

## CHAPITRE IV. LA DYNAMIQUE EROSIVE (QUANTIFICATION DE L'ÉROSION)

### 1. Introduction : Qu'est-ce que l'érosion?

L'érosion est un processus naturel de détachement et de transport des particules du sol. Sous la force du ruissellement ou du vent, les particules sont détachées et emportées, puis se déposent plus loin. Certaines activités humaines contribuent à augmenter les risques d'érosion, particulièrement lorsque les sols sont mis à nu: travaux de construction et d'aménagement paysager, labours et pratiques culturales, construction de routes et de chemins forestiers, etc. Plus le sol est instable et plus les risques d'érosion sont grands. Les processus d'érosion se mettent en place à la suite d'une réorganisation de la structure du sol sous l'effet de la pluie (on parle d' « *effet splash* »), ce qui a pour conséquence d'éclater les mottes de sols et de rendre les particules les plus fines mobilisables. En contexte de sols limoneux, on peut aller vers une fermeture progressive du sol, consécutive à la destruction de la structure superficielle et d'une sédimentation des particules de sol.

### 2. La mesure du transport solide dans les cours d'eau

La quantité de sédiments (ou, flux solide, charge solide<sup>1</sup>, débit solide<sup>2</sup>) transportée par un cours d'eau à une section donnée pendant un temps  $Dt$  ( $Dt=1$  jour, 1 mois, 1 année) est composé de la *charge en suspension (suspended load)* et du *transport de fond* (glissement ou roulement sur le fond et saltation).

Différentes méthodes de mesures sont possibles :

- Collectes d'échantillons à hauteur d'une section de mesure pour suivre dans le temps les variations du transport solide, puis mesures par filtration au laboratoire.
- Levers topographiques et bathymétriques de lacs ou de retenues artificielles pour évaluer l'apport global de sédiments pendant une période déterminé (entre deux instants connus).
- Utilisation de traceurs de sédiment ou d'éléments dont les signatures permettent d'étudier surtout les taux de sédimentation (exemple  $Pb^{218}$ ,  $Cs^{137}$ ).

On s'intéresse ici particulièrement aux mesures sur les cours d'eau. Signalons que la question sempiternelle dans tous les programmes de surveillance du transport solide est de savoir comment peut-on estimer celui-ci avec un coût non prohibitif, sachant que le bilan exact des matériaux en suspension transportés demeure inaccessible. Outre les erreurs analytiques produites, la majeure source d'erreur dans la mesure de la charge solide d'un cours d'eau est en relation avec la variabilité des concentrations en sédiment à travers le temps et la possibilité du programme d'échantillonnage de caractériser précisément cette variabilité. Ce dernier point peut être déterminé dans une large mesure par la fréquence d'échantillonnage adoptée.

1. Le terme **charge solide** est utilisé pour une période déterminée (e.g. charge annuelle).

2. Chez les hydrologues, on parle de **débit solide**, qui correspond au poids total des matériaux transportés par les cours d'eau, d'une manière ou d'une autre, passant à travers une section par unité de temps. On l'exprime généralement en  $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ . On distingue ensuite le débit solide en suspension et le débit de charriage associés aux deux modes de transport des matériaux.

### 2. 1. La mesure du transport en suspension

En pratique, on mesure une concentration en **Matières En Suspension** (MES) qui correspond à la quantité de matériaux en suspension recueillie à travers une membrane poreuse (la taille moyenne des pores est en général de  $0,2\ \mu\text{m}$ ). Elle s'exprime en milligrammes par litre d'eau brute.

Une large gamme d'options est aujourd'hui disponible pour mesurer la quantité de sédiments en suspension transportée par un cours d'eau. La méthode la plus rigoureuse pour obtenir une estimation de la charge solide en suspension consiste à procéder, comme pour la mesure du débit liquide, à une intégration de différentes concentrations et des vitesses sur plusieurs verticales. Cette technique nécessite un matériel de prélèvement adapté aux caractéristiques de la section de mesure. Le contrôle en continu de la charge solide est possible grâce aux programmes d'échantillonnages intensifs avec des pompes automatiques ou, de manière indirecte, avec l'installation de **turbidimètres** (Figure 23).

