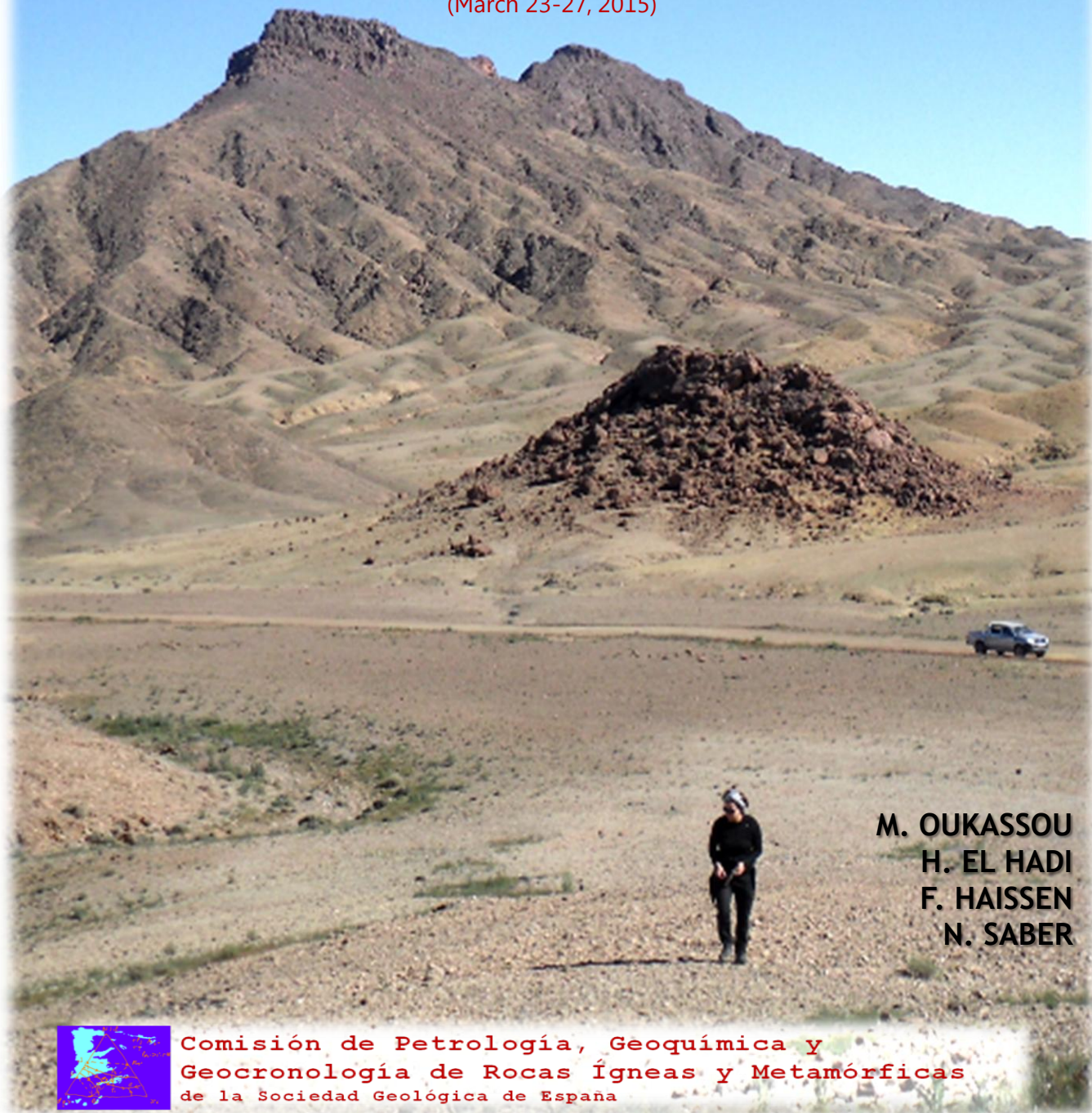
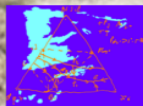


IBERIAN-MOROCCAN ANNUAL MEETING
Field trip Guidebook
CENTRAL ANTI-ATLAS TRAVERSE:
The northern border of the West African Craton
(March 23-27, 2015)



M. OUKASSOU
H. EL HADI
F. HAISSEN
N. SABER



Comisión de Petrología, Geoquímica y
Geocronología de Rocas Ígneas y Metamórficas
de la Sociedad Geológica de España

Contents:

PRESENTATION

ITINERARY AND OBJECTIVES

GEOLOGICAL SETTING

STRUCTURAL EVOLUTION OF THE ANTI-ATLAS DOMAINS: AN OVERVIEW

Paleoproterozoic and Eburnian orogeny

Neoproterozoic and Pan-African orogeny

Paleozoic and Variscan orogeny

ITINERARY AND STOPS

Day 1 (J1) : Agdz - Bou Azzer - Agdz : Ophiolite and Paleozoic cover of the Central Anti-Atlas

- **Stop J1.1:** Bou froukh quartz-diorite west of Bou Azzer
- **Stop J1.2:** Bou Zben quartz diorite pluton
- **Stop J1.3:** Oumlil gneiss
- **Stop J1.4:** Ait Ahmane ophiolite complex
- **Stop J1.5:** Foum Zguiq 200 Ma old dolerite mega-dyke
- **Stop J1.6:** Bleida 580 Ma old granodiorite

Day 2 (J2) : Agdz - Tazenakht - Agdz: Proterozoic basement and Paleozoic cover of the Central Anti-Atlas

- **Stop J2.1:** Zenaga Paleoproterozoic schists
- **Stop J2.2:** Neoproterozoic Quartzites and Pan-African deformation
- **Stop J2.3:** Tazenakht Paleoproterozoic granite and Late Neoproterozoic unconformity
- **Stop J2.4:** Adoudounien limestones / Late Neoproterozoic Transgression
- **Stop J2.5:** Paleozoic succession of the Central AntiAtlas
- **Stop J2.6:** Jbel Kissane «First Bani » at Agdz

PRESENTATION

The “Comision de Petrologia, Geochimica y Geocronologia de Rocas Igneas y Metamorficas CPGG-RIM” of “Sociedad Geologica de Espana” was created in 2013 by more than 50 geologists from Spain and Portugal. The idea of the creation of this commission was born during a discussion among the best specialists on the declining state of fundamental studies in petrology and geochemistry of rocks and on the specific weight of these studies in Earth Sciences and in scientific and technological development of different countries.

The commission aims to become an adequate forum of communication, coordination and cooperation between different research groups at national and international level, and between different generations of geologists in this field. With such objectives, the annual meeting of the “Commission on Petrology, Geochemistry and Geochronology of Igneous and Metamorphic Rock CPGG-RIM” of the Spanish Geological Society is held this year in Morocco on 23 - 27 March 2015. The meeting will be five days long, starting at the faculty of Sciences Ben M'sik Casablanca on 23 March with 2 conferences about the geology of Morocco, and will continue on Agdz through Marrakech. During the field-trips planed on 25 and 26 March two locations of the central Anti-Atlas belt will be visited.

The meeting topics are Petrology, Geochemistry, Geochronology and Metallogeny. Conferences will be addressed by internationally renowned researchers from Spain and Morocco. Keynote talks will be given in late afternoons together with presentations of young MSc, PhD students and post-doctoral fellows. This is a unique opportunity to debate, exchange of ideas and knowledge on geology and recent research technologies among geologists, engineers and students from Spain, Morocco and Algeria.

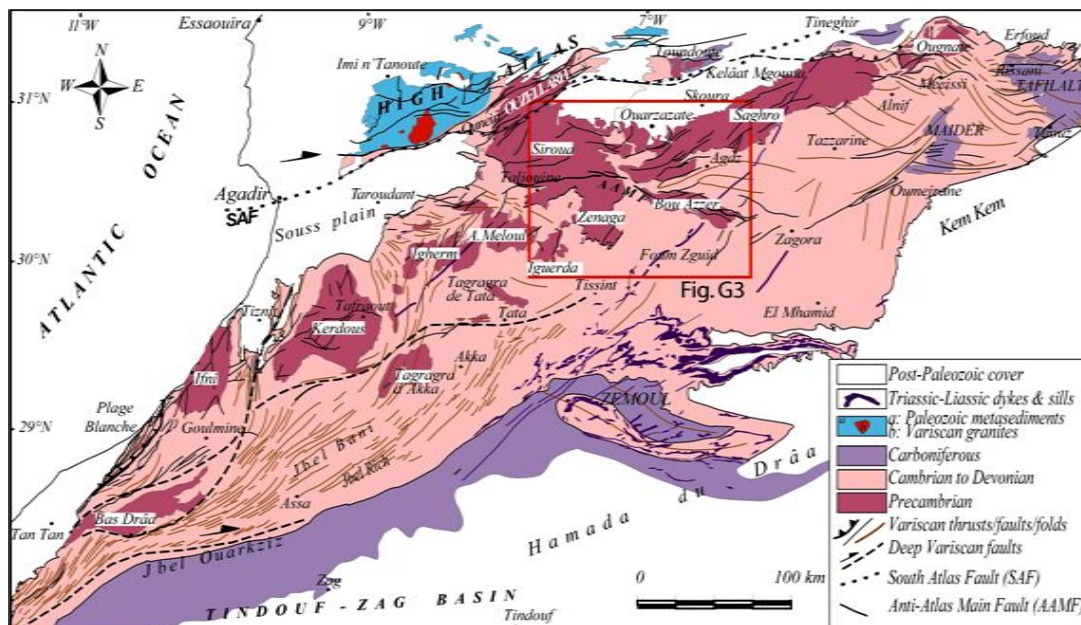
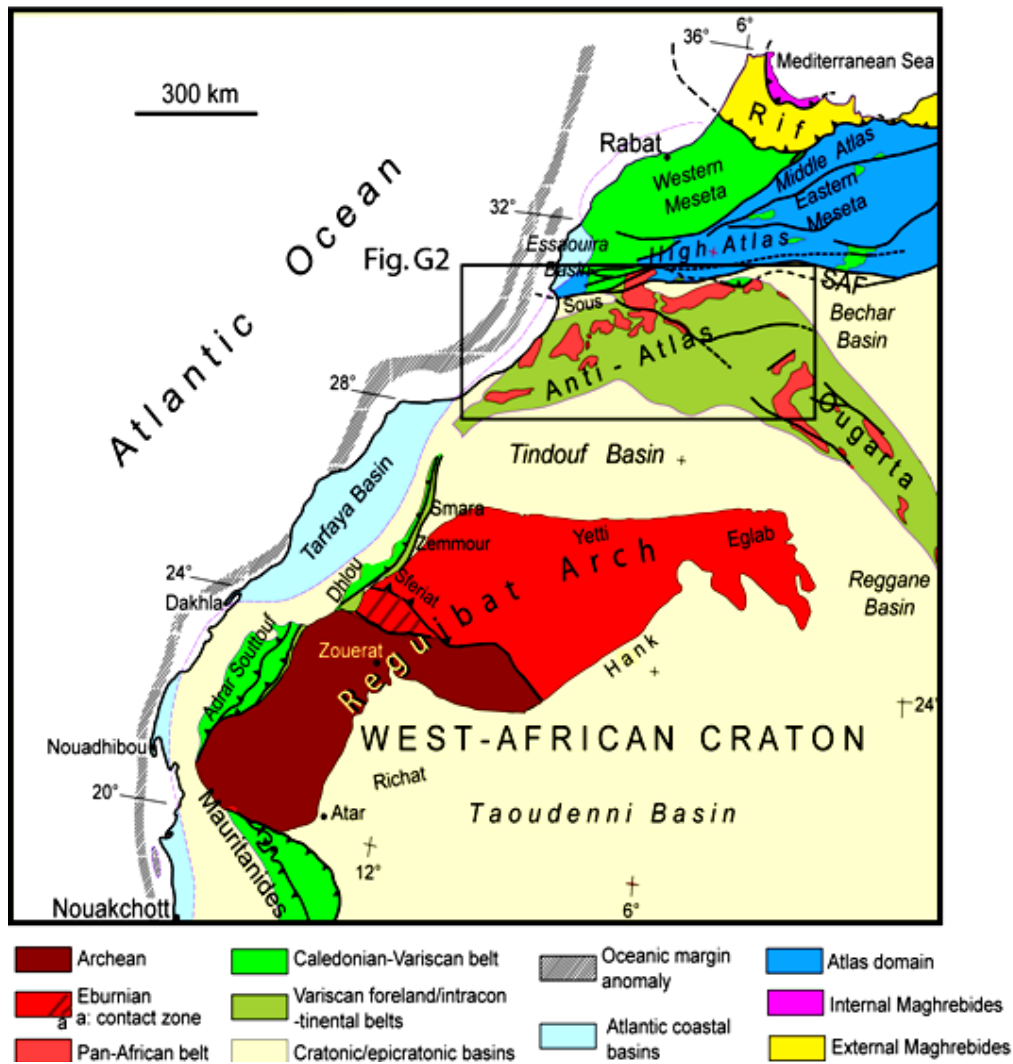
ITINERARY and OBJECTIVES

The south of Morocco is one of the most attractive touristic areas with diversified landscapes from snowy mountains to desert plains. The High Atlas with his 3000 to 4000 meters forms a major climatic barrier to the Atlantic perturbations, which account for the arid climate of the Anti-Atlas sub-saharan domain south of the chain. These regions are occupied by berbere-speaking populations with long hospitality tradition.

The two-day trips follow most touristic roads and visit outstanding outcrops illustrating a central transect across the Anti-Atlas belt (figures G1 & G2), which corresponds to the external fold belt of the Hercynian (Variscan, Alleghanian) chain, but it also includes large Pan-African inliers. The High Atlas formed during the Cenozoic at the expense of an aborted Triassic-Jurassic rift. Therefore, three superimposed Wilsonian cycles can be illustrated during the trips. The itinerary will make possible to illustrate the complex geological history of these areas from 2 Ga to present-day. Our purpose is to present and discuss various regional and thematic (sedimentological, structural, magmatic and metamorphic) features, which record the main geodynamical events during this long geological history. Magnificent minerals (erhytrite, vanadinite...) and fossils (trilobites, goniatites...) can be purchased at many places.

During this field trip, the Agdz - Bou Azzer - Tazenakht - Agdz loop (figure G3) allows the participants to discover the Pan-African belt (external platform domain in the Zenaga inlier, ophiolitic suture zone at Bou Azzer), the early volcanoclastic cover sequence (late Neoproterozoic), and the mildly folded Early Paleozoic sediments (Cambrian and Ordovician).

Detailed road log for the trip are provided below along with Global Positioning Satellite (GPS) location at each stop. Note that all the stops are on public roads, and that the use of hammers and the collection of rocks are permitted.



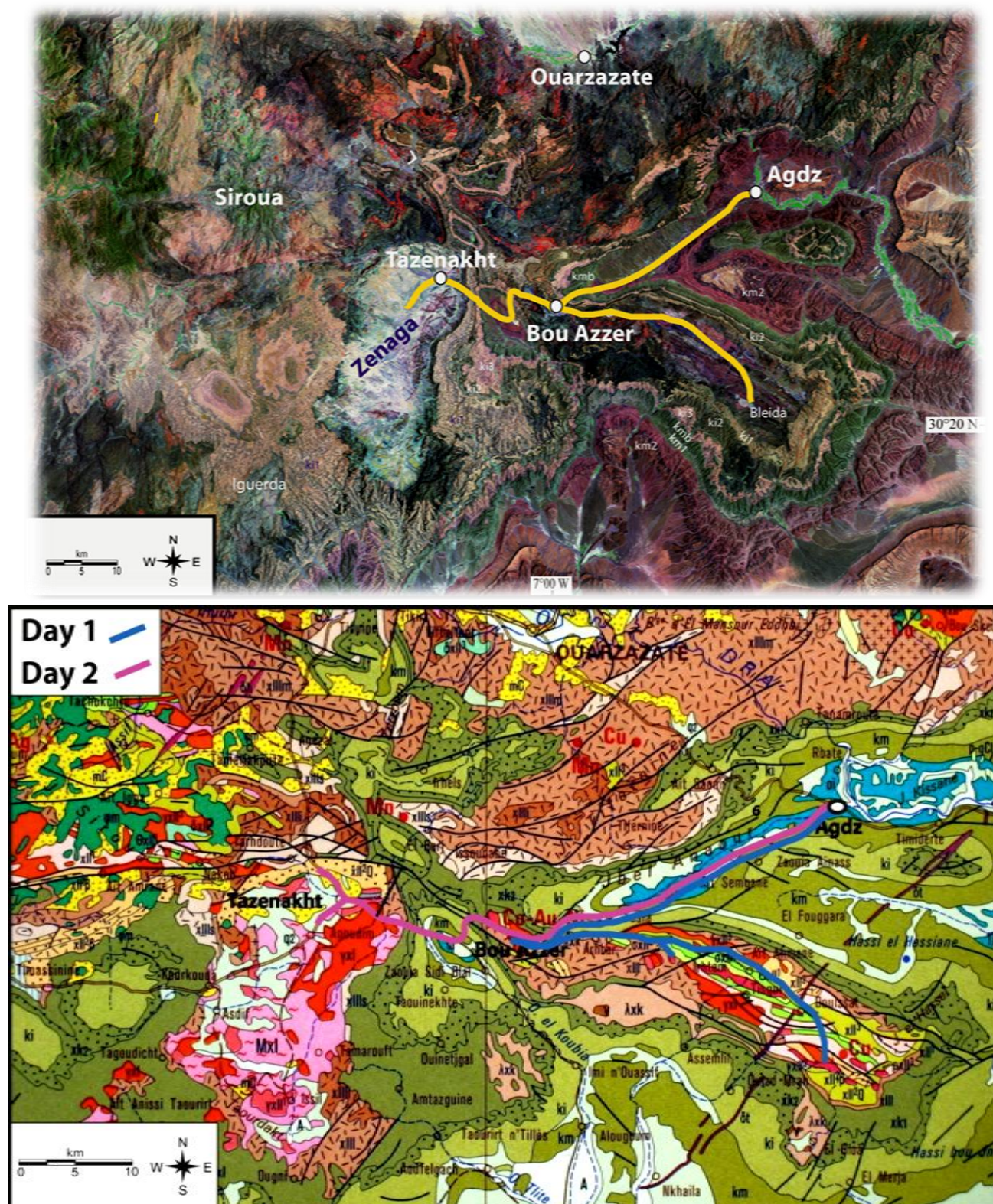


Figure G3 : *Itinerary plotted on a Landsat image and shown on the sketch geological map of Morocco scale 1/1 000 000*

GEOLOGICAL SETTING

STRUCTURAL EVOLUTION OF THE ANTI-ATLAS DOMAIN: AN OVERVIEW

The Anti-Atlas represents the most important segments of the major Pan-African (≈ 0.5 Ga) belt system of North Africa. This orogen exposed in a series of sporadic SW–NE trending outcrops over 700 km across southern Morocco, and reach ≈ 150 km wide in the central part, west of Ouarzazate (Figure G1 & G2). Scattered outcrops of related rocks are described in NW Algeria which indicate that the belt continues from SE Morocco southeastwards with a NW–SE trend.

The Anti-Atlas orogen comprises two main sequences of rocks: a metamorphic basement of Palaeoproterozoic (2 Ga) age and the Neoproterozoic rocks. The Palaeoproterozoic rocks form the northern margin of the West African Craton mainly outcropping in the Reguibate Shield in Mauritania and Algeria. The Palaeoproterozoic basement is exposed in a series of uplifted inliers (“boutonnieres”) surrounded by the Neoproterozoic rocks that were locally deformed with the basement during the Pan African Orogeny.

1. Paleoproterozoic rocks and Eburnian orogeny

The oldest rocks of Morocco, Archean in age 3 Ga (Montero et al, 2014) crop out in the southernmost Reguibate shield which forms the northern part the West African Craton (WAC). Further north, in the Anti-Atlas chain, the basement units are Paleoproterozoic (Taznakht Group, former “PI”) cropping only in the south of the Anti-Atlas Major Fault (AAMF). They are metamorphic rocks (greenschist to amphibolite facies) intruded by peraluminous and calc-alkaline granitoids dated around 2 Ga (Thomas et al, 2002). The corresponding tectono-magmatic and metamorphic events are assigned to the Eburnian/Birimian orogeny .

2. Neoproterozoic rocks and Pan-African orogeny

As everywhere in the WAC, Mesoproterozoic rocks are lacking in the Anti-Atlas. Neoproterozoic formations overlie directly the Paleoproterozoic basement. The Neoproterozoic/Paleoproterozoic boundary is generally a tectonic contact (thrust, strike-slip or detachment faults), and seldom a stratigraphic contact (Tizi n’Taghatine). Globally, the Neoproterozoic formations record three main stages of the Pan-African cycle (figure G4):

- i. The early Neoproterozoic platform development is marked by the accumulation of thousands of meters of quartzites and stromatolitic limestones (Taghdoute Group, former “PII”), intruded by doleritic dykes and gabbroic intrusions. These rocks are associated with the rifting of the WAC margin, broadly contemporaneous with the oceanic accretion further north (760 Ma), witnessed along the AAMF by the Bou Azzer-El Graara and Siroua ophiolitic sequences (Bou Azzer Group).
- ii. Oceanic closure and subsequent Pan-African collision are associated with oceanic subduction along the northern margin of the WAC, ending with the accretion of oceanic arc formations (figure G4). The reported “blueschist facies” mineral associations in the Bou Azzer inlier are controversial. The polarity of the subduction remains also matter of debates; the same is true for the real location of the northern edge of the WAC. The oblique Pan-African collision (655 Ma to 640 Ma) generated south-verging thrust sheets onto the cratonic margin. South of the AAMF, the main Pan-African phase is recorded by low grade recrystallizations,

synmetamorphic folds and various ductile and brittle structures in the Taghdout Group series.

- iii) The Late to Post Pan-African extensional event is recorded by the extensive volcanic and volcanoclastic series of the Ouarzazate Group (former "PIII", 580 Ma to 560 Ma), interbedded with subaerial to lacustrine deposits, which unconformably overlie the Eburnian and/or Pan-African basement units. The Ouarzazate Group shows abrupt variations of thickness and facies controlled by extensional tectonic activity. Various high-K calc-alkaline to alkaline plutons emplaced within the Ouarzazate Group, coeval with the volcanic rocks of comparable chemistry.

