

LE VOLCANISME DOMEEN DU NEOPROTEROZOÏQUE TERMINAL DE LA BOUTONNIERE D'AÏT SAWN (ANTI-ATLAS ORIENTAL, MAROC)

The Late Neoproterozoic dome-type volcanism from the Aït Sawn inlier (eastern Anti-Atlas, Morocco)

par Rachid ZAHOUR (*), Ghalem ZAHOUR (*), Abou Hamath SY (*), Zouhir BAROUDI (*), Hassan EL HADI (*)
& Youssef ZERHOUNI (*)

Résumé. – L'étude lithostratigraphique et pétrographique du volcanisme du Néoprotérozoïque terminal de la boutonnière d'Aït Sawn (Anti-Atlas oriental, Maroc) a permis de distinguer trois épisodes magmatiques. Les coulées basiques représentent le premier épisode volcanique reconnu dans ce secteur. Le second est matérialisé par des coulées andésitiques qui font suite à une période de sédimentation détritique marquant un arrêt temporaire du volcanisme. Le troisième épisode correspond à des émissions acides marquées par la mise en place de laves rhyolitiques, de projections violentes (ignimbrites) ainsi que de filons rhyolitiques. L'étude volcanologique nous a permis de mettre en évidence des appareils volcaniques de type central et fissural qui ont servi de voies d'alimentation du volcanisme étudié. Les premiers sont représentés par des cumulo-dômes et des dômes-coulées ignimbritiques, tandis que les seconds s'expriment sous forme d'un volcan fissural effusif avec émissions de coulées basiques et andésitiques ainsi que des filons rhyolitiques. Ces appareils volcaniques bordent deux générations de failles volcano-tectoniques orientées N60 et N140 héritées vraisemblablement du socle protérozoïque. Ces accidents tectoniques auraient joué tardivement vraisemblablement lors de l'orogénèse hercynienne et/ou atlasique. Ils auraient probablement guidé le volcanisme du secteur comme en témoigne la relation spatiale entre ces failles et les édifices volcaniques. L'activité volcano-tectonique semble être rattachée à un épisode d'extension crustale régionale finiprotérozoïque.

Abstract. – *The lithostratigraphic and petrographic study of the Late Neoproterozoic volcanism from the Aït Sawn inlier (Eastern Anti-Atlas, Morocco) allows us to recognize three magmatic episodes. The mafic flows represent the first recognized volcanic episode in this area. The second episode consist of andesitic flows that follow a detrital sedimentation period indicating a temporary volcanic activity cessation. The third volcanic event comprises felsic emissions marked by the establishment of rhyolitic lavas, violent projections (ignimbrites) and the felsic dykes. The volcanological study allowed us to differentiate central and fissural type volcanic edifices which can be considered to be the feeders for the eruptions. The first are represented by ignimbritic cumulo-domes and flow-dome, while the second is displayed by fissural-type volcanos with mafic and andesitic flows and rhyolitic dykes. These volcanic edifices match two generations of volcano-tectonic faults oriented N60 and N140 probably inherited from the Proterozoic basement. These tectonic faults have been probably reworked later during the Hercynian and / or the Atlasic events. They probably guided volcanism as evidenced by the spatial relationship between these faults and volcanic edifices. The volcano-tectonic activity seems to be related to a Late Proterozoic regional crustal extension.*

Mots clés. – Anti-Atlas oriental, Aït Sawn, Néoprotérozoïque terminal, dômes volcaniques, failles volcanotectoniques.
Key words. – *Eastern Anti-Atlas, Aït Sawn, Late Neoproterozoic, volcanic domes, volcanotectonic faults.*

I. — INTRODUCTION

Le domaine de l'Anti-Atlas, situé sur la bordure septentrionale du craton ouest-africain, appartient à la ceinture orogénique panafricaine (Hefferan *et al.*, 1992 ; Thomas *et al.*, 2002). Il constitue un segment de la chaîne panafricaine où les terrains précambriens affleurent dans des boutonnières disposées suivant une direction globale NE-SW (Fig. 1), résultat de l'érosion combinée à des effets d'évènements tectoniques compressifs et extensionnels.

La boutonnière précambrienne d'Aït Sawn, située à 40 km au sud-est de la ville d'Ouarzazate (Fig. 2A) et à 45 km au nord-ouest de Zagora, appartient au massif de Saghro (Fig. 1). Elle correspond à un bombement étendu suivant une direction NE-SW, et composé d'un socle précambrien recouvert en discordance par une couverture infracambrienne schisto-grésocarbonatée (Fig. 2B). Le socle précambrien est constitué par des roches volcaniques et volcanoclastiques dont l'ensemble a été défini sous le nom de formation d'Ouarzazate ou Précambrien III selon Choubert (1957, 1963) et supergroupe de Ouarzazate selon la classification de Thomas *et al.* (2004). Les datations des

(*) Laboratoire de Géologie Appliquée, Géomatique et Environnement, Faculté des Sciences Ben Msik, BP 7955, Casablanca, Maroc ; e-mails : zahour_rachid@yahoo.fr, zerhouni.y@gmail.com

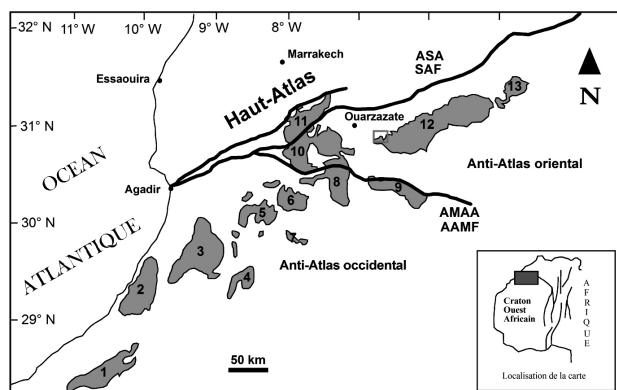


Fig. 1. — Schéma géologique de l'Anti-Atlas marocain avec localisation des boutonnières précambriennes d'après (Choubert, 1963) et du secteur d'Aït Sawn étudié. 1: Bas Drâa; 2: Ifni; 3: Kerdous; 4: Akka; 5: Ighrem; 6: Iguerda; 7: Tata; 8: Zenaga; 9: Bou-Azzer; 10: Siroua; 11: Ouzellagh; 12: Saghro; 13: Ougnat; ASA : Accident sud Atlasique ; AMAA : Accident majeur de l'Anti-Atlas.

Fig. 1. — Geological sketch map of the Moroccan Anti-Atlas with location of Proterozoic inliers (after Choubert, 1963) and Aït Sawn studied area. 1: Bas Draa; 2: Ifni; 3: Kerdous; 4: Akka; 5: Ighrem; 6: Iguerda; 7: Tata; 8: Zenaga; 9: Bou-Azzer; 10: Siroua; 11: Ouzellagh; 12: Saghro; 13: Ougnat; SAF : South Atlas Fault ; AAMF : Anti-Atlas Major Fault.

