



# Phases d'études

(Cours Benadda L.)

---

## Étude d'un Barrage:

1. Étude préliminaire
2. Étude de faisabilité (Factibilité)
3. Étude d'Avant projet Sommaire (**APS**)
4. Étude d'Avant projet détaillé (**APD**)
5. Étude d'exécution



# Étude topographique

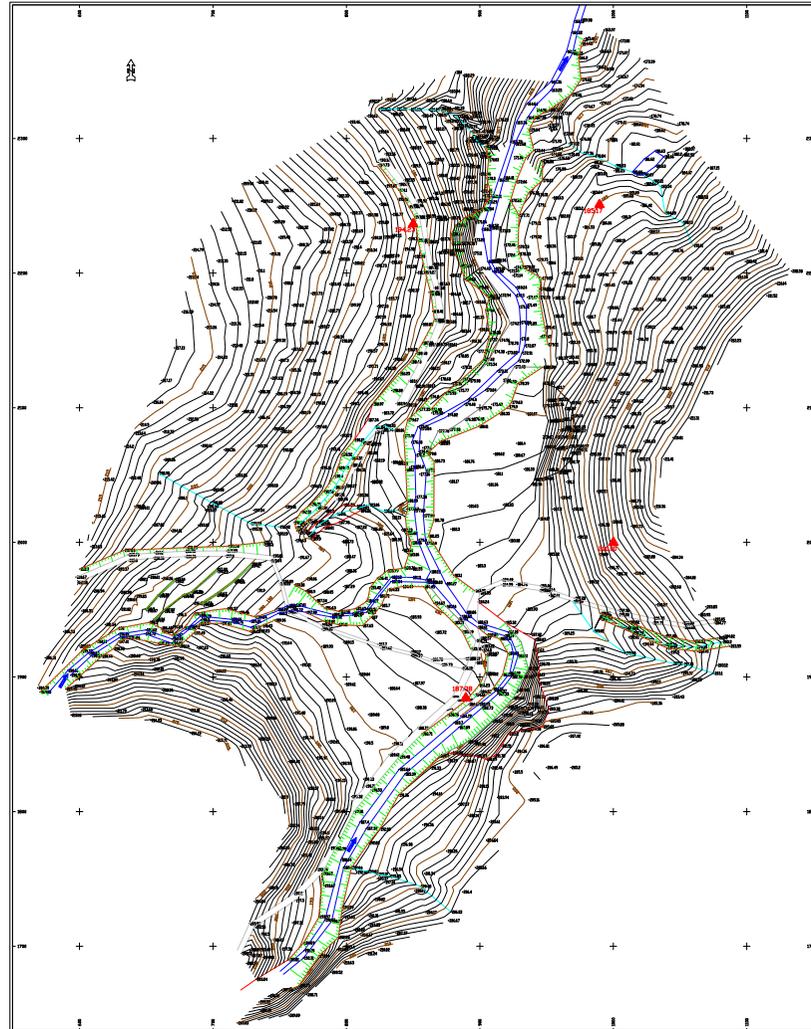
---

**Échelle** du levé : 1/500, 1/1000, 1/2000, ...

Le choix de l'échelle est conditionné par la morphologie de la zone d'étude.

- La densité des points doit être suffisante et adaptée aux particularités topographiques locales.
- Toutes les particularités morphologiques (Col, affleurement rocheux...) ainsi que les infrastructures (piste, route, poteau électrique, puits, arbre isolé etc....) devront être reportés sur le plan.
- Au moins trois bornes (repères fixes) bétonnées seront obligatoirement installées aux alentours immédiats de l'axe hors de l'emprise de la digue
- Cette étude devra déboucher sur l'établissement d'un plan topographique à partir duquel il sera possible :
  - - D'élaborer la courbe Hauteur- Capacité et Hauteur - Surface
  - - D'implanter l'axe de la digue et d'en évaluer le volume
  - - D'implanter les ouvrages annexes (Évacuateur de crue prise d'eau, vidange de fond etc....)
  - - De repérer les zones d'emprunt des matériaux de construction.
  - - De fournir au géologue les fonds de plan pour les relevés géologiques

# Plan topographique (Exemple)



# Site RC

---





# Géologie - Géotechnique

---

**Buts :** répondre aux questions suivantes :

- **Stabilité et étanchéité** des fondations du site
- **Stabilisation et étanchéité** des versants de la
- **Définition des caractéristiques physiques et mécaniques** des **matériaux** nécessaires à la construction de la digue.



