

LES GRENATS

Où ? Pourquoi? Comment? Et après? Poster 1

Alain ABREAL, Dr en Matériaux des Ecoles des Mines de St-Etienne et de Paris

APPLICATIONS

GENERALITES

Les grenats sont utilisés en joaillerie depuis plusieurs milliers d'années. En ces temps anciens, ils étaient connus comme escarboucle ou comme gemme rouge.

- Il y en avait dans le plastron du jugement d'Aaron, décrit dans la bible (Exodus: xxviii, 15-30).
- Le Coran prétend que le 4ème ciel est composé d'escarboucle.
- Dans l'astrologie védique, qui est de 1000 ans antérieure à l'astrologie occidentale, et toujours pratiquée par des millions d'adeptes, le grenat hessonite de couleur brun orangé à rouge est le talisman qui protège des influences démoniaque du corps céleste nommé Rahu.

Le grenat est également considéré comme pierre sacrée par nombre de tribus indiennes d'Amérique du nord, du centre et du sud.

En 1892, les Hunzas ont utilisé des projectiles faits de grenats contre les troupes britanniques au Kashmir, pensant que leur action meurtrière était supérieure aux balles de plomb.

JOAILLERIE GRENATS DE PERPIGNAN

Dans le Roussillon, l'utilisation de grenats en joaillerie se perpétue depuis le XVIIIème siècle.

A cette époque les pierres étaient extraites des reliefs pyrénéens (Estagel, Caladroi, Costabonne, Espira de l'Agly, Latour-de-France et plus vraisemblablement des alluvions de l'Agly et de ses affluents).

Une association d'artisans-bijoutiers de la région, "Le grenat de Perpignan", revendique l'origine catalane de ces pierres, les premières à avoir été taillées très probablement dans le département des Pyrénées orientales.

Il y a donc eu une importante activité dans le domaine de la taille des pierres à Perpignan. Il y eut également l'existence d'une entreprise spécialisée dans la taille de fausses pierres, pour pallier peut être la pénurie de grenats gemmes catalans (?) et avant de trouver la filière allemande.

Actuellement, les grenats proviennent essentiellement du massif de bohème d'où elles transitent par Idar Oberstein (Allemagne) où elles sont taillées en forme "rose". Les pierres sont ensuite montées en respectant une tradition bien ancrée en territoire catalan. Les grenats ont donc progressivement perdu leur origine d'extraction catalane pour ne garder, finalement, plus que la façon, catalane, d'être montés.

INDUSTRIE

Les grenats artificiels ont d'autres applications que l'utilisation comme gemme en joaillerie. Par exemple, les grenats fer-yttrium (YIG) ont des propriétés magnétiques et sont utilisés comme capteurs, servo-commandes et comme substrat de micro-ondes.

La plupart des grenats artificiels sont dopés par du YAG (yttrium aluminum garnet) et sont fortement fluorescents.

Au cours de ma thèse, j'ai pas mal utilisé l'oxyde d'yttrium pour former in situ de l'ytrogrenat ou YAG par réaction avec l'alumine. La présence d'yttrium crée en surface des grains d'alumine des lacunes qui peuvent migrer au cœur de l'alumine et faciliter son frittage.

Ils sont aussi largement employés en tant qu'abrasifs (pyrope)

Aujourd'hui, la géothermobarométrie permet de définir les conditions de pression et de température auxquelles une roche s'est formée, et ainsi de définir la possibilité d'y trouver pétrole ou diamant.

DEFINITION—STRUCTURE

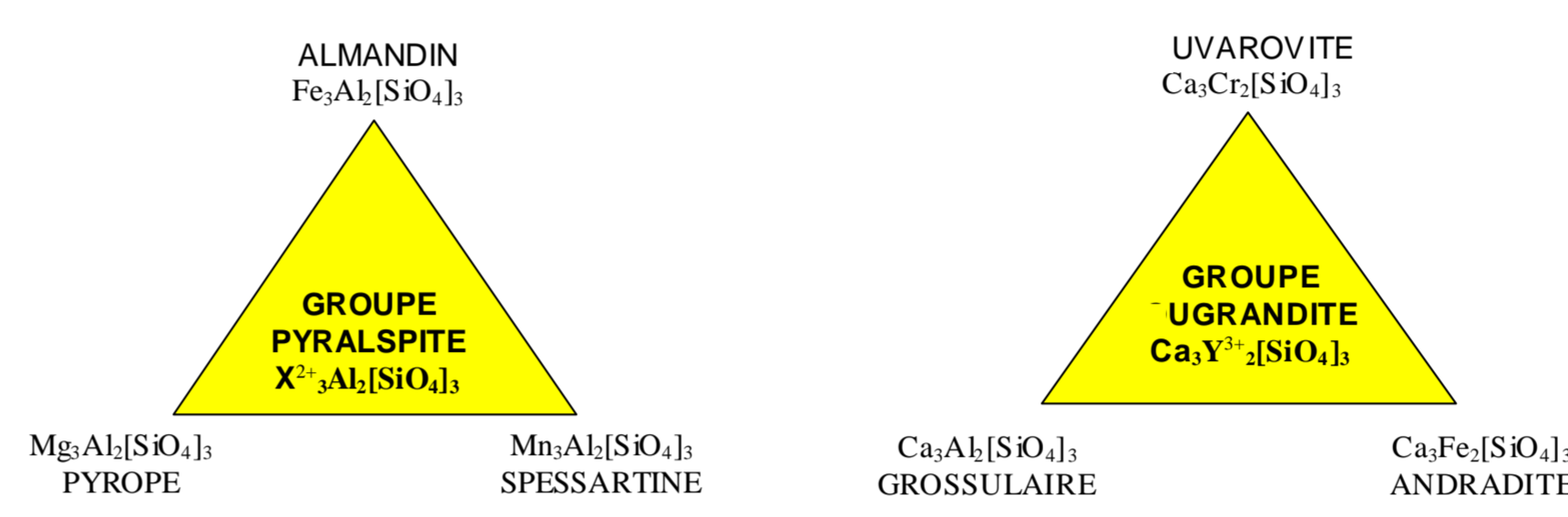
Les grenats sont définis par leur composition $X_3Y_2[SiO_4]_3$ avec :

X : élément de degré d'oxydation +II, en site octaédrique de coordinence 6 : Mg, Fe²⁺ ou Ca

Y : élément de degré d'oxydation +III, en site pseudo-cubique de coordinence 8 : Fe³⁺, Al, Cr voire Zr (grenat kimzeyite) ou V (grenat goldmanite).