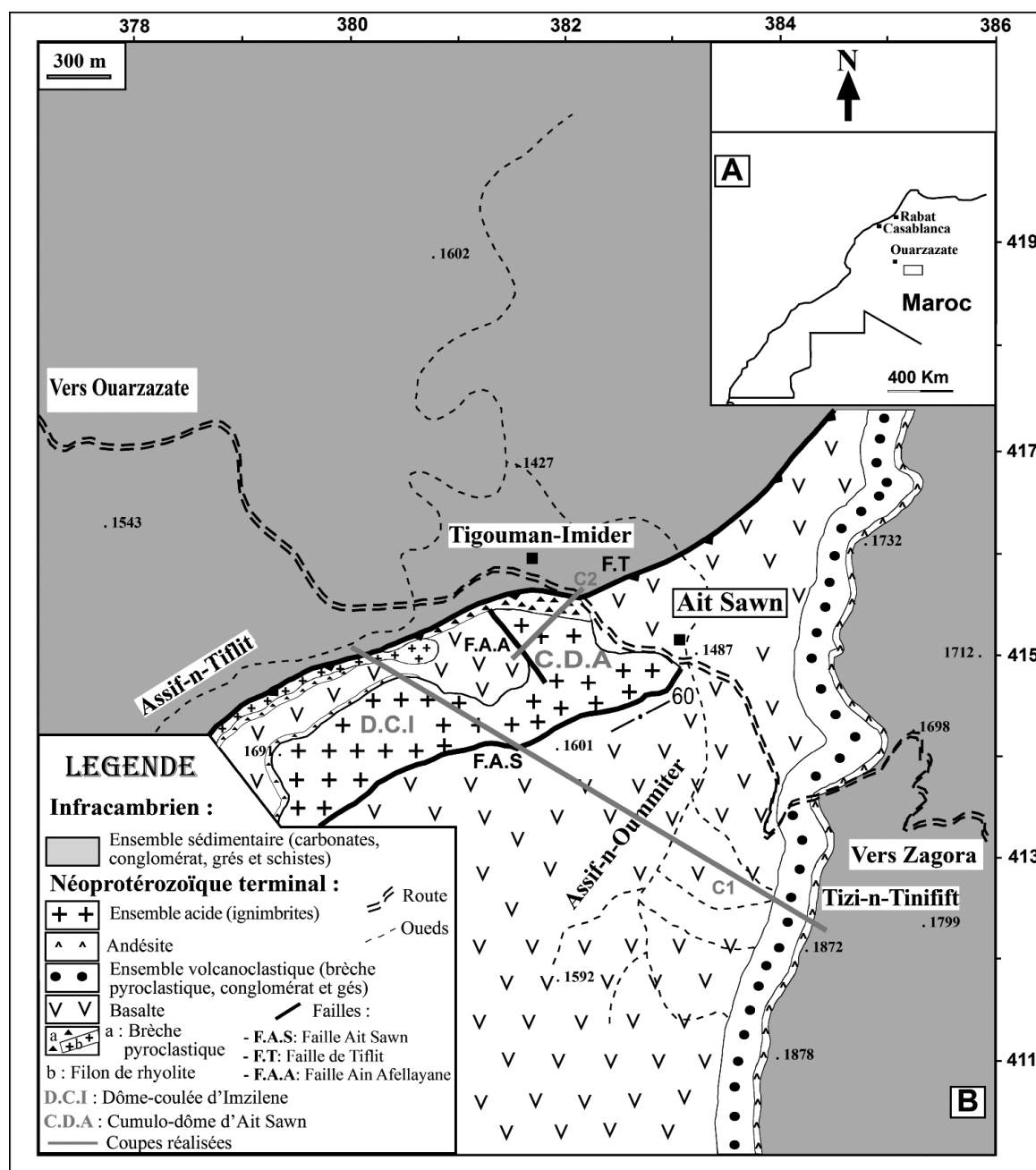


Fig. 2. — (A) Croquis de situation de la région étudiée, (B) Carte géologique de la boutonnière d'Aït Sawn.

Fig. 2. — (A) Location sketch of studied area, (B) Geological map of the Aït Sawn inlier.

coulées de roches volcaniques dans la région d'Ouarzazate ont permis de livrer des âges compris entre -586 ± 20 et -563 ± 10 Ma (Mifdal & Peucat, 1985) ; une autre datation des ignimbrites a donné un âge de -567 ± 7 Ma (Walsh *et al.*, 2002 ; U/Pb sur zircons). Ces âges attribuent un âge édiacarien supérieur aux formations du Supergroupe d'Ouarzazate (Yazidi *et al.*, 2008).

Le but de cette recherche consiste essentiellement à :

- * présenter et décrire la succession lithostratigraphique des séries volcaniques édiacariennes de la boutonnière d'Aït Sawn en se basant sur les relations mutuelles entre les différentes formations et la corrélation des différentes coupes géologiques sériées réalisées à travers le secteur ;

- * décrire les différents faciès pétrographiques qui constituent ces formations ;

- * reconstituer les paléo-appareils ayant servi de voies d'alimentation du magmatisme du secteur ;

- * reconstituer l'histoire paléogéographique du secteur d'Aït Sawn et mettre en évidence le rôle de la tectonique dans la mise en place du volcanisme.

II. — LITHOSTRATIGRAPHIE ET PETROGRAPHIE DES FORMATIONS DU PRECAMBRIEN III D'AÏT SAWN

La cartographie détaillée et la corrélation des coupes sériées réalisées ont permis d'établir une succession lithostratigraphique synthétique des formations volcaniques et volcanoclastiques néoproterozoïques de la boutonnière d'Aït Sawn (Fig. 3). La coupe synthétique montre les faciès pétrographiques suivants qui sont des plus anciens aux plus récents :

1) les brèches pyroclastiques inférieures (30 m)

Elles correspondent au faciès de base du Néoproterozoïque terminal à l'échelle du secteur et affleurent au pied nord de Jbel Bou Imzilène. Ce sont des roches grises en patine et rougeâtres à la cassure, caractérisées par la présence de xénolites à contours anguleux et sinueux de basaltes porphyriques sus-jacents. Il s'agit de projections violentes qui annoncent les premières venues magmatiques du secteur.

