

V.5.5. Le gradient géothermique :

Le gradient géothermique est la variation de la température en fonction de la profondeur ou de la pression et se calcule suivant la formule :

**Gradient = [T° à un niveau inférieur – T° au niveau 0 (surface)] / Profondeur ; il s'exprime en degré C par 100 m ou par Km.**

Il dépend fortement de la proximité du manteau. Avec un gradient moyen de 2,5 jusqu'à 3°C pour chaque 100mètres, la température à 10 Km est comprise entre 250 et 300°C avec des variations dépendant de la nature profonde des roches de la croûte. Par exemple dans les régions stables comme les boucliers continentaux le gradient varie entre 1,5 et 2°C par 100 mètres alors que dans des régions instables comme les zones de subduction on aura un gradient qui peut atteindre 6°C par 100. m.

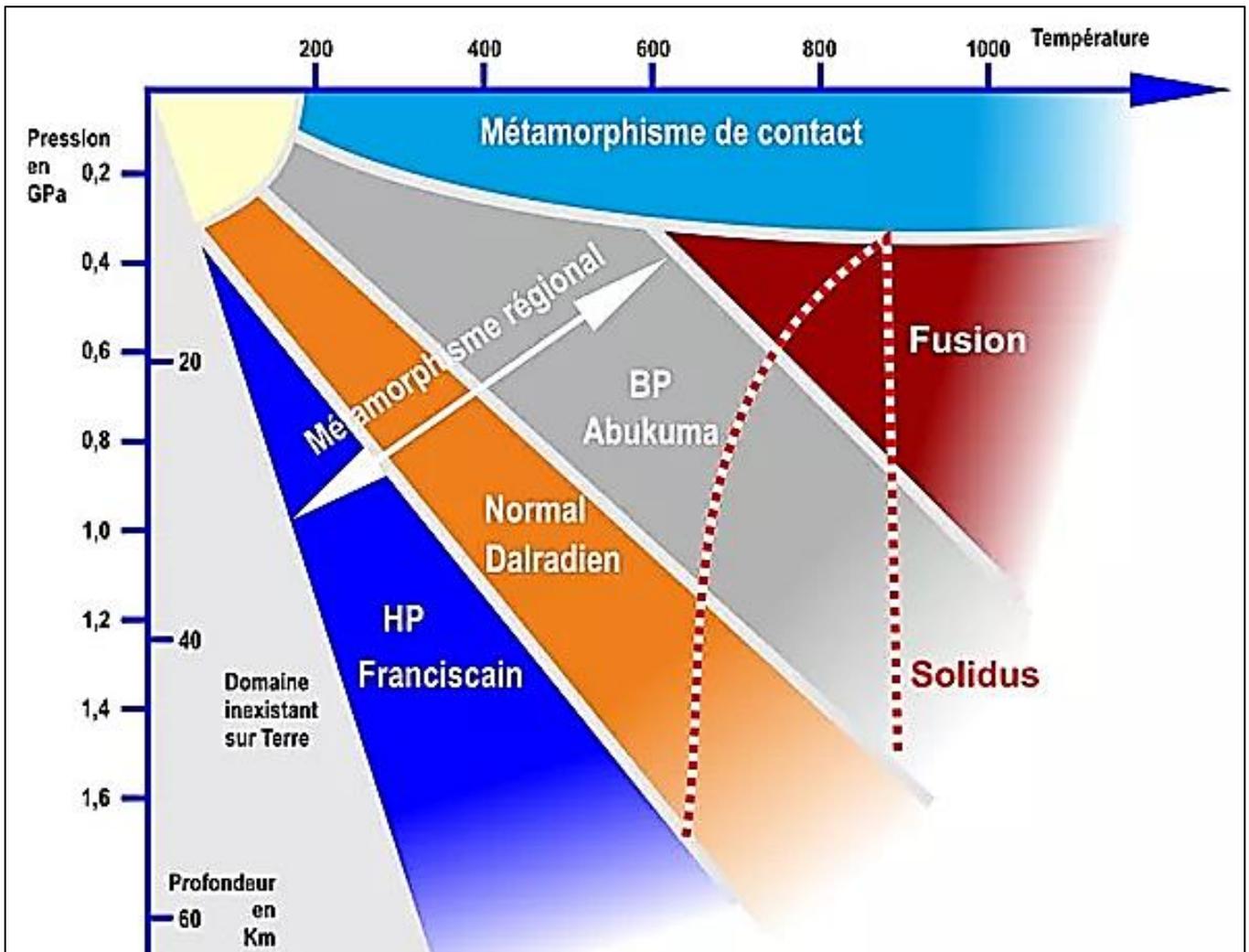


Fig. 66. Gradient métamorphiques et types de métamorphisme (Empruntée depuis le Site de Minéralogie.Club)

