

Les Grenats du Mali : métamorphisme hydrothermal

DR. ALAIN ABREAL

1. INTRODUCTION

Depuis près d'une décennie, de très nombreuses mélanites originaires du Mali, au noir très intense et d'une rare brillance, sont présentes sur de nombreux stands dans toutes les bourses de minéraux.

Ces mélanites proviennent de la région de Kayes, au sud-ouest du pays, et plus précisément de Diakon, Nioro du Sahel, Nioro circle à environ 120 km à l'est de Kayes.

Le nom mélanite provient du grec *mêlas* = noir. Sa formule s'énonce $[Ca_3(Fe,Ti)_2((Si, Fe)O_4)_3]_3$. Le magnésium ou le manganèse remplace parfois le calcium, mais surtout la mélanite est une variété d'andradite riche en titane.

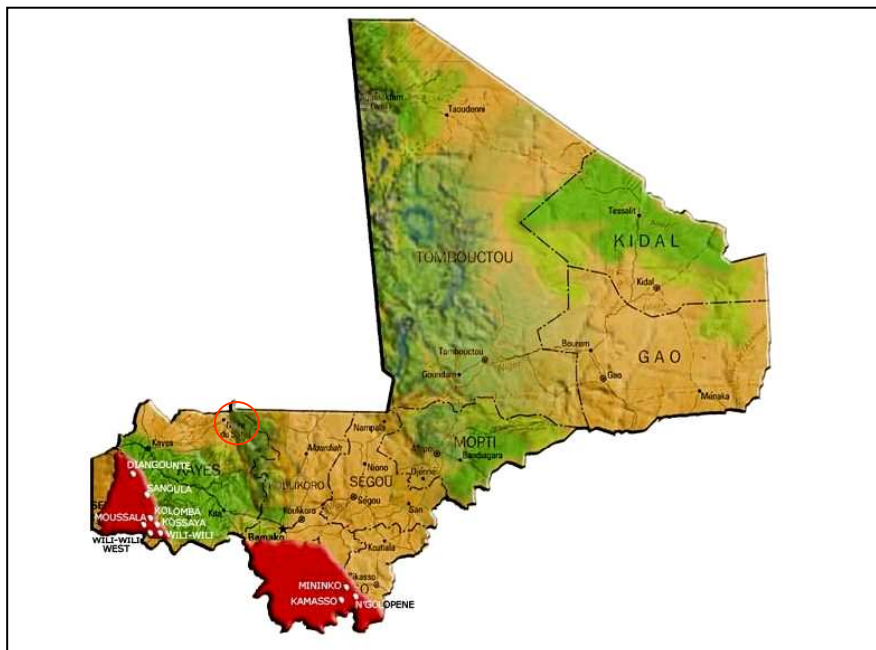


Figure 1 : Mali : Carte politique

2. GENESE

2.1 Orogenèse de collision

L'étude des cartes géologiques montre tout d'abord qu'il y a une orogénèse quasi circulaire autour du golfe du Sénégal.

Il y a quelques 250 Ma, lors de la formation du supercontinent Pangée, l'Amérique du sud et l'Afrique sont entrées en collision. Il en est résulté un plissement en forme d'arc autour du golfe du Sénégal avec inversion de