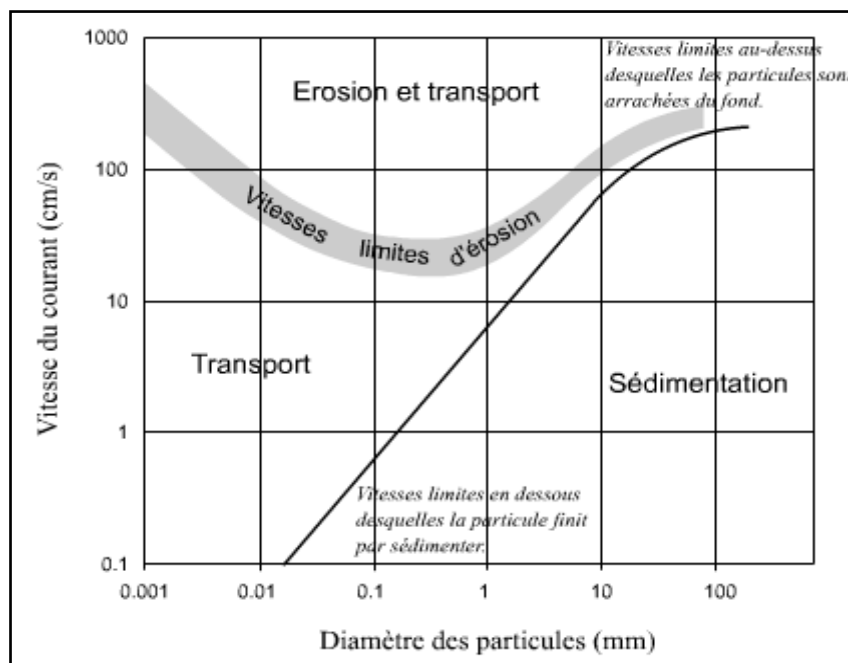


Figure 23. Diagramme érosion transport sédimentation. D'après HJULSTROM.

#### 2. 1. 1. Matériel de prélèvements

Outre les prélèvements manuels réalisés dans des récipients généralement en polypropylène, il existe du matériel de prélèvements plus ou moins automatisé qui peut être classé en trois catégories principales :

- **Les préleveurs instantanés** - Ils sont constitués d'un récipient largement ouvert qui peut se refermer, de façon quasi instantanée, au moyen d'une commande appropriée.
- **Les préleveurs à pompe** - Un embout formé d'un tube métallique faiblement coudé, fixé sur un lest ou une perche, permet d'effectuer, à l'aide d'un tuyau flexible et d'une pompe, des prélèvements en divers points de la section de mesures.
- **Les préleveurs par intégration** - Ils prélèvent des échantillons durant un intervalle de temps suffisamment long pour atténuer les fluctuations de concentrations. Ils peuvent selon les modèles, fonctionner point par point ou par intégration le long d'une verticale. Dans ce dernier cas l'échantillon recueilli permet de mesurer la concentration moyenne pondérée par les débits sur toute une verticale. Le plus simple d'entre eux est constitué d'une bouteille à large col fixée à une perche. A travers le bouchon, passe un ajustage d'admission qui doit être dirigé face au courant tandis qu'un deuxième conduit, dirigé vers l'aval, permet à l'air de s'échapper. Des systèmes obéissant au même principe peuvent être installés sur des saumons de lestage (Figure 24).

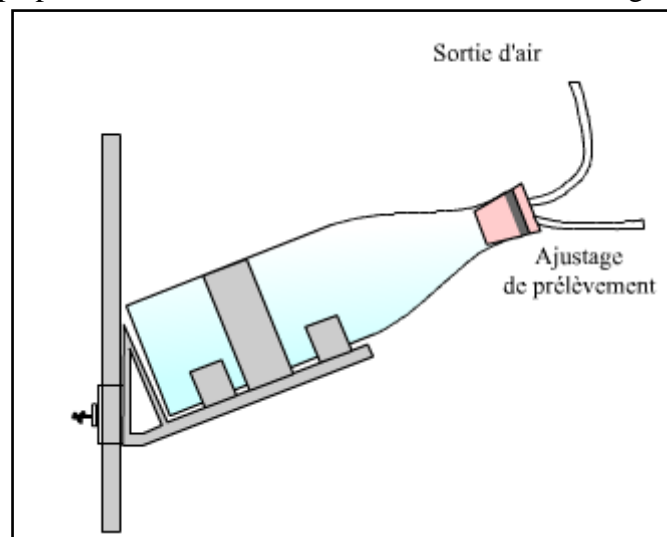


Figure 24. Bouteille de prélèvements fixée sur une perche avec système d'ajustage (d'après Nouvelot, 1993).