# Étude géologique

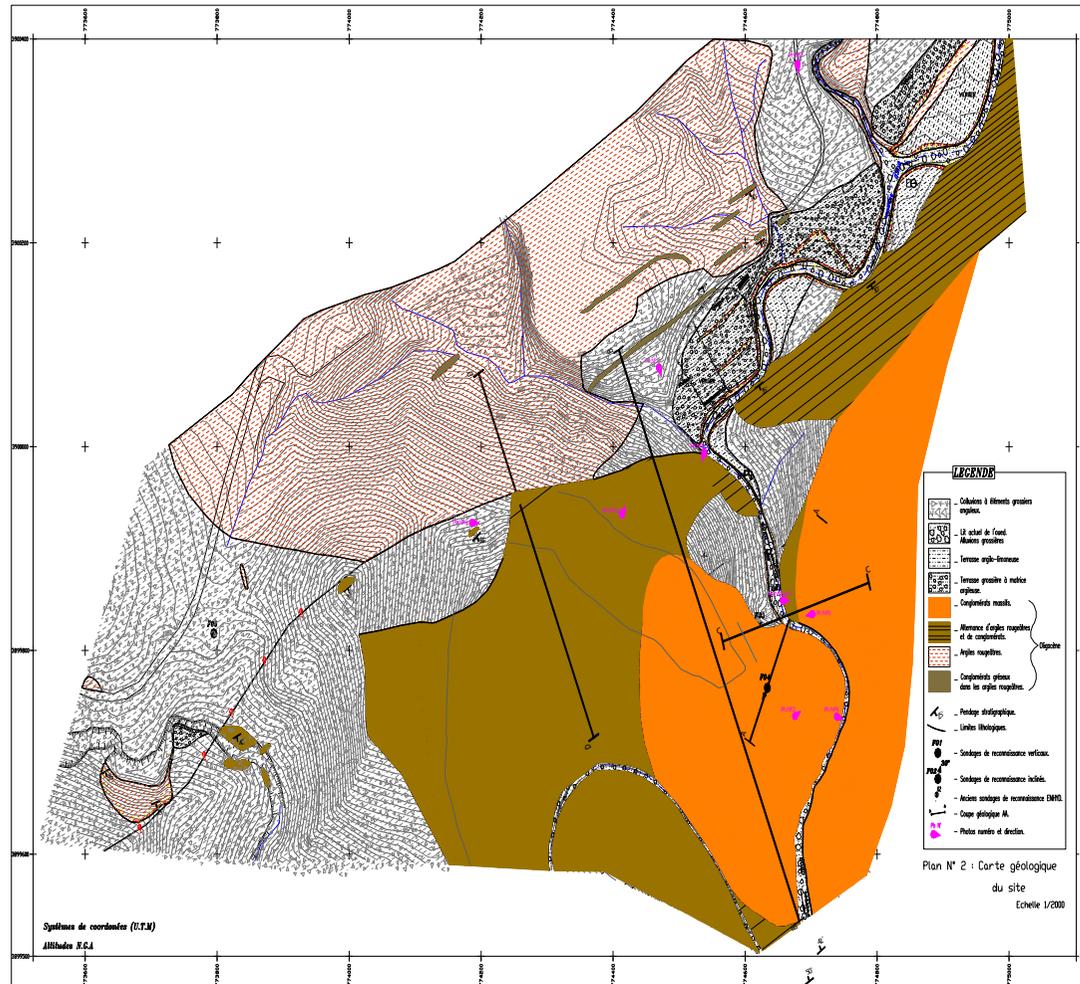
---

- L'étude géologique réalisée par **une personne qualifiée** devra se traduire par :
- Une carte géologique du site et de la cuvette
- Une série de coupes géologiques mettant en relief les traits structuraux de la zone d'étude.
- Cette étude mettra en relief :

## pour le site la cuvette

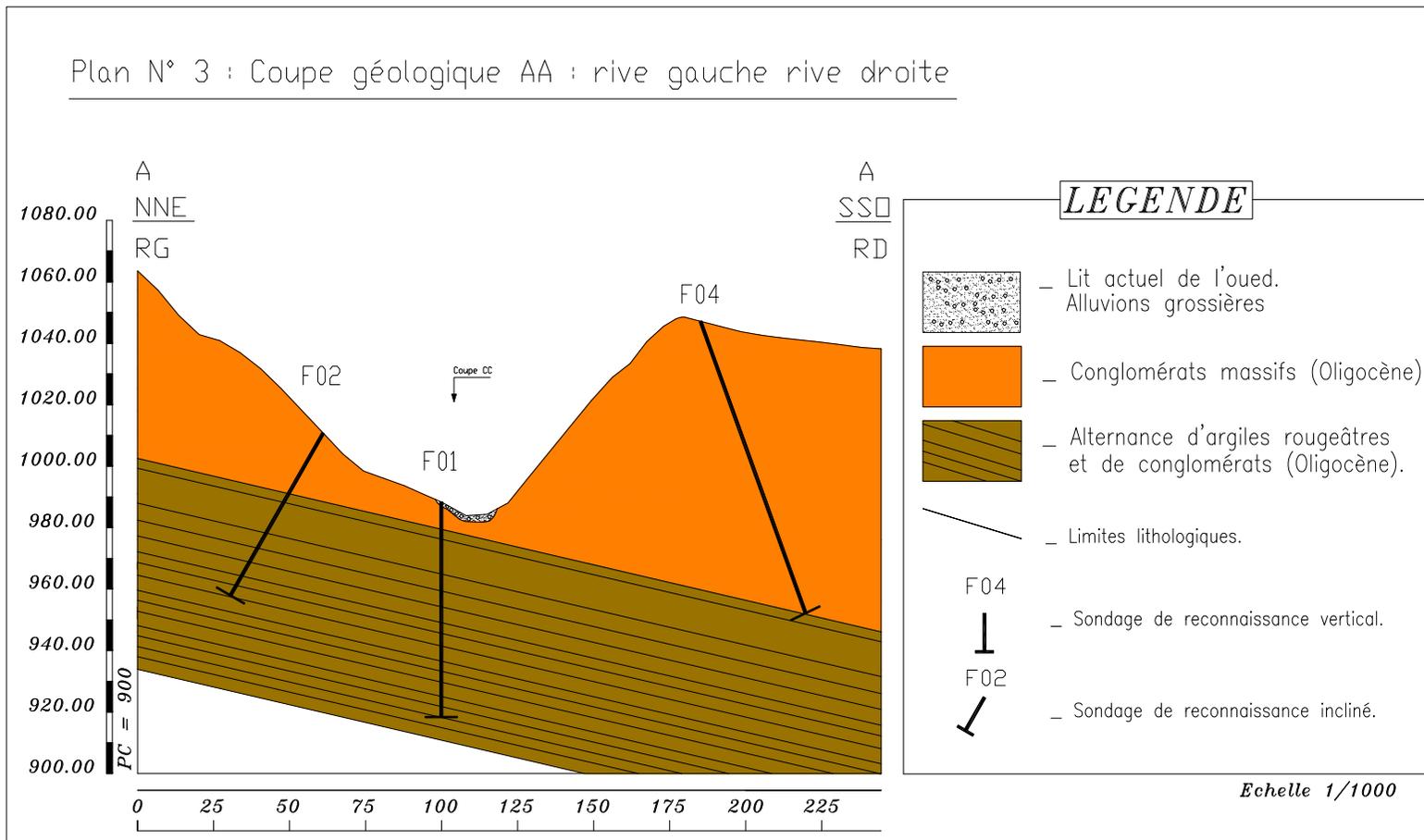
- - La stratigraphie
- - La structure
- - La lithologie
- - La tectonique
- - La sismicité
- En fonction des problèmes identifiés sur le site, une campagne de reconnaissance devra être menée pour éclaircir les points ci-dessus si nécessaire et lever les incertitudes relatives aux points ci-dessous :

# Carte géologique



# Coupes géologiques

Plan N° 3 : Coupe géologique AA : rive gauche rive droite



# Les terrains de couverture Le substratum :

---

- 
- Examen des terrains de couvertures de formation récentes (Alluvions, colluvions etc...) ; estimation de leur épaisseur, de leur extension, de leur nature ainsi que de leur qualité physique et mécanique.
- Le projeteur appréciera leur incidence sur les ouvrages projetés.
- Définition de l'importance de la couche altérée et décomprimée, Évaluation de sa perméabilité.



