

Fiche leçon

Géologie / Chapitre 1 : Minéralogie

Durée du chapitre selon le programme scolaire : 3 semaines de 4 heures

Objectif général : L'apprenant doit être capable d'identifier les minéraux, les valoriser.

Nom du créateur : ABRAHAM Luciano

Date de création : juin 2026

Sources de documents :

- Le programme scolaire
- Le document d'accompagnement par le MEN
- Exploitation : <https://www.mineschamber.mg/images/Monographie-du-secteur-minier-malgache.pdf>

Table des matières

I. Propriétés d'un minéral :	3
1. Les propriétés physiques.....	4
a. Forme	4
b. Couleur	6
c. Eclat.....	7
d. Trait.....	7
e. Dureté.....	8
f. Transparence	9
g. Cassure.....	10
h. Clivage	11
i. Densité	11
2. Propriété chimique.....	12

3.	Propriété électrique	12
a.	La conductivité électrique	13
b.	La piézoélectricité.....	13
c.	La pyroélectricité.....	13
d.	La triboélectricité	14
4.	Propriété optique :	14
II.	Classification et étude de quelques minéraux	15
1.	Classification des minéraux selon leur abondance dans la roche	15
2.	Classification des minéraux selon leur composition	16
a.	Les minéraux non silicatés avec exemples et usages	16
b.	Les minéraux silicatés	17
3.	Etude de quelques minéraux.....	18
III.	Notion de techniques d'exploitation et de transformation.....	22
1.	Extractions	22
a.	L'extraction Artisanale	22
b.	L'extraction industrielle.....	23
2.	Transformation, valorisation et notion de rendement.....	23
a.	Le lavage et le tri (étape commune).....	24
b.	Les deux grandes filières de transformation :	24
c.	La notion de rendement	25
3.	Les impacts environnementaux et la réhabilitation (développement durable)	25

SVT Seconde

Troisième partie : Géologie

Chapitre 1 : Minéralogie

La **minéralogie** est une science qui étudie les minéraux (origine, formation, évolution, classification). Un **minéral** est une substance naturelle inorganique formé par l'assemblage d'atomes. L'ensemble des minéraux forme la roche, constituante de la terre.

Un minéral ayant une structure ordonnée (ou forme cristalline) est appelé **cristal**. L'étude de la formation, de la forme géométrique et de la structure interne des cristaux minéralogiques est la **cristallographie**. L'arrangement des atomes est déterminé à partir de technique complexes (diffraction par les rayons X, spectrophotométrie, ...)

Les minéraux possèdent des propriétés qui permettent de les distinguer entre eux et qui deviennent des critères d'identification. Plusieurs de ces propriétés peuvent être observées sans l'aide d'instruments et sont d'une grande utilité pratique.

I. Propriétés d'un minéral :

Les propriétés physiques des minéraux que l'on va décrire sont : la forme, la couleur, l'éclat, le trait, la dureté, la transparence, la cassure, le clivage et la

densité mais il y a également d'autres propriétés comme la propriété chimique et électrique.

1. Les propriétés physiques

a. Forme

Les minéraux se présentent sous deux formes différentes selon le ***refroidissement du magma et l'arrangement des atomes***. Leurs formes peuvent être :

À l'état **amorphe** : le minéral provient d'un refroidissement rapide et les atomes sont disposés de façon désordonnée.

À l'état **cristallin** : le refroidissement est lent et les atomes sont bien ordonnés et donne un cristal qui se présente en 7 systèmes cristallins : *cubique, quadratique, orthorhombique, monoclinique, triclinique, hexagonale et rhomboédrique*

