

Chapitre 1

Généralités sur les risques naturels

I.1. Définitions

- **Le risque** est la possibilité de survenance d'un évènement susceptible de porter atteinte à l'équilibre naturel. Le risque résulte de la conjonction d'un **aléa** et des **enjeux** en présence.
- **L'aléa** est la probabilité d'occurrence d'un phénomène donné. On parle toujours d'un aléa pour un phénomène et une durée donnés : aléa volcanique, aléa sismique, aléa mouvement de terrain, aléa inondation.
- **Les enjeux** sont les personnes, les biens, les équipements et l'environnement menacés par l'aléa, et susceptibles de subir des préjudices.



Figure I.1: Schéma explicatifs des notions d'aléa, enjeu et risque.

- Il y a risque naturel lorsqu'un enjeu est menacé, même potentiellement, par un phénomène naturel.
- Un phénomène naturel ne menaçant aucun enjeu reste un **phénomène naturel**. Par exemple : une avalanche au fond d'une vallée non fréquentée n'est pas un risque naturel.

I.2. Les phénomènes naturels dangereux

Les chutes de météorites, les éruptions volcaniques, les séismes, les tsunamis, les cyclones, les crues, les mouvements de terrain....sont des événements intempestifs de phénomènes naturels qui peuvent être plus ou moins fréquents et se révéler plus ou moins dangereux en certaines circonstances dans certains sites.

I.2.1. Les cycles naturels

Les phénomènes naturels sont généralement liés aux cycles naturels qui peuvent être résumés dans le schéma de la (figure I.2.)

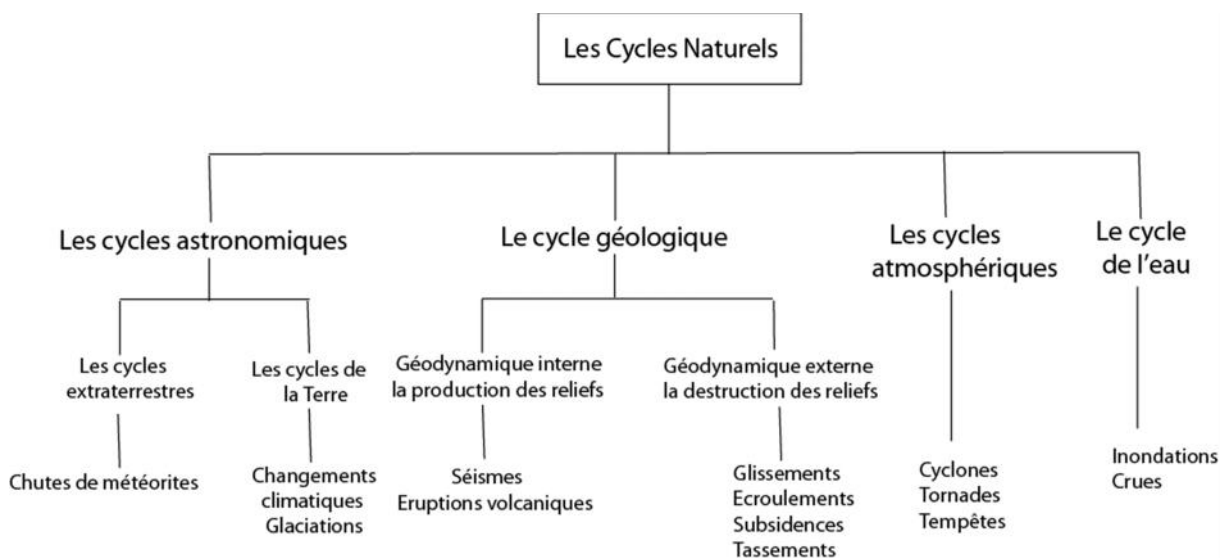


Figure I.2: Classification des cycles naturels.

- **Les cycles astronomiques :** qui sont liés aux mouvements des astres dans le Système solaire. On distingue :
 - Les cycles extraterrestres, liés aux mouvements des planètes (excepté la Terre), astéroïdes et comètes autour du Soleil et de la Lune autour de la Terre. La chute de météorites en tant que risques naturels est liée à ce cycle.
 - Les cycles de la Terre, liés aux mouvements de la Terre autour du Soleil et autour de son axe de rotation. A ces cycles sont liés le climat et les glaciations.

- **Le cycle géologique** : le cycle géologique est le modèle schématique de comportement du système terrestre selon lequel, depuis l'origine de la Terre, des reliefs se créent et se détruisent incessamment à la surface du globe. On distingue des phases **interne** d'orogénèse et surrection et **externe** d'érosion, altération, ablation, transport, sédimentation et diagenèse.
- Géodynamique interne (la production des reliefs), liée à la tectonique des plaques et due à la dissipation de l'énergie interne de la Terre. Selon la théorie de la tectonique des plaques, la partie superficielle de la Terre est formée de plaques rigides d'une centaine de kilomètres d'épaisseur, flottant sur l'asthénosphère. Ces plaques sont en mouvement les uns par rapport aux autres et peuvent comporter une croûte océanique ou continentale ou les deux. La croûte océanique est formée au milieu des océans au niveau des dorsales océaniques et peut disparaître par plongement au niveau des zones de subduction (figure I.3). Quand deux plaques continentales se rencontrent, une chaîne de Montagnes se forme. Le mouvement des plaques se manifeste en surface par les séismes et les éruptions volcaniques, événements naturels les plus dangereux [1].

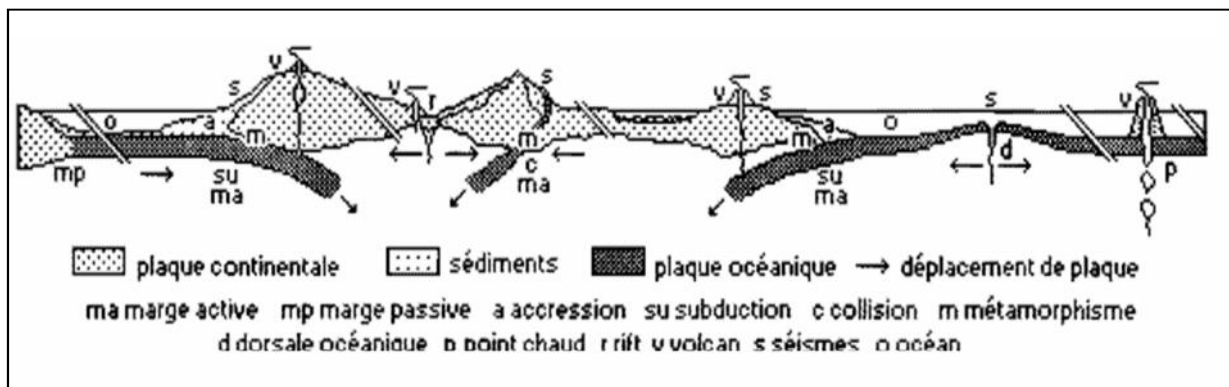


Figure I.3 : Schéma récapitulatif des manifestations en surface de la Géodynamique interne

- Géodynamique externe (la destruction des reliefs), qui concerne la dynamique des enveloppes externes telles que l'hydrosphère, l'atmosphère et les interactions entre ces enveloppes et la lithosphère: érosion, transport, sédimentation, diagenèse (figure I.4) Ces phénomènes sont susceptibles d'être des facteurs de risques « naturels » ; on rattache par exemple les glissements et les écroulements à l'érosion, les subsidences et les tassements à la diagenèse .

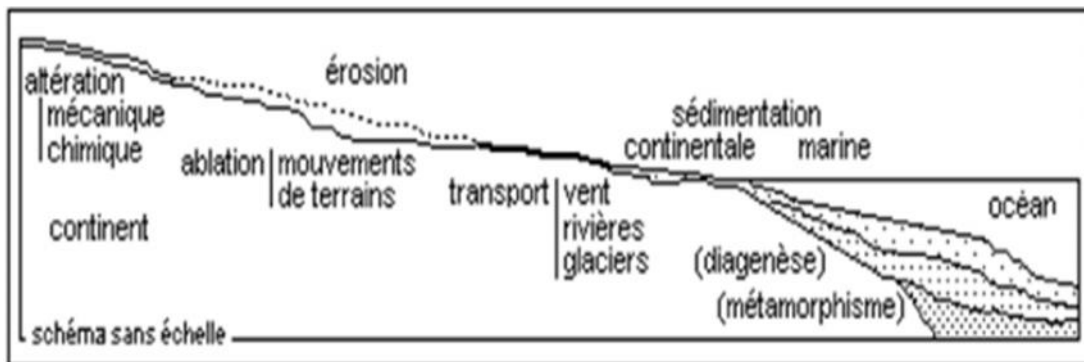


Figure I.4 : Schéma récapitulatif des manifestations de la Géodynamique externe .

- **Les cycles atmosphériques :** L'activité solaire est à l'origine des cycles atmosphériques . Des écarts d'apport énergétique solaire entre les différents points du globe naissent les phénomènes météorologiques les plus divers.
- **Le cycle de l'eau:** provoque et entretient en grande partie la destruction des reliefs . L'eau s'évapore depuis la surface des océans dans l'atmosphère où, sous forme de nuages, elle se déplace sur des distances importantes. Au-dessus des continents, l'eau en suspension dans les nuages se condense et retombe sous forme de précipitations, s'infiltrant dans le sol et alimentant les lacs et les cours d'eau. Cette eau finit par retourner aux océans et le cycle recommence (figure I.5) .