# Campagne de reconnaissance

---

- La campagne de reconnaissance devra mettre en œuvre des moyens en relation avec la complexité des problèmes à résoudre.
- Les puits à la pelle mécaniques permettent en général d'apporter une réponse satisfaisante aux interrogations exprimées ci-dessus.
- Leur nombre devra permettre de tracer une coupe géologique en travers de l'oued suffisamment précise.



## Problèmes généralement rencontrés

---

Les **problèmes** auxquels on peut être confrontés sont **multiples** et ont des incidences plus ou moins fâcheuses dans leurs répercussions économiques

**barrages sec,**

**ruptures**

**pertes d'eau importantes**



# Alluvionnement

---

- Pbs d'alluvionnement
- Pbs de glissements de terrains (sur le site ou dans la cuvette)
- Pbs de Karstification
- Pbs de Fracturation



# Alluvionnement

---

La **nature** et la **profondeur** des alluvions devront être définies avec précision dans l'axe de l'ouvrage projeté.

Les **alluvions** sont des matériaux **perméables**.

Ils devront être totalement **éliminés** sous l'axe de la digue



## Colluvions

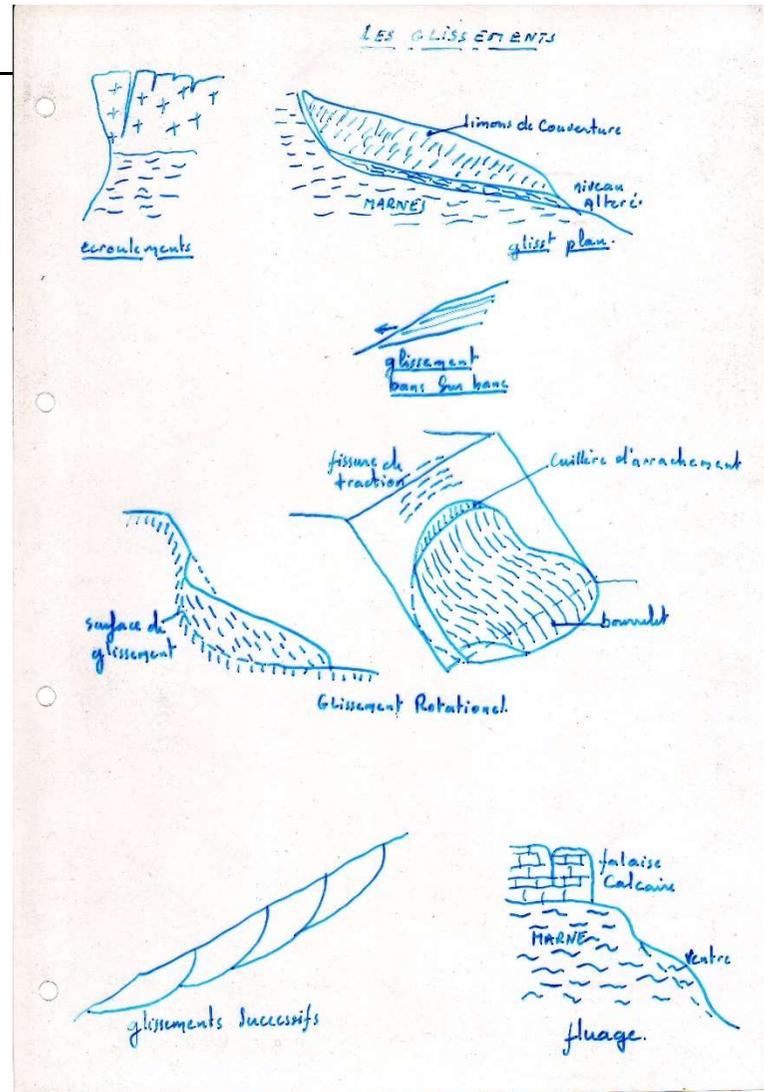
---

Matériaux résultants de l'altération du Substratum.

Ils peuvent être perméables, de mauvaises caractéristiques mécaniques

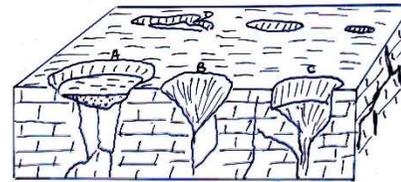
Ils devront être éliminés sous l'axe de la digue

# Glissements

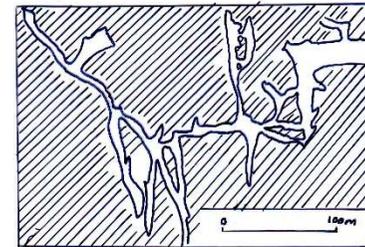


# Karstification

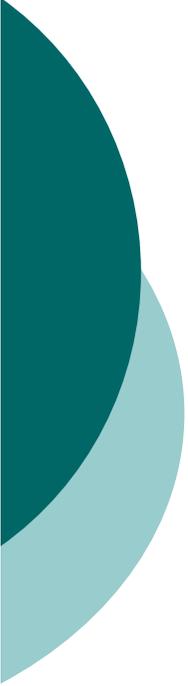
---



*Types de doline*



*Plan de Grotte - Adaptation à la fracturation*



# Fracturation

---

- Les sites **fortement fracturés** seront très **perméables** en grand
- Il convient donc de les éviter



# Recommandations

---

Si, sur un **barrage** on peut trouver une **solution technique** à tous les **problèmes** ci-dessus.