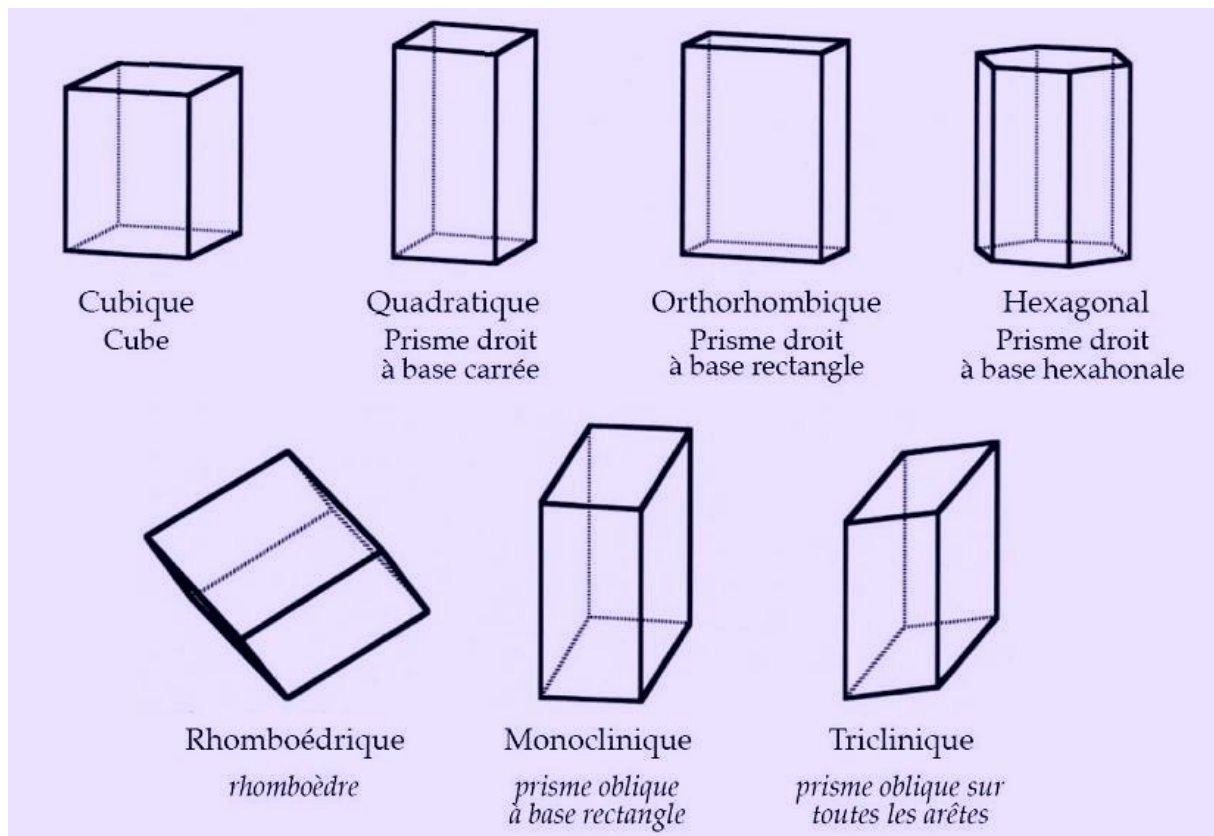


Figure 1: Schéma des 7 systèmes cristallins

Source : <https://www.geowiki.fr/index.php?title=Troncatures>

Chaque minéral cristallise dans un système donné appelé système cristallin donnant la forme cristalline. Un minéral donné reproduira toujours les mêmes formes régies par ce système.

- ✚ Par exemple : la calcite cristallise dans le système rhomboédrique, un système où les trois axes sont de longueur égale et où les angles sont différents de 90°.
- ✚ Le quartz commun cristallise dans le système hexagonal; on aura des cristaux à six côtés, et, dans les formes pyramidales, on aura une pyramide à six faces à chaque extrémité.

b. Couleur

Les minéraux présentent une grande variété de couleurs mais ils peuvent être classés en deux groupes : les minéraux claires ou minéraux acides (formés par des siliciums : Si) et les minéraux sombres ou minéraux basiques (composés de fer Fe et de magnésium Mg).

Un seul minéral peut apparaître sous plusieurs couleurs.

Exemple 1 : le quartz est habituellement incolore mais il peut être teinté en :

- violet ou l'améthyste, (variétés semi-précieuse du quartz)
- jaune ou la citrine, rose ou hyacinthe, inclusion de bleu ou lazulite,...

Exemple 2 : le mica :

- noir ou la biotite
- blanc ou la muscovite
- brun ou la phlogopite



Figure 2: Variétés de mica

Il faut noter que la couleur doit être observée sur une cassure fraîche, car l'altération superficielle peut modifier la couleur, particulièrement chez les minéraux à éclat métallique.

Les minéraux peuvent aussi avoir la même couleur mais représente des minéraux tout à fait différents.

c. Eclat

L'éclat est l'aspect qu'offre la surface d'un minéral, lorsqu'elle réfléchit la lumière. On distingue deux grandes catégories d'éclats :

- Éclats métalliques : éclats les plus forts brillant comme celui des métaux. Ils caractérisent des minéraux opaques comme les métaux natifs, les oxydes, les sulfures et les sulfosels.
- Éclats non métalliques : éclats plus pâles que la couleur du minéral qui présentent différent