2) Les basaltes (60 m)

Il s'agit d'une succession de coulées décamétriques qui occupent une grande étendue. Dans la vallée d'Assif-n-Oummiter, le faciès dominant est celui du basalte porphyrique à mégaporphyrique vacuolaire qui correspond à des roches sombres, parfois verdâtres ou rougeâtres, contenant des phénocristaux de plagioclase de taille millimétrique à centimétrique. Localement, ces roches renferment des vacuoles millimétriques à centimétriques. Au nord du Jbel Bou Imzilène, ces basaltes deviennent fluidaux. La fluidalité verticale orientée N60, est marquée par l'orientation privilégiée des cristaux de plagioclase.

3) L'ensemble volcanoclastique composite (45 m)

Il est représenté par des brèches pyroclastiques, formées de fragments centimétriques des basaltes porphyriques sur lesquelles reposent des conglomérats épicaustiques et des alternances de niveaux centimétriques gréseux et bréchiques. La partie sommitale de cet ensemble correspond à une période de sédimentation qui marque un arrêt momentané du volcanisme.

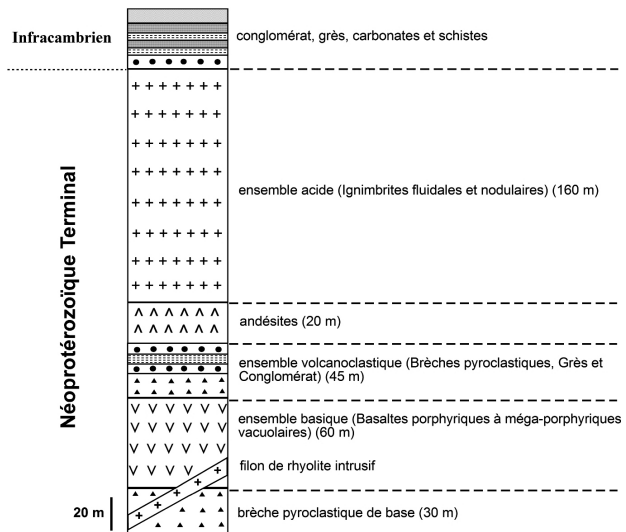


Fig. 3. — Succession lithostratigraphique du Néoproterozoïque terminal de la boutonnière d'Aït Sawn.

Fig. 3. — Lithostratigraphic sequence of the late Neoproterozoic from the Aït Sawn inlier.

4) Les andésites

Un second épisode magmatique est représenté par des coulées d'andésites (20 m) de couleur grisâtre à sombre, presque aphyriques à l'œil nu.

5) Les ignimbrites

Le troisième épisode volcanique correspond à des émissions acides marquées par la mise en place d'une puissante série (160 m) ignimbritique. Ces faciès occupent principalement le sommet de Jbel Bou Imzilène et montrent la succession suivante :

- * *Les ignimbrites fluidales (10 m)* affleurent en position basale au niveau du versant sud de Jbel Bou Imzilène avec une fluidalité verticale orientée N60. Ce faciès montre un rubanement millimétrique visible à l'échelle de l'échantillon. Celui-ci est marqué par une alternance de lits millimétriques clairs et de lits sombres ;

- * *les ignimbrites nodulaires (≈ 60 m)* affleurent principalement sur le flanc sud de Jbel Bou Imzilène. L'une des caractéristiques de ce faciès est la présence de nodules sphériques de taille millimétrique à décimétrique (jusqu'à 15 cm) remplis de quartz et/ou verre volcanique ;

- * *les ignimbrites fluidales et nodulaires (90 m)* constituent la grande partie de l'ensemble acide. Elles se caractérisent par la présence d'une fluidalité et de nodules souvent sphériques ou parfois elliptiques, formés de quartz ou de verre volcanique. Certains nodules sont zonés et montrent un noyau de quartz dans un cortex de silice amorphe.

Le magmatisme filonien est représenté par un filon rhyolitique d'une puissance de 10 à 30 m et d'une extension de plusieurs centaines de mètres. Ce filon a une direction N60 et un pendage subvertical à vertical (70° à 80°) qui longe le versant nord du Jbel Imzilène. Il est encaissé tantôt dans les brèches

Nature de la roche	Faciès	Paragenèse primaire	Paragenèse secondaire	% des Constituants		Texture	Autres critères
				Cristaux	Mésostase		
Basaltes	Faciès à olivine et pyroxène	Pl, Px, Ol et Op	Ser, Chl, Ep et Oxy	80%	20%	Microlitique porphyrique	-----
	Faciès fluidale et vacuolaire	Pseudomorphes de Px et Op	Ep	10%	90%	Microlitique fluidale et vacuolaire	- Microlites de plagioclase localement orientées (fluidalité) - Vacuoles à Pl-Ep ---- remplissage séquentiel
	Faciès porphyrique et vacuolaire	Pl et Op	Qz, Cal et Oxy	60%	40%	Microlitique porphyrique vacuolaire	- Vacuoles à Fld ---- remplissage monominéral. - Vacuoles à Fld-Qz ---- remplissage séquentiel. - Vacuoles à Fld-Cal ---- remplissage séquentiel.
Andésites	Microlitique porphyrique vacuolaire	Pl et Op	Cal, Ser et Oxy	35%	65%	Microlitique porphyrique vacuolaire	- Vacuoles à Qz ---- remplissage monominéral. - Vacuoles à Calcite-quartz ---- remplissage séquentiel.
Ignimbrites	Faciès fluidale et rubané	Qz et Op	Qz et Oxy	5%	95%	Eutaxitique	- Alternance de canaux rectilignes clairs et sombres (rubanement). - Recristallisation du fond vitreux préexistant en une mosaïque de Qz Fld. - Echardes en forme de bâtonnets orientés, empilés et serrés les uns contre les autres (fluidalité).
	Faciès nodulaire	Qz et Op	Qz et Oxy	5%	95%	Vitroclastique nodulaire	- Nodules formées de silice amorphe fibreuse et radiée. - Nodules formées de Qz-silice. - Dévitrification du fond vitreux préexistant et recristallisation en Qz. secondaire
	Faciès fluidale	Qz et Op	Qz et Oxy	5%	95%	Eutaxitique	- Echardes aplaties sous forme de filaments orientés. - Mésostase finement recristallisée en quartz secondaire.
Rhyolites	Cryptocristallin	Qz et Fld et Op	Qz et Oxy	5%	95%	Cryptocristalline	- Dévitrification du fond vitreux préexistant et recristallisation en Qz et Fld.
Brèches pyroclastiques	Faciès pyroclastique xénolitique basaltique	Fragments de roches (85%), (Pl et Op : 5%) et Ciment (10%)					- Les fragments de roches sont de deux types : - Fragments holo-feldspathiques ; constitués par des microlites de plagioclase orientés - Fragments à texture microlitique porphyrique vacuolaire - Le ciment est de nature siliceuse

Tableau I. — Tableau récapitulatif de la pétrographie de la série volcanique du Néoprotérozoïque terminal de la boutonnière d'Aït Sawn. Abréviations : Pl : plagioclase, Px : pyroxène, Ol : olivine, Op : opaques, Qz : quartz, Fld : feldspaths, Ep : épidote, Cal : calcite, Ser : séricite, Chl : chlorite, Oxy : oxydes.