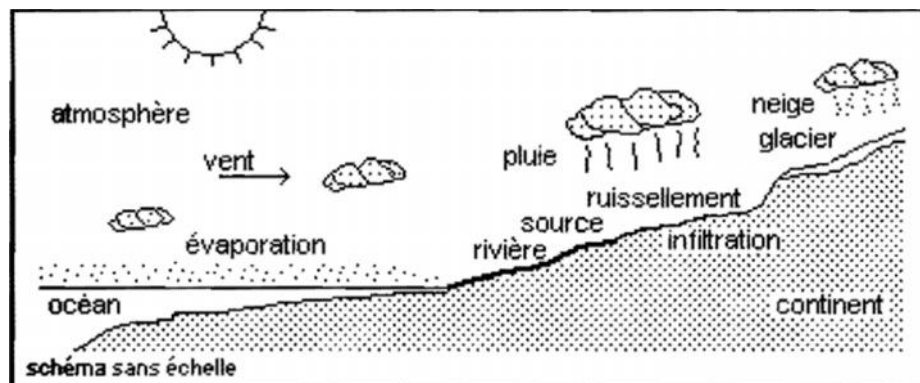


Figure I.5 : Le cycle de l'eau.

I.2.2. Les phénomènes naturels dangereux

Une classification simplifiée des phénomènes naturels susceptibles d'être dangereux est donnée dans la (figure I.6).

- **Les chutes de météorites** : des chutes de météorites peuvent se produire partout, n'importe quand, de n'importe quel volume et sont imprévisibles. Comme exemple, citons l'événement de la Toungouska survenue le 30 juin 1908 en Sibérie, qui a détruit la forêt sur un rayon de 20 kilomètres et fait des dégâts jusqu'à une centaine de kilomètres.
- **Les phénomènes d'origine interne** : les effets de la tectonique des plaques sont les éruptions volcaniques et les séismes qui se produisent à la limite entre les plaques tectoniques. Exemple : la ceinture de feu à la périphérie du Pacifique connue pour ses séismes destructeurs et son volcanisme actif.
- **Eruptions volcaniques** : plus de six cents volcans sur Terre ont eu des éruptions pendant la période historique. Ces éruptions sont rares même près des volcans actifs. Comme exemple, citons le réveil du volcan Pinabuto aux Philippines qui a fait plus de 800 victimes en 1991, décimant des dizaines de milliers d'hectares.
- **Séismes** : on appelle séismes les vibrations terrestres naturelles et résultent de la libération brusque d'énergie accumulée par les contraintes exercées sur les roches. Il se produit de très nombreux séismes tous les jours, mais la plupart ne sont pas ressentis par les humains. Les plus puissants d'entre eux comptent parmi les catastrophes naturelles les plus destructrices. Citons comme exemple le séisme qui frappa la capitale haïtienne Port-au-Prince en 2010 et qui a fait plus de 230 000 morts.
- **Tsunamis**: ce sont des ondes isolées du large qui s'amplifient démesurément à l'approche des côtes et pénètrent souvent très loin du rivage, provoquant alors des dommages bien plus considérables que les tempêtes. Comme exemple, citons le Tsunami qui ravagea les côtes des pays de l'océan indien en 2004 et fait plus de 230.000 morts.
- **Les phénomènes atmosphériques** : les événements atmosphériques (cyclones, tempêtes, tornades...) et les événements naturels qui en sont les sous-produits (inondations, mouvements de terrains...) sont les aléas les mieux connus et les plus suivis.
- **Les phénomènes climatiques**: les phénomènes climatiques glaciations, eustatisme, sécheresse affectent une partie voire l'ensemble du globe pour des durées qui dépassent largement le temps humain et même historique. Exemple: la sécheresse qui a eu lieu dans les années 1970 et 1980 au Sahel et qui a fait des centaines de milliers de morts.

- **Les phénomènes météorologiques:** les phénomènes météorologiques, moussons, cyclones, tornades, orages... affectent des régions bien déterminées et sont plus ou moins saisonniers. Exemple : l'ouragan Katrina qui dévasta le Sud-Est des Etats-Unis en 2005 a fait 1 836 morts.
- **Phénomènes liés aux conditions atmosphériques**
- **Inondations, crues, tempêtes littorales:** ces phénomènes provoquent et entretiennent, l'érosion, le transport et la sédimentation à l'échelle régionale, et des déplacements de lits, de côtes, des modifications de paysages... à l'échelle locale. Exemple : les inondations liées à la mousson qui ont eu lieu en 2010 au Pakistan et qui ont fait 1600 morts et 12 millions de sinistrés.
- **Avalanches:** sont des aléas naturels extrêmement fréquents en Montagne et souvent très graves.
- **Les mouvements de terrain :** ce sont les effets de la gravité sur le matériau terrestre, associée à divers événements déclencheurs, séismes, fortes précipitations, excavations naturelles ou artificielles.
- **Mouvements de pente :** constituent la classe la plus vaste d'aléas. Ce sont des mouvements obliques, qui affectent les pentes tant naturelles qu'artificielles, écoulements, coulées, glissements
- **Mouvements verticaux:** comprennent les affaissements, effondrements, tassement ... qui résultent de la consolidation progressive de sédiments, sous l'effet de leur propre poids, à laquelle s'ajoute parfois la subsidence, d'effondrements de voûtes de cavités de formations karstiques, gypseuses... ils peuvent être provoqués soit par surcharge locale de la surface du sol, comme celle résultant de la construction d'un ouvrage, soit par extraction de matériau du sous-sol, comme lors de l'exploitation de pétrole, d'eau, de matériaux, de minerai, la construction de galeries...

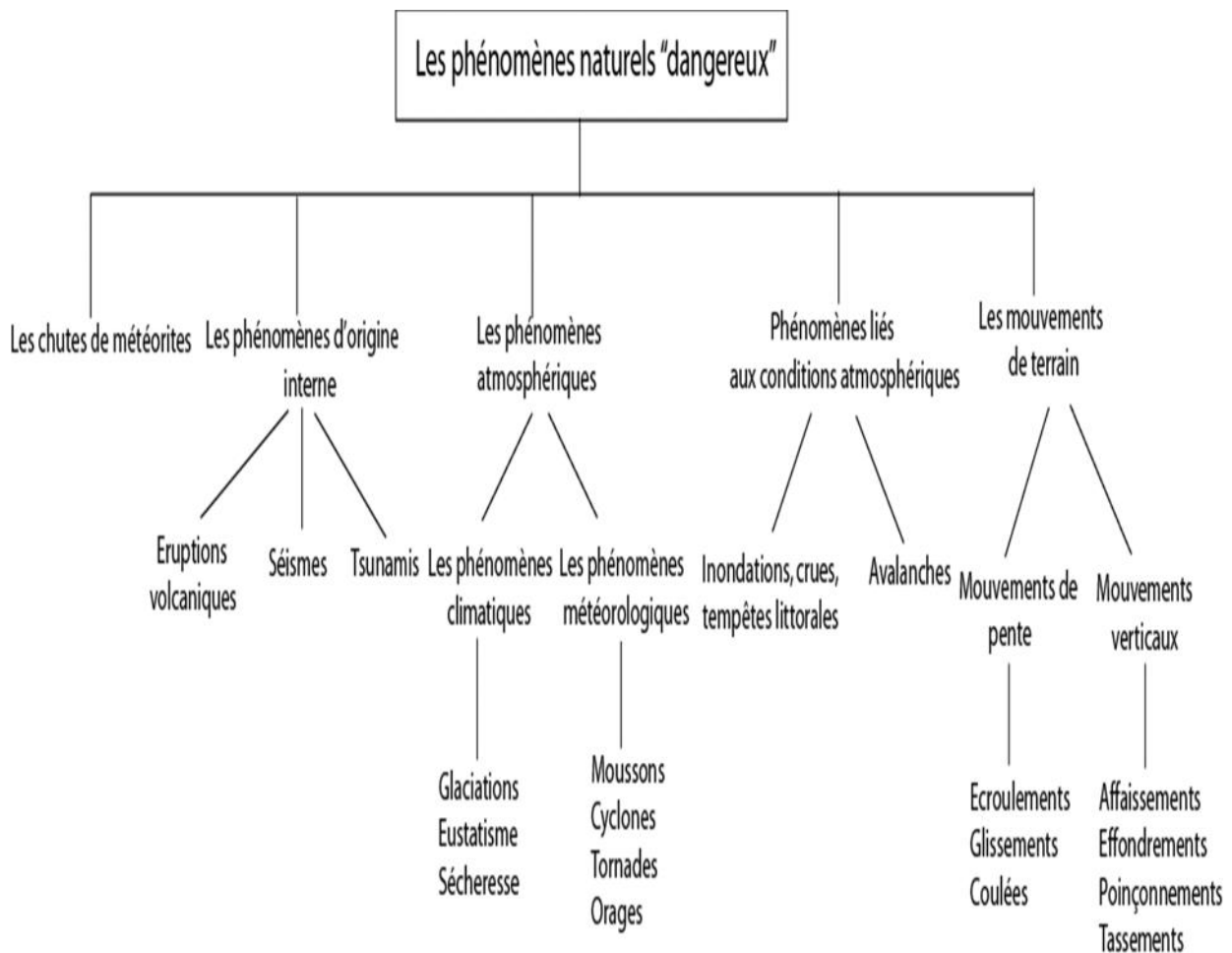


Figure I.6 : Classification des phénomènes naturels « dangereux ».

