
COMPREHENSION DES RESULTATS GEOCHIMIQUES

L'allure générale des trajectoires de foliations dans le secteur étudié nous permet d'établir le modèle suivant :

Le secteur est dominé par des foliations de direction majeure Nord Est vers le Sud-Ouest. Cette famille directionnelle NE - SW de trajectoire des foliations constitue le 22,99% des foliations qui se dessinent dans le secteur.

Aussi, des plissements apparaissent surtout dans le secteur. Ces formations plissées présentent les foliations avec une allure de faible importance de l'Ouest vers l'Est.

IV.5- Perspectives

D'abord, nombreux problèmes sont rencontrés pendant la réalisation de cet ouvrage tels que :

- L'ancienneté des données concernant les minéralisations associées ;
- Le manque des données sur les produits utiles ;
- L'insuffisance des bibliographies récentes.

Nous avons quelques recommandations pour la fiabilité des données pour ceux qui vont les utiliser :

- Mise à jour des données en tant que système d'informations ;
- Traitement des données sur d'autres logiciels de SIG (Arcview...)

La documentation disponible pour cette étude est malheureusement très incomplète.

Chapitre V : **COMPREHENSION DES RESULTATS GEOCHIMIQUES**

V.1- Présentation des résultats d'analyse en grain

V.1.1- Opérations effectuées

- Tamisage
- Batée
- Observation à la loupe binoculaire
- Utilisation : lampe à rayonnement ultra-violet
- Comptage des grains

Remarque:

La charte graphique est une méthode d'approximation visuelle des minéraux dans le cas les grains sont de taille telle qu'il est difficile de les compter.

V.1.2- Mode d'évaluation des échantillons prélevés dans les cours d'eau

V.1.2.1- Charte visuelle d'évaluation des pourcentages des grains dans un champ microscopique . [Richard D TERRY et Georges G. CHILINGAR (1955)].

L'examen des minéraux lourds extraits d'une formation peut être qualitatif ou quantitatif. Dans certains cas, la prédominance d'une espèce minérale est telle que tout essai d'étude quantitative paraît superflu. Mais, le plus souvent, une évaluation ou même un dénombrement des types de minéraux est nécessaire.

a- Définition

C'est une estimation volumétrique des différents minéraux lourds par rapport au volume global ; elle se fait à la loupe binoculaire.

Les données obtenues en pourcentage sont approximatives (erreur absolue d'environ $\pm 5\%$ pour des teneurs comprises entre 10 et 90% et pour un opérateur entraîné).

La mode d'évaluation se fait par la méthode des chartes visuelles d'évaluation des pourcentages relatifs des grains dans un champ microscopique. [Richard D TERRY and Georges G. CHILINGAR (1955)].

b- Procédé

Pour ce faire :

- verser l'échantillon de minéraux lourds sur une table,
- éparpiller l'échantillon et on le ramasse dans une boîte de pétrie,
- observation microscopique en LN,
- évaluation des minéraux lourds par la méthode de charte visuelle d'évaluation des grains dans un champ microscopique.