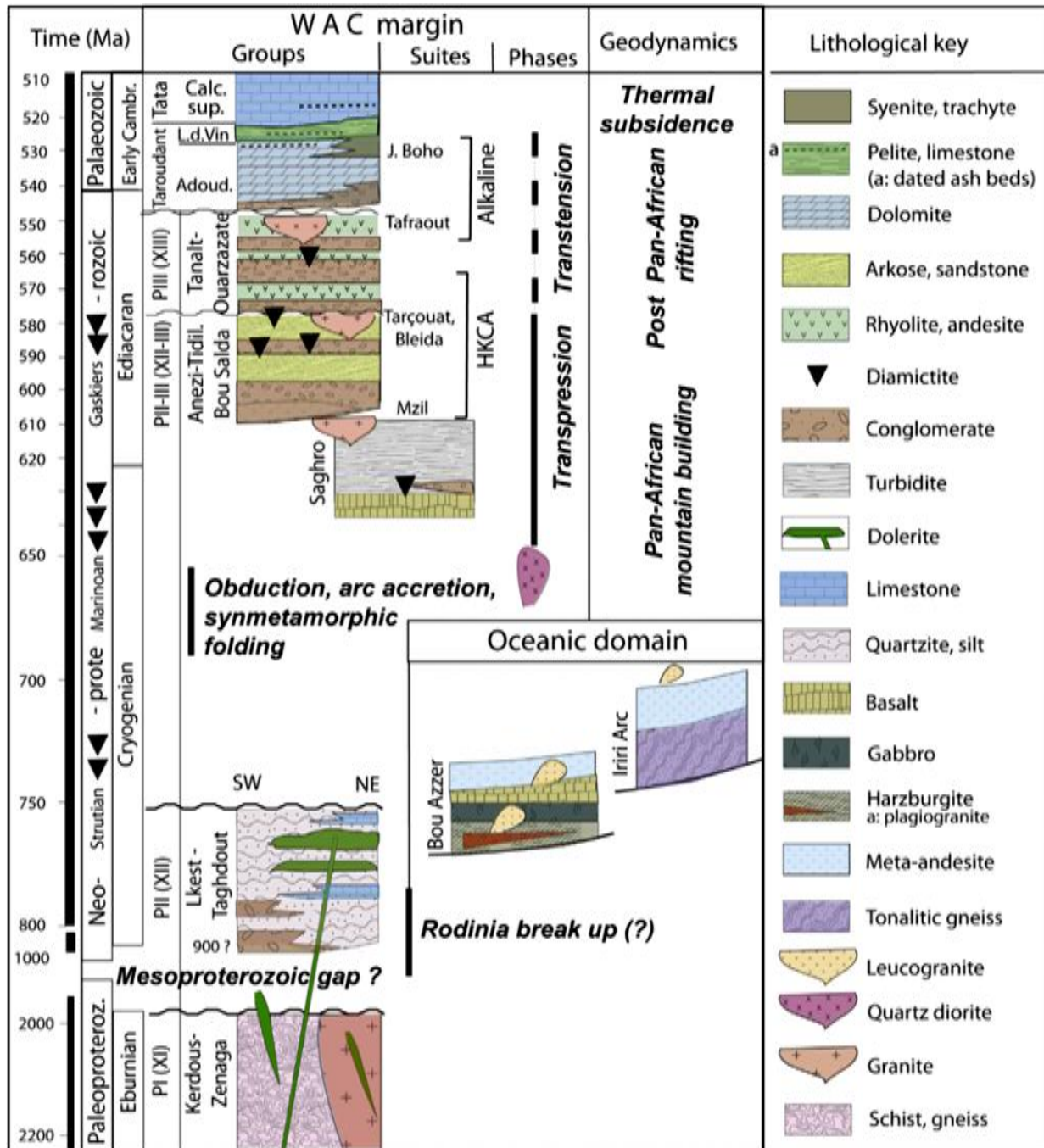


Figure G4: Generalized lithostratigraphic column for the Anti-Atlas Pan-African orogen. "PI" = "XI", etc. are the classical stratigraphic symbols used on Anti-Atlas geological maps. HKCA: High-K calc-alkaline (granitoids) after Thomas et al. (2004), Gasquet et al. (2005) and Liégeois et al. 2006 in Youbi et al., 2013

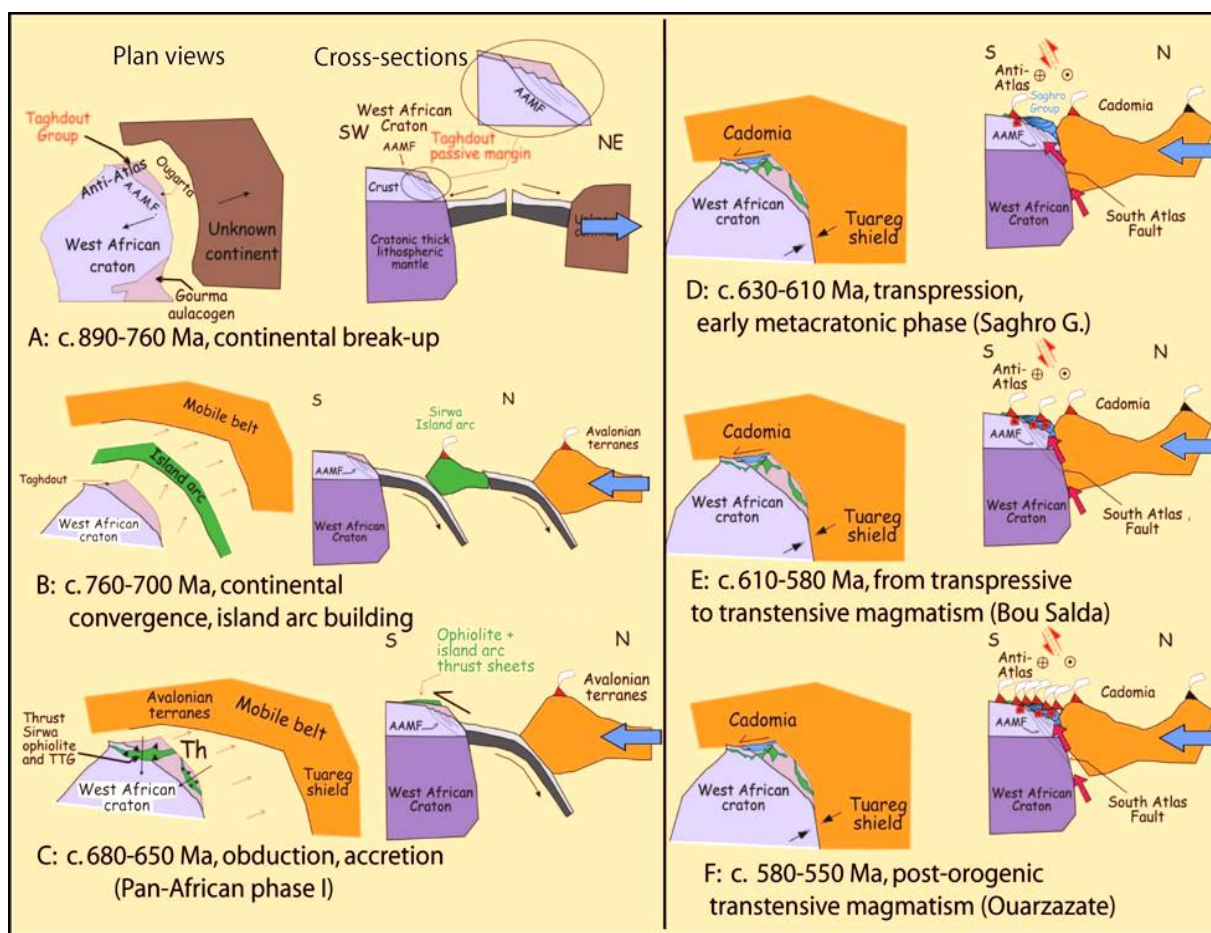


Figure 5: *Geodynamic evolution of the Anti-Atlas domain during Neoproterozoic times: a new scenario for the Pan-African mountain building around the West African Craton, after Liégeois et al. (2006)*

3. Paleozoic series and Variscan orogeny

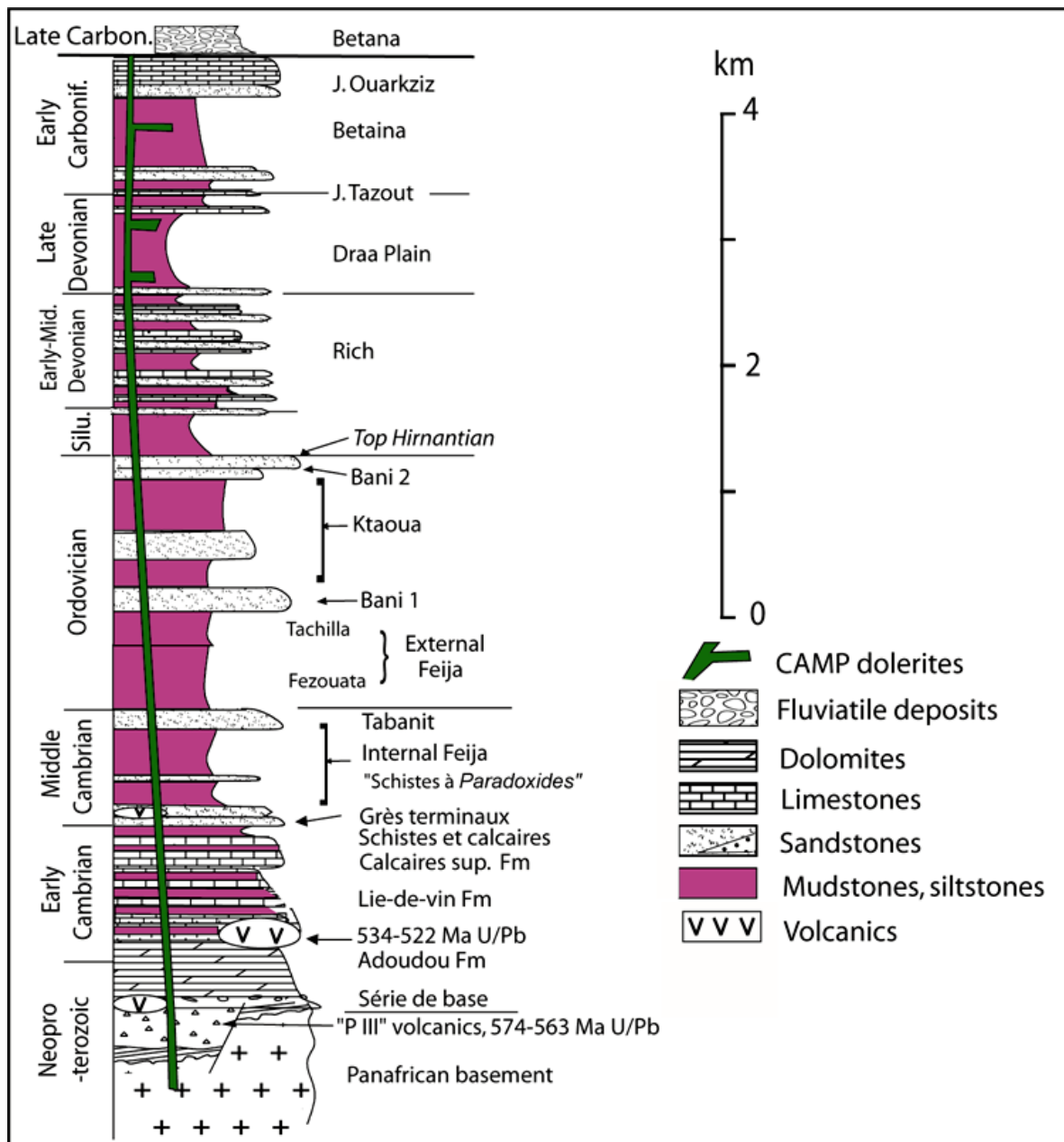
During the Early Cambrian transgression, the sea invaded first a western area where the Adoudounian "Série de base" deposited, before flooding the eastern Anti-Atlas basin (Figure 6). The newly deposited sediments are virtually concordant onto the Ouarzazate Group and still record extensional tectonics. A significant subsidence in the westernmost Anti-Atlas induces the deposition of more than 4000 m of Cambrian marine carbonates (Tiznit basin, west of the Kerdous inlier). These marine sediments evolve gradually toward thinner and more detrital deposits going eastward along the Anti-Atlas. The Precambrian -Cambrian transition (542 Ma) is thought to be located in the lower part of the Adoudounian limestones. The decline of the marine level by the end of Early Cambrian results in arenaceous sediments, silts and greywackes supplied by the erosion of the WAC. At the Anti-Atlas scale, Upper Cambrian sediments are reduced or lacking. The Meseta Block is rifted from the Gondwana margin at that time, with development of Middle Cambrian tholeiitic volcanism (Alvaro et al. , 2006).

During Ordovician times, a less subsident epicontinental sea occupied the Anti-Atlas domain and part of the Meseta, and clastic rocks sourced from the craton were deposited. At the end of the Ordovician, the Anti-Atlas, being located in the high southern latitudes, received periglacial sediments nourished by the icebergs coming from the Saharan inlandsis.

The Silurian transgression, resulting from the melt of the Saharan inlandsis, invaded the entire Anti-Atlas and Meseta domains. The graptolite black shales deposited in a shallow and less oxygenated sea. They constitute the parent rocks of the Saharan oil. The low resistance of the Silurian shales to weathering accounts for their poor outcrops along topographic depressions (Drâa Plain) between the Ordovician J. Bani and Devonian Rich ridges. Lower Devonian formations follow those of the Silurian without hiatus, being represented by bedded limestones and argillite. At that time, the low latitude location of the Anti-Atlas domain permits the installation of reefs associated with mud mounds which spread during the Middle Devonian. From the Famennian onward, sediments do not have any more a craton origin but originate from the uplift of the Anti-Atlas axis. Infilling takes place in basins bounded by structural highs, thus prefiguring the subsequent Variscan domains. This paleogeographic diversification is particularly clear in the Tafilalt (Eastern Anti-Atlas), with the dislocation of the carbonate platform leading to the individualisation of turbiditic basins and highs covered with condensed carbonate sediments. The similarities between the Anti-Atlas and Meseta facies during the Devonian suggest that these domains were close from each other at that time.

The Carboniferous series, represented south of the Famennian Drâa plains, make up impressive cuestas at the northern border of the Tindouf basin. The Tournaisian schists and sandstones of the Jebel Tazout are overlain by the Betaina Visean pélites, followed upward by the Upper Visean to Namurian limestones of the Jebel Ouarkiz. The Tafilalt and Maider basins displays equivalent series, whereas the Tineghir basin forms a transitional basin between the Anti-Atlas and Meseta. Further south, the Upper Namurian to Stephanian continental deposits of the Betana plain terminate the cycle, and record the Variscan uplift of the Anti-Atlas. East of the Tafilalt and Ougarta areas, the emersion of the Bechar basin does not occur before the Stephanian-Permian

The 6 to 10 km thick Paleozoic series of the Anti-Atlas, accumulated during 200 Ma, correspond to the infilling of a huge intracratonic basin, including the undeformed Tindouf basin in its southern half. Globally, the Variscan deformation of the Anti-Atlas is much heterogeneous, and shows dominantly a thick skinned type. Deformation strongly differs from that recorded in the Meseta Block north of the South Atlas Fault, such as the tectonic vergence (SE in Western Anti-Atlas versus NW in Western Meseta), the weak metamorphic recrystallization and the lack of granites in the Anti-Atlas (Fig. G.7). In the Anti-Atlas, Variscan folds are moulded or en echelon around uplifted inliers. Several décollement levels are activated within the cover series. Deformation vanishes gradually towards the south, being negligible at the northern edge of the Tindouf basin. Towards the SW, the Zemmour and Adrar Souttoug massifs connect the Anti-Atlas to the Mauritanide belt. Toward the north, the South Atlas Fault is broadly superimposed to a Paleozoic fault zone between the Meseta Block and the Anti-Atlas, labelled the Tizi n'Test fault zone or, more generally, the Atlas Paleozoic Transform Zone (APTZ), characterized by significant dextral slip during the Late Carboniferous (Variscan) collision.



Day 1: Agdz- Bou Azzer- Agdz (180 km)

Itinerary: Figures 1.1, 1.2

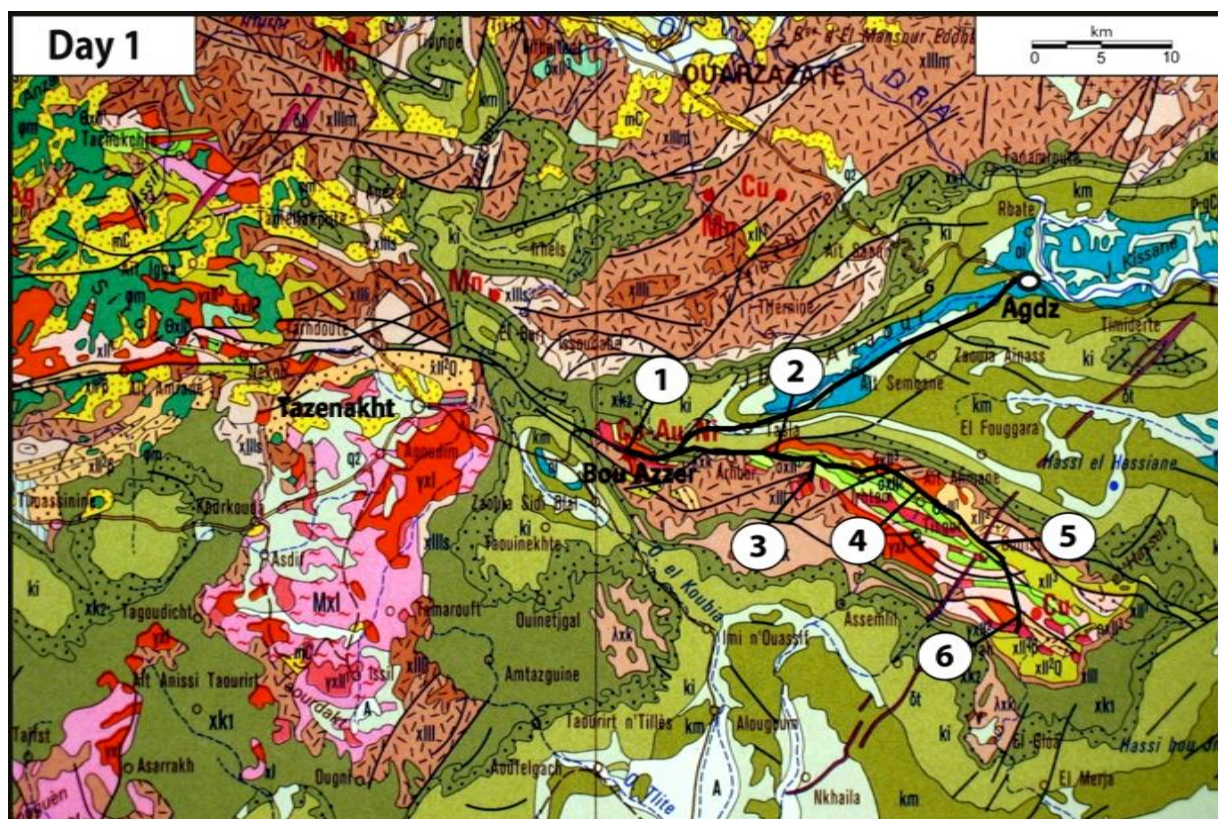


Figure 1.1: Itinerary Day 1, route and stops plotted on the geological map of Morocco, scale 1/1000000

Stop J1.1: Bou froukh Bou Azzer quartz-diorite

(GPS: 1356m, 30° 32' 74", 06° 58' 86")

Quartz-diorite intrusions from Bou froukh Bou Azzer dated to 653 ± 1.5 Ma (U–Pb, zircons; Inglis et al. 2005) are organized in medium-sized massifs, WNW-ESE elongated, and intrude sedimentary and volcano-sedimentary series and ophiolitic complex. All rocks of the intrusions exhibit petrographical evidence of hydrothermal alteration at different degrees and metamorphism associated with the B1 deformation. The secondary minerals are chlorite, epidote, sericite, actinolite, leucoxene, calcite and Fe-oxides.

Stop J1.2: Bou Zben quartz-diorite pluton

(GPS: 1330m, 30° 30' 87", 06° 39' 70")

Calc-alkaline quartz-diorite of Bou Zben pluton, dated to 632 ± 9 Ma (U–Pb, zircons; El Hadi et al. 2010) comprises plagioclase, amphibole and minor amounts of quartz and biotite.

Stop J1.3: Oumlill gneiss

(GPS: 1363m, 30° 30' 92", 06° 47' 77")

The Oumlill granite crops out in the northwestern sector of the Bou Azzer inlier and has been viewed up to now as forming part of an Eburnean (≈ 2000 Ma) basement. It is a medium-grained, cataclastic-to-mylonitic leucogranite made up of quartz, sodic plagioclase, potassic

feldspar and muscovite, with very scarce biotite. An age of 741 ± 9 Ma is estimated for the crystallization age of the igneous zircon of the Oumlil granite (El Hadi et al. 2010).

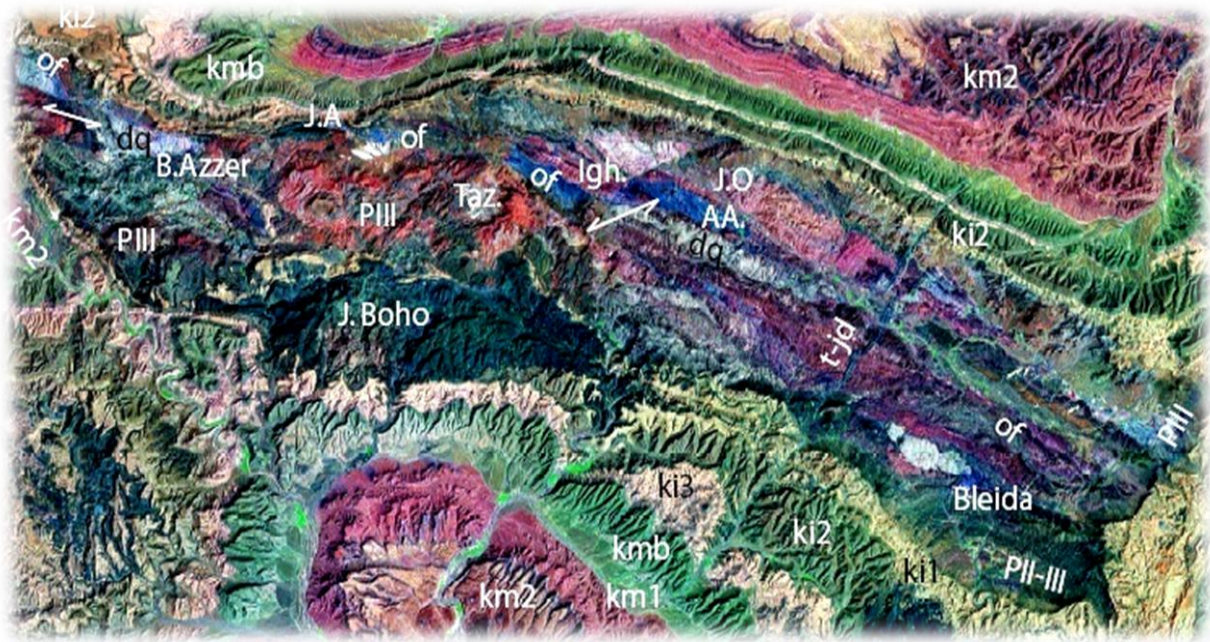


Figure 1.2 : Landsat image of the Bou Azzer-El Graara inlier (see fFigure G1 for location).

The scene is about 60 x 45 km large. The WNW-ESE stripes of ophiolitic remnants (of), ~750 Ma old, and quartz diorite plutons (dq), c. 650 Ma, mark the trend of the Anti-Atlas Major Fault (AAMF) along the axis of the Precambrian boutonnière. Note the sinistral throw of the quartz diorite pluton on the AAMF axial branch west of the Bou Azzer mining centre. The AAMF and associated (Riedel) faults such as between Igherm (Igh.) and Ait Ahmane (AA) are sealed by the Ouarzazate Group (P.III) volcanics (c. 570-560 Ma) and overlying Lower Cambrian carbonates (ki1). J. Ousdrat (J.O.) is a syn-accretion quartz diorite similar to the Bou Azzer one. In contrast, the 580 Ma old Bleida granodiorite cross-cuts the regional fabric; it would even postdates the Tiddiline series (P.II-III) deformation (arcuate north-dipping layers south of Bleida). In the Cambrian blanket, the J. Boho alkaline volcanics are clearly intercalated in the Adoudounian carbonates (ki1). The J. Aghbar (J.A) is a coeval (530 Ma) syenite sill. Note the mild Variscan deformation of the Paleozoic sequence (ki2: Lie-de-vin series; ki3: Calcaires supérieurs; kmb: Grès terminaux, earliest Middle Cambrian; km1: Schistes à Paradoxides; km2: Grès du Tabanit, late Middle Cambrian). The 200 Ma old Foum Zguid dolerite mega-dyke (t-jd) cross-cuts the Variscan belt and the Precambrian basement with few post-emplacement faulting (from Gasquet et al., in Michard et al., Eds., 2008a).

Stop J1.4: Bou Azzer ophiolite complex
(GPS: 1180m, 30° 28' 16", 06° 34' 92")

The most relevant feature of the Bou Azzer inlier is the presence of a Neoproterozoic ophiolitic sequence, where the suture of the Pan- African orogen has been located by most authors (Leblanc, 1976, 1981, 1993; Leblanc and Lancelot, 1980; Saquaque et al., 1989b; Hefferan et al., 2002; Soulaïmani et al., 2006; Bousquet et al., 2008). The Bou-Azzer ophiolite complex, thick of 4 to 5 km, is located in the central part of the Anti-Atlas Mountains. The complex is exposed approximately over an area of 70 km x 5 km trending WNW-ESE along the boundary between the West African Craton in the south, dated to 2032 ± 5 Ma (U-Pb SHRIMP, De Beer et al., 2000) and the Pan-African orogenic belt to the northeast.

The Bou-Azzer ophiolite complex (699 ± 8 Ma; El Hadi et al., 2010) is well exposed along the boundary between the West African Craton in the south and the Pan-African orogenic belt to the northeast. This fragment of an oceanic crust was obducted onto the northern margin of the West African Craton during the 680 Ma Pan-African event. Several, very well exposed desert outcrops display serpentinites associated with chromites and clinopyroxenolites; ultramafic and mafic cumulates; quartz diorite; sheeted-dyke complex, basaltic pillow lavas and radiolarites.

The ophiolite geochemistry shows MORB and arc-related compositions (Bodinier et al., 1984; Naidoo et al., 1991). The ophiolite originally defined by Leblanc (1975, 1981) is rather a composite terrane, involving three main separate units:

- (i) an oceanic-type crust and upper mantle, i.e. the true ophiolite,
- (ii) a northern belt made up of calc-alkaline siliceous metavolcanics, tuffs, epiclastites and metabasites, of volcanic-arc affinity (Saquaue et al., 1989b), and
- (iii) metaluminous, diorite to granodiorite syn-kinematic plutons, intruding both oceanic and arc units (Beraaouz et al., 2004).

The ophiolite complex of Bou-Azzer comprises from bottom to top (Leblanc, 1975):

1. Tectonites (serpentinites)

They nearly represent 40 % of ophiolitic sequence and derived from dunites and harzburgites. Their content in Ni (2650 ppms) and the geochemistry of chromites are strongly similar to those from mantle peridotites of modern ophiolites (Leblanc, 1981). The serpentinization (Lizardite, chrysotile) took place during several episodes which terminated before the end of the Pan-African major phase B1. Numerous dykes of rodingitized gabbros and microdiorite are described within the serpentinites. In border of this latter, thick layers of cobalt have been mined in the district of Bou Azzer (50,000 tons of Co metal). These deposits, with a quartzic carbonate gangue, post-date probably the tectonic emplacement of the ophiolite (Leblanc, 1975).

2. Ultramafic and mafic Cumulates

The cumulative sequence, very limited in volume (10 to 15 %), is divided in two parts; one ultramafic and the other mafic (El Hadi, 1988), very exposed in the massif of Oumarou, situated to the core of the Bou Azzer inlier and in the Assemblil river where crop out the very spectacular and well conserved mafic units and gabbros (El Hadi et al., 2010). The sequence displays repetitions of rhythms to its base with dunites to the bottom, cliropyroxenolites to the middle and gabbros to the top. Gabbroic cumulates, relatively more abundant than ultramafic cumulates, form a layered series thick of about 500 meters. Generally, one observes an evolution from the bottom to the top, since the coarse grained melanocratic gabbros (more clinopyroxene) to fine coarse leucocratic facies (more amphibole). In gabbros, one can observe many structures of magmatic cumulates (microfolds, intraformational fault, igneous lamination, etc...).