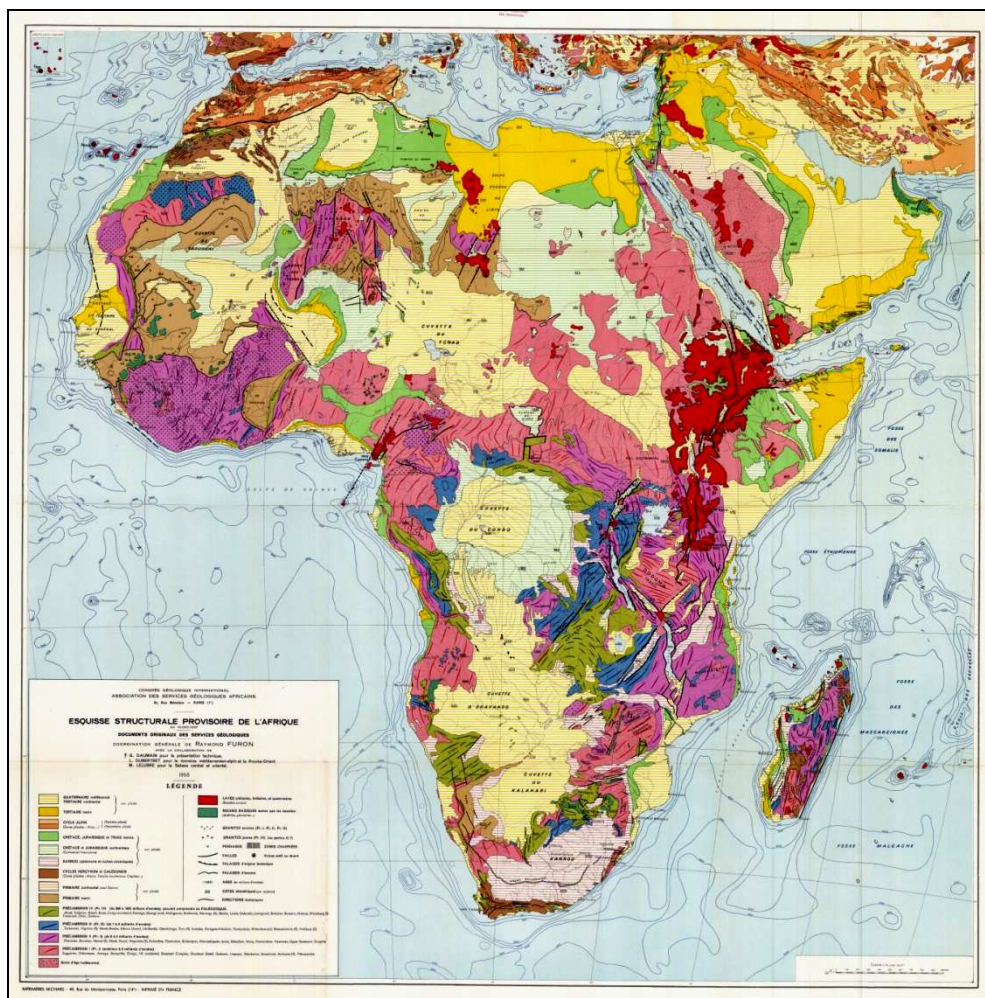


Figure 2 : Mali : Carte Géologique de l'Afrique

certaines couches sédimentaires. Ainsi, le précambrien II (rose) est venu sur le précambrien IV (kaki), le précambrien I (saumon) s'est superposé sur le précambrien IV, et une partie du socle granitique du précambrien est aussi affleurant. Cette zone a donc subi un métamorphisme de collision.

Toutefois, la présence du golfe du Sénégal et le faible relief présent à l'ouest du Mali, atteste que ce métamorphisme ne s'est exercé que sous de faibles pressions. Seule la région de Nioro de Sahel, dont proviennent les mélanites a été davantage affectée par des plissements importants.

2.2 Pétrographie

2.2.1. Associations minéralogiques

Les mélanites du Mali sont très souvent accompagnés d'épidote $\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})\text{Al}_2\text{O}(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})$ et de prehnite $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$. La présence de prehnite permet de confirmer qu'il s'agit bien d'un métamorphisme de moyenne à haute température et de faible pression.