Dans ce qui suit, nous développerons en détails les phénomènes naturels susceptibles d'être dangereux liés au cycle géologique et qui font l'objet de ce mémoire (qui concernent la région d'étude) : mouvements de terrain et séismes

I.3. Les mouvements de terrain

Les mouvements de terrain regroupent tous les cas de déplacement de masses de terrain sous l'action de la pesanteur. Ils peuvent être très lents ou extrêmement rapides. On peut classer les mouvements de terrain en deux grands types (figure I.7) :

- Le premier groupe concerne les déplacements obliques vers des surfaces libres inclinées ; ils affectent les pentes naturelles ou terrassées : c'est les **mouvements de pente**.
- Le second groupe concerne les déplacements verticaux confinés abaissant sans rupture des surfaces horizontales : c'est les **mouvements verticaux**.

I.3.1. Les mouvements de pente

Les mouvements de pente constituent la classe la plus vaste d'aléas. Ce sont des mouvements obliques qui affectent les pentes tant naturelles qu'artificielles. De nombreuses classifications ont été proposées pour rendre compte de la diversité des mouvements de pente. Les principaux critères de classification retenus sont :

- Types de terrain affectés.
- Types de mouvements.
- Vitesse des processus.
- Taux de remaniement des matériaux après le mouvement.

Les mouvements de pente les plus fréquents sont classés en :

- Ecoulement rocheux.
- Mouvements lents et continus (reptation et fluage).
- Glissements.
- Coulées, laves et lahars.

Les causes des mouvements de pente sont nombreuses ; les principales sont d'ordre :

- Hydrogéologique : altération de matériau, accumulation d'eau souterraine...
- Mécanique : vibrations, suppression de butée, affouillement en pied de pente et/ou accroissement de poussée, surcharge en tête.....

Les mouvements de pente peuvent être activés par : (1) un séisme ; (2) des précipitations excessives ; (3) une crue ; (4) une tempête ; (5) des ruptures de canalisations d'eau ou d'assainissement ; (6) un défaut de drainage ; (7) un dégel rapide ; (8) un terrassement mal étudié ou intempestif ; (9) une construction mal implantée ou mal conçue ; (10) un soutènement inadapté

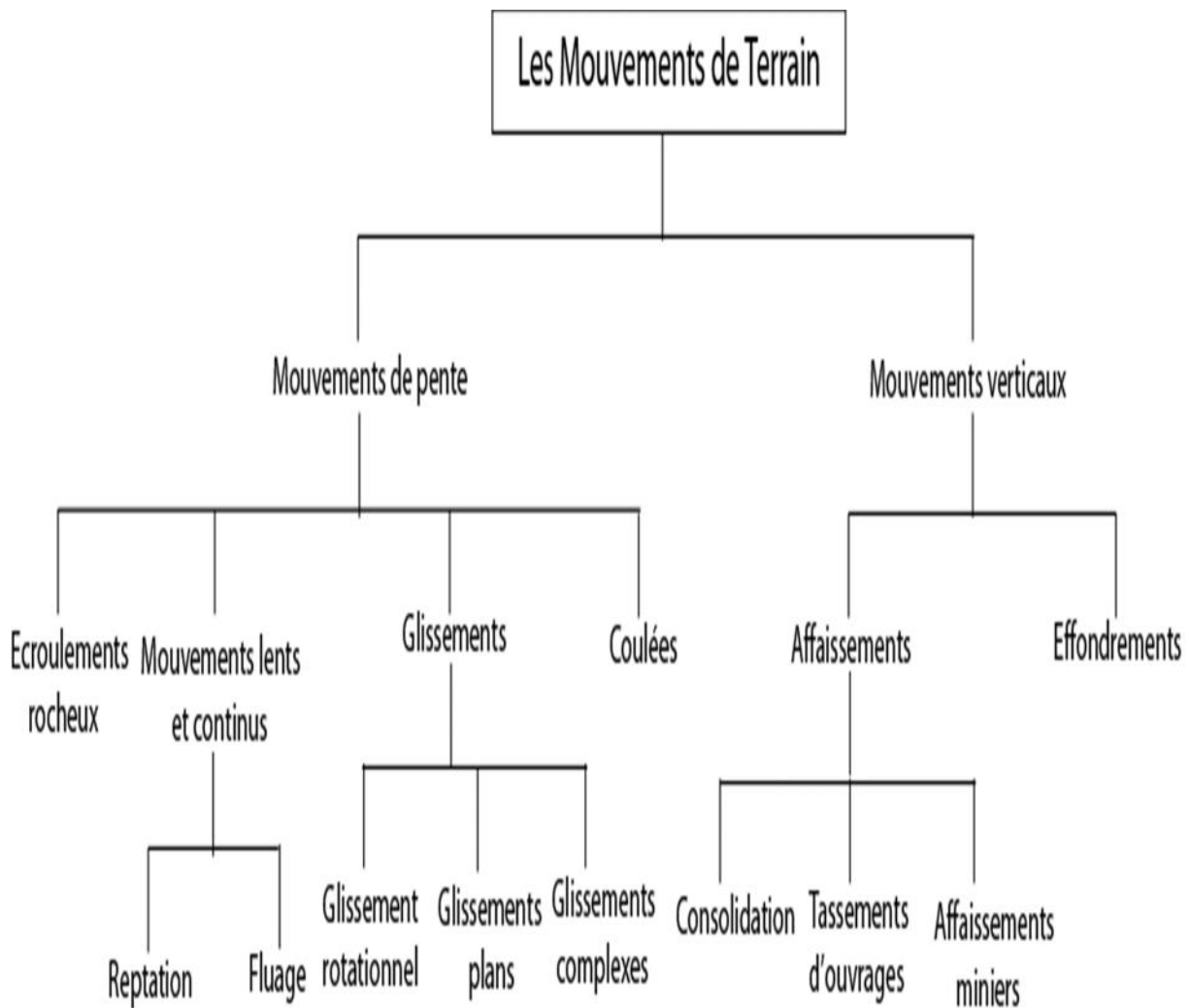


Figure I.7: Classification des mouvements de terrain.

I.3.1.1. Les écoulements

Ce sont des chutes soudaines de masses rocheuses (Figure I.8). On utilise le terme de chute de pierres lorsque des fragments ou des blocs de petite taille se détachent d'une paroi rocheuse. Le terme écoulement (ou éboulement) est utilisé lorsque la chute affecte, simultanément, une masse importante de matériaux de gros calibre. Les écoulements ont deux origines : présence de fractures préexistantes et de niveaux tendres sous-jacents.

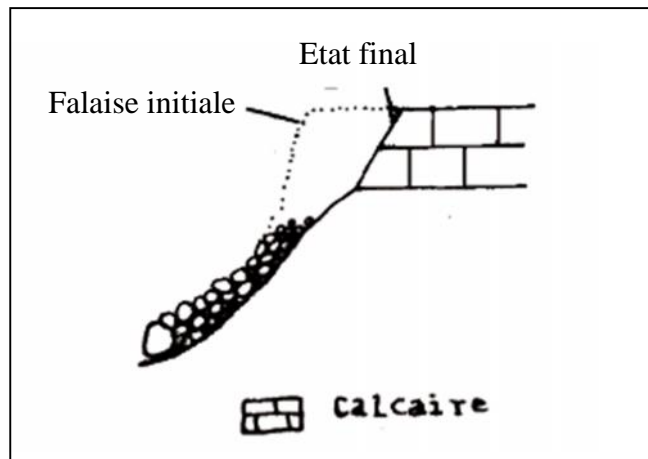


Figure I.8:Ecoulement

I.3.1.2. Mouvements lents et continus

Les mouvements lents et continus affectent soit la couverture meuble de talus, soit l'altérite et/ou le substratum plus ou moins décomprimé de versants montagneux.

a. Reptation

La reptation consiste en un déplacement et une redistribution des particules, au sein d'une formation meuble, sous l'action de la pesanteur ce qui se traduit par une lente descente de l'ensemble. Elle s'exprime, le long des versants en pente par la courbure de la base des troncs d'arbre, l'inclinaison des piquets des pâtures, et le fauchage de la partie sommitale des affleurements de roches meubles (figure I.9) .

b. Fluage

Le fluage se produit généralement au sein de formations (marnes, argiles plastique, etc.) de grande épaisseur, supportant une surcharge (naturelle ou anthropique). Ce type de phénomène s'observe également dans des remblais constitués d'argiles, qui ont été amenées à des teneurs en eau élevées au cours du temps et fluant sous leur propre poids. Dans l'exemple de la (figure I.10), le banc de marne flue sous le poids de la falaise calcaire. Ceci peut provoquer une fissuration du banc calcaire peu déformable et un risque d'écroulement de la falaise.

