L'impact de l'orogenèse hercynienne et de la mise en place du granite des Zaêr sur l'évolution structurale d'un segment hercynien de la Meseta nord-occidentale marocaine - pays des Sokhrat

Mohamed Laalou, Mohamed Elbadra, Driss Fadli, Mohammed El Wartiti

▶ **To cite this version:**

Mohamed Laalou, Mohamed Elbadra, Driss Fadli, Mohammed El Wartiti. L'impact de l'orogenèse hercynienne et de la mise en place du granite des Zaêr sur l'évolution structurale d'un segment hercynien de la Meseta nord-occidentale marocaine - pays des Sokhrat. Pangea infos, 2002, 37/38, pp.35-44. insu-00948003

HAL Id: insu-00948003
https://insu.hal.science/insu-00948003

Submitted on 17 Feb 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

L'impact de l'orogenèse hercynienne et de la mise en place du granite des Zaêr sur l'évolution structurale d'un segment hercynien de la Meseta nord-occidentale marocaine – pays des Sokhrat –

Impact of the Hercynian Orogeny and the deposition of the Zaer granite on the structural evolution of a Hercynian belt of the north-western Moroccan Meseta –Country of the Sokhrat–

Mohamed LAALOU, Mohamed ELBADRA, Driss FADLI, Mohammed EL WARTITI

« Géologie Appliquée : « Ressources Naturelles et Environnement » unité de formation et de recherche, Département de géologie,
Université Mohammed V-Agdal-, Faculté des Sciences, Département des Sciences de la Terre, B.P. 1014, avenue Ibn Batouta, Rabat, Maroc.
E-mail : mohamed.laalou1@ caramail.com

Résumé
L'analyse tectonique et l'étude de l'auréole métamorphique de la bordure sud du granite des Zaêr ont permis de retracer l'histoire géodynamique de la région du pays des Sokhrat. Elles permettent aussi de mettre en évidence le rôle joué par le granite des Zaêr dans cette évolution structurale. Ainsi, le métamorphisme de contact additionné au métamorphisme régional, présente deux générations d'andalousites liées à deux ondes thermiques différentes qui se sont succédées dans le temps : une première onde thermique induite par la granodiorite et une seconde dégagée par le monzogranite. Ces ondes thermiques ont favorisé la déformation souple polyphasée des terrains de la région du pays des Sokhrat lors de l'orogenèse hercynienne, manifestée par deux phases de plissement P1 et P2 et deux générations d'andalousites. Après refroidissement de l'encaissant, les effets de l'orogenèse hercynienne correspondent au découpage de la région par de nombreux décrochements dextres et senestres donnant à la région son aspect actuel.
Mots-clés : Orogenèse hercynienne ; granite des Zaêr ; évolution structurale ; Meseta marocaine nord-occidentale ; pays des Sokhrat.

Abstract
The tectonic analysis and the study of the metamorphic aureole have allowed us to retrace the geodynamic history of the Sokhrat region. They permitted also to show the role played by the Zaer granite in its structural evolution. Thus, the contact metamorphism in addition to the regional metamorphism, represents two generations of andalusite related to two successive thermal events: the first thermal event resulted in the granodiorite and the second thermal event produced the monzogranite. The thermal events moulded the basement of the Sokhrat area primarily by ductile deformation during the Hercynian Orogeny, generating phase P1 and phase P2 folds concurrently with two andalusite species. Post cooling effects of the Hercynian Orogeny have resulted in numerous cross-cutting dextral and sinistral faults giving the area its current relief.
Key words: *Hercynian orogeny; Zaer granite; structural evolution; north-western Moroccan Meseta; country of the Sokhrat.*

1. INTRODUCTION

Le Pays des Sokhrat constitue l'extrémité sud-ouest du Maroc Central hercynien. Il se rattache directement à l'anticlinorium de Khouribga-Oulmès (Termier, 1936). Il est limité au nord par le granite des Zaêr, et se prolonge au sud sous le plateau des phosphates. A l'est, il s'adosse à l'axe anticlinal des Oulad Khalouk de l'anticlinorium de Khouribga-Oulmès ; tandis qu'à l'ouest, un contact anormal le sépare du pays des flyschs dévono-dinantiens du Khatouat-Benhmed (fig. 1).

La morphologie de la zone est celle d'un haut plateau schisteux dans lequel émergent des barres quartzitiques formant des bandes étroites et rectilignes allongées se-

1. INTRODUCTION

The country of Sokhrat forms part of the southwest end of the Hercynian Central Morocco. It directly joins Khouribga-Oulmès anticline (Termier, 1936).

It is bordered north by the Zaer granite and it spreads south below the phosphate plateau. To the east, it abutts the anticlinal axis of Oulad Khalouk, part of the Khourigba-Oulmes anticlinorium; whereas to the west, it is abnormally separated from Khatouat-Benhmed Devono-Dinantian sediments country (Fig. 1).

The zone forms a high schistose plateau from which a number of elongate quartzitic prominences trend NNE-SSW (Fig. 1).

lon la direction NNE-SSW (fig. 1). Ce matériel, plissé et métamorphisé, est formé par des schistes et des grès de l'Ordovicien, des schistes ampéliteux à graptolithes du Silurien et des schistes du Dévonien Inférieur (Bolleli *et al.*, 1959).

This material comprises folded metamorphosed Ordovician shales and sandstones, Silurian graptolitic shales and lower Devonian shales (Bolleli et al., 1959).