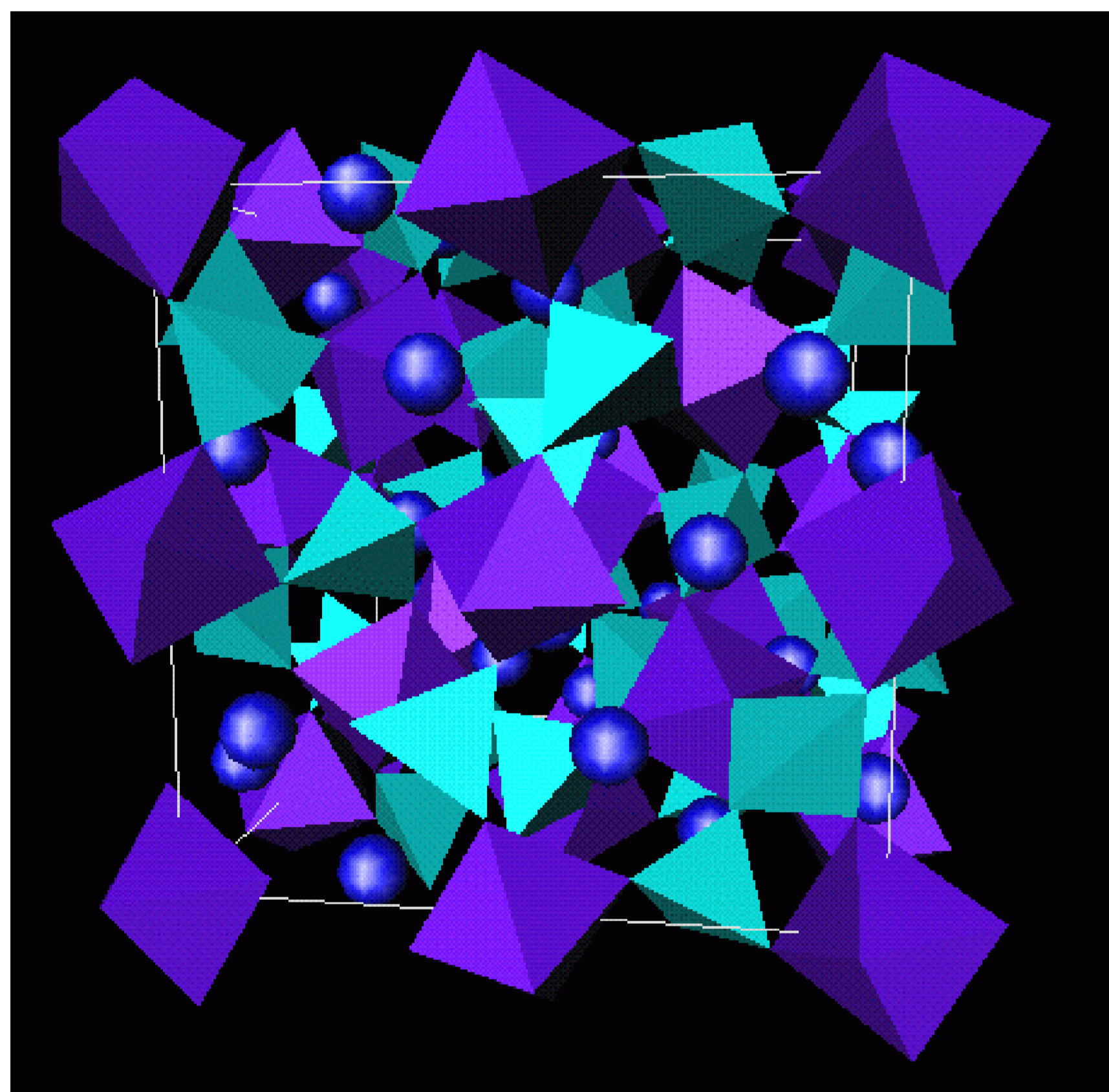
On définit ainsi toute une famille de minéraux que l'on décompose en fonction de ces éléments. Les Anglo-saxons, depuis **Winchell en 1933**, préfèrent décomposer la famille des grenats à partir des éléments bivalents. Ils parlent ainsi de grenats du groupe **Ugrandite**, pour uvarovite (u), grossulaire (gr) et andradite (and) dont l'élément bivalent est le calcium, et du groupe **Pyrospite**, pour pyrope (pyr), almandin (al) et spessartine (sp) dont l'élément bivalent n'est pas le calcium.

En France, la distinction s'effectue plutôt sur l'élément trivalent Al, Fe³⁺, V ou Cr.

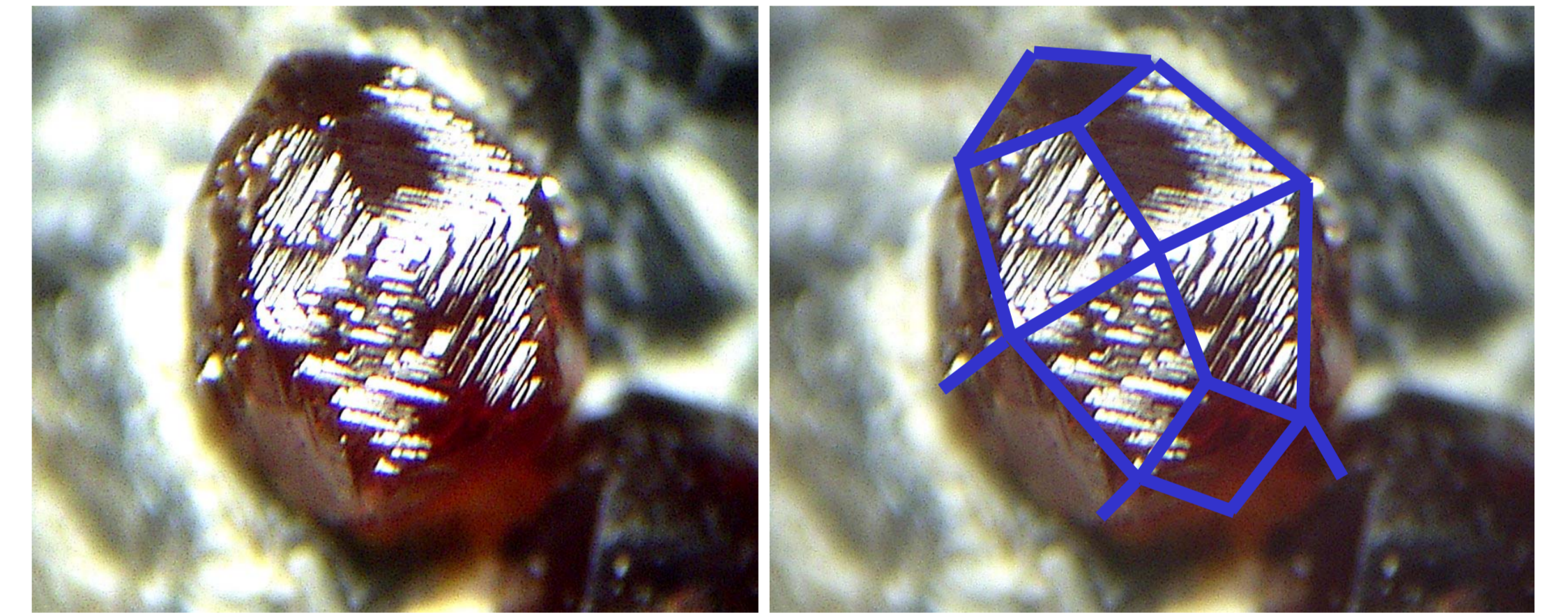
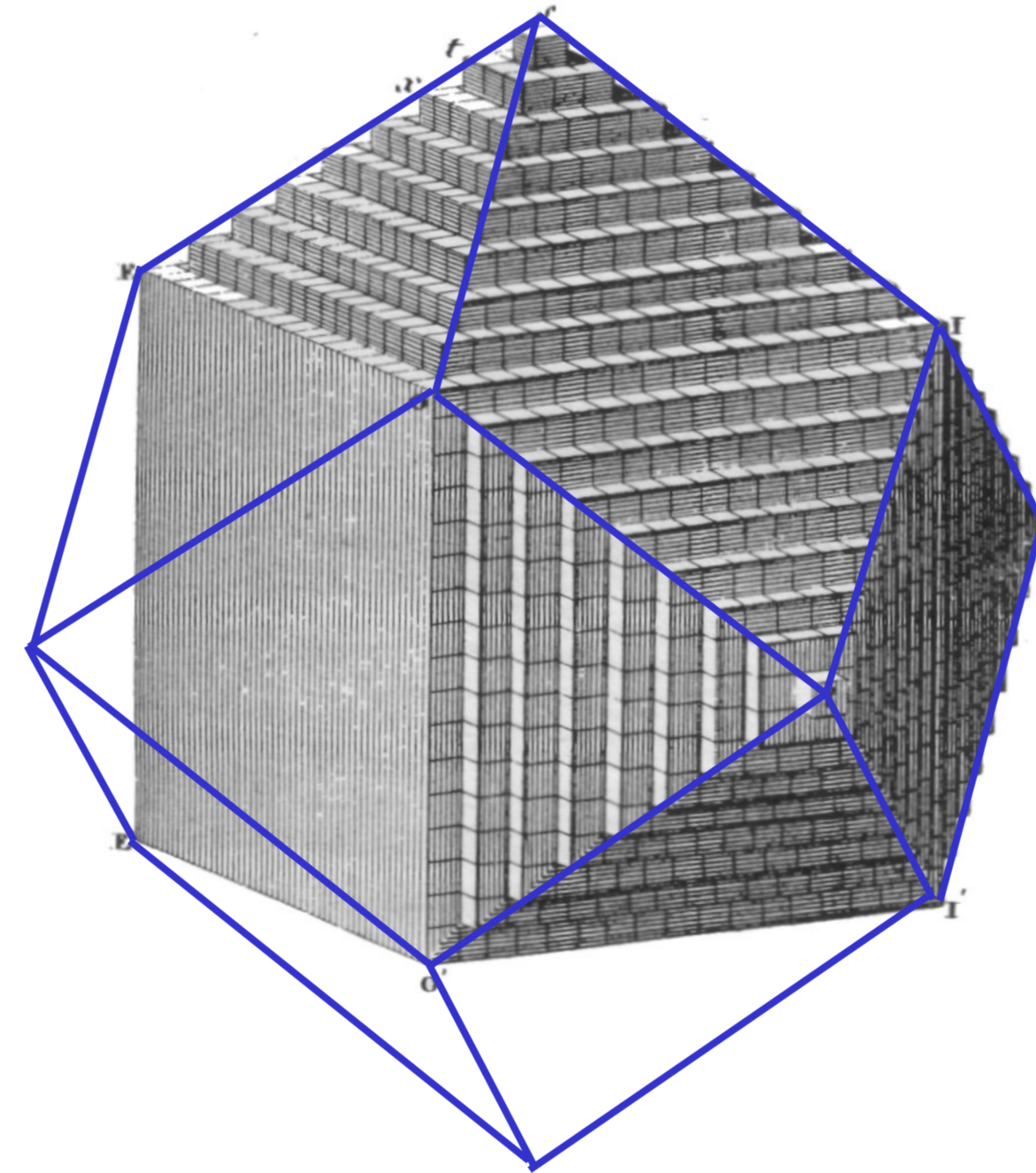