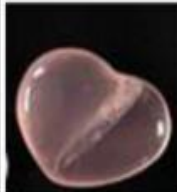
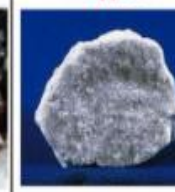
Eclat MÉTALLIQUE	Eclat NON MÉTALLIQUE				
Brillant comme celui des métaux, et ne laisse pas passer la lumière	Vitreux	Gras	Adamantin	Résineux	Soyeux
	Brillant et transparent comme une vitre	La surface était enduite d'huile ou de graisse	qui réfléchit la lumière comme le diamant	Peu brillant et peu transparent comme la résine	Doux comme la soie
Cuivre 	Quartz 	Quartz 	Diamant 	Grenat 	Amiante 
Graphite 	Orpiment 	Talc 	Zircon 	Sphalérite 	Gypse 

Figure 3: Différents éclats des minéraux (<https://slideplayer.fr/slide/17809613/>)

d. Trait

Une propriété qui attrait à la couleur, mais qui est un peu plus fiable et dont le test est facile à réaliser. Il s'agit de la couleur de la poudre des minéraux.

Cette propriété se détermine sur la trace laissée par le minéral lorsqu'on frotte ce dernier sur une plaque de porcelaine non émaillée.

Par exemple, l'hématite, un minéral dont on extrait le fer, possède une couleur noire en cassure fraîche mais un trait brun rougeâtre sur la plaque de porcelaine. La pyrite, de couleur jaune or, laisse un trait noir.

e. Dureté

La dureté d'un minéral est la résistance d'un minérale à la rayure (cohésion).

La dureté se mesure par sa capacité de rayer ou être rayée.

Un minéral très dur raie l'acier,

Un minéral dur raie le verre,

Un minéral tendre est rayé par l'ongle.

Pour déterminer cette dureté relative, les minéralogistes utilise souvent l'**échelle de Mohs**, une échelle qui porte le nom du minéralogiste qui l'a construite : l'utrichien Friedrich Mohs.

Cette échelle de Mohs distingue 10 degrés de dureté allant du minéral le plus tendre à minéral le plus dur (de dureté 1 à 10) :

- le minéral **le plus tendre** est le talc dureté 1. Un minéral tendre est rayé par l'ongle de dureté 2,5.
- le minéral **le plus dur** est le diamant dureté=10. Les minéraux durs rayent le verre (d=5,5) et l'acier (6,5).

- Tableau 1: L'échelle de Mohs

Dureté	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Minéraux	Talc	Gypse	Calcite	Fluorine	Apatite	Orthose	Quartz	Topaze	Corindon	Diamant
Image										

Source : <https://i.pinimg.com/originals/f0/c9/79/f0c979b6bedba3a7727a6632af905a03.png>

f. Transparence

La transparence d'un minéral est son aptitude à être traversé par la lumière. Plus un minéral est translucide, plus il absorbe et transmet la lumière, bien que les objets puissent apparaître flous si l'on observe à travers le minéral : (source <https://www.alloprof.qc.ca/fr/eleves/bv/sciences/les-mineraux-s1333>)

- un minéral qui se laisse traverser par la lumière est transparent.

Exemple : quartz cristallin

- Dans le cas contraire, il est opaque

Exemple : magnétite, galène

- Un minérale plutôt translucides comme l'albatre, une variété de gypse opalescent



Figure 4: La transparence des minéraux

(Source : <https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/geologie-cles-identification-mineraux-1710/page/3/>)

g. Cassure

La cassure d'un minéral désigne l'aspect de sa surface après une fracture en donnant des aspects très caractéristiques.

Exemple :

Le quartz se fragmente suivant une cassure **conchoïdale** (en courbe).

Cassure **conchoïdale** : une surface lisse, courbe et brillante, ressemblant à l'intérieur d'une coquille.

Le Kaolin a une cassure **Terreuse** : surface mate et poudreuse, caractéristique des minéraux tendres.

D'autres cassures sont qualifiées d'irrégulières ou inégales : surface rugueuse et sans forme précise, commune à de nombreux minéraux.

Remarques :

- La cassure est un critère diagnostique important pour identifier les minéraux qui ne présente pas de clivage, ou pour distinguer lorsqu'ils sont brisés de façon non plane.

- La cassure d'un minéral désigne l'aspect de sa surface après une fracture ne suivant pas de plan de clivage prédéfini.

h. Clivage

Le clivage est une propriété d'un minéral de se briser le long des plans particuliers appelés plan de clivage (plan de faiblesse dans la structure cristalline).

La résistance des minéraux est plus faible le long de ces plans de clivage, ainsi, un minéral va donc se briser facilement le long des plans, alors qu'il ne se brisera jamais selon ses faces cristallines.

Exemples :

La calcite possède un clivage rhomboédrique, avec des plans à 75° et 105°.

Les micas se débitent en feuilles grâce à leur clivage selon un plan unique.