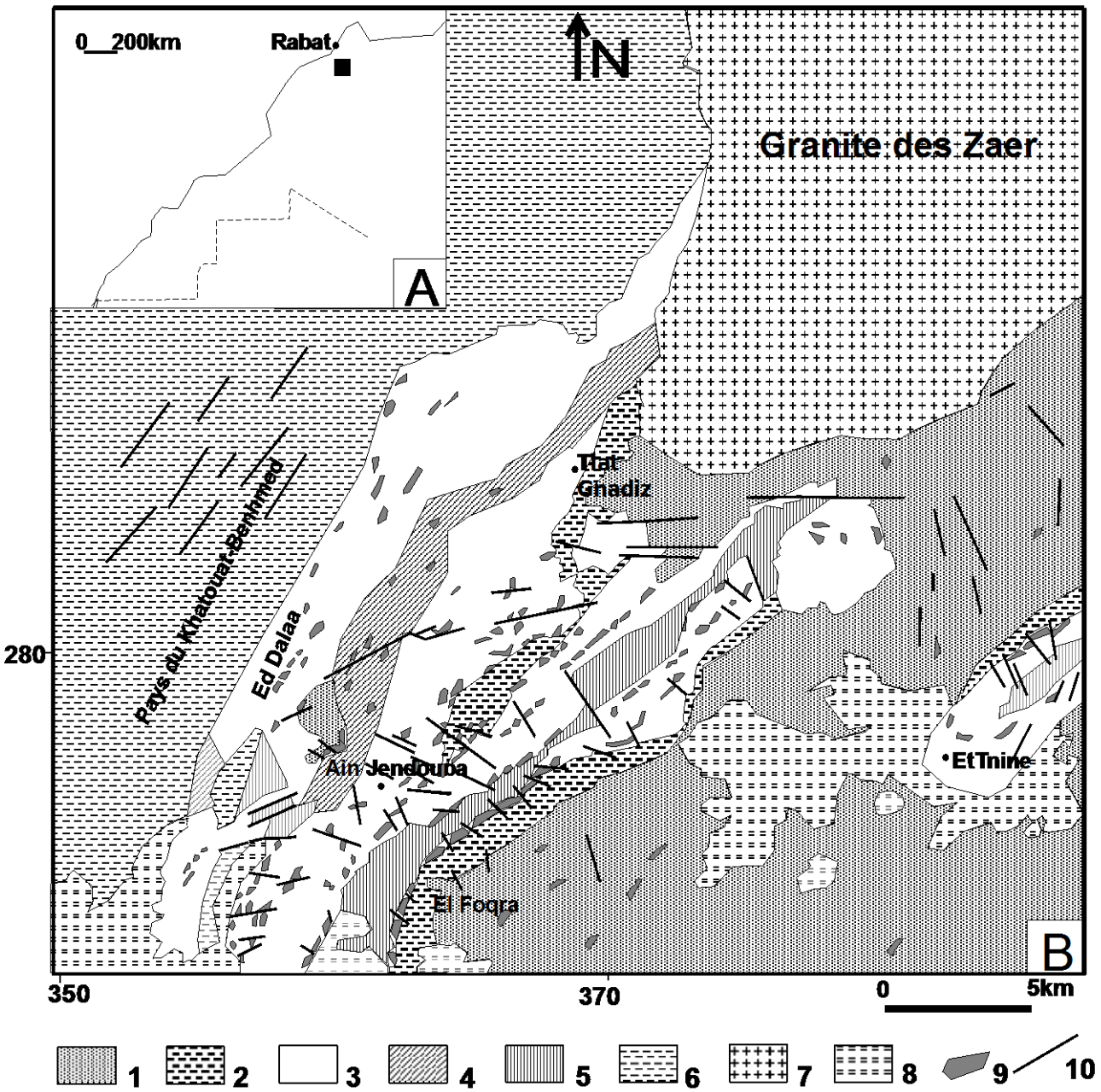

Fig. 1 – A. Schéma de situation du pays des Sokhrat au Maroc. B. Carte géologique du pays des Sokhrat.
1. Llandeilo inférieur et moyen; 2. Llandeilo supérieur - Caradoc inférieur; 3. Caradoc supérieur; 4. Ashgill; 5. Silurien; 6. Dévonien inférieur; 7. Couverture méso-cénozoïque du plateau des Phosphates; 8. Granite des Zaêr; 9. Barre quartzitique; 10. Faille.

Fig. 1 – A. Sketch of the country of the Sokhrat situation in Morocco. B. Geological map of the country of the Sokhrat.
1. Lower and middle Llandeilian; 2. Upper Llandeilian – lower Caradocian; 3. Upper Caradocian; 4. Ashgillian; 5. Silurian; 6. Lower Devonian; 7. Meso-Cenozoic cover of the Phosphate plateau; 8. Zaer Granite; 9. Quartzitic bar; 10. Fault.

Notre étude a pour objectif l'analyse des stades de déformation et des épisodes métamorphiques de cette région dans le but de déterminer l'impact de la mise en place du massif granitique des Zaêr et de l'orogenèse

Our study aims to analyse the deformation stages and metamorphic episodes for this region in order to determine the impact of the emplacement of the Zaer granite massif and of the Hercynian Orogeny on the

hercynienne sur l'évolution structurale de la région.