### 2. 1. 2. Calcul du débit solide en suspension

En considérant la section  $S$  d'un cours d'eau de largeur  $L$ , chaque verticale  $V$  peut être définie par son abscisse  $l$  (distance à l'une des 2 rives), et sa profondeur totale  $P$ . Si en un point d'une verticale  $V$ , situé à la profondeur  $p$ , sont mesurées à la fois la vitesse du courant  $v$  et la concentration  $c$  de matériaux en suspension, le débit solide sur la surface  $dS$  de la section  $S$  s'écrit :  $q_s = c \times v \times d_s$ . Le débit solide total sur l'ensemble de la section  $S$  s'obtient par intégration :

$$Q_s = \iint_S q_s = \iint_S c \times v \times ds = \iint_S c \times v \times dl dp$$

Avec :  $Q_s$  : débit solide du cours d'eau [kg/s] ;

La concentration moyenne dans la section est définie par le rapport :  $C_m = Q_s / Q_L$ ,  $Q_L$  étant le débit liquide total sur la section  $S$  ( $Q_L = \iint_S v \times ds$ ).

Cette méthode pour mesurer la quantité de sédiments transportée par un cours d'eau est évidemment très coûteuse. Les mesures sont donc généralement simplifiées. Elles sont surtout utiles pour valider les protocoles d'échantillonnages des réseaux de surveillance du transport en suspension.

### 2. 1. 3. Mesures en continu

L'échantillonnage en continu est en fait basé sur deux types de mesures :

- Une **mesure des matières en suspension** à l'aide de préleveur d'échantillon automatique réglé pour un certain pas de temps. Ce type d'instrument comprend un dispositif de programmation, une pompe, un tuyau d'aspiration et de transfert entre la crépine (au bout) et la série de flacons. Pour être significatifs, les prélèvements doivent être proportionnels au débit ou effectués à des intervalles de temps prédéterminés lorsque le débit est constant. Si le débit est variable, on peut coupler le préleveur à un débitmètre. Dans ce cas, le préleveur peut être programmé pour fonctionner selon un volume prédéterminé.
- Une **mesure de la turbidité** à l'aide de turbidimètres. La turbidité correspond à la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de particules en suspension. Elle se mesure en faisant passer un faisceau lumineux à travers l'échantillon à tester et en déterminant la lumière qui est diffusée par les particules en suspension. Cette mesure nécessite en générale un calibrage préalable. Les appareils de mesure de turbidité (turbidimètres) sont très nombreux sur le marché.

### 2. 2. La mesure du transport de fond

Parmi les équipements de mesures actuellement disponibles on peut décrire très sommairement :

- **Les nasses** constituées d'une poche de grillage montée sur un cadre métallique qui laisse passer les matières en suspension, mais retient les matériaux grossiers.
- **Les pièges** constitués de récipients très aplatis de section longitudinale triangulaire dont le bord correspondant au sommet du triangle est dirigé vers l'amont. A l'opposé dans la partie supérieure aval du récipient, une série de petites cloisons inclinées vers l'aval constitue le piège où viennent se prendre les matériaux (sable essentiellement).
- **Les sondeurs à ultrasons** permettent de suivre le déplacement des dunes dans les fonds sableux à faibles pentes.

Hors des parcelles et des petits bassins versants dont les exutoires peuvent être équipés de pièges ou de fosses à sédiments, la mesure du transport de fond reste imprécise. Les dispositifs communément utilisés perturbent en effet de manière non négligeable le régime du transport de fond (figure 25).

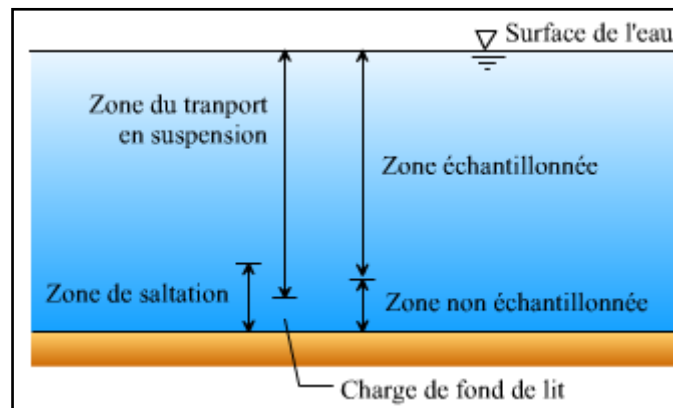


Figure 25. Classification des différentes "couches" de transport solide.