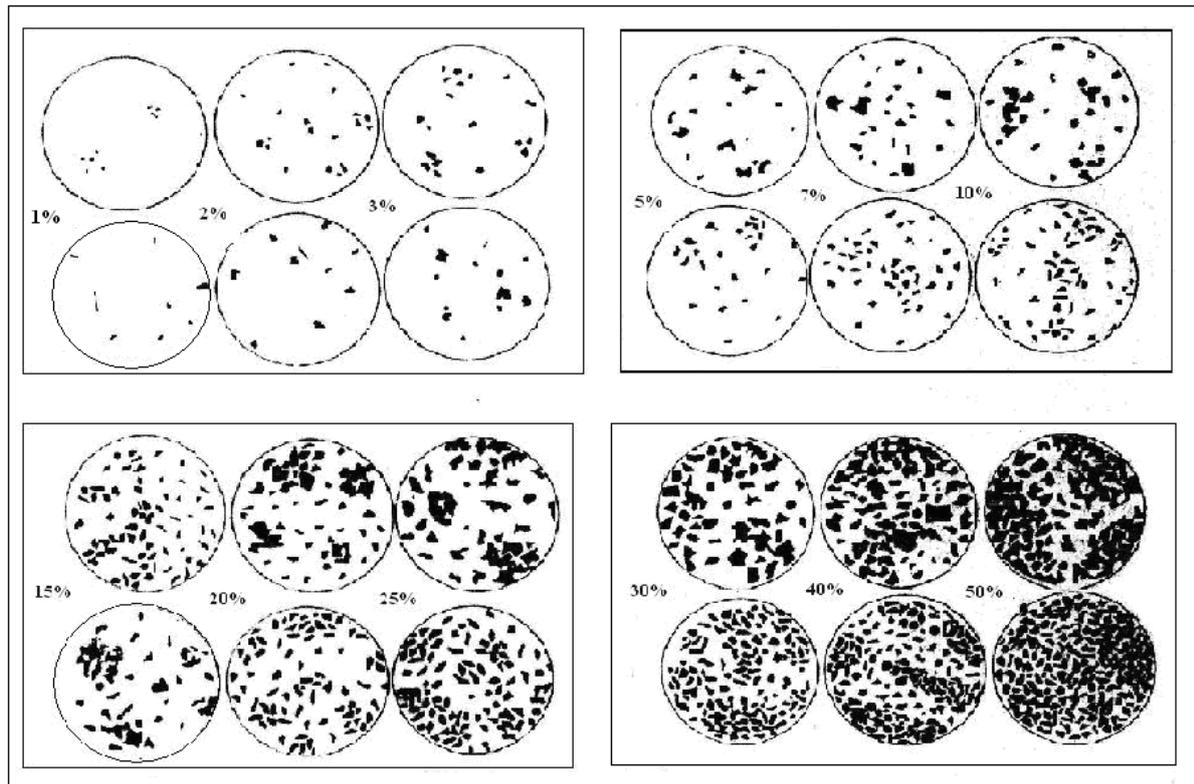


Figure 26 : Chartes visuelles d'évaluation des pourcentages relatifs des grains dans un champ microscopique. [Richard D TERRY et Georges G. CHILINGAR (1955)].

LES PRINCIPAUX ELEMENTS DE DETERMINATION DES PIERRES

L'objectif de l'étude est de pouvoir donner un aperçu du potentiel de minéralisation en tenant compte des indications, des concentrés, des fonds de batée. Effectivement, les minéraux des fonds de batée sont des minéraux généralement des éléments métalliques qui ont une certaine résistance à l'abrasion mécanique et chimique en cours de transport par l'eau. Ces minéraux, outre le fait qu'ils peuvent être utiles pour la caractérisation lithochimiques en amont, permettent également un diagnostic plus ou moins précis du potentiel de la minéralisation également en amont. Cette partie est donc spécifique à l'étude des pierres qui ont abouti à une estimation préliminaire du potentiel minéral.

L'étude des minéraux lourds des fonds de batée est destinée à contribuer à la compréhension des problèmes stratigraphiques, paléogéographiques, sédimentologiques,

péetrographiques et métallogéniques.

L'examen d'un concentré de fonds de batée (les minéraux lourds) commence toujours par une subdivision de ceux-ci en plusieurs groupes, au moyens de quelques caractères physiques simples tels que la densité, la dureté, la couleur, l'éclat, le magnétisme.

Méthode de traitement d'un concentré

Au cours de la préparation d'un échantillon, il faut prendre beaucoup de précautions pour obtenir le maximum d'informations nécessaires à l'étude minéralogique.

VI.1.1- Méthode de séparation

Chaque fois qu'un minéral demande une étude particulière, la concentration du minéral en question oblige à recourir aux techniques de séparation de minéraux lourds telles que le superpanner, la table à secousse a tout simplement la batée à main de laboratoire.

VI.1.1.1- Tamisage

Le tamisage est la méthode utilisée en préparation des analyses granulométriques. Il se fait à l'aide d'une série de tamis dont les ouvertures des mailles sont définies par la connaissance de la taille de la libération totale du minéral cible (généralement on prend de 500µm à 40 µm).