2. TECTONIQUE

L'analyse tectonique effectuée dans le pays des Sokhrat a permis d'apporter des précisions nouvelles sur la chronologie des événements tectoniques responsables de la structuration des terrains paléozoïques de la région qu'on peut résumer de la façon suivante :

La phase de plissement P1. La première phase de déformation du pays des Sokhrat est caractérisée par des plis sub-isoclinaux synschisteux, hectométriques à kilométriques, ayant une longueur d'onde qui augmente du sud vers le nord. Ces plis ont un plan axial de direction N25 à N35, déversés vers l'ESE et sont accompagnés d'une schistosité S1 de plan axial. Cette dernière est soulignée par des minéraux phylliteux de chlorite et de muscovite allongés parallèlement au plan axial des plis P1. Ceci confirme leur cristallisation synschisteuse. Les axes de ces plis présentent souvent de forts plongements. Ils résultent d'une contrainte principale de direction NW-SE, comparable à celle enregistrée dans la région d'El Khatouat (Fadli, 1990).

La phase de plissement P2. La deuxième phase de plissement correspond à des plis P2 généralement en chevrons, centimétriques à métriques, de direction N-S à NE-SW, reprenant la schistosité S1. Ces plis P2 sont plus abondants avec une schistosité de plus en plus marquée au fur et à mesure qu'on s'approche du massif granitique des Zaêr. Cette schistosité S2 affecte les structures de la première phase P1. Elle résulte d'une contrainte principale de direction NW-SE à E-W.

La phase de fracturation. L'analyse de la déformation cassante de la région du pays des Sokhrat nous a permis de mettre en évidence deux épisodes compressifs qui reprennent toutes les structures antérieures :

– un premier épisode de direction E-W à WNW-ESE qui engendre :
  • des failles dextres de direction N50 à N80 et leurs conjuguées senestres de direction N95 à N130 dans les régions d'EtTnine et de Ain Jendouba,
  • des failles senestres orientées N145 à N180 et leurs conjuguées dextres de direction N85 à N130 dans la région de Rwameche (fig. 2A) ;
– un second épisode de direction NNW-SSE à NNE-SSW qui engendre :
  • des failles senestres de direction N160 à N10 et leurs conjuguées dextres de direction N120 à N150 dans la région de Sokhrat Al Hamra,
  • des failles senestres orientées N30 à N70 et leurs conjuguées dextres de direction N130 à N160 dans la région d'EtTnine

structural evolution of the region.

2. TECTONICS

The tectonic analysis of the Sokhrat country improved the precision of the geochronology of the tectonic events responsible for the Palaeozoic terrains structure of the region and can be summarised as follows:

Folding phase P1. *The first deformation phase of the country of Sokhrat is characterised by synschistose sub-isoclinal folds, hectometre to kilometre long, with a wavelength that increases from south to north. These folds have an axial plane directed N25 to N35, overfolded to the ESE. They are accompanied by a S1 schistosity with an axial plane. The latter is accentuated by phyllitic lineation of chlorite and muscovite parallel to the P1 axial plane. This confirms their synschistose crystallisation. The fold axes often have large plunges. They are a result of the main NW-SE stress, similar to that recorded in El Khatouat region (Fadli, 1990).*

Folding phase P2. *The second folding phase corresponds to some P2 chevron folds, centimetre to metre long, directed N-S to NE-SW, parallel to the S1 schistosity. These P2 folds are more abundant and their schistosity is progressively marked approaching the Zaer granite massif. This S2 schistosity distorts the P1 structures. It is a result of the main NW-SE to E-W stress.*

Fracturing phase. *The analysis of the brittle deformation of the Sokhrat country region revealed two compressive episodes that have the same previous structures:*

– *a first episode directed E-W to WNW-ESE which generates:*
  • some dextral faults directed N50 to N80 and their sinistral conjugates directed N95 to N130 in the EtTnine and Ain Jendouba regions,
  • some sinistral faults orientated N145 to N180 and their dextral conjugates orientated N85 to N130 in the Rwameche region (Fig. 2A);
– *a second episode directed NNW-SSE to NNE-SSW that generates:*
  • some sinistral faults directed N160 to N10 and their dextral conjugates directed N120 to N150 in the Sokhrat Al Hamra region,
  • some sinistral faults orientated N30 to N70 and their dextral conjugates directed N130 to N160 in the EtTnine region,

• et des failles senestres orientées N30 à N70 et leurs conjuguées dextres de direction N155 à N180 dans la région d'Ain Jendouba (fig. 2B).

• and some sinistral faults orientated N30 to N70 and their dextral conjugates directed N155 to N180 in the Ain Jendouba region (Fig. 2B).