Remarque :

En minéralogie, la principale différence entre clivage et la cassure réside dans la régularité de la surface de rupture : le clivage produit des surfaces planes et lisses liées à la structure cristalline, tandis que la cassure (ou fracture) produit des surfaces irrégulières, inégales ou courbes, sans plan de faiblesse.

i. Densité

La densité des minéraux est une propriété mesurable ; elle est une constante physique qui caractérise un minéral donné. La densité est le rapport entre le poids et le volume du minéral, $d = P \text{ (en gramme)} / V \text{ (en cm}^3\text{)}$.

On mesure le volume d'un minéral de forme quelconque par le volume de l'eau déplacée dans une éprouvette graduée où l'on immerge ce minéral.

En général on peut distinguer 3 types de minéraux suivant sa densité :

- Minéraux légers : $d \approx 2,5$ ex : mica
- Minéraux lourds : $d \approx 4$ ex : Corindon
- Minéraux très lourds : $d > 6$ ex : Barytine

La plupart des minéraux a une densité qui se situe autour de $2,7 \text{ gr/cm}^3$, soit 2,7 fois plus lourd qu'un volume égal d'eau.

2. Propriété chimique

La solubilité : les minéraux peuvent se dissoudre dans l'eau.

L'action ou le test à l'acide indique surtout la présence ou l'absence de carbonate par l'apparition ou non d'une effervescence : On verse une ou deux gouttes d'acide sur un échantillon et s'il y a une effervescence (test positif) donc le minéral contient du carbonate (CO_3) et s'il n'y a pas d'effervescence (test négatif), il n'en contient pas.

Exemple de minéral qui contient de carbonate : la calcite et l'aragonite

3. Propriété électrique

Les propriétés électriques des minéraux déterminent leur capacité à conduire, accumuler ou générer de l'électricité. Elles dépendent directement de leur structure cristalline et des liaisons chimiques. Ces caractéristiques sont fondamentales pour identifier les minéraux et sont largement exploitées dans l'industrie.

a. La conductivité électrique

La conductivité électrique est l'aptitude d'un minéral à laisser circuler un courant électrique. Elle dépend de la mobilité des électrons ou des ions dans le réseau cristallin.

- Les minéraux **conducteurs** sont principalement les minéraux métalliques comme les sulfures : la pyrite ou la chalcopryrite, les minerais natifs : l'or ou le cuivre.

- Les minéraux **isolants** constituent la grande majorité des minéraux (comme le quartz, le diamant pur ou les silicates) qui sont de mauvais conducteurs.

- Les semi-conducteurs : certains minéraux peuvent avoir une conductivité qui varie selon la température ou la pureté du cristal (ex : les oxydes).

b. La piézoélectricité

La piézoélectricité est la capacité de certains cristaux à générer une charge électrique lorsqu'ils sont soumis à une contrainte mécanique (pression, déformation). Inversement, ils se déforment lorsqu'on leur applique un courant électrique.

Exemple : Le quartz. Cette propriété est utilisée au quotidien pour les montres, les briquets électroniques ou les oscillateurs électroniques.

c. La pyroélectricité

La pyroélectricité est la capacité d'un minéral à générer une charge électrique lorsqu'il subit une variation de température (échauffement ou refroidissement).

Exemple : La tourmaline est le minéral le plus connu pour présenter cette propriété. En chauffant, les deux extrémités du cristal développent des charges opposées.

d. La triboélectricité

La triboélectricité est un phénomène d'électricité statique où certains cristaux génèrent ou accumulent une charge électrique lorsqu'ils sont frottés, heurtés ou rayés.

Exemple : Le frottement de deux morceaux de quartz ou de calcite peut parfois produire de petites étincelles visibles dans le noir.

4. Propriété optique :

Les propriétés optiques constituent un élément diagnostique fondamental dans l'identification d'un minéral. Mais la détermination de ces propriétés relève plutôt du spécialiste.

En géologie, les moyens techniques permettent d'amincir des tranches de minéraux collées sur des lamelles de verre si minces (30 micromètres) qu'elles deviennent tout à fait transparentes. On peut alors étudier ces minéraux au microscope, comme font les biologistes avec des tissus ou des microorganismes. Chaque groupe de minéraux possède ses propriétés optiques, c'est à dire qu'ils transmettent différemment la lumière et qu'ils produisent des couleurs caractéristiques lorsqu'ils sont observés en lumière polarisée, ce qui, en bout de ligne, permet de les identifier.