Un **alluvionnement** trop important, un **glissement** important, sur le site ou dans la cuvette, une **perméabilité** trop élevée ...  
**mènent au rejet pur et simple du site**



## GEOTECHNIQUE

---

Les moyens de reconnaissance pour une étude géotechnique sont multiples.

Il faut les appliquer avec discernement pour résoudre un problème clairement posé.

« On ne sait ce que l'on trouve que si l'on sait ce que l'on cherche »

Il importe d'avoir une bonne connaissance de ces moyens, de leurs possibilités, de leurs limites et de leurs domaines d'application.



## Moyens de reconnaissance généralement utilisés

---

1. Puits
2. Tranchées
3. Galeries
4. Sondages carottés ou destructifs
5. Géophysique : Électrique, Sismique, micro gravimétrie etc....
6. SPT (**S**tandard **P**énétration **T**est)
7. Pénétrromètre dynamique
8. Pénétrromètre statique
9. Préssiometres
10. Scissomètre
11. Dilatomètre



## Puits et tranchées

---

Ce sont les **moyens les plus adaptés** à la reconnaissance des zones d'emprunts et des fondations d'une retenue collinaire

Ils sont **facile** à mettre en œuvre et **d'un coût relativement** réduit.

Ils sont exécutés à la **pelle mécanique** parfois à la main

## Photo réalisation d'un puits



## Photo réalisation d'une tranchée





## Les sondages

---

C'est un des moyens les plus utilisés pour les barrages.

Ils sont exécutés à l'aide d'une machine de forage qui perce dans le sol un trou vertical ou incliné si nécessaire

Les sondages sont dans la majorité des cas carottés.

On exige un % de récupération de l'ordre de 95%

$$\% \text{récupération} = \frac{\text{long carotte récupérée}}{\text{longueur de la passe forée}} \times 100\%$$

## Profondeur des sondages

---

S1: Sondage et son N°

P : Profondeur

H : Hauteur du barrage

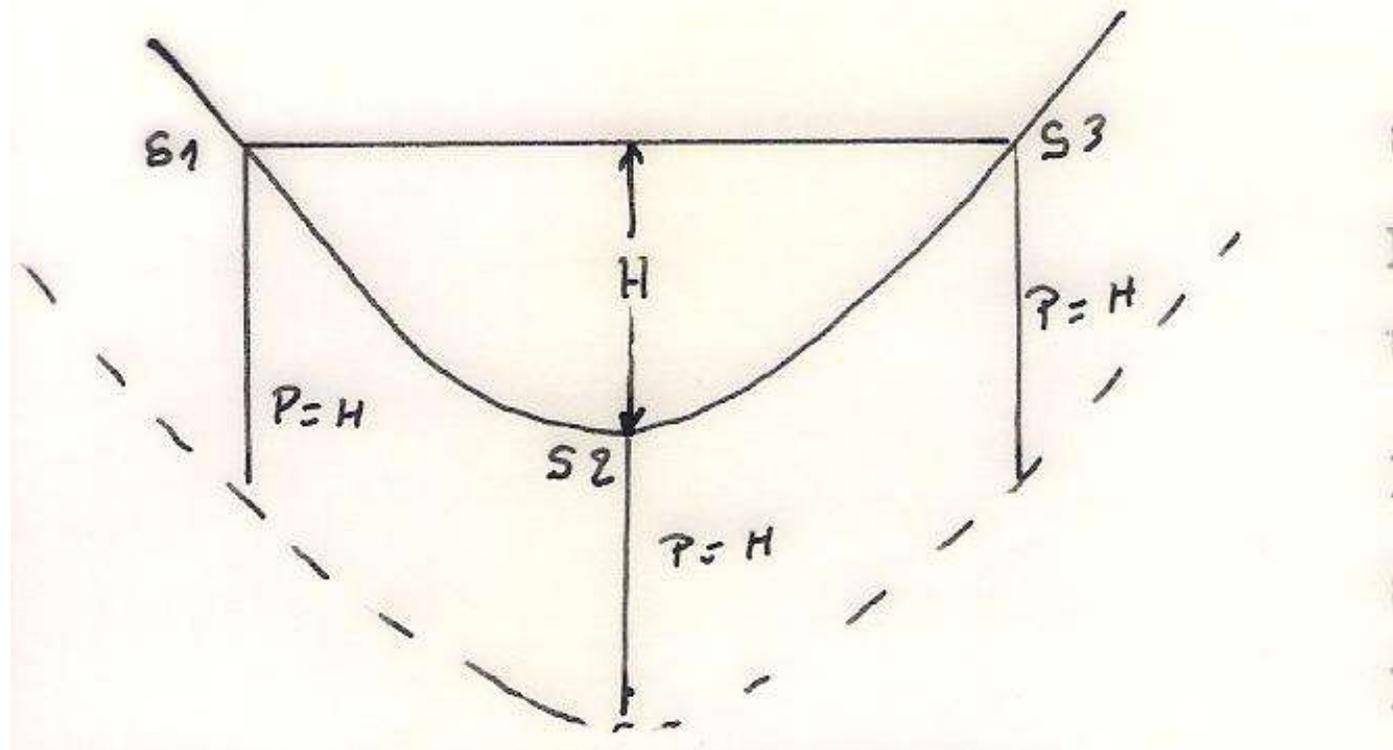


Photo sondeuse



## Carottiers et couronnes





---

Les sondages sont relativement chers. Il est impératif d'en tirer le maximum de renseignements.

Le sondage est exécuté à sec, à l'eau claire ou à la boue. Le sondage à l'eau claire est le plus utilisé.