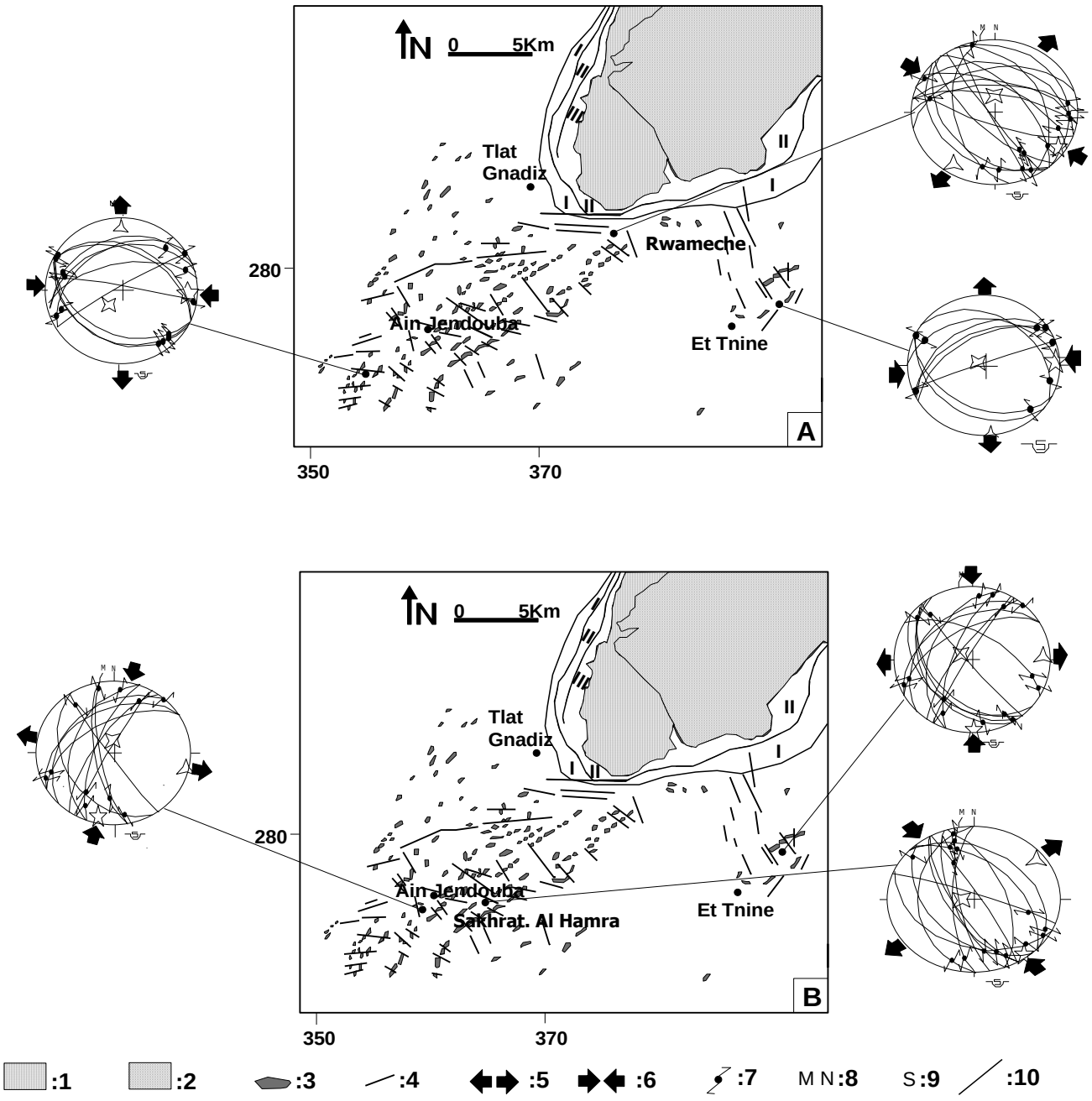

Fig. 2 - A. Diagramme de distribution des directions de compression E-W à WNW-ESE.
B. Diagramme de distribution des directions de compression NNW-SSE à NNE-SSW.
1. granodiorite; 2. monzogranite; 3. barre quartzitique; 4. faille; 5. direction d'extension; 6. direction de compression; 7. décrochement;
8. N : nord géographique, M : nord magnétique; 9. canevas de Schmidt, hémisphère inférieur;
10. zone métamorphique I - zone de muscovite-biotite; II - zone d'andalousite; III - zone de cordiérite.

Fig. 2 – A. Distribution diagram of the E-W to NW- compression directions.
B. Distribution diagram of the NNW-SSE to NNE-SSW compression directions.
1. Granodiorite; 2. Monzogranite; 3. Quartzitic bar; 4. Fault; 5. Extension direction; 6. Compression direction; 7. Strike-slip fault;
8. N: geographic north, M: magnetic north; 9. Schmidt pattern, lower hemisphere;
10. Metamorphic zone; I. Muscovite-biotite zone; II. Andalusite zone; III. Cordierite zone.

Cette dispersion dans les directions de fractures crustales s'explique bien par l'héritage d'une configuration de blocs et de bassin lors de la sédimentation durant le Paléozoïque.

This dispersal pattern of the crustal fractures can be well explained by a block and basin configuration during the Palaeozoic sedimentation period.

3. LE METAMORPHISME DE CONTACT

Le massif granitique hercynien des Zaêr affleure en masse elliptique orientée NNE-SSW et se compose d'une part d'une granodiorite grise à biotite seule, qui limite ce massif granitique du côté W et SW, et d'autre part d'un monzogranite rosâtre à deux micas, qui apparaît en masse sub-circulaire limitant du côté SE le massif granitique (fig. 2). La granodiorite développe une auréole métamorphique caractérisée par trois isogrades : isograde à cordiérite, isograde à andalousite et isograde à biotite et muscovite, tandis que le monzogranite ne développe que les deux derniers isogrades (fig. 2) :

Isograde à cordiérite. C'est la zone métamorphique la plus interne au contact de la granodiorite et qui affecte les faciès schisteux et schisto-gréseux du Caradoc supérieur et de l'Ashgill. La cordiérite est le minéral caractéristique de cette zone ; elle est presque toujours pinitisée, de forme ronde ou ovale. Cette zone est caractérisée également par des phénoblastes d'andalousite rétromorphosés en partie sur sa périphérie ou totalement en séricites et micas blancs. Ces phénoblastes constituent l'andalousite de première génération.