3. Intrusions of quartz diorite

Two types of quartz diorite exist in the ophiolite complex of Bou Azzer. A first type that is considered genetically related to this complex in spite of its intrusive aspect, being located between layered gabbros and the overlying basic lavas. A second type that has clearly intruded toward the upper part of the ophiolite complex during the major B1 Pan-African

deformation event, and that developed a large hornfel (Intrusions of Ousdrate and Bou Zben).

4. Sheeted dyke complex

It is made of numerous dolerite dykes and sills, intruded in the upper part of cumulate gabbros and are discordant upon the igneous layering plan. They show an ophitic texture and contain a paragenesis mineral made of plagioclase and pyroxene.

5. Basic lavas

Toward the top of the magmatic cumulates, basic lavas associated to hyaloclastites overlie the layered gabbro with a gradational contact through a massive microgabbro or with a sharp contact marked by magmatic breccias with a leucogabbroic matrix. They often correspond to spilitized basalts that developed a secondary mineral paragenesis made of albite, chlorite, epidote and calcite. Primary mineral relics are plagioclase, pyroxene and probably olivine.

6. Volcano-sedimentary series

The volcano-sedimentary series covering the ophiolite complex contains grauwackes, tuffs, jaspilites, arkosic sandstone and limestones. The whole is associated to spilites and keratophyres. Copper deposits have been also observed in the basic lavas.

Stop J1.5: Fom Zguid 200 Ma old dolerite Jurassic Great-dyke (GPS: 1279m, 30° 26' 54", 06° 29' 92")

In the Fom Zguid great dyke, different facies are arranged symmetrically to the center. Their distribution, from borders to the center is: olivine-microdolerites, dolerite with or without olivine, gabbro-diorite, quartz-diorite and granophyres. Geochemical study (Rahimi, 1988) demonstrates that the different facies are derived from the same magma which has a tholeiitic chemical nature.

Stop J1.6: Bleida granodiorite (580 Ma) (GPS: 1302m, 30° 21' 75", 06° 27' 81")

The no-deformed cal-alkaline Bleida granodiorite (579.4 ± 1.2 Ma, U–Pb, zircons; Inglis et al., 2004) is exposed in the SE of the Bou Azzer inlier ([figure 1.3](#)), emplaced within the platform volcano-sedimentary sequence of the WAC. The sequence consists of sub-marine basaltic flows with occasional sandstone and stromatolitic lenses, keratophyric lavas, breccias and water-lain tuffs, that grade into carbonaceous shales and siltstones interbedded with keratophyric tuffs. The bulk of the intrusion is a medium grained granodiorite comprising plagioclase, quartz, hornblende, alkali-feldspar, apatite and zircon. The granodiorite displays weak internal magmatic fabrics, defined by the alignment of hornblende.

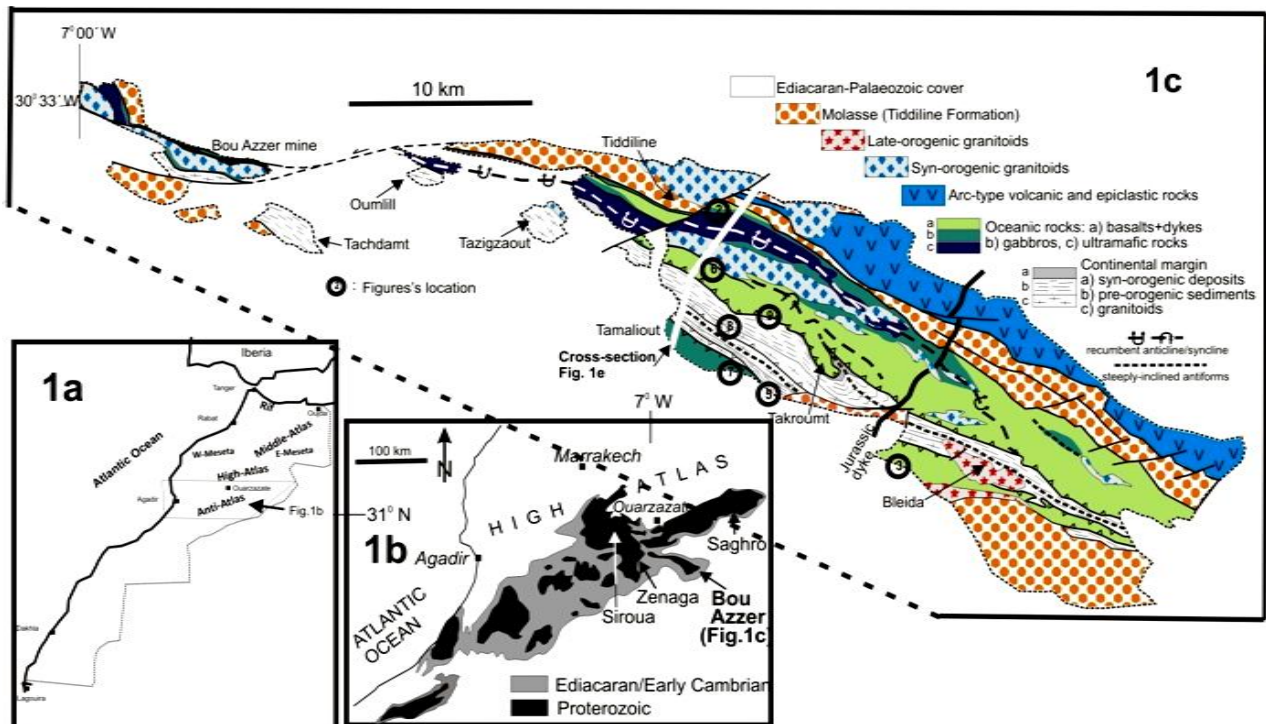


Figure 1.3: *Simplified geological map of Bou Azzer showing the three main terranes (arc, ophiolite and continental margin) which compose the outcrop (El Hadi et al., 2010)*

Itinerary: figures 2.1, 2.2

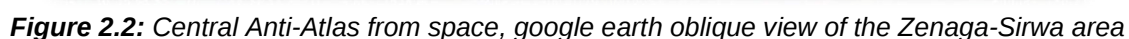
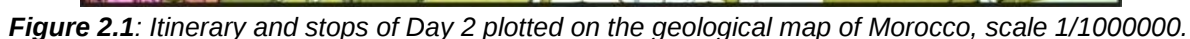


Figure 2.2 shows a scene (about 70 km wide). Note the shallow elevation of the Zenaga and Iguerda inliers with respect to their Early Cambrian carbonate blanket (ki1: Adoudounien; ki2: Lie-de-vin Fm; ki3: Calcaires supérieurs). The Zenaga inlier (figure 2.3) exposes poorly resistant Paleoproterozoic schists and granites, early Neoproterozoic quartzites and limestones (PII), unconformably overlain by late Neoproterozoic volcanics (PIII). The Anti-Atlas Major Fault (AAMF) marks the southern boundary of the thrust ophiolite and arc units. On the right margin of the scene, note the 5 km left-lateral throw along the AAMF shown by the two white spots that are the two shifted half of the Bou Azzer quartz diorite pluton intrusive in the ophiolite. (Variscan deformation is shown by open Middle Cambrian (km)-Ordovician (or) synclines between the Precambrian antiforms.

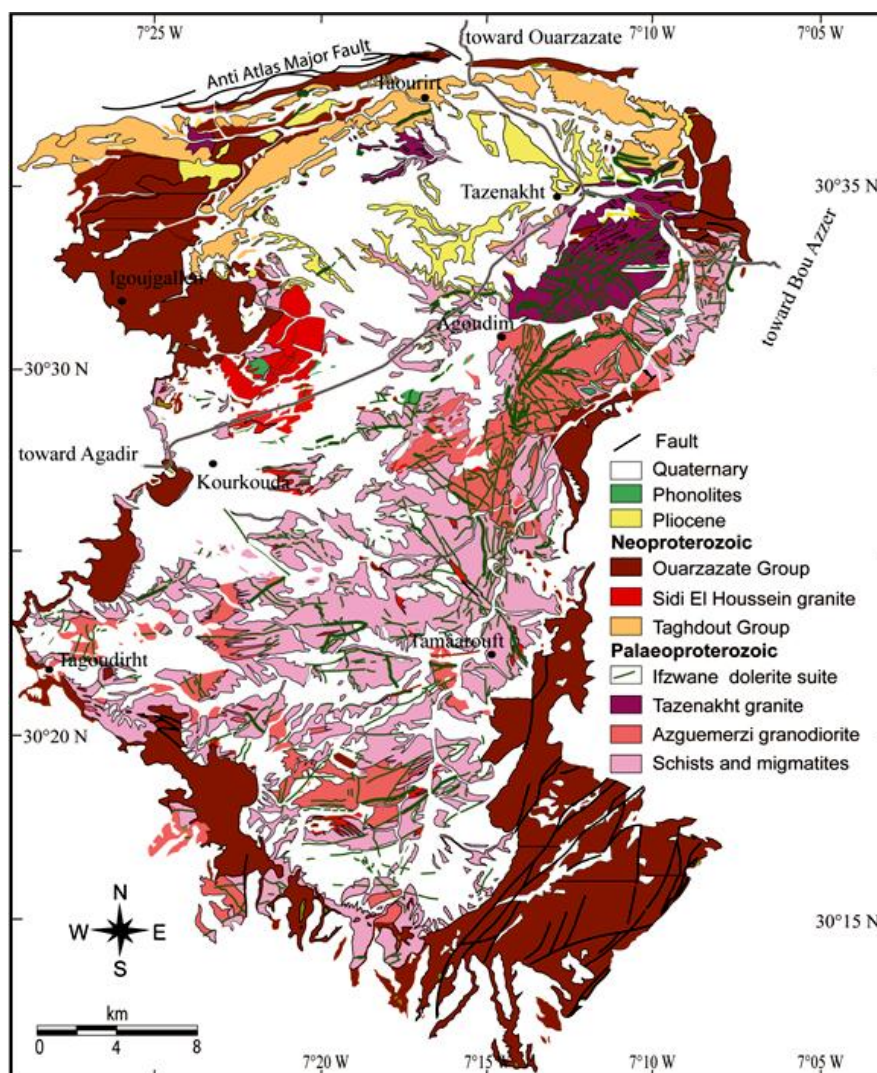


Figure 2.3: Sketch geological map of the Zenaga inlier, (modified, after Choubert 1963, Ennih and Liégeois 2001, Thomas & al., 2004). The Azguemerzi pluton is a peraluminous granodiorite-monzogranite; the Tazenakht pluton is a porphyritic monzo-syenogranite; both are dated at c. 2030 Ma. The country-rocks are amphibolites facies schists and gneisses

Itinerary: Put "0" on your daily odometer when leaving Agdz by road P31 to the ESE, direction Tazenakht, Proceed toward Tazenakht. The road goes on the Quaternary and Neogene continental deposits accumulated on top of the Paleoproterozoic schists. At Tazenakht, turn south-westward keeping on the road P 32 to Taliouine and Agadir, until to reach the neoproterozoic quartzites.

Stop J2.1: Paleoproterozoic schists of the Zenaga Group
(GPS: 1141m, 30° 33' 22", 07° 14' 41")

The stop is located at ca. 5 km from Tazenakht village in the 2 Ga old basement (former "PI" = XI) of the Zenaga inlier (figures 2.1, 2.3). Micaschists can be observed in the roadcut and the neighbouring natural outcrops (to the north of the road) where they are intruded by an orthogneiss, probably related to the large Tazenakht massif. These high grade rocks contrast with the greenschist-facies Taghdout group, and belong to an older orogen, i.e. the Eburnian orogen which forms the northern half of the Reguibate shield of the WAC (figure G.1).

The Zenaga Group is possibly as old as c. 2170 Ma, based on U-Pb SHRIMP dates from relic zircon cores from intruding granites (Thomas et al 2002). The occurrence of Archean relics (former "P0") is not established by reliable dating. The metamorphic rocks are intruded by syn-tectonic to post-tectonic dolerites and granitoids. Several granitoids, exposed in the Bas Draa, Kerdous (Tahala granite), Tagragras of Tata and Akka and Iggherm inliers (figure G.2) yielded ages of c. 2000-2050 Ma (U-Pb zircon), deeply contrasting with the age of the late Pan-African plutons of the same inliers, i.e. 580-560 Ma (c.f; Ait Malek et al., 1998; Thomas et al., 2002; Walsh et al., 2002). A similar, Paleoproterozoic age (c. 2030 Ma, U-Pb zircon) was obtained for the Azguemerzi peraluminous granodiorite and Tazenakht porphyritic monzogranite (Thomas et al, 2002), which intrude the Zenaga micaschists and migmatized paragneisses (figure 2.3).

More precisely, two plutonic events have been recognized in the Paleoproterozoic basement of the western Anti-Atlas:

- the first consists of a calc-alkaline suite of diorites, monzogabbros-diorites, granodiorites and granites reflecting a lower crustal or mantle origin with variable contamination by crustal material;
- the second corresponds to peraluminous granodiorites, granites and leucogranites originating from a crustal source. The siliciclastic nature of the host schist protoliths implies the existence of a neighbouring older domain of probable Archean age (the southern part of the Reguibate shield).

Route: Turn back to Tazenakht, and then proceed to the north, direction Ouarzazate, road N10. The road goes on the Quaternary and Neogene continental deposits accumulated on top of the Paleoproterozoic schist. After ~8 km, until to reach the Taghdout Group.

Stop J2.2: Neoproterozoic Quartzites (Taghdout Group) and Pan-African deformation
(GPS: 1391m, 30° 37' 2244", 07° 16' 02")

The stop is located at ca. 79 km from Agdz, in the folded Neoproterozoic Quartzites and Limestones = Taghdout Group (J. Lkest Group in Western Anti-Atlas) = former "PII" or "XII". Nice ripple marks can be easily observed, and in some other places mud cracks have been fossilized figure 2.4 (Ennih & Liégeois, 2001). The interbedded limestones display oncolites and stromatolite laminations, consistent with a shallow marine environment.

The Pan-African greenschist facies deformation developed at ~650 Ma under N-S directed stress, which formed tight folds in the Quartzites and Limestones, and caused mylonitization of the northern part of the Tazenakht Paleoproterozoic pluton with sinistral strike-slip. The

Sidi el Hussein ring-dyke granite ([figure 2.3](#)) is dated at 579 ± 7 Ma ("P111") (Ennih & Liégeois, 2001).

The following general description of the Taghdout Group is adapted from Gasquet et al., in Michard et al., Eds., 2008:

"The Taghdout Group sediments are intruded by abundant dykes and sills of dolerites and gabbros, also found as dyke swarms in the Paleoproterozoic basement. These rocks (Ifzwane Suite; Thomas et al., 2004) are broadly akin to continental tholeites, although with strong chemical heterogeneity, and could be associated with the increasing rifting of the WAC margin. They are not directly dated. The depositional age of the Taghdout Group is not well constrained. The presence of stromatolites (Choubert, 1963) points to a Neoproterozoic age, i.e. younger than 1000 Ma. Location of the Taghdout Group below the Bou Azzer oceanic complex in varied cross-sections indicates an age older than 660 Ma, which is the age of obduction. A Rb-Sr age of 788 ± 9 Ma (Clauer, 1976) obtained on clay fractions from the Taghdout metasediments gives a minimum age for the deposition of the Group. However, detrital 880 Ma old zircons from the Saghro Group (Liégeois et al., 2007) suggest a still older minimum age as these zircons can be attributed to the magmatic event associated to the gabbroic intrusions observed in the Taghdout Quartzites and Limestones. If correct, the Taghdout shallow water sediments would have accumulated from about 1000 Ma to > 880 Ma, in a proximal passive margin environment upon the northern border of the WAC.

The correlations at the craton scale favourably support the latter proposal. The Taghdout sediments compare with the Char and Atar Groups which can be traced all along the south border of the Reguibat Arch/north border of the Taoudenni Basin (Atar, Richat, and Hank areas; see [figure G.1](#)). These groups form a c. 1000 m thick succession beginning with siliciclastic deposits which range from fluvial to wave- or tide-dominated sediments (Char Group), and passing upward to sandy, stromatolite-bearing carbonate shale sequences (Atar Group; see Deynoux et al., 2006). A clay fraction from the Char Group yielded a Rb-Sr age at 998 ± 32 Ma, whereas Rb-Sr and K-Ar dating of clay fractions from the Atar Group yielded ages between 890 ± 35 and 775 ± 52 (Clauer, 1976). Likewise, correlations can be extended up to the Gourma aulacogen (Moussine-Pouchkine & Bertrand-Sarfati, 1978), on the eastern side of the WAC/southeast side of Taoudenni Basin. Everywhere on the WAC, the dominantly Early Neoproterozoic (Tonian, 1000-850 Ma) platform sedimentation can be related to the break-up of a hypothetical Rodinia supercontinent, as proposed for the Gourma aulacogen. Remarkably, this sedimentation occurred after nearly 1 Ga of quiescence in the West African craton (no event is recorded between 1.7 Ga and the sedimentary onlap)."

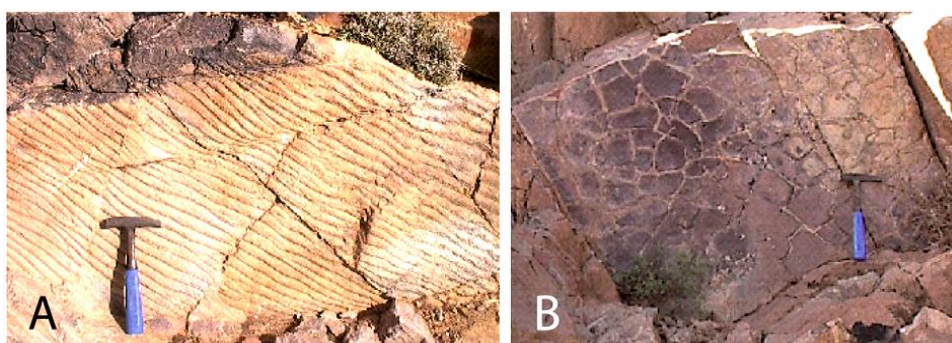


Figure 2.4 : Sedimentological features from the Taghdout Group, Zenaga inlier.
A: Ripple marks on top of a quartzite layer. B: Mud cracks in argillite interleaved in a sequence of stromatolitic-thrombolitic limestones (photograph by Ennih)

Route: Turn back to Tazenakht village, and then proceed to the east, direction Bou Azzer and Agdz, road S 510. After ~2 km, the road runs on the Tazenakht monzogranite intruded by pegmatites and dolerite dykes. The latter are assigned to the early Neoproterozoic extension, as they intrude the Taghdout Group, and are affected by the Pan-African folding event: this is the object of the next stop.

Stop J2.3: Tazenakht Paleoproterozoic granite and Late Neoproterozoic unconformity

The stop is located at ca. 6 km east of Tazenakht village, before crossing the assif (river) which drains the inlier toward Ouarzazate and Oued Dades.

The outcrops next to the road and on both sides of the assif expose the Tazenakht granite (orthogneiss) and numerous E-W striking pegmatite and Alite dykes. These dykes make clearly visible the unconformity at the bottom of the “PIII” volcano-clastic deposits and/or Adoudounian “Série de base” and limestones (figure 2.5). It is worth noting the absence of the deformed Neoproterozoic formations (Taghdout Group): the Pan-African belt suffered important erosion between 650 Ma and 580 Ma, i.e. during the accumulation, in different basins, of the Anezi (Kerdous), Tiddiline (Bou Azzer) and Saghro formations (figure G.2).

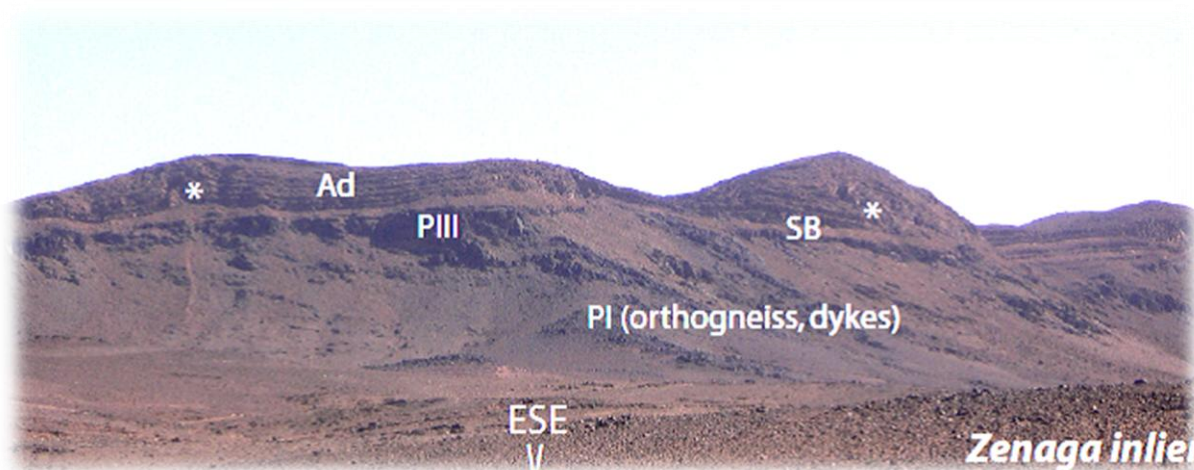


Figure 2.5 : Unconformable Ediacaran volcanites (“PIII”) and late Ediacaran conglomerates (“Série de base” SB) on top of the Eburnian granite and pegmatites (PI) foliated during Panafrican orogeny. The Ediacaran-Cambrian “Adoudounian” dolomites (Ad) are detached from the PIII-SB formations and from NE-verging Variscan folds. Eastern border of the Zenaga inlier , view from the Tazenakht-Bou Azzer road, 6 km west of Tazenakht

Route: Proceed south-eastward. The road goes down and crosses the assif, then pass at the foot of a 200 m high rhyolite massif (“PIII”), then turns eastward to hit the Adoudounian cover series at a point where the PIII rhyolites are much reduced.

Stop J2.4: Base of the Adoudounian limestones (GPS: 1408m, 30° 32' 59", 07° 07' 23")

The stop is located at ca. 6 km east of Tazenakht village, just after the low pass on the PIII rhyolites, at the beginning of the slope, close to pipes for supplying water to Bou Azzer industrial plant.

We are on the western flank of the NE-trending Adoudounian-Cambrian syncline which lays between the Zenaga and Bou Azzer inliers (figure 2.1). The layers dip 30° ENE, but the NE

limb of the syncline is steeper along the AAMF. The Adoudounian “Serie de base” does not display coarse conglomerate in this section, only microconglomerates interbedded with rhyolitic tuffs and siliceous or dolomitic laminated micrites. Some of the beds display remarkable seismite structures, in relation with the extensional tectonics which characterizes this period (c.f. Montebat, 2007).



Figure 2.6 : Lower Cambrian limestones east of Tazenakht. Transgression of the Adoudounian-Lower Cambrian sediments on top of the Ediacaran volcanites. Notice that the stratigraphic contact also corresponds to a detachment level. The water pipe line for Bou Azzer follows approximately the contact

Route: Along the route, we have the opportunity to observe, at least from the bus, the lower part of the Paleozoic succession of the Central Anti-Atlas (figure G.3).

Stop J2.5: Paleozoic succession of the Central Anti-Atlas

The Cambrian includes from bottom to top (Leblanc & Lancelot, 1980):

- i) the Calcaires inférieurs ;
- ii) the wine-coloured “Série Lie-de-vin”(~2 km further east);
- iii) the Calcaires supérieurs which correspond to the upper part of the Lower Cambrian series, topped by
- iv) the “Grès terminaux”, now assigned to the base of Middle Cambrian (Geyer and Landing, 1995, 2004);
- v) in the morpho-structural depression (“internal feija” = combe) at 3 km from stop 5, the Middle Cambrian “Schistes à *Paradoxides*”;
- vi) the “Grès du Tabanit”, which form a synformal cuesta.

The road goes into the depressed core of the Tabanit synform, which corresponds to the Lower Ordovician pelites (Tachilla and Fezzouata Fm, “external feijas”). The Upper Cambrian hiatus is frequent, but not systematic in the Anti-Atlas (figure 2.7).

At the Km-marker “Bou Azzer 12 km” (fork to Foug Zguid), one can observe nice topographic “flat irons” formed by the Cambrian limestones dipping 45°SW. The road follows a gorge in the limestones, crosses the Série Lie-de-Vin and the Calcaires inférieurs and finally runs on the P III rhyolites which mark the NW gate of the Bou Azzer boutonnière.

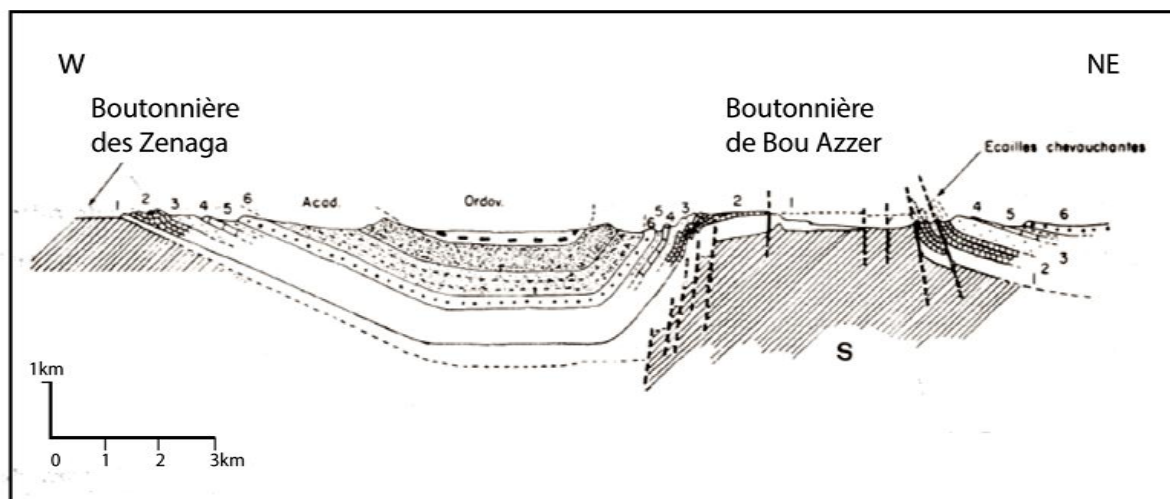


Figure 2.7: Paleozoic succession of the Central Anti-Atlas. (modified after Leblanc, 1981).

