



République Algérienne Démocratique et Populaire
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



*Laboratoire des Sciences et Techniques
de l'eau (L.S.T.E)*

Université de Mustapha Stambouli - Mascara

Support de cours Géologie



Par

Dr SEMARI KHADIDJA

Maitre de conférence à l'Université de Mustapha Stambouli - Mascara
Docteur es Sciences en Sciences de la Terre et de l'Univers

Années universitaire 2017 – 2018

Avant Propos

Ce cours est destiné aux étudiants de deuxième année hydraulique, Génie civile et travaux publics. Il s'inspire essentiellement d'ouvrages, de supports de cours en ligne et de sites internet cités en références bibliographiques.

Le présent cours est conçu pour élargir les bases de la géologie, aujourd'hui largement utilisées dans plusieurs disciplines à savoir : l'Hydraulique, Génie Civile, Travaux publique...ext.

Le premier chapitre donne un aperçu général sur la Géologie et présente des notions sur la forme et la structure de la terre.

Le deuxième chapitre, expose les grandes familles des roches et leurs caractéristiques minéralogiques.

Le troisième chapitre, présente les manifestations les plus frappantes de la vie : Les séismes et les volcans.

Enfin, le quatrième chapitre explique l'intervention du géologue au niveau du terrain et son rôle dans la réalisation des projets, tels que l'implantation des ouvrages hydrauliques ou dans le domaine de la maçonnerie par exemples.

Tout manuscrit contient sans doute des erreurs, je serais très reconnaissante aux lecteurs de me faire part des erreurs ou anomalies qu'ils auraient détectées à mon adresse électronique.

Semari_khadidja@yahoo.fr

Mascara, le 30 Mai 2018

Table des matières

Avant Propos	1
Table des matières	2
Introduction	4
Chapitre I Introduction à la Géologie	5
<i>I.1</i> Domaines de la géologie	5
<i>I.2</i> Application de la Géologie au Génie Civil	5
<i>I.2.1</i> Rôle du géologue	5
<i>I.2.2</i> Ce que le technicien attend du géologue.....	5
<i>I.3</i> Forme et structure de la terre	5
<i>I.3.1</i> La croûte	6
<i>I.3.2</i> Le manteau	7
<i>I.3.3</i> Le noyau	7
Chapitre II Les roches et les minéraux	8
<i>II.1</i> Roches magmatiques	8
<i>II.1.1</i> Structures	8
<i>II.1.2</i> Texture	8
<i>II.1.3</i> Composition chimique	8
<i>II.1.4</i> Classification	9
<i>II.2</i> Roches métamorphiques.....	11
<i>II.2.1</i> Facteurs du métamorphisme	11
<i>II.2.2</i> Classification des roches métamorphiques.....	11
<i>II.3</i> Roches sédimentaires	11
<i>II.3.1</i> Erosion et altération	11
<i>II.3.2</i> Transport	11
<i>II.3.3</i> Sédimentation ou dépôt	11
<i>II.3.4</i> Diagenèse	12
<i>II.3.5</i> Les roches sédimentaires détritiques	13
<i>II.3.6</i> Les roches sédimentaires d'origine chimique et biochimique.....	13
<i>II.4</i> Stratigraphie	15
<i>II.5</i> Minéralogie.....	16
<i>II.5.1</i> Structure cristalline	16
<i>II.5.2</i> La composition chimique	18
Chapitre III Notions de Géodynamique interne.....	23
<i>III.1</i> Seisme	23

III.1.1	Les grands tremblement de terre de l'histoire	24
III.1.2	Mesure d'un tremblement de terre	24
III.1.3	La prévention contre les effets du seisme	26
III.1.4	Tsunami	26
III.2	Volcan	26
III.2.1	Structure et relief.....	26
III.2.2	Les formes des émissions volcaniques	27
III.2.3	Déroulement classique d'une éruption	27
III.2.4	La prévention contre le volcan	28
Chapitre IV	Les techniques géologiques	29
IV.1	Phase des études préliminaires ou de faisabilité	29
IV.2	Travaux de reconnaissance	29
IV.2.1	Levé.....	29
IV.2.2	Topographie.....	29
IV.2.3	Géophysique	30
IV.2.4	Prospection	30
IV.2.5	Echantillonnage	30
IV.2.6	Laboratoire	30
IV.3	Travaux de bureau	31
IV.4	Rapport de synthèse	31
Références	33

Introduction

La géologie est la science qui traite de la composition, de la structure, de l'histoire et de l'évolution des couches internes et externes de la Terre, et des processus qui la façonnent. Les formations géologiques constituant le sous-sol résultent bien souvent d'une histoire géologique complexe. L'étude de l'agencement dans l'espace et dans le temps des couches géologiques (ou strates) est appelée la stratigraphie.

La géologie moderne prend forme à partir du XVII^e siècle, du désir de comprendre la structure de la Terre et d'un certain nombre de mécanismes à l'origine de phénomènes naturels. L'évolution des théories de la géologie est très liée à l'évolution des théories de la cosmologie et de la biologie, mais aussi à l'amélioration croissante des techniques et des outils utilisables à partir de la fin du XIX^e siècle. Le XX^e siècle est le siècle de la mise en place des grandes théories régissant la géologie moderne, avec le développement du modèle de la tectonique des plaques dans les années 1960, mais aussi de l'amélioration des techniques d'observation, qui permettent de nombreuses avancées, et du développement de l'application de la géologie dans les domaines de l'économie et de l'industrie [1].

La géologie est une science comprenant de nombreuses spécialités et fait appel aux connaissances de domaines scientifiques variés, tels que la biologie, la physique (mécanique des fluides, pétrochimie...), la chimie, la science des matériaux, la cosmologie, la climatologie, l'hydrologie... Les méthodes d'études et les connaissances géologiques s'appliquent dans de nombreux domaines socioéconomiques et industriels, comme l'exploitation de matières premières, le génie civil, la gestion des ressources en eau, la gestion de l'environnement ou la prévention des risques naturels.

Chapitre I : Introduction à la Géologie

I.1) Domaines de la géologie :

La géologie comprend classiquement trois principaux domaines :

- **La Pétrographie**: qui s'appuie sur l'étude des minéraux (minéralogie) et des propriétés de l'état cristallin de la matière (cristallographie) pour décrire les roches.
- **La Stratigraphie** : ou analyse de la succession des couches géologique, elle s'appuie sur la connaissance de la nature des terrains et de leur contenu en fossiles (biostratigraphie).
- **La Tectonique** : ou l'étude de la déformation de la partie superficielle de la terre. En génie civil, l'étude d'un projet doit passer par la connaissance du terrain: comportement mécanique et hydraulique, caractère évolutif (altération). Les phénomènes géodynamiques d'origine interne (sismicité) ou externe (instabilité de pentes, effondrements...) doivent être pris en compte.

I.2) Application de la Géologie au Génie Civil :

I.2.1. Rôle du géologue :

Dans tout projet de génie civil, le géologue intervient, en concertation avec le maître d'œuvres à plusieurs étapes :

- Dans le choix des sites, en fonction des impératifs techniques (liée à la topographie ou à des contraintes structurales) ou économiques, et dans la définition des reconnaissances à effectuer ; à ce niveau il est primordial pour le géologue d'identifier les contraintes majeures liées à la nature des terrains, à la structure et à la morphologie.
- Au cours des études géotechniques, dans l'interprétation des résultats, pour affiner les connaissances et contrôler les hypothèses.

I.2.2. Ce que le technicien attend du géologue :

Le principal souci d'un projeteur est d'adapter au mieux l'ouvrage qu'il conçoit aux conditions géologiques et géotechniques régnant sur le site. Il doit prévoir et déterminer les réactions aux efforts nouveaux qui vont lui être appliqués.

Pour ce faire il attend du géologue qu'il lui fournisse une représentation du terrain reflétant au mieux la réalité géométrique et physique actuelle.

I.3) Forme et structure de la terre :

La terre à pratiquement la forme d'une sphère de 6370 Km de rayon, composée de trois couches concentriques (la croûte, le manteau et le noyau) dont la densité augmente avec la profondeur de 2,7 à 12,0.

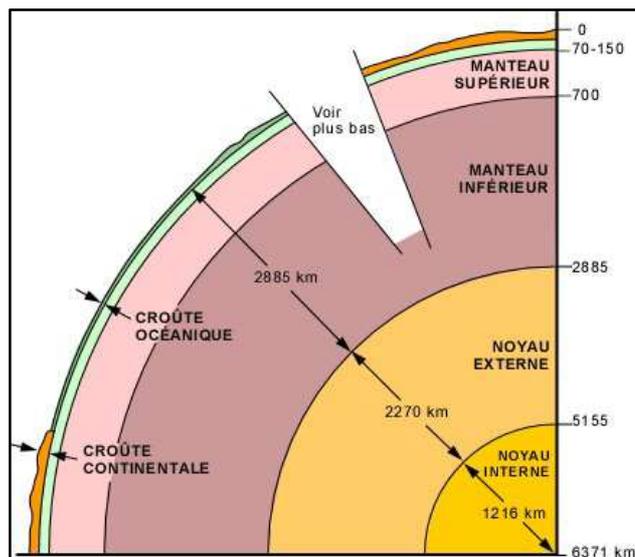


Figure I.1 : Structure interne du globe terrestre

La zone la mieux connue est la lithosphère : formée de la croûte et d'une partie du manteau supérieur, épaisse de 70 Km (sous les océans) à 150 KM (sous les continents), elle est considérée comme rigide et découpée en plaques mobiles qui flottent sur l'asthénosphère (Voir figure 2).