Dans une même phase de métamorphisme, ce dernier peut être croissant (prograde), ou décroissant (rétrograde). Le rétro-métamorphisme est marquée par la transformation d'une roche métamorphique (affectée par un métamorphisme plus ancien) dans un faciès minéral plus faible que celui de la roche de départ. (ex : une amphibolite donne une chlorite) :

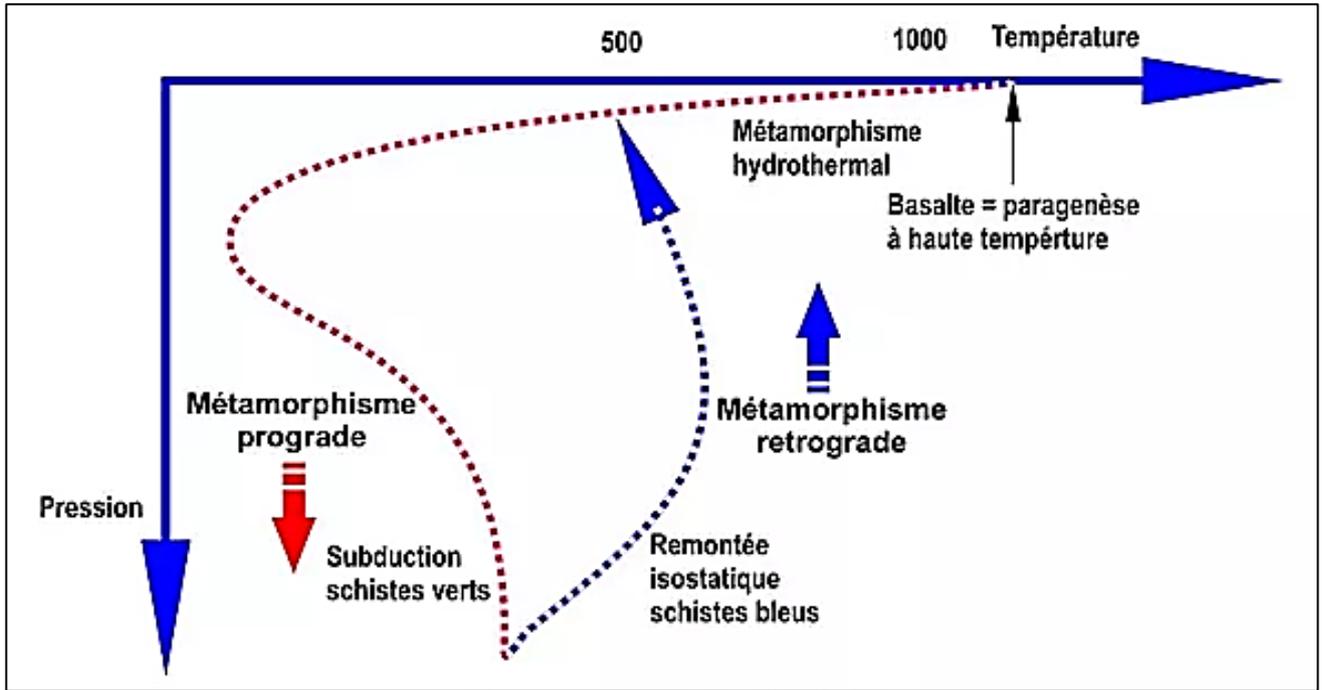


Fig. 67. Phase rétrograde et prograde (Empruntée depuis le Site de Minéralogie club)

### V.6. Séquences métamorphiques :

Le principe de séquence métamorphique est de simplement relier les roches métamorphiques à la roche initiale dont le nom sera précédé par un préfixe méta pour différencier entes les différentes séquences (eg, un métagabbro désigne toute roche métamorphique prenant naissance à partir d'un gabbro).

Plus loin encore, une séquence métamorphique est obtenue par la classification des roches métamorphiques issues de la même roche mère dans le sens croissant du métamorphisme (voir Figure 68).