Table 1. — Petrography summary of the volcanic series of the late Neoproterozoic of the Aït Sawn inlier. Abbreviations: Pl : plagioclase, Px : pyroxene, Ol : olivine, Op : opaque, Qz : quartz, Fld : feldspars, Ep : epidote, Cal : calcite, Ser : sericite, Chl : chlorite, Oxy : oxides.

pyroclastiques de base tantôt dans les basaltes. Vers l'est, ce filon débouche dans le cumulo-dôme d'Aït Sawn. Sur la série volcanique et volcanoclastique du Néoprotérozoïque terminal de la boutonnière d'Aït Sawn, repose en discordance une puissante couverture infracambrienne schisto-gréso-conglomératique et carbonatée. Les principaux caractères pétrographiques des roches du Précambrien III d'Aït Sawn sont résumés dans le tableau ci-dessus (Tabl. I).

III. — DESCRIPTION DES APPAREILS VOLCANIQUES D'AÏT SAWN

Le volcanisme édiacarien de la Boutonnière d'Aït Sawn est marqué par deux grands types de dynamisme éruptif qui dépendent essentiellement de la nature des laves émises. Un magma basique à intermédiaire, qui semble être plus fluide, est responsable d'une activité magmatique effusive matérialisée par des empilements de coulées de basaltes porphyriques à mégaporphyriques auxquels succèdent des coulées andésitiques. Après une période de repos, une autre activité volcanique, cette fois-ci explosive, reprend et produit un magmatisme présumé visqueux et pâteux au moment de l'éruption en raison de son importante acidité. Ce magma s'accumule à proximité des points d'émission sans pouvoir s'étaler sur une très grande étendue donnant naissance à des roches acides en l'occurrence les ignimbrites. Dans la région étudiée, les produits volcaniques ne sont pas distribués d'une manière aléatoire, mais ils s'accumulent plutôt au niveau du cratère du volcan en édifiant des appareils volcaniques à la surface appelés communément des extrusions. Dans ce qui suit on s'intéressera à la reconnaissance de la morphologie, la structure et le type des paléo-appareils qui ont servi de voies d'alimentation aux produits volcaniques.

1) Les appareils centraux

Les édifices volcaniques ponctuels mis en évidence rappellent par leur morphologie des dômes classiques analogues à ceux décrits dans les volcans néogènes d'Iran (Emami & Michel, 1982), dans le Haut-Atlas (Zahour *et al.*, 2000 ; Zahour, 2001) et dans l'Anti-Atlas (Zahour, 1990 ; El Maidani, 2005). Nous décrirons dans ce qui suit deux exemples d'extrusions.

a) Dôme-coulée d'Imzilene

C'est une extrusion formée principalement d'ignimbrites. Cette structure encaissée dans les basaltes (Fig. 4), rappelle par sa géométrie les dômes-coulées du Précambrien III décrits dans d'autres secteurs de l'Anti-Atlas (Zahour, 1990) et dans le Haut-Atlas (Zahour, 2001). Le cœur de l'appareil, qui se situe au SE du Jbel Bou Imzilene, est marqué par un faciès d'ignimbrites fluidales et rubanées qui passe à un faciès ignimbritique nodulaire. Ces roches présentent une fluidalité N60 verticale et jalonnent une grande faille verticale orientée N60 (faille d'Aït Sawn). La disposition verticale de la fluidalité laisse penser que ces ignimbrites constituent le centre d'émission.

En s'éloignant du centre de l'appareil vers le NW de Jbel Bou Imzilene, affleure un puissant faciès d'ignimbrite fluidale et nodulaire dont la fluidalité, orientée N60, est oblique (70°NW). La disposition de la fluidalité laisse penser que ce faciès aurait été étalé vers le NW sur une topographie en demi-graben à la suite d'un effondrement vers le NW, qui est vraisemblablement syn-éruptif, que l'on peut attribuer aux jeux de la faille d'Aït Sawn au SE et de la faille de Tifit au NW. Les mesures de la fluidalité au niveau des ignimbrites montrent des valeurs

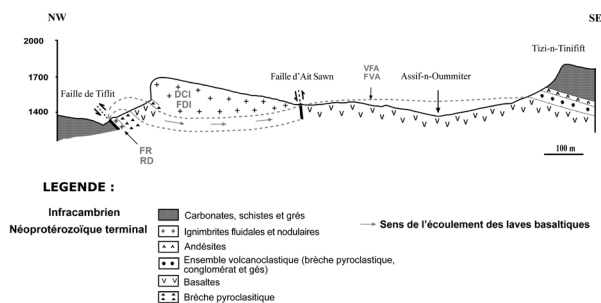


Fig. 4. — Coupe géologique réalisée à travers le secteur d'Aït Sawn.

Fig. 4. — Geological section through the Aït Sawn district.

différentes de pendage : on passe d'une fluidalité verticale (Photo 1) au SE au contact de la faille d'Aït Sawn, à une fluidalité oblique (direction N60 et pendage 70° vers NW) vers le NW. Ces changements de pendage de la fluidalité révèlent la présence d'un appareil volcanique de type dôme-coulée (ou encore dôme-étalé) atteignant 40 m de hauteur, dont les produits ignimbritiques auraient rempli une dépression d'environ 1 km de longueur sur 300 m de largeur.

b) Cumulo-dôme d'Aït Sawn (Fig. 5)

La géométrie de cet édifice volcanique correspond à un dôme en forme de coupole (Reffay, 1980) qui rappelle les dômes classiques d'âge néoprotérozoïque terminal décrits dans d'autres endroits autour d'Ouarzazate (El Maidani, 2005). L'extrusion a un diamètre d'environ 150 m et sa hauteur atteint plus de 20 m. Cet édifice est constitué par des ignimbrites fluidales et nodulaires, dont la fluidalité verticale est marquée par des rubans de quartz millimétriques orientés N140 ; l'appareil volcanique semble représenter une accumulation de faciès ignimbritiques acides plus visqueux à proximité du point de sortie du magma.



Photo 1. — Photo du faciès ignimbritique montrant la disposition verticale de la fluidalité.

Picture.1. — Picture of the ignimbritic facies showing the vertical arrangement of the fluidality.

La masse ignimbritique est encaissée dans les brèches et les basaltes de Jbel Bou Imzilene. Il y a lieu de remarquer que cette extrusion est limitée au SW par la faille d'Ain Afellayane et au NE par la faille N60 de Tiflit. Ce dernier accident semble avoir été actif pendant l'éruption et aurait, par conséquent, facilité la montée du magma ignimbritique.