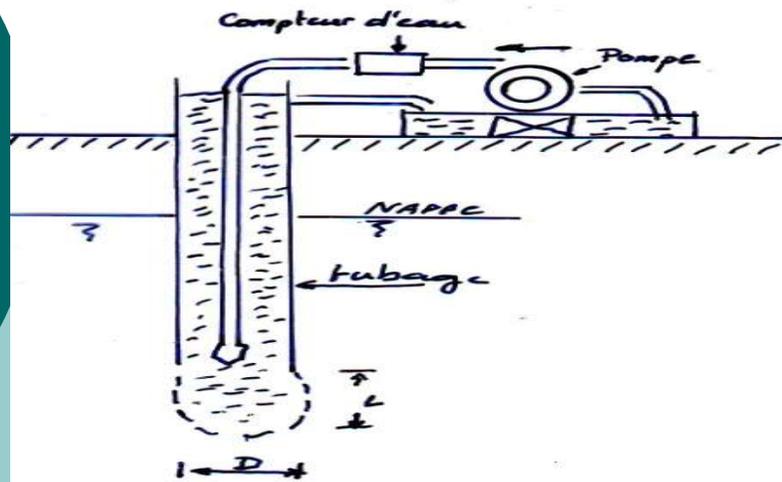
Dans tous les sondages réalisés, **la perméabilité In Situ devra être mesurée en continue**

Essais **Lefranc** en terrain meuble.

Essais **Lugeon** en terrain rocheux.

# ESSAI DE PERMEABILITE

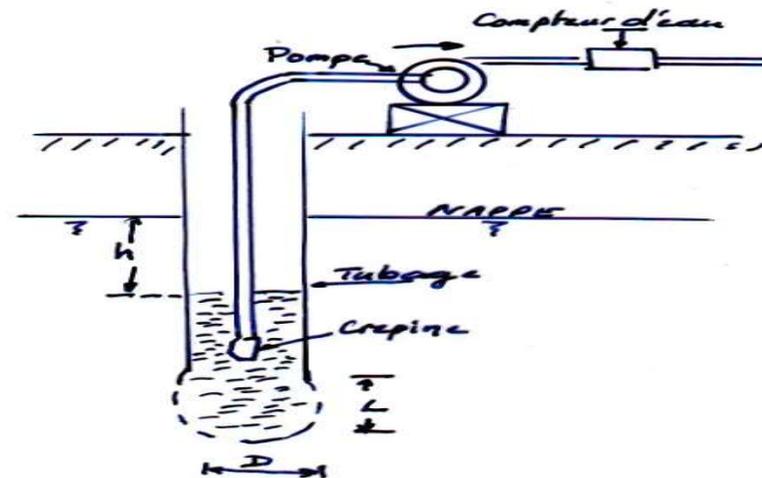
## ESSAIS LEFRANC



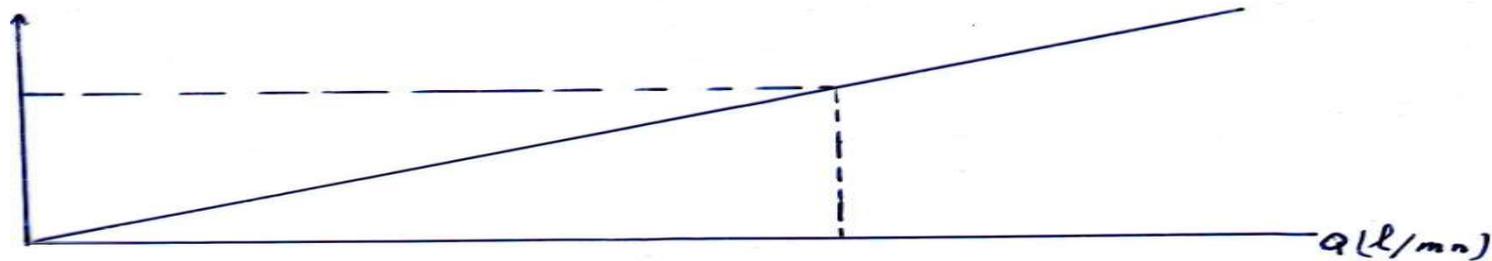
$$Q = c \cdot k \cdot h$$

### 1. Par injection

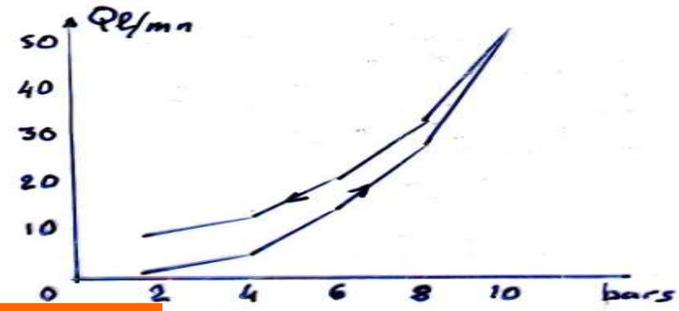
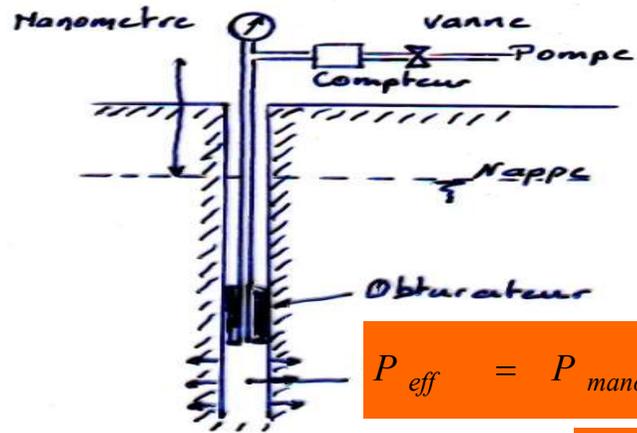
### 2. Par pompage



$$c = \frac{2 \pi \cdot L}{\log \frac{2 L}{D}}$$



# ESSAI LUGEON

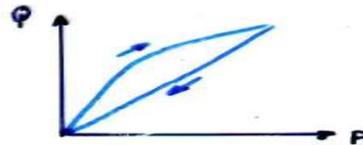


$$P_{eff} = P_{mano} + \frac{H}{10} - PDC$$

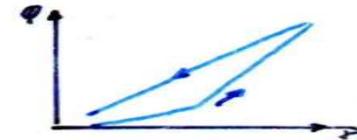
$$K = \frac{\log \frac{R}{R_0}}{2\pi} \cdot \frac{Q}{\Delta \vartheta L}$$



Ecoulement turbulent



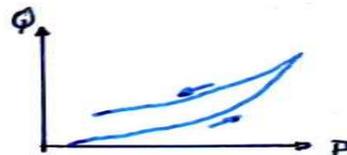
Bourrage en pression



Débouillage en pression



Colmatage



Décolmatage



Ouverture élastique des fissures

# Matériel pour essais Lugeon





## Relevé géologique des sondages

---

Le relevé géologique des carottes doit être fait avec le plus grand soin.