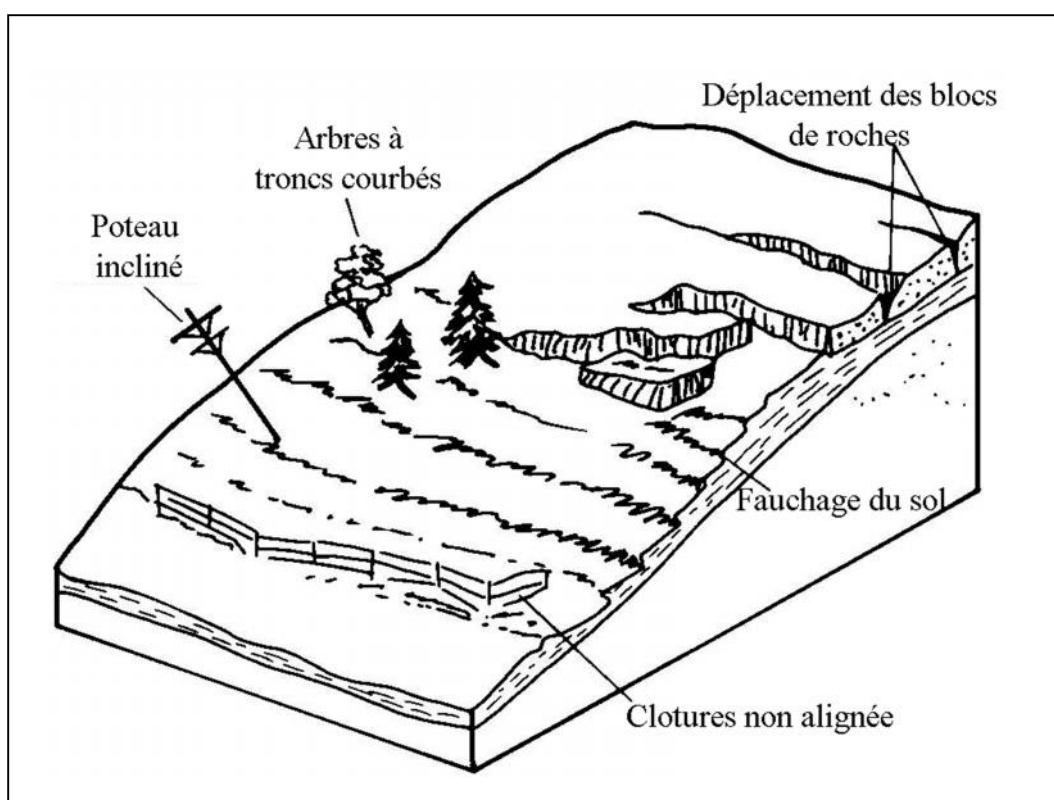


Figure I.9 : Exemple de reptation

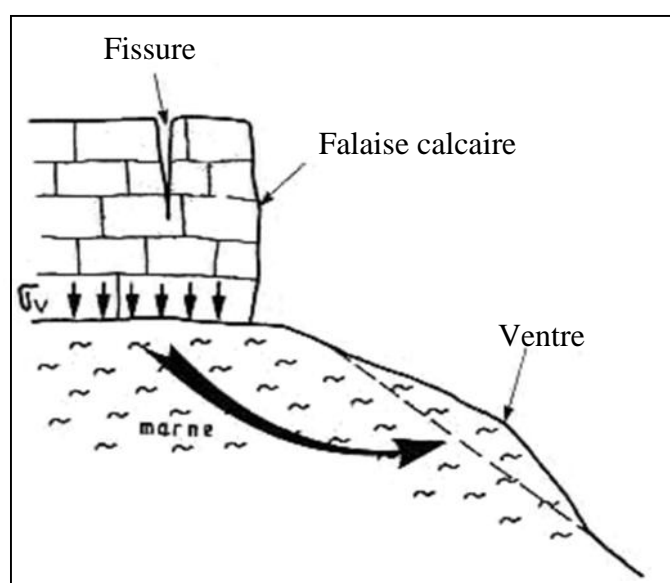


Figure I.10 : Exemple de fluage

I.3.1.3. Les glissements

Les glissements consistent en une descente massive et relativement rapide de matériaux le long d'une surface bien définie. Ils se produisent généralement dans des matériaux faiblement cohérents (marnes, argiles...). Un glissement de terrain se produit lorsque les contraintes de cisaillement, dues aux forces motrices telles que le poids, excèdent la résistance du sol le long de la surface de rupture. Les glissements sont les mouvements qui affectent le plus fréquemment les ouvrages de génie civil et génie minier.

Les principaux éléments morphologiques d'un glissement sont représentés sur la (figure I.11).

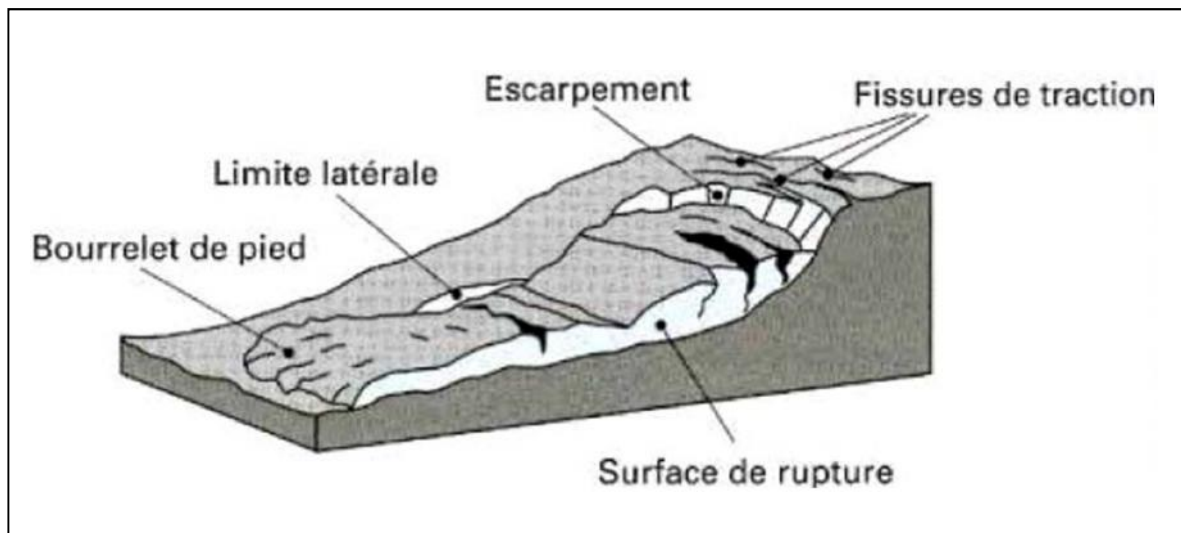


Figure I.11 : Principaux éléments de description d'un glissement de terrain.

La forme de la surface de rupture a permis de définir deux grandes catégories de glissement :

- Glissement plan ;
- Glissement rotationnel simple ;

a. Glissement plan

Il se produit suivant un plan, le plus souvent au niveau d'une zone de discontinuité entre deux matériaux de nature différente par exemple limite entre une altérite et son substrat (figure I.12). La ligne de rupture suit une couche mince de mauvaises caractéristiques sur laquelle s'exerce souvent l'action de l'eau. Une telle couche est appelée « couche savon ».

b. Glissement rotationnel

Ce type de glissement est très fréquent. Le terrain glisse le long d'une surface concave ayant la forme d'une cuillère (figure I.13). La partie supérieure affaissée se scinde en blocs surmontés d'escarpement de failles. La partie inférieure évolue en une coulée plus ou moins développée.

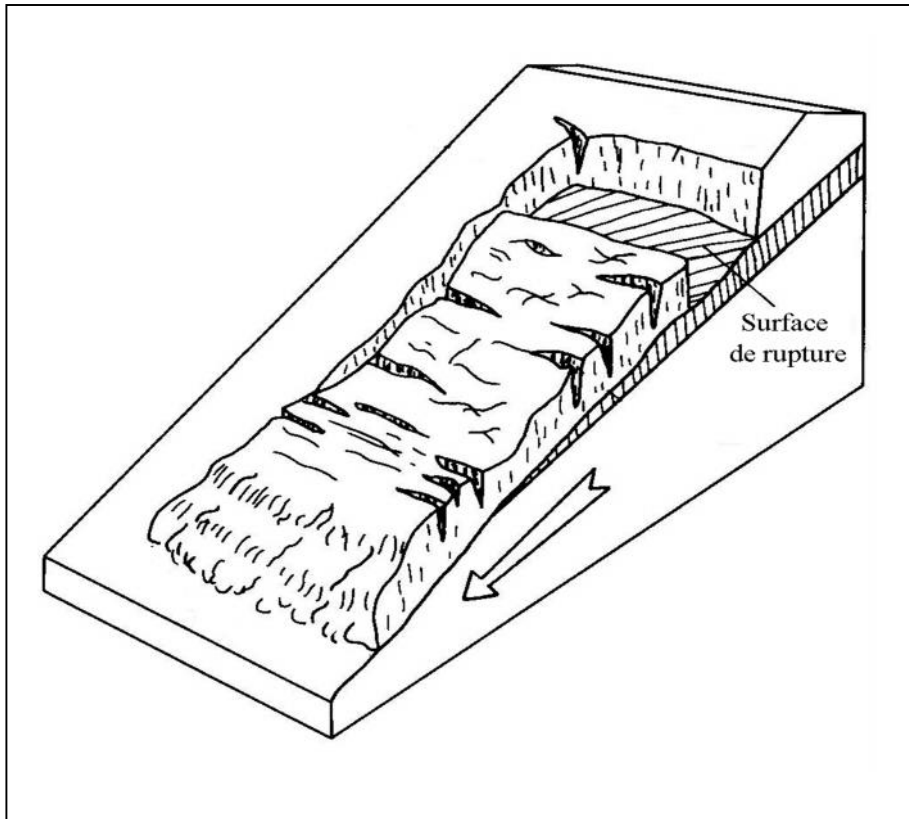


Figure I.12 : Glissement plan.