### 3. Notions de transport spécifique et érosion mécanique sur un bassin versant

Les notions d'érosion mécanique sur un bassin versant (ou prédictions des pertes en sols) et de transport spécifique dans les fleuves (flux annuel de MES rapporté à la superficie du bassin versant) regroupent deux processus différents. Ces deux notions permettent de distinguer d'une part les processus de détachement et de transport de matériaux du sol avant leur entrée dans le système "rivière" et d'autre part leur transport dans la rivière elle-même. Pour le premier point, on peut parler des agents de l'érosion qui sont principalement les pluies, les ruissellements qui en découlent et le vent, ainsi que des facteurs qui vont conditionner les quantités de particules arrachées : caractéristiques des pluies, des sols, de la végétation, de la topographie et enfin les activités humaines. Les taux de particules transportées vont à leur tour être régis par de nombreux facteurs dont la vitesse de l'eau, les caractéristiques du lit, la granulométrie des particules... Le matériel particulaire ainsi transporté par le cours d'eau ne reflétera qu'en partie les phénomènes d'érosion sur les versants puisqu'une partie des sédiments arrachés au bassin pourra se déposer (éventuellement temporairement) entre les sources d'érosion et l'exutoire du bassin de drainage. D'autre part, l'érosion des berges pourra contribuer à la charge en suspension mesurée dans le cours d'eau tandis que la présence de lacs, réservoirs entraînent une sédimentation des particules. Pour ces différentes raisons, il est donc généralement admis que le transport spécifique de matières particulaires calculé dans les fleuves ne peut être assimilé à un taux de dénudation mécanique des versants.

### 4. Distribution du transport spécifique à travers le monde

Pour l'ensemble du monde, tous continents réunis la quantité totale des sédiments évacués en suspension est aujourd'hui de 13,505 106 tonnes par an sur une aire de drainage externe de

88,6 106 kilomètres carrés (contre 148,9 106 km<sup>2</sup> pour l'ensemble des continents), ce qui correspond à un transport spécifique de 152 tonnes par kilomètre carré et par an (Meade, 1983). Cependant, la distribution est très variable d'un point à l'autre. Sur les grandes îles du Pacifique (Indonésie), le transport spécifique est près de six fois supérieure à la moyenne globale (1 000 t.km<sup>-2</sup> an<sup>-1</sup>). En Asie du Sud-Est, l'érosion mécanique des régions himalayennes est également très forte (380 t.km<sup>-2</sup> an<sup>-1</sup> pour l'ensemble du continent). L'Europe (50 t.km<sup>-2</sup> . an<sup>-1</sup>), l'Afrique (35 t.km<sup>-2</sup> . an<sup>-1</sup>), l'Australie (28 t.km<sup>-2</sup> an<sup>-1</sup>) ne contribuent que pour une faible part (6%) au bilan global.

## CHAPITRE V. ANALYSE DES MOUVEMENTS DE MASSE

### 1. Introduction

Les mouvements de terrain sont les manifestations du déplacement gravitaire de masses de terrain déstabilisées sous **l'effet de sollicitations naturelles** (fonte des neiges, pluviométrie anormalement forte, séisme, etc.) ou **anthropiques** (terrassement, vibration, déboisement, exploitation de matériaux ou de nappes aquifères, etc.). Ils recouvrent des formes très diverses qui résultent de la multiplicité des mécanismes initiateurs (érosion, dissolution, déformation et rupture sous charge statique ou dynamique), eux-mêmes liés à la complexité des comportements géotechniques des matériaux sollicités et des conditions de gisement (structure géologique, géométrie des réseaux de fractures, caractéristiques des nappes aquifères, etc.).

Ou, les mouvements de terrain sont des déplacements de masses rocheuses compactes ou désagrégées, et/ou de terrain meuble (c'est-à-dire ce qu'il y a sous les roches, le sol compris) ainsi que de l'eau. C'est un ensemble de déplacements plus ou moins brutaux d'origine naturelle ou anthropique. Ces glissements se font vers l'aval sous l'effet de la gravité.

### 2. Les différents types de mouvements de terrains

Selon la vitesse de déplacement, deux ensembles de mouvements de terrain peuvent être distingués :

**a. Les mouvements lents et continus**, pour lesquels la déformation est progressive et peut être accompagnée de rupture mais en principe d'aucune accélération brutale:

- Les **affaissements** consécutifs à l'évolution de cavités souterraines naturelles ou artificielles (carrières ou mines), évolution amortie par le comportement souple des terrains superficiels ;
- Les **tassements** par retrait de sols argileux et par consolidation de certains terrains compressibles (vases, tourbes);
- Le **fluage** de matériaux plastiques sur faible pente;

- Les glissements, qui correspondent au déplacement en masse, le long d'une surface de rupture plane, courbe ou complexe, de sols cohérents (marnes et argiles);
- Le **retrait ou le gonflement de certains matériaux argileux** en fonction de leur teneur en eau.

**b. Les mouvements rapides et discontinus** qui peuvent être scindés en deux groupes, selon le mode de propagation des matériaux, en masse, ou à l'état remanié.

