

Pétrologie de roches métamorphiques

Dr. Aouissi Riadh (2020)

V. Le Métamorphisme

V.1. Le métamorphisme correspond aux changements des paramètres physico-chimiques de la roche suite à l'augmentation de pression et de température. Ce phénomène contribuant à la formation des roches métamorphiques, est endogène (l'intérieur du globe terrestre) et se produit à l'état solide.

La roche initiale peut être magmatique et dans ce cas le métamorphisme est dit **orthométamorphisme**, si elle est sédimentaire on parle de **paramétamorphisme** et si elle est métamorphique on a affaire à un **polymétamorphisme**.

Les modifications texturales et minéralogiques (souvent chimiques) sont provoquées par certains facteurs : la température, la pression de contrainte et la pression partielle des fluides circulants (H_2O et O_2) qui sont responsables de l'apport ou le départ de certains minéraux.

Ces changements en matière de température comme de pression sont liés à des phénomènes de magmatisme (montée du magma) et de phénomènes tectoniques, c'est pour cela que le métamorphisme montre une relation très étroite avec le magmatisme.

V.2. Les facteurs du métamorphisme : en plus du temps, trois facteurs principaux sont responsables de ce phénomène :

- **La température :** ce paramètre peut être généré en fonction de profondeur ou un rapprochement d'un corps magmatique. On reconnaît la relation proportionnelle de la profondeur et la température interne provoquée par le flux de chaleur dû à la désintégration des éléments radioactifs, c'est la géothermie. Dans les conditions normales, le gradient géothermique est estimé à $3^{\circ}C$ pour chaque 100m, il s'agit d'une moyenne qui n'est pas du tout constante, elle peut être élevée dans les zones tectoniquement actives ou de friction ($10^{\circ}C/100m$) ou faible dans les zones d'une activité tectonique modérée tels que les anciens boucliers ($1^{\circ}C/100m$). Ainsi les principales régions qui seront le siège d'importantes variations sur le plan géothermique sont :

- Zones de rifting
- Zones d'accrétion (dorsale océanique)
- Zones de subduction (arc et cordillère volcanique)
- Zones de collision (racine crustale des orogénèses)
- Zones de points chauds (volcanismes intra-plaque)

Il est évident qu'une roche soit un ensemble de minéraux dont chacun constitue un assemblage bien défini de certains éléments chimiques, les atomes de ces éléments chimiques peuvent être arrangés selon un système bien régulier (dans ce cas on parle de systèmes ou formes cristallines en nombre de 7) ou répartis d'une manière irrégulière caractéristique de forme non-cristalline dite amorphe. L'augmentation de température peut varier le nombre et la disposition de ces atomes dans la maille contribuant ainsi à la création d'une nouvelle maille élémentaire (système cristallin) et par conséquent l'apparition de nouveaux minéraux dit néoformés (un nouveau assemblage minéral est dit paragénèse). On signale donc que la température a une grande influence sur la taille des cristaux (proportionnelle à température) ainsi que la nature de cette cristallisation lors d'un métamorphisme,

- **La pression** : plusieurs processus peuvent être à l'origine de l'élévation de la pression :

Origine lithostatique : elle est due au poids de la colonne des roches sus-jacentes qui s'accumulent par un phénomène de subsidence sédimentaire, par chevauchement ou par une subduction. Ce type de contrainte est responsable de l'élimination des vides et des pores existants dans la roche, c'est la compaction qui constitue l'une des deux façons de diagénèse.

Origine hydrostatique : il s'agit d'une contrainte exercée lors de libération des fluides tels que : CO₂ et H₂O.

Origine tectonique : (Pression de contrainte) ce type de contrainte est engendré par des phénomènes tectoniques. Accompagnant les phases de tectogénèse (création de structure : failles) et d'orogénèse (naissance de reliefs : montagnes), il s'agit d'une force orientée par ces mouvements tectoniques.

- **La composition chimique** :

La composition chimique s'avère primordiale dans l'évolution minéralogique d'un métamorphisme bien défini. Dans ce sens on parle d'un métamorphisme isochimique, si la roche métamorphique qui en résulte garde la même composition chimique que celle de la roche originelle. Dans le cas d'apport d'un ou plusieurs éléments ainsi que le départ de certains éléments on parle de métasomatose.

V.3. Les différents types de métamorphisme :

A) Métamorphisme de contact : dans ce type de métamorphisme c'est la température qui joue le rôle principal car ce type s'effectue autour d'un corps magmatique (intrusions) qui constituera la source de chaleur. Du fait de la décroissance du métamorphisme dans le sens de l'éloignement par rapport au corps magmatique, des enveloppes dont chacune correspond à un faciès métamorphique

bien définie se mettent autour de la masse intrusive, *les auréoles*. L'épaisseur de chaque auréole varie de quelques mètres jusqu'à quelques centaines de mètres. Ce type de métamorphisme qui affecte des espaces limités est aussi appelé thermo-métamorphisme.

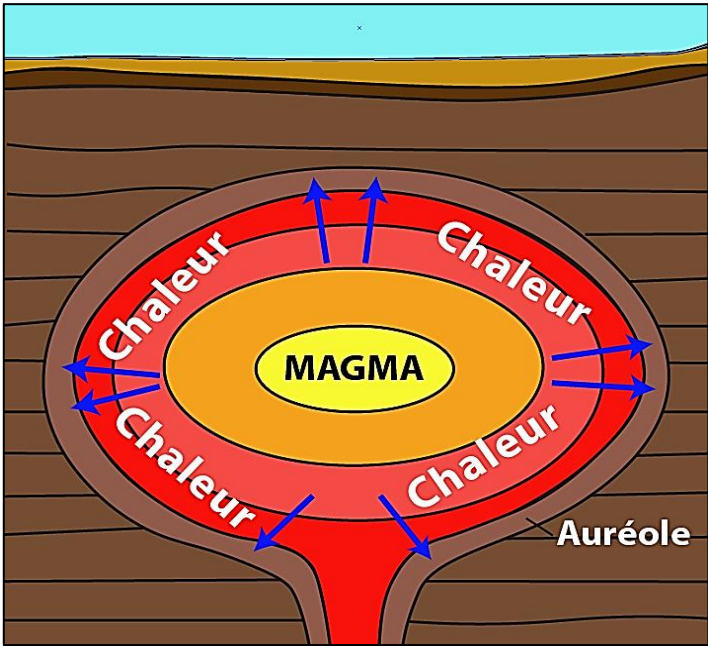


Fig. 52. Métamorphisme de contact (Modifié depuis Wikipédia)

B) Métamorphisme régional : à la différence du premier métamorphisme, l'effet de la pression dans ce cas se fera beaucoup plus sentir. Il se manifeste sur de grandes distances dans les zones d'activité tectonique ou des bassins profonds à la base de séries sédimentaires épaisses (sujet d'une érosion), ainsi ce type de métamorphisme peut être subdivisé en :

