

Chapitre 1

Introduction à la mécanique des sols

1. DÉFINITIONS ESSENTIELLES

1.1 Roche

En géotechnique, une roche est un agrégat naturel massif de matière minérale. En géologie, on appelle roche tout élément constitutif de l'écorce terrestre. Cela recouvre donc les roches au sens géotechnique, mais aussi le sol, le pétrole, l'eau des nappes, etc.

1.2 Sol

Le sol est défini par opposition au mot roche, dans sa définition géotechnique. C'est un agrégat naturel de grains minéraux, séparables par une action mécanique légère. Le sol est le résultat d'une altération naturelle physique ou chimique des roches. On conçoit donc que la limite entre un sol et une roche altérée ne soit pas définie nettement. Le sol est un matériau meuble, ce caractère étant fondamental. Il ne suffit cependant pas à définir un sol naturel car certains matériaux produits par l'homme présentent aussi ce caractère. Par exemple les sous produits miniers et les granulats concassés (sable, gravier, ballast...) sont aussi des matériaux meubles. Le mécanicien des sols étudie donc aussi bien des sols naturels que des matériaux fabriqués artificiellement à partir de sols ou de roches et présentant un caractère meuble.

1.3 Mécanique des sols

La mécanique des sols est l'application des lois mécaniques et hydrauliques au matériau sol. Comparé aux nombreux autres matériaux étudiés en mécanique, les bétons, les aciers, les plastiques, le bois... , le sol présente deux originalités. C'est tout d'abord un milieu discontinu, qu'il faudra donc étudier à la fois dans sa globalité et dans sa composition élémentaire. D'autre part, c'est un matériau triphasique formé de grains solides, d'eau et d'air. Nous verrons que les phases non solides jouent un rôle fondamental.

1.4 Sciences proches de la mécanique des sols

Par certains aspects, la mécanique des sols est proche de la mécanique des milieux continus qui étudie de nombreux matériaux comme l'acier, le bois, les bétons, les plastiques dont la plupart sont artificiels et donc de constitution bien connue. Par d'autres aspects, elle est proche des disciplines qui étudient les milieux minéraux naturels : la géologie, l'hydrogéologie, la mécanique des roches. La géotechnique regroupe ces dernières disciplines.

2 - DOMAINES D'APPLICATION

Les domaines d'application de la mécanique des sols sont nombreux et variés. Ils concernent la profession des travaux publics, ainsi que celle du bâtiment et ouvrages hydrauliques.

2.1 - Milieux naturels

Le domaine d'application de la mécanique des sols ne se limite pas aux constructions ; il comprend également des milieux naturels tels que les versants (problèmes de glissement de terrain) et les berges de cours d'eau ou de retenues.

2.2 - Ouvrages en sol

Les ouvrages où le sol est le matériau de base sont aussi bien :

- Les remblais (routes, voies ferrées, barrages, digues de bassins enterrer, plates-formes maritimes...);
- Ou des déblais (talus, canaux, bassins...).

2.3 - Ouvrages mixtes

Dans les ouvrages mixtes, le sol intervient en relation avec un autre matériau, le béton ou l'acier par exemple. Les conditions d'ancrage dans le sol sont souvent primordiales pour des ouvrages tels que :

- les murs de soutènements (béton, terre armée, sol renforcé par géotextile...);
- les palplanches utilisées dans les canaux, les ports, les constructions urbaines... ;
- les parois moulées (à fonction étanchéité ou à fonction soutènement)

2.4 - Fondations d'ouvrages ou de bâtiments

Dans l'étude des fondations, le sol et l'ouvrage ne constituent pas un ensemble mixte, mais deux ensembles dont il s'agit de connaître les interactions. Les mécaniciens des sols distinguent :

- les fondations superficielles (semelles ou radiers) ;
- les fondations profondes (pieux, puits, barrettes).

Tous les ouvrages tels que châteaux d'eau, stations d'épuration, silos, barrages en terre ou en béton, murs de soutènement... doivent faire impérativement l'objet d'une étude de fondation qui permettra de déterminer la profondeur de la fondation et les dimensions de la base de l'ouvrage. Ceci est trop souvent négligé et de nombreux désordres graves en ont résulté.

3 - HISTORIQUE DE LA MECANIQUE DES SOLS

On peut suivre l'évolution de la mécanique des sols à travers son apparition autant qu'une science à part entière et le développement de ses grandes théories (voir le tableau ci-contre).