A l'échelle cartographique, la zone à cordiérite forme une auréole entourant le massif granodioritique des Zaêr. Elle est interrompue au niveau de Tlat Gnadiz au SW et dans la bordure SE du monzogranite. Cette répartition spatiale suggère un lien génétique de la cordiérite au plutonisme granodioritique. L'absence de la cordiérite dans les deux zones précitées peut être expliquée par deux hypothèses :

- la cristallisation de la cordiérite est contrôlée par la composition chimique de l'encaissant schisteux ; cette composition pourrait expliquer l'absence de la cordiérite au niveau des schistes de Tlat Gnadiz. En effet ces derniers, d'âge Llandeilo supérieur-Caradoc inférieur, sont caractérisés par un rapport Fe/Mg faible en comparaison avec les schistes des autres régions (Mahmoud, 1980).
- la montée ultérieure du monzogranite a envahi la zone à cordiérite liée à la granodiorite, mais sans en développer une autre.

Au niveau de la bordure SE du massif granitique, l'encaissant est constitué par des schistes homogènes d'âge Llandeilo inférieur et moyen. Ces schistes montrent une zone à cordiérite au nord, alors qu'au sud, la cordiérite est absente. Par conséquent, l'absence de la cordiérite est probablement due au caractère intrusif du monzogranite qui masque la zone à cordiérite.

3. CONTACT METAMORPHISM

The Hercynian Zaer granite massif outcrops as an elliptic mass orientated NNE-SSW. To the west and southwest, the granitic massif abuts a grey biotite granodiorite while to the SE a sub-circular mass of two-mica pinkish monzogranite borders the granitic massif (Fig. 2). The granodiorite metamorphic aureole is characterised by three isograds: a cordierite isograd, an andalusite isograd and a biotite and muscovite isograd. The monzogranite only forms in the two last isograds (Fig. 2):

Cordierite isograd. *It is the innermost metamorphic zone in contact with the granodiorite and it affects the schistose and schisto-sandy facies of the upper Caradocian and of the Ashgillian. The cordierite is the mineral for this zone; it almost always exists as pinite, with a round or oval shape. Retrograde metamorphism of early stage andalusite porphyroblasts has resulted in whole or partial alteration rims of sericite and white mica. These porphyroblasts represent the first generation andalusite.*

At the geographical scale, the cordierite zone forms an aureole surrounding the granodioritic Zaer massif. It is interrupted when reaching Tlat Gnadiz to the SW and in the SE edge of the monzogranite. This spatial repartition suggests a genetic relationship of the cordierite to the granodioritic plutonism. The lack of cordierite in the two zones previously mentioned can be explained by two hypotheses:

- *crystallisation of cordierite is controlled by the chemical composition of the schistose host rock; this composition could explain the lack of cordierite at the Tlat Gnadiz schist level. The latter, upper Llandeilian - lower Caradocian, are characterised by a low Fe/Mg ratio compared with the schists of other regions (Mahmoud, 1980).*

- *the subsequent rising of monzogranite intruded the cordierite zone that relates to the granodiorite, but without development of another aureole.*

The host rock to the SE margin of the granite massif is composed of homogenous lower and middle Llandeilian schist. The host rock exhibits a cordierite zone to the north, while the lack of the cordierite zone to the south is probably due to the monzogranite intrusion.

Isograde à andalousite. Il montre deux générations d'andalousites :

– une première andalousite liée à la granodiorite et qui est rétromorphosée partiellement ou totalement en séricite, biotite et chlorite (photo 1) qui sont :
  • soit étirées dans la foliation montrant que le plissement P1 et le métamorphisme de contact de la granodiorite sont synchrones (photo 1) ;
  • soit recoupées par une schistosité de crénulation liée à la mise en place en surface du monzogranite (photo 2).

L'examen microscopique systématique des échantillons prélevés près du contact monzogranite–granodiorite montre une association de sillimanite fibreuse et de l'andalousite non orientées. Cette paragénèse n'est donc pas liée au métamorphisme régional. Il s'agit plutôt d'une transformation locale post-P1 de l'andalousite en sillimanite, en relation avec l'apport de chaleur lié à l'énergie de frottement lors de la montée du monzogranite. En conclusion on peut dire que l'andalousite s'est formée en premier lors de la montée de la granodiorite alors que la sillimanite s'est formée après la montée du monzogranite dans les conditions thermodynamiques qu'on vient d'évoquer.

– une deuxième génération d'andalousite liée au monzogranite, sous forme de phénoblastes non rétromorphosés qui ont cristallisé de façon statique dans l'encaissant et affectés par des plis P2 (photo 3). Ceci implique que la phase P2 est postérieure aux phénoblastes. Le front thermique qui favorise la formation de ces phénoblastes assouplit l'encaissant permettant ainsi à l'orogenèse hercynienne de s'exprimer d'une manière plicative en donnant les plis P2 dans un encaissant en cisaillement. Par la suite, la mise en place du monzogranite a généré la schistosité de crénulation S2 qui affecte à la fois les phénoblastes et les plis P2.

Ainsi, deux ondes thermiques se sont succédées. Ceci est confirmé par Mrini (1985) qui a pu déterminer l'âge du granite des Zaêr par la méthode rubidium-strontium (Rb/Sr), qui a donné un âge de 303 ± 13 MA (Westphalo-Stéphanien) pour la granodiorite et un âge de 279 ± 11 MA (Permien inférieur) pour le monzogranite.