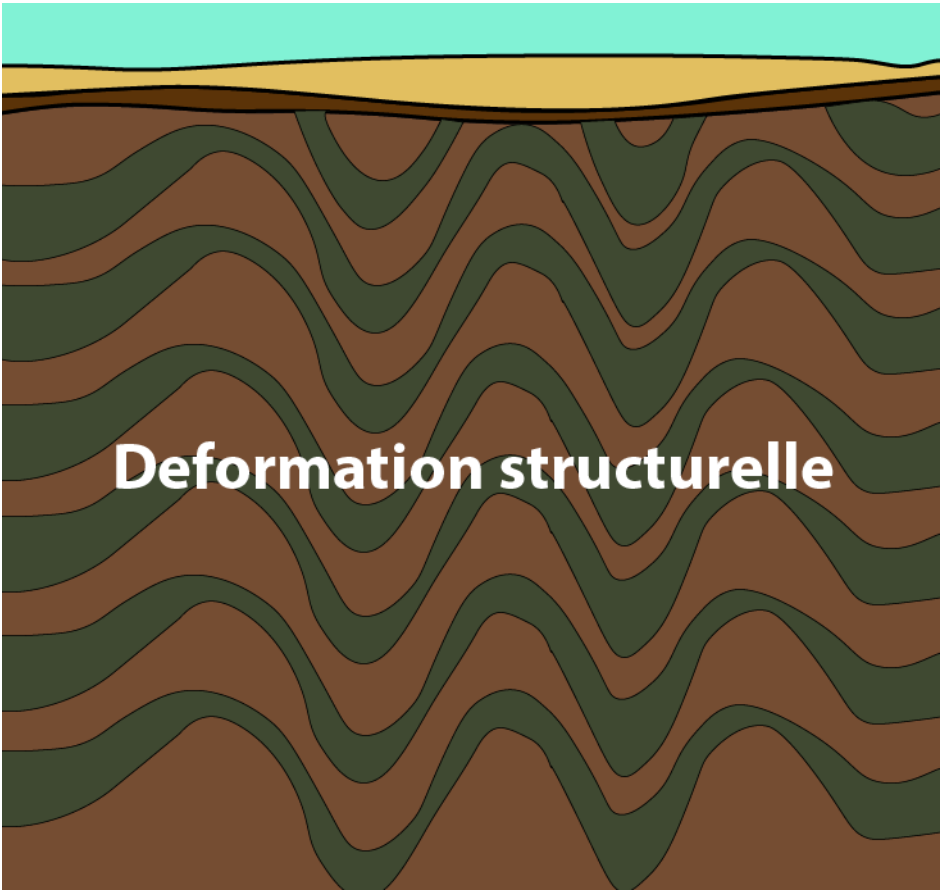


Fig. 53. Métamorphisme régional (Modifié depuis Wikipédia)

Métamorphisme d'enfouissement : il est provoqué par l'empilement des couches sédimentaires dans un bassin profond qui se trouve à la base d'une série sédimentaire bien épaisse. Chronologiquement ce type de métamorphisme se manifeste après la diagenèse mais précède le métamorphisme dynamique.

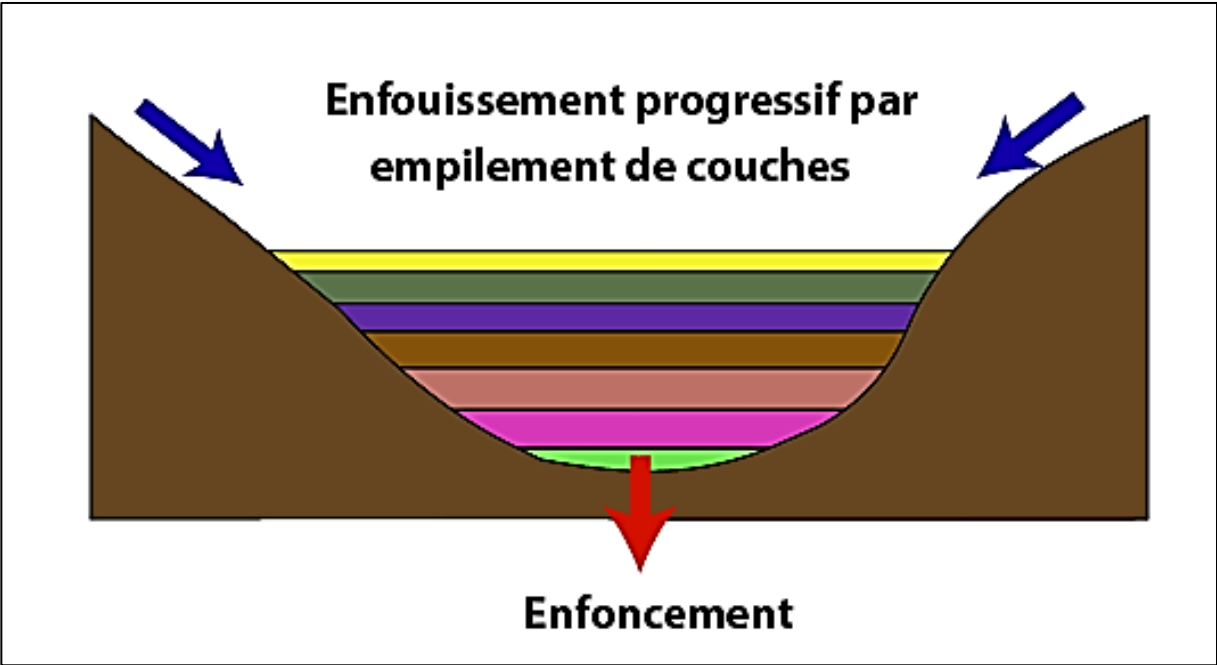


Fig. 54. Métamorphisme d'enfouissement

Métamorphisme thermodynamique : il a le même principe que le métamorphisme précédent, mais s'avère plus intense car il se déroule dans des profondeurs d'enfouissement plus importantes lors de phases tectoniques tel que la naissance de chaînes de montagnes qui exercent des contraintes orientées colossales sur la roche qui se traduit par l'apparition de structures horizontales (Schistosité et foliation).

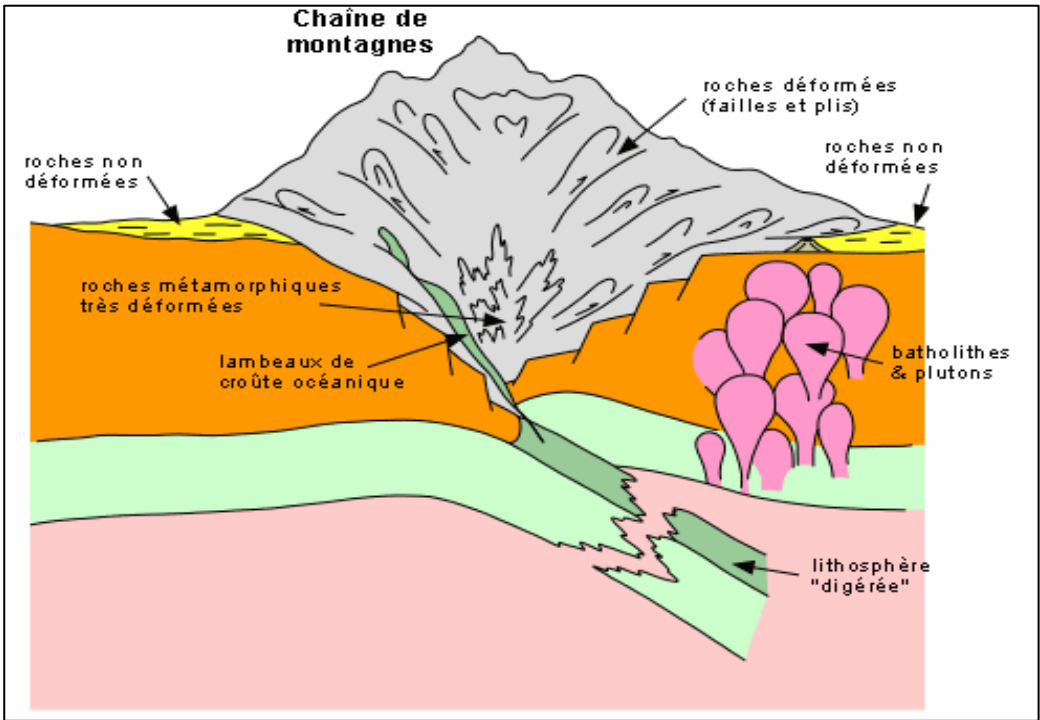


Fig. 55. Métamorphisme thermodynamique (Bourque , 2010)

Métamorphisme dynamique : très limité dans l'espace, ce type de métamorphisme se concentre exclusivement dans les zones de friction qui peut avoir lieu lors de grands accident tectoniques cassants (failles). Les contraintes sont si intenses que les roches sont carrément détruites et broyées donnant naissance aux mylonites.