S: Socle précambrien; 1 : formation d'Ouarzazate Adoudounien; 2: Calcaires inférieures; 3 : Série Lie de vin; 4 : Calcaires supérieures; 5 : Série grés-dolomitique; 6 : Grès supérieurs

Route: At 45 km to Agdz, the Adoudounian cover is verticalized along the border fault. We go rapidly through the Cambrian succession. After about 12 km, we crosscut the Tabanit Sandstones and enter the Lower Ordovician “external feija” (depression) at Tasla. Our route now goes along this feija up to Agdz. On the left (NNW), the SE-dipping Cambrian succession of Jebel Aneoul corresponds to the southern flank of the P III cored Ait Saoun-Tifernine antiform.

Stop J2.6: Jbel Kissane «First Bani » at Agdz

The eastward view from Agdz on the “Jbel Kissane” Kissane Mountain” is famous as it shows an impressive Ordovician sandstone pile which, however, includes only the First Bani Group (Llandeilo; figure 2.8). The Jbel Kissane forms the perched synclinal core of the E-trending synclinorium which extends between the Bou Azzer and Saghro Precambrian antiforms (figure 2.1). The younger Ordovician strata develop further to the east up to the Second Bani (Ashgill = Hirnantian). Note on the map (figure 2.1) that the Paleozoic folded series and their Precambrian basement are crosscut by the giant Foug Zguid dyke emplaced during the Rhetian-Hettangian magmatic event (Sebai, 1991).

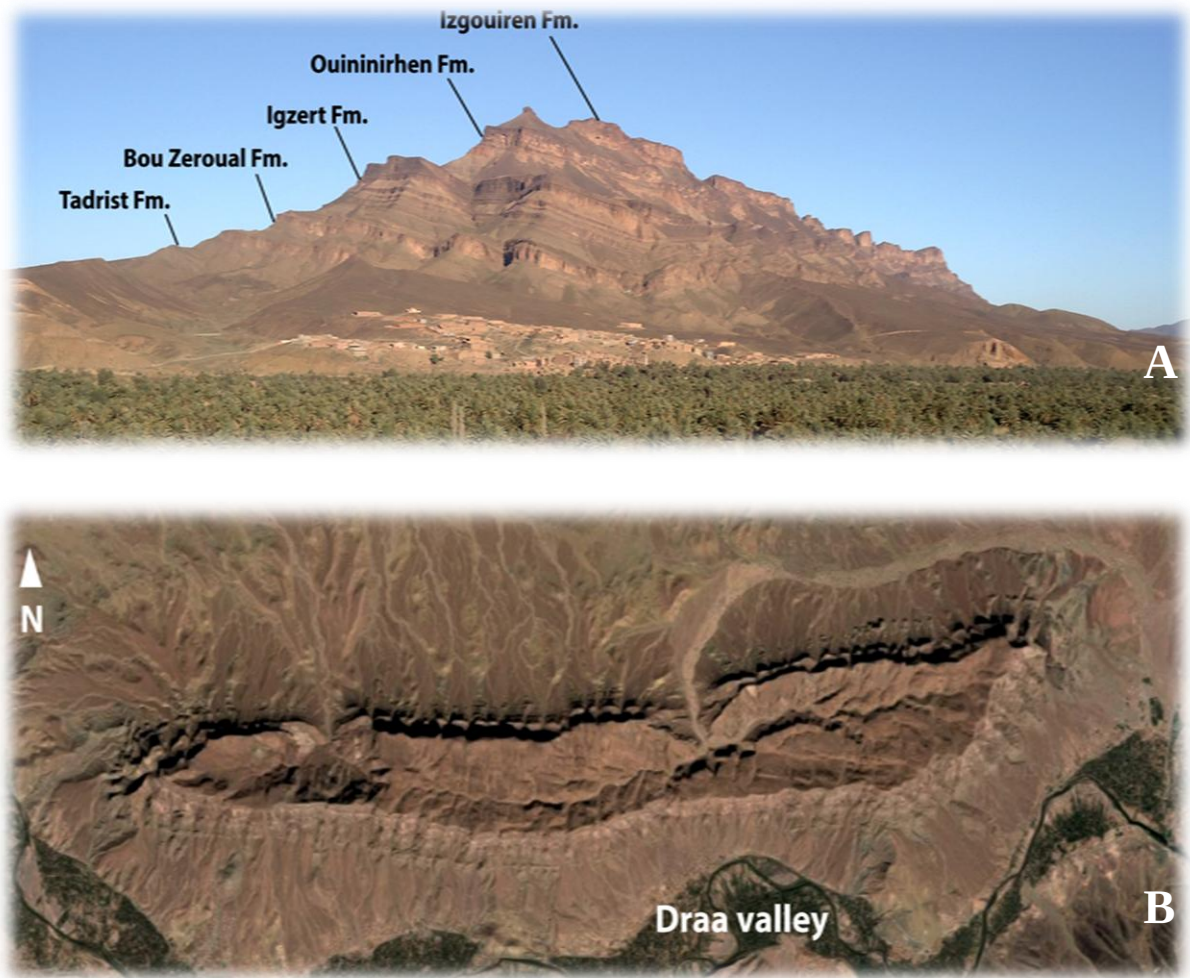


Figure 2.8: *Jbel Kissane, a scenic perched syncline made up of First Bani quartzites (Llandeilo).*

A : View from the west approach of Agdz.

B: Vertical view from 8 km high (Google Earth). The quartzite syncline is perched over the Fezzouata (Tremadoc-Arenig) and Tachilla (Arenig-Llanvirn) pelites.

REFERENCES

- Ait Malek**, H., Gasquet D., Bertrand J.M., Leterrier J. (1998). Géochronologie U/Pb sur zircon de granitoides éburnéens et panafricains dans les boutonnières protérozoïques d'Igherm, du Kerdous et du Bas Draa (Anti-Atlas occidental, Maroc), *C. R. Acad. Sci. Paris* 327, 819–826.
- Alvaro**, J.J., Ezzouhairi H., Vennin E., Ribeiro M.L., Clausen S., Charif A., Ait-Ayad N., Moreira M.E., (2006). The Early-Cambrian Boho volcano of the El Graara massif, Morocco: petrology, geodynamic setting and coeval sedimentation, *J. Afr. Earth Sci.* 44, 396–410.
- Beraaouz**, E.H., Ikenne, M., Mortaji, A., Madi, A., Lahmam, M., Gasquet, D., (2004). Neoproterozoic granitoids associated with the Bou-Azzer ophiolitic mélange (Anti-Atlas, Morocco): evidence of adakitic magmatism in an arc segment at the NW edge of the West-African craton. *Journal of African Earth Sciences* 39, 285–293.
- Bodnier**, J.L., Dupuy C. & Dostal J. (1984). Geochemistry of Precambrian ophiolites from Bou Azzer, Morocco. *Contrib. Miner. Petrol.*, 87, 43-50.
- Bousquet**, R., Mamoun, R., Saddiqi, O., Goffé, B., Möller, A., Madi, A., (2008). Mélanges and ophiolites during the Pan-African orogeny: the case of the Bou-Azzer ophiolite suite (Morocco). In: Ennih, N., Liégeois, J.P. (Eds.), *The Boundaries of the West African Craton*. Geological Society, London, pp. 233–247 (Special Publications, 297).
- Choubert**, G., (1963a). Histoire géologique du Précambrien de l'Anti-Atlas. Vol.I, *Notes & Mém.Serv. géol.*, Maroc, 162, 352 p.
- Choubert**, G., (1963b). Carte géologique de la région de Bou Azzer-El Graara, Anti-Atlas central, 1/100 000. *Notes et Mém. Serv. Géol.*, Maroc, n° 162.
- Clauer**, N., (1976). Géochimie isotopique du strontium des milieux sédimentaires. Application à la géochronologie de la couverture du craton ouest africain, *Sciences Géologiques*, Mémoires. Strasbourg, 45, 256p
- De Beer**, C.H., Chevallier L.P., De Kock G.S., Gresse P.G., Thomas R.J., (2000). Mémoire explicatif de la carte géologique du Maroc au 1/50 000, feuille Sirwa, *Notes Mém. Service Géol. Maroc* 395bis, 86pp.
- Deynoux**, M., Affaton P., Trompette R, Villeneuve M. (2006). Pan-African tectonic evolution and glacial events registered in Neoproterozoic to Cambrian cratonic and foreland basins of West Africa, *J. Afr. Earth Sci.* 46, 397–426.
- El Hadi**, H., Simancas, J.F., Martínez-Poyatos, D., Azor, A., Tahiri, A., Montero, P., Fanning, C.M., Bea, F., González-Lodeiro, F., (2010). Structural and geochronological constraints on the evolution of the BouAzzer Neoproterozoic ophiolite (Anti-Atlas, Morocco). *Precamb.Res.*, 182, 1-14.
- Ennih**, N., Liégeois, J.P., (2001). The Moroccan Anti-Atlas: the West African craton passive margin with limited Pan-African activity. Implications for the northern limit of the cratón. *Precambrian Res.*, 112, 289-302.
- 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.
- Gasquet**, D., Ennih, N., Liégeois, J.-P., Soulaïmani, A. and Michard, A., (2008). The Pan-African Belt. In: *Continental Evolution: The Geology of Morocco; structure, stratigraphy and tectonics of the Africa-Atlantic-Mediterranean Triple Junction* (Michard, A., Saddiqi, O., Chalouan A., Frizon de Lamotte, D., Eds), *Lect. Notes Earth Sci.*, 116, 33-64.
- Hefferan**, K., Admou, H., Hilal, R., Karson, J.A., Saquaque, A., Juteau, T., Bohn, M., Samson, S.D., Kornprobst, J., (2002). Proterozoic blueschist-bearing mélange in the Anti-Atlas Mountains, Morocco. *Precambrian Research* 118, 179–194.

- Inglis, J.D., MacLean, J.S., Samson, S.D., D'Lemos, R.S., Admou, H., Hefferan, K., (2004). A precise U–Pb zircon age for the Bleida granodiorite, Anti-Atlas, Morocco: implications for the timing of deformation and terrane assembly in the eastern Anti-Atlas. *Journal of African Earth Science* 39, 277–283.
- Inglis, J.D., D'Lemos, R.S., Samson, S.D., Admou, H., (2005). Geochronological constraints on Late Precambrian intrusion metamorphism, and tectonism in the Anti-Atlas Mountains. *J. Geol.*, 113, 439-450.
- Oukassou, M., Saddiqi, O., Barbarand, J., Sebti, S., Baidder, L., Michard, A., (2013). Post-Variscan exhumation of the Central Anti-Atlas (Morocco) constrained by zircon and apatite fission-track thermochronology. *Terra Nova*, 25, 151–159.
- Leblanc, M. (1975). Ophiolites Précambriennes et gites arseniés de cobalt (Bou Azzer, Maroc). Centre Géologique et Géophysique Montpellier, *Mém. Hors - Série*, 329p.
- Leblanc, M. (1976). Proterozoic oceanic crust at Bou Azzer. *Nature*, 261, 34-35.
- Leblanc, M. & Lancelot J.R. (1980). Interprétation géodynamique du domaine pan-africain (Précambrien terminal) de l'Anti-Atlas (Maroc) à partir de données géologiques et géochronologiques. *Can. J. Earth Sci.*, 17, 142-155.
- Leblanc M., (1981a). Ophiolites précambriennes et gîtes arsénisés de cobalt (Bou-Azzer, Maroc), *Notes Mém. Serv. Géol. Maroc* 280 . 306p.
- Leblanc, M. (1981b). The Late Precambrian Tiddiline tilloids of the Anti-Atlas, Morocco. n: Hambrey, M.J. & Harland, W.B. (Eds.), *Earth's pre-Pleistocene glacial record*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, U.K., 120-122.
- Leblanc, M. (1993). Geochemistry and significance of metavolcanic rocks from the Bou Azzer-El Graara ophiolite (Morocco). *Comment. Precambrian Research* 62, 367–368.
- Liégeois, J.P., Fekkak, A., Bruguier, O., Errami, E., Ennih, N., (2006) The Lower Ediacaran (630–610 Ma) Sagro group: an orogenic transpressive basin development during the early metacratonic evolution of the Anti-Atlas (Morocco). IGCP485 4th Meeting, Algiers, Abstract Volume. 57 pp.
- Michard, A., Frizon de Lamotte, D., Saddiqi, O., Chalouan, A., (2008a). An outline of the geology of Morocco, In: *Continental evolution: The Geology of Morocco; structure, stratigraphy and tectonics of the Africa-Atlantic-Mediterranean Triple Junction* (Michard, A., Saddiqi, O., Chalouan, A., Frizon de Lamotte, D., Eds), *Lect. Notes Earth Sci.*, 116, 1-31.
- Michard, A., Hoepffner, C., Soulaïmani, A., Baidder, L., (2008b). The Variscan Belt, In: *Continental evolution: The Geology of Morocco; structure, stratigraphy and tectonics of the Africa-Atlantic-Mediterranean Triple Junction* (Michard, A., Saddiqi, O., Chalouan, A., Frizon de Lamotte, D., Eds), *Lect. Notes Earth Sci.*, 116, 65-132.
- Michard, A., Soulaïmani, A., Hoepffner, C., Ouanaimi, H., Baidder, L., Rjmati, E.C., Saddiqi, O., (2010). The South-Western Branch of the Variscan Belt: Evidence from Morocco. *Tectonophysics*, 492, 1-24.
- Mouhcine-Pouchkine, A. & Bertrand Sarfati, J. (1978). Le Gourma: un aulacogène du Précambrien supérieur? *Bull. Soc. Géol. Fr.* 7 (1978) 851–857.
- Montero, P., Haissen, F. El Archi, A. Rjmati, E., Bea, F. (2014). Timing of Archean crust formation and cratonization in the Awsard-Tichla zone of the NW Reguibat Rise, West African Craton: A SHRIMP, Nd–Sr isotopes, and geochemical reconnaissance study. *Precambrian research*, 242, 112-137.
- Naidoo, D.D., Bloomer, S.H., Saquaque, A., Hefferan, K., (1991). Geochemistry and significance of metavolcanic rocks from the Bou Azzer-El Graara ophiolite (Morocco). *Precambrian Research* 53, 79–97.
- Rahimi, A. (1988) : Le grand dyke jurassique de foug Zguid (Anti-Atlas Maroc), un exemple de différenciation magmatique : pétrographie, minéralogie, géochimie. Thèse 3ème C., Univ. Cadi Ayyad, Marrakech, 177 p.
- Saquaue, A., Admou, H., Karson, J.A., Hefferan, K., Reuber, I., (1989). Precambrian accretionary tectonics in the Bou Azzer-El Graara region, Anti-Atlas, Morocco. *Geology* 17, 1107–1110.
- Sebai, A., Feraud g., Bertrand, H. & Hanes, J. (1991). ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating and geochemistry of tholeiitic magmatism related to the early opening of the Central Atlantic rift. *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 104, 455-472.

- Soulaimani**, A., Jaffal, M., Maacha, L., Kchikach, A., Najine, A., Saidi, A., (2006). Modélisation magnétique de la suture ophiolitique de Bou Azzer-El Graara (Anti-Atlas central, Maroc). Implications sur la reconstruction géodynamique panafricaine. *Comptes Rendus Geoscience* 338, 153–160.
- Thomas**, R.J., Chevallier, L.C., Gresse, P.G., Harmer, R.E., Eglington, B.M., Armstrong, R.A., de Beer, C.H., Martini, J.E., de Kock, G.S., Macey, P., Ingram, B., (2002). Precambrian evolution of the Sirwa Window, Anti-Atlas Orogen, Morocco. *Precambrian Research* 118, 1–57.
- Thomas**, R.J., Fekkak, A., Ennih, N., Errami, E., Loughlin, S.C., Gresse, P.G., Chevallier, L.P., Liégeois, J.P., (2004). A new lithostratigraphic framework for the Anti-Atlas Orogen, Morocco. *Journal of African Earth Science* 39, 217–226.
- Walsh** G.J., Aleinikoff J., Benziane F., Yazidi A., Armstrong T.R., (2002). U-Pb zircon geochronology of the Paleoproterozoic Tagragra de Tata inlier and its Neoproterozoic cover, western Anti-Atlas, Morocco, *Precamb. Res.* 117 1–20.
- Youbi**, N., Kouyaté, D., Söderlund, U., Ernst, E., Soulaimani, A., Hafid, H., Ikenne, M., El Bahat, A., Bertrand, H., Rkha Chaham, K., Ben Abbou, M., Mortaji, A., El Ghorfi, M., Zouhair, M., El Janati, M., (2013). The 1750 Ma Magmatic Event of the West African Craton (Anti-Atlas, Morocco). *Precambrian Research*, 236, 106–123.

Session Inauguration de la Rencontre Hispano - Marocaine

Lundi 23 Mars 2015 à la Faculté des sciences Ben M'sik

M. Driss Mansouri, Président de l'Université Hassan II de Casablanca

M. Said El Kebbjaj, Doyen de la faculté des Sciences Ben M'sik

M. Lhou Maacha, Directeur Général de l'Exploration et Développement , MANAGEM

M. Abdellah Mouttaqi, Directeur du Pôle Exploration et Technique, ONHYM

M. Azza Addi, Conseiller du Ministre de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement

M. Antonio Garcia Casco, Président de la Commission de Pétrologie, Géochimie et
Géochronologie des Roches Ignées et Métamorphiques CPGG-RIM

Conférence plénière N°1 :

Professeur Omar Saddiqi, Doyen de la Faculté des Sciences Aïn Chock

“Géologie du Maroc : Quoi de neuf...?”



Conférence plénière N°2 :

Professeur Fernando Bea, Université de Grenade, Espagne

**“Province Alkaline de la partie occidentale de la dorsale
Reguibate, Sud du Maroc”**



GEOLOGY OF MOROCCO: WHAT'S NEW?

Omar SADDIQI¹

¹*Géosciences Laboratory, Hassan II University of Casablanca. Morocco. omarsaddiqi@yahoo.fr*

Morocco is one of the most fascinating lands the world over for geology. It is located at the triple junction between a continent (Africa), an ocean (the Atlantic) and a plate collision zone (the Alpine belt system). This results in a rough topography with a wide range of outcropping terranes spanning from Archean to Cenozoic in age, as well as varied tectonic systems, from sedimentary basins to fold belts. Finally, it is worth emphasizing that natural resources extracted from the Moroccan subsoil are important for the national economy (phosphate, Ag, Pb, Zn, barytine, fluorine, etc.). At the moment, there is active exploration for oil and gas fields offshore.

Topography and major geological domains

At first sight, the topography of Morocco is comparable with that of the neighbouring countries of North Africa. To the north, the Rif Range extends along the Mediterranean coast (Alboran Sea), ensuring the continuity of the Kabylia-Tellian belts (Maghrebides) up to the Gibraltar strait. South of these coastal ranges, a domain of elevated plateaux or mesetas occur (Algerian High Plateaux and Oran Meseta, Moroccan Meseta), including intramontane basins. Then the Atlas system rises up, providing a northern boundary to the extended, and generally low-elevation Sub-Saharan and Saharan domains. However, Morocco differs from Algeria and Tunisia in several ways. On the one hand, the elevation of most of the country (except the Rif and Atlantic areas) is particularly high [1]. The High Atlas displays several massifs close to 4000 m high, including the highest peak of northern Africa (Jebel Toubkal). A branch of the Atlas system extends obliquely across the Mesetan domain, namely the Middle Atlas, which exceeds 3000 m in elevation. The northern border of the Sub-Saharan domain also rises and forms a massive mountain belt, the Anti-Atlas, up to 2700 m high in J. Saghro, and even higher in the case of the J. Sirwa volcano (3300 m). The elevation decreases westward away from the Middle Atlas mountains to the Central Massif of the Moroccan Meseta, towards the Atlantic coastal basins, and eventually to the Atlantic abyssal plains. South of Anti-Atlas and Saghro mountains, the plateaux (hamadas) elevation decreases southward from c. 1000 m to less than 400 m (Tindouf basin), and westward to less than 200 m, close to the Atlantic (Tarfaya basin).

It has been demonstrated, based on geophysical data that this specific topography results from a hot mantle anomaly (asthenosphere uplift) extending SW-NE from western Anti-Atlas to eastern Rif. This anomaly is also outlined by the scatter of recent alkaline volcanoes along the Siroua-Middle Atlas-Eastern Morocco trend (Moroccan Hot Line).

The successive fold belts

Morocco includes large parts of the orogenic systems that formed around the 2 Ga-old continental nucleus of northwestern Africa, i.e. the West African Craton (WAC). These successive belts are the Pan-African, Variscan (Hercynian), and Alpine belts [2,3] (Fig. 1).

The WAC extends in the Sahara desert. Its crystalline basement crops out in the Reguibat shield or arch, whereas it is hidden beneath undeformed sediments in the Tindouf, Reggane and Taoudenni basins. The western part of the Reguibat Arch records Archean episodes of continental crust formation. Some gneisses were dated at 3.5 Ga, but most granites yielded 3.0 and 2.7 Ga dates. After 2.92 Ga there is no trace of magmatic activity until the intrusion of the Awsard feldspathoidal (kalsilite and nepheline) syenites at 2.46 Ga. This reveals that, for reasons that are not yet well understood, the Archean crust in this sector of the Reguibat Rise stabilised long before than any other surrounding cratonic area [4,5]. By contrast, the eastern part of the arch formed at about 2.1 Ga (Paleoproterozoic) during the Eburnian orogeny, and collided with the Archean part around 1.7 Ga ago. The overlying sedimentary deposits span the whole Neoproterozoic-Cenozoic times, with not any internal unconformity, which defines a typical cratonic area. The Neoproterozoic onlap is exposed on the southern border of the Reguibat shield consisting of quartzites and stromatolitic limestones, 1000-700 Ma in age. By contrast, at the southern border of the Tindouf basin, the base of the sedimentary succession is made up of Cambrian and Ordovician sandstones.

The *Variscan belt* is again a major orogen, formed during the Pangean collision. Only the southern, external parts of the belt, devoid of ophiolite and high-pressure metamorphism, are preserved in Morocco. East-vergent thrusts reworking Precambrian material emplaced during the Carboniferous upon the western margin of the Reguibat Arch (Adrar Souttouf), in the northern continuation of the Mauritanide belt. Late Paleozoic deformation remains quite moderate in the Moroccan Anti-Atlas and Algerian Ougarta around the WAC border. By contrast, a strongly deformed, metamorphic Variscan segment, intruded by granitic massifs crops out in the western High Atlas-Meseta domain. The Late Permian or, more generally, Triassic unconformity marks the end of the Variscan evolution.

The *Cenozoic Alpine belt* is mostly superimposed onto the Variscan belt. The broad organisation of these young mountain belts is directly visible in the topography. The High and Middle Atlas are autochthonous, intracontinental belts, developed by inversion of Triassic-Jurassic aborted rifts. By contrast, the Maghrebides include both parautochthonous, external units originating from the African Mesozoic passive margin, and allochthonous terranes originating from the Maghrebien-Ligurian Tethys and from a continental block “Alboran-Kabylia-Calabria”. In both the Atlas and Maghrebide systems, mountain building spans the Late Eocene to Present times, i.e. the last 40 My.

The *Pan-African Belt* formed at ~660 Ma, with the latest magmatic and tectonic events being dated at 610-560 Ma. The unconformity beneath the Anti-Atlas Cambrian formations records the end of the Pan-African evolution. By contrast with the eastern WAC border in Algeria and Mali, the Pan-African belt is poorly exposed as isolated inliers in the Moroccan Anti-Atlas, and only displays low-pressure metamorphic units. However, it is currently admitted that collision tectonics also occurred in this region, i.e. on the northern “metacratonic” boundary of the WAC.

Active tectonics

Due to its position at the northwest border of the African plate, Morocco still offers significant tectonic activity, especially in its younger parts.

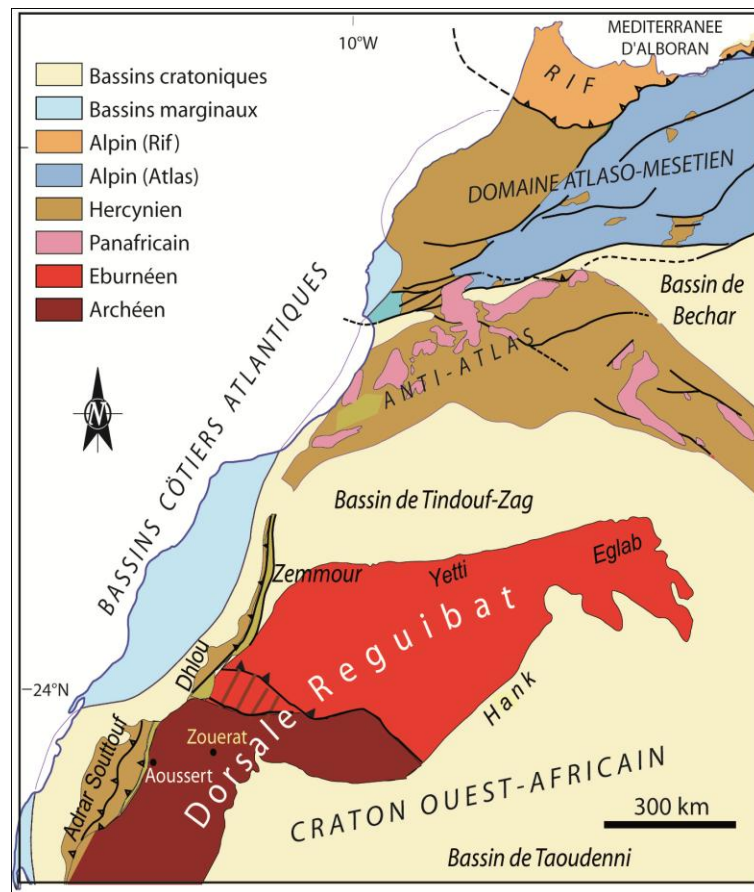


Fig. 1: Geological domains of Morocco.