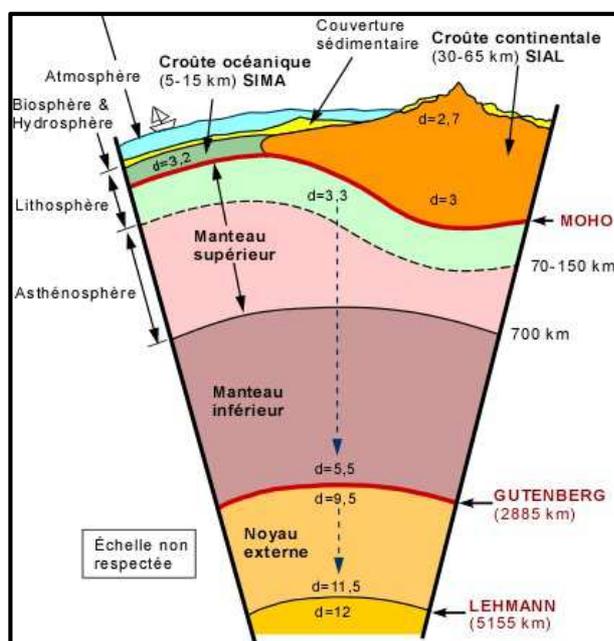


Figure I.2 : Détail de la lithosphère et de l'asthénosphère

I.3.1) La croûte : Elle représente 1,5% du volume de la Terre. Il faut distinguer 2 types de croûte :

La croûte continentale, épaisse en moyenne de 35 km (mais dont l'épaisseur peut atteindre 70 km) et la croûte océanique, très mince avec une épaisseur de 8km.

La croûte terrestre se compose de : Oxygène: 47%, Silicium: 28% ; Fer + aluminium + Sodium + Potassium + Magnésium = 20%, Calcium + carbone = 5% : important dans la composition

des roches calcaires. La croûte continentale est riche en silice, alors que les teneurs en silice de la croûte océanique sont plus faibles.

I.3.2) Le manteau : il représente 82,5 % en volume de la Terre. Son épaisseur est de 2900 km. On peut distinguer au sein de ce manteau 2 unités : le manteau supérieur jusqu'à 670 km et le manteau inférieur de 670 à 2900 km.

Du point de vue chimique le manteau est siliceux mais comparé aux croûtes relativement peu riches en silice ; il est par contre très riche en magnésium (MgO).

I.3.3) Le noyau: il représente 16% du globe terrestre. Le noyau, contrairement à la croûte et au manteau n'est pas silicaté (ou très peu silicaté). On distingue deux ensembles :

- Le noyau externe, jusqu' à 5150 km. Il a un comportement liquide et est composé principalement de fer, sulfures et un peu de silicium.
- Le noyau interne (ou Graine). Il a un comportement solide (Ni+Fe) [2].

Les deux types de croûte et le manteau ont des compositions chimiques différentes, voici quelques éléments indiqués dans le tableau ci-dessous :

	Croûte continentale	Croûte océanique	Manteau
SiO₂	60%	49%	44%
Al₂O₃	15%	16%	2%
MgO	3%	7%	37%

Tableau I.1 : Quelques éléments chimiques de croûte continentale, de croûte océanique et du manteau.

Chapitre II : Les roches et les minéraux

On entend par roche une formation géologique dure, c'est-à-dire dont les éléments sont fortement soudés entre eux. Toutes les roches sont formées de minéraux, même celles pour lesquelles cela n'est pas apparent à l'œil nu.

Le silicium et l'oxygène sont les composants de base de toutes les roches. Le carbone et le calcium sont la base des roches «calcaires».

Il existe trois grandes familles de roches :

- Roches magmatiques
- Roche sédimentaires
- Roches métamorphiques

II.1) Roche magmatiques :

Les roches magmatiques résultent de la solidification par abaissement de la température d'un magma, matériel le plus généralement silicaté, d'origine profonde se trouvant à une température élevée et dans un état partiellement ou totalement liquide. Exemple: Roches granitiques, basaltiques, feldspathiques.

II.1.1) Structures

Les Roches magmatiques se singularisent par une structure massive. Elles ne présentent ni lits comme les formations sédimentaires et ni couches de minéraux comme les roches métamorphiques, leurs minéraux sont répartis d'une manière homogène dans toute la masse.

II.1.2) Texture :

La nature, la forme, la taille et la disposition des minéraux que constituent les roches magmatiques déterminent la texture.

Selon le site de mise en place, un magma peut se refroidir :

- rapidement, dans des milieux superficiels ou aquatiques, site volcanique.
- lentement, dans des milieux profonds de la croûte terrestre, site plutonique.
- à des vitesses intermédiaires, dans des milieux peu profonds proches de la surface, site hypovolcanique.

Selon le mode de refroidissement, les différentes phases du magma donnent des produits différents.

II.1.3) Composition chimique :

Si on excepte l'oxygène, les éléments les plus abondants dans les magmas sont : le silicium et l'aluminium qui représentent respectivement 35 à 75 % et 12 à 18 %. Les autres éléments majeurs : Fe, Mg, Na, K montrent des teneurs relativement plus variables.

II.1.4) Classifications :

Selon la teneur en poids en SiO₂ de la roche totale, on distingue les catégories suivantes :

SiO ₂ > 66%	roche acide
66% > SiO ₂ > 53%	roche intermédiaire
53% > SiO ₂ > 45%	roche basaltique
SiO ₂ < 45%	roche ultrabasique

A la diminution de la teneur de la silice correspond un enrichissement en FeO, MgO, CaO et MnO.

II.2) Roche métamorphique :

Les roches métamorphiques sont des roches qui ont subi des transformations minéralogiques ou structurales ou les deux à la fois. Ces transformations se sont développées à l'état solide en l'absence de toute phase liquide fondue.

II.2.1) Facteurs du métamorphisme :

a) Température :

Dans un matériel initial de composition minéralogique donnée, toute modification des conditions de température entraîne la déstabilisation des minéraux anciens et la formation des minéraux nouveaux et stables. L'élévation de température apparaît dans les roches qui se trouvent placées en profondeur. La température augmente avec la profondeur de -10°C à 100°C par Km, selon les domaines géologiques considérés (continents, océans..).

b) Pression :

Dans une série géologique, deux types de pressions peuvent être distingués :

- une pression solide (P_s), exercée et transmise par la masse des roches (grains, minéraux).
- une pression fluide (P_{H₂O}), exercée par l'eau renfermée par des roches (pression intergranulaire).

Lorsque des roches carbonatées sont présentes, du dioxyde de carbone participe à la composition de cette phase fluide. La pression devient :

$$P_f = P_{\text{CO}_2} + P_{\text{H}_2\text{O}}$$

c) le temps :

La plupart des réactions métamorphiques exigent des millions d'années afin d'être complètes. Les expériences de laboratoire ont montré que les hautes températures et pressions et les temps de réaction importants produisent de gros grains. Les roches métamorphiques à gros grains sont donc les produits de conditions métamorphiques durant beaucoup plus longtemps, probablement plusieurs millions d'années [3].

II.2.2) Classification des roches métamorphiques :

Les transformations des roches métamorphiques sont d'ordre :

- **minéralogiques** avec apparition de nouveaux minéraux qui sont plus stable dans les nouvelles conditions de température et/ou pression.
- **structurale** avec recristallisation de minéraux et/ou alignement des minéraux selon des plans bien définis due à l'application de contraintes orientées.

Une classification simplifiée des roches métamorphiques est basée sur la structure de la roche : roche *orientée (ou foliée) ou non orientée*.

Les roches orientées sont classées selon le grade (degré) du métamorphisme la granulométrie des grains minéraux augmente avec le degré du métamorphisme. On distingue les structures orientées suivantes :

- **La schistosité** : feuilletage plus ou moins serré de certaines roches acquis sous l'influence de contraintes tectoniques orientées, en particulier celles qui prédominent au sein des chaînes de montagne en formation. La texture est alors caractérisée par une orientation préférentielle des minéraux, dont l'aplatissement ou l'allongement se développent dans une même direction.

- **La foliation** : structures de roches métamorphiques, où à la schistosité s'ajoute une différenciation pétrographiques entre les feuillets. On aura une alternance de bandes claires et sombres, chaque bandes étant caractérisée par des minéraux particuliers (exemple gneiss avec alternance de bandes quartzo-feldspathiques et bandes micacées).

Conditions du Métamorphisme	200-300°C	300-450°C	> 450°C
Degré du métamorphisme	Faible	Moyen	Elevé
Nom de la roche	Ardoise	Schiste	Gneiss
Description de la roche	Les minéraux sont invisibles à l'œil nu. La couleur de la roche est foncée et montre un clivage caractéristique. Transformation des pélites et argiles.	Les minéraux sont de tailles moyennes. Les micas sont souvent visibles. Résultent de la transformation de roches argileuses, ardoises, granites et basaltes.	Roches à grains grossiers, foliées avec alternance de bandes claires et sombres. Les bandes peuvent être plissées. Résultent de la transformation de roches argileuses, schistes et granites.

Tableau II.1 : Classification des roches foliées (orientées)

Les roches non orientées sont classées selon leur composition chimique. Cette composition dépend de la nature de la roche mère ou originelle.

Nom de la Roche	Marbre	Quartzite	Anthracite
Minéral	Calcite (CaCO ₃)	Quartz	Carbone cristallin
Description de la roche	Roche dure à gros grains. Résulte de la transformation du calcaire et de la dolomie	Roche dure à gros grains. Résulte de la transformation du grès.	Roche dure, noire. Résulte de la transformation du charbon

Tableau II.2 : Classification des roches non orientées

II.3) Roches sédimentaires :

C'est ensemble d'éléments déposés par l'eau, le vent, la glace qui provient de l'usure des continents, c'est à dire de la destruction de roches ou d'être vivants. La destruction se fait par des mécanismes physiques produisant la fragmentation des matériaux et des réactions chimiques donnant des solutions de lessivage (altération chimique). Les éléments solides sont déplacés sous l'effet de la gravité, souvent par l'intermédiaire d'un fluide transporteur (eau, glace, vent). Les éléments en solution sont transportés par l'eau.