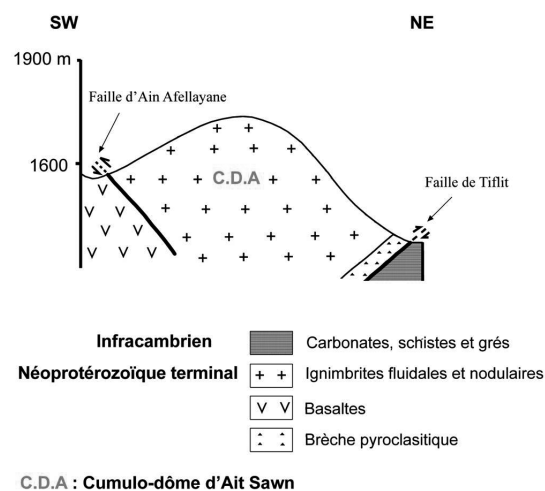


Fig. 5. — Coupe géologique réalisée au niveau du cumulo-dôme d'Aït Sawn.

Fig. 5. — Geological section of the Aït Sawn cumulo-dome.

2) les appareils fissuraux

a) volcan fissural effusif

Cet immense édifice volcanique (Fig. 4) est représenté par des empilements de laves basiques qui couvrent une très vaste étendue. Le long de l'Oued Tiflit, les faciès basiques sont marqués par une fluidalité N60 verticale, cette disposition laisse penser que le centre des émissions de laves basaltiques se situe à proximité de la faille de Tiflit et que la mise en place du magma semble être contemporaine de la réactivation de cet accident volcano-tectonique. En s'éloignant de la zone centrale notamment au niveau de la vallée d'Oummiter (Fig. 4) vers le SE, le pendage des coulées devient faible (10°). Cette disposition du pendage au sein des coulées peut être expliquée par des expulsions successives du magma basique à partir du centre d'émission, suivies du fluage latéral des laves sur une pente douce donnant ainsi un édifice volcanique sous forme d'un volcan fissural effusif.

b) filon rhyolitique

D'une extension décamétrique et d'une puissance de 10 à 30 m, il est orienté sensiblement E-W, avec un fort pendage vers le SE (70 à 80°), et jalonne la grande faille de Tiflit. Ce filon semble être intrusif à la fois sur les brèches pyroclastiques de base et les basaltes de Jbel Bou Imzilene et par conséquent sa mise en place est postérieure aux faciès volcaniques basiques, et semble contemporaine des faciès acides ignimbritiques constituant le

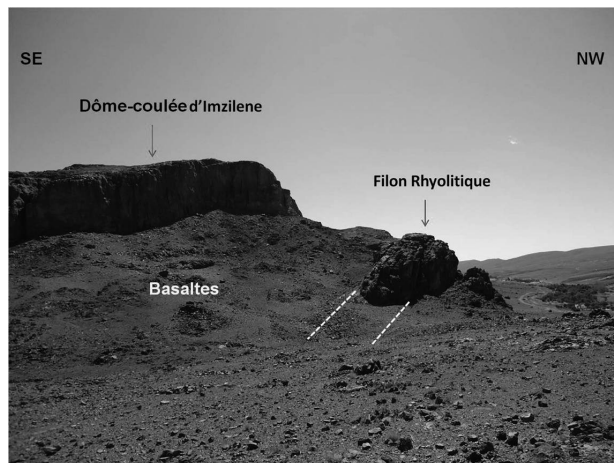


Photo 2. — Photo montrant la relation entre le dôme-coulée d'Imzilène et le filon rhyolitique.

Picture 2. — Picture of the relationship between the Imzilène flow-dome and the rhyolitic dyke.

dôme-coulée d'Imzilene. La relation spatiale entre le dôme-coulée d'Imzilene et le filon rhyolitique nous a permis de penser que ce dernier correspondrait à une voie d'alimentation qui déboucherait dans la racine du dôme-coulée (Photo 2).

IV. — PALEOVOLCANISME DU SECTEUR D'AÏT SAWN

Les premières manifestations volcaniques reconnues à Aït Sawn sont des coulées basiques auxquelles sont associées à la base et au sommet des pyroclastites. Les variations de la surface d'affleurement de ces empilements de laves, comme il apparaît à la lecture de la carte géologique, sont régies par la tectonique et la topographie. Le centre d'émission de ces laves basiques est localisé en bordure de la faille volcano-tectonique de Tifit située au NW qui a joué le rôle de cheminées d'alimentation de ces coulées. Ces produits volcaniques se sont accumulés sur une topographie inclinée vers le SE, liée probablement à un paysage en forme de demi-graben vers le SE, et forment un appareil volcanique sous forme d'un volcan fissural et effusif vers le SE. L'activité volcanique est interrompue par un épisode sédimentaire responsable du démantèlement des reliefs basaltiques et l'installation d'un épisode d'érosion de type torrentiel permettant le dépôt de conglomérats épicastiques comblant les paléochenaux comme ceux qui sont observés dans la boutonnière d'Imiter (Baroudi, 2002). Ces conglomérats passent à des alternances de niveaux gréseux et de niveaux bréchiques et traduisent des périodes de sédimentation relativement calmes alternant avec les périodes torrentielles. Le volcanisme reprend et se manifeste par des coulées andésitiques. Cet épisode volcanique est précédé par de violentes projections pyroclastiques. Les points d'émission ont ensuite migré vers le SE en bordure de la faille d'Aït Sawn et vers l'est en bordure de la faille d'Ain Afellayane, avec toutefois émission de laves acides visqueuses ignimbritiques. Cet épisode volcanique se termine par l'édification des appareils volcaniques soit sous forme de dôme-coulée (dôme-coulée d'Imzilene), soit sous forme de cumulo-dôme (cumulo-dôme d'Aït Sawn). Des filons acides contemporains ont été mis en place et représentent des cheminées d'alimentation du volcanisme.