The most seismic zone corresponds to the eastern Rif and Alboran Sea. The present-day Africa-Eurasia relative movement is broadly directed SE-NW, i.e. oblique to the African margin. The convergence rate decreases from 6 to 4 mm/year from the longitude of Tunisia to that of Morocco, due to the anti-clockwise rotation of Africa. Moreover, the overall converging movement is combined with a regional extension in the Alboran area, trending E-W to ENE-WSW, and responsible for the building of the Gibraltar Arc since ~20 Ma.

References :

- [1] Frizon de Lamotte D., Leturmy P., Missenard Y., Khomsi S., Ruiz G., Saddiqi O., F. Guillocheau. 2009. Mesozoic and Cenozoic vertical movements in the Atlas system (Algeria, Morocco, Tunisia): An overview. *Tectonophysics*, 475, p. 9-28.
- [2] Frizon de Lamotte D., Michard A., Saddiqi O. 2006. Some Recent Developments on the Maghreb Geodynamics: An Introduction. *C. R. Géosciences*, 338, p.1-10.
- [3] Michard A., Saddiqi O., Chalouan A., Frizon de Lamotte D. (Eds.), Continental Evolution: The Geology of Morocco. Structure, Stratigraphy, and Tectonics of the Africa-Atlantic-Mediterranean Triple Junction, *Springer Verl.*, Berlin, Heidelberg (2008), 420 p., 235 figs. ISSN 0930-0317.
- [4] Bea, F., Montero, P., Haissen, F., El Archi, A. 2.46 Ga kalsilite and nepheline syenites from the Awsard pluton, Reguibat Rise of the West African Craton, Morocco. Page 27 of 5027 of 27 Generation of extremely K-rich magmas at the Archean-Proterozoic transition. *Precambrian Research* 224, 242-254. 2013.
- [5] Montero, P., Haissen, F., Archi, A.E., Rjmati, E., Bea, F., Timing of Archean crust formation and cratonization in the Awsard-Tichla zone of the NW Reguibat Rise, West African Craton. A SHRIMP, Nd-Sr isotopes, and geochemical reconnaissance study, *Precambrian Research* (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2013.12.013>

Reconsidérations des systèmes métallogéniques de la Boutonnière de Bou Azzer-El Grâara (Anti-Atlas occidental). Maroc.

L. Maacha¹, M.Elghorfi¹, M. Zouhair¹, O. Sadiqui², A. Soulaïmani³.

¹Managem, Direction Exploration et Développement, Twin Center, Casablanca, Maroc.

²Faculté des Sciences AinChok, Université Hassan II, Casablanca.

³Faculté Smlalia, Université Cadi Ayyad.

Les minéralisations de la boutonnière sont loin d'être suffisamment explorées et on décrira dans cette présentation ce qui est connu en l'état actuel des connaissances. Elles dessinent une zonalité de l'Ouest vers l'Est, retraçant l'histoire métallogénique de la boutonnière et les impacts des évolutions lithologiques (Fig. 1). Le cobalt et les sous-produits de nickel, d'arsenic et d'or sont liés aux métaharzburgerites et s'étalent de Méchoui jusqu'au filon 51 à Ait Hmane. L'argent, sous sa forme native, est logé au contact des serpentines avec les diorites. La roddingite, produit d'une interaction métasomatique entre les deux formations, en constitue la roche hôte. Il est répertorié au niveau de Tizi, à l'ouest du filon 7/5 et au Barrage Barron. La chromite commence à partir d'Ambed et s'étend jusqu'à Ait Abdellah. Elle est intimement liée aux dykes et podes de dunites. Un contrôle tectonique précoce est mis en évidence dans le cadre de cette étude marqué par une mise en place dans un régime transtensif ayant engendré des ouvertures en pull-apart remplis de dunites et de chromites. Les sulfures primaires de nickel sont décrits à Ambed tandis que les sulfures et les arséniures liés à la serpentinisation (Wafik, 2001) sont relevés à l'Est de la boutonnière. Wafik décrit une association paragenétique à pyrite, chalcoppyrite, arsénopyrite, millérite, Co, As, S₂, le glaucodot et des alliages. Le cuivre de la série verte commence à partir de Tamdrost ou un niveau de roches basiques à cuivre est cartographié au sein des métaharzburgerites. Un autre niveau est en cours de mise en valeur par les géologues de Managem à Ambed associé aussi aux roches basiques. Plus à l'Est, les gabbros à cuivre de l'oued Ait Hmane ont révélé la présence du platine, du palladium et de l'argent en inclusions dans la chalcoppyrite. Dans la zone de Douissat-Elmnissi, les niveaux de cuivre sont dans les serpentines et les basaltes à exhalites. A Bleida, la série volcanosédimentaire et le schistogréseux encaissent les minéralisations sulfurées de cuivre. Et enfin, dans la couverture adoudounienne, les minéralisations de cuivre, à oxydes, carbonates et sulfures combinés, sont bien documentées dans le gisement de Jbellaasal.

Un premier cycle métallogénique précoce est à rattacher au Tonien et synchrone de la mise en place de la série verte, de la plateforme et les roches intermédiaires associées (Fig. 1 et 2). Dans la série verte, les minéralisations magmatiques sont représentées par les chromites podiformes, les sulfures de nickel et de cuivre, les PGE et des alliages de terres rares. Dans les séries volcanosédimentaires et schistogréseuses de Bleida, des niveaux stratiformes de pyrite à soufre biogénique témoignent d'un hydrothermalisme exhalatif précoce. Un épisode de redistribution et de reconcentration du nickel et de cobalt sous forme d'arséniures et de sulfures a été décrit (Alansari, 2008) mais dont l'âge n'est pas élucidé. L'auteur l'associe à la serpentinisation qui serait aussi responsable de la formation d'une magnétite secondaire

enrichie en ces éléments. Il est probable que le gisement à or et palladium de Bleida Farwest récemment découvert soit de type magmatique et associé à cet épisode de rifting.

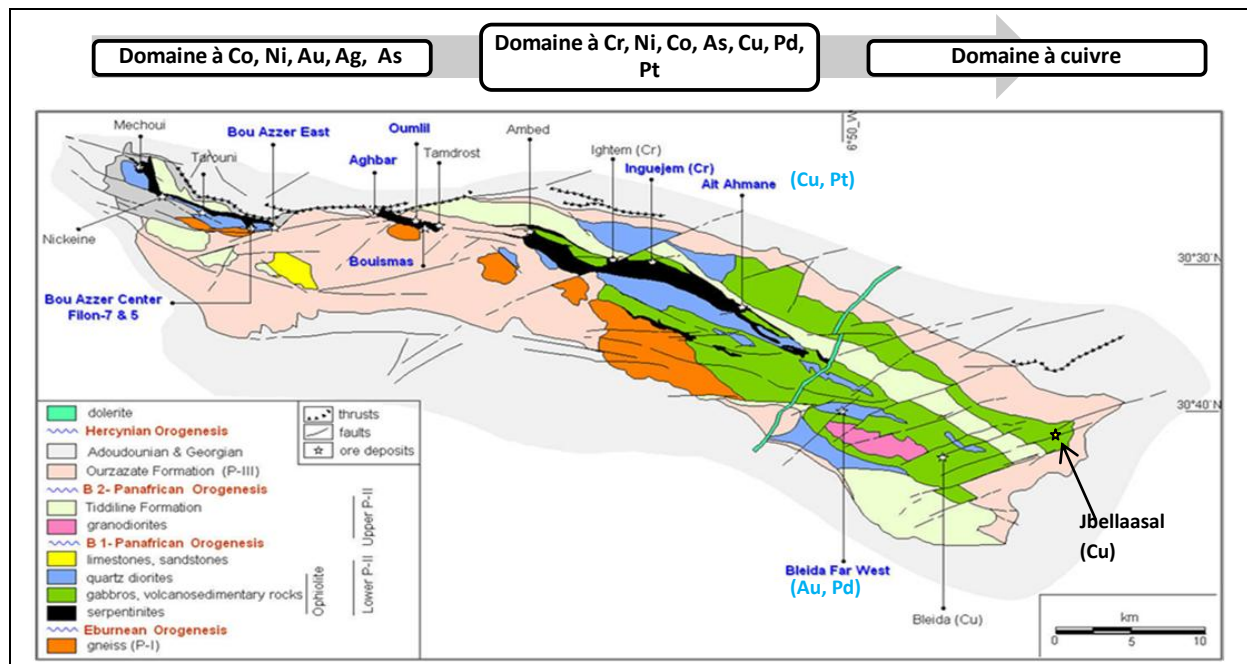


Figure 1 : Domaines métallifères de la boutonnière de Bou Azzer Elgraara. De l'est vers l'ouest, les associations métalliques évoluent en relation avec les séries ophiolitiques avec i) un premier ensemble mantellique de Bou Azzer Centre, ii) la zone de transition à Ait Hmane et Ait Abdallah et enfin iii) la série de plateforme de Bleida. Y sont aussi représentés les principaux gisements de la boutonnière.

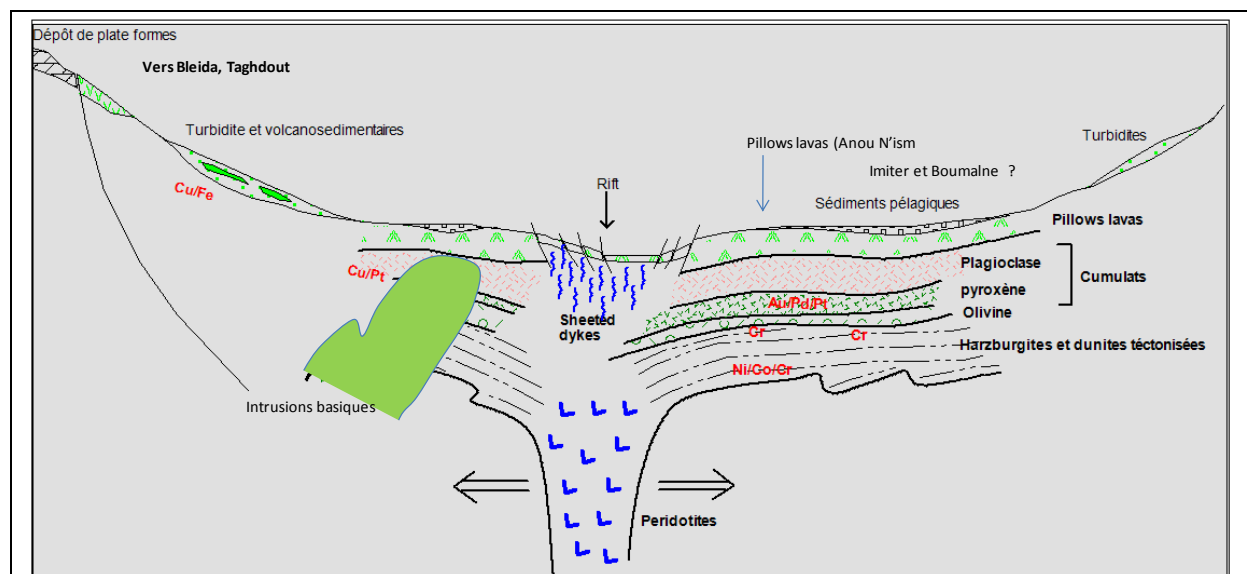


Figure 2: Modèle conceptuel de la mise en place des roches vertes et de la série de plateforme et les minéralisations magmatiques associées.

Pour ce qui est des minéralisations de cobalt et des sous-produits associés, la serpentinisation a joué un rôle précurseur majeur. La serpentinisation est fonction de la composition des roches ultramafiques magmatiques, le chimisme du fluide et le système

ouvert ou fermé du processus. Dans le cas de Bou Azzer, les pyroxènes sont aussi serpentinisés. Les olivines contiennent du nickel et du cobalt à des teneurs respectives de 3900 et 200 ppm. Le fluide est probablement chargé en calcium et en magnésium comme en témoigne les dépôts de la magnésite et des masses de listwénites.

Dans ces conditions, la serpentinisation se serait produite dans un système ouvert avec apport de l'acide carbonique, du calcium et de l'eau. En plus de la serpentine et de la magnétite, ils se forment des carbonates de calcium et de magnésium ainsi que des carbonates de nickel et de cobalt. Le stock en cobalt est finalement reconcentré dans minéraux facilement lixiviable comme la magnétite et les carbonates. L'action des fluides hydrothermaux et l'apport de l'arsenic des sédiments et du soufre des saumures vont conduire à sa reconcentrations sous forme d'arséniures, sulfo-arséniures et sulfures.

En ce qui concerne la partie du nickel et du cobalt associés aux sulfures, la serpentinisation a également joué un rôle important dans sa redistribution et en concomitance avec la transformation de l'olivine. Généralement, les roches ultra-mafiques non altérées peuvent renfermer des sulfures magmatiques, telles que la pyrrhotite, la pentlandite et la chalcopryrite. Les différences de compositions minéralogiques entre les roches ultra-mafiques non altérées et celles transformées en serpentines suggèrent un contrôle de la minéralogie des sulfures secondaires de Ni-Co-Fe-S par les réactions chimiques intervenant lors de la serpentinisation. Les assemblages minéraux des sulfures secondaires de ces métaux dépendent du degré de serpentinisation. Une serpentinisation partielle dans laquelle l'olivine est transformée en serpentine, magnétite et pentlandite avec le transfert chimique du contenu en cobalt, nickel et fer. La pyrrhotite primaire monoclinique et la pentlandite sont transformées en pyrrhotite hexagonale, mackinawite et la magnétite avec une redistribution des concentrations en fer, soufre, nickel et cobalt. Dans certains cas, la mackinawite est absente et peuvent apparaitre des minéraux de heazlewoodite et de godlevskite. Il est aussi possible que la pyrrhotite secondaire soit monoclinique ou même absente. Dans le cas de Bou Azzer, la serpentinisation est totale et les phases minérales secondaires sont différentes. Elles regroupent la polydimite, la millerite et l'orcélite.

Dans la magnétite, la proportion pondérale du cobalt varie de 6,74 à 8,5%. La polydimite contient 50,86% de nickel et 4,38 % en cobalt. Elle contient des inclusions d'orcélite dont les analyses ont révélé 60,81% poids en nickel. La millerite est aussi cobaltifère avec des teneurs respectives de 57,77% en nickel et le cobalt qui s'échelonnent entre 3,13 et 5,36%.

Les événements tectoniques ont contribué à la concentration des fluides métamorphogènes qui vont jouer un rôle important dans la concentration économique de certains métaux. Ils sont libérés lors des déformations sismiques liés à la distension infracambrienne dont témoignent les niveaux dolomitiques remaniés de l'Adoudounien mais aussi la tectonique qui contrôle les minéralisations hydrothermales et hydrothermo-magmatiques de la boutonnière. En effet, l'ensemble des veines à arséniures de Bou Azzer,

sont générées par une tectonique cassante ou toute les directions ont été ouvertes et remplies par la gangue quartzo-carbonatées et les phases métalliques associées. Cette ouverture a eu lieu à un niveau structural superficiel dont la profondeur ne dépasse pas 1km selon la pression de mise en place et les reconstitutions stratigraphiques avant l'érosion. Les filons longent les contacts des serpentines sous forme de foyers de déformation qui dénotent d'un héritage tectonique des structures panafricaines. Les études géologiques, géochimiques, minéralogiques et des inclusions fluides nous ont permis d'en établir un modèle conceptuel de mise en place illustré par la [figure 3](#).

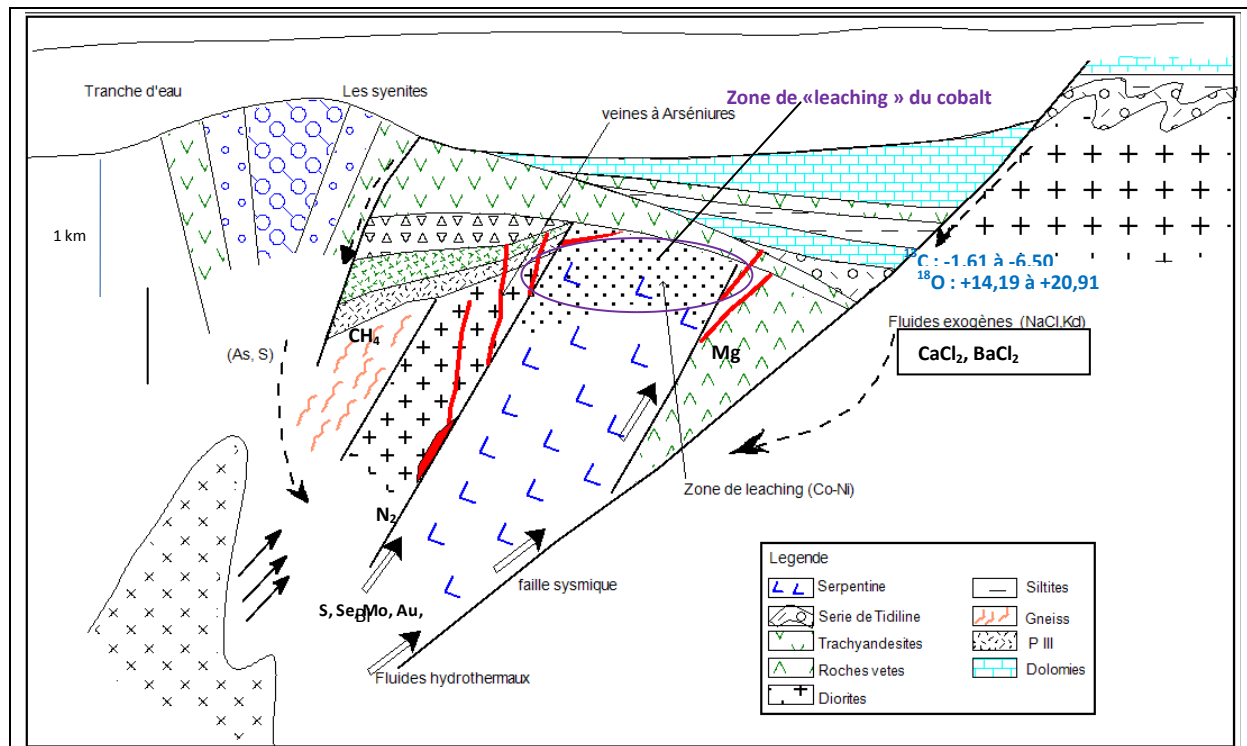


Figure 3 : Essai de modélisation génétique des minéralisations à arséniures, sulfo-arséniures, séléniures et sulfures de Bou Azzer.

Les sulfures de cuivre de Bleida s'intègrent parfaitement dans le même contexte. Longtemps considérée de type SEDEX, cette minéralisation présente un contrôle structural indéniable. En effet, l'ensemble des corps minéralisés sont concentrés autour d'un système d'accidents NE, leurs conjuguées et leurs satellites ([Fig. 4](#)). Ces failles contrôlent une zonalité concentrique des phases minérales, des minéraux d'altération et des conditions de température de mise en place. Elles sont similaires en âge et en cinématique de déformation à celles de Bou Azzer qui portent les arséniures. Elles ont joué tardivement et décalent les corps minéralisés en senestres pour la direction N70 à N45 et dextre pour la NW. Néanmoins, la signature exhalative est marquée par des niveaux à magnétite au Sud, les chloritites, les jaspes et les pyrites stratiformes à soufre lourd biogénique. La présence de la sylvanite, les isotopes du soufre et les rapports Ni/Co indiquent une origine hydrothermale des fluides d'origine partiellement mantellique. Le cuivre proviendrait des roches basiques et ultrabasiques par lessivage et transport sous forme de chlorures. Les niveaux grossiers du

Sud, et pyriteux du Nord, ont joué le rôle de réceptacles avec des processus respectifs d'infiltration et de remplacement-mimétisme. Ce dernier a conféré la texture rubanée à la minéralisation du Nord.

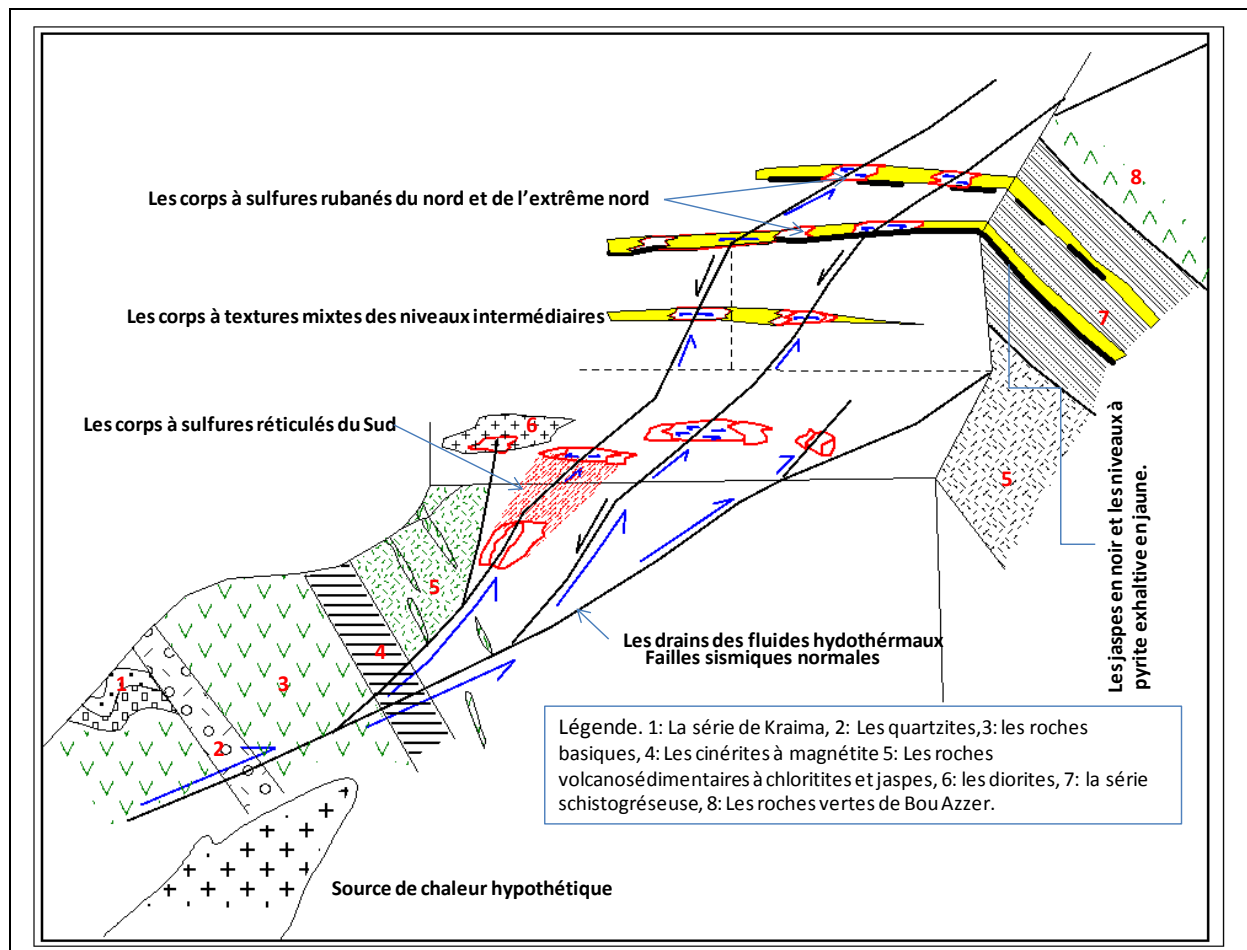


Figure 4 : Modèle conceptuel de la genèse des minéralisations sulfurées de Bleida.

Remnants of Paleozoic oceans in the Variscan suture: The ophiolites of NW Iberia.

Sonia Sánchez Martínez^{1*} & Ricardo Arenas^{1*}

1)- Departamento de Petrología y Geoquímica and Instituto de Geociencias (UCM, CSIC), Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, Spain.

Abstract

The suture zone of the Variscan Belt is defined by sequences of mafic and ultramafic rocks interpreted as ophiolites generated during the closure of at least one oceanic domain result of the amalgamation of Pangea. In the allochthonous complexes of NW Iberian Massif five different ophiolitic units have been identified plus a tectonic mélange which also includes blocks of ophiolitic nature. According to U-Pb ages such units have been grouped into lower ophiolites (Cambrian) and upper ophiolites (Devonian). The difference in age has led to consider that they do not represent a single stage in the evolution of a single oceanic domain. On the contrary these ophiolites seem to provide information about the oceanic domains located in the periphery of Gondwana in pre-Ordovician times, and also about the oceanic domains involved in the final assembly of Pangea. The meaning of this ophiolites and their tectonic setting of generation has evolved through time especially after the acquisition of isotope data of zircons obtained from the main lithologies of these ophiolitic assemblages. The study of ophiolitic belts reveals the complexities of the interaction between continental margins and the oceanic basins between them during supercontinental collision.

