–426.
- Dia, O., 1984. 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 d'Aix-Marseille-3, 516 p.
- Diop, C. B., 1996. Structures et circulations de fluides dans un avant-pays synschisteux: le système de chevauchement des Mauritanides du Sénégal. Thèse, université de Nancy.
- Dorbath, C., Dorbath, L., Le Page, A., Gaulon, R., 1983. The West African craton margin in eastern Senegal: a seismological study. Annales Geophysicae 1, 25–36.
- Dupont, P.L., Villeneuve, M., Lapierre, H., 1984. Mise en évidence de reliques océaniques au sein de la chaîne panafricaine des Mauritanides dans la région des Bassaris (Guinée-Sénégal). C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. II 299, 65–70.
- Guétat, Z., 1981. Etude gravimétrique de la bordure occidentale du craton Ouest-Africain. Thèse 3ème cycle, USTL, Montpellier.
- Lahondère, D., Roger, J., Le Metour, J., Donzeau, M., Guillocheau, F., Helm, C., Thieblemont, D., Cocherie, A., Guerrot, C., 2005. Notice explicative des cartes géologiques au 1/200 000 et /500 000 de l'extrême Sud de la Mauritanie. DMG, ministère des Mines et de l'Industrie, Nouakchott, Rapport BRGM/RC-54273-Fr, 610 p.

- Le Goff, E., Guerrot, C., Maurin, G., Iohan, V., Tegye, M., Ben Zarga, M., 2001. Découverte d'éclogites hercyniennes dans la chaîne septentrionale des Mauritanides (Afrique de l'Ouest). *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. Ila* 333, 711–718.
- Lytwyn, J., Burke, K., Culver, S.J., 2006. The nature and location of the suture zone in the Rokelides orogen, Sierra Leone, Geochemical evidence. *J. Afr. Earth Sci.* 46, 439–454.
- Mourgues P., Poupinet, G., 1990. Etude télésismique de la lithosphère sous les Mauritanides, entre Aleg et Letfotar, In: 13^e RST, Grenoble, France, Soc. Geol. Fr., 95 p.
- Nomade, S., Poulet, A., Chen, Y., 2002. The French Guyana doleritic dykes: geochemical evidence of three populations and new data for the Jurassic Central Atlantic Magmatic Province. *Journal of Geodynamics* 34, 595–614.
- Nzamba, J., 2009. Modélisation et interprétation du substratum du bassin côtier Sénégal-Mauritanien, Mémoire de Master 2. Université de Provence, Marseille, 30 p.
- Ould Souelim, M., 1990. Les roches mafiques et ultramafiques du Guidimaka (Mauritanie) et les gisements de chromite associés. Thèse d'université, université de Nancy.
- Pitfield, P.E.J., Key, R.M., Waters, C.N., Hawkins, M.P.H., Schofield, D.I., Loughlin S., Barnes, R.P., 2004. Notice explicative des cartes géologiques et géologiques au 1/200 000 et 1/500 000 du Sud de la Mauritanie. Vol. 1, Géologie, DMG, ministère des Mines et de l'Industrie, Nouakchott, 314 p.
- Ponsard, J.F., Lesquer, A., Villeneuve, M., 1982. Une suture panafricaine sur la bordure occidentale du craton ouest africain ? *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. II* 295, 1161–1164.
- Rémy, P., 1987. Le magmatisme basique des Mauritanides centrales : une ouverture océanique limitée d'âge Protérozoïque supérieur en Afrique de l'Ouest. Thèse d'université, université de Nancy 1.
- Ritz, M., Robineau, B., 1986. Crustal and upper mantle electrical conductivity structures in West Africa: geodynamic implications. *Tectonophysics* 124, 115–132.
- Sougy, J., 1962a. West African Fold Belt. *Geol. Soc. Am. Bull.* 73, 871–876.
- Sougy, J., 1962b. Contribution à l'étude géologique des guelbs Bou-Leriah (région d'Aoucert, Sahara espagnol). *Bull. Soc. Geol. Fr.* 4, 436–445.
- Sougy, J., 1969. Grandes lignes structurales de la chaîne des Mauritanides et de son avant-pays (socle précambrien et sa couverture infracambrienne et paléozoïque). *Afrique de l'Ouest. Bull. Soc. Geol. Fr.* 11, 133–149.
- Villeneuve, M., 1984. Étude géologique de la bordure SW du craton Ouest-Africain. Thèse d'État, université d'Aix-Marseille III.
- Villeneuve, M., 2008. Review of the orogenic belts on the western side of the West African craton: the Bassarides, Rokelides and Mauritanides. In: Ennih, N., Liegeois, J.-P. (Eds.), *The Boundaries of the West African Craton*. Geological Society of London, (Special Publications), pp. 169–201.
- Villeneuve, M., en cours. New Geophysics and Geodynamic interpretations of the central Mauritanian belt, *J. Afr. Earth Sci.*
- Villeneuve, M., Bellon, H., El Archi, A., Sahabi, M., Rehault, J.P., Olivet, J.L., Aghzer, A.M., 2006. Événements panafricains dans l'Adrar Souttouf (Sahara marocain). *C. R. Géoscience* 338, 359–367.
- Villeneuve, M., Nzamba, J., Fournier, F., Viseur, S. soumis a. The Appalachian-Mauritanian connections concealed by the Senegalo-mauritanian costal basin (Sénégal), *Geology*.
- Villeneuve, M., Bellon, H., Corsini, M. Le Metour, J., Delor, C., soumis b. Radiometric evidence for Panafricain 1 mylonitic rocks in Southwestern Guinea: consequences on the Rokelide belt geodynamic interpretation, *Precamb. Res.*
- Villeneuve, M., Bellon, H., El Archi, A., Rjimati, E., Zemmouri, A., Corsini, M., Rehault, J.P., soumis c. Geology of the Adrar Souttouf (western Sahara, Morocco) and correlations between the "Souttoufides" and the Appalachian /Mauritanian belts, *Intern J. Earth Sci.*
- Williams, H.R., 1988. The Archean Kasila group of western Sierra Leone: Geology and relations with adjacent granite-greenstone terrane. *Precamb. Res.* 38, 201–213.