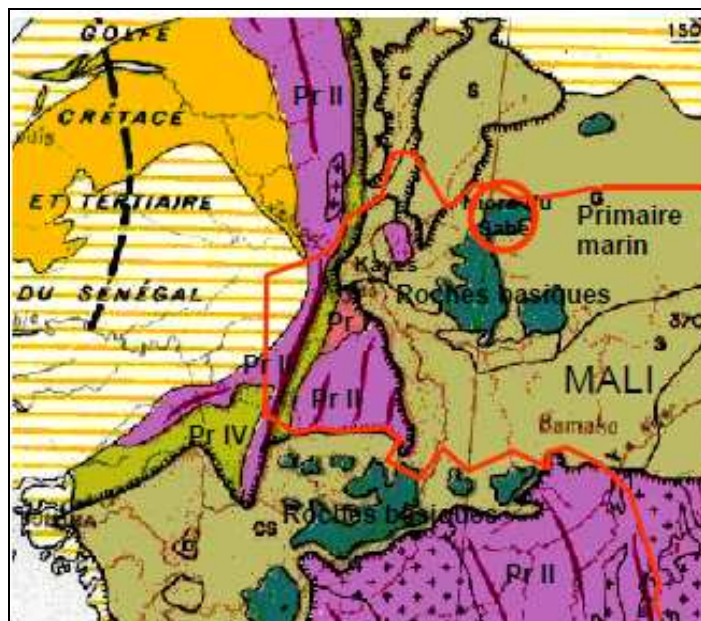


Figure 3: Mali :carte géologique de la région de Kayes

NOTA

Le faciès métamorphique prehnite-pumpellyite est intermédiaire entre le faciès à zéolites et le faciès de schistes vert. Il correspond à des températures comprises entre 120 et 350°C selon les auteurs, pour des pressions allant de 2 à 7 kbar.

2.2.2. Intrusion de roches basiques

La présence simultanée de prehnite et d'épidote indique que la roche mère était mafique (riche en fer et en magnésium). Ces éléments proviennent des roches basiques émergentes constituées de dolérite et/ou de péridotite. La dolérite est une roche magmatique dont la composition est intermédiaire entre le gabbro et le basalte; elle est constituée essentiellement de plagioclases et de pyroxènes. La péridotite est une roche essentiellement constituée d'olivine.

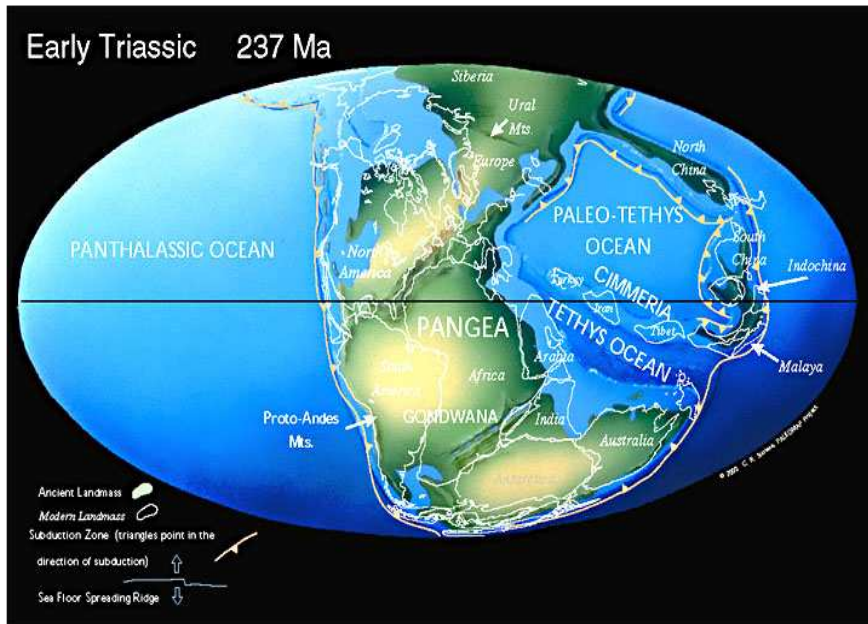


Figure 4 : Mali : Collision responsable du métamorphisme régional

NOTA

Orthopyroxènes : enstatite $MgSiO_3$ -> hypersthène -> ferrosilite $FeSiO_3$
 Clinopyroxènes : diopside $CaMgSi_2O_6$ -> augites -> hédénbergite $CaFeSi_2O_6$
 Olivine : $(Mg,Fe)_2SiO_4$