		— Métamorphisme croissant —>
Séquence	Roche initiale	Roches métamorphiques
Pélitique	Pélites, Argiles	Schistes → Micaschistes → Leptynites
Arénacée	Grès, Arkoses	Quartzites → Gneiss → Leptynites
Calcaropélitique	Marnes	Micaschistes → Amphibolites → Pyroxénites
Carbonatée	Calcaires et Dolomites	Calcschistes → Marbres → Cipolins
Granitique	Granitoides et Laves analogues	Protogine → Gneiss → Leptynites (=Granite chloritisé à texture schisteuse)
Basique	Diorite, Gabbros Basaltes	Schistes → Prasinites → Amphibolites → Pyroxénites

Fig. 68. Exemples de séquences métamorphiques (Foucaut & Raoult, 2010)

### V.7. Métamorphisme de subduction :

Lors de son déplacement dans le fond océanique, la lithosphère s'hydrate par l'infiltration de l'eau dans les fissures. Cette modification en phase solide est un métamorphisme. Sachant que le gabbro est formé de trois minéraux principaux : le pyroxène, le plagioclase et l'olivine, cette dernière va s'hydrater en serpentine et les pyroxènes vont se maintenir en partie mais une partie des pyroxènes et les plagioclases donneront naissance à des minéraux de coloration jaune-verdâtre tels que la chlorite ou l'amphibole. La roche aura une teinte assez verdâtre mais piquetée de blanc. Il s'agit de métagabbro de faciès schiste vert.

Une fois arrivée au niveau de la subduction, la pression et, en moindre part, tandis que la température en surélévation entrainera une déshydratation qui mettra en place de nouveaux minéraux tels que la jadéite et surtout le glaucophane (aperçu sous forme d'auréole autour du pyroxène), la roche est de couleur bleuâtre, on passe aux métagabbros de faciès schiste bleu.

Quand la plaque s'enfonce dans l'asthénosphère, le métamorphisme s'intensifie sous l'effet de la double surélévation de température et de pression qui permettra l'apparition des éclogites dont le minéral caractéristique est le grenat qui paraît rouge en le voyant.