La formation d'une roche sédimentaire se fait selon les étapes suivantes :
Erosion et altération – transport – sédimentation – diagénèse.

II.3.1) Erosion et altération :

L'altération est la destruction des roches sédimentaires par désagrégation mécanique et décomposition chimique et biologique.

- désagrégation mécanique : l'action de gel et dégel ouvre progressivement les fissures dans les roches sédimentaires. L'action mécanique des racines des arbres a aussi le même effet.
- altération chimique : plusieurs silicates sont facilement attaqués par les eaux de pluies et transformés en minéraux des argiles pour former des boues.
- altération biologique : certains organismes ont la possibilité d'attaquer biochimiquement les minéraux. Les champignons vont chercher dans les roches les éléments chimiques dont ils ont besoin.

L'érosion est le résultat des actions externes qui provoquent la dégradation du relief. Elle correspond à l'arrachement des produits de l'altération. Les principaux agents de l'érosion sont : Le vent et l'action mécanique de l'eau.

II.3.2) Transport :

Les produits mobilisés par les agents d'ablation sont transportés par ces mêmes agents. Le transport provoque l'usure des particules ainsi que leur triage (sorte de sélection minéralogique) : les éléments les plus lourds et les plus résistants sont généralement transportés moins loin que les plus légers.

II.3.3) Sédimentation ou dépôt :

C'est le processus qui conduit à la décantation des éléments détritiques en suspension ou de la précipitation des éléments chimiques en suspension dans les de dépression : les lacs, les mers, les océans...; le dépôt peut également se faire en terre ferme.

II.3.4) Diagenèse :

C'est la phase où le sédiment meuble, généralement gorgé d'eau, se transforme progressivement en une roche cohérente par compaction et cimentation. Ces transformations physiques et chimiques sont produites par la charge des sédiments sus-jacents et par la circulation des solutions entre les éléments (eaux interstitielles).

La compaction : les sédiments se rapprochent entre eux avec diminution des vides ou des pores entre les particules, et élimination de l'eau qui se trouve entre les pores.

La cimentation ou lithification : les sédiments se lient entre eux par un ciment d'origine chimique. Les sédiments se transforment alors en une roche solide.

Les aspects de la diagenèse varient selon le type de sédiments :

a) sédiments carbonatés: la précipitation de carbonates dans les pores est un phénomène rapide et peut se produire en plusieurs phases successives: la roche présente plusieurs générations de ciments. Des dissolutions locales sont possibles.

b) sédiments siliceux: c'est d'abord la compaction qui intervient et diminue les espaces vides entre les éléments. Les solutions interstitielles dissolvent certains constituants (silice, carbonates...) et se concentrent. Elles déposent de nouveaux minéraux entre les grains (ciments argileux, siliceux, carbonaté...) ou bien sur les grains qui augmentent de taille: ce nourrissage est souvent de même nature chimique que le grain et de même orientation cristalline. Sous l'effet de l'accroissement de la température et de la pression en profondeur, certains minéraux se transforment. Ils recristallisent d'abord suivant un réseau plus régulier: c'est le cas de l'aggradation des minéraux argileux. L'enfouissement se traduit généralement par une diminution de la porosité, par rapprochement des grains et colmatage des pores par le ciment.

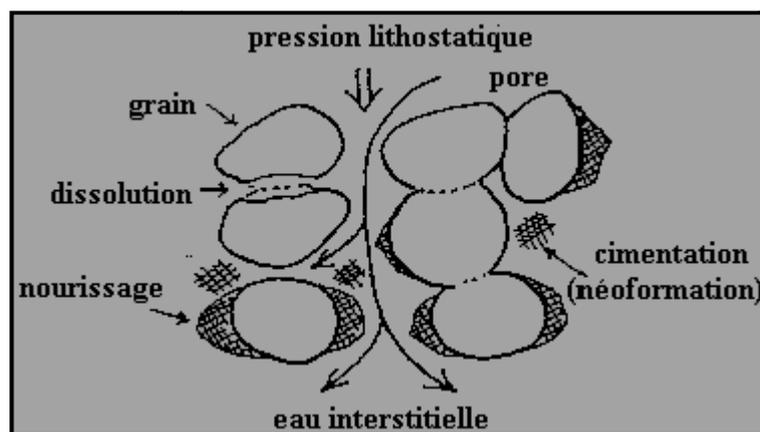


Figure II.1 : diagenèse des roches détritiques siliceuses [4]

c) sédiments argileux: les minéraux argileux recristallisent, le sédiment perd sa plasticité et devient compact;

II.3.5) Les roches sédimentaires détritiques:

Les roches sédimentaires détritiques se forment à partir de roches préexistantes et sont constituées de fragments de roches et de minéraux. Elles représentent 85 % des roches sédimentaires présentes à la surface de la Terre. La classification des roches détritiques se base sur la taille (granulométrie) des particules. Elle est donnée dans le tableau 3.

Nom de la particule	Taille de la particule	Nom du sédiment	Classe	Nom de la roche solide
Blocs	> 256 mm	Graviers	Rudites	Conglomérats (poudingues si les particules sont arrondies, si non c'est des brèches).
Gros cailloux	64-256 mm	Graviers		
Petits cailloux	2-64 mm	Graviers		
Sable	1/16-2 mm	Sables	Arénites	Grès
Silt	1/256-1/16 mm	Silts	Lutites	Siltites
Argile	< 1/256 mm	Argiles	(Pélites)	Argilites

Tableau II.3 : classification des roches sédimentaires d'origine détritique

II.3.6) Les roches sédimentaires d'origine chimique et biochimique :

Les roches sédimentaires d'origine chimique sont formées à partir de la précipitation ou la cristallisation de substances (ions ou sels minéraux) dissoutes dans l'eau. Les plantes et les animaux peuvent extraire les substances dissoutes dans l'eau pour constituer leurs tests ou leurs os et ce sont leurs restes qui constituent les roches sédimentaires d'origine biochimique. Les roches sédimentaires d'origine chimique et biochimique sont classées d'après la composition chimique comme suit :

II.3.6.1) Les roches carbonatées :

Les roches carbonatées sont formées essentiellement de calcite (CaCO_3), ou de dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Les roches carbonatées riches en calcite sont appelées *calcaires*, alors que celles riches en dolomite forment les *dolomies*.

Les calcaires constituent plus de 10 % des roches sédimentaires. L'eau de mer contient une grande quantité de carbonate de calcium (CaCO_3) dissoute. De nombreux organismes utilisent ce carbonate de calcium pour former leurs squelettes et autres parties dures de leurs corps. Quand ces organismes meurent, les courants marins brisent ces fragments en petits morceaux appelés sédiments bioclastiques. La roche formée par la lithification de ces sédiments est appelée *calcaire bioclastique*, ce qui indique que cette roche s'est formée par des processus biologique et clastique. D'autres calcaires et les dolomies résultent de la précipitation directe de carbonates (origine chimique). Pour faire la différence entre calcaires et dolomies, on utilise le test de l'acide. Les calcaires font effervescences à l'acide (HCl), alors que les dolomies ne le font pas. En général, les dolomies contiennent toujours un certain pourcentage de calcite et vice-versa (les calcaires contiennent aussi un certain pourcentage de dolomite). Si la roche contient plus de 50 % de dolomites, c'est une dolomie. Si elle contient plus de 50 % de calcite, c'est un calcaire.

II.3.6.2) Les roches siliceuses :

Elles se forment par précipitation de la silice (SiO_2) dans des eaux saturées (origine chimique) ou par extraction de la silice de l'eau de mer par des organismes pour constituer leurs tests qui par accumulation et lithification donneront des roches dures (origine biochimique). Ces roches sont essentiellement formées d'opale (silice hydratée) et de calcédoine. Le terme *chert* est utilisé pour désigner l'ensemble des roches siliceuses d'origine chimique ou biochimique. Les principales roches siliceuses d'origine biochimique sont : les *radiolarites* formées par les tests de radiolaires (zooplancton marin) et les *diatomites* formées par l'accumulation de tests de diatomées (algues siliceuses).

II.3.6.3) Les roches salines ou évaporites :

Il s'agit d'un groupe de minéraux d'origine chimique, qui précipitent suite à des concentrations par évaporation intense, généralement dans des eaux peu profondes ou des lacs salés dans des milieux désertiques. Les principales roches évaporitiques sont : le *gypse* ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) et l'anhydrite (CaSO_4), le *sel gemme* (NaCl) et le sel de potasse (KCl).

II.3.6.4) Les roches carbonées :

Roches constituées essentiellement de composés du carbone organique. La roche formée par accumulation des restes de plantes est le *charbon*. Les phytoplanctons microscopiques et bactéries sont les sources principales de matière organique contenue dans le sédiment. La transformation des composés organiques dans les sédiments forment les hydrocarbures (pétrole et gaz naturel).

II.3.6.5) Les roches ferrifères et phosphatées :

Les roches phosphatées (phosphate) sont essentiellement d'origine organique (dents et os d'animaux) et sont constituées d'apatite. Les roches ferrifères sont riches en oxydes de fer comme la bauxite (roche formée par l'altération des granites) ou le fer oolithique.

La formation des différents types de roches s'effectue en un cycle appelé le cycle géologique (Voir Figure II.2).

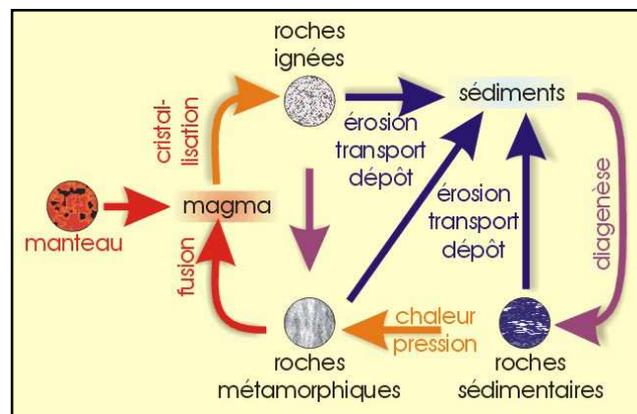


Figure II.2 : Le cycle géologique

II.4) Stratigraphie :

La stratigraphie est la science qui étudie la succession des dépôts sédimentaires organisés en strates. Une strate est une couche de sédiments accumulés pendant une phase continue. La datation des objets et des événements géologiques repose sur des approches complémentaires mais très différentes:

-Paléontologie : Deux couches ou deux séries de couches de même contenu paléontologique (fossiles) ont le même âge.