Le log du sondage doit comporter trois types d'informations:

- Relatives au procédé d'exécution
- Relatives à la nature et à l'état des formations traversées
- Aux essais in situ effectués
  
- Toutes les caisses de carottes doivent être photographiées en couleur

# Log de sondage

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE										Feuille: 1/2
MINISTERE DE L'EQUIPEMENT										
AGENCE NATIONALE DES BARRAGES										
ETUDE D'APP DU SITE DE :					SONDAGE N° S101			Coordonnées:		
Entreprise : SERSID (ORAN)					Profondeur: 40.50 m			X = 694 290.02		
Foreur : Ould Belaid					Situation: Rive droite (Entrée tunnel)			Y = 3952 722.12		
Relevé par : Tafel.K					Inclinaison: Verticale			Z = 735.02		
Vérifié par : Aks					Date d'exécution: Du 08/07/08 Au 14/07/2008			Direction:		
								Ech. 1/100.		
Profondeur	Cote	Couronne Ø	Tubage Ø	Coupe	% Recup	R.Q.D %	Nappe	Echantillon	Perméabilité	Description Géologique
1										Terrasse : Argiles limono-graveleuses.
2										
3										
4										Alluvions grossières de 1 à 6 cm de diamètre arrondies de nature gréseuse et calcaire à matrice argileuse.
5										
5.8										
6										
7										Grès grisâtres-jaunâtres, compacts.
8										
9										Grès grisâtres-verdâtres, avec des interlits de marnes (Marnes gréseuses) inférieurs à 3 cm d'épaisseur, obliques.
9.4										
10										
11										
12										
13										
14										
15										Marnes grisâtres indurées, avec de rares interlits de grès inférieurs à 1cm d'épaisseur avec un passage gréseux de 30 cm d'épaisseur de 15.15 à 15.45 m de profondeur. Cet élément contient une fissure verticale oxydée.
16										
17										
18										
18.3										
19										Grès grisâtres compacts, contenant des niveaux marneux, inférieurs à 1cm d'épaisseur parfois plus, supérieurs à 20 cm d'épaisseur. Grès franc de 19.0 à 19.2 m et de 22.4 à 22.9 m, contenant des traces d'oxydation sur une fissure subhorizontale.
20										
Remarques :										

Photo caisse de carotte





# Etude des matériaux de construction

---

- L'étude sera menée avec le souci de **réaliser une digue homogène ou pseudo zonée.**
- la zone d'emprunt délimitée de préférence **à l'intérieur de la cuvette** sera reconnue à l'aide de puits exécutés à la pelle mécanique.
- Le nombre de puits sera fonction du volume à reconnaître avec un ratio de **1 puits / 1000 m<sup>3</sup> environ** reconnu.
- Le volume à reconnaître devra couvrir **au moins le double des besoins nécessaires pour construire la digue.**
- Chaque puits sera décrit de façon détaillée et sa description (Log) sera jointe en annexe ;
- le **niveau d'eau** et les venues d'eau en cours de réalisation seront notés.
- Tous les faciès de chaque puits seront **échantillonnés.**

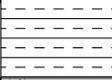
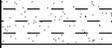
# Log d'un puits

Site :

Zone d'emprunt A : Aval axe (Rive gauche)

Coordonnées GPS : X = 694 502

Y = 3951 973

Log du puits P 26				
Prof	Coupe	Lithologie	Ech	Nappe
1		Sable fin limoneux jaunâtre-beige, avec une lentille grossière de 10 cm d'épaisseur à 1 m de profondeur.	Sans	
1.7				
2				
3		Argiles marneuses, oxydées.		
3.6		Argiles sableuses rougeâtres, tendres.		
4				
5				



# Essais à effectuer

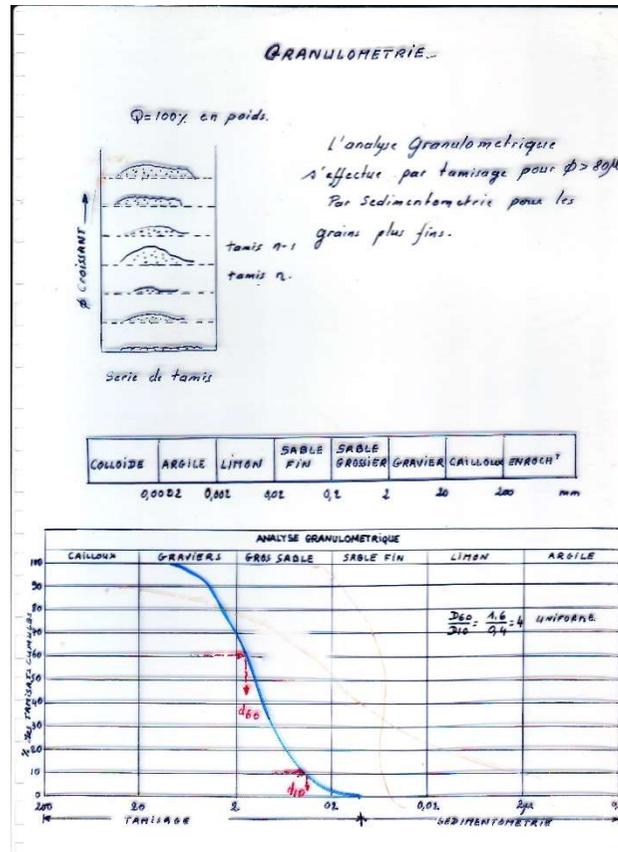
---

Les prélèvements effectués seront soumis aux essais suivants :