(*)- s.sanchez@geo.ucm.es

Timing of the Ibero-Armorican Arc. Paleomagnetism, shear zones and more

G. Gutiérrez-Alonso^a, D. Pastor-Galán^b, A.B. Weil^c, J. Fernández-Suárez^d, A.S. Collins^e

^aDepartamento de Geología, Universidad de Salamanca, Plaza de los Caídos s/n, 37008 Salamanca, Spain and Geology and Geography Department, Tomsk State University, Lenin Street 36, Tomsk 634050, Russian Federation.

^bPalaeomagnetic Laboratory 'Fort Hoofddijk', Department of Earth Sciences, Budapestlaan 17, 3584 CD Utrecht, Netherlands

^cDepartment of Geology, Bryn Mawr College, Bryn Mawr, PA 19010, USA

^dDepartamento de Petrología y Geoquímica, Universidad Complutense and IGEO, CSIC, 28040 Madrid, Spain

^eTectonics, Resources and Exploration (TRaX), Department of Earth Sciences, University of Adelaide, SA 5005, Australia

The Paleozoic Variscan orogeny was a large-scale collisional event involving amalgamation of multiple continents. The present-day arc curvature of the Variscan has inspired many tectonic models, with little agreement between them. While there is general consensus that two separate phases of deformation occurred, various models consider that curvature was caused by: dextral transpression around a Gondwana indenter; strike-slip wrench tectonics; or a change in tectonic transport direction due to changing stress fields (an orocline). Deciphering the kinematic history of curved orogens is difficult, and requires establishment of two deformation phases: an initial compressive phase that forms a relatively linear belt, and a second phase that causes vertical-axis rotation of the orogenic limbs. Historically the most robust technique to accurately quantify vertical axis-rotation in curved orogens is paleomagnetic analysis, but recently other types of data, including geochronology and structural reconstructions using joints have provided more robust constraints to date the orocline development. From this point of view, if vertical axis rotation occurs subsequent to magnetization acquisition, then the magnetization will record all ensuing rotations. Consequently, if magnetizations are found that vary systematically as a function of strike around a curved orogen, then secondary oroclinal buckling, regardless of the mechanism, is likely the most viable kinematic model for curvature.

Most geologic, structural and paleomagnetic studies done to test the orocline hypothesis for the Ibero-Armorican Arc have been done in its central core — the Cantabrian Zone. Early paleomagnetic studies in the Cantabrian Zone were used to test the various proposed rotational models, and demonstrated that at least some of the arc's curvature is of a secondary nature. However, the ability to establish robust evidence for oroclinal buckling was limited due to a lack of sufficient data around the entire arc, and the failure to recognize and distinguish between secondary syn-tectonic and post-tectonic remagnetizations.

More recent paleomagnetic investigations from around the arc have established the Cantabrian–Asturian Arc (The core of the Ibero-Armorican Arc) as an orocline that tracked the entire progression from an early linear orogen to a secondarily folded arc. When all available B and C component paleomagnetic site means are compared to deviations in structural trend around the outer provinces of the Cantabrian–Asturian

Arc, a strike test slope of 0.98 ± 0.06 is established, indicating that the orocline end-member model is the best kinematic model for the Cantabrian Orocline. The later Permo-Triassic (P–T) component has seen little to no distortion since the time of magnetization acquisition, and it is within error of reference P–T paleomagnetic poles for stable Iberia.

Paleomagnetic data from Early Permian samples from the northern Cantabrian–Asturian Arc yielded expected Early Permian paleomagnetic pole positions for stable Iberia, with no indication of vertical-axis rotation since the Early Permian. Consequently, the Early Permian is argued to mark termination of oroclinal buckling. This result placed a well-constrained time window of about 10 Ma for oroclinal buckling.

In the outer part of the Ibero-Armorican Arc, a data set of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages obtained from five shear-zones, some of which display curved traces parallel to the Ibero-Armorican structural grain in NW Iberia and are interpreted to have been generated coevally to it. The $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages were obtained by laser-rastering induced step-heating on single muscovite crystals that grew synkinematically during shearing. All five samples yielded ages that cluster tightly at 308 ± 3 Ma providing direct evidence for the age of oroclinal bending. This age is consistent with the age constraints obtained from paleomagnetic and structural data that place the onset of oroclinal bending in Moscovian times. Our $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age determinations therefore provide a reliable absolute constraint on the age of buckling of the Variscan orogen around a vertical axis and provide further evidence that oroclinal bending is unrelated to Variscan convergence/collision or the subsequent extensional collapse of the mountain belt.

A two-stage collision in the origin of Pangea: Evidences in NW Iberian Massif

Ricardo Arenas^{1*}, Sonia Sánchez Martínez¹, Rubén Díez Fernández¹, Axel Gerdes², Richard Albert¹, Javier Fernández-Suárez¹, Pilar Andonaegui¹

1)- Departamento de Petrología y Geoquímica and Instituto de Geociencias (UCM, CSIC), Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, Spain.

2)- Institut für Geowissenschaften, Goethe-University Frankfurt, 60438 Frankfurt

Abstract

In the allochthonous complexes of NW Iberia, the tectonothermal evolution of the continental terranes bounding the Variscan suture zone records two consecutive events of deep subduction. The Upper Units record an initial high-P/ultra-high-P metamorphic event that occurred at c. 400-390 Ma, while the Basal Units were affected by a second high-P/low-to-intermediate-T metamorphic event dated at c. 370 Ma. Continental subduction affected the most external margin of Gondwana in a context of dextral convergence with Laurussia. Development of the two high-P events alternated with the opening of an ephemeral oceanic basin, probably of pull-apart type, in Early Devonian times. This ephemeral oceanic domain is suggested as the setting for the protoliths of the most common ophiolites involved in the Variscan suture along the belt, dated at c. 395 Ma. Recent Lu-Hf zircon data obtained from these ophiolites indicate interaction between the gabbroic magmas and old continental crust. Hence, the ophiolites could not have originated in a deep ocean basin associated with a mature mid-ocean-ridge or intraoceanic subduction.

Current ideas for the assembly of Pangea advocate a single collisional event between Gondwana and Laurussia in Carboniferous times. However, the new evidence from the allochthonous terranes of the Variscan belt suggest a more complex scenario for the assembly of the supercontinent, with an interaction between the colliding continental margins that started earlier and lasted longer than previously considered. Based on modern analogues of continental interaction, the development of complex collisions, as here suggested for Gondwana and Laurussia during the assembly of Pangea, could have been the norm rather than the exception throughout Earth history.

(*)- arenas@geo.ucm.es

Provenance of the Variscan Upper Allochthon (Cabo Ortegal Complex, NW Iberian Massif)

Richard Albert^{1*}, Ricardo Arenas¹, Axel Gerdes², Sonia Sánchez Martínez¹,
Javier Fernández-Suárez¹, Jose Manuel Fuenlabrada³

- 1)- Departamento de Petrología y Geoquímica and Instituto de Geociencias (UCM, CSIC),
Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid.
- 2)- Institut für Geowissenschaften, Goethe-University Frankfurt , 60438 Frankfurt
- 3)- CAI de Geocronología y Geoquímica Isotópica, Universidad Complutense de Madrid.

Abstract

This study focuses on the provenance of the uppermost unit of the Upper Allochthon of the Variscan belt, approached with combined U–Pb and Lu–Hf zircon (LA-ICPMS) and Sm–Nd whole-rock analyses. This unit is represented in the Cabo Ortegal Complex (NW Iberia) by the metasiliciclastic Cariño Gneisses which overlap ophiolitic units that represent perigondwanan oceanic domains. The data set indicates a maximum depositional age of c. 510 Ma and a c. 1.73 Ga Sm–Nd model age, typifying a late or post Pan-African (or Cadomian) and Eburnean events, which entailed abundant input of juvenile material involving broad mixing with older crustal sources. The Mesoproterozoic activity is scarce and scattered and therefore unlikely to represent a major crust generation pulse in the source area of the siliciclastic unit. The data set also records an Archean orogenic pulse in its source area followed by a long lasting crust reworking process, where the Eburnean juvenile materials intruded. These data are interpreted as indicative of a West Africa Craton provenance, where the siliciclastic series from which the Cariño Gneisses are derived were probably deposited in a back-arc type basin where detritus was mostly sourced by the continent rather than the magmatic arc.

(*)- Corresponding author: r.albert@geo.ucm.es

PETROGRAPHY AND STRUCTURAL OF UPPER VISEAN BASIC MAGMATIC ROCKS OF MACHRAA BEN ABBOU BASIN (NORTHERN REHAMNA, WESTERN MESETA, MOROCCO)

M. Kholaiq, N. Saber et G. Zahour

LGAGE, department of Geology, faculty of Sciences Ben M'Sik, Hassan II University of Casablanca, Morocco.

kholaiq.mariame@gmail.com

Abstract

The Machraa Ben Abbou Carboniferous basin is located in the variscan massif of the northern Rehamna (Morocco). An intense basic magmatic activity recorded in the basin by sills of variable thickness of gabbros, dolerites and basalts.

The structural analysis, through geological cross sections in the outcrops of the Bled El Makrech, Cheikh El Basri and Leffaid formations, indicate that the relationship between the different basic magmatic rocks and immediate surrounding rocks are always parallel to the stratification. The concordance in folding structures of these sills and sedimentary surrounding rocks observed especially at the perisynclinal termination of Lala El Gara demonstrates their syntectonic character.

Petrographical observations of these magmatic rocks indicate fairly constant mineralogical composition (plagioclase and strongly altered ferromagnesian minerals such as clinopyroxène). Observed textures are equigranular for the gabbros, intersertale ophitic and subophitic for the dolerite and microlithic porphyritic vacuolar for the basaltes. A pronounced hydrothermal alteration of some facies is attested by the presence of calcite, chlorite, and sericite.

Petrography and structural data of these basic magmatic rocks, completed by geochemical data will permit to interpret their geodynamic setting and to contribute to the reconstruction and modeling the structure of these magmatic rocks.

Keywords: Variscan massif of the Rehamna, Machraa Ben Abbou basin, Upper Visean, sills, gabbros, dolerites, basalts.

Géochimie des éléments du groupe de Platine (EPG) dans la Boutonnière de Bou Azzer, Anti-Atlas Central, Maroc

A. Hddine* H. Elhadi* M. Elghorfi**

*Université Hassan II Mohammedia- Casablanca, Faculté des sciences Ben M'Sik /Laboratoire de Géologie Appliqué Géomatique et Environnement/Maroc / Email : hddineabdel@gmail.com

*Université Hassan II Mohammedia- Casablanca, Faculté des sciences Ben M'Sik /Laboratoire de Géologie Appliqué Géomatique et Environnement/Maroc / Email : elhadihas@gmail.com

**Université de Cady Ayyad Marrakech, Faculté des Sciences et Techniques. / Laboratoire de Géosciences des Ressources Minérales, Géologie / Maroc/ Email : mustaphaelghorfi@gmail.com

RESUME

La section du manteau de l'Ophiolite Néoprotérozoïque de Bou Azzer, Anti-Atlas, Maroc, est connue pour ses différents types de Minéralisations, dont les plus importants sont la couche de cobalt de Bou Azzer et la couche de cuivre de Bleida. Les gisements de chromite podiformes des secteurs Ambed, Inguejem-Ait Ahmane liés au complexe ophiolitique de Bou Azzer et la minéralisation à or et palladium de Bleida Far-West liée à la série Volcano-sédimentaire, constituent les zones principales pour l'exploration des éléments du groupe de Platine (EPG). L'observation des échantillons des zones d'Ambed-Inguejem-Ait Ahmane au microscope optique et métallogénique, mise en évidence d'une texture massive ou disséminée des chromites podiformes ou chromospinelles. Seuls ces minéraux résistent à la serpentinisation, probablement contiennent des teneurs en EPG, d'où l'objectif de cette étude.

Les données géochimiques préliminaires des échantillons de surface des trois secteurs indiquent un enrichissement stratigraphique des roches ultrabasiques à chromite en éléments compatibles, spécifiquement en Cr_2O_3 - MgO - NiO avec un appauvrissement en éléments incompatibles particulièrement en Al_2O_3 et TiO_2 , ce qui indique probablement que le manteau a subi une forte fusion partielle.

Dans la partie Est de la boutonnière, la minéralisation aurifère de Bleida Far West située à 7 km au Nord-Ouest de l'ancienne mine de Cuivre de Bleida, est contrôlée principalement par une phase de déformation majeure, ceci est expliqué par une bréchification intense génératrice d'une minéralisation relativement riche en EPG spécifiquement en palladium (Pd). Sur le plan Géochimique, l'analyse des échantillons de surface limitée indique de faibles teneurs en Pd, Ru, Rh et Pt enregistrées au niveau des échantillons de la minéralisation quartzifère de la zone de brèche (ZB), Par contre au niveau de la zone centrale (ZC) où la minéralisation aurifère présente une zone hématisée avec de la pyrite complètement oxydée, l'analyse d'hématite aurifère présente des teneurs très élevées en Au et Pd.

Ces résultats préliminaires nous amènent à planifier une étude approfondie qui sera basée sur un nouvel échantillonnage dans des zones cibles de la boutonnière pour déterminer les différents aspects géochimiques et minéralogiques des PGM. Les analyses géochimiques et minéralogiques de ces échantillons exigent pratiquement un appareillage de type Microsonde Electronique (Electron Microprobe), ICP-MS, DRX et Microscope Electronique à Balayage (MEB).

Mots clés : Éléments du groupe de platine (EPG), Bou Azzer, Ophiolites, Anti Atlas, chromites, Minéralogie, Microsonde électronique

L'évolution volcanique du maar de Lechmine n'Aït el Haj, Province volcanique Azrou-Timahdite

Mountaj, Sara, Remmal, Toufik, El Kamel, Fouad, Makhoukhi, Samira, El Hassani El Amrani, Iz-
eddine

1 : Laboratoire des Géosciences Appliquées à l'Ingénierie d'Aménagement, Faculté des Sciences Aïn Chok, Université Hassan II Casablanca.

2 : Institut de Recherche Scientifique-Rabat

Le maar de *Lechmine n'Aït el Haj* fait partie d'un complexe volcanique quaternaire situé dans la partie nord orientale de la province volcanique du causse moyen atlasique. Il forme un cratère d'environ 800 m de diamètre sur 60 m de profondeur.

Le schéma éruptif du volcan traduit un dynamisme hydromagmatique avec à la base des dépôts de débouillage marquant le déclenchement de l'activité volcanique, surmontés par une grande pile de brèche volcanoclastiques riche en fragments de socle carbonaté soudés à des pépérites basaltiques par des cendres fines. Au sommet une succession de lits essentiellement pyroclastiques granoclassés ponctués localement de blocs ou de lapillis de basalte massif. L'ensemble forme un anneau tuf à pendage externe autour du cratère. Une ultime extrusion de basalte vient sceller cette activité magmatique annonçant le passage vers un régime effusif.

A la base des premiers dépôts volcanoclastiques s'est déposé un niveau de tufs rouges sur environ 1,5 m d'épaisseur coiffées par d'un lit cendreux grisâtre de 3 cm. Ces dépôts reflètent une origine exogène par rapport à la série phréatomagmatique, vraisemblablement en relation avec l'activité strombolienne des événements contigus.

La présence de niveaux pyroclastiques argilisés avec des figures de fentes de dessiccation au sommet de la série phréatomagmatique pourrait renvoyer à une origine superficielle de l'eau (mare, cours d'eau,...) rentrée en contact avec le magma.

The north Gondwanan margin in Iberia: P–T–t constraints from high-pressure rocks (Malpica–Tui Complex, Galicia)

López-Carmona, A.^{1,2}, Abati, J.¹, Pitra, P.², Lee, J.K.W.³, Gutiérrez-Alonso, G.⁴, Fernández-Suárez, J.¹

¹ Departamento de Petrología y Geoquímica e Instituto de Geociencias (UCM, CSIC), Universidad Complutense, 28040 Madrid, Spain; alcarmona@geo.ucm.es

² Géosciences Rennes, UMR 6118, Université Rennes 1 and CNRS, 35042 Rennes Cedex, France

³ Department of Earth and Planetary Sciences, Macquarie University, North Ryde NSW 2109, Australia

⁴ Geology Department, Salamanca University, Plaza de los Caídos s/n, 37008 Salamanca, Spain

The Malpica–Tui complex (MTC) in the NW Iberian Massif consists of rocks of Gondwanan affinity. It preserves evidence of late Devonian high-pressure (HP) metamorphism varying from eclogite (P~26 kbar and T~650 °C) to blueschist facies conditions (19–22 kbar and 460–560 °C). Thermodynamic modelling on the HP rocks reveals a P–T evolution characterised by a subisothermal decompression to ~10 kbar, 480°C in the blueschist-facies rocks and 650 °C in the eclogites, followed by cooling to ~5 kbar at 380°C and 500 °C, respectively. New ⁴⁰Ar/³⁹Ar data indicate a minimum age of ~ 370 Ma for the subduction-related HP metamorphism. Subsequent decompression to pressures of about 10 kbar started at ~ 360 Ma and was contemporaneous with thrust-and-fold nappe tectonics and intrusion of early Variscan granodiorites dated at ~ 350–340 Ma. Final, “post-nappe”, exhumation is interpreted to have taken place from ~ 340–335 Ma to 320±5 Ma, which is the age of the syntectonic leucogranites emplaced in the autochthon of the MTC.

Peak P–T conditions correspond to an approximate depth of 70–80 km and a geothermal gradient of 6–7°C km⁻¹, attributable to a cold subduction zone. Age differences between the HP event and the beginning of the post-nappe tectonics indicate that the exhumation of the MTC lasted ~ 15–20 Ma. A nearly isothermal decompression from ~ 26 to 10 kbar provides a vertical component exhumation rate of ~ 2–2.5 mm/year from ~ 80 to 30 km depth. The last stages of exhumation from 8 to 5 kbar occurred within a period of ~ 10–15 Ma (from 340–335 to ~ 320 Ma) and from ~ 480–380°C, indicating a cooling rate of 7°C Ma⁻¹ (or a geothermal gradient of 10°C km⁻¹). These rates suggest that exhumation took place in two stages: (1) a fast, almost isothermal one, followed by a (2) slower episode with substantial cooling once the rocks reached the upper crust.

MINÉRALISATION CUPRIFÈRE DU SECTEUR D'AMBED/ BOU AZZER CENTRAL/ ANTI ATLAS MAROC

G. BALAMBULA¹, A. ENNACIRI², F. HAISSSEN¹, Z. BAROUDI¹

¹ Université Hassan II, Faculté des sciences Ben M'sik Casablanca / Département de géologie

² ONA Managem / Maroc

La boutonnière de Bou Azzer-El Graara fait partie du domaine de l'Anti-Atlas central, elle renferme l'une des ophiolites les plus anciennes au monde, auxquelles sont associées des minéralisations polymétalliques très complexes (Co, Ni, Cr, Ag, Au, ...) à teneurs exploitables.

La serpentinite noire, roche encaissante de la minéralisation, tire cette caractéristique (couleur) du fait de sa richesse en minerais (chromite, pyrite, oxyde de fer ...). Elle est très fracturée et parcourue par un réseau dense de veines et veinules contenant de la minéralisation.

L'étude de terrain combinée aux observations métallographiques ont permis l'identification de quatre phases minéralisatrices anté à syntectonique, à savoir :

Phase fissurale à pyrite,

Phase fissurale cuprifère,

Phase à chromite,

Phase cuprifère disséminée.

L'absence de relations géométriques ne nous a pas permis d'établir un ordre chronologique entre ces phases.

La minéralisation cuprifère en veines et veinules, a précipitée dans un environnement chaud comme l'indique l'association chalcopryrite – bornite. Cette phase est probablement post tectonique, mise en place avant la déformation panafricaine (B1), puisque l'hercynien et l'alpin se limitent à de simples rejeu des failles.

La chalcopryrite disséminée dans les serpentinites peut provenir de la recristallisation de la chalcopryrite fissurale suite à d'importants phénomènes de boudinage. La source de cette minéralisation cuprifère disséminée non déformée reste ambiguë. Serait-elle liée au boudinage et à la recristallisation des minéraux cuprifères? Ou à leurs recristallisations post-déformation?

Pour expliquer ce dernier cas, il faut supposer une intrusion plutonique qui aurait permis la circulation des fluides ainsi la recristallisation des minéraux cuprifères susceptibles de provoquer un tel phénomène.

Les minéralisations ci-dessus ont subi une altération supergène dont le degré diffère d'une phase à une autre.

Dans le but de poursuivre l'évaluation du potentiel voir l'exploitation du cuivre dans la série d'Ambed, certaines études approfondies (analyses à la microsonde, analyse isotopique, ...) seront indispensables tout en suivant la ligne de conduite établie par nos résultats à savoir les fractures présentes dans les serpentinites noires (veines et veinules) et une éventuelle intrusion plutonique source de la recristallisation des grandes plage des minéraux cuprifère non déformés.

Mots clés : Bou Azzer , Anti Atlas, Serpentinites, Cuivre

Metamorphic evolution of the Cerro del Almirez ultramafic rocks (Betic Cordillera, South Spain): a proxy to dehydration processes taking place during subduction

López Sánchez-Vizcaíno, V. (1), Padrón-Navarta, J.A. (2), Gómez-Pugnaire, M.T. (3, 4), Garrido-Marín, C.J. (4), Marchesi, C. (2, 4), Jabaloy, A. (5)

(1) Departamento de Geología, Universidad de Jaén, Linares (Jaén), Spain, (2) Géosciences Montpellier, UMR 5243, CNRS-Université Montpellier II, Montpellier, France, (3) Departamento de Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada, Granada, Spain, (4) Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, CSIC-Universidad de Granada, Armilla (Granada), Spain, (5) Departamento de Geodinámica, Universidad de Granada, Granada, Spain

Serpentinites are the main carriers of water in subduction zones. The dehydration reaction of antigorite (releasing up to ~ 9 wt % H₂O) affects the composition and rheology of the plates, induces intermediate-depth earthquakes in the slab and plays a fundamental role in the production of arc lavas and in the transference of elements between different domains. The Cerro del Almirez ultramafic massif is the only known locality where the arrested dehydration front due to antigorite breakdown at high pressure conditions has been preserved (Padrón-Navarta et al., 2010). Since the work by Trommsdorff et al. (1998) these outcrops have revealed as a unique setting to investigate the prograde metamorphic evolution from antigorite serpentinite to chlorite harzburgite and its various implications. Atg-serpentinite preserves both prograde mineral assemblages and subduction-related structures. Prior to breakdown, antigorite is Al-rich and exceptionally ordered from a microstructural point of view. Transitional lithologies occur as well preserved layers in between Atg-serpentinite and Chl-harzburgite all along the devolatilization front. The gradual disappearance of antigorite leads to the final prograde assemblage in Chl-harzburgite with two contrasting textures: granofelsic (with coarse, round olivine) and spinifex-like (dendritic-like, cm-sized olivine and orthopyroxene) that occur as interspersed, m-sized boudins. We ascribe these textures to shifts of the growth rate ultimately controlled by variations of the excess fluid pressure and the hydrodynamics of fluid expulsion. Fluids channelling is evidenced by the occurrence of grain-size reduction zones, a few mm to meters wide, with roughly planar conjugate structures. We interpret them as brittle structures generated by hydrofracturing by overpressure fluids in a compressional setting in an otherwise almost impermeable peridotite. This might be an essential mechanism in the first stages of fluid flow through the coldest parts of top-slab mantle in subduction zones. The main geochemical effects of dehydration are, on the one hand, the loss of LREE–MREE, water, and sulfur, which can contribute to ¹⁸O, D, and ³⁴S enrichments and oxidation of the sub-arc mantle wedge. On the other hand, Chl-harzburgite is enriched in Ti and the most compatible HREEs (Tm, Yb and Lu) as well as in Th, U, Nb, Ta, Pb, Sr due to fluid circulation in an open system, and thus contributing to their recycling in deep regions of the mantle.

Trommsdorff V., López Sánchez-Vizcaíno V., Gómez-Pugnaire M.T. & Müntener O. 1998. High pressure breakdown of antigorite to spinifex-textured olivine and orthopyroxene, SE Spain. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 132, 292-302.

Padrón-Navarta J.A., Tommasi A., Garrido C.J., López Sánchez-Vizcaíno V., Gómez-Pugnaire M.T., Jabaloy A., Vauchez A. 2010. Fluid transfer into the wedge controlled by high-pressure hydrofracturing in the cold top-slab mantle. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 297, 271-286.

CONTROLE DU DRAINAGE MINIER ACIDE A L'AIDE D'UN AMENDEMENT A BASE DE POUSSIERES DE FOUR DE CIMENTERIE ET DE CENDRES VOLANTES : APPLICATION A LA MINE DE KETTARA. (MAROC)

Youssef ZERHOUNI, Saida ALIKOUSS, Samiha NFISSI et Mohamed SAMIR

Laboratoire de Géologie Appliquée, Géomatique et Environnement (L2GAE)
Département de Géologie, Faculté des Sciences Ben M'Sik, Casablanca

Résumé. Le phénomène du drainage minier acide (DMA) constitue un des problèmes majeurs de l'industrie minière mondiale. Il se produit naturellement lorsque les résidus miniers sulfureux s'oxydent et génèrent un lixiviat acide pouvant contenir une forte concentration de métaux lourds et autres éléments toxiques.