Isograde à biotite et muscovite. Cette zone est la plus externe de l'auréole métamorphique. La première manifestation des effets thermiques de l'intrusion granodioritique correspond à la cristallisation de minéraux micacés (muscovite et biotite) dans les plans de schistosité S1. Au contact du monzogranite, ces minéraux sont affectés par une schistosité S2 de crénulation. Cette dernière disparaît vers le sud et le sud-est, mais elle réapparaît à l'occasion de l'existence des grands accidents cisaillants actifs.

Andalusite isograd. *It shows two generations of andalusite:*

– *a first andalusite related to the granodiorite that is partially or totally altered into sericite, biotite and chlorite (picture 1) which are:*
  • either elongated within the foliation which shows that the P1 folding and granodiorite contact metamorphism are synchronous (picture 1);
  • or intersected by a crenulation cleavage related to the surface emplacement of monzogranite (picture 2).

The petrography of the samples near the monzogranite-granodiorite contact shows a combination of non-orientated fibrous sillimanite and andalusite. This paragenesis is therefore not related to the regional metamorphism. It is rather a local post-P1 transformation of andalusite into sillimanite, that relates to the heat input of the friction energy generated during the monzogranite rising.

In conclusion, the andalusite formed primarily during the granodiorite rising while the sillimanite was formed after the monzogranite rising.

– *a second generation of andalusite linked to the monzogranite. They are found as non-retrograde porphyroblasts and are affected by some P2 folds (picture 3). This implies that the P2 phase is subsequent to the porphyroblasts. The thermal front which favours the porphyroblast formation makes the host rock more ductile. The Hercynian Orogeny is folded resulting in P2 folds in the sheared host rock. Then, the monzogranite emplaced producing a crenulation cleavage S2 that affects both porphyroblasts and P2 folds.*

So two thermal events succeeded one another. This is confirmed by Mrini (1985) who could determine the age of the Zaer granite using the rubidium-strontium (Rb/Sr) method. This gave the following ages: 303 ± 13 Myrs (Westphalo-Stephanian) for the granodiorite and 279 ± 11 Myrs (lower Permian) for the monzogranite.

Biotite and muscovite isograd. *This is the outermost zone of the metamorphic aureole. The initial expression of the thermal effects of the granodiorite emplacement is the micaceous minerals (muscovite and biotite) in the planes of the S1. At the contact zone with the monzogranite, these minerals are affected by a crenulation cleavage S2. The latter disappears towards the south and southeast but it reappears in the great active shear zones.*

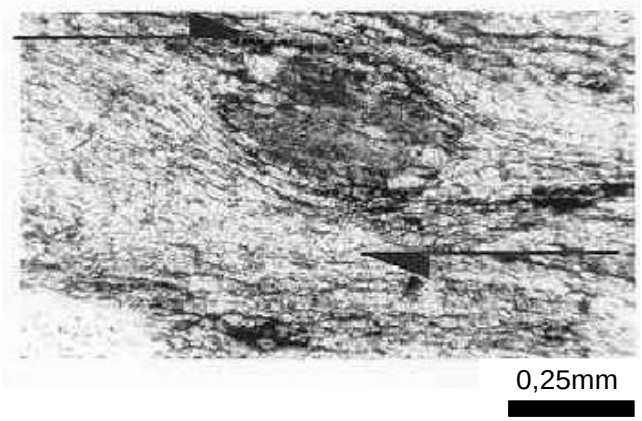

Photo 1 – Relation schistosité/applatissement : les flèches indiquent un cisaillement dextre (phase de plissement P1).

Picture 1 – Cleavage/flattening relationship: the arrows indicate a dextral shear (folding phase P1).

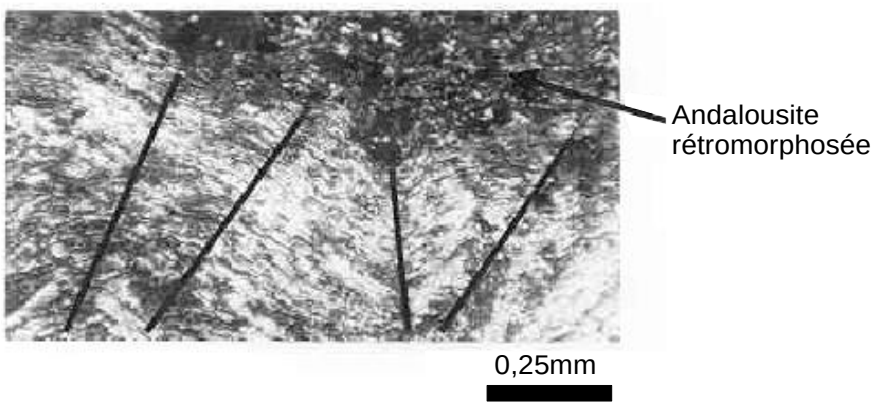

Photo 2 – Blaste d'andalousite totalement rétromorphosé et recoupé par une schistosité de crénulation liée à la mise en place du monzogranite.

Picture 2 – Retrograde andalusite porphyroblast intersected by a crenulation cleavage due to the monzogranite emplacement.

