© Jürg Meyer 2010
www.juerg-meyer.ch

Métamorphisme et roches métamorphiques

En relation spécifique aux Alpes et à la formation des Alpes

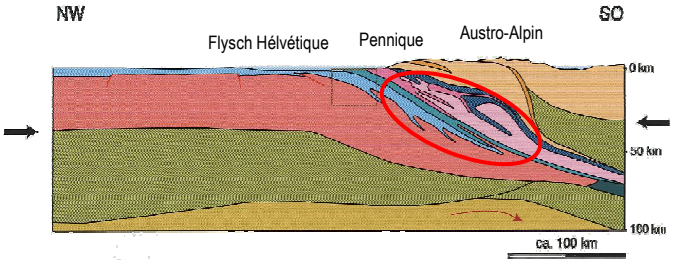
De quoi s'agit-il ?

Les roches métamorphiques se forment par recristallisation à l'état solide (c'est-à-dire sans fondre !) à partir de roches existantes, quand ceux-là sont exposées à des températures et pressions élevées – ce qui es normalement le résultat de processus tectoniques.

Les gammes de températures et pressions du métamorphisme de roches terrestriques sont de env. 150 °C / 1'000 bar jusqu'à env. 800 °C / 35'000 bar. Pression et température augmentent avec la profondeur de la croûte terrestre, et le taux de croissance (le gradient géothermique) varie entre env. 15 °C par km (p.ex. en zones de subduction) jusqu'à env. 100 °C par km (p.ex. en régions volcaniques).

On distingue deux types principaux de métamorphisme

Métamorphisme régional	**Métamorphisme de contact**
Les roches sont transmis à des régions plus profondes dans la croûte, p.ex. dans des zones de subduction ou à l'occasion de processus de collision de plaques (orogenèse), ce qui résulte à des températures et pressions élevées.	Les roches sont chauffées par du magma qui monte dans la croûte, sans que les roches sont transmis à des régions plus profondes.



Profile à travers des Alpes en formation, il y a 35 mio. d'années. Dans les nappes qui se chevauchent les roches sont métamorphisées, lié à la formation d'une schistosité dans les roches qui contiennent des micas ou des minéraux similaires.
Aus: Marthaler, Le Cervin est-il Africain, 2001

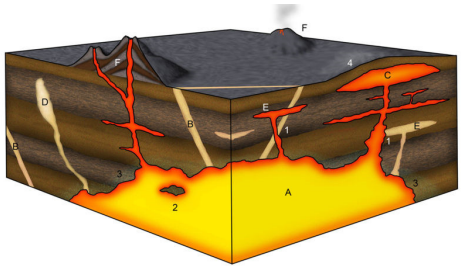


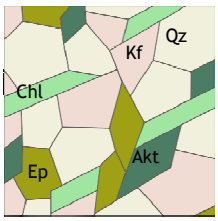
Diagramme bloc d'une chambre magmatique, avec des intrusions montants et des pipes volcaniques. Les roches autour les zones rouges souffrent un métamorphisme de contact
Source: Wikipedia

Il y a encore des cas spéciaux: métamorphisme de dislocation, de choque et hydrothermale, qui ne sont pas traités ici.

Qu'est-ce que se passe-t-il lors du métamorphisme?

Lors d'une transformations métamorphique les roches changent leur composition minéralogique et/ou leur structure, mas pas leur composition chimique – avec une exception importante : à des températures croissantes les roches perdent de l'eau **H_2O**, qui est fixé dans des minéraux à des températures plus basses. Les roches deviennent plus « sèches ». Le H_2O influence la vitesse des réactions métamorphiques d'une manière cruciale : le plus les roches sont « sèches », le plus les réactions deviennent plus lentes. C'est la raison principale, que les roches métamorphiques, après avoir atteintes le « peak » de métamorphise, ne vont normalement pas réagir « en retour » vers leur minéralogie originale, si les températures et pressions diminuent à cause du soulèvement des roches. Si présent, on appelle de tels réactions « en retour » le métamorphisme rétrograde.

Exemple d'une réaction métamorphique dans un métabasalte



Schiste vert ou prasinite

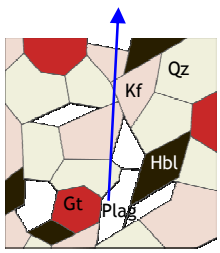
chlorite
+ actinote
+ épidote

réaction métamorphique prograde
Transition du facies schiste vert auf facies amphibolite

Kalifeldspat Kf und Quarz Qz sind an der Reaktion nicht beteiligt und bleiben unverändert

réaction métamorphique retrograde
ne se produit normalement pas par des raisons cinétiques

grenat
+ hornblende
+ plagioclase
+ H_2O



amphibolite

Il y a des minéraux qui peuvent se trouver dans différentes groupes de roches – p.ex. le quartz ou les feldspats, qui sont stables dans des roches sédimentaires, magmatiques et métamorphiques. D'autre part il y a une série de minéraux, die se trouvent exclusivement dans des roches métamorphiques, comme p.ex. la kyanite, l'actinote, le staurolite.