Cation trivalent Y ₂	Fe ³⁺	Al ³⁺	Cr ³⁺
Cation bivalent X ₃			
Ca ²⁺	Andradite Mélanite (Ti)	Grossulaire Demantoïde Hessonite Tsvarovite	Uvarovite
Fe ²⁺	Sciagite	Almandin	Hanléite
Mg ²⁺	Khoharite	Pyrope	Knorringite
Mn ²⁺	Calderite	Spessartine	-

Principaux grenats

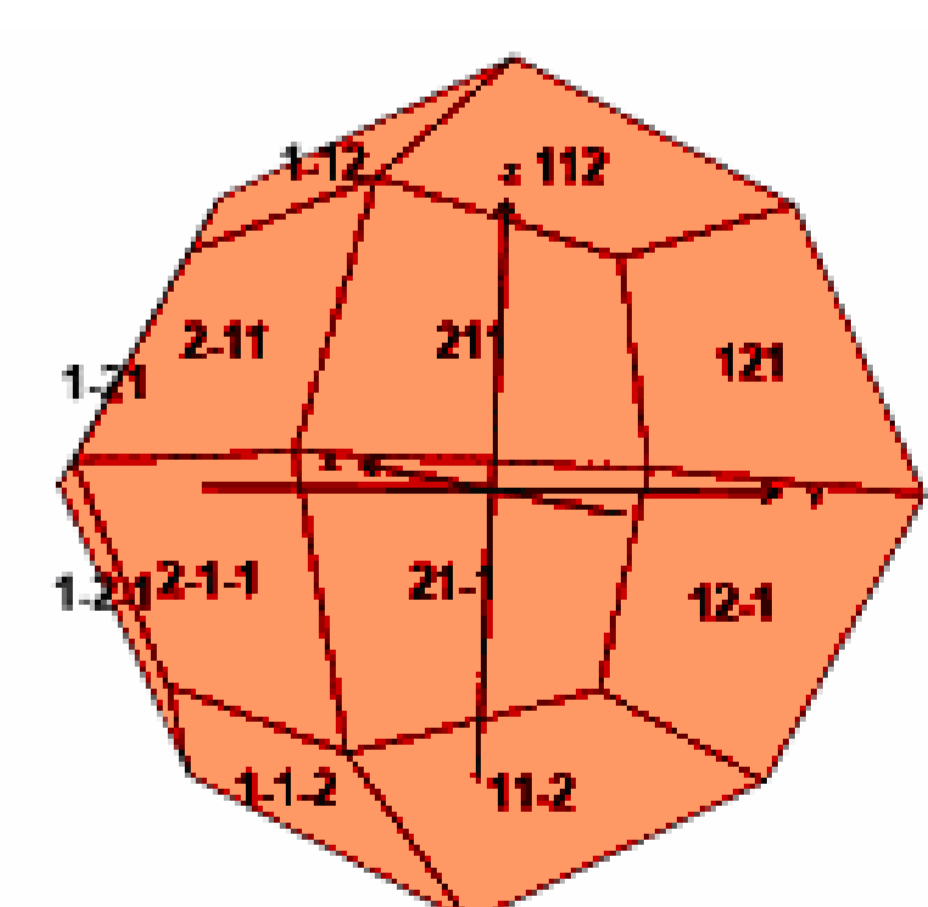
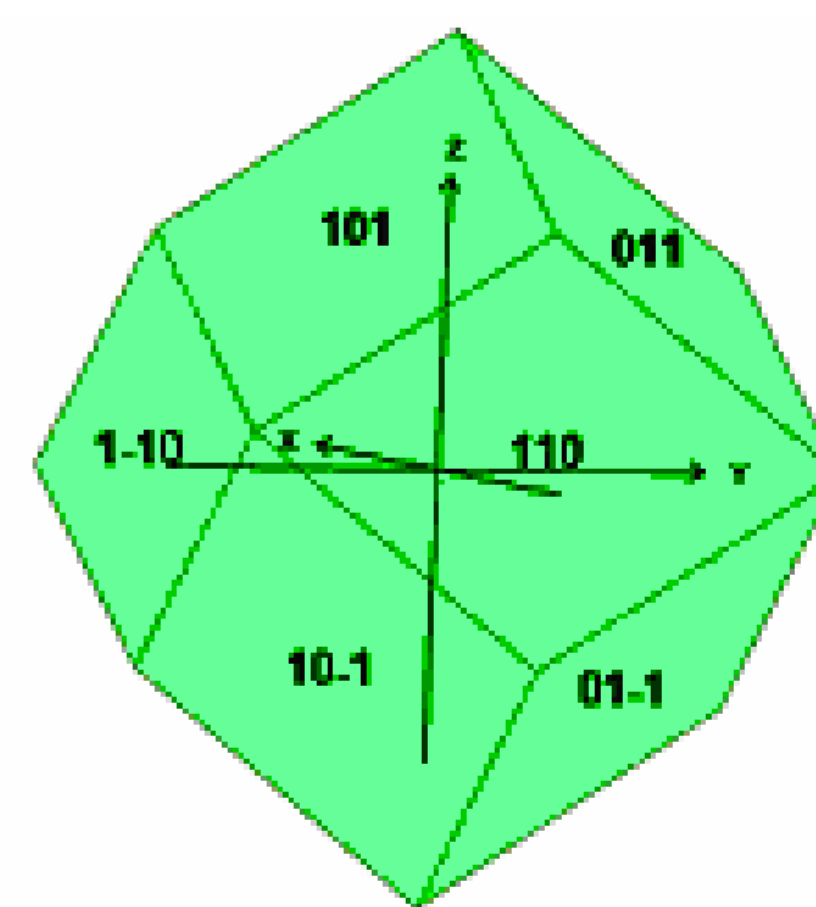