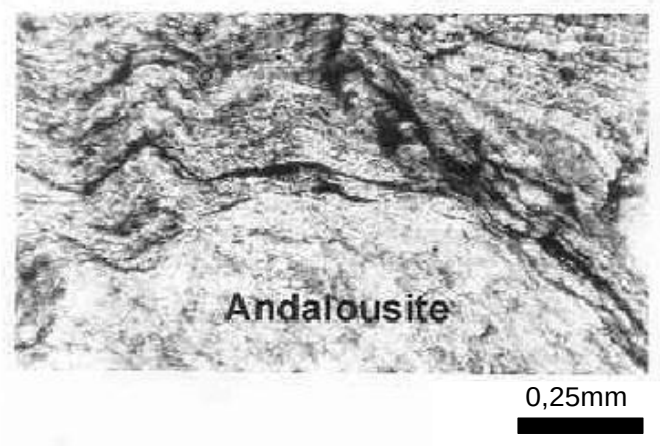

Photo 3 – Blaste d'andalousite non altérée moulée par une schistosité de crénulation (cristallisation statique).

Picture 3 – Blast of non-altered andalusite moulded by a crenulation cleavage (static crystallisation).

4. DISCUSSION ET INTERPRETATION

Au Westphalo-Stéphanien, dans un climat de déformation synschisteuse, la granodiorite est mise en place le long des accidents senestres profonds NNE-SSW du socle protérozoïque (Diot, 1989). Ceci a favorisé de forts contrastes de température avec la couverture paléozoïque induisant le développement d'une auréole métamorphique de type haute température et haute pression due à la compression hercynienne. La température élevée, dégagée par la granodiorite favorise un assouplissement thermique de la couverture. Ceci a engendré la déformation souple des terrains paléozoïques lors de l'orogenèse hercynienne, qui se manifeste par des structures plissées (P1) synschisteuses de direction NW-SE. Ces structures sont synchrones de la mise en place de la granodiorite.

Au Permien inférieur, le monzogranite prend place au sein de la granodiorite à peine cristallisée dans un contexte de collision continentale de courte période (Rosé, 1987) de direction toujours NW-SE à E-W. Il est responsable de la deuxième onde de chaleur qui génère la deuxième andalousite et de la rétromorphose de la première tout en en assouplissant la couverture paléozoïque. Celle-ci est donc affectée par une génération de plis (P2). Par la suite, la montée intrusive du monzogranite envahit la zone à cordiérite et génère une schistosité de crénulation par la force de sa montée.

Au Permien, l'absence des ondes de chaleur et le refroidissement du terrain ont permis à la contrainte compressive de direction E-W à WNW-ESE de se manifester d'une manière cassante, ce qui a engendré des failles dextres d'ampleur kilométrique, de direction N50 à N80 et leurs conjuguées senestres de direction N95 à N130 dans les région d'EtTnine et de Ain Jendouba et des failles senestres orientées N145 à N180 et leurs conjuguées dextres de direction N85 à N130 dans la région de Rwameche. Cette phase compressive du Permien inférieur redresse les barres quartzitiques et leur donne l'aspect qu'elles ont actuellement sur le terrain.

La phase compressive de direction NNW-SSE à NNE-SSW engendre des failles senestres de direction N160 à N10 et leurs conjuguées dextres de direction N120 à N150 dans la région de Sokhrat Al Hamra, des failles senestres orientées N30 à N70 et leurs conjuguées dextres de direction N130 à N160 dans la région d'EtTnine et des failles senestres orientées N30 à N70 et leurs conjuguées dextres de direction N155 à N180 dans la région d'Ain Jendouba. Cette phase est la dernière manifestation de l'orogenèse hercynienne ; elle est présente partout au Maroc Central et datée post-Permien – anté-Trias (El Wartiti, 1990).

4. DISCUSSION AND INTERPRETATION

During the Westphalo-Stephanian, within a context of synschistose deformation, granodiorite is emplaced along the NNE-SSW deep sinistral accidents of the Proterozoic basement (Diot, 1989). This favoured some large temperature contrasts with the Palaeozoic cover inferring the development of a high grade metamorphic aureole due to the Hercynian compression. The granodiorite conducts heat resulting in the thermic suppling up of the cover. This generated the ductile deformation of the Palaeozoic terrains during the Hercynian Orogeny, which appears as synschistose folded structures (P1) orientated NW-SE. These structures and the granodiorite emplacement are synchronous.

During the lower Permian, the monzogranite occurs within the granodiorite just crystallised in a context of short continental collision (Rosé, 1987) still trending NW-SE to E-W. It is responsible for the second thermal event that generates the second retrograde andalusite of the first one as well as the ductile deformation of the Palaeozoic cover. The latter is therefore affected by a generation of folds (P2). After that, the intrusive rising of monzogranite invades the cordierite zone and generates a crenulation cleavage due to the force of its rising.

During the Permian, the cooling down of the terrain permitted compressive stresses orientated E-W to WNW-ESE that happened in a brittle way. This generated some dextral faults of the order of a kilometre, directed N50 to N80 and their sinistral conjugates directed N95 to N130 in EtTnine and Ain Jendouba regions. It also generated some sinistral faults orientated N145 to N180 and their dextral conjugates orientated N85 to N130 in the Rwameche region. This compressive phase of the lower Permian straightens up the quartzitic bars and gives them the aspect they have on the terrain at present.