Deux cas spéciaux : marbre et quartzite

Des roches avec une composition minéralogique (et aussi chimique) changent au cours du métamorphisme leur structure cristalline seulement, mais non leur composition chimique. Les exemples les plus connus sont :

calcaire
Consiste de masses très fines de calcite, $CaCO_3$



métamorphisme
recristallisation avec composition minéralogique non changeante



marbre
consiste de calcite, $CaCO_3$, bien recristallisé à grains visibles par l'œil nu

Grès pure
consiste de grains de sable de quartz, SiO_2





Quartzite
consiste de grains de quartz recristallisés, SiO_2

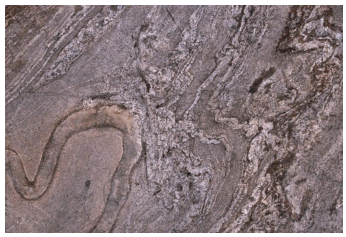
Et si les températures augmentent encore plus?

Aux températures très hautes (au delà de 650 °C env.) des roches peuvent commencer à fondre. Les roches qui conservent cette zone de transition entre roches métamorphiques et magmatiques sont appelés « **migmatites** ».





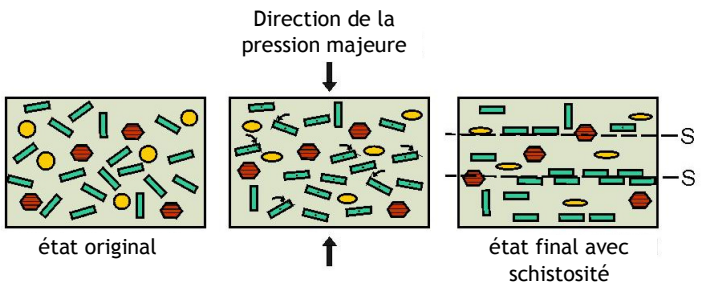




Différents migmatites des Alpes Suisses. Dans tous les exemples on reconnaît une partie plus sombre avec encore des structures métamorphiques, et des parties clairs consistant de quartz et feldspath, qui était fondu et qui montre la texture d'une roche magmatique.

Schistosité, schiste et gneiss

Le métamorphisme régional est lié à des pressions élevées et normalement aussi aux déformations. Ceci peut résulter dans une schistosité, si les roches contiennent des minéraux aplaties de la famille des phyllosilicates (micas, chlorite, serpentine, argiles…). Les plaquettes s'orientent de manière perpendiculaire à la direction de la pression majeure. Il faut bien distinguer la schistosité de la stratification sédimentaire, parce que les deux sont témoins de processus géologiques tout à fait différents – ce qui n'est pas toujours évident en terrain.





Schistosite dans une marne de métamorphisme faible



Schistosité dans un gneiss de métamorphisme intermédiaire

Les **schistes** sont des roches à grain fin de métamorphisme faible à intermédiaire, qui montrent une schistosité étroite, et qui cassent dans des dalles de mm à cm d'épaisseur. Les phyllosilicats sur les surfaces de la schistosité sont normalement pas reconnaissbles par l'œil nu, ils forment des surfaces brillantes.

Les **gneiss** sont des roches de métamorphisme intermédiaire à fort avec une schistosité irrégulière et ondulante. Ils cassent dans des dalles de cm à dm d'épaisseur. Les roches montrent une texture graineuse et les phyllosilicates sont reconnaissables par l'œil nu

Le protolithe – la roche d'origine

Chaque type der roche peut être métamorphisé. La roche originale est appelée le « **protolithe** ». C'est une des buts du géologue étudiant une roche métamorphique de définir le protolithe. Chez certains types de roches métamorphiques c'est évident (p.ex. au cas d'une marbre), mais d'autres peuvent avoir des protolithes tout à faits différents. Un exemple sont des gneiss à biotite et feldspath, ou comme protolithe sont possible une roche magmatique ou une roche sédimentaire.

On distingue parfois les deux grandes groupes „para" → protolithe sédimentaire ou „ortho" → protolithe magamtique.

Métamorphose multiple

Dépendent de l'histoire géologique des roches peuvent montrer des effets de métamorphismes multiples. Par exemple on trouve dans les nappes cristallines des Alpes des roches, qui étaient métamorphisées une première fois lors de l'orogénèse calédonienne (450 mio.a. env.) à hautes pressions, une deuxième fois lors de l'orogénèse variscique (330 mio.a. env.) à hautes températures, et une troisième fois lors de l'orogénèse alpine (35 moi.a. env.) a conditions moyennes – et qui montrent des traces de toutes ces évènements.