Le premier groupe (propagation en masse) comprend:

- Les **effondrements**, qui résultent de la rupture brutale de voûtes de cavités souterraines naturelles ou artificielles, sans atténuation par les terrains de surface;
- Les **chutes de pierres ou de blocs** provenant de l'évolution mécanique de falaises ou d'escarpements rocheux très fracturés;
- Les **éboulements ou écroulements** de pans de falaises ou d'escarpements rocheux selon les plans de discontinuité préexistants;
- Certains **glissements rocheux**. Le second groupe (propagation en état remanié) comprend :
- Les **laves torrentielles**, qui résultent du transport de matériaux en coulées visqueuses ou fluides dans le lit de torrents de montagne;
- Les **coulées boueuses**, qui proviennent généralement de l'évolution du front des glissements.

Seules les quatre familles de phénomènes suivantes sont prises en compte dans cette présentation :

- Les effondrements et affaissements,
- Les tassements par retrait,
- Les éboulements, écroulements et chutes de pierres,
- Les glissements, coulées de boue associées et fluages.

## **2. 1. Les effondrements et affaissements**

### **2. 1. 1. Définition**

Ce sont des mouvements gravitaires particuliers, sans composante horizontale. Ils résultent soit d'un fléchissement de la surface, sans rupture visible, soit de la rupture brutale du toit d'une cavité souterraine ancienne ou en cours de développement localisée dans une roche ou dans un sol.

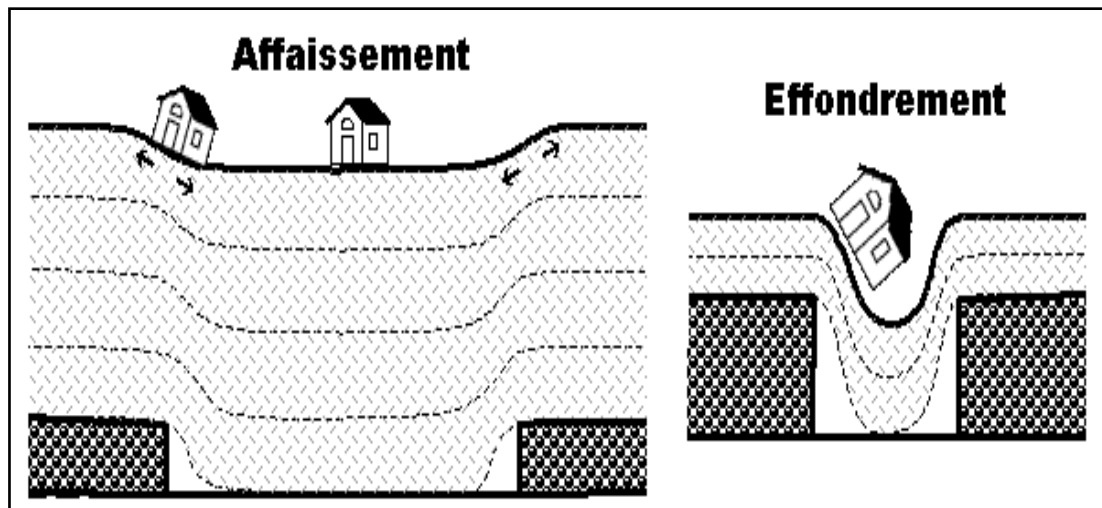


Figure 26. Schéma expliquant la différence entre affaissement minier et effondrement.

### 2. 1. 2. Conditions d'apparitions

Hormis le cas de cavités d'origine strictement minière, deux causes naturelles peuvent être à l'origine des vides et des mouvements qui en résultent. Il s'agit de disparition de matière soit par dissolution dans les calcaires et dans les gypses.

### 2. 1. 3. Effets et conséquences

Les effondrements brutaux peuvent entraîner la ruine des constructions et causer des victimes. En revanche, les affaissements à grand rayon de courbure, qui affectent les constructions et les ouvrages (fissuration), présentent rarement un danger pour l'homme. Il ne faut pas négliger les désordres provoqués par ces phénomènes sur les canalisations enterrées (une fuite d'eau induit en outre une accélération du processus). Dans le cas de vides peu profonds, il est impératif de bien maîtriser toutes les infiltrations d'eau (eaux usées, eaux pluviales, eaux de drainage), qui peuvent accélérer la dissolution ou affaiblir la résistance mécanique des matériaux.

## 2. 2. Les tassements par retrait

### 2. 2. 1. Définition

Le retrait par dessiccation des sols argileux lors d'une sécheresse prononcée et/ou durable produit des déformations de la surface du sol (tassements différentiels). Il peut être suivi de phénomènes de gonflement au fur et à mesure du rétablissement des conditions hydrogéologiques initiales ou plus rarement de phénomènes de fluage avec ramollissement.