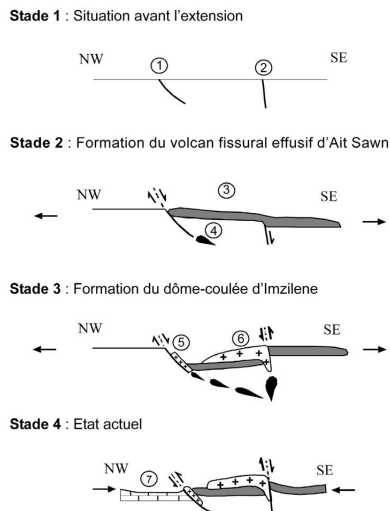
V. — IMPACT DE LA TECTONIQUE SUR LA MISE EN PLACE DU VOLCANISME

L'examen de la carte géologique du secteur montre une relation spatiale entre les accidents majeurs et le volcanisme, ce qui suggère un éventuel impact direct de ces accidents sur le dynamisme du volcanisme de la région et sur sa répartition. Dans le but de mettre en évidence le lien étroit entre la tectonique et la mise en place du volcanisme du Néoprotérozoïque terminal de la boutonnière d'Aït Sawn et en particulier sur l'édification des appareils volcaniques, il convient de se référer aux données structurales observées sur le terrain. Les déformations enregistrées par les terrains du Néoprotérozoïque terminal d'Aït Sawn sont la conséquence d'une tectonique cassante représentée par des accidents pour la plupart de grande ampleur. Ces structures peuvent être groupées en deux grandes générations de failles :

1) La première population des failles subverticales à verticales qui ont joué un rôle majeur dans l'évolution paléogéographique du secteur, est d'une direction généralement N60. Le premier exemple de cette génération est la faille d'Aït Sawn qui a mis les basaltes porphyriques au contact du dôme-coulée d'Imzilene ; le deuxième exemple de la même famille est la faille de Tifit qui longe l'Assif-n-Tifit et qui a mis en contact anormal la série schisto-gréso-carbonatée infracambrienne avec la série du Néoprotérozoïque terminal par l'intermédiaire du filon rhyolitique. Ces accidents représenteraient un héritage structural protérozoïque (Azizi, 1990 ; Zahour, 2001 ; Sy, 2013) ayant rejoué pendant le Néoprotérozoïque terminal et seraient responsables de la mise en place des magmas liés à l'extension continentale post-panafricaine (Soulaïmani *et al.*, 2003). Cette extension est responsable de la réactivation des accidents hérités du Protérozoïque, en l'occurrence la faille de Tifit qui aurait rejoué en faille normale, favorisant ainsi la compartimentation du secteur en demi-graben à fond incliné vers le SE. Elle aurait déterminé par son jeu un demi-graben qui serait comblé par les premières manifestations volcaniques reconnues à Aït Sawn, à savoir les coulées basiques formant le volcan basique effusif d'Aït Sawn. L'épanchement des coulées vers le SE, donc une paléogéographie fini-précambrienne avec une pente vers le SE, serait dû au basculement des blocs vers le SE (Fig. 6).

La distension se poursuivait et conduisait à la formation d'une zone déprimée bordée au NW par la faille de Tifit et au SE par la faille d'Aït Sawn. Cette zone correspond actuellement à l'emplacement de Jbel Bou Imzilene, qui aurait subi un effondrement vraisemblablement syn-éruptif vers le NW et pour nous lié au jeu de la faille volcano-tectonique d'Aït Sawn : l'étalement d'un seul côté, vers le NW, des laves ignimbritiques acides qui ont donné le dôme-coulée d'Imzilene est une indication en faveur de cet effondrement. Le linéament volcano-tectonique de Tifit aurait guidé la mise en place du filon rhyolitique que nous considérons comme vraisemblablement contemporain de la mise en place du magma ignimbritique. La famille de faille N60 aurait rejoué plus tardivement, probablement pendant l'Hercynien et/ou l'Atlisque comme en témoigne leur rejou postérieur à l'Infracambrien, qu'elles tranchent.

2) La seconde population de failles est orientée N140 ; ce sont des failles subverticales, visibles sur le terrain grâce au décalage apparent des formations volcaniques. Le meilleur exemple est la faille d'Ain Afellayane, qui a induit par son mouvement le soulèvement des basaltes au contact du cumulo-dôme d'Aït Sawn. En effet la faille d'Ain Afellayane, représente un accident d'âge précambrien qui détermine par son jeu au Néoprotérozoïque terminal un paléoseuil situé sur l'emplacement du cumulo-dôme d'Aït Sawn. Il semble aussi que le linéament tectonique ait été actif pendant l'éruption



1 et 2 : Failles héritées du socle Précambrien (1: accident de Tiflit ; 2: accident d'Aït Sawn) ;
3 : Volcanisme basique effusif et fissural d'Aït Sawn ; 4 : Magma ; 5 : Filon rhyolitique ;
6 : Dôme coulée Ignimbritique d'Imzilene; 7: Infracambrien.

Fig. 6. — Modèle proposé pour la reconstitution des appareils volcaniques d'Aït Sawn.

Fig. 6. — *Proposed model for the reconstruction of the Aït Sawn volcanic apparatus.*

et aurait, par conséquent, facilité la montée du magma ignimbritique. Ce dernier va nourrir l'appareil édifié en surface sous la forme de cumulo-dôme d'Aït Sawn. Cet accident aurait joué plus tardivement probablement lors du cycle hercynien et/ou atlasique.

VI. — DISCUSSION

Les marqueurs structuraux et magmatiques observés dans la région d'Aït Sawn nous permettent de penser que le volcanisme de ce secteur est lié à un contexte géodynamique extensif. Cet événement se produit à la fin du Précambrien (vers - 550 Ma) dans l'Anti-Atlas (Pelleter, 2007 ; Thomas *et al.*, 2002, 2004). Durant plusieurs dizaines de millions d'années, une extension continentale s'est exercée sur la limite nord du craton ouest-africain (Soulaïmani *et al.*, 2004). Les anciennes structures, vraisemblablement héritées du socle précambrien, ont joué pendant le Néoprotérozoïque terminal en failles verticales et normales à la suite d'un événement tectonique extensif tardif à post-orogénique à l'échelle de l'Anti-Atlas (Oudra *et al.*, 2005; Soulaïmani *et al.*, 2014), et seraient symptomatiques d'une distension aboutissant à un amincissement crustal et à un basculement des blocs en induisant une architecture en grabens (Piqué *et al.*, 1999). L'emplacement des extrusions

volcaniques étudiées entre vraisemblablement dans ce cadre. La fusion partielle du manteau qui accompagne l'extension crustale se traduit par un magmatisme majeur dont l'activité s'étend sur près de 40 Ma (Gasquet *et al.*, 2005 ; Blein *et al.*, 2014), responsable de la mise en place lors d'un premier cycle des magmas basaltiques et andésitiques édifiant des coulées de laves issues d'un volcanisme fissural.

La région a connu un autre cycle volcanique acide à dominance ignimbritique qui traduit soit une fusion crustale (Leblanc, 1986 ; Zahour, 1990 ; Álvaro *et al.*, 2014) soit une cristallisation fractionnée des magmas basiques et intermédiaires (Zahour, 2001 ; Toummite *et al.*, 2013), édifiant en surface des extrusions soit sous forme de cumulo-dôme (cumulo-dôme d'Aït Sawn), soit sous forme de dôme-coulée (dôme-coulée d'Imzilene). Les études géochimiques en cours permettront de confirmer ou d'infirmer ces hypothèses. Nous estimons que ces failles ont joué de nouveau plus tardivement en sens inverse pendant l'Hercynien et/ou l'Atlasique en provoquant la structuration actuelle du secteur. Cette géométrie est enregistrée par les grandes structures citées précédemment.