- La datation "absolue" : elle aboutisse à un résultat chiffré exprimé en années. Exemple : méthode basée sur des phénomènes radioactifs.

- La datation relative :

Entre deux corps géologiques, on établie qui le plus jeune et qui le plus vieux, sans donner un âge absolu. La datation relative est basée sur deux principes :

Principe de superposition : les couches sédimentaires se sont d'abord déposées à l'horizontale, les couches se sont superposées les unes sur les autres, ce qui implique que celle qui est en dessous d'une autre est plus vieille que cette dernière.

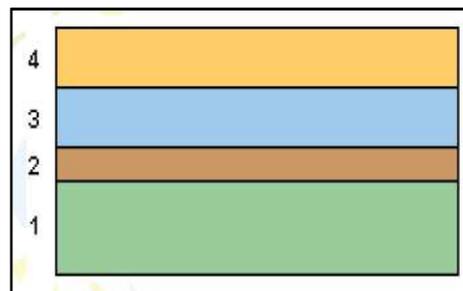


Figure II.3 : Datation par principe de superposition

Principe de recoupement: Un corps rocheux qui en recoupe un autre est nécessairement plus jeune que celui qu'il recoupe.

L'âge des couches 1, 2 et 3 est fourni par le principe de superposition. Les couches intrusives : 4, 5 et 6 sont plus jeunes que les couches sédimentaires horizontales dans lesquelles ils se sont introduits. De plus, comme la couche 5 recoupe la couche 4 et que la couche 6 recoupe la couche 5, on sait que 6 est plus jeune que 4, même si ces deux couches ne se recoupent pas. Le classement est comme suit : 4, 5 puis 6.

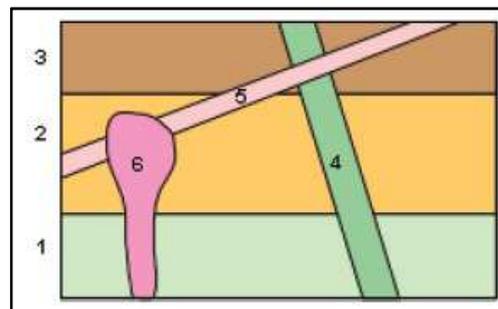


Figure II.4 : Datation par principe de recoupement

➤ **Cas exceptionnel :**

Pour la figure ci-dessous, normalement on va conclure que l'intrusif est plus jeune que les couches qui le recouvrent (principe de recoupement). Mais ici il faut voir que la roche sédimentaire contient des fragments de granites. Ce qui implique que le granite a été exposé un jour à l'action de l'érosion et que les particules de granites arrachées ont été incorporées dans le sédiment qui a recouvert le massif. Automatiquement, l'intrusif est plus vieux que les couches sédimentaires.

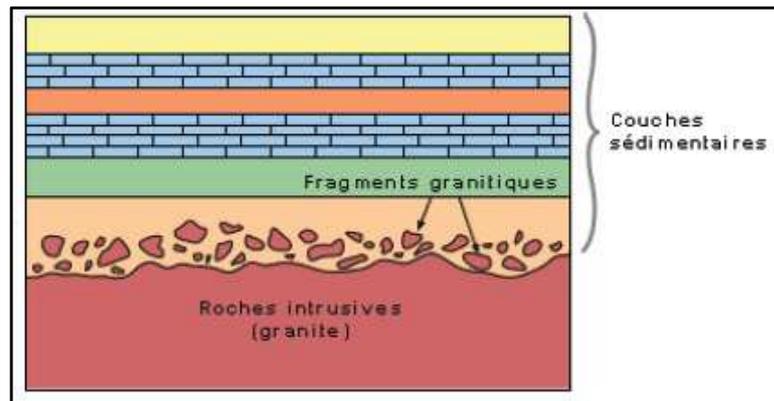


Figure II.5 : Cas où l'intrusif est plus vieux

II.5) Minéralogie :

Un minéral est un solide ayant une composition chimique et une structure physique bien déterminé. Il est défini par sa structure cristalline et sa composition chimique. La science qui s'occupe de l'étude des minéraux est : la minéralogie.

II.5.1) structure cristalline :

La forme des cristaux est généralement variable selon l'espèce minérale. Cette forme résulte de la répétition spatiale (dans les trois dimensions) et périodique d'un groupement d'atomes (ou motifs atomiques) appelés Mailles cristallines élémentaires.

Chacune de ces mailles est définie par sa géométrie (paramètres a , b , c et α , β , γ) et sa formule de symétrie (axes, plans et centre), voire figure II.6.

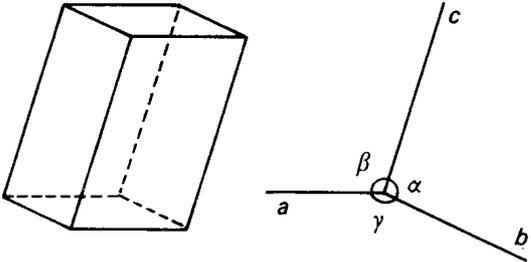
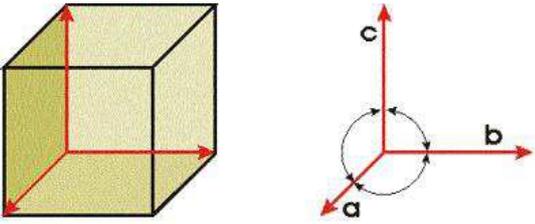
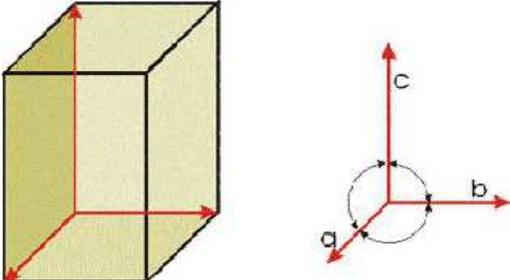
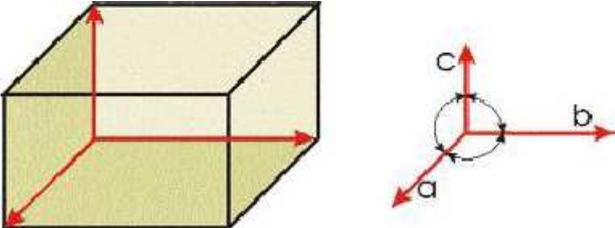
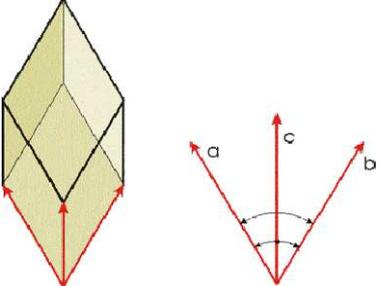
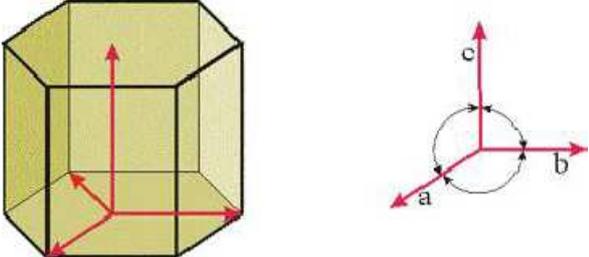
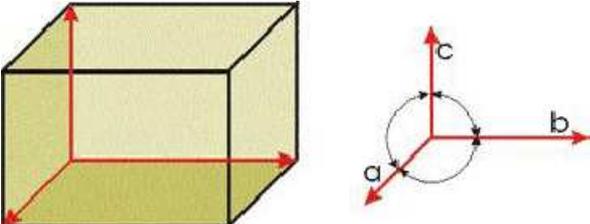
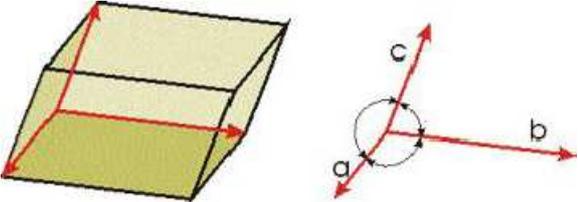
 <p>a) Paramètres d'une maille</p>	 <p>b) Le système cubique : $a = b = c ; \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$</p>
 <p>c) Le système quadratique : $a = b \neq c ; \alpha = \gamma = \beta = 90^\circ$</p>	 <p>d) Le système orthorhombique : $a \neq b \neq c ; \alpha = \gamma = \beta = 90^\circ$</p>
 <p>e) Le système rhomboédrique : $a = b = c ; \alpha < 120^\circ ; \alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$</p>	 <p>f) Le système hexagonal : $a = b \neq c ; \alpha = \beta = 90^\circ ; \gamma = 120^\circ$</p>
 <p>g) Le système monoclinique : $a \neq b \neq c ; \alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$</p>	 <p>h) Le système triclinique : $a \neq b \neq c ; \alpha \neq \beta \neq \gamma$</p>

Figure II.6 : Types des systèmes cristallins [5]

II.5.2) La composition chimique :

Chaque espèce minérale possède une composition chimique propre. Cette composition chimique (déterminée par analyse à la microsonde électronique ou par voie chimique) est exprimée par une formule dite structurale, qui précise les différents éléments chimiques constituant le minéral. Le mot minéral signifie (la composition chimique et le mot cristal signifie la forme).