Après chaque tamisage, il faut bien nettoyer le tamis pour éviter la contamination des autres échantillons.

VI.1.1.2- Séparation magnétique

Le magnétisme d'un minéral est déterminé par son aptitude à être attiré plus ou moins fortement par un aimant. Certains minéraux sont magnétiques alors que d'autres ne le sont pas du tout.

La séparation magnétique consiste à extraire successivement du concentré les minéraux de différentes susceptibilités magnétiques.

Il existe 2 types de minéraux attirables par l'aimant :

- Les minéraux ferromagnétiques qui ont une susceptibilité magnétique très élevée et sont fortement attirés dans un champ magnétique non uniforme. Ils génèrent eux même un champ magnétique.
- Les minéraux paramagnétiques moyennement ou faiblement attirés par l'aimant à main

de faible intensité et nécessitent une séparation à des intensités plus élevées telle qu'au moyen d'un électro-aimant.

a- Séparation magnétique au sens strict

Ces séparations sont habituellement destinées à séparer les minéraux ferromagnétiques. Elles s'effectuent au moyen de barreaux aimantés ou d'aimants de forme cylindrique, munis d'embouts en matière plastique ou en papier, aisément amovibles pour faciliter la récupération des minéraux en évitant leur contact avec l'aimant même.

Les minéraux sont étalés sur une surface plane au-dessus de laquelle on fait passer l'un des pôles de l'aimant. Les minéraux attirés sont rassemblés dans un récipient. L'opération est répétée jusqu'à ce qu'aucun minéral ne se détache du lot.

La fraction ferromagnétique obtenue est généralement une composition minéralogique suffisamment simple pour être directement étudiée.

b- Séparation électromagnétique

Elles consistent à séparer les minéraux dans un champ magnétique où les intensités des champs sont variables en faisant varier l'intensité de courant électrique. Si les minéraux sont attirés par le champ magnétique ils sont dits paramagnétiques et s'ils sont repoussés, diamagnétiques.

La séparation électromagnétique se fait essentiellement à l'aide d'un séparateur électromagnétique du type « Frantz isodynamique ».

Les séparations successives se font avec les intensités électriques 1A et 1,5 A à l'issue des quels les minéraux résidus non attirables dénommés Résidu magnétiques (R). Les fractions magnétiques obtenues sont de natures paramagnétiques dénommées SM1 à 1A et SM2 à 1,5A.

a Le tri à la loupe binoculaire

C'est la méthode de séparation la plus élémentaire mais la plus précise. On peut différencier ce qu'on trie et elle permet d'isoler et d'identifier un grain ou un fragment d'un minéral déterminé.

Cette séparation permet d'identifier rapidement les constituants minéralogiques de chaque fraction magnétique et du résidu magnétique. Elle permet une première étude minéralogique pour détecter les inclusions minérales, de caractériser le clivage, les cassures et les doublets si la pierre contient une partie artificielle.

En général, les grains alluvionnaires ne conservent pas la forme cristalline car ils sont plus ou moins roulés, sauf quelques espèces qui sont difficilement érodables et qui gardent leurs formes cristallisées (exemple : le zircon avec sa forme allongée de section carrée.).



Figure 27 : La loupe binoculaire utilisée en minéralogie (Euromex : Holland)

VI.1.2- Séquencement de la préparation d'un échantillon

Pour connaître la composition minéralogique d'un dépôt alluvionnaire, il est nécessaire de suivre les phases suivantes :

VI.1.2.1- Méthode de prélèvement des échantillons

Le prélèvement se fait à l'aide d'une bêche sur le niveau inférieur à graviers et à galets.

VI.1.2.2- *Extraction des minéraux lourds*

En prospection générale, on appelle concentré de fonds de batée « les minéraux noirs » qui restent au fond de la batée après l'évacuation des minéraux légers du liséré blanc.