VII. — CONCLUSION

Dans la boutonnière d'Aït Sawn, la série du Néoprotérozoïque terminal est caractérisée par trois cycles volcaniques séparés dans le temps par des épisodes volcanoclastiques. Le premier cycle est caractérisé par la mise en place des coulées basaltiques qui sont précédées par un épisode explosif matérialisé par des brèches pyroclastiques. Le second cycle est matérialisé par des coulées andésitiques qui font suite à une période de sédimentation détritique (conglomérats et brèches) marquant un arrêt momentané du volcanisme. Quant au troisième, il correspond à des émissions acides marquées par la mise en place des laves rhyolitiques, des projections violentes (ignimbrites) ainsi que des filons rhyolitiques. Les produits volcaniques ont engendré en surface des extrusions qui demeurent encore visibles malgré leur âge très ancien. Ces appareils fissuraux et centraux sont communément appelés extrusions. Ils sont représentés par le volcan fissural effusif d'Aït Sawn, le dôme-coulée d'Imzilene et le cumulo-dôme d'Aït Sawn. Les voies d'accès du volcanisme s'ordonnent suivant des alignements tectoniques orientés N60 et N140, par conséquent le volcanisme semble avoir été contemporain du fonctionnement de ces accidents volcano-tectoniques. Ces derniers représentent un héritage du socle précambrien et ils ont joué pendant le Néoprotérozoïque terminal à la suite d'un épisode tectonique d'extension continentale post-panafricaine à l'échelle de l'Anti-Atlas.

Remerciements. — Les auteurs tiennent à remercier les deux relecteurs pour leurs conseils et suggestions, la qualité de leurs remarques qui ont conduit à préciser de nombreux points de ce travail. Ils remercient aussi tous les membres du laboratoire de Géologie Appliquée, Géomatique et Environnement de la faculté des Sciences de Ben M'Sik de Casablanca ainsi que les membres du conseil scientifique et éditorial de la SGN, en particulier Mr. Alain Blieck et ceux qui ont contribué à la mise en forme de l'article.

BIBLIOGRAPHIE

- ÁLVARO J.J., BENZIANE F., THOMAS R., WALSH G. J. & YAZIDI A. (2014). — Neoproterozoic-Cambrian stratigraphic framework of the Anti-Atlas and Ouzellagh promontory (High Atlas), Morocco. *Jl. Afr. Earth Sci.*, **98**: 19-33.
- AZIZI-SAMIR M.R. (1990). — *Géologie du Précambrien terminal (III) et traitement statistique des données géochimiques de prospection, dans la boutonnière de Bou Azzer- El Graara (Anti-Atlas, Maroc)*. Thèse Doct. d'Etat, Univ. Joseph Fourier, Grenoble1 : 288 p.