Siècle	Auteur	Théorie
18 ^{ème}	Coulomb	Résistance au cisaillement
	Collin	Rupture dans les talus d'argile
19 ^{ème}	Darcy	Écoulement de l'eau à l'intérieur du sable
	Rankine	Pression des terres sur les murs de soutènement
	Gregory	Drainage horizontal, remblai compacte avec contrefort pour stabiliser la pente des tranchées de voies ferrées
20 ^{ème}	Atterberg	Limites de consistance de l'argile
	Terzaghi	Premier manuel moderne de mécanique des sols
	Casagrande	Essais sur la limite de liquidité

4. ORIGINE ET FORMATION

Au point de vue géotechnique, les matériaux constituant la croûte terrestre se divisent en deux grandes catégories : les roches et les sols.

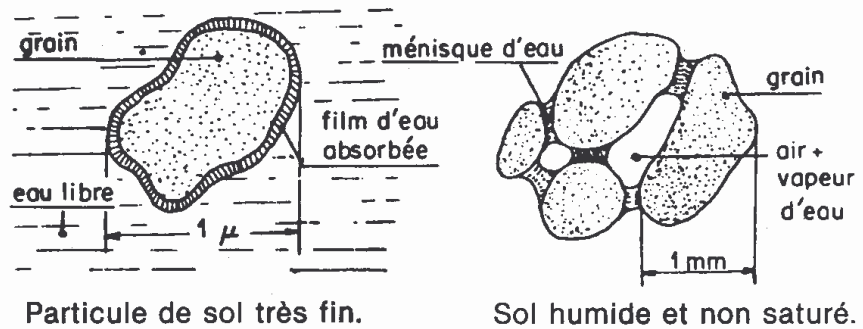
Les roches (silice, calcaire, feldspath, ...) sont des matériaux durs qui ne peuvent être fragmentés qu'aux prix de gros efforts mécaniques.

Les sols, au contraire, sont des agrégats minéraux qui peuvent se désagréger en éléments de dimensions plus ou moins grandes sans nécessiter un effort considérable. Ils résultent de l'altération chimique (oxydation, ...), physique (variation de température, gel, ...) ou mécanique (érosion, vagues, ...) des roches.

5. LES ELEMENTS CONSTITUTIFS D'UN SOL

Un échantillon de sol est constitué de trois phases :

- une phase gazeuse,
- une phase liquide,
- une phase solide.



5.1. La phase gazeuse

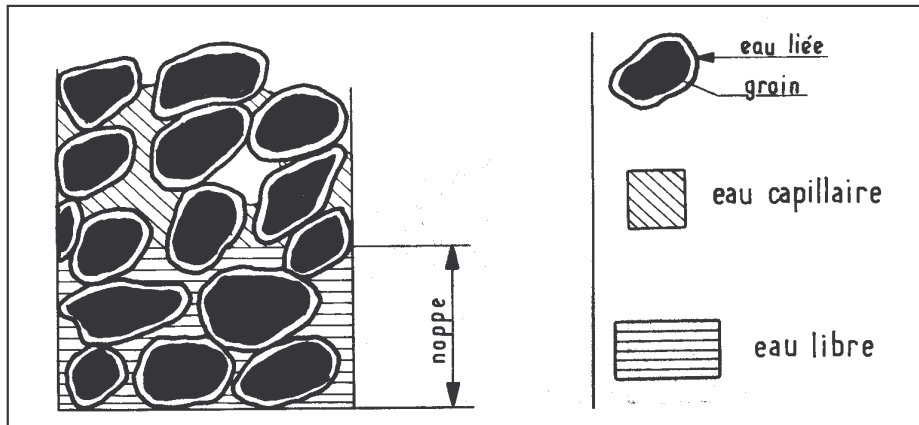
Le gaz contenu dans le sol est généralement de l'air pour les sols secs ou un mélange d'air et de vapeur d'eau pour les sols humides.

Lorsque tous les vides sont remplis d'eau le sol est dit saturé.

5.2. La phase liquide

Au sein d'un échantillon de sol fin (dimensions $< 2\mu$), on distingue plusieurs catégories d'eau :

- **l'eau de constitution** qui rentre dans la composition chimique des feuillets.
- **l'eau liée ou eau adsorbée** qui constitue un film autour de chaque grain. Elle n'est pas mobile et ne s'évacue qu'à des températures très élevées ($< 300^\circ\text{C}$)
- **l'eau interstitielle qui peut être soit l'eau libre soit l'eau capillaire**. L'eau libre a la faculté de circuler librement entre les grains ; l'eau capillaire est une partie de l'eau libre qui remonte par capillarité entre les grains. L'eau interstitielle s'évapore complètement si l'échantillon de sol est porté à une température supérieure à 100°C .