Fig. 56. Mylonites (Image prise depuis le site de Facstaff)

C) **Métamorphisme hydrothermal** : ce type de métamorphisme est aperçu dans les régions volcaniques où la circulation des fluides de forte température est à l'origine des modifications d'ordre physico-chimique de la roche en apportant de nouveaux éléments.

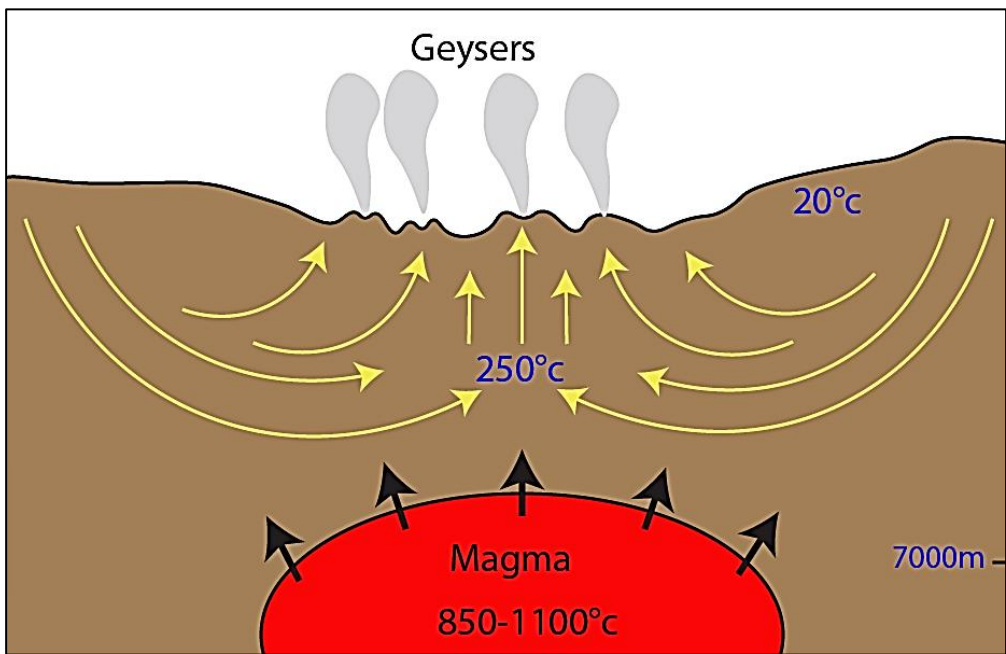


Fig. 57. Hydrothermalisme (Modifié depuis Violay, 2010)

D) Métamorphisme de choc (d'impact) : très rare, il se caractérise par l'apparition des impactâtes qui constituent des roches formées dans des conditions de très haute pression dans la zone d'impact du météorite sur la surface terrestre. Le diamant, la stishovite et la coésite sont des minéraux typiques de ce métamorphisme. Des structures particulières peuvent être causées également par ce phénomène comme c'est le cas du quartz déchiqueté.

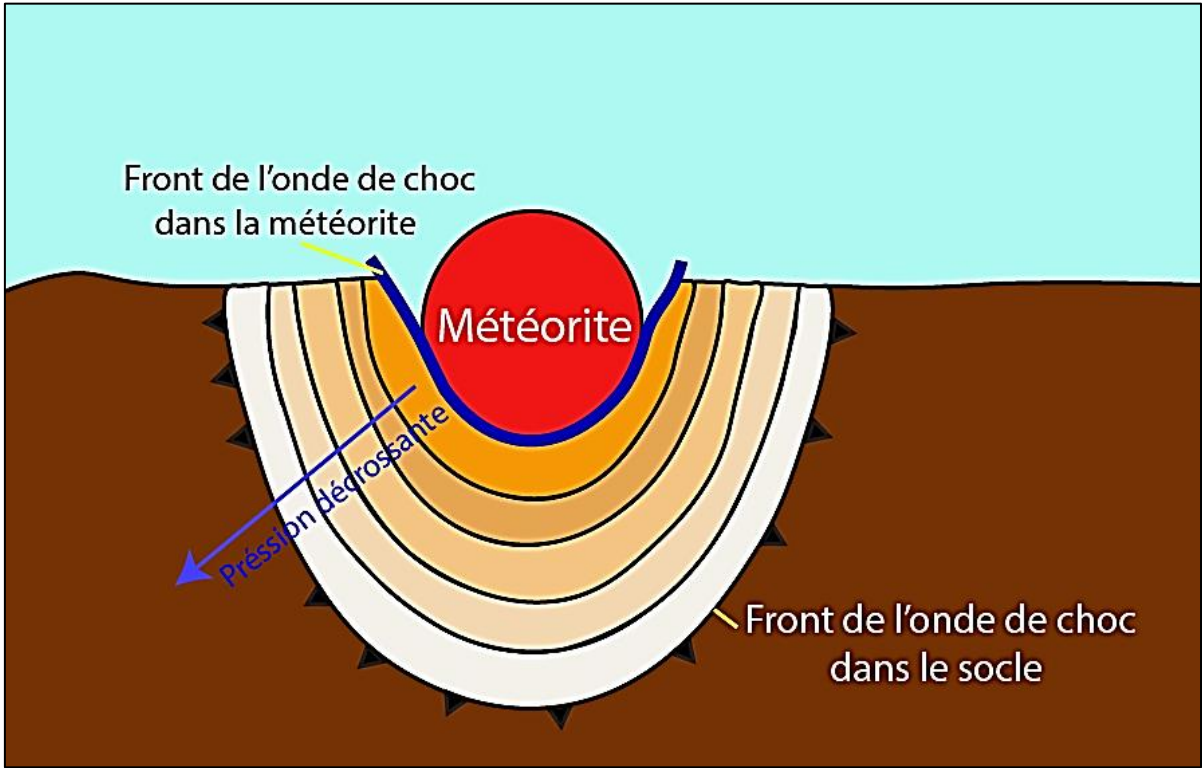


Fig. 58. Métamorphisme de choc (Modifié depuis une image prise depuis le site du collège de Sainte Sophie)

V.4. Les modifications dues au métamorphisme :

Le métamorphisme est un phénomène qui n'est pas directement observable, mais qui peut être mis en évidence par les traces qui laissent derrière lui. Ces traces (modifications) peuvent être des moyens de reconstitution de ce phénomène dont les modifications que les roches ont subies peuvent être d'ordre :

a. Textural : Le métamorphisme entraîne une réorganisation particulière des minéraux et une nouvelle structuration de la roche. En effet, les contraintes orientées contribuent à l'apparition de structures horizontales qui seraient logiquement liées au métamorphisme régional, il s'agit de la *schistosité* et la *foliation* :

La schistosité : elle peut être définie étant un ensemble de plans parallèles équidistants, selon lesquels la roche se débite assez facilement en plusieurs feuillets plus ou moins épais. Ce type de structure caractérise surtout les roches à grains fins tel que les argiles qui auront tendance à s'aplatir sous une contrainte (eg, Schistes).



Fig. 59. Schistosité (Image empruntée depuis Wikipédia)

La foliation : il s'agit d'une structuration en plan mis en œuvre par la réorganisation des minéraux selon une direction bien préférentielle. En comparaison avec la schistosité, les plans de foliation s'avèrent plus homogènes d'où l'alternance de feuillets minéralogiquement différents visibles à l'œil nu, au sein de la roche. Cette alternance dans la minéralogie est traduite par une alternance optique en matière de couleur, d'où l'apparition de niveaux sombre et d'autres plus clairs qui se succèdent (eg, Gneiss).



Fig. 60. Foliation (Image prise depuis le site Mindat.org)

b. Minéralogique :

L'une des caractérisations les plus directes du métamorphisme est la transformation minéralogique de la roche. Cette modification peut être entraînée par la disparition de certains minéraux et la réorganisation de leurs éléments qui les formaient selon de nouveaux systèmes cristallin aboutissant à l'apparition de nouveaux minéraux néoformés qui constitueront la roche, on parle de paragenèse, elle peut être également engendrée par le changement de la composition chimique par apport ou départ de fluides notamment.