Exemples : Quartz : SiO_2 , Calcite : CaCO_3

II.5.2.1) Critères macroscopiques de reconnaissance des minéraux :

Pour reconnaître macroscopiquement un minéral, on utilise certains critères [6]:

- La forme

Lorsqu'un cristal présente une forme géométrique bien définie, on parle de cristal automorphe. Dans le cas contraire (c'est-à-dire forme quelconque), le cristal est dit xénomorphe.

Exemples :

Forme cubique : forme cubique.

Forme octaédrique : forme d'un octaèdre.

Forme tabulaire : forme rectangulaire

Aciculaire : en forme d'aiguilles

Lamellaire : en forme de lamelles (aplati et allongé)

- La dureté

C'est la résistance d'un minéral à la rayure. Un minéral est dit plus dur qu'autre, s'il raye ce dernier. Les duretés sont classées par rapport à celles de 10 minéraux tests (échelle de Mohs) (tableau II.4) :

Minéral	Valeur de dureté	interprétation
Talc	1	↑ Faible
Gypse	2	
Calcite	3	↕ Modérée
fluorite	4	
Apatite	5	↕ Forte
Orthose	6	
Quartz	7	↕ Très forte
Topaze	8	
corindon	9	
diamant	10	

Tableau II.4 : Echelle de dureté de Mohs

- Clivage et Cassures :

Le clivage est l'aptitude d'un minéral de se briser selon des plans parallèles bien définis. Ces plans sont appelés : plans de clivage. Par contre, pour les cassures les minéraux ne se cassent pas selon des plans parallèles.

- Transparence

La transparence est la propriété des minéraux de laisser passer la lumière. D'après le degré de transparence, on distingue les minéraux :

- transparents : si l'on peut lire l'écriture au travers d'une épaisse couche du minéral (quartz).
- translucides : si le minéral est traversé par la lumière même sous une forte épaisseur (gypse).
- opaques : (non transparents) lorsque le minéral ne laisse pas traverser la lumière.

- Densité

On distingue les minéraux légers, de densité 1 à 2, moyennement lourds, de densité 2 à 4, lourds, de densité 4 à 6 et très lourds, de densité supérieure à 6. La plus forte densité est celle des métaux, tels que l'or (15 à 16) ou le platine (14 à 20). La plupart des minéraux ont une densité de 2 à 4.

- La couleur

Malgré son importance, la couleur n'est pas toujours absolument fiable. En effet la fluorine peut être incolore, blanche, bleu, verte, jaune ou violette. Chez certains minéraux, ces différences de coloration déterminent en raison d'impuretés qu'ils peuvent contenir, exemple : le quartz.

Le quartz pur ou cristal de roche (silice pure) incolore

Le quartz améthyste (silice + Manganèse) violet

Le quartz citrin (silice + fer) jaune

Le quartz enfumé ou morion (silice + fer) brun à noire

En revanche, certains minéraux ont une couleur typique et a décidé de leurs noms :

L'azurite : bleu azur

L'albite : blanche

Les olivines : vert olive

En résumé, la couleur peut, ou non, être un bon critère de reconnaissance selon les minéraux.

- L'éclat

C'est la propriété des minéraux à réfléchir la lumière. On distingue plusieurs types d'éclats, parmi les plus importants :

- l'éclat métallique : fort éclat des métaux (or, cuivre, argent)

- l'éclat vitreux : c'est un éclat qui rappelle le verre (le quartz)

- l'éclat gras : la surface du minéral semble induite d'une couche d'huile

- l'éclat terreux : minéraux qui n'ont pas d'éclat, ils ont une apparence terreuse, comme certaines argiles.

- La saveur

Certains minéraux possèdent des saveurs particulières permettant de les reconnaître facilement, comme le sel gemme possède un goût salé, la sylvine possède un goût amer.

- L'odeur

L'odeur d'un minéral peut parfois être caractéristique, c'est le cas du soufre et de certains sulfures qui dégagent à leur cassure une odeur sulfuré.

➤ Autres propriétés :

Plusieurs autres propriétés particulières aident à la reconnaissance des minéraux. Parmi ces propriétés citons-en :

- Réaction à l'HCl permet de distinguer la calcite qui fait effervescence à froid, de la dolomite qui fait effervescence seulement à chaud.
- Couleur de la trace (ou de la poudre) est un excellent critère d'identification pour distinguer les minéraux colorés et les minéraux à couleur empruntée. Elle peut être obtenue en frottant le minéral sur une plaque de porcelaine non verte ; exemple la trace brun-rouge de l'hématite.
- Magnétisme: certains minéraux sont attirés par un champs magnétique et leur identification peut être vérifiée par un test à l'aide de l'aimant (Exemples : la magnétite et la pyrrhotite sont attirées par l'aimant).
- Radioactivité: quelques minéraux contiennent des atomes radioactifs qui libèrent de l'énergie en se désintégrant (l'uraninite par exemple). Ces minéraux peuvent être identifiés à l'aide d'un appareil de détection d'émissions radioactives.
- Luminescence: certains minéraux émettent de la lumière ce sont des minéraux luminescents. On parle de fluorescence lorsque la luminescence nécessite l'exposition aux rayons lumineux.
- Stries: certains minéraux ont des faces montrant des stries comme la tourmaline, la pyrite et le quartz, par exemples.

II.5.2.2) Les principaux minéraux :

On connaît environ 2000 espèces de minéraux. Ces minéraux sont classés en deux grands groupes : les silicates qui contiennent du silicium (Si) et les non silicates dont la composition ne renferme pas de Si.

a) Les silicates :

Ils constituent en poids près de 90% de la croûte terrestre. Les silicates sont eux même classés en familles en fonction du nombre et de la manière dont sont associés les tétraèdres (SiO₄)⁴⁻ qui entrent dans leur structure.

• Le quartz : SiO₂

Le quartz a un éclat vitreux, raye le verre et ne possède pas de clivage. Il existe plusieurs variétés de quartz.....

Le quartz cristal de roche, en raison de sa pureté, est très utilisé dans l'industrie électronique (montre à quartz, transistors,), dans les télécommunications par satellite, en verrerie.....

Les autres quartz surtout améthystes et citrins sont très demandés par les bijoutiers et les joailliers qui les taillent en pierres fines et en objets d'arts.

• La calcédoine

Silice imparfaitement cristallisée. Les cristaux sont très fins et invisibles à l'oeil nu; en outre, ils donnent une structure un peu fibreuse. La calcédoine se dépose sous forme de couches concentriques qui, parfois, peuvent être diversement colorées pour donner des agates. Les agates naturelles ou artificielles sont utilisées en décoration.

• Les feldspaths :

Ce sont des silico-aluminates ou calciques. Il s'agit d'un groupe de minéraux très importants. Lorsqu'ils sont très frais, leur couleur est le plus souvent blanche, mais ils peuvent être également colorés en rose, vert, Ils s'altèrent plus facilement que le quartz, et prennent alors une teinte généralement jaunâtre. Les feldspaths ont un éclat vitreux. Leur dureté est proche de celle du verre, le caractère le plus constant et le plus sûr pour les reconnaître est la présence de clivages, grâce auxquels ils sont limités par de petites facettes plates qui miroitent en faisant jouer la lumière.

- **Les feldspathoïdes**

Ce sont des minéraux dont la composition rappelle celle des feldspaths, mais avec moins de silice. Comme les roches renfermant du quartz ont de la silice en excès, les deux minéraux (quartz et feldspathoïdes) sont incompatibles.

La plus importante variété de feldspathoïdes est la néphéline : $\text{KNa}_3\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{16}$, dont la teinte est le plus souvent grisâtre, parfois jaunâtre ou rougeâtre. Elle n'a pas de clivage et possède un éclat gras.

- **Les micas :**

Ils se reconnaîtront aisément grâce à leur clivage facile et parfait qui permet de les séparer en lamelles très fines et de les effeuiller avec la pointe d'une épingle. Il existe deux variétés courantes de micas :

Mica blanc ou muscovite : de couleur blanche et d'éclat nacré. Il contient de la silice, de l'alumine et de la potasse.

Il peut se présenter sous forme de paillettes presque invisible à l'œil nu : la séricite, qui donne à la roche un aspect luisant et soyeux, doux au toucher.

Mica noire ou biotite : qui est en réalité brun très foncé. Il possède la même composition que le précédent avec, en plus, du fer et du magnésium.

Les micas sont utilisés en céramiques et surtout isolateurs.

- **La chlorite :**

C'est un minéral voisin du mica noir du point de vue chimique, mais sans potasse. Elle a un aspect de mica, mais de couleur verte assez foncée. Les roches à chlorite sont vertes.

- **Les argiles ou silicates d'alumine hydratés :**

Malgré leurs apparences, les minéraux argileux sont à l'état cristallin ; mais leurs cristaux sont extrêmement petits, et décelables seulement aux rayons X ou au microscope électronique.

Il existe une grande variété d'argiles. De façon générale ; il s'agit de minéraux très tendres, rayables à l'ongle. Avec l'eau ils forment plus au moins une pâte. Enfin, les argiles humides ont une odeur caractéristique : pour la sentir, souffler sur l'argile comme sur une vitre quand on veut faire de la buée. L'utilisation des argiles est aussi variée que leur composition: industrie de la céramique, du caoutchouc, papeterie, lubrifiant (pour le tabac).

- **Groupe d'amphibole et des pyroxènes**

Ce sont des silicates calco-ferro magnésiens. Ils se présentent souvent sous forme de prismes octogonaux allongés qui ont des clivages parallèles à leurs faces. Ce sont des minéraux généralement sombres, se ressemblent beaucoup, et difficiles à distinguer à l'œil nu. Les amphiboles se présentent, néanmoins, assez souvent plus étirées que les pyroxènes, et peuvent prendre l'aspect d'aiguilles. Les pyroxènes et les amphiboles sont parfois taillés en pierres fines (facettes, cabochons) ; l'amiante (variété d'amphibole), par son caractère isolateur, rentre dans la composition des tissus des sapeurs pompiers.