L'outil le plus ancien et encore le plus utilisé pour l'extraction des minéraux lourds est la batée conique métallique. Elle se présente sous la forme d'un cône de 150° d'ouverture et de 40 cm à 50 cm de diamètre. Elle est manipulée dans l'eau. La séparation des minéraux lourds des alluvions qui remplissent la batée se fait par la génération d'une force centrifuge au manipulateur qui imprime un mouvement rotatif excentrique. Elle utilise la force centrifuge pour expulser les éléments légers vers la bordure de la batée en provoquant leur entraînement par l'eau admise puis évacuée de la batée.

Après lavage, le concentré obtenu est stocké provisoirement dans un sac en plastique étanche, soigneusement fermé et étiqueté. La batée est rincée à l'eau pour ne rien perdre la quantité récupérée. La même opération est répétée autant de fois que nécessaire jusqu'à l'obtention d'environ 50 g de concentré. Il faut généralement le plein de 4 à 5 batées pour parvenir à ce résultat.

L'eau dans le sachet plastique est ensuite vidée avec grande précaution pour ne rien perdre du fait que le concentré.

On a deux sortes de batée pour extraire les minéraux :

- Le Pan californien à fond plat et tel que la moitié de son rebord comporte une échancrure qui empêche l'élimination des minéraux lourds de très petite taille. (figure 27, image a)
- La batée conique en forme de chapeau chinois (figure 27, image b)

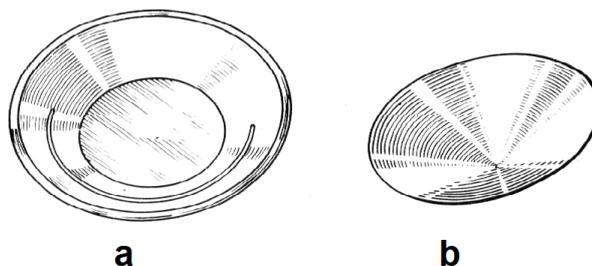


Figure 28 : Pan Californien (a) et batée conique

VI.1.2.3- *Pesage et séchage des échantillons*

Le concentré des minéraux lourds ainsi récupéré est mis à sécher. Il est formé de sable fin et d'éléments plus gros. Les échantillons séchés sont pesés à l'aide d'une balance électronique puis emballés et référencés d'une manière identique que l'échantillon non lavé. Son poids est en général inférieur ou égale à 50 grammes. Le poids de l'échantillon est également en fonction de la granulométrie.



Figure 29 : Balance de précision pour le peser des échantillons

VI.1.2.4- *Tamissage*

Lorsqu'une étude des pierres comporte une étape granulométrique, il vaut mieux les tamiser (après le lavage et le séchage) et en profiter pour mettre à part des sacs étiquetés les fractions destinées à l'étude minéralogique.

Ce travail se fait à l'aide d'un tamis dont la maille est de 40 μ (0.04mm).