V.5. Notions d'isograde, zones et climats métamorphiques :

V.5.1. Les zones métamorphiques :

L'intervalle du métamorphisme est étalé depuis la diagenèse, donc la formation de roches sédimentaires qui s'effectue avec des températures et des pressions bien basses, jusqu'aux premiers signes de fusion de la roche, il s'agit de l'anatexie qui se manifeste sous l'influence de très fortes températures.

Grubenmann mena par le passé une étude à travers laquelle il a essayé d'expliquer le comportement d'une roche sous l'influence de l'augmentation de pression mais aussi de température, par la même occasion il a essayé de classer le métamorphisme selon son intensité en dépendance de la profondeur, cette étude lui a permis de déterminer plusieurs zones dans la région affectée par un métamorphisme régionale où chaque zone se caractérise par l'apparition de nouvelles associations minérales :

- **L'anchizone** : C'est la zone comprise entre la diagenèse et le début du métamorphisme.
- **L'épizone** : Elle correspond au métamorphisme de basse pression et de faible température (200 à 400°C). On y trouve de nouveaux minéraux : laumonite ou zéolite, lawsonite, chlorite, muscovite, biotite, grenat, almandin, andalousite.
- **La mésozone** : Elle est le siège d'un métamorphisme moyen avec des températures allant de 400°C jusqu'à 600°C. Elle se caractérise par l'apparition de biotite, muscovite, staurotide, amphiboles et disthène.
- **La catazone** : Elle caractérise un métamorphisme intense avec des températures dépassant les 650°C, et s'effectue dans des profondeurs de plus de 25km. Sillimanite et disthène sont des minéraux caractéristiques de cette zone.

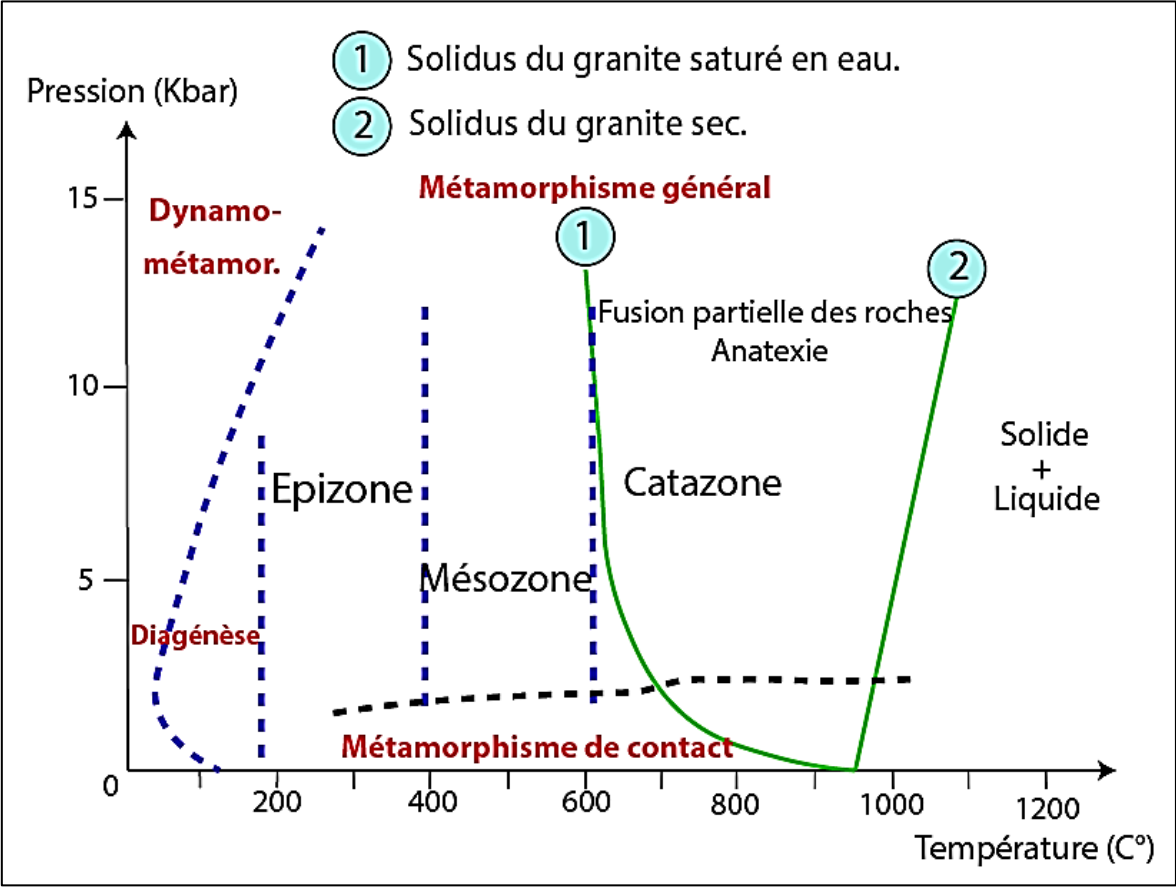


Fig. 61. Domaine température-pression du métamorphisme : notez que la catazone correspond au domaine de fusion des roches saturées en eau. Le domaine à gauche de l'épizone est le domaine de la diagenèse. (Modifié depuis le cours de roches métamorphiques par Savary)

Dans ce contexte deux notions frappent à l'esprit, notamment l'*isograde* défini comme un plan constant, délimitant les différents domaines métamorphiques et déterminé grâce à l'apparition et disparition de certaines associations minéralogiques ainsi que la notion du *climat métamorphique* qui correspond à un intervalle bien défini de température et de pression qui sera favorables à la formation d'une gamme bien défini de minéraux.

V.5.2. L'isograde :

L'isograde est une limite qui correspond à un degré d'intensité dans le métamorphisme. Ainsi, il délimite les zones qui seront marquée par l'apparition successive de certains minéraux.

Eg. Dans un assemblages minéralogiques constituée de : chlorite, biotite, staurotide, disthène et sillimanite, la zone où apparait la biotite et la chlorite correspondrait à un métamorphisme plus faible que celui permettant la création le staurotide.

Cette limite appelée isograde, peut être négative (-) si on assiste à la disparition d'un certain minéral ou positive (+), si un nouveau minéral apparait.