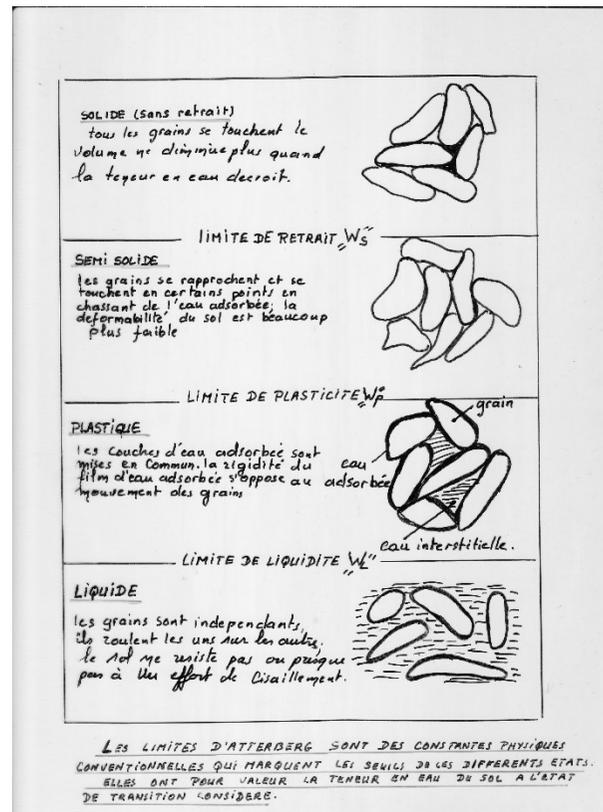
- Teneur en eau
- Granulometrie
- Limites d'Atterberg
- Teneur en matières organiques.
- Essais Proctor normal
- Cisaillement direct \*
- Cisaillement triaxial \*
- Essai Oedométrique \*
- Perméabilité à l'oedomètre

\* Essais à exécuter sur un échantillon reconstitué aux conditions de l'essai Proctor.

# Granulométrie



# Eau dans le Sol



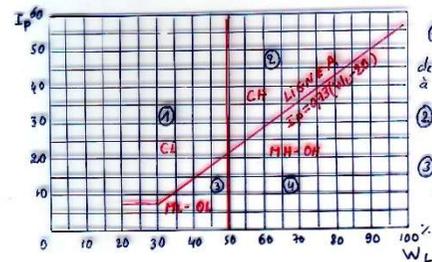
# Classification

## INTERPRETATION:

### CLASSIFICATION SUIVANT L'INDECE DE PLASTICITE:

$I_p$	PLASTICITE.
1 à 5	légère (Sol peu sensible à l'eau)
5 à 10	faible
10 à 20	moyenne
20 à 40	élevée
> 40	très élevée.
la Bentonite peut avoir des $I_p > 400$ .	

### CLASSIFICATION DU PROFESSEUR A. CASAGRANDE.



- ① Argile inorganique de plasticité moy. peu à moy. compressible
- ② Arg. inorg. plast forte forte compressibilité
- ③ limon et argile organique peu à moy. compress.
- ④ Arg. organique très compressible.

### INDICE DE CONSISTANCE:

Ce rapport définit l'état du sol.

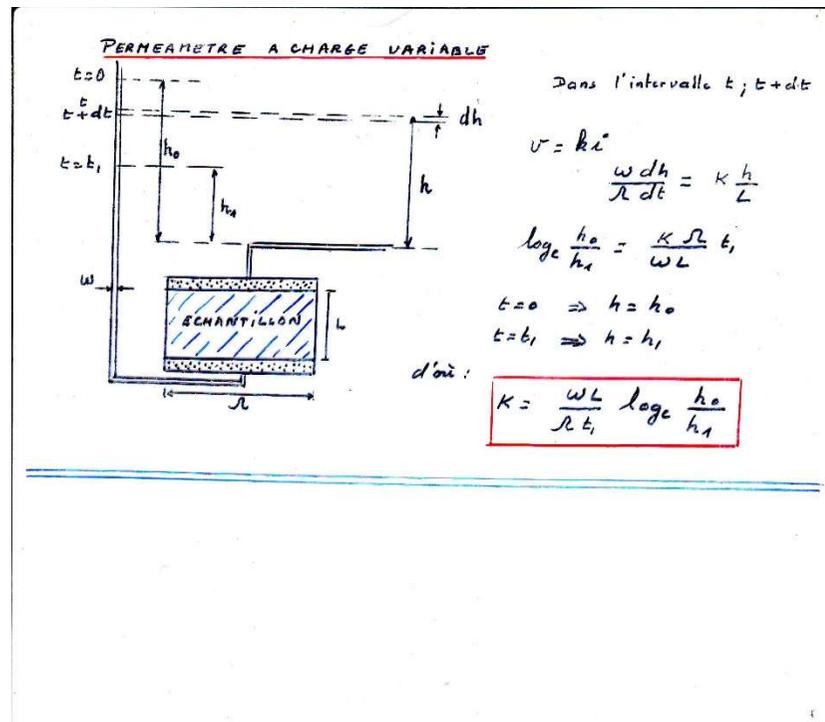
$$I_c = \frac{W_L - W}{I_p}$$

- |                    |        |
|--------------------|--------|
| $0 < I_c < 0,25$   | Pâteux |
| $0,25 < I_c < 0,5$ | Mou    |
| $0,5 < I_c < 0,75$ | Ferme  |
| $0,75 < I_c < 1$   | Mi dur |
| $1 < I_c$          | Dur.   |



# Perméabilité matériaux Fins

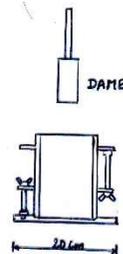
## Perméamètre à charge variable



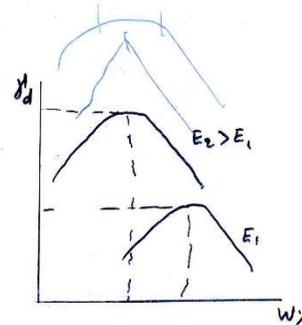
# Essai de compactage Proctor

## COMPACTAGE

- Donner au Sol une Compacité aussi grande que possible.
- Réduire les tassements ultérieurs.
- Accroître la portance du Sol ainsi que sa résistance au cisaillement.



MOULE PROCTOR.



COURBE PROCTOR.