- BAROUDI Z. (2002). — *Le gisement Ag-Hg d'Imiter (Anti-Atlas Oriental) : minéralisation, fluides associés et condition de dépôt*. Thèse Doct. d'Etat, Univ. Hassan II Mohammedia, Casablanca (Maroc) : 280 p.
- BLEIN O., BAUDIN A., SOULAIMANI A., COCHERIE A., CHEVREMENT P., ADMOU H., OUANAÏMI H., HAFID A., RAZIN P., BOUABDELLI M. & ROGER J. (2014). — New geochemical, geochronological and structural constraints on the Ediacaran evolution of the south Sirwa, Agadir-Melloul and Iguerda inliers, Anti-Atlas, Morocco. *Jl. Afr. Earth Sci.*, **98** : 47-71.
- CHOUBERT G. (1957). — L'Adoudounien et le Précambrien III dans l'Anti-Atlas. In : *Les relations entre le Précambrien et Cambrien*. Coll. Intern. CNRS (Paris), **76** : 143-162.
- CHOUBERT G. (1963). — Histoire géologique du Précambrien de l'Anti-Atlas. *Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc*, **100** : 75-194.
- EL MAIDANI A. (2005). — *Le volcanisme Précambrien III d'Ighbli (Anti-Atlas central, Maroc) et minéralisation associées : un exemple de dômes volcaniques liés à des failles volcaniques héritées du socle Protérozoïque*. Mém. de fin d'étude (DESA), Univ. Hassan II Mohammedia, Casablanca : 75 p.
- EMAMI M.H. & MICHEL R. (1982). — Les volcans dôméens du Néogène de Qom (Iran central). Essai de classification de l'activité volcanique dôméenne. *Bull. volcanol.*, **45-4** : 317-332.
- GASQUET D., LEVRESSE G., CHEILLETZ A., AZIZI-SAMIR M.R. & MOUTTAQI A. (2005). — Contribution to a geodynamic reconstruction of the Anti-Atlas (Morocco) during Pan-African times with the emphasis on inversion tectonics and metallogenic activity at the Precambrian–Cambrian transition. *Precambrian Research*, **140** : 157–182.
- HEFFERAN P.K., KARSON J.A. & SAQUAQUE A. (1992). — Proterozoic collisional basins in Pan-African suture zone, Anti-Atlas mountains, Morocco. *Precambrian Research*, **54** : 295–319.
- LEBLANC M. (1986). — Appareil ignimbrétique et minéralisation cuprifère : Alous (Anti-Atlas, Maroc). *Mineral. Deposita*, **21** : 129-136.
- MIFDAL A. & PEUCAT J. (1985). — Datation U-Pb et Rb-Sr du volcanisme acide de l'Anti-Atlas marocain et du socle sous-jacent dans la région de Ouarzazate. Apport au problème de la limite Précambrien-Cambrien. *Sciences Géologiques, Bull.*, **38 (2)** : 185-200.
- ODRA M., BERAAOUZ E. H., IKENNE M., GASQUET D. & SOULAIMANI A. (2005). — La tectonique panafricaine du secteur d'Igherm : implication des dômes extensifs tardi à post-orogéniques (Anti-Atlas occidental, Maroc). *Estudios Geol.*, **61** : 177-189.
- PELLETER E. (2007). — *Géologie, géochimie et géochronologie du gisement aurifère de Tamlalt-Menhouhou (Haut-Atlas Oriental) : Contribution des événements Ediacariens, Ordoviciens supérieurs et Stéphano-autuniens au polyphasage des minéralisations et à la géodynamique de la bordure nord du Craton Ouest Africain*. Thèse Doct. d'Etat, Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy : 238 p.
- PIQUÉ A., BOUABDELLI M., SOULAIMANI A., YOUNI N. & ILIANI M. (1999). — Les conglomérats du PIII (Néoprotérozoïque supérieur) de l'Anti-Atlas (Sud du Maroc) : molasse panafricaine, ou marqueurs d'un rifting fini-protérozoïque ? *C. R. Acad. Sci. Paris, Sc. Terre et Planètes*, **328** : 409-414.
- REFFAY A. (1980). — Les dômes volcaniques : essai de typologie géomorphologique. *Norvix*, **105** : 19-31.
- SOULAIMANI A., BOUABDELLI M. & PIQUÉ A. (2003). — L'extension continentale au Néo-Protérozoïque supérieur–Cambrien inférieur dans l'Anti-Atlas (Maroc). *Bull. Soc. géol. France*, **174 (1)** : 83–92.
- SOULAIMANI A., ESSAÏFI A., YOUNI N. & AHMID H. (2004). — Les marqueurs structuraux et magmatiques de l'extension crustale au Protérozoïque terminal-Cambrien Basal autour du Massif de Kerdous (Anti-Atlas Occidental, Maroc). *C. R. Géoscience*, **336** : 1433-1441.
- SOULAIMANI A., MICHARD A., OUANAÏMI H., BAIDDER L., RADDI Y., SADDIQUI O. & RJIMATI E.C. (2014). — Late Ediacaran–Cambrian structures and their reactivation during the Variscan and Alpine cycles in the Anti-Atlas (Morocco). *Jl. Afr. Earth Sci.*, **98** : 94-112.
- SY A.H. (2013). — *Magmatisme du Précambrien Terminal (PIII) de la boutonnière d'Ait Saoun et minéralisation Associées (Anti-Atlas Oriental)*. Mémoire de Master, Univ. Hassan II Mohammedia, Casablanca : 64 p.
- THOMAS R.J., CHEVALLIER L.P., GRESSE P. G., HARMER R.E., EGLINGTON B.M., ARMSTRONG, R.A., DE BEER C.H., MARTINI J.E.J., DE KOCK G.S., MACEY P.H. & INGRAM B.A. (2002). — Precambrian evolution of the Sirwa Window, Anti-Atlas Orogen, Morocco. *Precambrian Research*, **118 (1-2)** : 1-57.
- THOMAS R.J., FEKKAK A., ENNIH N., ERRAMI E., LOUGHLIN S.C., GRESSE P.G., CHEVALLIER L.P. & LIEGEOIS J.-P. (2004). — A new lithostratigraphic framework for the Anti-Atlas Orogen, Morocco. *Jl. Afr. Earth Sci.*, **39 (3-5)** : 217-226.
- TOUMMITE A., LIEGEOIS J.-P., GASQUET D., BRUGUIER O., BERAAOUZ E.H. & IKENE M. (2013). — Field, geochemistry and Sr-Nd isotopes of the Pan-African granitoids from the Tifnoute Valley (Sirwa, Anti-Atlas, Morocco): a post-collisional event in a metacratonic setting. *Mineralogy and Petrology*, **107 (5)** : 739-763.
- WALSH G.J., ALEINIKOFF J.N., BENZIANE F., YAZIDI A. & ARMSTRONG T.R. (2002). — U-Pb zircon geochronology of the Paleoproterozoic Tagrara de Tata inlier and its Neoproterozoic cover, Western Anti-Atlas, Morocco. *Precambrian Research*, **117** : 1-20.
- YAZIDI A., BENZIANE F., WALSH G.J., HARRISON R.W., SAADANE A., YAZIDI M., QUICK J.E., EL FAHSSI A., ALEINIKOFF J.N., EJJAOUANI H. & KALAI M. (2008). — Mémoire explicatif de la carte géologique du Maroc au 1/50 000, feuille Ait Semgane. *Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc*, **472 bis** : 114 p.
- ZAHOUR G. (1990). — *Etude du volcanisme Précambrien terminal d'Ait Maghlif (Siroua Nord-Est, Anti-Atlas central, Maroc). Lithostratigraphie-Pétrographie-Géochimie*. Thèse de spécialité 3^e cycle, Univ. Cadi Ayyad, Marrakech (Maroc) : 236 p.
- ZAHOUR G. (2001). — *Le Néoprotérozoïque terminal de la boutonnière de Toubkal (Haut-Atlas Occidental) et de Siroua (Anti-Atlas Central) : un exemple de volcanisme intraplaque continental associé à un volcanisme calco-alcalin post-collisionnel*. Thèse Doct. d'Etat, Univ. Hassan II Mohammedia, Casablanca (Maroc) : 266 p.
- ZAHOUR G., CHABANE A., YOUNI N. & CABANIS B. (2000). — Le volcanisme du Néoprotérozoïque terminal de Tirtcht (massif ancien du Haut-Atlas occidental, Maroc) : exemples de dômes volcaniques liés à des failles volcano-tectoniques héritées du socle protérozoïque. *Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc*, **408** : 229-236.

CORRIGENDUM 1

L'annexe – index systématique de la page 42 de l'article suivant :

Blieck A., Cuvelier J. & Oudoire T. (2013). — Euryptérides des collections de paléontologie de Lille : collections du Musée d'Histoire Naturelle de Lille (VII) et collections de l'Université Lille 1 (Catalogue I). *Ann. Soc. Géol. Nord*, 2^e série, **20** : 31-42, 4 fig., 1 annexe,

doit être corrigé comme suit, avec l'indication des numéros de pages où apparaissent les taxons décrits :

ANNEXE : INDEX SYSTEMATIQUE

<i>Adelophthalmus imhofi</i> (REUSS, 1855)	p. 39
<i>Adelophthalmus moyseyi</i> (WOODWARD, 1907)	p. 39
<i>Erieopterus brewsteri</i> (WOODWARD, 1864)	p. 37
<i>Erieopterus eriensis</i> (WHITFIELD, 1882)	p. 37
<i>Eurypterus tetragonophthalmus</i> FISCHER, 1839	p. 37
<i>Eurypterus</i> sp.	p. 38
<i>Pterygotus anglicus</i> AGASSIZ, 1844	p. 32
<i>Pterygotus anglicus</i> ?	p. 34
<i>Pterygotus</i> sp.	p. 35

CORRIGENDUM 2

Dans le tome 20 des *Annales* (2013), certains articles font référence à des chapitres du *Mémoire XVII* de la SGN, mais avec un intitulé incorrect. La référence correcte de ce *Mémoire* est la suivante :

BLIECK A. & DE BAERE J.-P. eds. (sous presse). — La Société géologique du Nord et l'histoire des sciences de la Terre dans le nord de la France. *Mémoires de la Société géologique du Nord*, **XVII** ; Société géologique du Nord édit., Villeneuve d'Ascq.