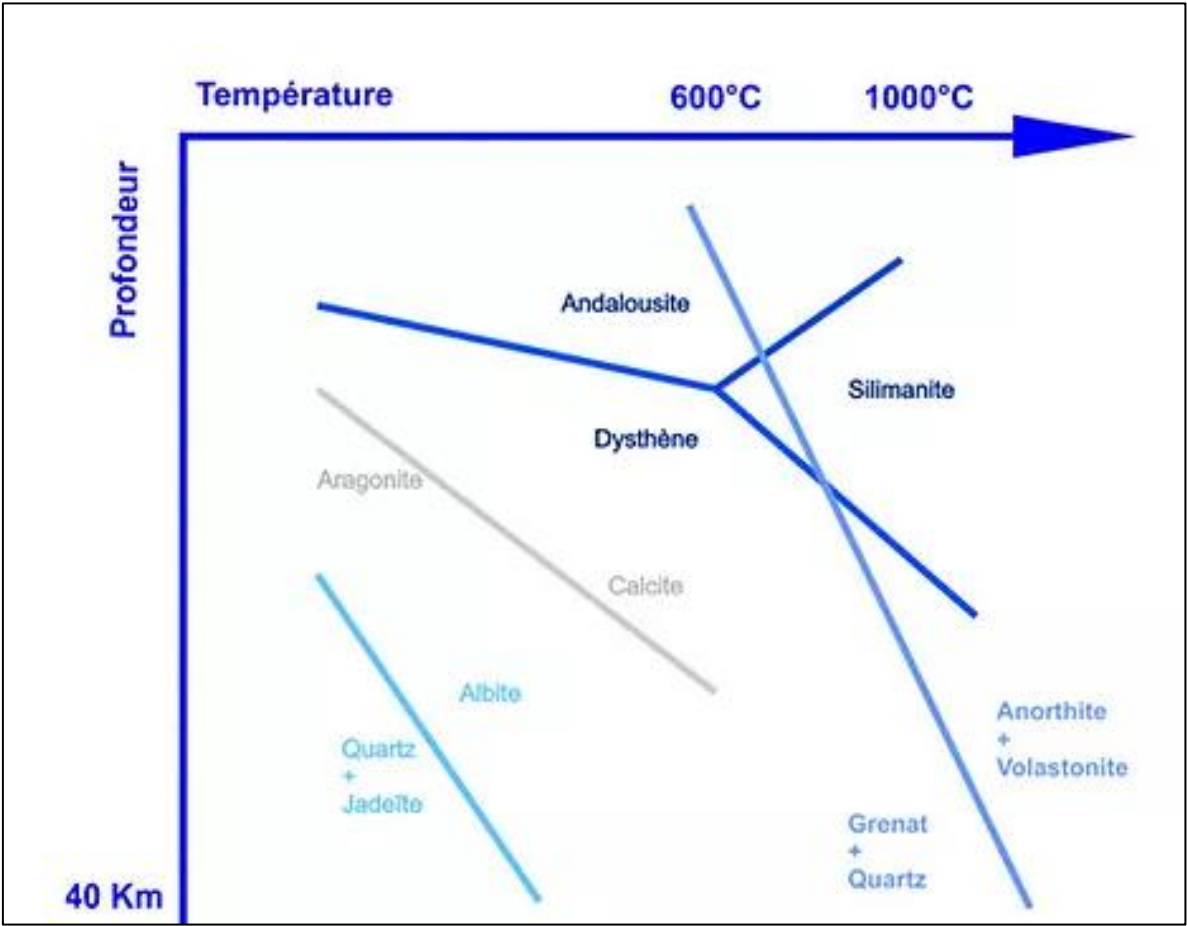


Fig. 62. Isogrades (Empruntée depuis le Site de Minéralogie.Club)

V.5.3. Faciès métamorphique :

Un faciès est un regroupement de minéraux possédant des conditions de formations voisines et qui caractérisent plus ou moins la composition de la roche.

Il regroupe les paragenèses minérales caractéristiques d'un domaine pression-température déterminé (Eskola, 1914; 1915).

Un assemblage minéralogique bien défini peut fournir de précieuses informations sur les conditions de pression et de température dans lesquelles le métamorphisme a eu lieu.

Ainsi, sur terrain, les minéraux de n’importe quel faciès peuvent nous aider à mener une étude sur le métamorphisme et donc mettre la lumière sur les différentes caractéristiques du métamorphisme aboutissant à la formation de ce même faciès.

Les noms des faciès sont déterminés par des noms de roches métamorphisées dans les conditions de température et de pression caractéristiques du faciès. Il existe 7 principaux faciès minéraux :

- le faciès à zéolites (analcime, heulandite, laumontite), caractérisant un métamorphisme de faibles températures et pressions ;
- le faciès des cornéennes (pyroxène, absence de grenat), coïncidant avec un métamorphisme de très faibles pressions mais de fortes températures ; ce faciès est lié à un métamorphisme de contact ;
- le faciès des schistes verts (épidote, chlorite, actinote), mis en place par un métamorphisme de faibles pressions (100-900 MPa) et de températures moyennes (200-500 °C) ;
- le faciès des schistes bleus (glaucophane, épidote, actinote), lié à un métamorphisme de pressions moyennes (600-1 400 MPa) et de températures moyennes aussi (200-500 °C) ;
- le faciès des amphibolites (plagioclase, hornblende), associé à un métamorphisme de pressions moyennes (200-1 300 MPa) et des températures moyennes également (400-800 °C) ;

Faciès	Minéraux caractéristiques
Schistes verts	Chlorite, épidote, albite
Amphibolite	Albite, épidote, Hornblend
Granulite	Pyroxène, grenat
Schistes bleus	Glaucophane, lawsonite
Eclogite	Pyroxène sodique, grenat

Fig. 63. Minéraux caractéristiques des faciès métamorphiques (Empruntée depuis le Site de Minéralogie.Club)

– le faciès des élogites (omphacite, grenat, jadéite, coésite), coïncide avec un métamorphisme à de très hautes pressions (de 900 à plus de 2 200 MPa), et des températures moyennes (300-1 200 °C), logiquement il se déroulerait en très grandes profondeurs.

– le faciès des granulites (pyroxène, grenat), correspondant à un métamorphisme de très hautes températures (supérieures à 700 °C) et de pressions moyennes (200-1 800 MPa).

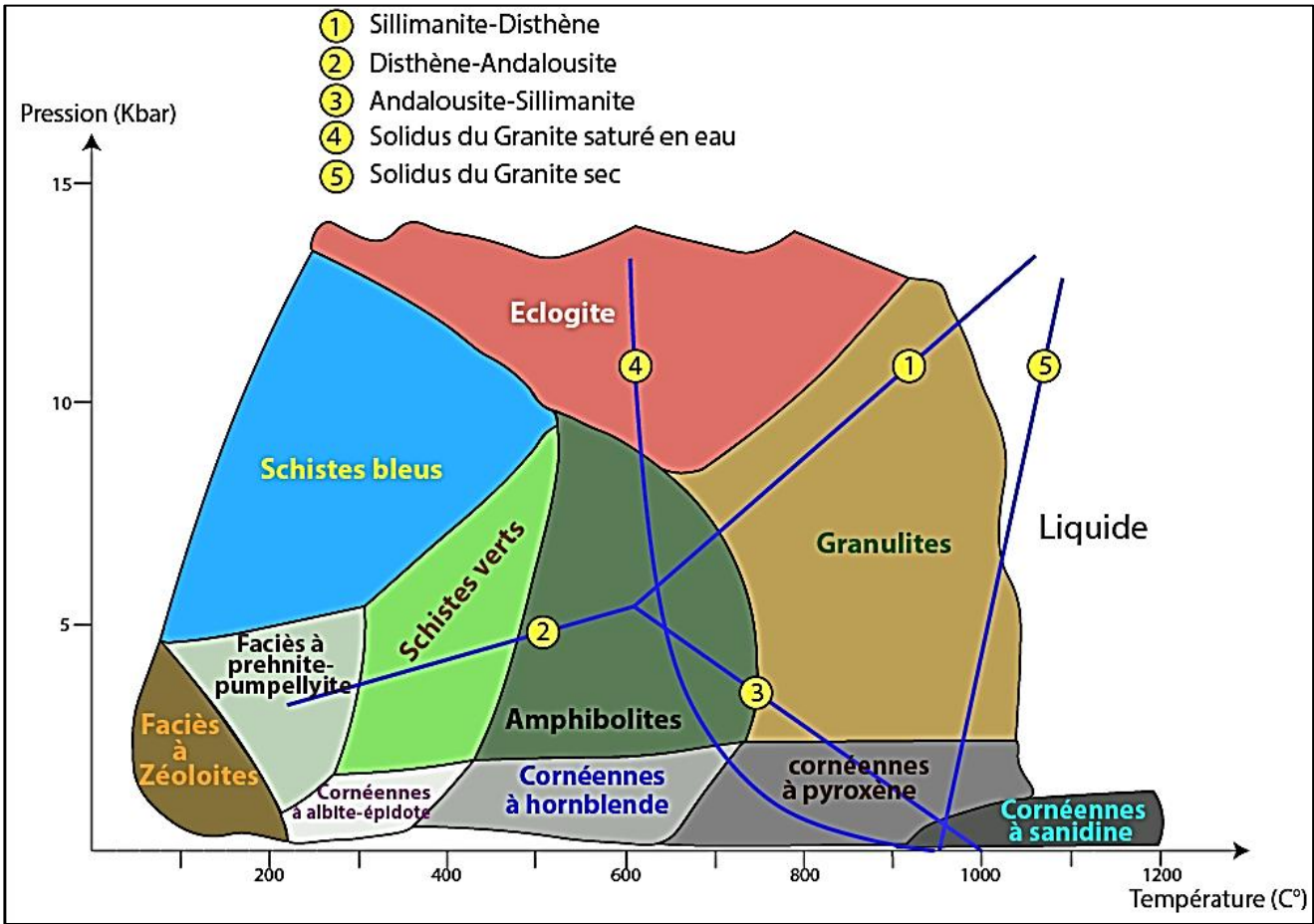


Fig. 64. Faciès métamorphiques selon température et pression (Modifié depuis Kitoko, 2012)

V.5.4. Les climats métamorphiques

Ils concernent la succession des étapes d'un métamorphisme. Selon son origine un métamorphisme ne va pas évoluer de la même façon.