- **Minéraux divers :**

- Le grenat : facilite à reconnaître à cause de sa couleur grenat. De plus, il se présente très souvent sous forme de cristaux globuleux et arrondis. Les grenats sont très utilisés en joaillerie comme pierres fines.

- La tourmaline : il s'agit d'un minéral souvent brun très foncé et ne possèdent pas de clivage. Elle se présente sous forme de baguette à section vaguement triangulaire ; ses faces sont fréquemment striées en long. La rubellite (variété de tourmaline) est une pierre fine considérée comme un des minéraux les plus recherchés par les bijouteries.

b) Les minéraux non silicatés :

- **La calcite:** de formule CaCO_3 ; elle est incolore à l'état pur mais des impuretés peuvent lui faire prendre toutes les teintes. C'est un minéral tendre qui ne raye pas le verre et que l'on peut rayer au couteau ; et présente une très vive effervescence sous l'action de HCl due au dégagement de CO_2 . La calcite se présente sous forme de cristaux rhomboédrique, de stalactites, massive, de concrétions et de géodes. Ce minéral est utilisé en optique, en cimenterie et objet d'art.

- **La dolomite:** de formule $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Elle ressemble à la calcite mais ne fait effervescence qu'à chaud avec HCl .

- **L'aragonite :** CaCO_3 ; souvent fibreuse, oolithique ou en cristaux. Pierre décorative.

- **Le gypse:** $\text{CaSO}_4(\text{H}_2\text{O})_2$. Il peut se présenter sous différents aspects :

- Lamellaire : dans ce cas il forme souvent des cristaux à clivage facile et à éclat nacré, parfois assemblés en fer de lance (variété verre de Marie).

- Fibreux : la surface fibreuse est bien visible dans les cassures fraîches (variété sélénite).

- Granuleux : il porte alors le nom d'albâtre. Utilisé en cimenterie et en décoration.

Le gypse est généralement blanc, mais sa teinte peut varier. C'est un minéral très tendre (dureté= 2). Le gypse prend naissance au milieu lagunaire (plus salé que l'eau de mer).

- **La pyrite :** FeS_2 . Elle est facile à reconnaître à cause de sa belle couleur jaune laiton. Utilisée dans la fabrication de l'acide sulfurique et considérée comme source de cuivre.

- **La galène :** PbS . Elle possède des clivages parfaits qui délimitent des faces à belle éclat argenté. Sa poussière est noire ; c'est un minéral fragile et tendre (dureté=2.5). Sa densité est élevée. La galène forme fréquemment des prismes cubiques ou octaédriques.

- **La fluorine:** CaF_2 . C'est un minéral souvent coloré en vert ou en violet mais pouvant être incolore. Sa poussière est toujours blanche ; il est tendre (dureté=4) et rayable au couteau. Parfois la fluorine cristallise en formant des cubes. Utilisée en métallurgie, en chimie et en décoration.

- **La barytine :** BaSO_4 . Se présente sous différentes formes : en cristaux, massive, bulbes, concrétions etc..... Minerai du baryum, industrie chimique et caoutchouc.....

- **L'hématite (ou oligiste) :** Fe_2O_3 . C'est un oxyde de couleur brun rouge, gris à noir. On le rencontre sous forme cristalline, en rosettes, en écailles ect.....

- **La magnétite :** Fe_3O_4 . De couleur noire, la magnétite se présente sous forme de cristaux, d'agrégats massifs et grenus, d'imprégnations et caractérisée par un magnétisme fort.

- **L'azurite :** $\text{Cu}_3((\text{OH})\text{CO}_3)_2$. Ce minéral est facilement reconnaissable grâce à sa couleur bleu azur.

- **La malachite :** $\text{Cu}_2((\text{OH})\text{CO}_3)$. A peu près d'une même forme que l'azurite, très rarement en cristaux, souvent en concrétions mamelonnées. Elle est, également, facile à reconnaître par sa couleur verte, parfois foncée.

Chapitre III : Notions de géodynamique interne

Selon la théorie de la tectonique des plaques, développée à la fin des années 1960, la lithosphère est découpée en un certain nombre de plaques (six grandes plaques et de nombreuses microplaques) rigides qui bougent les unes par rapport aux autres en glissant sur l'asthénosphère. Ce mouvement définit trois types de frontière entre les plaques :

- **Les frontières divergentes** : là où les plaques s'éloignent l'une de l'autre et où de la matière fondue, montant de l'asthénosphère, est ajoutée sur les bords de chacune des deux plaques. C'est ce qui se produit au niveau des dorsales océaniques au milieu des océans actuels.
- **Les frontières convergentes** : là où l'une des deux plaques s'enfonce sous l'autre, comme on l'observe au niveau des zones de subduction. Un autre type de frontière convergente est celui où deux plaques entrent en collision, là où se forme la plupart des chaînes de montagnes intracontinentales.
- **Les frontières transformantes** : là où deux plaques glissent latéralement l'une contre l'autre, le long de failles; dans ce cas il n'y a ni destruction, ni création de matière.

III.1) Séisme (tremblement de terre) :

Un tremblement de terre, ou séisme, résulte de la libération brusque d'énergie accumulée par les déplacements et les frictions des différentes plaques de la croûte terrestre (tectonique des plaques) qui provoque des vibrations qui se transmettent à travers le globe. La plupart des tremblements de terre sont localisés sur des failles. Plus rares sont les séismes dus à l'activité volcanique ou d'origine artificielle (explosions par exemple).

En pratique on classe les séismes en trois catégories selon les phénomènes qui les ont engendrés :

a) Les séismes tectoniques : sont de loin les plus fréquents et dévastateurs. Une grande partie des séismes tectoniques se produisent aux limites des plaques, où il existe un glissement entre deux milieux rocheux. Ce glissement, localisé sur une ou plusieurs failles, est bloqué durant les périodes inter-sismiques (entre les séismes), et l'énergie s'accumule par la déformation élastique des roches. Cette énergie et le glissement sont brusquement relâchés lors des séismes.

Le relâchement de l'énergie accumulée ne se fait généralement pas en une seule secousse, et il peut se produire plusieurs réajustements avant de retrouver une configuration stable. Ainsi, on constate des répliques suite à la secousse principale d'un séisme, d'amplitude décroissante, et sur une durée allant de quelques minutes à plus d'un an. Ces secousses secondaires sont parfois plus dévastatrices que la secousse principale, car elles peuvent faire s'écrouler des bâtiments qui n'avaient été qu'endommagés, alors que les secours sont à l'oeuvre.

b) Les séismes d'origine volcanique : résultent de l'accumulation de magma dans la chambre magmatique d'un volcan. Les sismographes enregistrent alors une multitude de microséismes dus à des ruptures dans les roches comprimées ou au dégazage du magma. La remontée progressive des hypocentres (liée à la remontée du magma) est un indice prouvant que le volcan est en phase de réveil et qu'une éruption est imminente.

c) Les séismes d'origine artificielle : sont dus à certaines activités humaines telles que barrages, pompes profondes, extraction minière, explosions souterraines ou essais nucléaires peuvent entraîner des séismes de faible à moyenne magnitude.

III.1.1) Les grands tremblements de terre de l'histoire :

- Lisbonne (1755)
- Alaska (1899)
- Équateur, 8,8 en 1906.
- San Francisco, magnitude 8,5 le 18 avril 1906
- Le 17 août 1906, un séisme de magnitude de 8,2 avait causé la mort de 20 000 personnes et fait 20 000 blessés à Valparaiso au Chili.
- Indonésie, magnitude 8,5 en 1938.
- Le 24 janvier 1939, le séisme de Chillán au Chili (magnitude 8,3) avait tué 28 000 personnes.
- Tibet, magnitude 8,6 en 1950.
- Kamtchatka, magnitude 9,0 en 1952.
- Alaska, magnitude 9,1 en 1957.
- Chili, magnitude de moment 9,5, le 22 mai 1960.
- îles Kouriles, magnitude 8,5 en 1963.
- Vendredi Saint (Alaska), magnitude 9,2 le 27 mars 1964.
- Alaska, magnitude 8,7 en 1965.
- Le séisme du 31 mai 1970 au Pérou, magnitude 7,5.
- Le 19 septembre 1985 à Mexico.
- Le 11 novembre 1980 à Chlef Algérie (magnitude 8,1) a fait 3500 morts
- Le 17 janvier 1995, le tremblement de terre de Kobe, Japon (magnitude 7,3) avait tué 6432.
- Tremblement de terre de Sumatra-Andaman, magnitude 9,3 le 26 décembre 2004.
- Sumatra et l'Île de Nias, magnitude 8,7 le 28 mars 2005.
- Le 4 mai 2006, le séisme dans les Tonga, de magnitude 8,3 est ressenti à plus de 2300 km de l'épicentre.
- Le 15 novembre 2006, un séisme de magnitude 8,3 secoue les Kouriles, entraînant un raz de marée d'1,80 m. Il fut ressenti à plus de 1600 km de l'épicentre.
- Le Séisme du 15 août 2007 au Pérou, magnitude 8.
- Le 12 mai 2008, séisme de la province du Sichuan, en Chine, magnitude 7,9.

III.1.2) Mesure d'un tremblement de terre

On dispose de deux échelles pour évaluer les tremblements de terre: l'échelle de Mercalli et l'échelle de Richter. Aujourd'hui, nous n'utilisons que celle de Richter, mais les séismes du passé ne peuvent être évalués que selon celle de Mercalli.

a) Echelles de Mercalli :

L'échelle de Mercalli a été développée en 1902 et modifiée en 1931. Elle indique l'intensité d'un séisme sur une échelle de I à XII. Cette intensité est déterminée par : l'ampleur des dégâts causés par un séisme et la perception qu'a eu la population du séisme. De plus, la perception de la population et l'ampleur des dégâts vont varier en fonction de la distance à l'épicentre. On a donc avec cette

échelle, une échelle variable géographiquement. Mais, à l'époque, on ne possédait pas les moyens d'établir une échelle objective.