II. Classification et étude de quelques minéraux

1. Classification des minéraux selon leur abondance dans la roche

Classes	Minéraux cardinaux	Minéraux essentiels	Minéraux accidentels
Définition	Toujours abondants	Moins abondants	Très rares
Importance	Déterminent la famille de la roche (sa nature)	Définissent le nom de la roche	Précisent le nom de la roche
Exemple	Une roche renfermant beaucoup de quartz et feldspath est dans la famille de granite	Un granite avec du mica noir est un granite à biotite	Un granite ayant des micas blancs et quelque tourmaline est un granite à muscovite tourmaline



Granite



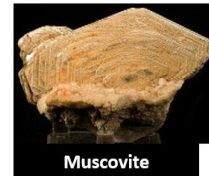
Hyalin



Feldspath



Biotite



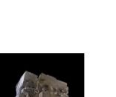
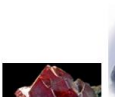
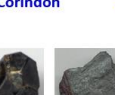
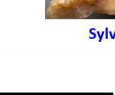
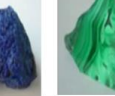
Muscovite



Tourmaline

2. Classification des minéraux selon leur composition

a. Les minéraux non silicatés avec exemples et usages

Classes	Caractéristiques	Exemples		
		Minéraux	Formules	Usages
Éléments natifs	Contiennent un seul atome	Argent Cuivre Diamant Graphite Or Platine Soufre	Ag Cu C C Au Pt S	Joaillerie, photographie Conducteurs électriques Gemmes, abrasifs, Joaillerie Mines à crayon, lubrifiants Echange, joaillerie Catalyseurs, alliages Médicaments, produits chimiques
Halogénures	Contiennent des halogènes	Fluorite Halite Sylvite	Ca F ₂ Na Cl K Cl	Fabrication des aciers Sel commun Fertilisants
Oxydes	Contiennent des éléments en combinaison avec de l'oxygène	Corindon Rubis Saphir Cuprite Ilménite Hématite Magnétite	Al ₂ O ₃ Cu O ₂ Fe Ti O ₃ Fe ₂ O ₃ Fe ₃ O ₄	Gemme, abrasif Minerai de Titane Minerai de Fer
Sulfures	Contiennent des Soufres	Chalcopryrite Cinabre Galène Pyrite Sphalérite	Cu Fe S ₂ Hg S Pb S Fe S ₂ Zn S ₂	Minerai de Cuivre Minerai de mercure Minerai de Plomb « or des fous » Minerai de Zinc
Carbonatés	Contiennent des carbonates	Azurite Malachite Calcite Dolomite Rhodochrosite	Cu ₃ (OH) ₂ (CO ₃) ₂ Cu ₂ (OH) ₂ CO ₃ Ca CO ₃ Ca Mg(CO ₃) ₂ Mn CO ₃	Minerai de Cuivre, joaillerie Ciment Portland Joaillerie
Sulfatés	Contiennent des sulfates	Anhydrite Gypse Barite	Ca SO ₄ Ca SO ₄ · H ₂ O Ba SO ₄	Plâtre et panneaux Boue de fourrage
Phosphatés	Contiennent des phosphates	Apatite	Ca C (Fe I) ₃ PO ₄	
 Argent  Cuivre  Diamant  Graphite  Fluorite rose  Halite  Cuprite  Corindon  Rubis  Saphir  Or  Platine  Soufre  Sylvite  Ilménite  Hématite  Magnétite  Chalcopryrite  Cinabre  Galène  Anhydrite  Azurite  Malachite  Calcite  Sphalérite  Pyrite  Gypse  Barite  Dolomite  Rhodochrosite  Apatite				

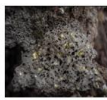
b. Les minéraux silicatés

➤ B . MINÉRAUX SILICATES

Groupes	Caractéristiques	Schémas	Exemples	
			Minéraux	Formules
MESOSILICATES	Tétraèdre isolé		Grenat Olivine Zircon	$\text{SiO}_4\text{Al}_2(\text{CO}_3)_3$ $\text{SiO}_4(\text{Mg/Fe})_2$ SiO_4Zn
SEROSILICATES	Tétraèdres reliés par un Oxygène en commun		Epidote	$(\text{SiO}_4\text{Si}_2\text{O}_7\text{OOH})\text{Al}_2\text{FeCu}_2$
CYCLOSILICATES	Tétraèdres formant des chaînes fermées		Béryl Émeraude	$(\text{Si}_6\text{O}_{18})\text{Al}_2\text{Be}_3$
INOSILICATES	Tétraèdres en chaîne simple ou double		Pyroxène Amphibole	$\text{Si}_6\text{O}_{12}\text{Mg}_2$ $(\text{Si}_4\text{O}_{11}\text{OH})_2(\text{Fe, Mg})_7$
PHYLLOSILICATES	Tétraèdres formant des chaînes doubles en feuillets		Talc Mica	$\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ $\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$
TECTOSILICATES	Tétraèdres n'ayant pas de sommets libres		Quartz Feldspath	SiO_2 SiAlO_3Na