Copyright : <http://www.ill.fr/dif/3D/>



Grenatoèdre composé de micro rhombodécédres
Tétragonotrioctaèdre composé de micro rhombodécédres -
Hessonite du Pakistan (1,5 mm)

Cristallisation des grenatoèdres à partir de cubes ou de rhombodécédres



Rhombodécédre {110} dit « grenatoèdre »

Tétragonotrioctaèdre {211}

Les grenats sont des minéraux isomorphes, du **groupe 4/m32/m du système cubique**, avec des formes dérivées :

- en **dodécaèdre rhombodécédral** (ou rhombodécédraèdre) surtout dans les roches métamorphiques)
- en **tétragonotrioctaèdre** (ou trapézoèdre) plutôt dans les pegmatites

Aucun clivage n'a été observé

La structure des grenats est donc constituée par des octaèdres et des tétraèdres dans une structure cubique dans laquelle, tous les oxygènes sont identiques, chacun étant à la fois un sommet d'un octaèdre et d'un tétraèdre.

La maille est de dimension très importante puisque chaque maille contient pas moins de 96 oxygènes.

Il est amusant de rappeler que **Haüy** a démontré par le calcul que la forme dodécaèdre du grenat était la même que l'alvéole des abeilles et que le grand angle de chaque rhombe était de 109,28'16" ce qui, à capacité égale, donne la plus petite surface possible.

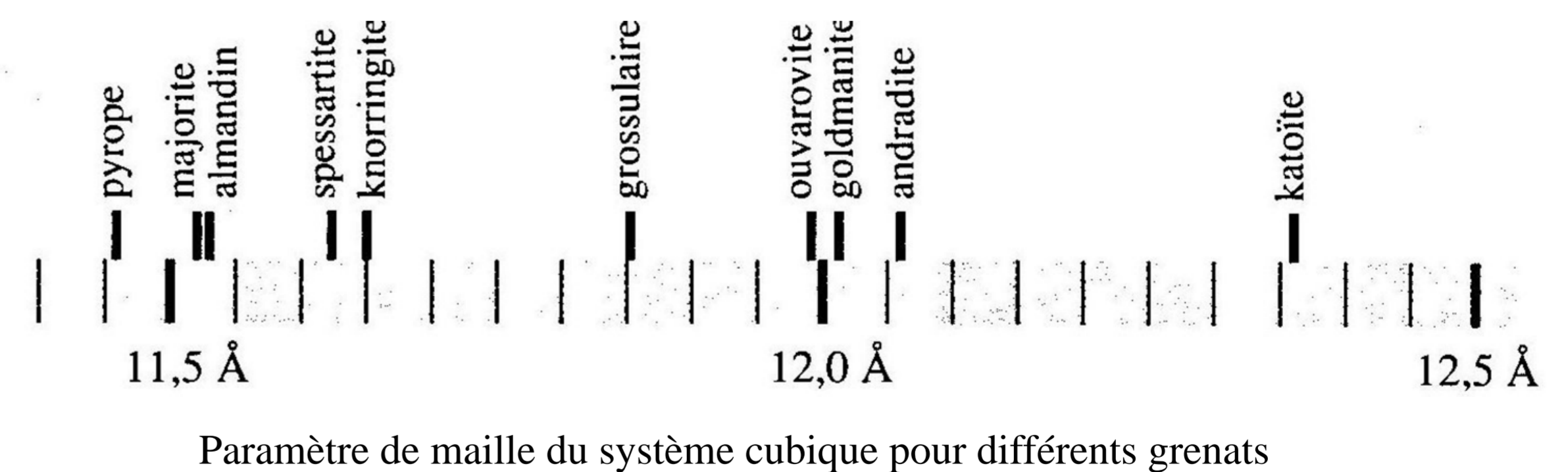
PROPRIETES MINERALOGIQUES

Dureté : 6,5—7,5
Densité : 3,4 – 4,3

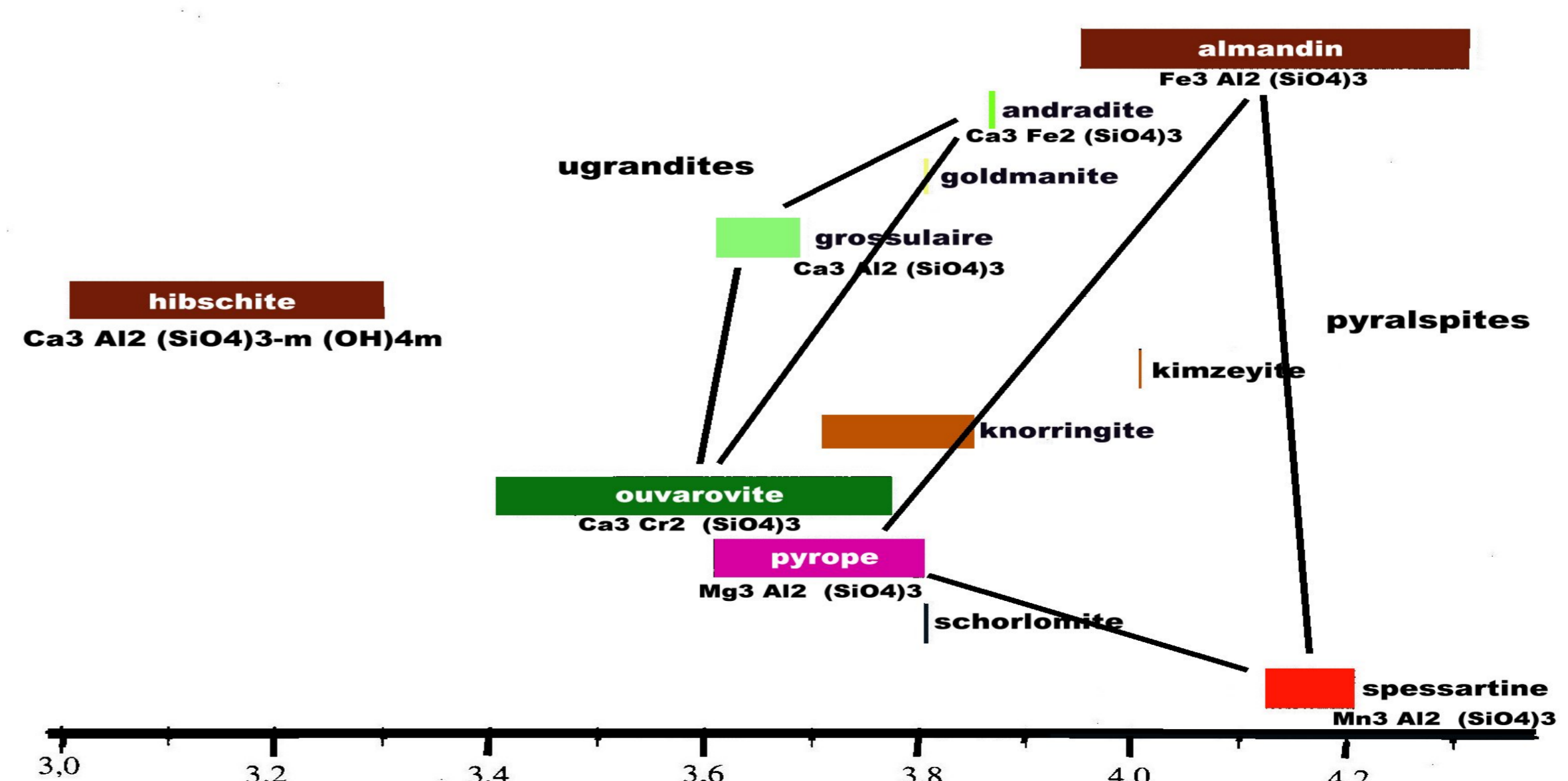
Classe : néosilicates
Système cristallin : cubique 4/m 3 2/m
Habitus : habituellement rhombodécédres, Tétragonotrioctaèdre, ou combinaison de ces deux formes. Plus rarement hexaoctaèdres également massive ou en grains fins