The compressive phase directed NNW-SSE to NNE-SSW generates some sinistral faults orientated N160 to N10 and their dextral conjugates orientated N120 to N150 in Sokhrat Al Hamra region. It also generates some sinistral faults directed N30 to N70 and their dextral conjugates directed N130 to N160 in the EtTnine region as well as some sinistral faults orientated N30 to N70 and their dextral conjugates orientated N155 to N180 in the Ain Jendouba region. This phase, dated from the post-Permian – pre-Trias, is the later stage of the Hercynian Orogeny and it is present everywhere in Central Morocco (El Wartiti, 1990).

5. CONCLUSION

L'analyse tectonique et l'étude de l'auréole métamorphique du granite des Zaêr ont permis de retracer l'histoire géodynamique de la région du pays des Sokhrat et de mettre en évidence le rôle joué par la mise en place de ce massif granitique dans cette évolution. Elle est subdivisée en deux cycles :

– le premier cycle est caractérisé par l'enregistrement de l'interférence de la mise en place du granite des Zaêr (granodiorite et monzogranite) et de l'orogenèse hercynienne qui permettent le développement des plis P1 et P2.

  Les plis P1 d'axe NNE-SSW sont synschisteux accompagnés d'un métamorphisme de contact de type haute température et haute pression qui génère la première andalousite et la zone à cordiérite, et d'un métamorphisme général dans l'encaissant, ceci grâce aux fronts thermiques lors de la mise en place de la granodiorite.

  Les plis P2 d'axe N-S à NE-SW sont asymétriques, accompagnés par des flux de chaleur qui précèdent la mise en place du monzogranite. Ces ondes de chaleur permettent un métamorphisme de contact à l'origine de la deuxième génération d'andalousite et de la rétromorphose de la première, et favorisent la déformation souple, au cours du Permien inférieur engendrant des plis P2. Après la mise en place du monzogranite, dans un encaissant refroidi se développe la schistosité de crénulation S2.

– Le deuxième cycle est caractérisé par l'expression de la contrainte compressive qui se manifeste, en l'absence d'apports thermiques, de façon cassante. En conséquence, la région étudiée est découpée par de nombreux décrochements dextres ou senestres.

La contrainte régionale de direction NNW-SSE à NNE-SSW, d'âge post-Permien–anté-Trias marque la dernière manifestation de l'orogenèse hercynienne, et elle est présente partout au Maroc Central. □

5. CONCLUSION

The tectonic analysis and study of the Zaer granite metamorphic aureole allow to recount the geodynamic history of the country of the Sokhrat region and also to highlight the role the granitic massif formation played in this evolution. It is sub-divided into two cycles:

– *the first cycle is characterised by the recording of the Zaer granite (granodiorite and monzogranite) emplacement interfering with the Hercynian Orogeny; as a result P1 and P2 folds developed.*

  The P1 folds with a NNE-SSW axis are synschistose accompanied by a high grade contact metamorphism that generates the first andalusite and the cordierite zone, as well as by a regional metamorphism in the host rock. This is due to the thermal fronts during emplacement of the granodiorite.

  The P2 folds with N-S to NE-SW axis are asymmetrical and accompanied by thermal events preceding the emplacement of the monzogranite. The thermal events permit a contact metamorphism that is at the origin of the second andalusite generation and of the first generation's retrograde metamorphism. They also favour ductile deformation, during the lower Permian, responsible for the P2 folds. After the monzogranite emplacement, in a cooled host rock, the crenulation cleavage S2 forms.

– *The second cycle is characterised by the expression of compressive stresses that occur, with no thermal inputs, in a brittle way. As a consequence, the study area is divided by numerous dextral or sinistral strike-slip faults.*

The regional stress directed NNW-SSE to NNE-SSW, post-Permian – pre-Trias, indicates the last stage of the Hercynian Orogeny, and it is present everywhere in Central Morocco. □

Références bibliographiques

BOLELLI E., CHOUBERT G., FAURE MURET A., SALVAN H., SUTER G. (1959) - Carte géologique du plateau des phosphates et de la zone synclinale du Tadla 1/200 000. - Notes Mém. Serv. Mines et carte géol., Maroc, nº 137.

DIOT H. (1989) - Mise en place des granitoïdes hercyniens de la Meseta marocaine. Etude structurale des massifs de Sebt Brikine (Rehamna), de Zaêr et de Oulmès (Massif central) et d'Aouli Bou-Mia (Haute Moulouya). Implication géodynamique. - Thèse ès-sci., Univ. Paul Sabatier, Toulouse, 174 p.

EL WARTITI M. (1990) - Le Permien du Maroc Hercynien : étude géologique et implication paléogéographique. - Thèse ès-sci., Rabat, 500 p.

FADLI D. (1990) - Evolution sédimentaire et structurale des massifs des Mdakra et du Khatouat ; deux segments hercyniens de la Meseta marocaine nord-occidentale. - Thèse ès-sci., Rabat, 316 p.

MAHMOUD A. (1980) – Etude pétrologique du granite hercynien des Zaêr (massif central marocain). - Thèse Doct. Etat, Univ. Clermont-Ferrand, 421 p.

MRINI Z. (1985) - Age et origine des granitoïdes hercyniens du Maroc : apport de la géochronologie et de la géochimie isotopique (Sr, Nd, Pb). – Doct., Univ. Clermont II, géochimie isotopique, 156 p.

ROSE F. (1987) - Les types granitiques du Maroc hercynien. – Thèse, Univ. Paris VI, n° 87-53, 381 p.

TERMIER H. (1936) - Etude géologique sur le Maroc central et le Moyen Atlas septentrional. - Notes Mém. Serv. Mines et carte géol. Maroc, n° 33, 1566 p.