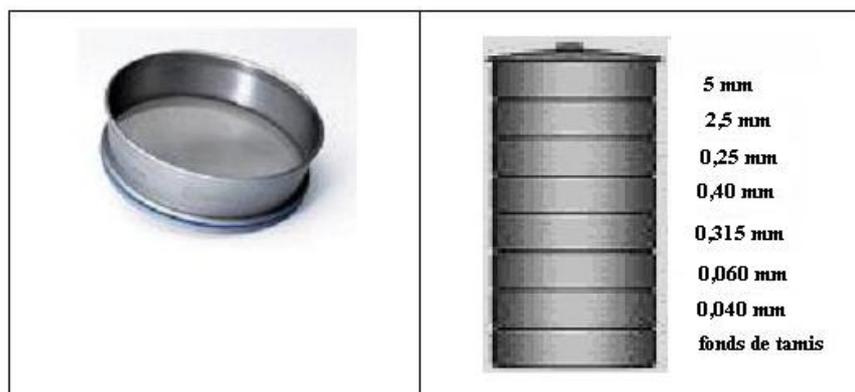


Figure 30 : Une colonne standard de tamis dans le norme AFNOR

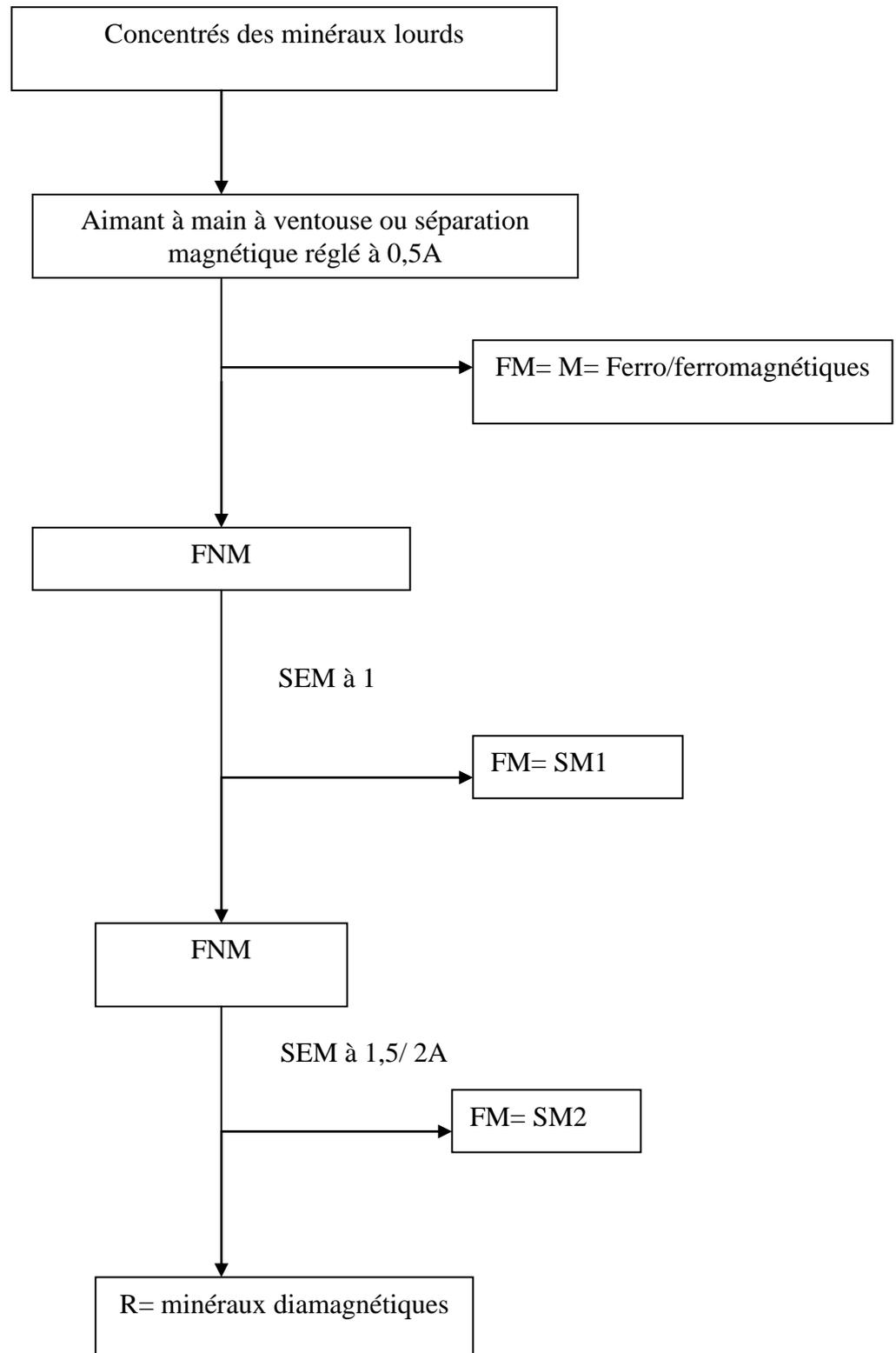


Figure 31 : Schéma montrant les diverses étapes de l'étude des fonds de batée.