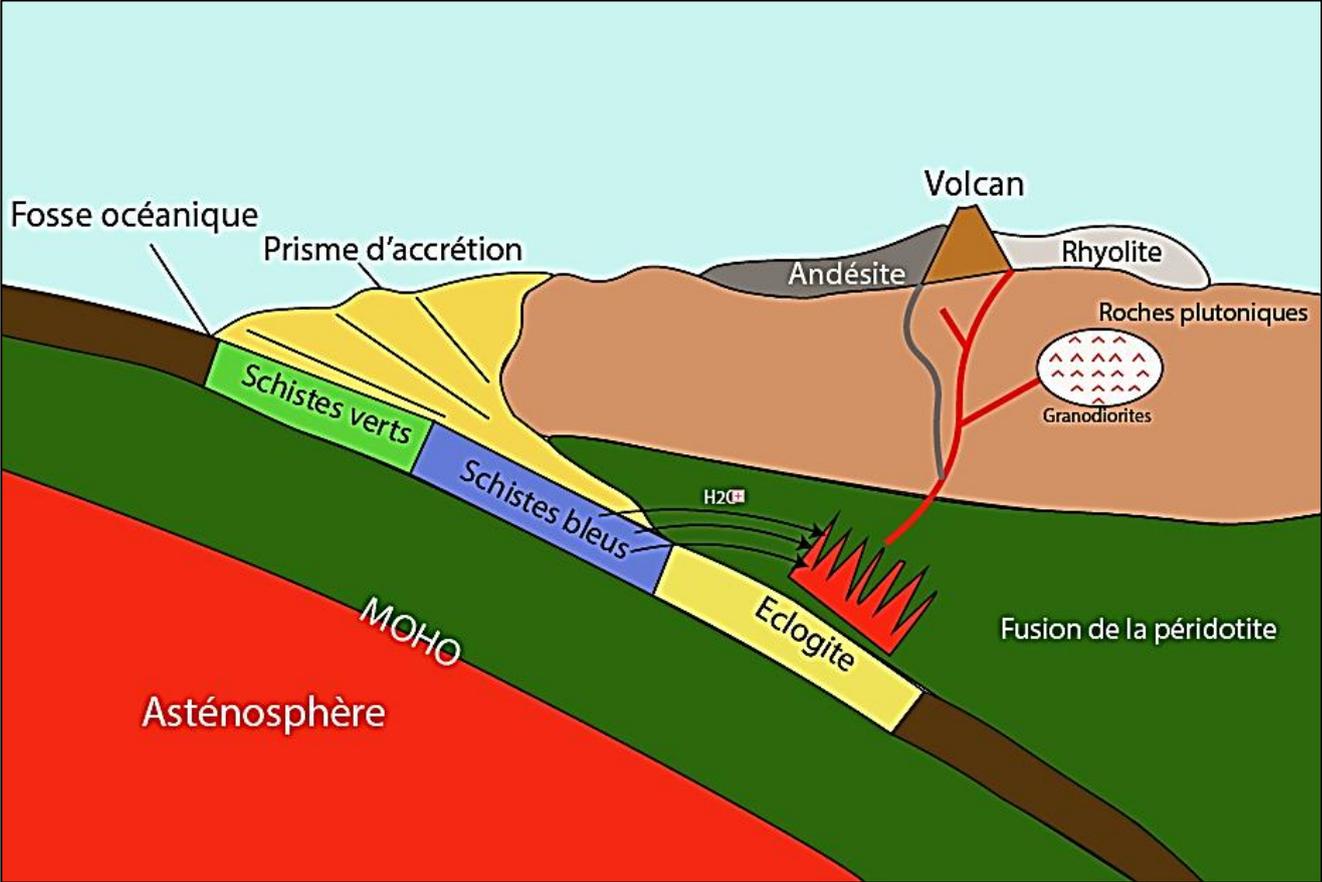


Fig. 69. Le métamorphisme dans la zone de subduction (Modifié depuis svtmarcq blog)

*En Algérie*, L'ensemble du massif de la grande Kabylie constitue un bon exemple de métamorphisme, il a été interprété par Thiebault (1951 in G.Bossière, 1980) comme une série continue allant de gneiss profonds aux micaschistes supérieurs fossilifères ; le métamorphisme était considéré hercynien avant qu'il soit daté calédonien après les travaux de Durand-Delga (1951; 1955; 1967; 1969; 1980), tout en mettant en évidence l'existence de plusieurs stades de métamorphismes paléozoïques.

A partir des assemblages minéralogiques, il apparaît que les différentes unités cristallophylliennes du socle de grande Kabylie présentaient trois (02) types de métamorphisme essentiels :

- Un métamorphisme régional :

Ce premier métamorphisme est repérable à travers tout le socle où tous les différents ensembles de roches ont été affectés par un métamorphisme catazonal, mésozonal et épizonal.