On peut considérer plusieurs climats métamorphiques. Ils sont définis selon :

- un métamorphisme de basse pression et haute température (Type Abukuma) :

Il est caractérisé par le passage Andalousite/Sillimanite et la fréquence de la cordièrite. Il correspond à un gradient géothermique important ($10^{\circ}\text{C} / 100\text{m}$). Ce climat concerne le métamorphisme de contact ou celui qui a lieu dans les zones de friction.

- un métamorphisme de pression et température moyennes (Type Barrowien) :

Il est caractérisé par le passage Disthène/Sillimanite et la fréquence du grenat. Il correspond à un gradient géothermique normal ($3^{\circ}\text{C} / 100\text{m}$). (ce climat concerne le métamorphisme localisé dans les orogènes de collision.

- un métamorphisme de haute pression : Caractérisé par la présence de schistes bleus, il correspond à un gradient faible ($1^{\circ}\text{C} / 100\text{m}$).

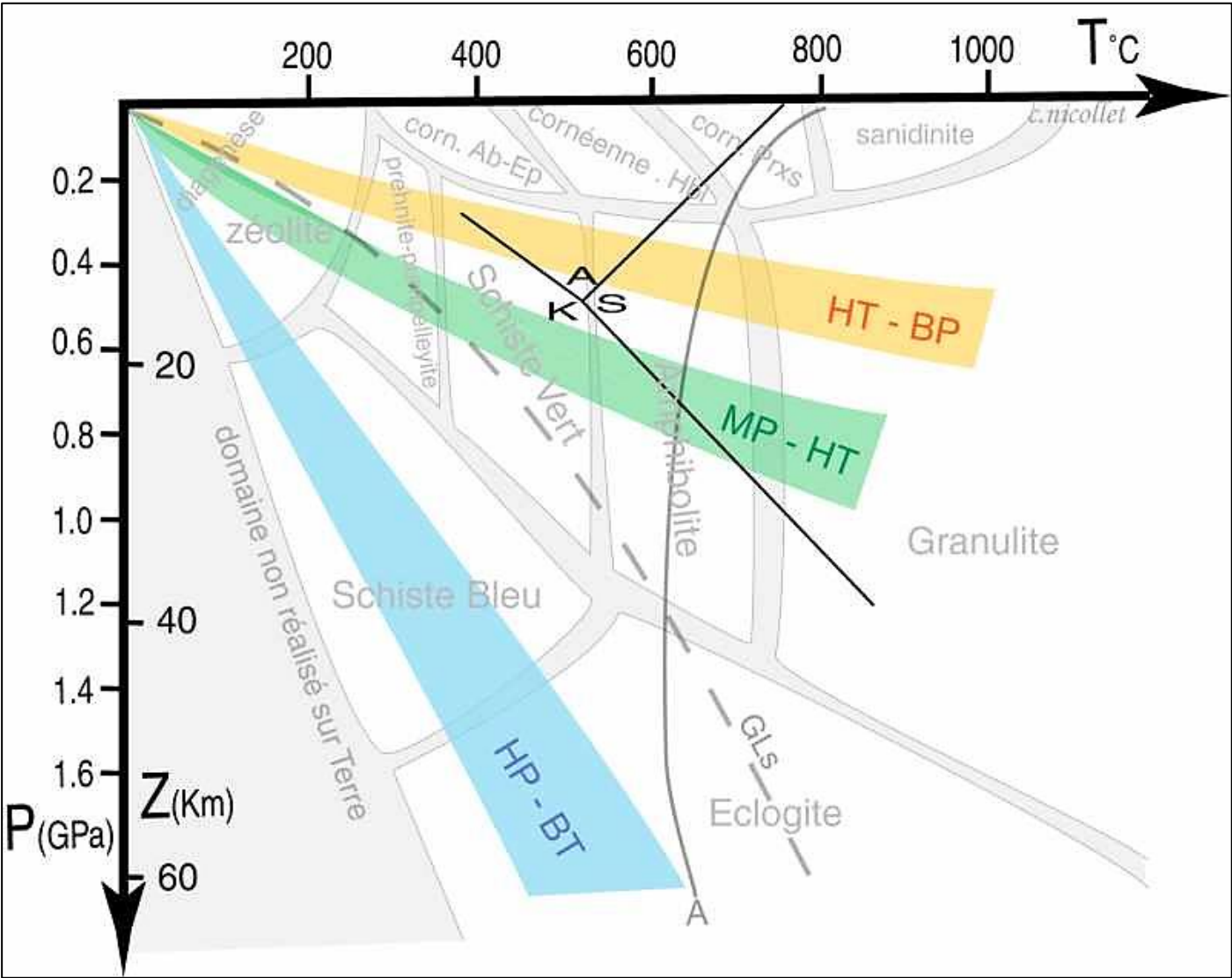


Fig. 65. Faciès métamorphiques selon température et pression (Empruntée depuis le Site de C. Nicollet)

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.