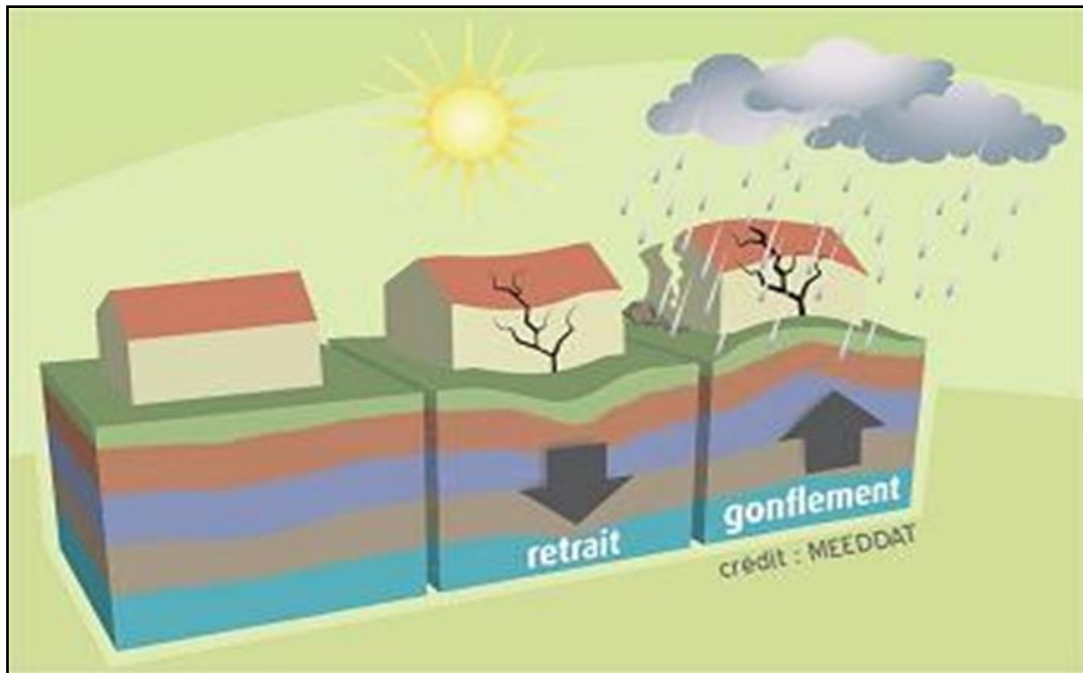


Figure 27. Schéma expliquant la différence entre retrait et gonflement.

### 2. 2. 2. Conditions d'apparition

La nature du sol est un élément prépondérant : les sols argileux sont a priori sensibles, mais en fait seuls certains types d'argiles donnent lieu à des variations de volume non négligeables. La présence d'arbres ou d'arbustes au voisinage de constructions constitue un facteur aggravant. Une sécheresse durable, ou simplement la succession de plusieurs années déficitaires en eau, sont nécessaires pour voir apparaître ces phénomènes.

### 2. 2. 3. Effets et conséquences

La lenteur et la faible amplitude des déformations rendent ces phénomènes sans danger pour l'homme, mais les dégâts aux constructions individuelles et ouvrages fondés superficiellement peuvent être très importants en cas de tassements différentiels. Les dommages dus aux tassements par retrait représentent un coût supérieur à 152 millions d'€ par an depuis 1989.

## 2. 3. Les éboulements, les chutes de blocs et de pierres

### 2. 3. 1. Définition

Les chutes de masses rocheuses sont des mouvements rapides, discontinus et brutaux résultant de l'action de la pesanteur et affectant des matériaux rigides et fracturés tels que calcaires, grès, roches cristallines,... Ces chutes se produisent par basculement, rupture de pied, glissement banc sur banc, à partir de falaises, escarpements rocheux, formations meubles à blocs (moraines par exemple), blocs provisoirement immobilisés dans une pente. Les blocs peuvent rouler et rebondir, puis se stabiliser dans une zone dite d'épandage. La trajectoire la plus fréquente suit en général la ligne de plus grande pente, mais on peut observer des trajectoires très obliques résultant notamment de la forme géométrique de certains blocs (plaque roulant sur la tranche) et de petites irrégularités du versant. Les distances parcourues

sont fonction de la taille, de la forme et du volume des blocs éboulés, de la pente du versant, de la nature du sol, et de la densité de la végétation. En ce qui concerne les éléments éboulés, on distingue (ces définitions correspondent approximativement à celles retenues par la norme NF P 95-307):

- Les pierres, d'un volume inférieur à  $1 \text{ dm}^3$ ,
- Les blocs, d'un volume compris entre  $1 \text{ dm}^3$  et  $1 \text{ m}^3$ ,
- Les gros blocs, d'un volume supérieur à  $1 \text{ m}^3$ .