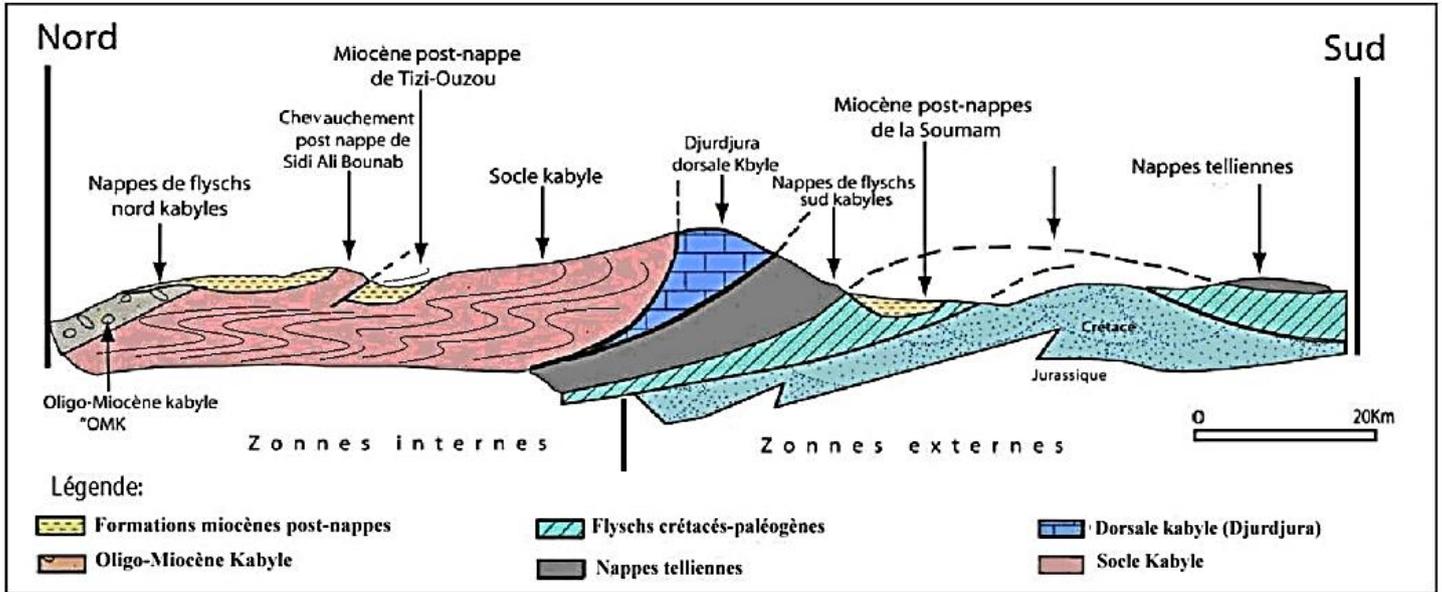


Fig. 70. Coupe synthétique et interprétative N-S de la partie centrale du domaine tellien (Durand Delga et al., 1969 ; modifiée par Aïte, 1994)

Le métamorphisme catazonal :

Il s'est produit dans les endroits plus profonds où régnaient des conditions thermodynamique élevées entre autre, une forte température et une forte pression ayant engendré granulites dans les bandes blasto-mylonitiques, des amphibolites et, partiellement, des gneiss anatectiques (Loumi, 1989).

Le métamorphisme mésozonal :

Il se caractérise par une assez forte température mais une faible pression contribuant à la formation aux gneiss, paragneiss, micaschistes et calcaires cristallins (Benkerrou, 1983).

Le métamorphisme épizonal :

Naturellement, il serait produit par de faibles pression et températures à la limite de la série phyllitique avec des schistes et phyllades (Newton et Haselton, 1981; et Gani, 1988).

- Le métamorphisme de contact : il a pu se produire par les granites de Sidi Ali Bounab, et mettant en place une paragenèse à andalousite + cordiérite + sillimanite + biotite dans la cornéenne localisée au contact granite-encaissant ou en enclave dans le granite.

PERIODE	EPOQUE	INDEX	LITHOLOGIE	PUISSANCE EN (m)	CARACTERISTIQUES DES ROCHES	
NEOGENE	PLIOCENE	N <sub>2</sub>		500	FORMATION POST-NAPPE (CENOZOIQUE)	Argiles bleues, marnes et marnes gréseuses.
	MIOCENE	N <sub>1</sub>		1500		Marnes, grès, marnes gréseuses, conglomérats, loaves, tufs andésito-basaltiques de Cap-Djinet et Dellys. Tufs liparito-dacitiques (Il Motene et El. Kseur), granodiorite (KB), porphyres liparitiques (B) et intrusions sub-volcaniques; dolérites, porphyres et gabbros (λ).
	OLIGO-MIOCENE	e <sub>3</sub> -n <sub>2</sub>		800	OLIGO-MIOCENE KABYLE	Marnes, silexites, calcaires récifaux et conglomérats.
CARBONIFERE		C		200	COUVERTURE PALEOZOIQUE	Schistes noirs, quartzites, grès micacés et quelques niveaux de lydienes.
ORDOVICIEN		O		200		Schistes, grau wackes, silts, tufs rhyolitiques et albitophyes.
CAMBRIEN		C		1000		Schistes verts, grès, conglomérats et silts verts.
PROTEROZOIQUE	MESO-NEO-PROTEROZOIQUE	(M-N)P <sup>sp</sup>		1000	SOCLE METAMORPHIQUE	Schistes et phyllades de couleurs gris ardoise ou bleuté à verdâtre, cipolin et granite.
		(M-N)P <sup>sm</sup>		900		Schistes micacés de couleur violacé ou bleuté soyeux au touchée.
	PP <sup>ms</sup>		1000	Micaschistes à patine sombre, calcaires cristallins et granulite de couleur blanche.		
	PP <sup>m</sup>		1500	Gneiss ocellés massifs, calcaires cristallins massifs, pegmatites et amphibolites.		