Indice de réfraction : 1,72-1,94
Biréfringence : 0,000-0,005
Pléochroïsme : non
Couleur : toutes sauf le bleu, selon les variétés.
Eclat : vitreux à résineux, possibilité de chatoyement dû à la présence de fines inclusions de pyroxènes ou d'amphibole.
existence de grenats étoilés, essentiellement à 4 branches.

Transparence : transparent à opaque



Paramètre de maille du système cubique pour différents grenats



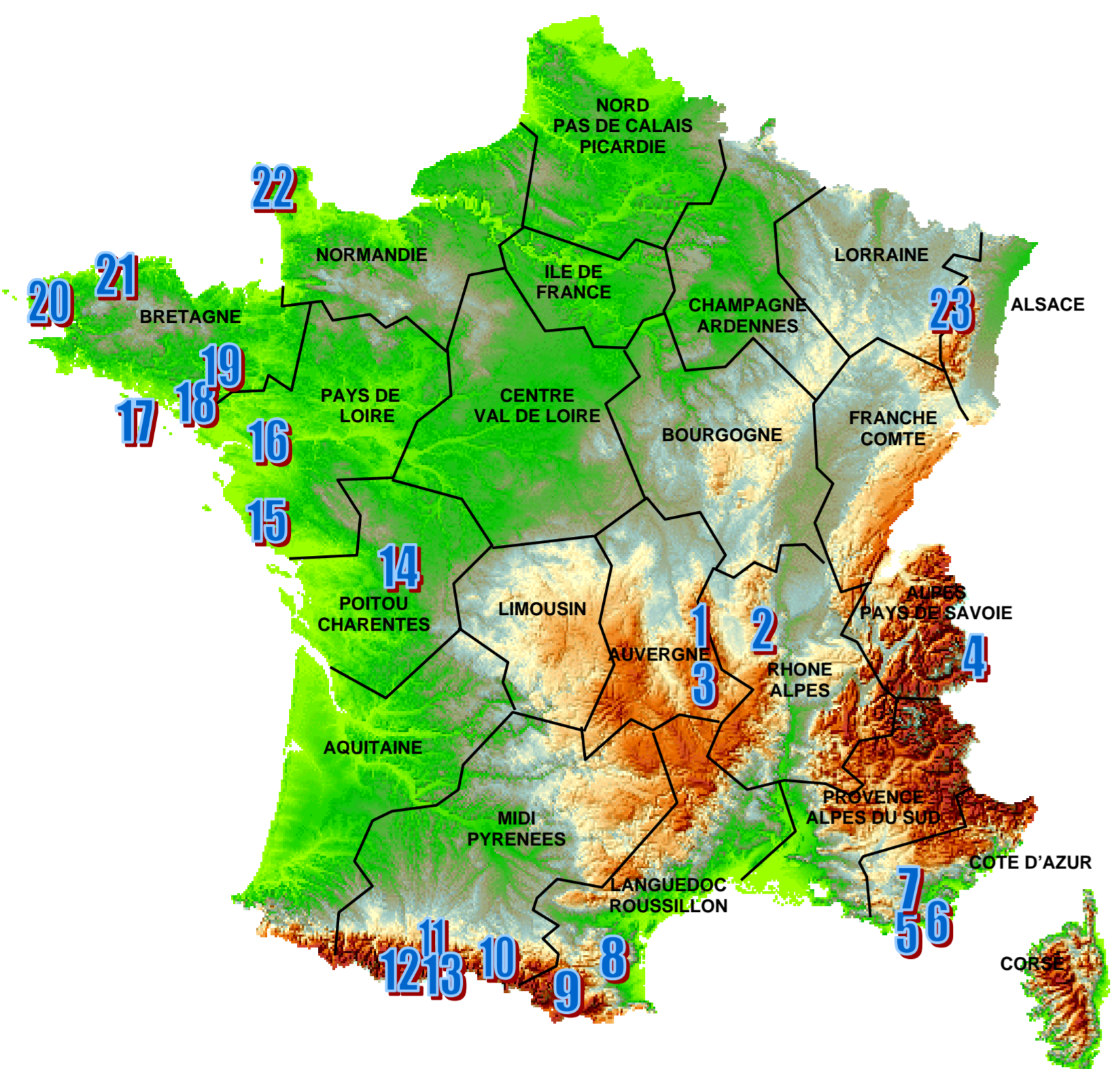
Densité de différents grenats et un exemple d'hydrogrenat

LES GRENATS

Où ? Pourquoi? Comment? Et après? Poster 2

Alain ABREAL, Dr en Matériaux des Ecoles des Mines de St-Etienne et de Paris

LES GRENATS : PARTOUT PRESENTS OU PRESQUE



- 1 BEAUCHAUD
- 2 CRET DE L'OEILLON
- 3 BOURNAC
- 4 VAL D'ALA
- 5 CAVALAIRE
- 6 CAP NEGRE
- 7 COLLOBRIERES
- 8 CALADROI
- 9 MONTBOLO
- 10 ARIEGE
- 11 St GIRONS
- 12 Pic D'ARBIZON
- 13 Pic du MIDI de BIGORRE
- 14 LA MOTTE St PERAY
- 15 SAUVETERRE
- 16 St PHILBERT DE BOUAINE
- 17 ILE DE GROIX
- 18 GUERNEHUE
- 19 ALLAIRE
- 20 LE CONQUET
- 21 St JACUT de la MER
- 22 FLAMANVILLE
- 23 GRAND FONTAINE

- ALMANDIN
- RHODOLITE
- PYROPE
- HESSONITE
- ALMANDIN
- ALMANDIN
- RHODOLITE
- ALMANDIN
- ANDRADITE/GROSSULAIRE
- GROSSULAIRE
- GROSSULAIRE
- GROSSULAIRE
- HESSONITE-ALMANDIN
- ALMANDIN
- ALMANDIN
- GROSSULAIRE
- GROSSULAIRE et PISTACITE
- ALMANDIN/SCIAGITE?
- ALMANDIN/HESSONITE
- ALMANDIN
- ANDRADITE/ALMANDIN/SCIAGITE
- ALMANDIN

- pegmatite
- métamorphisme
- magmatique + volcanisme
- métamorphisme
- métamorphisme
- métamorphisme
- pegmatite et métamorph
- métamorphisme
- métamorphisme
- métamorphisme (skarn)
- métamorphisme
- métamorphisme
- métamorphisme (éclogites)
- métamorphisme
- métamorphisme
- métamorphisme
- métamorphisme
- pegmatite
- métamorphisme
- métamorphisme
- métamorphisme contact
- ?