2.3 Origine de l'eau

Ces roches mafiques sont exemptes d'eau. Pourtant épidote et prehnite renferment dans leur structure, des ions hydroxyles OH. Plusieurs théories peuvent expliquer cette présence d'eau, les principales ont en commun un apport extérieur en eau :

- Eau de mer
 On trouve des sédiments tertiaires marins, au contact des couches du précambrien dans le golfe du Sénégal. La mer était donc bien présente lors du rapprochement puis la collision entre l'Afrique et l'Amérique du sud
- Eau météorologique.
 La zone de Kayes était, il y a 250 Ma lors de la collision continentale, sous l'équateur, avec une végétation abondante. Les eaux météorologiques étaient donc conséquentes.
- Ions hydroxyles présents dans les argiles

La première théorie est de loin la plus vraisemblable. Les eaux marines ont été piégées au sein des roches avant et au début du métamorphisme régional, puis elles ont formées des filons hydrothermaux dont sont fréquemment issus les épidotes et les prehnites.

Les filons hydrothermaux ont permis des enrichissements locaux en titane jusqu'à des teneurs telles que la substitution partielle de Fe^{3+} par Ti^{4+} a été suffisante pour arriver à la cristallisation de mélanite d'une telle qualité.

2.4 Mélanite : andradite de titane

Le titane est présent sous la forme du cation Ti^{4+} . Ce cation est l'un des plus petits de la nature, et son degré d'oxydation est assez élevé, + IV. Sa présence a ainsi deux incidences majeures sur l'aspect des mélanites :

- Les forces de Van der Waals et coulombiennes qui sont associées au cation Ti^{4+} , sont accrues d'une part par sa faible dimension et d'autre part par la charge élevée de Ti^{4+} . Elles tendent à rapprocher les

atomes/ions les uns des autres, augmentant ainsi la densité atomique sur les plans réticulaires. La porosité intrinsèque des grenats mélanites est ainsi plus faible que celle des autres grenats et leur éclat par conséquent, plus brillant.

Cette théorie pourrait être confirmée par la connaissance ou par la détermination précise et statistique de la densité de la mélanite. Malheureusement, on ne connaît que la densité de l'andradite qui ne contient pas de titane.

NOTA

Les forces de Van der Waals sont des forces d'attraction électrostatiques faibles. Mais elles varient en $1/r^6$ (distance entre dipôle à la puissance 6)

Les forces coulombiennes varient en $q+/r^2$, soit 4 x charge de l'électron divisé par le carré de la distance entre ions.

- La présence des cations Ti^{4+} a pour effet de modifier les localisations des charges électriques et crée ainsi des transferts de charge responsables de coloration sombre.

La présence de Ti^{4+} dans le réseau cristallin est facilitée par la petitesse de son diamètre et peut venir en substitution de Fe^{3+} . Mais comme sa charge est différente de celle de Fe^{3+} , il crée des perturbations des champs électriques au cœur de mélanites et rompt les symétries naturelles des grenats. La substitution de Fe^{3+} par Ti^{4+} crée des transferts de charge dans les groupements $Fe^{3+}-O-Ti^{4+}$: les deux électrons extérieurs de l'oxygène, qui sont naturellement stabilisés par la symétrie $Fe^{3+}-O-Fe^{3+}$, sont ici perturbés et peuvent sauter de l'oxygène vers les cations, avec un faible apport d'énergie sous la forme de lumière. Ce transfert de charge est responsable de couleur bleue ou brune selon les minéraux.

De même la substitution de Si^{4+} par Fe^{3+} , nécessaire pour assurer la neutralité électrique du grenat perturbée par la présence de Ti^{4+} , crée de nouveaux transferts de charge.