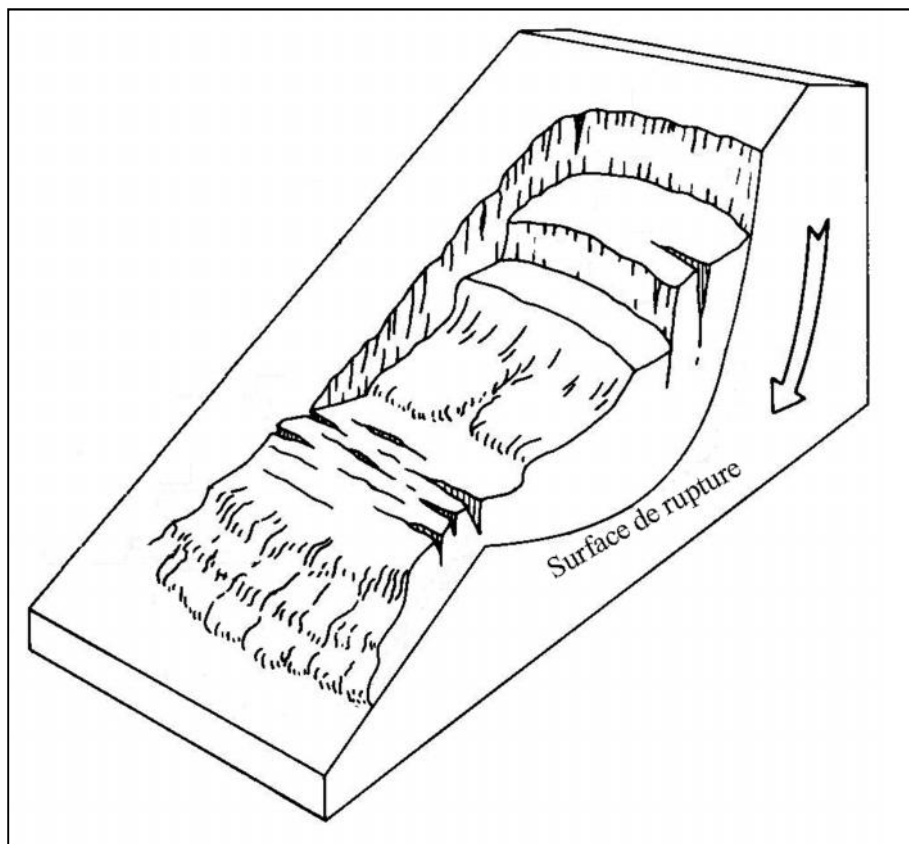


Figure I.13 : Glissement rotationnel.

I.3.1.4. Les coulées de boues

Les coulées sont assimilables à l'écoulement d'un fluide visqueux charriant des éléments de tailles diverses (depuis les fines jusqu'aux blocs) sur des distances parfois importantes. Elles se produisent à partir de matériel meuble, momentanément saturé en eau, prenant alors une consistance plus ou moins visqueuse, parfois proche de la fluidité. On distingue plusieurs types de coulées telle que : (i) **coulées boueuses** (incluant coulée de blocs, de terre, de boue, lave torrentielle, lahar : coulée boueuse d'origine volcanique, avalanche de débris et se produisant surtout en montagne) (Figure I.14), (ii) **coulées de solifluxion** (déplacement lent des sols en milieu périglaciaire, résultant de l'instabilité de la partie dégelée du sol, en surface, au cours de l'été).

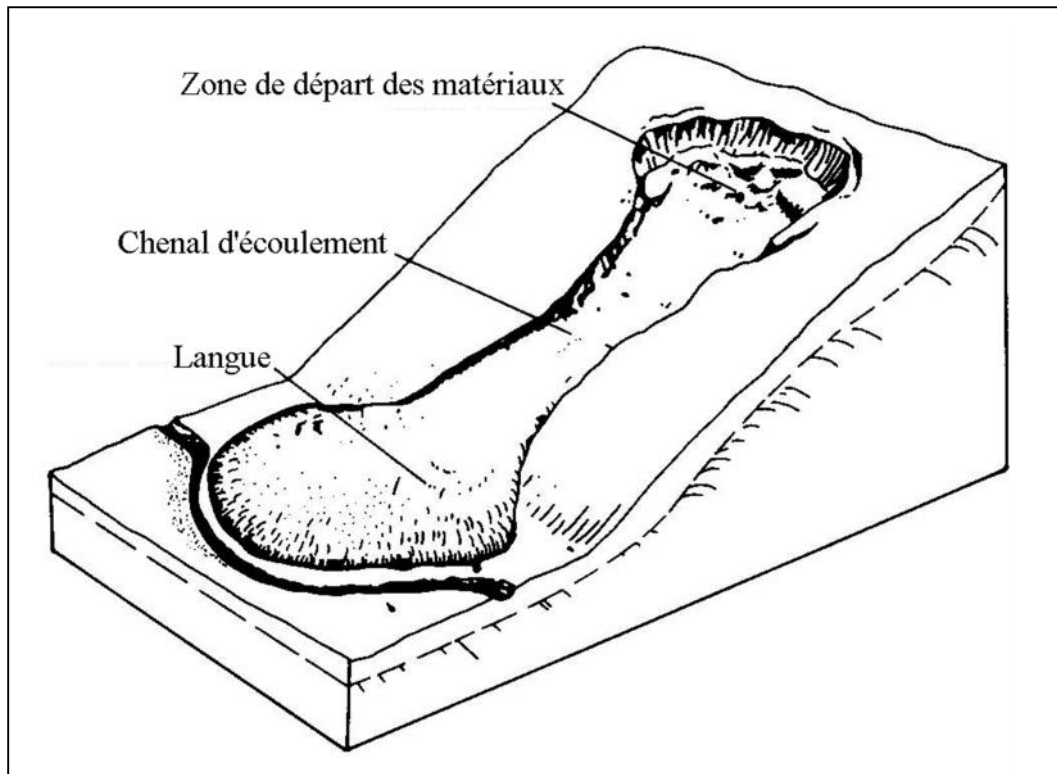


Figure I.14 : Coulée de boues.

I.3.2. Les mouvements verticaux

Les affaissements et effondrements sont aussi des mouvements naturels provoqués ; naturels, ils résultent de la consolidation progressive de sédiments, sous l'effet de leur propre poids, à laquelle s'ajoute parfois la subsidence, d'effondrements de voûtes de cavités de formations karstiques, gypseuses... ils peuvent être provoqués soit par surcharge locale de la surface du sol, comme celle résultant de la construction d'un ouvrage, soit par extraction de matériau du sous-sol, comme lors de l'exploitation de pétrole, d'eau, de matériaux, de minerais, la construction de galeries...

I.3.2.1. Les affaissements

Les affaissements sont des mouvements verticaux de terrain qui abaissent lentement et sans rupture, la surface du sol, la plupart résultent d'un processus naturel, la consolidation ; ils produisent des cuvettes et dépressions parfois très vastes et des tassements d'ouvrages. Les effondrements de cavités profondes comme les mines peuvent produire de vastes zones d'affaissements en surface. Les mouvements provoqués par le dégel ou la sécheresse sont des cas particuliers plus limités mais néanmoins souvent dommageables.

- **La consolidation** : elle affecte des matériaux meubles récemment déposés, sédiments subactuels, remblais...Elle est le résultat de l'écrasement des interstices d'un matériau granuleux, sous l'effet de son propre poids
- **Les tassements d'ouvrages** : un ouvrage construit dans un site dont le sous-sol est rocheux ou meuble, induit un champ de contraintes qui provoque sous lui des déformations progressives et permanentes. l'ouvrage s'enfonce plus ou moins dans le sol et peut subir des distorsions qui entraînent sa fissuration, voire son inclinaison.
- **Les affaissements miniers** : Le sol des régions de mines s'affaisse généralement de façon irrégulière et sur de grande surface. Certaines techniques d'exploitation des mines créent des vides souterrains importants qui se combrent par effondrement du toit, cela entraîne la décompression et la fragmentation des matériaux stériles coiffant le gisement.

I.3.2.2. Les effondrements

Les effondrements sont des écroulements subverticaux entraînés par des ruptures brusques de toits de cavités naturelles résultant de dissolutions de roches, calcaire ou gypse ou de soutènements de carrières souterraines ou de mines ; selon la surface, la hauteur et la profondeur de la cavité, ils aboutissent en surface à des dépressions, des cuvettes, des avens, des gouffres ou des fontis, après s'être propagés à travers toutes sortes de matériaux, entre la cavité et le sol, en les fracturant et en les faisant foisonner.