GRENATS DE METAMORPHISME

GRENATS DE PEGMATITES

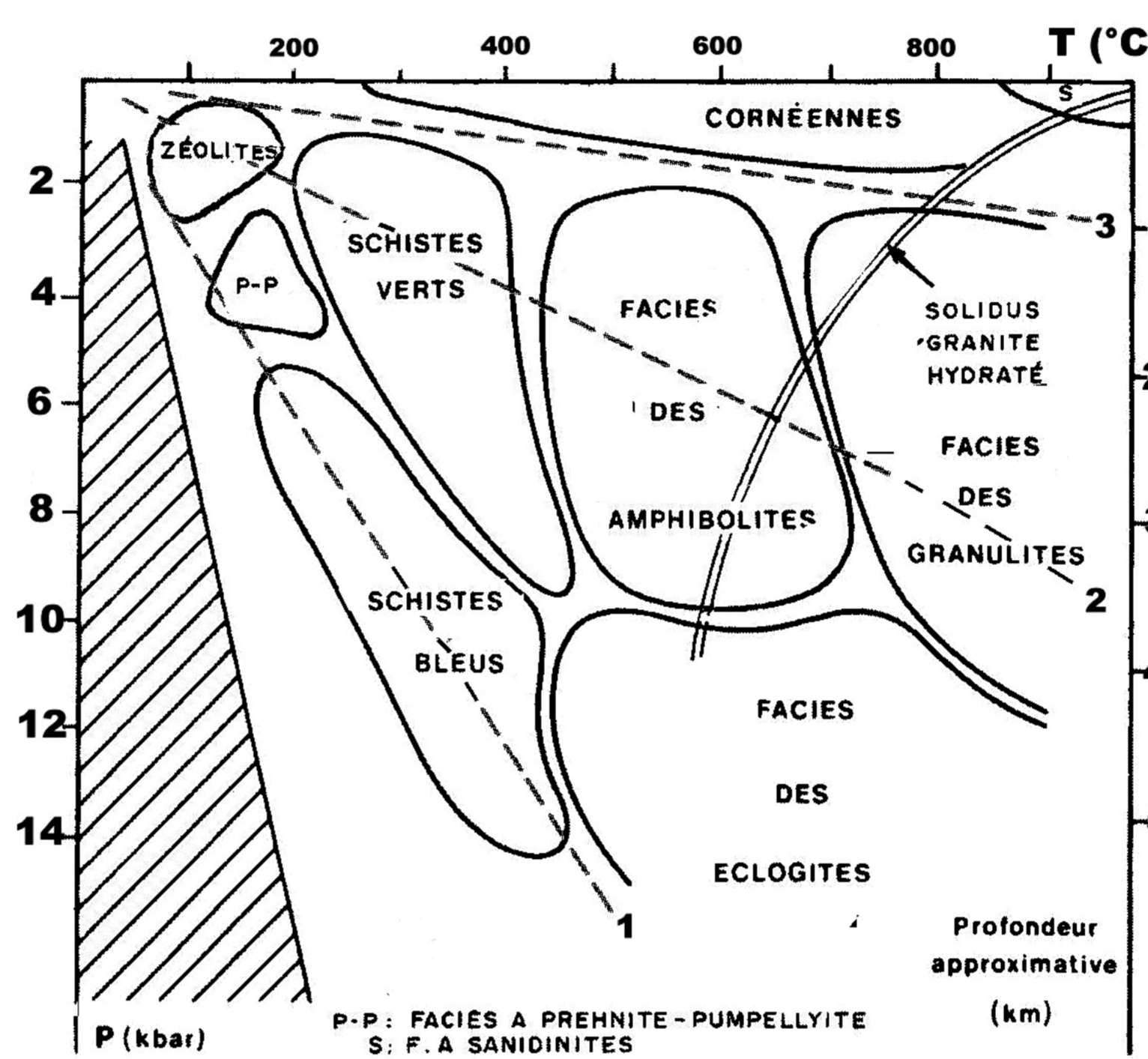
Sites originaires des mes pièces perso

LES GRENATS DE METAMORPHISME

METAMORPHISME DE CONTACT

- Lors de l'intrusion d'une masse granitique (ou pluton) dans une roche sédimentaire, celle-ci subit simultanément des contraintes de pression, une augmentation de température et parfois l'infiltration de fluides hydrothermaux chargés de minéralisation. Les roches sédimentaires sont alors affectées de modifications texturales, chimiques et minéralogiques autour du massif intrusif de granite : **c'est le métamorphisme**. Autour de ce massif apparaît donc une zone métamorphisée que l'on nomme auréole de métamorphisme.
 - Dans la majorité des cas, les roches métamorphiques de l'auréole ont globalement la même composition chimique que celle des roches sédimentaires dont elles proviennent. Il y a eu un simple réarrangement minéralogique éventuellement accompagné de départ d'eau et de CO2: **métamorphisme isochimique (ou topochimique)**.
 - L'apparition de minéraux nouveaux traduit les modifications des conditions physiques régnant au voisinage de l'intrusion. C'est principalement la chaleur dissipée par le corps magmatique en cours de refroidissement qui est responsable des modifications, c'est un thermométamorphisme, la pression joue peu ainsi que le montre la texture isotrope des cornéennes.
- On ne peut pas dire que la pression ne joue aucun rôle car l'injection de la masse granitique produit aussi une augmentation locale de pression et dans quelques rares affleurements on a pu décrire, juste au contact du granite, quelques mètres de roches foliées rappelant les micaschistes ou les gneiss.
- Dans quelques cas, on rencontre cependant, dans l'auréole, des roches dont la composition suppose une migration d'éléments chimiques à partir de la masse granitique intrusive (**métasomatose**). De même la digestion des roches sédimentaires par le magma granitique peut modifier la composition de celui-ci (**endométamorphisme**). La digestion d'un banc calcaire se traduit par un enrichissement en chaux (granite à amphibole, voire même diorite). Des parties non digérées peuvent demeurer à l'état d'enclaves à l'intérieur de la masse intrusive.