Grenat



Olivine



Zircon



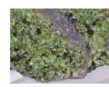
Epidote



Béryl



Émeraude



Pyroxène



Amphibole



Talc



Mica

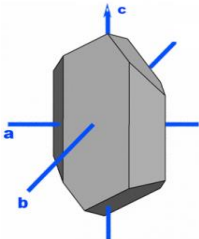


Quartz

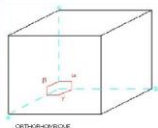


Feldspath

3. Etude de quelques minéraux

Propriétés Minéraux	Formes	Dureté	Couleur	Eclat	Clivage ou Cassure	Localisation à M/car	Test à l'Acide (HCl)
Quartz (SiO₂) : c'est un minéral de couleur claire. Il peut se présenter à l'état amorphe ou cristallisé.	Prisme hexagonal  https://lespierresdepascal.fr/blogs/comprendre-et-utiliser-les-pierres/comprendre-les-vertus-des-pierres-6eme-volet-la-cristallographie-l'architecture-secrete-des-pierres	7	Incolore : cristal de roche Jaune : citrine Violet : améthyste	Vitreux (transparent ou non)	Cassure : conchoïdale (présentant des surfaces courbes à stries concentrées)	Betafo et Ambatofinandrahana : pegmatites riches en quartz, feldspath et mica. A Antananarivo : dans les roches Magmatiques et Metamorphiques	- (négatif)
Feldspath (Si₃AlO₈)X Avec x= K ou Na ou Cl	Triclinique  Cristal triclinique (Aucun axe de symétrie) https://gemlabmarseille.com/formation/fga/projets/2015dufour/feldspath.pdf (prisme oblique à base parallélogramme)	6	Rose : orthose Blanc : Plagioclases	Nacré (ou porcelaine)	Cassure à partie brillante	Analamanga : associé aux granites et pegmatites Itasy et Vakinankaratra : dans les zones volcaniques et granitiques où l'on trouve du feldspath alcalin ()	- (négatif)

Mica : ce sont des silicates d'alumine et de divers métaux comme le K, Mg.	En Feuillet 	2,5	Noir : biotite Brun : Phlogopite Incolore : muscovite	Métallique (~métal)	Clivage sur un plan ou feuillets	Itremo (région Amoron'i Mania) : gisements métamorphiques riches en muscovite. Betafo et Ambatofinandrahana : zones granitiques et pegmatitiques avec mica clair. Anosy (Fort-Dauphin) : exploitation artisanale importante, surtout phlogopite.	- (négatif)
Calcite CaCO_3	Rhomboédrique  Rhomboèdre de calcite https://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/objets/Images/Img474/474-calcite-carriere-Boulonnais-16.jpg https://i.etsystatic.com/12396175/r/il/af5be9/3128005835/il_570xN.3128005835_ow9s.jpg	3	Blanchâtre, incolore	Vitreux (non transparent)	clivable sur trois plans	Roche sédimentaire à AMpefy	+ (positif : effervescence à l'HCl)

Aragonite (coquille de la plupart des mollusques : coquille fossile, any @ roche volcanique)	Orthorhombique   https://www.geowiki.fr/index.php?title=Syst%C3%A8mes_cristallins https://lecomptoirdespierresdures.com/pierres-dures-brutes/aragonite/	3,5 à 4	Blanc (teinté de gris, jaune, vert, violet)	Vitreux, (transparent à translucide)			+ : effervescence à l'HCl
---	---	---------	---	--------------------------------------	--	--	---------------------------