NOTA

La substitution d'un cation par un autre de degré d'oxydation inférieur, suivi par l'éjection d'un électron provenant d'un anion adjacent peut provoquer l'apparition de trous. Par exemple, dans le quartz fumé, un cation Si^{4+} est remplacé par un cation Al^{3+} . Un anion O^{2-} voisin possède alors un électron e- qui n'est pas mis en valence avec le cation Al^{3+} . Cet électron peut alors être arraché sous l'effet de la lumière, et naviguer de l'un de ses niveaux d'énergie possibles à un niveau supérieur. Ces mouvements de saut de l'électron entre ses niveaux d'énergie causent la coloration, en absorbant la lumière dans le visible.

Un mécanisme analogue par substitution d'un Si^{4+} par un Fe^{3+} conduit à la couleur violette de l'améthyste.

3. CONCLUSION

Le métamorphisme de contact qui a été la source de la cristallisation des mélanites du Mali, a été un métamorphisme régional dû à la collision entre l'Amérique du sud et l'Afrique, il y a quelques 250 Ma lors de la formation du supercontinent Pangée, dans la continuité géographique de l'orogénèse hercynienne

Les conditions PT étaient MT-BP, aux alentours de 450°C sous une pression de 2 à 7 kbars.

Cette collision a débuté en milieu marin, conduisant en plus du métamorphisme, à un mécanisme hydrothermal qui a permis des enrichissements locaux en prehnite-épidote-andradite. Aujourd'hui nous en cueillons les fruits sous la forme des jolies associations de Kayes dans nos collections.

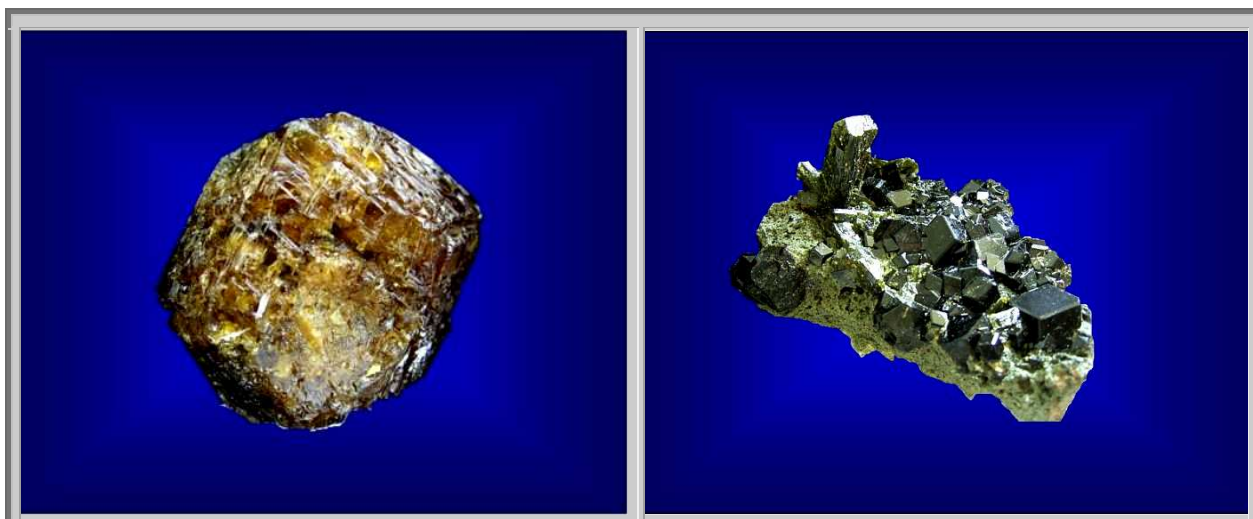


Figure 5 : Mali : gros cristal de grenat (4 cm) montrant les stries de croissance

Figure 6 : Mali, mélanite et épidote