RAPPEL DES FACIES DE METAMORPHISME

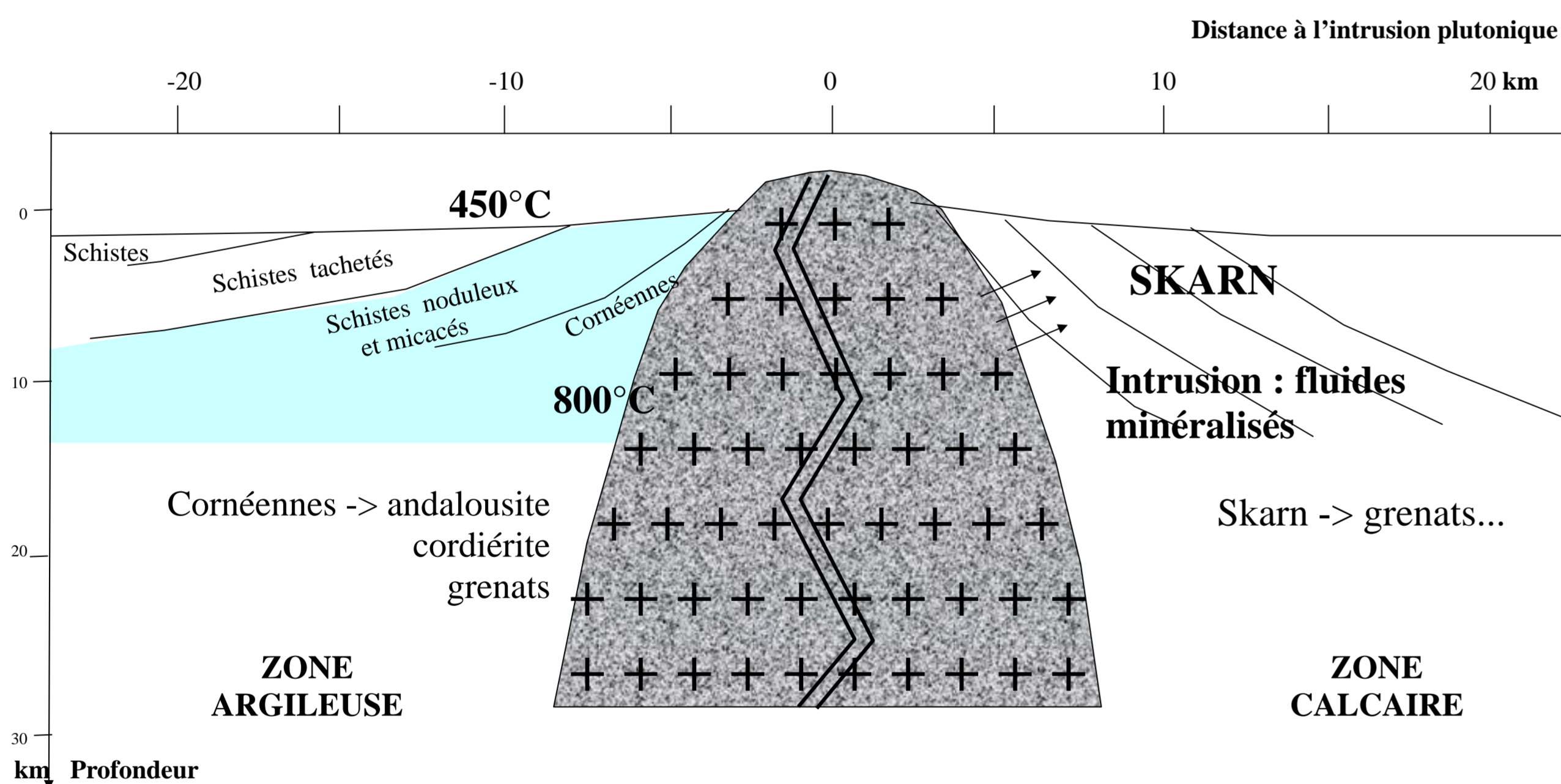


Orthopyroxènes : enstatite MgSiO₃ → hypersthène → ferrosilite FeSiO₃

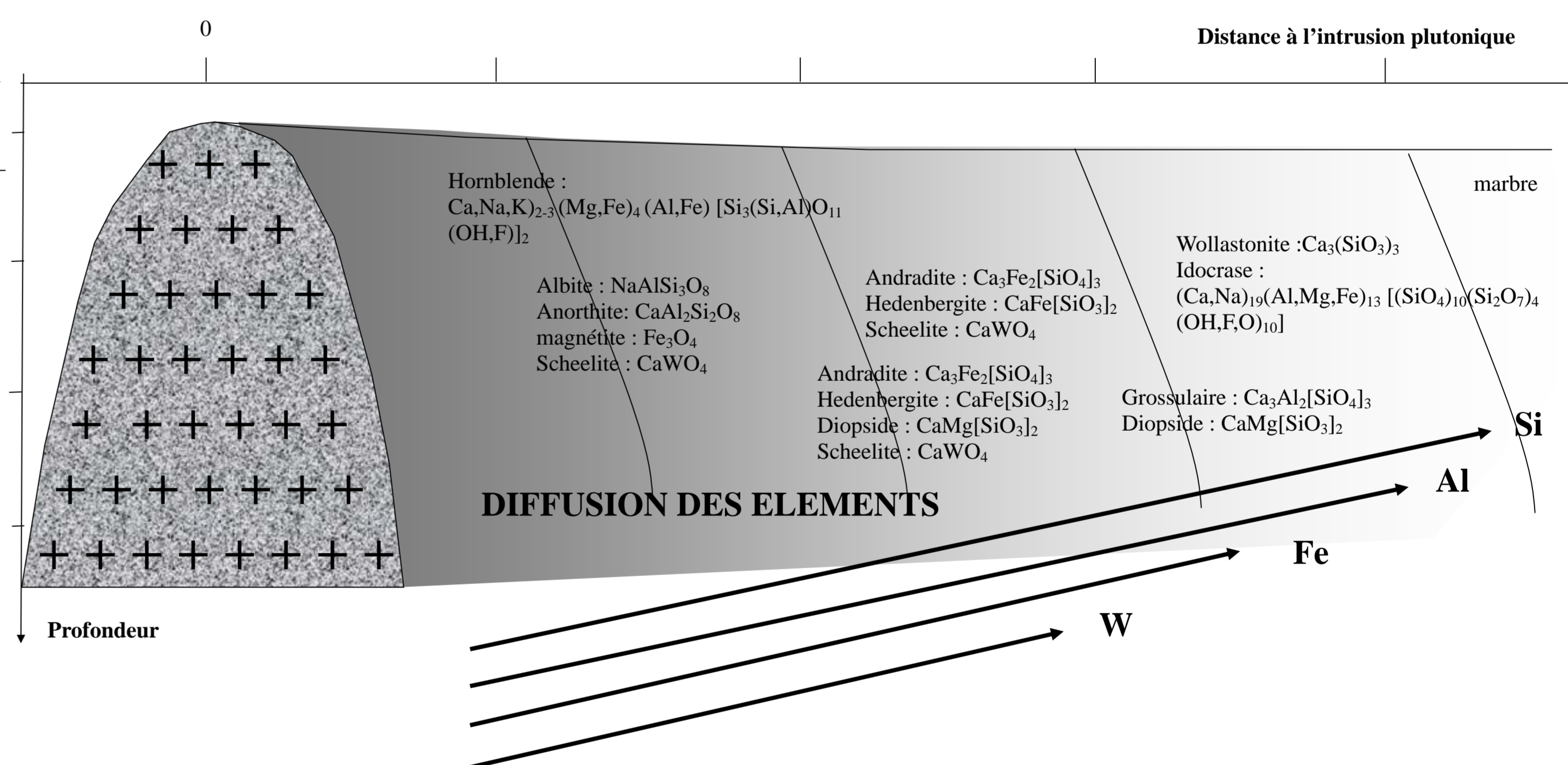
clinopyroxènes : diopside CaMgSi₂O₆ → augites → hedenbergite CaFeSi₂O₆

	Roches basiques	Roches pélitiques
Schistes verts	Chlorite, albite, actinote, épidote	Biotite, muscovite, chlorite, chloritoïde
Amphibolites	Plagioclases, hornblende	Biotite, muscovite, staurotide, grenat, Al ₂ SiO ₅
Granulites	Plagioclase, clinopyroxène, orthopyroxène	Biotite, grenat, cordiérite, Al ₂ SiO ₅
Schistes bleus	Glaucophane, épidote, chlorite, lawsonite	Muscovite, chlorite, chloritoïde, grenat
Eclogites	Grenat, omphacite	Grenat, muscovite, disthène