Cartes de Madagascar avec les minéraux typiques

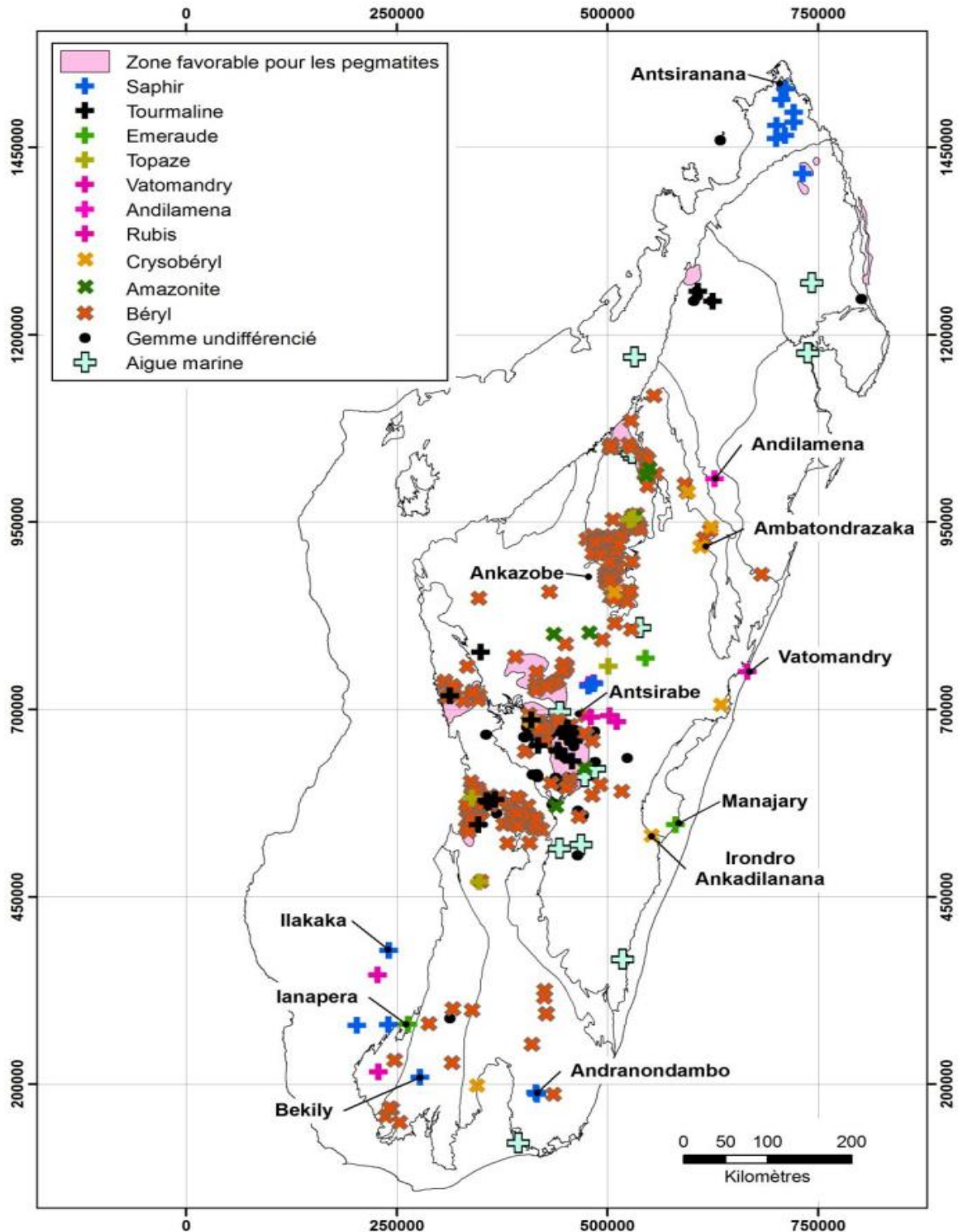


Figure 5: Carte de répartition des pierres précieuses et semi-précieuses de Madagascar (les gemmes)

III. Notion de techniques d'exploitation et de transformation

- Définition : L'exploitation minière est l'ensemble des travaux permettant d'extraire et de mettre en valeur les minéraux utiles.
- Importance : sans exploitation, les minéraux n'ont pas de valeur économique.

1. Extractions

Une fois le gisement localisé grâce à la prospection, l'exploitation peut commencer. Selon les moyens techniques et l'importance du gisement, on distingue deux modes d'extraction :

a. L'extraction Artisanale

Une extraction réalisée à petite échelle :

- Avec des outils simples (pelles, pioches, tamis).
- Des méthodes traditionnelles (lavage de sable aurifère, tri manuel).

Elle fait vivre de nombreuses communautés avec son faible coût et accessible aux populations locales. Cependant, elle présente des rendements faibles et des risques pour la sécurité.

b. L'extraction industrielle

Une extraction réalisée à grande échelle :

- Avec utilisation de machines lourdes (excavatrices, concasseurs, camions de mine).
- Exploitation à ciel ouvert (carrières) ou souterraine (galeries, puits).
- Avantages : forte production, mécanisation.

Elle présente un coût élevé et impacts environnementaux importants.

À ce stade, le produit sorti de la mine est appelé **minerai brut**. C'est un mélange de la substance utile (le minéral recherché) et de la roche environnante sans valeur, appelée le **stérile** (ou la gangue).

2. Transformation, valorisation et notion de rendement

Le minerai brut ne peut pas être utilisé directement. Il doit subir une transformation pour être valorisé sur le marché.

•**Transformation** : opérations qui modifient le minerai brut (broyage, lavage, fusion, raffinage).

•**Valorisation** : mise en valeur économique (pierres précieuses taillées, métaux raffinés, matériaux de construction).