Un autre exemple présente le gabbro de l'Allalin de la nappe ophiolithique de Zermatt-Saas dans zone pénnique supérieure du Valais. Il était formé comme partie de la croûte océanique de la Tethys il y 150 moi. a. env. Il a échappé la subduction totale dans le manteau et était métamorphise plusieurs fois lors de la formation des Alpes



Gabbro non métamorphique, avec texture magmatique préservée.



1. métamorphose, T & P très hautes (faciès éclogitique) → autres minéraux, texture magmatique préservée



2. métamorphose, T moyenne, P haute (faciès schiste bleu), texture flasérique initiale



3. métamorphose, T & P moyennes (faciès schiste vert), lié à une schistosité et un plissement intense.

Les Plis – comment flexer des roches dures?

Des déformations de roches, p.ex. chevauchements de nappes, mènent souvent aux plissements. Plissements à températures élevées résultent dans des structures qui suggèrent un processus de flux. Mais toutes ces plissements se passent en état solide par recristallisation lente – comme dans la glace d'un glacier.



Grands plis dans du calcaire légèrement métamorphique, nappe du Wildhorn, Brienz BE



Grand pli dans du marbre fortement métamorphique, nappe de Lebendun, Campolungo, TI



Petits plis dans du gneiss de métamorphisme moyen, nappe Siviez-Mischabel, Randa, VS



Plis étroites dans un marbre de métamorphisme moyen, nappe Zermatt-Saas, Saas Fee, VS

La confusion permanente: Granite ou Gneiss?

Si un granit est métamorphisé et déformé, p.ex. en cours de la formation des Alpes, les déformations et recristallisations se localisent dans des zones de cisaillement discrètes, formant un réseau dans le granite. Au milieu de ces zones de cisaillement le granit peut être transformé entièrement en un schiste de grain fin, avec transition graduelle latérale via gneiss granitique jusqu'à du granit pratiquement pas altéré. Dans les régions avec faible métamorphisme alpin (p.ex. Alpes Uranaises, nappe de la Dent Blanche ou Engadin) la partie majeure des granites sont non déformés, et des parties « gneissifiés » sont limitées, souvent formant des couloirs et brèches. Par contre, dans des régions de métamorphise fort (p.ex. Tessin et Valais) la plus grande partie des granites est transformé en gneiss ou gneiss oeillé, et des zones de granit préservé sont l'exception.

Une partie significative des gneiss des Alpes ont comme protolithe des granites, on les appelle aussi « gneiss granitiques ». Mais il y a aussi des gneiss d'origine d'autres roches, par exemple des gneiss à biotite et plagioclase, ou le protolithe était une roche sédimentaire sableuse-marneuse .