Degrés 1 : Seulement enregistré par les instruments sensibles.

Degrés 2 : très faible ; Peu d'observateur au repos le remarquent

Degrés 3 : Faible ; Ressenti par un petit nombre d'habitants.

Degrés 4 : Médiocre ; Ressenti en général à l'intérieur des maisons, mais par un petit nombre de personnes. Légères oscillations d'objets, quelques dormeurs se réveillent.

Degrés 5 : Assez fort ; Il est parfaitement ressenti en plein air. Oscillation comme à bord d'un bateau. Les objets suspendus entrent en oscillation. Quelques balanciers de pendules s'arrêtent. Réveil général des dormeurs.

Degrés 6 : Fort ; Provoque la panique. Objet et meubles lourds sont déplacés, les plafonds tombent.

Degrés 7 : Très fort ; De sérieux dégâts peuvent se produire, les eaux sont troublées. Dans les puits, le niveau de l'eau change.

Degrés 8 : Ruineux ; Des objets sont transportés à une distance importante, les statues sont renversés.

Ecroulement partiel de cheminées d'usines ou de cloches.

Degrés 9 : Désastreux ; Des maisons peuvent s'écrouler. Destruction partielle ou totale d'édifices bien construits.

Degrés 10 : Très désastreux ; Des barrages s'écroulent, les tuyaux d'alimentation (eau, gaz) sont coupés. Les rails de chemin de fer sont tordus. Des mamelons se produisent sur les routes, ainsi que des fissures dans les terrains meubles.

Degrés 11 : Catastrophique ; De même les ponts les plus solides sont détruits, les rails complètement tordus. De grand éboulement se produisent.

Degrés 12 : Cataclysme ; Rien ne subsiste des oeuvres humaines. La géologie est modifiée. Ce degré n'a pas été observé.

b) Echelle de Richter :

L'échelle de Richter a été instaurée en 1935. Elle nous fournit ce qu'on appelle la magnitude d'un séisme, calculée à partir de la quantité d'énergie dégagée au foyer. Elle se mesure sur une échelle logarithmique ouverte; à ce jour, le plus fort séisme a atteint 9,5 sur l'échelle de Richter (Chili). Aujourd'hui, on utilise un calcul modifié du calcul originel de Richter, en faisant intervenir la dimension du segment de faille le long duquel s'est produit le séisme.

RICHTER proposa une échelle de Magnitude simple, le logarithme décimale de l'amplitude maximale mesuré en microns, d'un sismographe. La magnitude M est liée à l'énergie développée.

$$a \times M = \log \frac{E}{E_0}$$

Avec :

$a = 1,5$

$E_0 = 2,5 \cdot 10^{11}$ ergs

1 Kilotonne = $5 \cdot 10^{17}$ ergs

Echelle de RICHTER donne $M = 9,5$ pour les plus grands tremblements de terre connue (11 de l'échelle de MERCALLI)

III.1. 3) La prévention contre les effets du séisme :

- Construire des maisons « anti-sismiques » (la solution japonaise consiste en des habitations basses et légères (bois, papiers) qui peuvent s'effondrer sans tuer les occupants).
- Des habitations moyennement hautes avec des fondations solides et avec la toiture légère.
- Eviter les terrains en pente et les terrains meubles (notamment les alluvions)

III.1. 4) Tsunami :

Le tsunami (nom tiré du japonais) engendre un phénomène particulièrement destructeur consécutif à un mouvement du fond sous-marin généré par un séisme, une éruption volcanique ou un glissement de terrain.

Le tsunami est caractérisé par :

- Le soulèvement du fond marin qui engendre un gonflement de la masse d'eau. Ce gonflement donne lieu à une vague qui en surface de l'océan est à peine perceptible (de quelques centimètres à moins d'un mètre d'amplitude en général), mais qui s'enfle en eau peu profonde pour atteindre des amplitudes pouvant aller jusqu'à 30 m. La vitesse de propagation de ces vagues est de 500 à 800 km/heure en eau profonde (milliers de mètres), diminuant à quelques dizaines de km/heure en eau peu profonde (moins de 100 m). La périodicité des vagues est de l'ordre de 15 à 60 minutes.
- Production d'un retrait de la mer à l'approche de la première vague de tsunami.
- Arrivée de la première vague.
- Un second retrait, puis arrivée d'une autre vague, et ainsi de suite. On compte normalement quelques vagues seulement qui en général diminuent progressivement en amplitude.

III.2) Volcans :

Un volcan est un relief terrestre ou sous marin formé par l'éjection de matériaux issus de la montée d'un magma sous forme de lave et de tephres (type explosif). Ce magma provient de la fusion partielle du manteau et exceptionnellement de la croûte terrestre. L'accumulation peut atteindre des milliers de mètres d'épaisseur formant ainsi des montagnes ou des îles. Selon la nature des matériaux, le type d'éruption et leur fréquence, les volcans prennent des formes variées mais en général ayant l'aspect d'une montagne conique

Le lieu principal de sortie des matériaux lors d'une éruption se situe dans la plupart des cas au sommet du volcan, là où débouche la cheminée volcanique, mais il arrive que des ouvertures latérales apparaissent sur les flancs ou aux pieds du volcan.

III.2.1) Structures et reliefs

Un volcan est formé de différentes structures que l'on retrouve en général chez chacun d'eux :

- une chambre magmatique alimentée par du magma. Lorsque celle-ci se vide à la suite d'une éruption, le volcan peut s'affaisser et donner naissance à une caldeira. Les chambres magmatiques se trouvent entre dix et cinquante kilomètres de profondeur dans la lithosphère.
- une cheminée principale qui est le lieu de transit privilégié du magma de la chambre magmatique vers la surface.
- un cratère sommital où débouche la cheminée principale
- une ou plusieurs cheminées secondaires partant de la chambre magmatique ou de la cheminée principale et débouchant en général sur les flancs du volcan, parfois à sa base.

- des fissures latérales qui sont des fractures longitudinales dans le flanc du volcan provoqué par son gonflement ou son dégonflement.

III.2.2) Les formes des émissions volcaniques :

a) Les laves :

Le matériau le plus connu émis par les volcans est la lave sous forme de coulées (plus longues que larges), elles sont formées de laves fluides qui s'écoulent le long des flancs du volcan. La température de la lave est comprise entre 700 et 1200° C et les coulées peuvent atteindre des dizaines de kilomètres de longueur, une vitesse de cinquante kilomètres par heure. Elles peuvent avoir un aspect lisse et satiné ou un aspect rugueux et coupant.

b) Les fumerolles (Gaz volcaniques) :

Les appareils volcaniques émettent aussi des produits gazeux, les fumerolles, de température comprise entre 50° à 600° C. Le dégazage fait monter le magma, ce qui donne le caractère explosif et violent d'une éruption. Les gaz sont principalement la vapeur d'eau, H₂O (50 à 90 %) ; le CO₂ (5 à 25 %) ; le SO₂ (3 à 25 %). Puis viennent d'autres éléments volatils : CO, HCl, H₂, H₂S. Le dégazage du magma en profondeur, peut se traduire à la surface par des fumerolles, autour desquelles des cristaux de soufre peuvent se former.

c) Les projections :

Le plus souvent, les matériaux volcaniques sont composés de tephras (ou ejectas) : cendres, bombes volcaniques, blocs rocheux ou basaltiques, etc. Il s'agit de magma et de morceaux de tout calibre arrachés du volcan qui sont pulvérisés et projetés parfois jusqu'à des dizaines de kilomètres de hauteur dans l'atmosphère. Les plus petits étant les cendres, il leur arrive de faire le tour de la Terre, portées par les vents dominants. Les bombes volcaniques, les plus gros, peuvent avoir la taille d'une maison et retombent en général à proximité du volcan.

d) Les nuées ardentes

Appelées aussi coulées pyroclastiques, ce sont ces nuages gris qui dévalent les pentes des volcans à plusieurs centaines de kilomètres par heure, atteignent les 600 °C et parcourent des kilomètres avant de s'arrêter. Ces nuages composés de gaz et de tephras glissent sur le sol, franchissent des crêtes et consomment tout sur leur passage.

III.2.3) Déroulement classique d'une éruption :

Une éruption volcanique survient lorsque la chambre magmatique sous le volcan est mise sous pression avec l'arrivée de magma venant du manteau. Elle peut alors éjecter plus ou moins de gaz qu'elle contenait selon son remplissage en magma. La mise sous pression est accompagnée d'un gonflement du volcan et de séismes très superficiels localisés sous le volcan, signe que la chambre magmatique se déforme.

Le magma remonte généralement par la cheminée principale, et subit en même temps un dégazage, et une vibration constante et très légère du sol. L'éruption débute au moment où la lave atteint l'air libre. Selon le type de magma, elle s'écoule sur les flancs du volcan ou s'accumule au lieu d'émission, formant un bouchon de lave qui peut donner des nuées ardentes et/ou des panaches volcaniques lorsque celui-ci explose. Selon la puissance de l'éruption, la morphologie du terrain, la proximité de la mer, il peut survenir d'autres phénomènes accompagnant l'éruption : séismes importants, glissements de terrain, tsunamis, ...

L'éruption se termine lorsque la lave n'est plus émise. Les coulées de lave, cessant d'être alimentées, s'immobilisent et commencent à se refroidir et les cendres, refroidies dans l'atmosphère, retombent à la surface du sol.

III.2.4) La prévention contre le volcan

La seule chose qui peut être envisagée et la plus part du temps d'organiser un système de prévention et d'avertissement qui permet d'évacuer en temps utile les populations menacées.