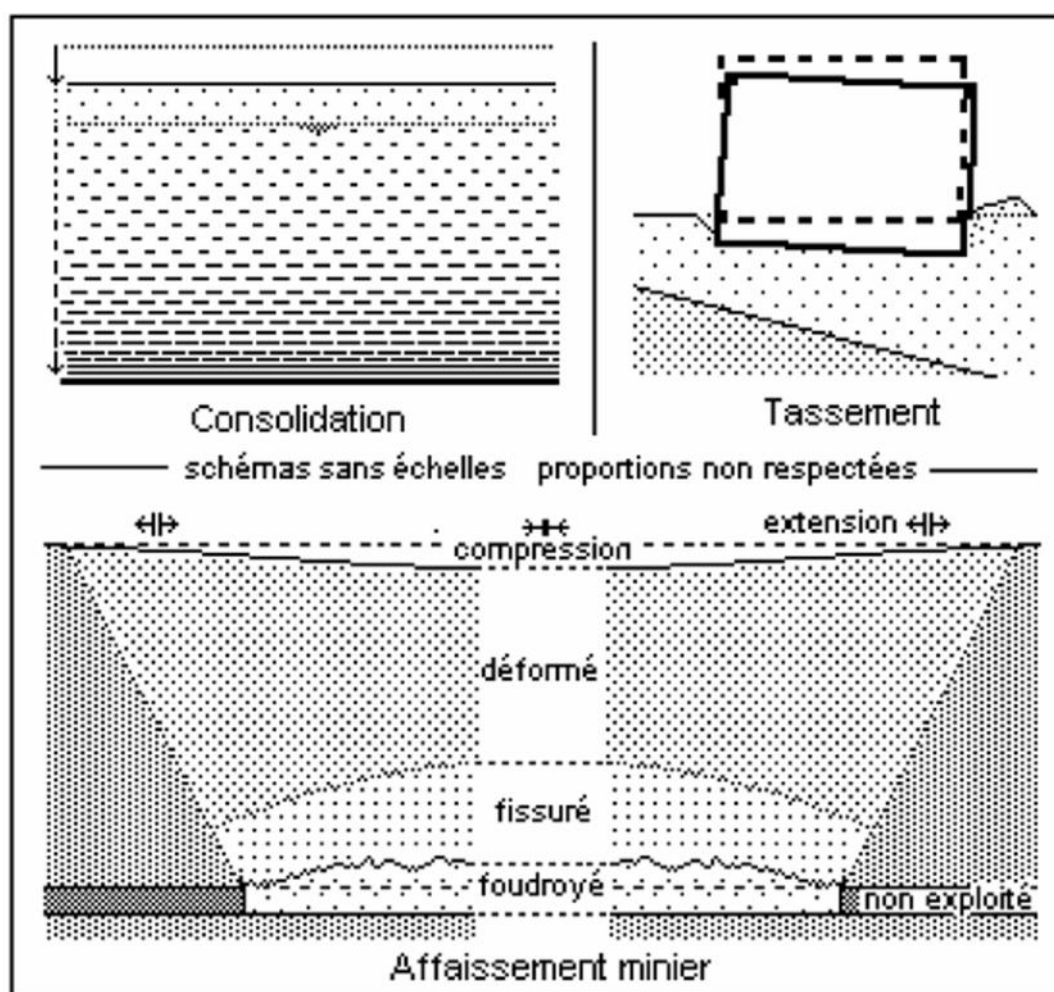


Figure I.15 : Les affaissements

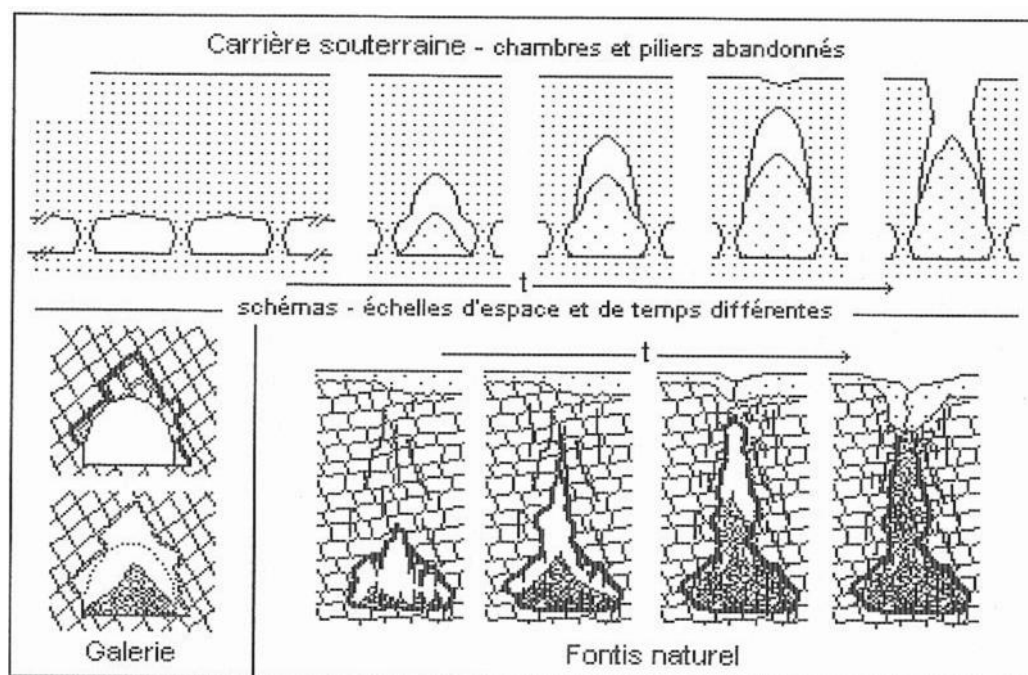


Figure I.16: Les effondrements

I.4. Les séismes et le risque sismique

I.4.1. Définitions

On appelle tremblement de terre ou séisme toute secousse (vibration de la surface de la Terre) ou série de secousses plus ou moins violentes du sol.

Les séismes sont provoqués par la libération d'une grande quantité d'énergie accumulée depuis des dizaines ou des centaines d'années dans une région donnée. Cette énergie libérée se propage sous forme d'ondes sismiques qui provoquent des vibrations à la surface de la terre. En général, l'énergie est libérée lors de la fracturation des roches en profondeur.

- On appelle **foyer** ou **hypocentre** le lieu où se produit le premier choc en profondeur (C'est le lieu de la rupture des roches en profondeur) (Figure I.17).
- On appelle **épicentre**, le point de la surface situé à la verticale du foyer (figure I.17). A l'épicentre, la force d'un tremblement de terre est maximale, et à mesure qu'on s'éloigne elle diminue.
- **L'intensité d'un séisme** est définie en un lieu par rapport aux effets produits par ce séisme (effets et conséquences du séisme en un lieu donné).
- Les lignes d'égale force (intensité) d'un tremblement de terre s'appellent **isoséistes** (Figure I.17).
- L'instrument utilisé pour enregistrer les séismes s'appelle : **le sismographe**.

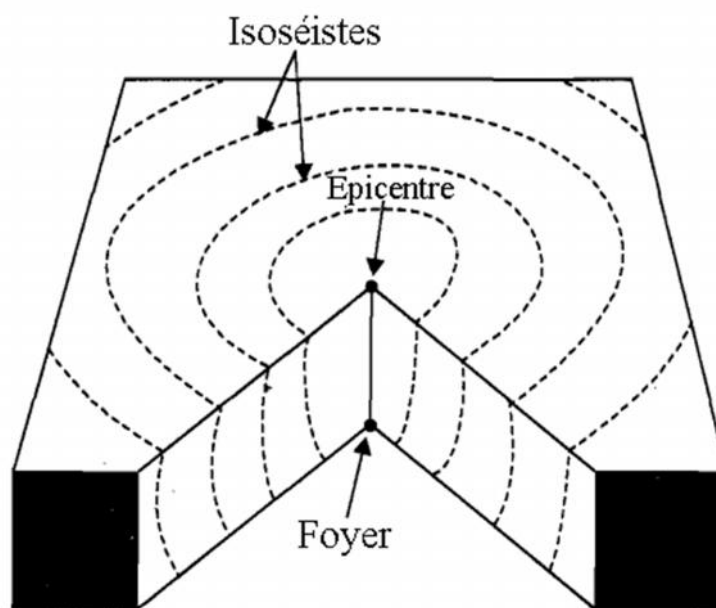


Figure I.17 : Foyer, épicentre et lignes isoséistes.

I.4.2. Classification des séismes

La classification des tremblements de terre se base sur un nombre de critères. Les plus importants sont : (1) la profondeur du foyer ; (2) l'origine du séisme et (3) l'intensité et la magnitude des tremblements de terre.

- Selon la profondeur du foyer, on distingue :
 - Les séismes **superficiels** : la profondeur du foyer est inférieure à 60 km.
 - Les séismes **intermédiaires** : le foyer est situé entre 60 et 300 km de profondeur.
 - Les séismes **profonds** : la profondeur du foyer dépasse 300 km.
- Selon l'origine du séisme, on distingue les séismes d'origine tectonique et ceux d'origine non-tectonique.
 - Les séismes **d'origine tectonique** sont directement liés aux mouvements de l'écorce terrestre le long de failles. C'est les plus importants (95 % des séismes enregistrés), les plus destructeurs et peuvent affecter de grandes superficie.
 - Les séismes **d'origine non-tectonique** peuvent être provoqués par des éruptions volcaniques, l'effondrement de cavités souterraines naturelles ou par de gros glissements de terrain. Ces séismes sont en général de faible intensité et concernent des superficies limitées.
- Une autre classification se base sur l'intensité ou la magnitude d'un séisme. Nous avons déjà indiqué que l'intensité d'un séisme est liée aux effets et conséquences du séisme en un lieu donné. La magnitude d'un séisme est différente de l'intensité et exprime la quantité totale d'énergie libérée lors d'un tremblement de terre.
 - Il existe plusieurs échelles d'intensité : la plus utilisée est **l'échelle M.S.K** (Medvedev-Sponheuer-Karnik) précisant l'ancienne échelle de Mercalli. Elle compte 12 degrés (tableau I.1), le degré 1 correspond à une secousse mesurée uniquement par les instruments, et les dégâts matériels ne sont importants qu'à partir de 8.
 - L'échelle des magnitudes utilisée dans le monde est celle de Richter. Elle compte 9 degrés (tableau I.2).