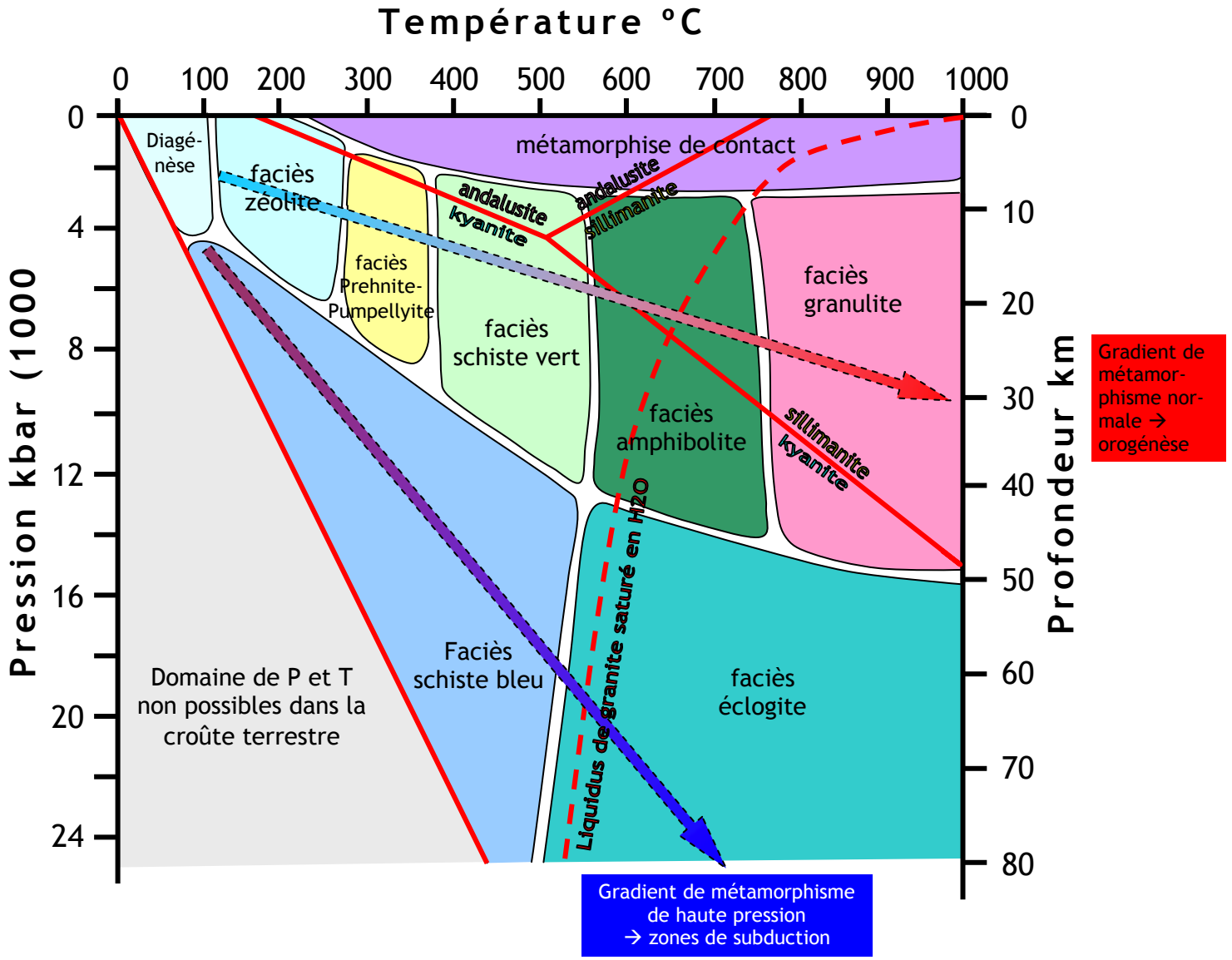
Granit et gneiss d'Arolla de la nappe Dent-Blanche (Austro-Alpin, socle cristallin africain) avec, de droite à gauche, gneissification croissante, du granit non déformé jusqu'au gneiss granitique bien déformé – une conséquence du métamorphisme alpin.



Granit prophyrique (à gauche, granit du Bergell) et deux stages de gneissification vers gneiss granitique oeillé (gneiss de Randa, Valais, nappe de Mischabel-Siviez, socle cristallin du moyen pennique ou briançonnais).

Pressions et températures du métamorphisme

On subdivise les types de métamorphisme et leurs gammes de pression et température dans un diagramme pression P (=profondeur) – température T. Des zones pression – température sont nommées comme « faciès métamorphiques », d'après des types de roches très charactéristiques de ces degrés de métamorphisme.



Des roches métamorphiques abondantes – du protolith à la roche métamorphique de haut degré

non métamorphique	faible métamorphisme → métamorphisme moyen → métamorphisme fort			
Calcaire	Marbre calcaire, de grain de plus à plus grossier			
Dolomite	Marbre dolomitique, de grain de plus à plus grossier			
Argile	Ardoise	Phyllite	Schiste à mica	Granulite métapélitique
Marne	Schiste marneux	Phyllite carbonatique	Schiste à mica carb./schiste à hornblende	Granulite
Grès de quartz	Quartzite			
Conglomérat	Meta-conglomérat	Gneiss oeillé à quartz		
Granit	Métagranite	Gneiss granitique / Gneiss oeillé		
Basalte	Métabasalte	Roche verte / Prasinite	Amphibolite	Granulite basique

Ces suites représentent un gradient de métamorphisme régional moyen. Lors des métamorphisme de contact ou de haute pression d'autres types de roches métamorphiques résultent de ces protoliths différents.

Deux exemples importants: les métapelites et les métabasaltes

Existent deux groupes de roches importants, qui montrent dans les degrés (« faciès ») différents de métamorphisme des roches métamorphiques bien variées, qui sont aussi importants pour la description et la nomenclature des différents types et faciès de métamorphisme.

Ce sont les argiles d'un part, aussi résumés comme « métapélites » en état métamorphique, et, d'autre part, les basaltes et les métabasaltes. Ces deux groups aident au géologue de terrain de définir le degré approximatif de métamorphisme sans grand travail de lab.

Dans le diagramme Pression (profondeur) – Température les différents produits de métamorphisme des métapelites et des métabasaltes sont indiqués.

métapelites
= argiles métamorphiques

métabasaltes
= Basalte ou Gabbros métamorphiques