La mine abandonnée de Kettara a produit environ 3 Mt de résidus miniers et de stériles riches en sulfures, dispersés sur une superficie d'environ 16 hectares. La caractérisation physico-chimique de ces résidus miniers a révélé leur forte capacité de produire du DMA avec des pH variant entre 2,9 et 1,5.

Dans le but de contrôler le drainage minier acide dans ce site, des essais de neutralisation du DMA en utilisant des sous produits industriels ont été conduits au laboratoire à l'aide de colonnes de lixiviation.

Ces amendements alcalins, constitués par des cendres volantes de la centrale thermique de Jorf Lasfar (El Jadida) (Fly Ash : FA) et des poussières de four de cimenterie (Cement Kiln Dust : CKD) de Bouskoura (Casablanca), ont permis l'augmentation du pH du lixiviat jusqu'à des valeurs de l'ordre de 6,5 et 7,1 et par ailleurs la diminution de la concentration des métaux nocifs susceptibles de contaminer les ressources hydriques de la région.

Ce protocole expérimental a fourni des résultats prometteurs quant à l'efficacité de ces amendements alcalins dans la stabilisation in situ des rejets miniers et l'atténuation du phénomène du DMA dans le site de Kettara.

Mots clés : Drainage minier acide - Amendement alcalin - CKD - FA - environnement- Kettara - Maroc.

Abstract. Acid mine drainage (AMD) constitutes a major problem facing the mining industry worldwide. It occurs naturally when sulfide tailings oxidize and generate an acidic leachate often containing high concentrations of heavy metals and other toxic elements.

The abandoned mine of Kettara produced over the past about 3 Mt of mining waste and tailings that are rich in sulfides, dispersed on an area of about 16 hectares (Hakkou and al, 2005). The physicochemical characterization of these tailings confirmed their strong potential to produce acidic leachates with a pH varying between 2.9 and 1.5.

In order to control acid mine drainage in this site, DMA neutralization tests using industrial by-products were undertaken in the laboratory using leaching columns.

The amendments consisted of alkaline fly ash from the thermal power plant of Jorf Lasfar (El Jadida) (Fly Ash: FA) and cement kiln dust (Cement Kiln Dust: CKD) of Bouskoura (Casablanca). Their use allowed to increase pHs to values of about 6.5 and 7.1, and led to a decrease of the leached toxic metals that are likely contaminating the water resources in the region.

This experimental protocol provided promising results regarding the effectiveness of these alkali amendments in the stabilization of mine wastes and the mitigation of the DMA phenomenon in the mine-site of Kettara.

Keywords: Acid mine drainage - Alkali amendments - CKD - FA - Environment - Kettara - Morocco.

Calcic amphibole thermobarometry in metamorphic and igneous rocks: new calibrations using high-breakdown point and efficient MM-estimators

J.F. Molina¹, J.A. Moreno^{1,2}, A. Castro³, C. Rodríguez³, G.B. Fershtater⁴

1: Departamento de Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada, Campus de Fuentenueva 18002 Granada, Spain

2: Department of Geology and Natural Resources, Institute of Geosciences, University of Campinas - UNICAMP, 13083-970 Campinas, SP, Brazil

3: UA Petrología Experimental, CSIC-Universidad de Huelva, Facultad de Ciencias Experimentales, 21071 Huelva, Spain

4: IGG Russian Academy of Science, Ekaterinburg, Russia,

Abstract

Dependencies of plagioclase/amphibole Al-Si partitioning, $D_{Al/Si}^{plg/amp}$, and amphibole/liquid Mg partitioning, $D_{Mg}^{amp/liq}$, on temperature, pressure and phase compositions are investigated employing robust-to-outlier regression methods based on high-breakdown point and efficient MM-estimators. A database with 92 plagioclase-amphibole pairs —temperature range: 650-1050 °C; amphibole compositional limits: $Ti_{230}^{amp} > 0.02$ and $AlVI_{230}^{amp} > 0.05$ — and 148 amphibole-glass pairs —temperature range: 800-1100 °C; amphibole compositional limits: $CaM4_{230}^{amp} / (CaM4_{230}^{amp} + NaM4_{230}^{amp}) > 0.75$ — compiled from experiments in the literature was used for the calculations (amphibole normalization scheme: 13-CNK method).

A significant dependence of $D_{Al/Si}^{plg/amp}$ values on pressure, temperature, Al fraction in T1-site, X_{Al}^{T1} , and albite fraction in plagioclase, X_{Ab} , was detected, being a barometer derived as (Eqn. B1):

$$P(kbar) = \left(8.3144 \ T(K) \ln D_{Al/Si}^{plg/amp} - 8.7 \ T(K) + 23376 \ X_{Al}^{T1} + 7578 \ X_{Ab} - 11302 \right) / (-274)$$

(precision: ± 1.5 to ± 2.3 kbar; expressed at 1s level).

For $D_{Mg}^{amp/liq}$ values, it was found a significant dependence on temperature and

$X_{Ca}^{liq} / (X_{Ca}^{liq} + X_{Al}^{liq})$ ratio (glass composition expressed as anhydrous mole fraction of cation components) that led to the pressure-independent thermometer (Eqn. T1):

$$T(^{\circ}C) = \frac{71975 - 11896 \ln [X_{Ca}^{liq} / (X_{Ca}^{liq} + X_{Al}^{liq})]}{8.3144 \ln D_{Mg}^{amp/liq} + 58} - 273$$

(precision: ± 35 to ± 45 °C).

The calibrated barometer is suitable for a large diversity of amphibole-plagioclase-bearing assemblages from metamorphic (amphibolites and mafic granulites) and igneous

(metaluminous granitoids to gabbros) rocks, whereas the amphibole-liquid thermometer is applicable to alkaline and subalkaline systems.

The calibrated expressions yield P-T estimates consistent with those obtained with widely used barometers and thermometers, being possible to extend the use of the amphibole-plagioclase barometer to quartz-free and/or garnet-free assemblages.

SYNTHESE DES DATATIONS THERMOCHRONOLOGIQUES DE L'ANTI-ATLAS, MAROC

Mostafa OUKASSOU ^{a, b}, Omar SADDIQI ^b, Jocelyn BARBARAND ^c, André
MICHARD ^d

^a Laboratoire « DBSCG », Faculté des sciences Ben M'sik, Université Hassan II de Casablanca,
BP7955 Sidi Othman, Casablanca, Maroc.

^b Laboratoire « Géosciences », Faculté des sciences Ain Chock, Université Hassan II de Casablanca,
BP 5366, Maârif, Casablanca, Maroc.

^c Université Paris-Sud, UMR CNRS-UPS 8148 IDES, Bâtiment 504, 91405 Orsay cedex, France.

^d 10, rue des Jeûneurs, 75002 Paris, France.

La marge nord du continent africain constitue une zone mobile qui a été le témoin de nombreux épisodes géodynamiques : orogénèse panafricaine, hercynienne et alpine. Ces phénomènes orogéniques, déterminés par des mouvements essentiellement horizontaux des plaques, sont suivis de mouvements verticaux dont la restitution est souvent problématique.

L'application de la thermochronologie basse température (traces de fission sur apatite et zircon (TF) et (U-Th)/He permet d'étudier ces mouvements verticaux et la caractérisation des processus à leurs origine.

Le relief de l'Afrique du Nord montre une importante variation Est-Ouest. Les sommets les plus élevés se situent dans les Atlas marocains tandis que leur altitude diminue vers l'Algérie et la Tunisie, bien que l'Histoire de leur formation soit pourtant similaire. Une autre différence importante entre l'Est et l'Ouest de l'Afrique du Nord, différence qui nous concerne particulièrement dans cette conférence, est la présence d'une chaîne surélevée, l'Anti-Atlas.

Les études thermochronologiques par AFT et ZFT se sont multipliées au Maroc au cours des dernières années, principalement dans le domaine atlasique (Meseta incluse). Des datations par traces de fission sur apatite ont été récemment réalisées sur le socle hercynien de la Meseta (Saddiqi et al., 2009; Ghorbal et al., 2009 ; El Haimier, 2014). Elles ont permis de mettre en évidence des mouvements verticaux complexes, faisant alterner subsidence et surrection depuis le Trias. De même, des données traces de fission sur apatite ont été obtenues sur les roches intrusives du Haut Atlas central (Barbero et al., 2007) et sur le bloc ancien du Haut-Atlas de Marrakech (Missenard et al., 2008; Balestieri et al., 2009). Les résultats indiquent que l'exhumation du bloc ancien a eu lieu pendant le Néogène tandis que dans le segment plus à l'Est, une exhumation vers 50 Ma est mise en évidence.

De nombreux travaux de thermochronologie par traces de fission et U-Th/He ont été également menés dans l'Anti Atlas ainsi que dans le socle archéen du Sahara marocain (Sebti et al, 2009; Ruiz et al, 2011; Oukassou et al, 2013; Leprêtre et al; 2014, Shert, 2014). Ces travaux montrent que ces domaines ont connu des mouvements verticaux mésozoïques et cénozoïques importants.

Les phases d'exhumation méso-cénozoïques de l'Anti-Atlas sont liées à la réactivation des structures varisques (rifting de l'Atlantique central et de la Téthys alpine, orogénèse alpine). La plus récente est en relation avec une anomalie mantélique régionale à la bordure nord du craton Ouest-Africain, connue pour être responsable d'une partie du soulèvement des Atlas marocains. L'histoire thermique post-varisque confirme qu'une couverture sédimentaire épaisse (~1.2 km) d'âge Crétacé-Paléogène a existé dans ce domaine, dont l'essentiel a été érodé au cours du Néogène.

Mots clés : Thermochronologie, traces de fission, apatite, Zircon, exhumation, Anti Atlas.

Extraction of structural lineaments from satellite images Landsat-7 ETM + and Digital Terrain Model in the Paleozoic Massif of Tichka (Western High Atlas, Morocco)

Hicham SI MHAMDI* Mohamed RAJI* Soufian MAIMOUNI**

* Hassan II University of Casablanca, Faculty of Science Ben M'Sik, Department of Geology, Laboratory of Sedimentary Basins Dynamics and Geological Correlation, Casablanca, Morocco, Email: Hicham.simhamdi@gmail.com

** Hassan II University of Casablanca, Faculty of Science Ben M'Sik, Department of Geology, Laboratory of Applied Geology , Geomatic and Environment, Casablanca, Morocco

Abstract

Lineament (fractures) analysis constitutes an interesting approach in the geological mapping and mineral exploration. This study concerns the southern part of the Western High Atlas of Morocco. Several treatments have been applied to the ortho rectified Landsat ETM+ images, namely the analysis of color compositions and principal component analysis. Lineament extraction is based on photo-interpretation of directional filters applied to ACP1, ACP2 and colored compositions (457 and 357). Other linear structures have been extracted from the photo-interpretation of the hillshad applied to the Digital Terrain Model. The various treatments permits to establish a fractures map that shows at less four preferential directions North-South, N-S, E-W and NE-SW directions with a dominance of the last one. 46% of fractures have an average length of 1km to 2km.

Keywords: *fractures, tectonic, Landsat, Digital Terrain Model, Photo-interpretation, Paleozoic, Tichka, Western High Atlas, Morocco.*

PETROGRAPHIE ET GEOCHIMIE DES AFFLEUREMENTS TARDI-PANAFRICAINS DU DOMAINE VARISQUE MAROCAIN

H. EL HAIBI ¹, H. EL HADI ¹, A. TAHIRI ²

1-Université Hassan II de Casablanca/ Laboratoire de Géologie Appliquée, Géomatique et Environnement/ Faculté des Sciences Ben M'Sik/ Casablanca – Maroc/

1-Elhaibi.hind@gmail.com / elhadihas@gmail.com

2- Université Mohamed V-Agdal / Laboratoire de Géologie et de télédétection /Institut scientifique/ Rabat - Maroc/

abdelfatahtahiri@yahoo.fr

Les terrains précambriens au Maroc sont connus généralement dans le domaine anti- atlasique ainsi qu'au niveau d'une partie du Haut Atlas (Massif de Toubkal).

Des noyaux magmatiques tardi-panafricains sont rencontrés ponctuellement au niveau du domaine varisque marocain et sont localisés au cœur de certains anticlinaux à El-Jadida, à JBEL HADID au Maroc central ainsi que dans SW de la région de Tiflet. Dans ce travail, ces pointements magmatiques font objet de caractérisations pétrographiques, géochimiques et géochronologiques. Il est question de comparer ces études aux résultats obtenus sur les roches de même âge dans le domaine anti-atlasique, pour élaborer un modèle géodynamique global.

Tracing magma sources of three different peraluminous granitoid series by in situ U–Pb geochronology and Hf-isotope zircon composition

Merino Martínez, E.^{a,*}, Villaseca, C.^{a,b}, Orejana, D.^a, Pérez-Soba, C.^a, Belousova, E.^c, Andersen, T.^d

^a Dpto. de Petrología y Geoquímica, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, Spain. * enriqmer@ucm.es

^b Instituto de Geociencias IGEO (UCM, CSIC), 28040 Madrid, Spain

^c Australian Research Council Centre of Excellence for Core to Crust Fluid Systems/GEMOC, Department of Earth and Planetary Sciences, Macquarie University, NSW, 2109, Australia.

^d Department of Geosciences, University of Oslo, P.O. Box 1047 Blindern, N-0316 Oslo, Norway.

Abstract

Three distinct S-type peraluminous granitoid types have been identified within a Variscan batholith located in the Central Iberian Zone (SW European Variscides), the Montes de Toledo batholith: type-1, extremely high peraluminous restite-rich granitoids; type-2, highly peraluminous restite-bearing granitoids; and type-3, moderately peraluminous granitoids with mafic microgranular enclaves. Each peraluminous series followed distinct evolution paths through progressive crystal fractionation. U–Pb geochronology reveals that the batholith formation extended for about 19 Ma between 316 and 297 Ma. Although the degree of peraluminosity of the different series could be related to different partial melting conditions or to the variable entrainment of restitic components, whole-rock geochemical signatures and isotope zircon composition of the peraluminous granitoid types suggest contribution of different crustal sources. Type-1 and type-2 granitoids contain mostly Archean to Neoproterozoic inherited zircons, whereas type-3 granites show preferentially Neoproterozoic (up to late Cryogenian) and Ordovician inheritance. The wide range of initial Hf isotope composition, ranging to highly radiogenic values (ϵHf up to +10), of Neoproterozoic zircon inheritances in type-1 and type-2 granitoids suggests derivation from heterogeneous Neoproterozoic metasedimentary sources composed of both juvenile and recycled crustal materials, similar in composition to the host Schist-Greywacke Complex metasediments. Nevertheless, the highly negative initial Nd isotopic signature measured in some type-1 granitoids (ϵNd_{300} up to –9.4) also suggests a contribution of more mature metasedimentary sequences, such as those described in the northern Central Iberian Zone. On the contrary, the high Ca, Na and Sr bulk-rock contents in type-3 granitoids, together with the presence of Ordovician magmatic inherited zircons, and the absence of inheritances older than Cryogenian ages, suggest the involvement of a metaigneous protolith. This conclusion is also supported by the similar mean whole-rock ϵNd_{300} isotopic values, T_{DM} ages and ϵHf isotope zircon composition of type-3 granitoids when compared to data from outcropping augen orthogneisses from Central Spain. These results not only indicate that the implication of metasedimentary and/or metaigneous sources contributes to enhance geochemical and isotopic differences in S-type peraluminous granitoid series in intracontinental orogenic settings, but also fractional crystallisation processes are responsible of the geochemical variability through the evolution of these felsic magmas.

Keywords: U–Pb geochronology, Hf isotope zircon composition, peraluminous granites, Montes de Toledo batholith, Iberian Variscan Belt S-type granitoid magma sources

The Cambro-Ordovician Paleogeographic Position Of The Ossa-Morena Zone: tectonomagmatic and geochronological evidence

Cambeses, A.*, Scarrow, J.H., Montero, P., Lazaro, C. and Bea, F.

Department of Mineralogy and Petrology, Faculty of Sciences, University of Granada, Campus Fuentenueva, 18002 Granada, Spain; * aitorc@ugr.es

The paleoposition of the Iberian massif zones prior to amalgamation continues to be a subject of considerable debate. Bea et al. (2010) proposed a new Cambro-Ordovician position for the Central Iberian Zone (CIZ), north of the Sahara Metacraton. The Cantabrian Zone (CZ) and Galicia-Tra-Os-Montes Zone (GTMZ) basal units were apparently also in a similar position at that time (Díez-Fernández et al., 2010; Fernández-Suárez et al., 2014). Here we consider the position of the Ossa-Morena Zone (OMZ) in relation to the birth of the Rheic Ocean and subsequent amalgamation of Iberia.

The OMZ preserves evidence of a complex tectono-magmatic evolution, including late Neoproterozoic Cadomian orogenesis (650-550 Ma), Cambro-Ordovician rifting (540-450 Ma), and Variscan orogenesis (390-305 Ma). These episodes are recorded in OMZ magmatic events.

The period from 540 to 520 Ma marked a transition from collision, as recorded in the Cadomian continental magmatic arc, to rifting. The main Early Cambrian magmatism (530-525 Ma) comprises peraluminous to metaluminous granites produced during initiation of extension. This is evidenced by abundant A₂-type magmatism. Coincident with this was the generation of crust-contaminated, E-MORB-like basic magmas. In the main OMZ rift stage (520-500 Ma) mafic magmatism progressed from E-MORB (517-512 Ma) to OIB, and alkaline to tholeiitic (512-505 Ma). Associated, coeval, felsic S-type and A-type magmatism was also prevalent. Further spreading at 490-470 Ma, resulted in generation of N- and T-MORB mafic rocks. In the late Cambrian–early Ordovician basalts, coincidence of Nd model and crystallization ages indicates new crust formation related to asthenospheric upwelling and proto-ocean basin development. Coeval felsic magmatism was peraluminous and alkaline.

Neoproterozoic to Cambrian OMZ sedimentary rocks, e.g. Serie Negra, have a Nd model age of c. 1.7 Ga, as does the OMZ Cambro-Ordovician crust-derived magmatism. This is older than the c. 1.5 Ga model age of CIZ Neoproterozoic metasedimentary rocks and Ordovician orthogneisses. Along the northern Gondwana margin the most westerly Anti-Atlas, West African craton, has a Nd model age of around c. 1.0 Ga; the easterly Sahara metacraton c. 1.5 Ga and the central Tuareg Shield c. 1.7 Ga.

The OMZ detrital zircons have Ediacaran, Cryogenian, Paleoproterozoic and Archean ages but show a Mesoproterozoic gap with an absence of a c. 1.0 Ga cluster. The CIZ detrital zircon ages have a similar distribution to the OMZ but also include a c. 1.0 Ga cluster and so correlate well with the Sahara metacraton (Bea et al., 2010). The OMZ detrital zircons also

have late Cryogenian-Tonian and Archean populations that are more scarce in the Anti-Atlas, West African Craton than in the Tuareg Shield. Furthermore, Paleoproterozoic ages of 1.9-1.5 Ga are typical in the OMZ Cambrian sedimentary rocks, this age distribution matches the Tuareg Shield rather than the Anti-Atlas, West African Craton.

In terms of Nd model and detrital zircon ages, the OMZ shows greatest affinity with the Tuareg Shield north Gondwana terrane. Our new Tuareg Shield-associated paleogeographic position for the OMZ fits well with other published work in which the Iberian Massif zones were located along the north Gondwana passive margin fringe but further east (present-day coordinates) than previously thought.

The magmatism pattern and the new Cambro-Ordovician paleogeographic position of the OMZ is temporally and compositionally consistent with a west-east rifting propagation, such as such as the Ethiopia Rift-Red Sea margin (Pearce, 2008). In both contexts there is a progression from E-MORB tholeiitic to OIB-like alkaline and finally N-MORB with a declining crustal input over a period of some 30 Ma. The Cambro-Ordovician magmatic expression is weaker in the more easterly CIZ (Bea et al., 2007) and in parautochthonous units from GTOMZ (Montero et al., 2009; Díez-Fernández et al., 2012) than in the OMZ. This is consistent with an eastward-propagating rift which was, we suggest, a 'Gondwana-ward' Rheic Ocean branch, that was apparently preserved in the Badajoz–Cordoba sinistral transpressive shear zone during the Ordovician–Devonian juxtaposition of the OMZ and the CIZ.

References

- Bea, F., Montero, P., González-Lodeiro, F., Talavera, C., 2007. Zircon Inheritance Reveals Exceptionally Fast Crustal Magma Generation Processes in Central Iberia during the Cambro-Ordovician. *Journal of Petrology* 12, 2327-2339.
- Bea, F., Montero, P., Talavera, C., Abu Anbar, M., Scarrow, J.H., Molina, J.F., Moreno, J.A., 2010. The palaeogeographic position of Central Iberia in Gondwana during the Ordovician: evidence from zircon chronology and Nd isotopes. *Terra Nova* 22, 341-346.
- Díez-Fernández, R., Castiñeiras, P., Barreiro-Gómez, J., 2012. Age constraints on Lower Paleozoic convection system: Magmatic events in the NW Iberian Gondwana margin. *Gondwana Research* 21, 1066-1079.
- Díez-Fernández, R., Martínez-Catalán, J.R., Gerdes, A., Abati, J., Arenas, R., Fernández-Suárez, J., 2010. U–Pb ages of detrital zircons from the Basal allochthonous units of NW Iberia: Provenance and paleoposition on the northern margin of Gondwana during the Neoproterozoic and Paleozoic. *Gondwana Research* 18, 385-399.
- Fernández-Suárez, J., Gutiérrez-Alonso, G., Pastor-Galán, D., Hofmann, M., Murphy, J.B., Linnemann, U., 2014. The Ediacaran–Early Cambrian detrital zircon record of NW Iberia: possible sources and paleogeographic constraints. *International Journal of Earth Sciences* 103, 1335-1357.
- Montero, P., Bea, F., Corretgé, L.G., Floor, P., Whitehouse, M.J., 2009. U–Pb ion microprobe dating and Sr and Nd isotope geology of the Galiñeiro Igneous Complex A model for the peraluminous/peralkaline duality of the Cambro-Ordovician magmatism of Iberia. *Lithos* 107, 227-238.
- Pearce, J.A., 2008. Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Lithos* 100, 14-48.

Le comportement de cobalt, nickel, chrome et sulfure durant le processus de la serpentinisation (la boutonnière de Bou Azzer, Anti Atlas central)

BHILISSE Mohamed

Université Cadi Ayyad, Faculté des sciences semlalia, Département de Géologie, laboratoire dynamique de la lithosphère et genèse des ressources minérales et Énergétiques, Marrakech, Maroc (mohamed.bhilisse@edu.uca.ma)

Résumé :

Plusieurs types de minéralisations sont associés à l'ophiolite de Bou Azzer et correspondant essentiellement à (i) des minéralisations disséminées de nickel dans les termes de la zone de transition de la série ophiolitique (ii) des gisements de chromite podiformes et les PGE associés (iii) des minéralisations à or et palladium de Bleida Far-West encaissées par des roches basiques des cumulats (vi) les minéralisations filoniennes hydrothermales de cobalt, nickel, arsenic et or de Bou Azer. La genèse de ces minéralisations est le résultat de plusieurs processus hydrothermaux et tectono-magmatiques superposés. Dans le massif d'Ambed où la serpentinisation des roches ultrabasiques n'est que partielle, une paragenèse primaire d'origine magmatique à pentlandite, chromospinelle et magnétite cobaltifère et nickélifère a été mise en évidence et serait probablement associée aux sulfures de Fe. En revanche, dans les massifs d'Aghbar et de Bou Azer Est où la serpentinisation est totale, l'assemblage minéralogique identifié est composé essentiellement de minéraux secondaires de polydymite cobaltifère, millerite cobaltifère, orcelite et magnétite cobaltifère et nickélifère. Ces phases pourraient provenir du remplacement, lors de la serpentinisation, d'une paragenèse minérale primaire formée, en plus de l'olivine, d'agrégats de pentlandite+pyrrhotite. Pour ce qui est de la chromite, les relations texturales relevées au microscope électronique à balayage entre les minéraux serpentineux et les cristaux de chromites stipulent une serpentinisation précoce synchrone de la mise en place des pods de chromite. En ce qui concerne les minéralisations filoniennes hydrothermales de cobalt, la serpentinisation a joué un rôle primordial pour leur genèse. La serpentinisation a modifiée les propriétés de plasticité des serpentines et a favorisé le phénomène de doming, panafricains et tardipanafricains, et dont le rôle est majeur dans la genèse et la structuration des corps minéralisés de Bou Azzer. Sur un plan chimique, la serpentinisation a conditionné la mobilité et le lessivage du nickel et du cobalt contenus dans les minéraux ultramafiques primaires en les reconcentrant dans les arséniures, sulfures et oxydes de fer.

Mots-Clés: Minéralisation, Roches basiques, Hydrothermal, Pentlandite, Polydymite cobaltifère, Millerite cobaltifère

LE VOLCANISME DOMMEEN DU NEOPROTEROZOIQUE TERMINAL DE LA BOUTONNIERE D'AÏT SAWN (ANTI-ATLAS ORIENTAL, MAROC).

R. ZAHOUR*, G. ZAHOUR* et H. EL HADI*

* Université Hassan II Mohamedia, Laboratoire de Géologie Appliquée, Géomatique et Environnement, Faculté des Sciences Ben Msik, BP 7955, Casablanca, Maroc : zahour_rachid@yahoo.fr

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 à cette région. Le second épisode est matérialisé par des coulées andésitiques qui font suite à une période de sédimentation détritique 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 acides. 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 de dôme-coulée ignimbritiques, tandis que les seconds s'expriment sous forme d'un volcan fissural donnant des coulées basiques et andésitiques ainsi que de 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 fini-protérozoïque.