VI.1.3- Description générale de la pierre

Les minéraux possèdent des propriétés physiques qui permettent de les distinguer selon des critères d'identification propre. Ces critères sont précieux, tant pour le spécialiste, que pour le collectionneur amateur. La couleur et la forme cristalline des minéraux attirent d'abord l'oeil, mais il y a bien d'autres propriétés. Plusieurs de ces propriétés peuvent être observées sans l'aide d'instruments et sont d'une grande utilité pratique.

VI.1.3.1- *La pureté*

La pureté fait partie des défauts physiques des pierres et conditionne leurs aspects internes. Elle peut présenter des cassures internes et/ou des inclusions d'autres minéraux, soit elle est totalement sans défaut ni inclusion.

VI.1.3.2- *La transparence*

La transparence est le degré auquel un minéral peut transmettre la lumière.

On distingue les minéraux transparents et les minéraux opaques.

Les premiers se laissent traverser par la lumière alors que les seconds la reflètent plus ou moins complètement. Toute une gamme intermédiaire de la transparence est définie entre ces deux extrêmes.

On distingue plusieurs niveaux de transparence :

- ❖ **Transparent** : transmet la lumière intégralement, l'image sous le minéral est nette et non déformée.
- ❖ **Semi-transparent** : transmet la lumière en la déformant, l'image sous le minéral est floue et légèrement déformée.
- ❖ **Translucide** : transmet et diffuse la lumière mais on ne distingue pas l'image.
- ❖ **Semi-translucide** : ne transmet la lumière que sur les surfaces minces comme les crêtes.
- ❖ **Opaque** : ne transmet pas la lumière.

VI.1.3.3- La couleur

C'est un caractère déterminant mais non discriminant. Certains minéraux peuvent présenter les couleurs et les nuances variables. Le saphir est un corindon bleu, rose, vert, jaune, violet, orange ou incolore ; le corindon rouge est appelé rubis. On peut aligner différentes pierres roses de différentes gemmes présentant des nuances similaires : tourmaline rose, saphir rose, béryl rose, spinelle rose etc....

Toutefois les minéraux qui possèdent la même couleur sont peu fréquents. Il faut donc être prudent et bien prendre conscience que la couleur de la plupart des minéraux est variable et qu'elle peut être due à des causes très différentes.

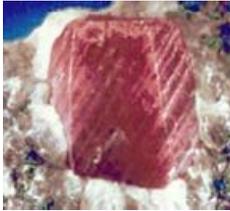
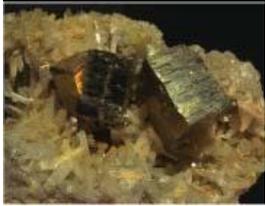
		
Rubis	Spinelle	Rhodonite
		
Pyrite	Chalcopyrite	Or

Figure 32 : Différentes couleurs et nuances des pierres

VI.1.3.4- L'éclat

L'éclat des minéraux est l'aspect de la surface du minéral lorsqu'elle réfléchit la lumière du jour. Plusieurs facteurs influencent l'éclat : l'indice de réfraction (l'éclat augmente avec celui-ci), le pouvoir d'absorption de la lumière, l'aspect de la surface (lisse, rugueuse ou mate).

Ainsi l'éclat des minéraux ne dépend pas de la couleur.

On distingue deux grandes catégories: l'éclat métallique et l'éclat non métallique que l'on décrit par des termes comme vitreux (comme le verre), soyeux (comme la soie), etc.

Ensuite, une pierre peut avoir trois différents éclats.

Les éclats intenses :

- ❖ Eclat métallique, brillant comme celui des métaux. La réflexion est la même que dans le cas de la réflexion de la lumière par un miroir (éclat de l'hématite).
- ❖ Eclat adamantin: qui réfléchit la lumière comme le diamant. La réflexion est très nette. C'est l'éclat le plus intense des pierres transparentes visible dans le diamant bien poli. Ceci est dû au fait que le dominant a très grand indice de réfraction 2,42 ; il est naturellement très tronqué (généralement de forme rhomboédrique).

Les éclats moyens

- ❖ Eclat vitreux : la surface éclairée apparaît comme le verre, lustre le plus commun pour les pierres transparentes (quartz).