Différents états de l'eau dans les sols

Lorsque le sol est humide et non saturé, l'eau libre est en général concentrée aux points de contact entre les grains. Elle est retenue à ces endroits par des forces de capillarité qui créent entre les grains des forces d'attraction.

5.3. La phase solide

On a vu que les sols résultent de l'altération physique ou mécanique des roches. On conçoit aisément que les grains solides aient la même constitution minéralogique que la roche mère. Ils ont en général des dimensions supérieures à 2μ .

Les sols de dimension inférieurs à 2μ résultent d'attaques chimiques qui se sont superposées à l'altération physique ou mécanique. Ces processus chimiques sont la dissolution sous l'action de l'eau, la combinaison et la recristallisation. Il en résulte que les particules d'un sol fin n'ont pas la même structure cristalline que la roche mère. Ces plus petites particules ainsi formées constituent ce que l'on appellera désormais *les argiles*. Ces derniers matériaux ont un comportement complexe qui nécessite pour bien être compris une étude à l'échelle moléculaire qui dépasse largement le cadre de ce cours.

6. DÉFINITION ET CARACTÈRES PRINCIPAUX DES SOLS

Les grains d'un sol ne sont pas liés par un ciment comme c'est le cas du béton, mais ils peuvent être soumis à des forces d'attraction intergranulaires diverses : des forces électriques, des forces de Van der Waals,... Ces forces sont en général faibles et diminuent rapidement lorsque la distance entre les grains augmente. Elles n'influencent que le comportement des sols à dimensions très faibles. Dans ce cas le sol est doté d'une *cohésion*.

Cette constatation va amener le géotechnicien à définir deux grandes familles de sol :

- **les sols grenus** qui sont de dimension supérieure à 20μ ($0,02\text{ mm}$),
- et **les sols fins** de dimensions inférieures à 20μ .

6.1. Les sols grenus

Les sols grenus sont ceux pour lesquels les caractéristiques géotechniques sont déterminées par des forces de volume ou de pesanteur. Ils sont en général **pulvérulents**. Ils sont surtout définis granulométriquement

On distingue principalement deux sous-familles :

Sables	50% des grains au moins sont compris entre 0,02 et 2 mm
Graviers	50% des grains au moins sont compris entre 2 et 20 mm

A noter : Les dimensions extrêmes varient légèrement suivant le système de classement.

On peut ajouter pour préciser ces sols, d'autres caractères :

- Nature minéralogique (composition chimique même de la roche mère),
- Forme des grains (liée à la genèse de l'altération mécanique),
- Gisement et tri (ségrégation ou non).

Ainsi de part leurs altérations mécaniques on distingue:

- o *Les sables éoliens* : transportés par le vent, se rencontrent généralement sous forme de dunes marines ou continentales.
- o *Les sables fluviatiles* : se rencontrent dans les alluvions fluviatiles quelques fois sous forme de terrasses.
- o *Les sables marins* : Comprennent aussi bien les sables littoraux que les sables marins anciens.
- o *Les sables résiduels ou arènes* : Produits de la fragmentation sur place d'une roche mère propice.

, et donnant alors aux Formes de grains les aspect suivantes :

- o *Emoussés luisants* : caractéristique du transport par l'eau
- o *Ronds mats, émoussés et piquetés* caractéristiques du transport par le vent
- o *Non usé* : caractéristiques des grains non transportés.

6.2. Les limons (ou Silts)

La définition la plus admise est celle d'un sol dont la majeure partie des grains est comprise entre 2 et 20 μ (définition purement descriptive).

Ils sont en grande partie formés de quartz.

On distingue suivant leurs origines :

- **Les limons éluviaux** formés par altération sur place d'un substratum favorables (à l'altération),
- **Les limons de ruissellement** et d'inondation qui se présentent en strates.

6.3. Les argiles

On peut les définir granulométriquement comme une roche dont les grains sont compris entre 2 et 0,2 μ .

C'est une roche sédimentaire terreuse faisant pâte avec l'eau. On la dit **plastique**.

La plasticité d'un matériau est caractérisée par le fait qu'il peut être déformé d'une façon permanente, à volume constant, sans perdre sa cohésion interne.

On distingue suivant leur origine :

- *Les argiles d'altération* : formées principalement par l'altération des calcaires en climat tempérés ou l'altération des latérites en climat chaud et humide ,
- *Les argiles fluviatiles* : Elles se déposent surtout dans le lit majeur des fleuves, lors des décrues,
- *Les argiles lacustres* : déposées dans les lacs et étangs,
- *Les argiles marines* : Ce sont des argiles d'origine continentale déposées en milieu marin, et généralement modifiées par la diagénèse.