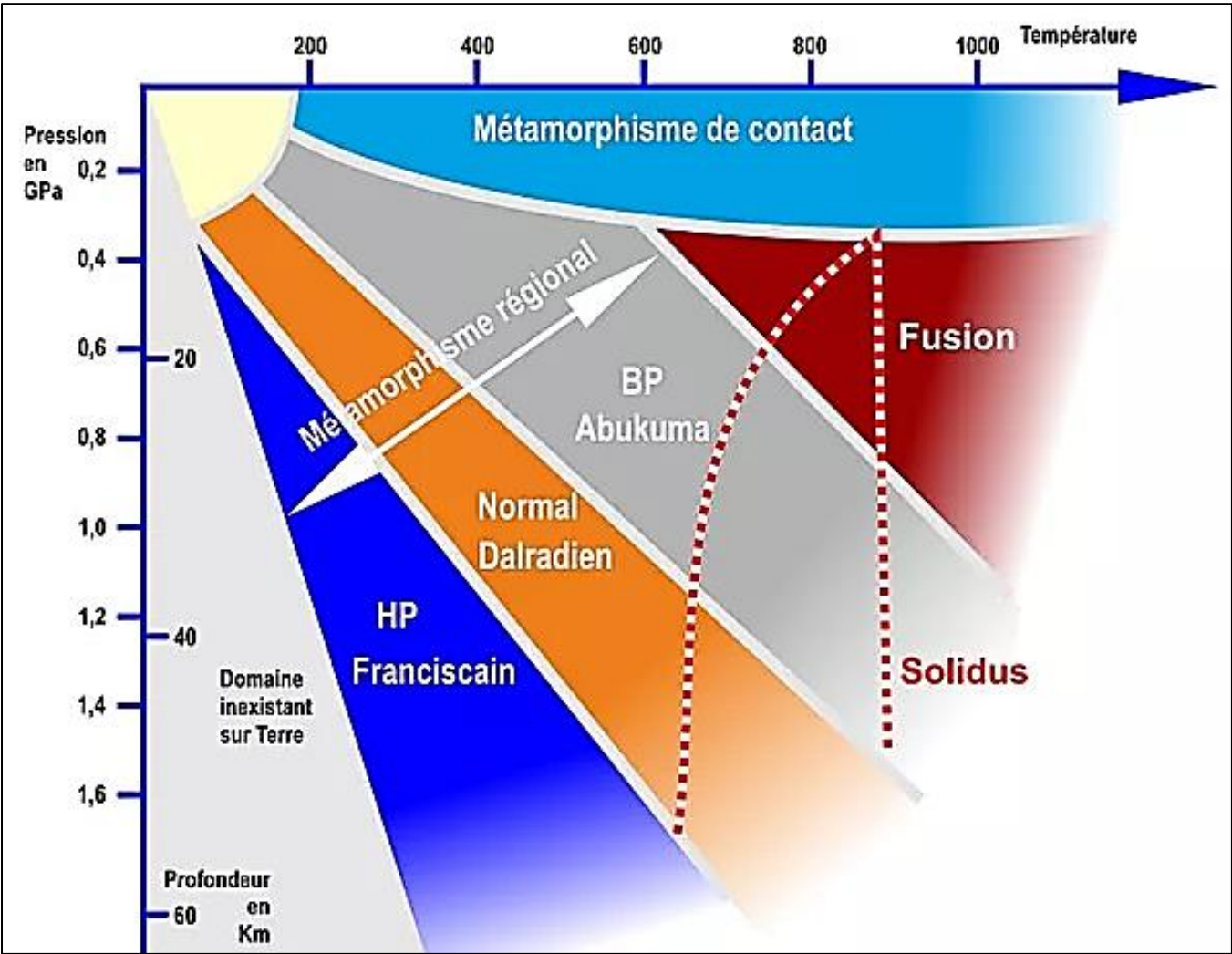


Fig. 66. Gradient métamorphiques et types de métamorphisme (Empruntée depuis le Site de Minéralogie.Club)

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) :

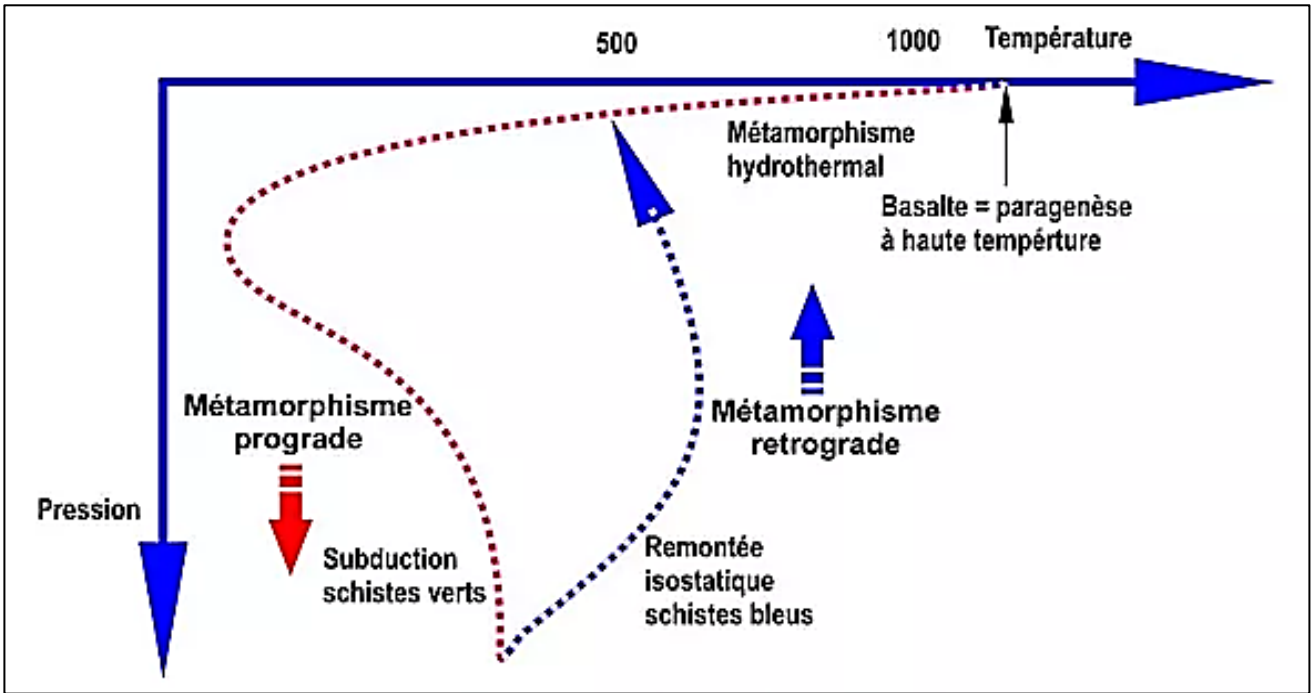


Fig. 67. Phase rétrograde et prograde (Empruntée depuis le Site de Minéralogie club)

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).

		————— Métamrphisme 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.

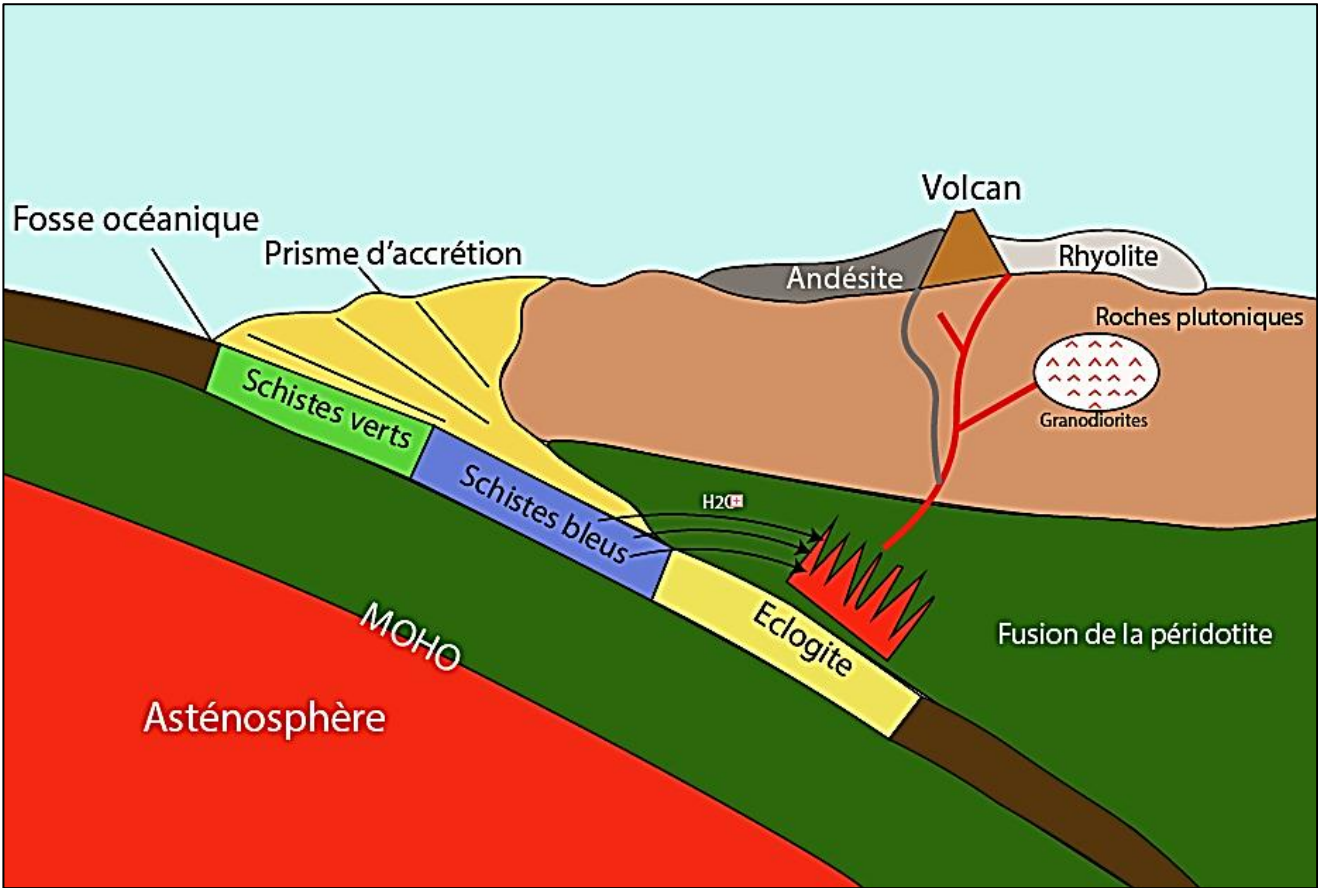


Fig. 69. Le métamorphisme dans la zone de subduction
(Modifié depuis svtnarcq blog)

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.