Suivant le volume total éboulé, on distingue (ces définitions correspondent approximativement à celles retenues par la norme NFP 95-307):

- Les chutes de pierres ou de blocs, d'un volume total inférieur à la centaine de  $\text{m}^3$ ,
- Les éboulements en masse, d'un volume allant de quelques centaines à quelques centaines de milliers de  $\text{m}^3$ ,
- Les éboulements (ou écroulements) en grande masse, d'un volume supérieur au million de  $\text{m}^3$ . Certains éboulements de grande ampleur peuvent mobiliser des volumes de matériaux atteignant plusieurs dizaines de millions de  $\text{m}^3$  et semblent obéir à des lois de propagation faisant intervenir des mécanismes complexes. Ces instabilités qui affectent une partie importante du versant peuvent bouleverser le relief de façon notable. Leurs conséquences socio-économiques sont au moins régionales.



Figure 28. Éboulements à Routhierville.

### **2. 3. 2. Conditions d'apparition**

La densité, l'orientation des discontinuités, fracturation et stratification, la structure du massif rocheux et la présence de cavités constituent des facteurs de prédisposition à l'instabilité. La phase de préparation, caractérisée par l'altération et l'endommagement progressifs du matériau, et accompagnée de petites fractures difficiles à déceler, peut être longue. Les principaux facteurs naturels déclenchants sont les pressions hydrostatiques dues à la pluviométrie et à la fonte des neiges, l'alternance gel/dégel, la croissance de la végétation, les secousses sismiques, l'affouillement ou le sapement du pied structures pouvant aller jusqu'à leur ruine complète, d'autant plus que l'énergie (fonction de la masse et de la vitesse) des blocs est grande.

### **2. 3. 3. Effets et conséquences**

Etant donné la rapidité, la soudaineté et le caractère souvent imprévisible de ces phénomènes, les instabilités rocheuses constituent des dangers pour les vies humaines, même pour de faibles volumes (chutes de pierres). Les chutes de blocs, et a fortiori les éboulements, peuvent causer des dommages importants aux structures pouvant aller jusqu'à leur ruine complète, d'autant plus que l'énergie (fonction de la masse et de la vitesse) des blocs est grande.

## **2. 4. Les glissements, coulées de boue associées et fluages**

### **2. 4. 1. Définition**

Le glissement est un déplacement généralement lent (quelques millimètres par an à quelques mètres par jour) sur une pente, le long d'une surface de rupture (surface de cisaillement) identifiable, d'une masse de terrain cohérente, de volume et d'épaisseur variables. Cette surface est généralement courbe (glissement circulaire), mais elle peut aussi se développer à la faveur d'une discontinuité préexistante telle qu'un joint de stratification (glissement plan). Les profondeurs des surfaces de glissement sont très variables: de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres, voire la centaine de mètres pour certains glissements de versant.



Figure 29. Glissement de terrain sur l'autoroute n°3 entre Keelung et Taipei.

Des indices caractéristiques peuvent être observés dans les glissements de terrain actifs: niches d'arrachement, fissures, bourrelets, arbres basculés, zones de rétention d'eau, etc.

Le fluage est un mouvement lent de matériaux plastiques sur faible pente qui résulte d'une déformation gravitaire continue d'une masse de terrain non limitée par une surface de rupture clairement identifiée, mais par une zone de transition avec le massif stable. La coulée de boue est un mouvement rapide d'une masse de matériaux remaniés, à forte teneur en eau et de consistance plus ou moins visqueuse. Elle prend fréquemment naissance dans la partie aval d'un glissement de terrain.

#### **2. 4. 2. Conditions d'apparition**

On distingue :

- les conditions inhérentes au milieu: la nature et la structure des terrains, la morphologie du site, la pente topographique. Les matériaux affectés sont très divers et peuvent concerner soit le substratum rocheux (roche marneuse ou schisteuse, roche extrêmement fracturée, lentille d'argile dans les formations molassiques...), soit les formations superficielles (colluvions fines, moraines argileuses, couverture d'altération, produits résiduels argileux, des marnes et des calcaires marneux...);
- les facteurs déclenchants qui peuvent être : d'origine naturelle (fortes pluies, fonte des neiges qui entraînent une augmentation des pressions interstitielles, affouillement des berges, effondrement de cavités sous-minant le versant, ou séisme, etc.), ou d'origine anthropique suite à des travaux (surcharge en tête d'un talus ou d'un versant déjà instable, décharge en pied supprimant une butée stabilisatrice, rejets d'eau, certaines pratiques culturelles, déboisement, etc.).