Facès du métamorphisme proposé par Eskola

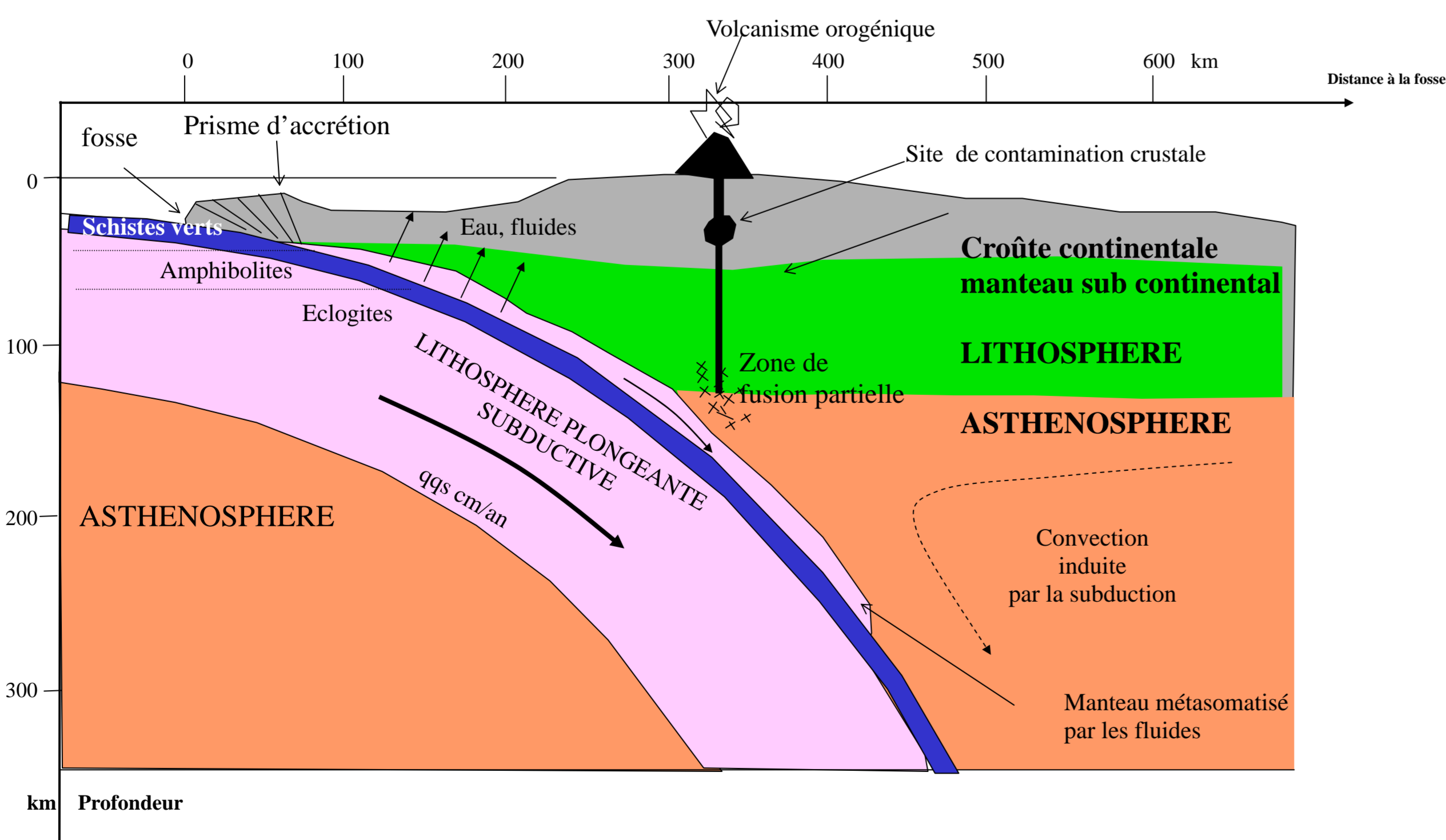


LA TEMPERATURE ENGENDREE PAR L'INTRUSION D'UN PLUTON PROVOQUE UN METAMORPHISME DE BASSE PRESSION-HAUTE TEMPERATURE ET AINSI L'APPARITION DE GRENATS DANS UNE ROCHE APPARTENANT AU FACIES DES CORNEENNES (Ex: Flamanville)



DES ELEMENTS METALLIQUES (Fe,Al,W,Si) APPORTES PAR LE PLUTON, DIFFUSENT DANS LE MASSIF CALCAIRE ET REAGISSENT AVEC CELUI-CI POUR FORMER ENTRE AUTRES, DES GRENATS (ex: skarns des Pyrénées)

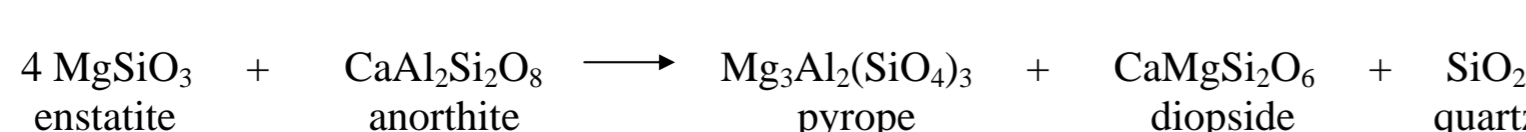
METAMORPHISME DE SUBDUCTION



LA SUBDUCTION CONDUIT A UN METAMORPHISME DE HAUTE TEMPERATURE-HAUTE PRESSION. APRES EVAPORATION DE L'EAU, LA ROCHE SE METAMORPHISE EN ECLOGITE AVEC FORMATION DE GRENATS ex : pays nantais

- Réaction d'éclogitisation

Elle se produit dans les parties de la croûte soumises à de fortes pression. En particulier, elle tend à se généraliser à la limite de la lithosphère, à une profondeur où l'eau n'est pas présente.:



GENESE DE GRENATS METAMORPHIQUES

Nous avons pu constater les évolutions suivantes pour un métamorphisme croissant :

- **Roches pélitiques :**
Schistes verts
Chlorite (Mg,Al)₃(OH)₃[(Si,Al)₄O₁₀] + muscovite KAl₂(OH,F)₂(AlSi₃O₁₀) → biotite K(Mg,Fe)₃(OH,F)₂(Si₃AlO₁₀) + grenat almandin Fe₃Al₂(SiO₄)₃
Densité : 2,7 2,9 2,8 4,1
agrégats feuilletés feuilletés tabulaire ou prisme court agrégats foliacés
- **Roches siliceuses :**
Schiste argileux (illite) → phyllades ou séricitochistes (kaolinite avec du potassium et départ d'eau)
H₂O, cristallisation
Chlorite + muscovite + micaschiste à mica blanc → biotite + biotite + almandin } Schistes à deux micas
- **Roches siliceuses :**
mica + quartz → grenat + muscovite → staurotide → Andalousite → anatexite
450°C 500°C 550°C
- **Roches basiques :**
albite-anorthite (Na,Ca)AlSi₃O₈ → diopside CaMgSi₂O₆ + hedenbergite CaFeSi₂O₆ + andradite Ca₃Fe₂(SiO₄)₃ → diopside + grossulaire Ca₃Al₂(SiO₄)₃
2,6-2,8 3,3 3,3 3,9-4,1 3,7
(plagioclases) magnétite-hornblende
- albite-anorthite (Na,Ca)AlSi₃O₈ → andalousite ou disthène + grenat
2,6-2,8 (plagioclases)