- Enregistrer les petites secousses de séismes locales, dont le nombre augmente énormément dans les jours qui précèdent une éruption.
- Eviter de construire dans les zones les plus menacées.
- L'expérience montre que les populations voisines s'habituent au péril et meurent difficilement les risques. Depuis 2000 ans, ces petites villes ont été reconstruites bien des fois, mais toujours au même emplacement.
- Utiliser un barrage pour dévier la lave.
- Arroser la lave avec de l'eau (utiliser en 1973 en Islande).

Chapitre IV : Les techniques géologiques

Les études géologiques aident à identifier le choix de l'emplacement de l'ouvrage et adapter le projet au site choisi. L'intervention du géologue en un projet hydraulique ou Génie Civile se fait en plusieurs phases [7]:

IV.1) Phase des études préliminaires ou de faisabilité :

Cette phase débute par l'étude des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques d'une région en vue d'affirmer la définition de la faisabilité de l'ouvrage.

L'étude comprendra:

- Géologie: Structure géologique et tectonique régionale.
- Stratigraphie régionale: Elle inclue des différents complexes faciaux génétiques (formation géologique).
- Géomorphologie: Relation relief-structure.
- Hydrogéologie: Interaction de l'eau superficielle et souterraine.
- Phénomènes physico-géologiques: érosion, accumulation, glissement, gonflement, karst, désertification, etc.
- Séismicité.

IV.2) Travaux de reconnaissances :

IV.2.1) Levé :

Les données recueillies à partir de la recherche et de l'évaluation des cartes topographiques et géologiques ainsi que les études et les reconnaissances géologiques et géotechniques effectuées pour d'autres objectifs, permettent d'estimer, même de façon très approximative, la connaissance du sous-sol géologique.

Il faut ajouter que le levé devra être effectué par itinéraires, lesquels seront progressivement adaptés aux résultats obtenus. La distance entre eux doit correspondre à l'aire de la surface, à l'échelle utilisée et à la complexité géologique de l'ingénieur de la zone. On documentera tous ces points d'intérêt qui permettent une évaluation approximative dans le but d'obtenir le volume maximal des données sur la nature géologique de l'emplacement de l'ouvrage, en tenant compte des affleurements, des excavations, des sources d'eau, des épaisseurs d'alluvions visibles, de la topographie karstique, des talus entaillés par les eaux, des ruissellements, etc.

IV.2.2) Topographie :

On emploiera la base topographique existante à l'échelle 1: 10 000; c'est la plus adéquate. Lors de l'exécution des plans topographiques à grande échelle, il est prévu la mise en place des bornes topographiques de base pour l'implantation des travaux de prospection, c'est à dire, de puits, de tranchées, de forages ou de fouilles et leurs mises au point plan-altimétrique. C'est une condition pour l'exécution du programme. Dans des zones qui ont besoin d'un plus grand degré d'étude, on pourra exécuter des profils, tracés d'appui ainsi qu'un levé topographique détaillé; dans ce cas, l'information de base doit être enregistrée sur le terrain pour être employée, postérieurement.

IV.2.3) Géophysique :

L'application et la sélection correcte des méthodes géophysiques par rapport aux caractéristiques géologiques de l'ingénieur de la zone et de la tâche à résoudre, sont des aspects à tenir compte par les chercheurs. À travers leurs résultats et leur corrélation avec les travaux de prospection, on peut obtenir l'information sur les types lithologiques ou géologiques de l'ingénieur et leurs épaisseurs ainsi que la détection des dépôts alluviaux cachés, des zones tectoniques, et de la détermination du degré karstique, en permettant l'évaluation de l'étanchéité et la stabilité.

IV.2.4) Prospection :

Les travaux de prospection complètent l'information obtenue jusqu'à présent. Ils doivent être appliqués de manière rationnelle, en tenant compte de la catégorie de complexité géologique de l'ingénieur et ils aident à caractériser et à dimensionner les zones identifiées comme défavorables, en les détaillant jusqu'à obtenir des conclusions concrètes sur la faisabilité de l'ouvrage.

La programmation des travaux de prospection (sondages, puits, forages carottés, tranchées à la pelle ou à la pelle mécanique) est, en général, une tâche difficile surtout quand la complexité géologique de l'ingénieur est élevée. Avec l'existence des schémas géologiques de l'ingénieur répétitifs, on peut obtenir un niveau de standardisation dans les investigations, ce qui permet de localiser avec une plus grande facilité, les particularités négatives, avec la diminution conséquente des coûts et de la durée des études.

IV.2.5) Échantillonnage :

Les matériaux extraits d'un sondage peuvent l'être de deux manières:

- soit sans précaution. On a alors des échantillons "remaniés" qui servent aux essais d'identification;
- soit avec précaution, en utilisant un carottier à prise d'échantillons. L'échantillon de sol ainsi obtenu est immédiatement recouvert d'une couche de paraffine pour éviter toute perte de teneur en eau, mis dans un conteneur et envoyé au laboratoire qui doit effectuer les essais.

Le forage de trou peut se faire de deux manières:

- soit avec une tarière; dans ce cas on obtient toujours des échantillons remaniés.
- soit en utilisant une sondeuse munie d'un carottier; dans ce cas, il peut y avoir soit un carottage continu (prélèvement d'échantillons de manière continue), soit un prélèvement d'échantillons à deux endroits déterminés.

Les échantillons doivent être suffisamment volumineux. Leur poids doit être assez suffisant pour la réalisation des essais prévus et la garantie des répétitions. Pour une simple identification, 3 kg et au moins 20 kg si on inclut des essais de compactage. Si les eaux superficielles et souterraines sont présentes, ils seront aussi échantillonnés dans de quantités adéquates.

IV.2.6) Laboratoire :

Sur les échantillons, on doit exécuter des essais physiques et chimiques, parmi lesquels on distingue:

Granulométrie et sédimentométrie.

- ✓ Limites d'Atterberg.
- ✓ Poids volumique humide (total).
- ✓ Teneur en eau.
- ✓ Poids volumique des grains solides (spécifique).
- ✓ Chimie des sols et des eaux, y compris ceux qui définissent le comportement agressif.

Les résultats permettent la caractérisation approximative des propriétés physiques et mécaniques de manière indirecte, quelque soit le site ou il est indispensable d'évaluer les problèmes de stabilité. Les paramètres de résistance et de déformation seront estimés à partir de différentes sources bibliographiques, de travaux effectués précédemment ou de l'expérience du chercheur lui-même.

Les dossiers de laboratoire feront mention de la norme employée pour chaque essai et qui établissent la forme de livraison des résultats. On ne doit pas employer les différents systèmes de normalisation; il s'agira d'atteindre la plus grande uniformité dans la réalisation de ces travaux.

IV.3) Travaux de bureau :

Il comprend toute la gestion de traitement des données, d'interprétation, de corrélation et de présentation des données et des résultats des travaux géologiques de l'ingénieur afin d'assurer la bonne performance du rapport de synthèse y compris ceux de la phase précédente jusqu'à l'élaboration du rapport de synthèse finale.

Si les eaux souterraines existent, la profondeur d'exploitation au-dessus du niveau de la nappe dépendra du type de matériau: 1 m pour les argiles; 0.5 m pour les argiles sableuses, les sables argileux et les sols grenus avec des particules fines et 0.1 m pour les sols grenus. Si on dispose d'engins adéquats, l'exploitation des sables et des graviers pourra être effectuée au-dessous du niveau des eaux souterraines.

IV.4) Rapport de synthèse :

Dans ce rapport, on définit les aspects suivants:

- Caractéristiques géo-morpho-structurales.
- Complexe facial génétique avec la description des types lithologiques et géologiques de l'ingénieur ainsi que son développement spatial (épaisseur et superficie).
- Présence de phénomènes physico-géologiques (gonflement, rétraction, dispersion, etc.).
- Propriétés physico-mécaniques (normatives et de calcul).
- Propriétés de compactage avec l'évaluation de la teneur en eau naturelle.
- Profondeur du niveau des eaux souterraines, si elles existent.
- Composition chimique des sols et chimico-minéralogique des roches.
- Volumes des réserves en relation avec la catégorie d'investigation.
- Catégorie d'excavation et des engins recommandables pour l'exploitation des matériaux.
- Epaisseur et volumes non exploitables.
- Particularités de l'exploitation. Dans les cas des zones d'emprunt, on doit remarquer les possibles mélanges et utilisations des matériaux composantes, ainsi que des manières d'exploitation, d'arrosage ou de drainage les plus adéquates.

Les conclusions données dans le rapport de synthèse devront présenter un résumé des aspects étudiés et de leurs résultats. Les recommandations mettront en évidence des sujets de réflexion pour la conception et la construction de l'ouvrage, par exemple:

- Le fuseau des teneurs en eau par rapport aux poids volumiques secs respectifs, qui sert au contrôle de la qualité de compactage pendant sa réalisation.
- La réalisation des planches des essais pour vérifier les paramètres du projet et contrôler le processus de remblayage avant d'entamer l'étape de mise en œuvre y compris les enrochements.
- Les valeurs de calcul des principaux paramètres géotechniques pour le dimensionnement de l'ouvrage.
- L'organisation et les manières d'exploitation des matériaux adéquates.

Références bibliographiques :

[1] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Géologie>.

[2] M. CHOURAK, Cours de Géologie d'ingénieur, Université Mohammed Premier Ecole Nationale des Sciences Appliquées – Oujda, 2015.

[3] A. Parriaux et M. Arnould, Géologie : Base pour l'ingénieur, Presse polytechnique et universitaire Romande, 2011.

[4] I. Cojean et M. Renard Sédimentologie. Dunod, 1999.

[5] P. Bédard, Les systèmes cristallins, 2005

[6] M. CHABOU, cours de géologie 2, Université Ferhat Abbas, Sétif, 2017.

[7] E. Adán et all, Géologie de l'ingénieur, procédures méthodologiques pour l'exécution des études de retenues collinaires et petits barrages, 2004.