Degrés	Dégâts observés	Magnitude équivalente
I	Secousse non perceptible. La secousse est détectée et enregistrée seulement par les sismographes.	< 3,4
II	Secousse à peine perceptible; quelques individus au repos ressentent le séisme.	3,5-4,2
III	Secousse faible ressentie de façon partielle. La vibration ressemble à celle provoquée par le passage d'un camion léger.	3,5-4,2
IV	Secousse largement ressentie. La vibration est comparable à celle due au passage d'un gros camion.	4,3-4,8
V	Réveil des dormeurs. Le séisme est ressenti en plein air.	4,9-5,4
VI	Frayeur. Le séisme est ressenti par la plupart des personnes aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur des habitations. Les meubles sont déplacés.	5,5 -6,1
VII	Domages aux constructions. Quelques lézardes apparaissent dans les édifices.	5,5 -6,1
VIII	Destruction de bâtiments. Les cheminées des maisons tombent.	6,2-6,9
IX	Domages généralisés aux constructions. Les maisons s'écroulent. Les canalisations souterraines sont cassées.	6,2-6,9
X	Destruction générale des bâtiments. Destruction des ponts et des digues. Les rails de chemin de fer sont tordus.	7,0 -7,3
XI	Catastrophes. Les constructions les plus solides sont détruites. Grands éboulements.	7,4-7,9
XII	Changement du paysage et bouleversements importants de la topographie. Les villes sont rasées.	> 8

Tableau I.1 : Echelle M.S.K.

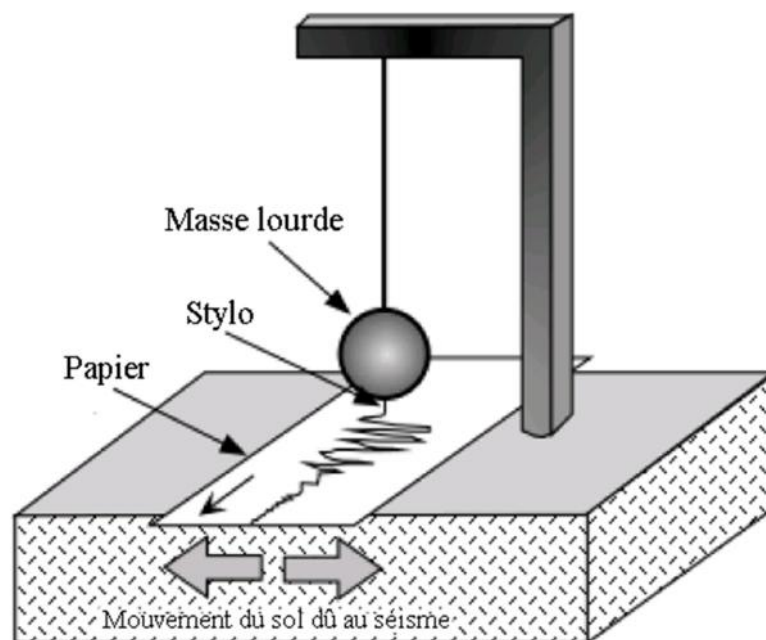
Magnitude	Description de l'intensité du séisme
2,5	Non ressenti, mais enregistré par les sismographes
4,5	Provoque de faibles dommages
6	Destructif dans les régions peuplées
7	Grand séisme, provoque de sérieux dommages
8	Séisme majeur qui provoque la destruction totale des habitations

Tableau I.2 : Echelle de Richter**I.4.3. Enregistrement des séismes**

Un **sismographe** est un appareil que l'on emploie pour enregistrer les chocs et vibrations créés par les tremblements de terre. Un sismographe doit être attaché à la surface de vibration de la Terre et vibre en même temps que cette surface.

Pour mesurer le mouvement vertical, les sismographes emploient une masse lourde supportée par un ressort. Le ressort est attaché au support qui est lui-même connecté à la terre. Lorsque la terre vibre, le ressort se comprime et se décomprime, mais la masse reste presque stationnaire. Pour mesurer le mouvement horizontal, la masse lourde est suspendue comme un pendule - il y a un appareil pour mesurer les mouvements est-ouest et un autre pour mesurer les mouvements nord-sud. Les sismographes modernes sont capables de détecter des vibrations aussi petites que 10⁻⁸ centimètre.

La courbe dessinée par le sismographe s'appelle : **sismogramme** (figure I.18).

**Figure I.18: Schéma simplifié d'un sismographe.**

I.4.4. Distribution mondiale des séismes

Les tremblements de terre se produisent dans les régions actives du point de vue géologique (zones de subduction), les zones des dorsales océaniques et les régions de formation de chaînes de Montagnes. Ils se localisent dans les zones de limite des plaques tectoniques. Les zones où se produisent fréquemment des séismes sont dites ceintures sismiques. On connaît trois principales ceintures sismiques à la surface de la Terre (figure I.19)

- **La ceinture Circum pacifique :** c'est la zone qui entoure l'océan pacifique. C'est la plus importante zone sismique à la surface de la Terre et libère plus de 80 % de l'énergie sismique de notre planète. Cette chaîne couvre le Chili, le Pérou, l'Amérique Central, la région des Caraïbes, le Mexique, Kamtchatka, le Japon, les Philippines, L'Indonésie, la Nouvelle Zélande... Cette zone coïncide avec les zones de subduction et les foyers des séismes peuvent être profonds.
- **La ceinture Alpo-himalayenne :** elle comprend la bande plissée allant des Açores à la Birmanie en passant par l'Espagne, le Maroc, l'Algérie, l'Italie, la Turquie, l'Iran, le Nord de Inde et l'Himalaya. La majorité des séismes de cette ceinture sont superficiels.
- **La zone des dorsales océaniques :** des séismes sont localisés le long des dorsales océaniques. Ils sont en général imperceptibles étant donné qu'ils se produisent au milieu des océans

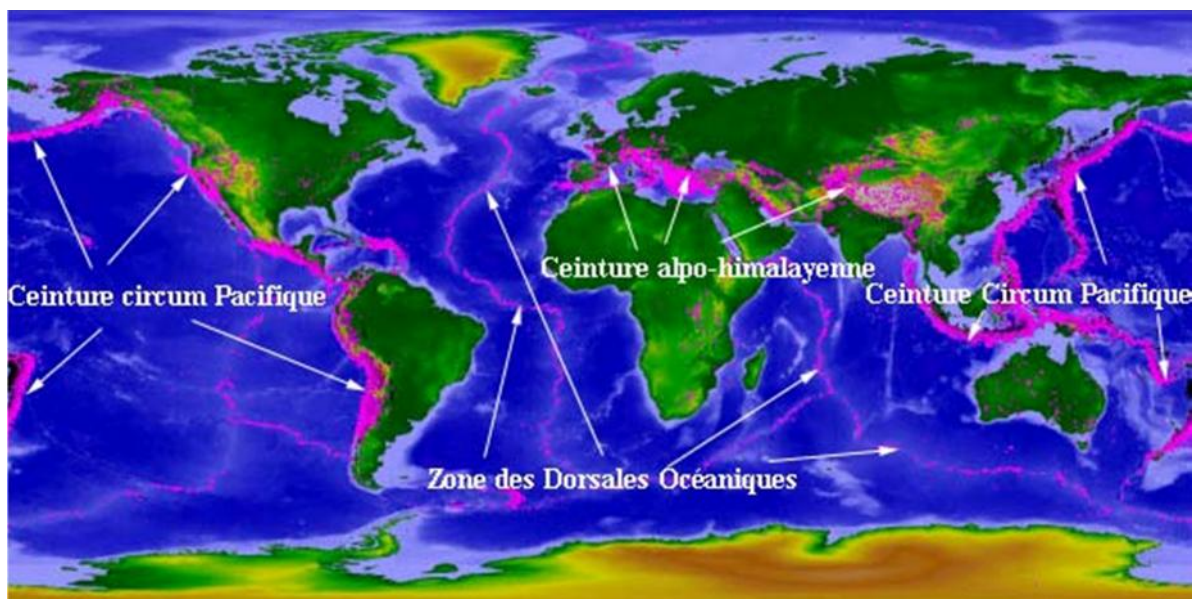


Figure I.19: Carte de la distribution mondiale des tremblements de Terre

I.4.5. Les séismes en Algérie

Le plus puissant tremblement de terre de l'histoire enregistré en Algérie est celui qui se produisit à El Asnam (Chlef) le 10 octobre 1980. Sa magnitude a atteint 7,3 sur l'échelle de Richter et a fait 2600 victimes. Les tremblements de terre **les plus importants** (magnitude supérieure à 6) en Algérie des 100 dernières années sont donnés dans le (tableau I.3).

Ville / Zone	Date	Magnitude	Victimes
Sour el Ghozlane	24/06/1910	M=6,6	-----
Nord d'El Asnam (Chlef)	25/09/1922	M=6,1	2 morts
El Asnam (Chlef)	09/09/1954	M=6,7	1243 morts
El Asnam (Chlef)	10/10/1980	M=7,3	2600 morts
Zemmouri (Boumerdès)	21/05/2003	M=6,9	2300 morts

Tableau I.3 : les séismes les plus importants (M>6) en Algérie depuis un siècle.

I.4.6. Les grands séismes dans le monde

Le plus puissant tremblement de terre de l'histoire enregistré est celui qui se produisit au Chili le 22 mai 1960. Sa magnitude a atteint 9,5 sur l'échelle de Richter. Il a fait 3000 victimes. Les tremblements de terre **les plus meurtriers** dans le monde ces dix dernières années sont donnés dans le (tableau I.4).