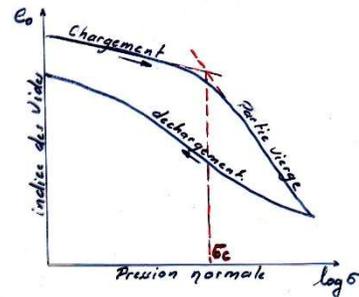
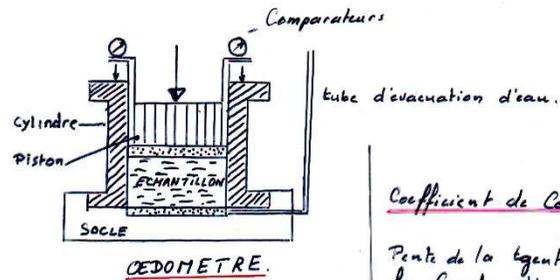
- Pour le Compactage in situ On exige 90-95% de l'optimum Proctor.
- Un sol est dit:

Mauvais si:  $\gamma_d < 1,6 \text{ g/cm}^3$

Convenable si:  $\gamma_d = 1,8 - 1,9 \text{ g/cm}^3$

excellent si:  $\gamma_d > 2,05 \text{ g/cm}^3$ .

# Essai Oedométrique



Courbe de Compressibilité.

Coefficient de Compression

Pente de la tangente à la Courbe Virgée:

$$\Delta H = - H \frac{C_c}{1+e_1} \log \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$$

donne le tassement d'une couche d'épaisseur H quand la contrainte appliquée passe de  $\sigma_1$  à  $\sigma_2$ .

- $C_c < 0,02$  incomp.
- $0,05 < C_c < 0,2$  moy. Comp.
- $C_c > 0,5$  extr. Comp.

Coefficient de gonflement  $C_g$  Pente de la Courbe de retour.

# Essai de Cisaillement

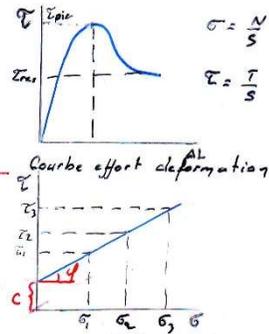
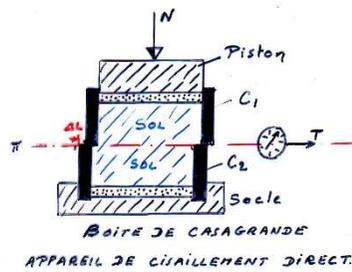
## RESISTANCE AU CISAILLEMENT

La résistance au cisaillement d'un sol  $\tau$  est donnée par la relation de Coulomb-Terzaghi.

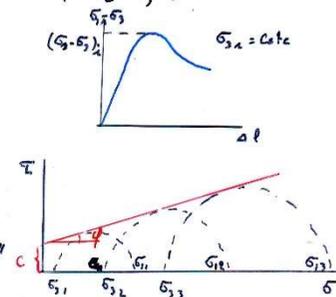
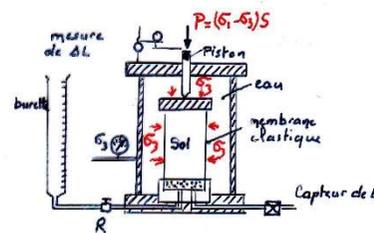
$$\tau = c + \sigma' \tan \varphi$$

Où:  $\sigma'$  - tension normale effective  
 $c$  - Cohesion  
 $\varphi$  - angle de frottement interne du sol.

### CISAILLEMENT DIRECT.



### CISAILLEMENT TRIAXIAL



Determination de la Courbe intrinsèque d'un Sol.



# Programme de reconnaissance

---

Les travaux à effectuer dépendent des problèmes posés.

Le minimum est fixé dans le détail estimatif ci dessous



# Volume des travaux

---

<b>4</b>	<b>Géologie géotechnique</b>				
<b>4.1</b>	<b>Levé géologique du site</b>	<b>fft</b>	<b>1</b>		
<b>4.2</b>	<b>Levé géologique de la cuvette</b>	<b>fft</b>	<b>1</b>		
<b>4.3</b>	<b>Réalisation des travaux de reconnaissance</b>				
<b>4.3.1</b>	<b>Puits</b>	<b>U</b>	<b>12</b>		
<b>4.3.1</b>	<b>Sondages</b>				
<b>4.4</b>	<b>Essais géotechniques</b>				
<b>4.4.1</b>	<b>Granulométrie</b>	<b>U</b>	<b>12</b>		
<b>4.4.2</b>	<b>Limites d'Atterberg</b>	<b>U</b>	<b>12</b>		
<b>4.4.3</b>	<b>Teneur en eau</b>	<b>U</b>	<b>12</b>		
<b>4.4.4</b>	<b>Proctor Normal</b>	<b>U</b>	<b>3</b>		
<b>4.4.5</b>	<b>Cisaillement direct</b>	<b>U</b>	<b>2</b>		
<b>4.4.6</b>	<b>Mesure de perméabilité</b>	<b>U</b>	<b>2</b>		
<b>4.4.7</b>	<b>Oedomètre</b>	<b>U</b>	<b>2</b>		
<b>4.4.8</b>	<b>Pourcentage de matière organique</b>	<b>U</b>	<b>1</b>		



# Caractéristiques des sols recommandés

---

Les sols recommandés seront:

- de granulométrie étendue
- Ils devront **avoir au moins 30 à 35% d'éléments inférieurs à 80μ,**
- Ils seront classés en **catégorie CL**
- Ils devront avoir une teneur en eau naturelle la plus proche de celle de l'Optimum Proctor (**+ ou- 2 points**).

Le rapport final présentera les différents matériaux avec **leurs caractéristiques géotechniques** et les **volumes correspondants** à chaque zone étudiée.



# Conclusions

---

L'étude géologique et géotechnique devra être menée avec beaucoup de soins.

Elle doit se prononcer de façon claire et définitive sur **la faisabilité de l'ouvrage**, et particulièrement sur le **traitement de la fondation et le niveau d'ancrage de la digue**.

**Une fondation trop perméable, des versants instables, l'absence de matériaux fins en quantité suffisantes et à proximité du site conduiront à l'abandon du site.**