#### **2. 4. 3. Effets et conséquences**

Du fait des fissures, des déformations et des déplacements en masse, les glissements peuvent entraîner des dégâts importants aux constructions. Dans certains cas, ils peuvent provoquer

leur ruine complète (formation d'une niche d'arrachement d'ampleur plurimétrique, poussée des terres incompatible avec la résistance mécanique de la structure). L'expérience montre que les accidents de personnes dus aux glissements et coulées sont peu fréquents, mais possibles (cas d'un phénomène relativement rapide et/ou survenant de nuit, comme par exemple à la Salle en Beaumont en Isère en Janvier 1994 : 4 morts). Les fluages peuvent provoquer des dégâts mineurs aux constructions.

### **3. La prévision**

Les mouvements de terrain ne se produisent que dans les secteurs où plusieurs facteurs (géologique, topographique, météorologique, anthropique...) se conjuguent. Il est donc possible par une étude secteur par secteur de ces paramètres, de tracer des cartes des zones où ces phénomènes sont susceptibles de se produire. Mais du fait de la variété des mécanismes (glissement, éboulements) générateurs eux même liés à la complexité de comportements géotechnique des matériaux mobilisés, à la nature géologique de formations et à la géométrie des fractures, l'expert est démuni devant les nombreux facteurs spécifiques. Plutôt que de parler d'intensité et de probabilité de survenance comme pour les inondations par exemple, et qui ne peuvent être évaluées quantitativement pour les mouvements de terrain. On préfère utiliser la notion de prédisposition du site à produire un événement donné et si possible dans un délai retenu. C'est l'importance des différents facteurs de prédisposition qui permet de déterminer la carte des aléas chute de blocs, glissements, etc. Ceci étant, la cartographie des zones à risques, basée sur une évaluation qualitative des paramètres qui régissent ces phénomènes, ne peut être absolument exhaustive. Les aléas les plus importants peuvent être répertoriés mais, lors de conditions météorologiques exceptionnelles on ne peut exclure des mouvements de terrain apparaissant dans des zones précédemment non répertoriées (exemple: glissement de terrain de la Salle-en-Beaumont en janvier 1994). Pour les mouvements de terrains de grande ampleur identifiés, ne pouvant être traités et présentant de forts enjeux, une instrumentation permettant de suivre leur évolution peut être mise en place afin de déterminer des seuils d'alerte et, le cas échéant, déclencher l'évacuation des populations (exemple : système de surveillance des Ruines de Séchilienne). Malheureusement dans la plupart des cas il est difficile de prévoir où et quand va se déclencher le mouvement rapide et quel est le volume concerné.

### **4. Prévention et protection**

La prévention nécessite la connaissance des zones à risques d'où l'obligation de disposer d'une cartographie de celles-ci, qui entre dans le cadre de l'élaboration des plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR). Ces derniers définissent des règles d'urbanisme qui sont transcrites dans les POS et PLU et des règles de construction. Cf. fiche DGu3: Plans de prévention des risques naturels prévisibles et autres documents réglementaires. Pour les mouvements de terrain présentant des enjeux importants, des études approfondies doivent être faites: recherche des conditions géologiques et hydrogéologiques et des mécanismes avec, si besoin est, reconnaissances in situ (sondages géophysiques...). On s'efforce ensuite de faire un pronostic sur l'extension du mouvement dans l'espace et dans le temps, par un suivi:

- Des mesures de pression d'eau.

- Et des mesures de déplacements en surface et en profondeur.

La surveillance des pentes à risque est une des mesures principales à mettre en place contre les glissements de terrain. Pour évaluer les pentes, d'autres mesures doivent être prises en compte sur le terrain : la météo, la situation hydrologique (niveau d'eau de la nappe phréatique si présente, ainsi que le volume d'eau tombé), une mesure constante des changements de vitesse du glissement de terrain. Afin de lutter contre le glissement de terrain, il est possible d'effectuer un drainage du sous-sol.

Il existe d'autres mesures possibles pour se protéger face à un mouvement de terrain :

- aménagement du territoire adapté,
- ouvrages de protection,
- forêts protectrices comme la plantation de bambous dont la croissance rapide permet de fixer le sol. De plus, le bois peut être exploité pour assurer des revenus complémentaires,
- mesures d'assainissement et de protection des objets,
- mesures organisationnelles.

Seulement avant toutes mesures de protection, il est important de mettre en place des mesures de préventions vis-à-vis des citoyens et aussi de maîtriser et adapter l'urbanisation selon la zone considérée. Sans aucun doute, la surveillance est la plus importante des mesures à mettre en œuvre dans une zone à risque.