Ville / Zone	Pays	Date	Magnitude	Victimes
Bhuj	Inde	26/01/2001	M=7,7	20 085 morts
Bam	Iran	26/12/2003	M=6,6	26 200 morts
Sumatra	Indonésie	26/12/2004	M=9,3	232 000 morts
Muzaffarabad	Pakistan	08/10/2005	M=7,6	79 410 morts
Province du Sichuan	Chine	12/05/2008	M=7,9	87 149 morts
Port-au-Prince	Haïti	12/01/2010	M=7,2	230 000 morts

Tableau I.4 : les séismes les plus meurtriers dans le monde ces dix dernières années.

I.4.7. Le risque sismique

Le risque sismique correspond à la probabilité de pertes humaines et de dégâts sur un secteur en fonction de l'aléa sismique au cours d'une période donnée, ce que l'on exprime généralement par : $R=A \times V$, où :

- R = risque sismique ;
- A = aléa sismique, qui correspond à la probabilité qu'un séisme d'une certaine magnitude puisse affecter une région durant une période donnée ;
- V = vulnérabilité, capacité d'un enjeu (personnes, biens, activités, moyens, etc.) à résister à un aléa donné

La précision de l'aléa repose sur une bonne connaissance au niveau régional du **contexte** géologique et tectonique et de la sismicité historique. Par ailleurs, face à un phénomène comme les séismes où l'on ne peut contraindre l'aléa, on ne peut diminuer le risque qu'en réduisant la vulnérabilité.

Le risque sismique se mesure en grande partie à l'aune de la densité et du niveau de développement des populations des zones sensibles et à celle de la qualité de ses constructions. Car en fait, contrairement à tous les autres phénomènes destructeurs, ce n'est pas le séisme lui-même qui est dangereux, mais les ouvrages qu'il affecte s'ils sont mal implantés et/ou mal construits .

I.5. Relation entre les séismes et les mouvements de terrain

Les séismes peuvent avoir des effets secondaires qui consistent en des mouvements de terrain : glissements de terrain, écroulement, perte de cohésion de terrain gorgé d'eau ou liquéfaction. Plusieurs de ses effets se combinent parfois ou bien déclenchent à leur tour d'autres effets, eux-mêmes néfastes.

I.5.1. Glissement de terrain

Les glissements de terrain sont très communs dans les zones épacentrales des séismes, aussi bien à terre qu'en mer.

Leur nombre et leur importance est fonction de la magnitude du séisme. Il en est de même pour la surface (figure I.20) sur laquelle ils peuvent se produire : jusqu'à plus de 100 000 km² pour du séisme de magnitude supérieure à 8.

En 1980, le séisme d'El Asnam de magnitude $M_s = 7.2$ a frappé une région dont la lithologie dominante (marnes du Messinien) est très favorable aux glissements. Celui de Beni Rached (figure I.21) le plus grand d'entre eux d'une surface d'environ 18 km^2 se présentait avec une disposition typique en arc de cercle de la niche d'arrachement, lieu d'effondrement de sa partie supérieure, alors que sa base montrait des évidences de compression.

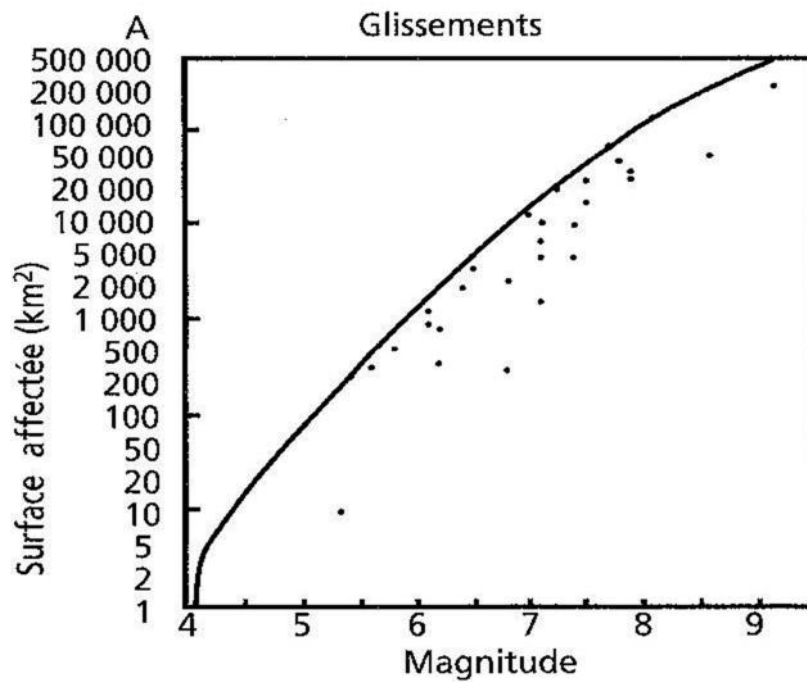


Figure I.20: Glissement ; rapport surface affectée en km^2 -magnitude .

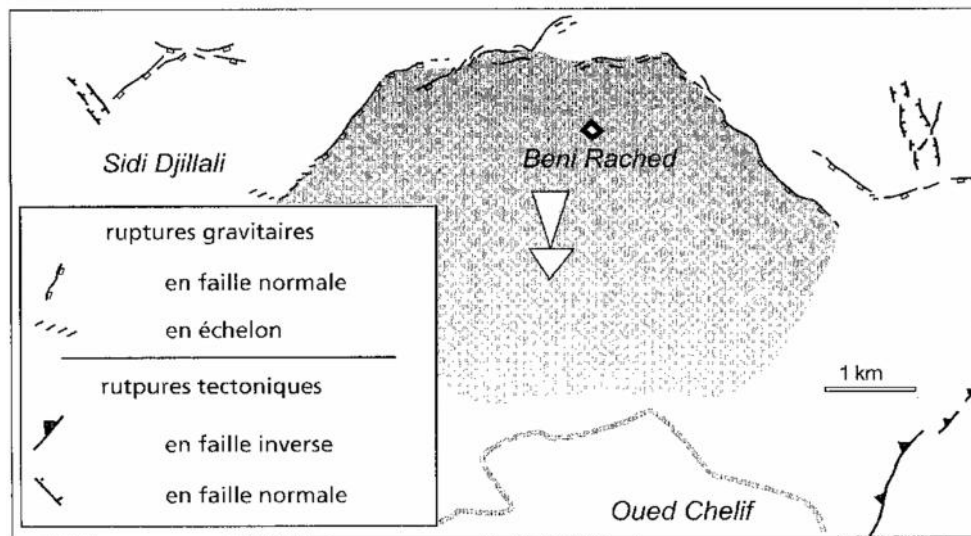


Figure I.21: Glissement de Beni Rached (séisme d'El Asnam, 1980)

I.5.2. Eboulements et écroulements rocheux

En raison du contexte tectonique qui leur donne naissance, les séismes frappent souvent des régions à fort relief qui comportent des masses rocheuses rigides vigoureusement attaquées par l'érosion et affleurent en falaise. Ces dernières sont la source d'éboulement et chutes de blocs et pierres.

I.5.3. Liquéfaction

Ce phénomène accompagne très fréquemment les séismes. Sous l'effet des secousses sismiques, certaines formations géologiques superficielles (en général terrasse alluviales et remblaiements récents de plaines alluviales, contenant une nappe phréatique), perdent leur cohésion et se « liquéfient ». Sur le terrain, après un séisme, des craterlets ou « volcans » de sable sont les manifestations visibles les plus nettes de ce phénomène : de l'eau et du sable de la couche liquéfiée sont éjectés à la surface, à cause du poids des niveaux sus-jacents qu'ils traversent par des fontes et fissures.

L'étendue de la zone de liquéfaction peut être très importante. Elle dépend de la magnitude de séisme (figure I.22)

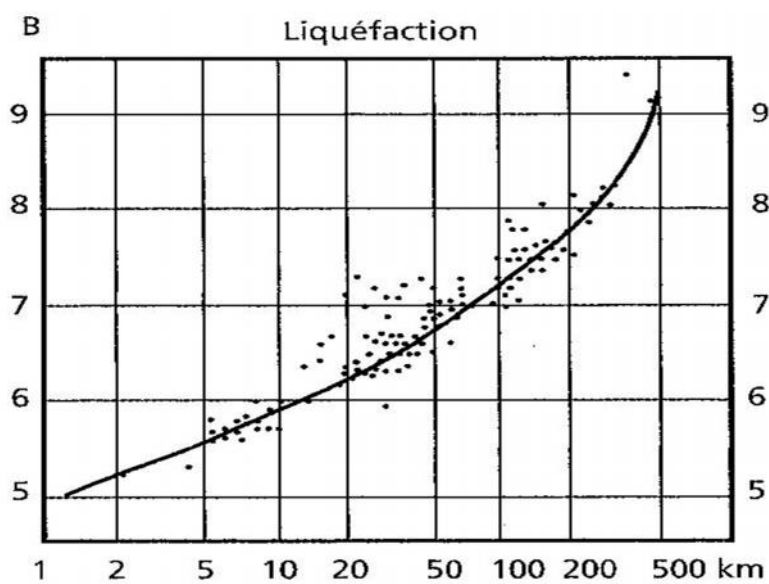


Figure I.22 : Liquéfaction : rapport magnitude-distance à l'épicentre