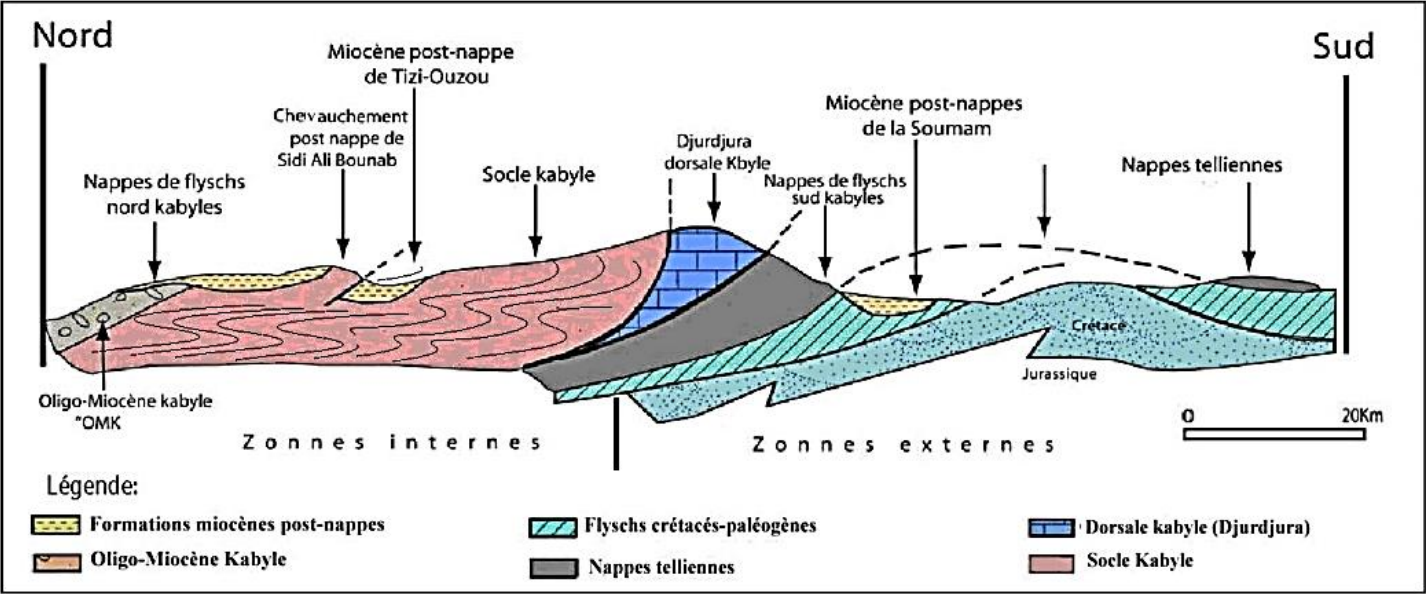


Fig. 70. Coupe synthétique et interprétative N-S de la partie centrale du domaine tellien (Durand Delga et al., 1969 ; modifiée par Aïte, 1994)

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 se 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.

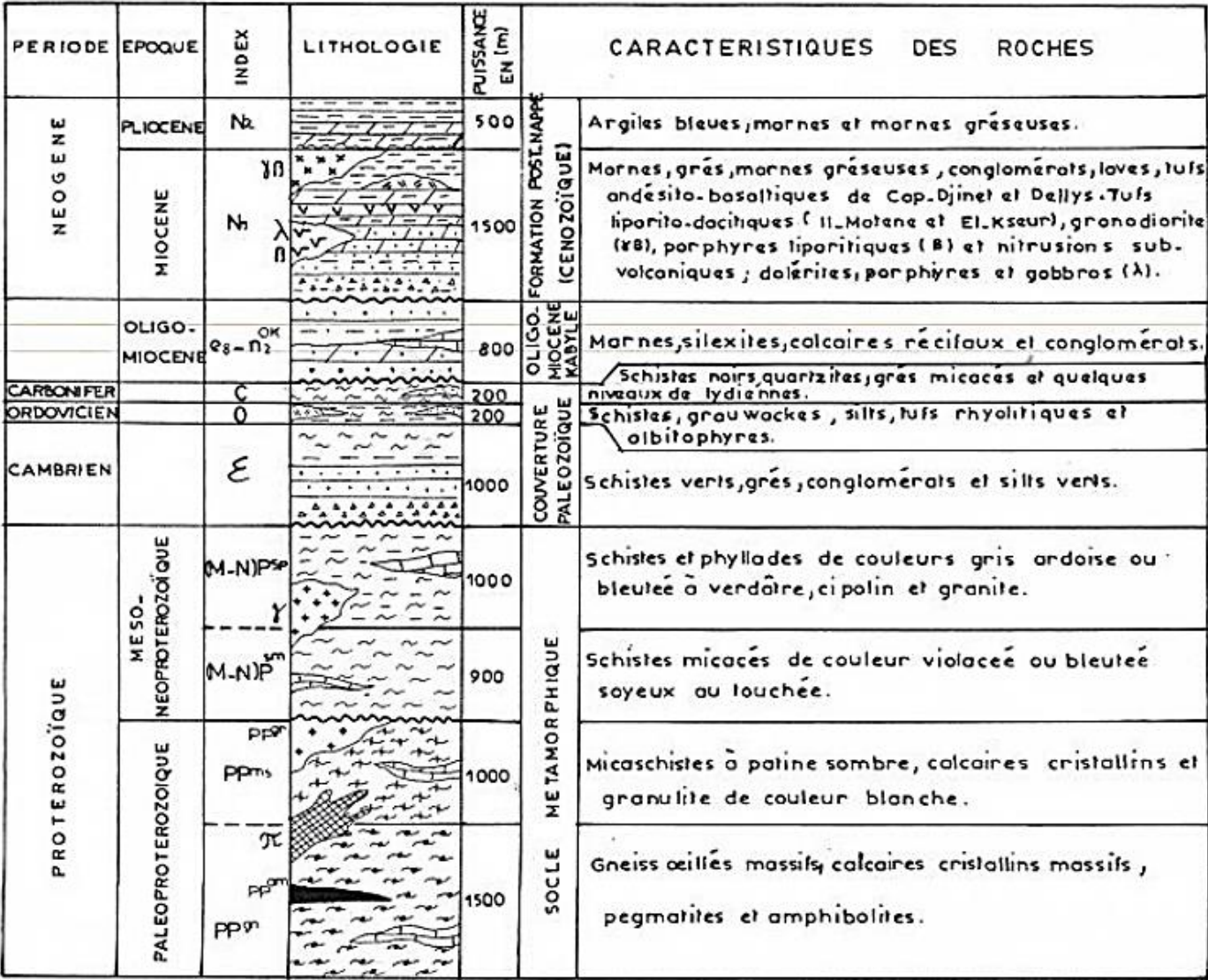


Fig. 71. Colonne lithostratigraphique du socle kabyle et sa couverture paléozoïque (Seba et al., 2006)

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 Rég., 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 sammansattning 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^e éd. (1^{re} 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

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>