Les éclats faibles:

- ❖ Eclat gréseux : la surface apparaît comme enduit d'huile. La réflexion est lumineuse et nette (Jadéite, néphrite).
- ❖ Eclat résineux : caractéristique de l'ambre, il y a réflexion mais elle n'est ni lumineuse ni nette (comme la résine)
- ❖ Eclat cireux : la réflexion est faible et indistincte. La surface ressemble à un angle sans vernis ou à la surface d'une bougie.
- ❖ Eclat soyeux comme la soie (gypse).
- ❖ Eclat gras comme si la surface était enduite d'huile ou de graisse. L'éclat correspond à un pouvoir réflecteur faible (quartz, béryl, fluorine tourmaline).

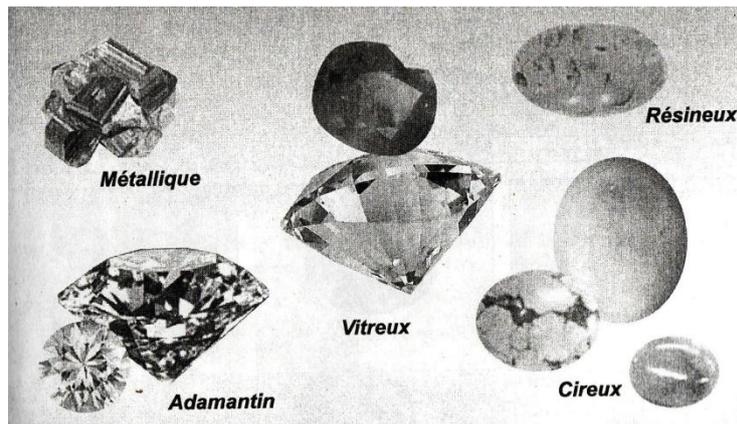


Figure 33 : Les différents éclats observés sur les pierres

VI.1.3.5- *La poussière*

La couleur de la poussière est obtenue en frottant le minéral sur une plaquette de porcelaine rugueuse (non vernissée). On obtient un trait analogue à celui d'une craie frottée sur un tableau noir. La couleur de la poussière est beaucoup plus significative que celle du minéral lui-même. L'inconvénient est que les minéraux plus durs que la porcelaine ne donnent pas de poussière. Par exemple, l'hématite, un minéral dont on extrait le fer, possède une couleur noire en cassure fraîche mais une poussière brune rougeâtre sur la plaque de porcelaine. La pyrite de couleur jaune or laisse une poussière noire. La couleur de la poussière tient une bonne place dans les ouvrages de description de minéraux.



Figure 34 : Mesure de la poussière, l'hématite a un trait brun-rougeâtre (gauche)

VI.1.3.6- *La densité*

La mesure de la densité s'effectue à l'aide d'une balance de précision qui dispose d'un double plateau tel que l'un est dans l'air et l'autre immergé dans l'eau. Cette mesure ne s'applique bien évidemment qu'aux pierres non serties.

La densité d'une pierre est le rapport de son poids à celui du volume d'eau qu'il déplace pendant son immersion. La densité des gemmes oscille entre 1 à 7.

$$\text{densité} = \frac{\text{poids du minéral dans l'air}}{\text{poids du minéral dans l'air} - \text{poids du minéral dans l'eau}}$$

Pour le saphir par exemple, le poids spécifique est de 3,95 g/cm³. Ce qui signifie que 1 cm³ de minéral a une masse égale à 3,95 g, c'est à dire presque quatre fois la masse d'un volume égal d'eau.



Figure 35 : Mesure de densité des minéraux

VI.1.3.7- **La dureté**

La dureté d'un minéral correspond à sa résistance à se laisser rayer ainsi que sa capacité à rayer d'autres minéraux. Elle est variable d'un minéral à l'autre. Certains minéraux sont très durs comme le diamant, d'autres sont tendres comme le talc.

Le test de dureté se fait par des moyens simples. C'est un test destructif, c'est pourquoi il n'est conseillé que sur les pierres brutes. La référence la plus utilisée est l'échelle relative de Mohs qui compte dix niveaux de dureté.