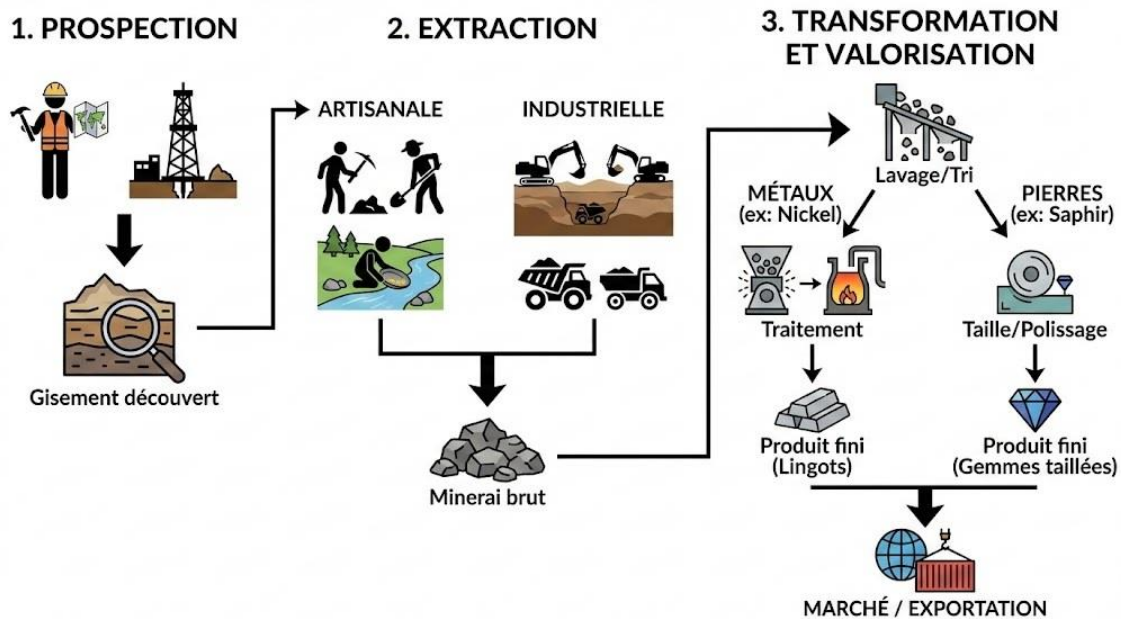


Figure 6: L'exploitation minière

a. Le lavage et le tri (étape commune)

Le minerai brut est d'abord lavé à l'eau et trié mécaniquement ou manuellement pour éliminer la boue et une grande partie du stérile.

b. Les deux grandes filières de transformation :

- La filière des Métaux (ex : Le Nickel à Ambatovy) : Le minerai trié subit un traitement métallurgique complexe (broyage fin, réactions chimiques à haute température dans des usines). On sépare chimiquement les atomes de métal pour obtenir des produits finis sous forme de lingots purs à plus de 99%.

- La filière des Pierres et Gemmes (ex : Le Saphir à Ilakaka) : Les cristaux bruts isolés sont confiés à des lapidaires. Ils subissent une action mécanique de précision : la taille (façonnage de faces géométriques) et le polissage (pour donner de l'éclat). Le produit fini est une gemme taillée prête pour la joaillerie.

c. La notion de rendement

Le rendement d'un gisement est souvent très faible. Par exemple, pour obtenir une tonne de métal pur ou quelques grammes de saphir, il faut parfois extraire et traiter des centaines de tonnes de minerai brut.

$$\text{Rendement} = \frac{\text{Masse de la substance utile obtenue}}{\text{Masse totale de minerai brut extrait}} \times 100$$

3. Les impacts environnementaux et la réhabilitation (développement durable)

L'activité minière, bien qu'essentielle à l'économie, modifie profondément l'environnement. Les principaux impacts sont :

- La dégradation des sols et de la biodiversité : L'ouverture des carrières nécessite souvent le décapage de la végétation (déforestation).
- La gestion des stériles : L'accumulation des roches rejetées forme des collines artificielles (les terrils) qui peuvent subir l'érosion ou libérer des éléments toxiques.
- La pollution de l'eau : Le lavage du minerai nécessite d'immenses quantités d'eau qui, si elles ne sont pas traitées, peuvent polluer les rivières locales avec des sédiments ou des produits chimiques.

La Réhabilitation des sites :

Aujourd'hui, une exploitation moderne doit prévoir la réhabilitation (ou restauration) des sites en fin de vie :

1. Comblir les trous d'extraction avec les stériles conservés.
2. Restituer la couche de terre arable en surface.
3. Pratiquer le reboisement avec des espèces végétales locales pour reconstituer l'écosystème et stabiliser les sols contre l'érosion.