Mots-clés : Anti-Atlas oriental, Ait Sawn, Néoprotérozoïque terminal, Dômes volcaniques, Failles volcanotectoniques.

Métallogénie du district minier de Tighza

(Massif hercynien central, Maroc central)

Samira Makhoukhi* et Toufik Remmal

Laboratoire GAIA, Faculté des Sciences Ain Chock
Université Hassan II de Casablanca
makhoukhisamira@gmail.com

Le district minier de Tighza est un district polymétallique complexe, célèbre par la grande diversité de ses minéralisations. Il appartient au Massif Central marocain et fait partie de l'anticlinorium de Kasbat-Tadla-Azrou, essentiellement constitué par des terrains sédimentaires paléozoïques d'âge ordovicien à carbonifère. Ces terrains ont été déformés par les différentes phases de l'orogénèse hercynienne ayant structuré toute la région du Maroc Central en un ensemble d'anticlinoriums et de synclinoriums, avec développement de grandes zones de cisaillements et accompagnés par la mise en place d'un magmatisme à dominance granitique.

On y trouve trois styles de minéralisations:

- Minéralisation dans le granite: veines et stockwerk à tungstène; aplite (à Au, Bi, W) ; veine à Mo.
- Minéralisation proximale: filon aurifère (Au-As); skam du contact à W-Au, et skam distal, disséminations dans les roches encaissantes.
- Minéralisation distale: - Les grands filons à Ag-Pb-Zn.
- Des filons à antimoine.

Cependant, la diversité des minéralisations rencontrées sur une faible surface amène à se poser la question sur leur interdépendance, et l'existence de phénomène d'héritage métallique, de télescopage ou de superposition de phases. Plusieurs écoles et interprétations depuis les années 50 du siècle dernier. Les travaux récents de Tarrieu (2014) orientent plutôt la mise en place des filons Pb-Zn-Ag vers un système épithermal, en liaison avec un magmatisme subvolcanique.

LES MINERALISATIONS AURIFERES DU TERRANE D'ISKEL (HOGGAR OCCIDENTAL. SUD ALGERIE)

*CHAOUCHE. I, **TALBI. M, *KESRAOUI. M & ***FUCHS. Y

* univ. Abou Bekr Belkaid Tlemcen.FSNVSTU, Algérie.

**Laboratoire de Métallogénie et Magmatisme de l'Algérie, USTHB. Algérie.

*** Laboratoire Géomatériaux et Environnement, Université Paris-Est Marne la Vallée, France.

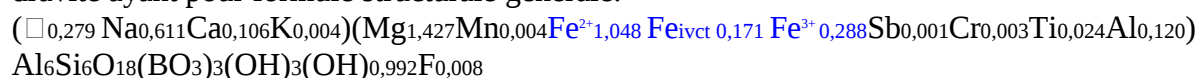
Résumé: Les minéralisations aurifères du terrane d'Iskel, sont portées par des filons de quartz à tourmaline. Cette dernière est étudiée en vue de déterminer les conditions de dépôts de l'or, de caractériser les fluides minéralisateurs et de cartographier le champ hydrothermal.

Les indices aurifères d'Assouf Mellene, Seldrar et Idereksi, sont situés à l'extrémité nord du terrane d'Iskel (Hoggar occidental). Ils présentent un lien spatial avec les intrusions de granites subcirculaires dit «Taourirt», où ils occupent leur bordure orientale. Ces granites sont localisés le long de la limite occidentale du terrane qui coïncide avec le cisaillement majeur des 4°30'. Les formations les plus dominantes dans la province aurifère, sont la série volcano-sédimentaire d'âge Néoprotérozoïque (Ph I et Ph II) et les trois grands complexes magmatique d'âge panafricain : Afedafeda, Immezarene ainsi que les granites Taourirt.

Les résultats de l'étude aéromagnétique a montré que les complexes magmatiques présentent une faible anomalie magnétique par rapport aux autres formations auxquelles sont liés les filons de quartz aurifères. Le champ radiométrique du canal thorium est focalisé sur les granites Taourirt, alors que celui du canal potassium est essentiellement sur les deux complexes syn à tardi tectoniques.

Les filons ont une orientation assez homogène selon trois directions principales (N-S, NE-SW et NW-SE). Ils se localisent dans la zone d'intersection du cisaillement 4°30' avec les failles N-E. Les filons sont lenticulaires boudinés épousant les plans de schistosité des roches encaissantes fortement cataclasées. Leur compositions minéralogique est simple et comprend principalement du quartz (92%), de la tourmaline (~2%), de la muscovite (~1%), de la séricite (~2%) et de rare calcite. La paragenèse sulfurée est simple et faiblement représenté par la pyrite et de chalcopryrite avec leurs produits d'altération (hydroxydes de fer, covelline...).

La tourmaline, de couleur noire, jalonne les cassures affectant le quartz. Au microscope on observe deux générations de tourmaline, la première est en forme allongée flexueuse ou en rosettes intensément bréchifiées et la seconde est aciculaire. L'étude minéralogique de la tourmaline a montré que c'est une solution solide intermédiaire entre le pôle schorl et le pôle dravite ayant pour formule structurale générale:



L'or est sous forme native visible à l'œil nu, disséminé dans le quartz et la tourmaline, formant ainsi des traînées intergranulaires discontinues de quelques dizaines de micromètres (µm). Il est présent également sous forme microfissurale, jalonnant les joints de grains et imprégnant préférentiellement la tourmaline dans laquelle il peut aussi se trouver en microinclusions. Il peut être aussi inclus dans les auréoles d'altération de la chalcopryrite.

Les résultats d'analyses des tourmalines (Microscope électronique à balayage, (Microsonde électronique, Spectroscopie Mössbauer, Spectroscopie Infra Rouge et Spectroscopie Raman) a permit d'établir une cartographie du champ hydrothermale.

Une partie des tourmalines de l'indice Seldrar évolue vers le pôle foïtite, ce qui indique qu'on est au centre du système où les fluides minéralisateurs sont plus chauds ($T = 250-330^{\circ}\text{C}$). Par contre les tourmalines des indices Assouf Mellene Idereksi et l'autre partie de celles de Seldrar, sont riches en fer trivalent. Sachant que les fluides minéralisateurs sont plus oxydants. Ces derniers doivent se trouver dans la zone externe du champ hydrothermal avec des températures de formation les plus basses ($T = 160$ et 180°C).

En conclusion, l'or est lié à une phase tardive de l'altération hydrothermale où il est associé soit, aux tourmalines soit aux sulfures en inclusion dans le réseau cristallins de ces derniers.

Mots clés: *Hoggar, tourmaline, Fe^{3+} , Fe^{2+} , champ hydrothermal*

"The Bou-Azzer glaciation: Evidence for an Ediacaran glaciation on the West African Craton (Anti-Atlas, Morocco)"

E. Chellai, E. Verhnet, N. Youbi, M. Villeneuve & A. El Harchi

A b s t r a c t

This work reports for the first time evidence for an Ediacaran glaciation in Morocco on the West African Craton that we have named the Bou-Azzer glaciation. It is represented by glacially eroded surfaces and sedimentary features observed in Precambrian outcrops in two inliers of the Anti-Atlas Belt. The commonly accepted stratigraphic framework constrains the glacially eroded surfaces to post-date a regionally defined D2 deformational age known to be between 605 and 595 Ma. A minimum age for the glaciations is less certain but likely pre-dates the end of Ouarzazate Group deposition at 560 Ma. This age range permits two possible correlations to glacial events known from elsewhere: the Bou-Azzer glaciation could be equivalent to the Gaskiers glaciation (~580 Ma), which has not been recognised previously in the West African Craton, or it could be a late Ediacaran glaciation (~560 Ma), which has been suspected in different places on the Craton.

Etude des minéralisations à Cu-Pb-Zn-Au-Ag; Pb-Ag et Mo situées entre la mine d'Imiter et celle de Tiouit (Massif Précambrien de Saghro, Anti-Atlas oriental, Maroc) : Implications métallogéniques et géodynamiques.

Bouchra BAIDADA ^{1*}, Abdelkhalek ALANSARI ¹, Said ILMEN ¹, Moha IKENNE ²

1: Université Cadi Ayyad, FSSM Laboratoire Dynamique de la lithosphère et Genèse des Ressources minérales, département de géologie, Marrakech, Maroc

2 : Université Ibn Zohr Faculté des Sciences Département de géologie, Agadir, Maroc

* Email : bouchrabaidada@gmail.com

Résumé:

Le secteur d'étude est localisé au Sud de la mine d'Imiter et au Nord de la mine de Tiouit, sur le flanc nord-ouest de Jbel Saghro (Anti Atlas oriental). La zone d'étude est caractérisée par un socle PII composé essentiellement d'une alternance plus ou moins régulière de niveaux gréseux peu métamorphiques et des niveaux schisteux et aussi par un magmatisme de nature calco-alcaline qui est à l'origine des granitoïdes. A l'issue de la cartographie de la zone d'étude et les travaux de terrains effectués, plusieurs indices et gîtes à métaux précieux, à métaux de base et à Molybdène ont été répertoriés. L'étude préliminaire montre la diversité des faciès pétrographiques dans la zone d'étude. Deux plutonites principaux et trois types de minéralisations ont été distingué : le massif de Bou-Teglimt au quel associées les structures minéralisées à Pb-Zn-Cu-Au-Ag de direction moyenne N 45°, un granite à biotite, récemment mis en évidence, dans le quel encaissés les filons de quartz-molybdène de direction Est-Ouest et les structures minéralisées à Pb-Ag encaissées dans les formations de PII.

Les observations du terrain et l'étude métallographique préliminaire des deux types de structures polymétalliques, a permis d'apparenter la minéralisation à Pb-Zn-Cu-Au-Ag à celle de la mine de Tiouit et la minéralisation à Pb-Ag à celle de la mine argentifère d'Imiter.

L'objectif de cette étude consiste donc, à une caractérisation d'un point de vue minéralogique, cartographique, pétrographique et géochimique de la minéralisation à Molybdène ainsi que le granite hôte, récemment découverte dans la région à fin de caler l'ensemble dans le contexte géodynamique de la boutonnière d'Imiter.

Mots clés : Molybdène, filons de quartz, pegmatites, granitoïdes, Néoprotérozoïque, Imiter, Saghro, Anti-Atlas.

Estimation du potentiel géothermique de la marge atlantique marocaine: définition des réservoirs de socle pour une utilisation géothermique.

M. Ougadire¹, M. Ikenne¹, Y. Geraud², N. Içame¹, S. Boutaleb¹, B. Walter², S. Haffen², M. Diraison³ et M. Abioui¹.

¹Laboratoire de Géologie Appliquée et Géo-Environnement (LAGAGE), Faculté des Sciences, Université Ibn Zohr, B.P. 8106, 80000, Agadir, Maroc.

²ENSG, Université de Lorraine Rue du Doyen Marcel Roubault 54500 Vandœuvre-lès-Nancy, France.

³Institut de Physique du Globe (IPG), UMR 7516 CNRS-Université de Strasbourg/EOST 1 rue Blessig Strasbourg Cedex, 67084, France.

Dans un contexte de forte demande énergétique, la prospection et l'exploitation d'énergies renouvelables sont des éléments clés pour l'indépendance énergétique d'un pays. Utilisée dans près de soixante pays, l'énergie géothermique est aujourd'hui une ressource possédant des avantages environnementaux et économique reconnus sur les énergies fossile et nucléaire. Pour l'instant la production de l'énergie géothermique nord africaine est inexistante, bien que les premiers travaux de détermination des flux géothermiques montrent l'existence d'un potentiel non négligeable.

Au Maroc, deux types de réservoirs peuvent être considérés, les réservoirs de hautes températures et les réservoirs de moyennes à basses températures. Dans le cadre de cette étude nous nous intéresserons à la première catégorie qui est caractérisé par des réservoirs développés à la base des grands bassins sédimentaires et dans les formations de socle.

Pour caractériser ces réservoirs, il est nécessaire d'identifier l'ensemble des structures qui contribuent au réseau poreux des formations, soit des objets dont la taille varie entre le kilomètre et le micromètre. Si les déformations ductiles liées aux grandes phases de déformations sont parfaitement étudiées depuis plusieurs décennies, les déformations fragiles extensives associées à la formation des bassins du Souss et de la marge atlantique par exemple sont moins bien analysées.

Notre objectif est donc de définir la géométrie du réseau poreux actuel des réservoirs de socle et des réservoirs sédimentaires pour en estimer le potentiel de drainage, de transfert de chaleur, et en fonction de leur position structurale, le potentiel géothermique.

L'intégration des données géophysiques passe nécessairement par l'analyse d'analogues de surface qui permet de combler la lacune de visualisation des structures profondes. Les données géophysiques, macroscopiques, microstructurales et pétrophysiques seront utilisées pour modéliser les flux de fluides et de chaleur à différentes échelles, celle du réservoir mais aussi celle de l'élément de transfert : failles, réseaux de fractures ou structures sédimentaires.

Les réservoirs de socle ont fait également l'objet d'étude géochimique et géochronologique étant donné que trois massifs granitiques ont été choisis ; (i) le granite de Taourgha dans le massif du bas Draa, (ii) granite de Tafraout dans la boutonnière de Kerdous, et (iii) le granite de Sidi Lhoussaine dans la boutonnière de Zenaga. Les richesses de ces intrusions granitiques feront l'objet de :

- Datations U/Pb sur zircon afin de donner avec précision les âges de cristallisation des magmas. Ces datations contribueront à préciser la stratigraphie du précambrien de l'Anti-Atlas;
- Analyses géochimiques (éléments majeurs, traces et terres rares) permettront de caractériser les affiliations magmatiques et de les classer dans leur cadre géodynamique de mise en place;
- Analyses isotopiques de Nd, Sr et Pb pour préciser la nature des sources des magmas.

Une comparaison avec les roches magmatiques de même âge connu à travers la chaîne de l'Anti-Atlas tel que les granitoïdes et les vulcanites de la vallée de Tifnoute dans le promontoire d'Ouzalagh, les intrusions de la boutonnière d'Imiter dans le Saghro, contribuera à proposer un modèle géodynamique de la chaîne panafricaine de l'Anti-Atlas.

Les retombées scientifiques et économiques de ce travail qui va identifier, l'estimation du potentiel géothermique des réservoirs de socle et sédimentaires dans les bassins de Souss et la marge atlantique du Maroc, servira de guide pour toute utilisation directe dans l'agriculture, la pisciculture, le thermalisme et le chauffage domestique.

Mots clés : Potentiel géothermique, réservoirs de socle, réservoirs sédimentaires, réseau poreux, fractures, boutonnière, granite, géochimie, marge atlantique, Maroc.

L'HISTOIRE ERUPTIVE DU VOLCAN OUEST TIMAHDITE: MOYEN-ATLAS, MAROC.

A. Amine(1), S. Mountaj(1), T. Remmal(1), I. El Amrani El Hassani(2), F. Elkamel(1), S. Makhoukhi(1).

(1) Laboratoire des Géosciences Appliquées à l'Ingénierie d'Aménagement, Faculté des Sciences - Aïn Chock, Casablanca.

(2) Laboratoire des Géo-Matériaux et Géo-Environnement, Institut Scientifique – Rabat, Agdal.

Le volcan Ouest Timahdite s'installe sur une dalle de calcaire rose éocène, entaillée par l'accident nord moyen atlasique, responsable de l'effondrement quaternaire récent de la plaine de Guigou. La séquence éruptive s'est développée sur une centaine de mètres et montre une dynamique polyphasée d'abord hydromagmatique puis explosive d'obédience strombolienne qui se résout vers la fin en coulées effusives.

L'activité phréatomagmatique commence par une brèche de débouillage à éléments de substrat calcaire associée à fragments basaltiques trempés et des cendres fines en lamines entrecroisées. La séquence éruptive ss est formée par une alternance décimétrique de tufs fins (*surges*) et grossiers soulignés par la présence de bombes et/ou de lapillis pyroclastiques. Les brèches dévoilent un fort degré d'altération par palagonitisation. Les blocs (bombes) qui retombent suffisamment refroidis, sont stabilisés pour être inoxydables en milieu aérien, tandis que ceux qui retombent encore chauds, arborent des structures en chou-fleur (*Cauli-flower*) au contact de l'eau; caractéristiques des éruptions phréatomagmatiques.

Les produits stromboliens présentent un litage d'amplitude pluridécimétrique à métrique formé par l'alternance de niveaux cendreux pouzzolaniques et de niveaux lapillitiques parfois très riches en blocs. Ce litage peut être désorganisé localement par l'impacte de lapillis ou blocs pouvant atteindre 1 à 2 m de diamètre. Le halo d'oxydation souligné autour des grands blocs s'est formé par réchauffement des gaz contenus dans les dépôts stromboliens environnants particulièrement sus-jacents.

Avec la réduction du volume de gaz, l'activité éruptive devient effusive ; déployée par des fragments de laves peu vésiculées qui vont s'agglutiner par tassement en de véritables coulées allant jusqu'à défluer le long du flanc volcanique.

Synthèse des connaissances sur les granitoïdes du Maroc : Typologie par télédétection et analyses spectrales

**Hannane MEKRAOUI, Abdelilah FEKKAK,
Abdelmejid RAHIMI, Zahra KHALIL, Amine NAJIH, Ilyass BERRADA**

¹. *Laboratoire Géodynamique et Géomatique. Faculté des sciences El Jadida.
Département de géologie, Faculté des sciences d'El Jadida, Université Chouaib-Doukkali, route Ben Maachou,
B.P.20 Avenue des Facultés, El Jadida, Maroc (email : mekraouihanane@gmail.com)*

Les différentes orogénèses qui se sont succédé dans la géologie marocaine (Eburnéen, panafricain, varisque et atlasique) se sont accompagnées par la mise en place de corps granitiques.

Ces granites ont fait l'objet de plusieurs études diversifiées (structurale, pétrographique, minéralogique, géochimique, géochronologique,...etc.). Ces études, basées sur les méthodes classiques, ont donné lieu à une banque de données très riche. Ces données sont réparties d'une façon hétérogène, abondantes sur certains plutons, rares voire absentes sur d'autres.

Les objectifs de notre travail est de :

- Collecter et organiser les données disponibles
- Exploiter les produits et techniques de Télédétection et des SIG pour aboutir aux résultats obtenus par les méthodes classiques
- Appliquer les méthodes et procédés validés sur les granites faiblement ou non étudiés.

Pour ce faire, nous avons jusqu'à présent réalisés les tâches suivantes :

- Inventaire des granites du Maroc
- Collecte de la bibliographie
- Elaboration d'un modèle conceptuel de la base de données
- Entame de la compilation géoscientifique
- Entame de la préparation des produits satellitaires

Nos motivations pour la participation à la réunion Experts hispano-portugo-marocains avec les jeunes chercheurs sont :

- Benchmark (échanges d'expérience et évaluation de la faisabilité du projet)
- Correction et réorientation des objectifs si nécessaire
- Connexion avec des projets de synthèse similaires notamment en Espagne et au Portugal.

RELATIONSHIPS BETWEEN MAGMA INTRUSION AND MIOCENE VOLCANIC COMPLEXES COLLAPSES IN FUERTEVENTURA (CANARY ISLANDS) USING ANALOGUE MODELS.

Ángela Claro¹, Audray Delcamp² and Cristina de Ignacio¹

¹ Department of petrology and geochemistry, Faculty of Geological Sciences, Universidad Complutense of Madrid.
(aclaro@geo.cum.es)

² Department of Geography, Faculty of Sciences, Vrije Universiteit Brussels.

The possibility to directly observe the magmatic chambers that fed the Miocene volcanic complexes makes Fuerteventura one of the most singular islands of the Canary archipelago. Although there are some studies dealing with the growth and collapse history of the Fuerteventura volcanoes there is yet no study trying to link the emplacement and growth of the feeding magma chambers (shallow plutons) to the possible influence they may have had in the development of volcano collapses in the island. About 30 analogue models have been designed to study, possible effects of shallow pluton emplacement in the evolution of the Fuerteventura Miocene volcanic complexes. Preliminary results of analogue models reveal that this process induces deformation on the surface volcanoes and could be responsible for lateral flank collapses. However, it should be noted that these analogue models are oversimplified because, among other caveats, they are only able to reproduce one time period and they are difficult to implement using many variables at the same time because there is the possibility to lose the reference scaling. Therefore, a combination of several magmatic intrusion events and other factors which can also promote flank instability, such as hydrothermal activity, are proposed as the triggers of the collapses at least of the Central Miocene volcanic complex in Fuerteventura. In addition, a relatively long erosional period - from late Miocene to Pliocene times - in the island would have also contributed to the dismantling of the Miocene volcanic complexes and related exposure of the magma chambers.

MISE EN EVIDENCE D'UNE ACTIVITE ERUPTIVE POLYPHASEE

L'exemple du volcan d'Aguelmane Sidi Ali (Moyen-Atlas)

K. LAKROUD⁽¹⁾, T. REMMAL⁽¹⁾, F. EL KAMEL⁽¹⁾, I. EL AMRANI EL HASSANI⁽²⁾, S. MAKHOUKHI⁽¹⁾, S. MOUNTAJ⁽¹⁾, F. AMRAOUI⁽¹⁾

(1) : FS-C (UH2-C) ; (2) : IS-R (UM5-A)

RESUME

La combinaison de données structurales, pétrographiques et d'observations de terrain nous a permis de reconstituer la dynamique éruptive et l'histoire volcanique d'Aguelmane Sidi Ali (Moyen-Atlas), siège d'une activité éruptive polyphasée, nous montrons que le dynamisme éruptif explosif amorce au Pliocène supérieur l'activité volcanique concevant l'édification d'un cône de scories strombolien ainsi qu'un événement subsidiaire secondaire. Cette phase est relayée par une activité effusive représentée par des coulées de basalte alcalin à olivine mise en place à la faveur d'une zone de rupture ouverte suite à la réactivation d'accidents majeurs anciens NE-SW. Finalement, nous proposons que les basaltes alcalins des plugs complètent la chronologie du volcanisme d'ASA. Ce faciès se place au droit de l'accident N170 bordier de la zone volcanisée, dont le jeu normal favorise non seulement l'extrusion des laves mais aussi l'acheminement d'eau météorique jusqu'à la chambre magmatique comme le montre la cristallisation à basse pression des phases hydroxylées (biotite et amphibole). En outre la présence de biotite est associée à une saturation en silice traduisant le caractère tardif de ce faciès.

Mots clés : Moyen-Atlas plissé, Aguelmam Sidi Ali, Timahdite, Volcanisme.

Le complexe magmatique de Tafilalet

Amine Najih¹, Abdelilah Fekkak¹, Brahim Karaoui², Abdelkader Mahmoudi², Ilyass Berrada¹, Hannane Mekraoui¹

¹. Faculté des Sciences d'El Jadida, Université Chouaib-Doukkali, route Ben Maachou, B.P. 20 Avenue des Facultés, El Jadida, Maroc (email: aminenajih24@gmail.com). Laboratoire Géodynamique & Géomatique. Faculté des sciences El Jadida.

². Faculté des Sciences de Meknès, Université Moulay Ismaïl. B.P. 11201, Avenue Zitoune, Meknès, Maroc.

Le secteur d'étude, sur lequel est entrepris notre travail, est situé dans la zone de jonction entre les chaînes de l'Ougarta au SE et de l'Anti-Atlas à l'W. C'est la partie Est du domaine Paléozoïque de l'Anti-Atlas oriental vers la frontière Maroc-Algérienne. Le complexe magmatique de Tafilalet existe sous forme de corps sub-volcaniques en sills (très abondants), dykes et « laccolithes », intrusifs dans les formations du Paléozoïque.

L'objectif de cette étude est de déterminer les mécanismes tectoniques et dynamiques, qui ont conduit à la mise en place de ce magmatisme et les processus pétrogénétiques ayant contrôlé son évolution.

On procédera par le biais d'une approche multidisciplinaire en combinant la cartographie géologique (imageries satellitaires, levées sur terrain), la volcanologie physique, la pétrologie et la géochronologie.

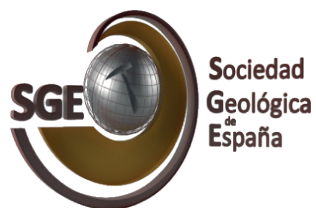
Dans ce qui suit, nous présentons brièvement les résultats de nos observations préliminaires de terrain :

Les corps sub-volcaniques sont encaissés essentiellement dans les formations sédimentaires, allant du Silurien jusqu'au Carbonifère. Ils ont des épaisseurs de un à plusieurs dizaines de mètres. Géométriquement, les corps magmatiques présentent des formes en sills et dykes réguliers, ou irréguliers (bifurquées et anastomosées) et parfois aussi en échelons. Des formes de laccolithes semblent, par ailleurs, se dessiner.

Les sills présentent une variation texturale avec des bordures à faciès fins qui montrent des vésicules et vers le centre un faciès grossier.

Les dykes ont des directions de N45 à N60, N90 à N110 et N170. Ils renferment, pour certains, des enclaves centimétriques à décimétriques (xénolites et xéno-cristaux) de natures variables.

Les « laccolithes », affleurant dans les formations dévoniennes et présentent des épaisseurs allant de 80 à 100 m. Ils correspondent à des intrusions juxtaposées et sont interconnectées par des dykes anastomosés.



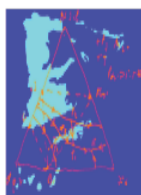
Académie Hassan II
des Sciences & Techniques



Centre National pour la Recherche
Scientifique et Technique



Faculté des Sciences Ben M'sik



Comisión de Petrología, Geoquímica y
Geocronología de Rocas Ígneas y Metamórficas
de la Sociedad Geológica de España