Fig. 71. Colonne lithostratigraphique du socle kabyle et sa couverture paléozoïque (Seba et al., 2006)

**Bibliographie**

- Benkerrou, N. 1983.** Etude P-Métamorphique et Structurale du Massif Cristallin d'Oued Ksari (Grande Kabylie – Algérie). Thèse de Magister en Pétrologie-Structurologie. 145 pages.
- Bossière, G. 1980.** Un complexe métamorphique polycyclique et sa blastomylonitisation. Thèse d'Etat, Université de Nantes.
- Bourque, P.A. 2010.** Planète terre. (Cours en ligne en collaboration avec l'Université de Laval, Canada).
- Durand-Delga, M. 1951.** L'âge du métamorphisme général du massif de Petite Kabylie (Algérie). Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, 1951, t.232, p. 745-747.
- Durand-Delga, M. 1952.** Le Sud-Ouest de la Petite Kabylie. Monographie Régi., 19ème Congrès géologique International, Alger, 1ère Série, Algérie, n°10.
- Durand-Delga, M. 1955.** Etude géologique de l'ouest de la chaîne numidique. Publ. Serv. Carte géol. France, XV, n°2.
- Durand-Delga, M. et Foucault, A. 1967.** La Dorsale bétique, nouvel élément paléogéographique et structural des cordillères bétiques, au bord sud de la Sierra Arana (province de Grenade, Espagne). C.R. somm. Géol. Fr., p. 242
- Durand-Delga, M. 1969.** Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie. Bull. Serv. Carte Géol. Algérie, N.S., n° 39.
- Durand-Delga, M. 1980.** La Méditerranée occidentale, étape de sa genèse et problèmes structuraux. Mem.H. Ser.Soc.Geol. France.
- Eskola, P. 1914.** On the petrology of the Orijarvi region in southwestern Finland. Bulletin de la Commission géologique de Finlande, 40, 277 p.
- Eskola, P. 1915.** Om sambandet mellan kemisk och mineralogisk sammansättning hos Orijarvi-traktens metamorfe bergarter [On the relations between the chemical and mineralogical composition in the metamorphic rocks of the Orijarvi region]. Bulletin de la Commission géologique de Finlande, 44, p. 109-145.
- Foucault, A. et Raoult, J.F. 2010.** *Dictionnaire de géologie*, Paris, Dunod, 2010 (réimpr. 1984, 1988, 1995, 2000, 2005), 7<sup>e</sup> éd. (1<sup>re</sup> éd. 1980), 388 p. (ISBN 978-2-10-054778-4), p. 219.

**Gani, R. 1988.** Etude pétro-structurale des massifs cristallins de l'Arbâa Nath Irathen et de Djemâa Saharidj (Grande Kabylie, Algérie). Thèse de Magister, Alger.

**Newton, R.C. et Haselton, H.T. 1981.** Thermodynamics of the garnet–plagioclase–  $Al_2SiO_5$  – quartz geobarometer. In: NEWTON, R. C., NAVROTSKY, A. & WOOD, B. J. (eds) Thermodynamics of Minerals and Melts. Springer-Verlag, New York, 131–147.

**Kitoko, L.M. 2012.** Apport de la thermodynamique à la compréhension des processus métamorphiques. Université de Goma-Graduat en géologie (Mémoire online).

**Loumi, K. 1989.** Etude structurale de la région de Béni-Douala (Grande Kabylie, Algérie). Mise en évidence de mouvements à vergence NW. Thèse de Magister, Alger.

**Savary, V.** Cours de Roches métamorphique (en collaboration avec l'université de lilles) : [http://cours-geosciences.univ-lille1.fr/cours/cours\\_metamorphisme/cours\\_metamorphisme.html](http://cours-geosciences.univ-lille1.fr/cours/cours_metamorphisme/cours_metamorphisme.html)

**Seba, A. 2006.** Rapport finale sur les résultats des travaux de cartographie géologique du socle Kabyle et sa couverture sédimentaire, feuille de Tizi Ouzou à l'échelle 1/200 000).

**Violay, M. 2010.** High enthalpy hydro-geothermal reservoirs: insights from basalt petrophysical properties. Thèse de Doctorat en Sciences de la Terre. Montpellier

### **Sitographie**

**Collège Saint Sophie :** la Météorite (<https://groupejarc.pagespersoorange.fr/chassenon/index.htm>)  
Svtmarcq blog

**Facstaff :** <http://myweb.facstaff.wvu.edu/talbot/cdgeol/Structure/Mylonite/Mylonite.html>

**Mindat :** Granofels : <https://www.mindat.org/min-48633.html>

**Minéralogie.Club :** <https://www.mineralogie.club/geologie-metamorphisme> (Cours en ligne de métamorphisme et de roches métamorphique réalisé par Thebault, L)

**ChristianNicollet. fr :** <http://christian.nicollet.free.fr/page/Figures/phototeque.html> (Cours en ligne de métamorphisme réalisé par Nicollet, C)

**Wikipédia** : - Métamorphisme : <https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9tamorphisme>

- Schistosité : <https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9tamorphisme>

- Schiste : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Schiste>