Mais il existe aussi des moyens simples lorsqu'on est sur terrain. L'échelle de dureté absolue de Rosiwal est moins utilisée par les scientifiques et les chercheurs.

La pierre à déterminer est rayée avec les pierres de dureté connue et croissante.

Lorsque la pierre ne peut plus être rayée, on se réfère à la pierre de densité directement supérieur.

Echelles de MOHS		Autres tests	
Dureté	Minéraux étalons		Dureté de Rosiwal
1	Talc	Friable sous l'ongle	0,03
2	Gypse	Rayable avec l'ongle	1,25
3	Calcite	Rayable avec une pièce de cuivre	4,5
4	Fluorite	Facilement rayable avec le couteau	0,5
5	Apatite	Encore rayable au couteau	6,5
6	Orthose	Rayable à la lime	37
7	Quartz	Raye le verre	120
8	Topaze		175
9	Corindon		1.000
10	Diamant		140.000

Tableau 1 : Les minéraux indiquant l'échelle de dureté de Mohs



Figure 36 : Les minéraux étalons selon leur dureté sur l'échelle de Mohs

On utilise aussi des tiges serties pour la mesure de dureté comprise entre 5 et 9.



Figure 37 : Tiges serties de minéraux pour la mesure de dureté comprise entre 5 et 9

Remarque :

- Bien distinguer rayure et trait. Une rayure qui s'efface est un trait ; la pierre qui raye est donc plus dure et laisse une trace.
- La dureté varie dans des directions différentes et le test se fera dans plusieurs directions.
- Les pierres de même dureté ne se rayent pas mutuellement.
- On ne peut pas effectuer le test de dureté sur un endroit crevassé de la pierre.

Exemple : Une pierre qui raye le spinelle et qui est rayée par le saphir pourrait avoir une dureté de 8,5.

VI.1.3.8- **Clivage et cassure**

Le clivage et la cassure sont visibles dans une pierre brute.

Un examen à la loupe peut l'identifier. Ils sont plus nets et plus commodes à caractériser au microscope optique.

a- Le clivage

Le clivage est une propriété très importante des minéraux. Un minéral se débite facilement suivant ses plans de clivage. Ainsi, si on frappe à l'aide d'un marteau, on obtiendra toujours les mêmes angles entre les faces quelque soit la dimension de ces dernières.

- **Excellent** : se fait nettement, quasiment naturellement sans effet.
On peut faire de fines lamelles (Micas).
- **Parfait** : le clivage se fait en formes régulières délimitées par des plans parfaitement nets, bien délimités (Topaze, tourmaline), et la surface obtenue est bien lisse et réfléchissante telle un miroir.
- **Bon** : les plans de clivage sont irréguliers.
- **Imparfait** : les plans de clivage sont irréguliers.
- **Très imparfait** : il n'y a pas de clivage, on parle de cassure.

Par exemple, la calcite possède un clivage avec des plans à 75° et 105° . Par contre, si on brise un cristal de quartz qui est un minéral sans clivage, on obtient des fragments avec des cassures très irrégulières (comme si on brisait un tesson de bouteille) dite conchoïdales. Les micas se débitent en feuilles grâce à des clivages parallèles parfaits selon un plan unique.

b- Les cassures les plus fréquentes

La cassure est le débit du minéral ne se trouvant pas dans les plans de clivage.

On distingue les cassures suivantes :

- **Conchoïdale** : une surface courbe en coquille, souvent avec des ondulations esquilleuses concentriques. Elle est fréquente sur les pierres transparentes.
- **Granulaire** : une apparence en grain dans les agrégats cristallins.
- **Esquilleuses** : une apparence fibreuse comme la cassure d'un bois.
- **Irrégulière** : cassure rugueuse au toucher de plus gros grains qu'une cassure granulaire.

Procédure

- On illumine la pierre par-dessus ;
- On regarde la surface et on examine les surfaces montrant une détérioration.

VI.1.4- Morphologie des pierres

Les pierres possèdent une forme naturelle qui leur est propre durant leur formation.

- La forme **isométrique** : existence de trois directions égales dans l'espace.
(Exemple : fluorine).