

GEOLOGIE DES BARRAGES

INTÉRÊT D'UNE ÉTUDE GÉOLOGIQUE

Quels sont les risques en absence d'une étude géologique ?

- Dépassement de la résistance de la fondation
- Déformations importantes ou Tassement différentiel
- Glissement du barrage sur un joint en fondation
- Détérioration de la fondation par infiltration (phénomène de renard)
- Glissement important créant une vague submergeant le barrage
- Départ de la retenue par une entonnoir (karst continue)
- ...

OBJECTIFS D'UNE ÉTUDE GÉOLOGIQUE

- La stabilité du site et de la cuvette
- L'étanchéité du site et de la cuvette
- Matériaux de construction

N.B. :

L'étude géologique est généralement complétée par une étude géotechnique afin qu'elle réalise les dits objectifs

CHRONOLOGIE D'UNE ÉTUDE GÉOLOGIQUE

- Étude préliminaire
- APS et APD
- Phase travaux

ÉTUDE PRÉLIMINAIRE

Définition : Analyse multicritères dont la géologie

But : Choix du site

Type : Étude géologique de surface

ÉTUDE GÉOLOGIQUE DE SURFACE

But :

- Déterminer les grandes lignes de la géologie du site avant toute mise en œuvre de moyens de reconnaissance plus lourds
- Replacer le site dans son contexte géologique local et régional
- Déceler d'éventuelles conditions géologiques rédhibitoires visibles immédiatement
- Orienter la suite des études, et définir et implanter les travaux de reconnaissance ultérieurs

ÉTUDE GÉOLOGIQUE DE SURFACE

Méthodologie :

- Consulter les cartes géologiques existantes (1/50 000 ou autres), pour replacer le site dans son contexte géologique local, litho stratigraphique et structural
- Orienter l'examen du site vers la recherche de certains types d'indices, en utilisant l'expérience antérieure de contexte semblable
- La visite consiste au minimum en un parcours de la zone d'implantation du barrage et de tout ou partie de la cuvette de retenue, assortie de la réalisation de toutes les observations possibles

- Reporter les observations faites lors de cette phase d'étude et les conclusions tirées sur une fiche synthétique

AFFAIRE				
NOM DU SITE				N°
LOCALISATION	CARTES	Topo. :		Géol. :
	COORDONNÉES	X. :	Y. :	Z. :
GÉOLOGIE DU SITE	LITHOLOGIE STRUCTURE			
	QUALITÉ DE LA FONDATION			
	STABILITÉ DES APPUIS			
	ÉTANCHEITÉ (hydrogéologie)			
GÉOLOGIE DE LA CUVETTE	LITHOLOGIE STRUCTURE			
	STABILITÉ DES VERSANTS			
	ÉTANCHEITÉ (hydrogéologie)			
MATÉRIAUX	AGRÉGATS			
	SOLS FINS			
TRAVAUX DE RECONNAISSANCE				
CONCLUSIONS ET REMARQUES				

ETUDE GÉOLOGIQUE DE SURFACE

Résultat :

- Diagnostic préliminaire sur l'opportunité d'engager des études plus détaillées, les sites classés selon les catégories:
 - Sites favorables : Aucune condition rédhibitoire n'a été mise en évidence
 - Sites défavorables : Problèmes difficiles à résoudre et / ou ayant une incidence économique incompatibles avec l'intérêt de l'ouvrage
 - Sites douteux : Observation de surface impossible ou incertitude sur les observations et les interprétations géologiques faites, des investigations par tranchée sont nécessaires dans ce cas pour classer le site dans les catégories ci-dessus

APS et APD

➤ APS :

- Faisabilité du projet
- Choix des variantes + taille

➤ APD :

- Étude détaillée des variantes retenues
- Plans de définition du projet
- Programme et phasage des travaux
- Estimation du coût du projet

APS et APD

Utiliser les moyens de reconnaissance nécessaires pour assurer :

- Étude géologique de la fondation et des appuis :
 - Cartographie
 - Affleurement et Épaisseur du terrain de couverture
 - Homogénéité du substratum
 - Importance de l'altération et de la fracturation
 - Existence d'accidents tectoniques..

- Étude de l'étanchéité du site (Évaluation de la perméabilité des terrains de fondation, Cartographie des couches étanches, détection des zones particulièrement perméables)

APS et APD

- Étude de Stabilité des talus du site et des berges de la cuvette
- Étude de l'étanchéité de la cuvette (recherche de couches étanches: argiles, marnes...évaluer le risque de fuites à travers ces formations vers l'aval ou vers un autre B.V.)
- Études des zones d'emprunts (matériaux meubles et carrières: disponibilité, qualité, proximité, et conditions d'exploitation)
- Salinité

PHASE DES TRAVAUX

L'ouverture des fouilles et des accès, la réalisation des galeries et les traitements de la fondation (les injections notamment) peuvent mettre en évidence d'autres problèmes :

- Établir des rapports au fur et à mesure de l'avancement des travaux et en fonction de l'apparition des phénomènes particuliers ;
- Effectuer les adaptations nécessaires

TYPES DE FONDATIONS

FONDACTIONS MEUBLES

Les barrages fondés sur les alluvions sont en général, des barrages *souples* en terre ou en enrochement

Les fondations alluvionnaires se présentent en général sous forme :

- Vase ou tourbe : à dégager ou à exclure le site si quantité importante
- Sableux-graveleuse plus ou moins homogène jusqu'au substratum :
 - bonne résistance mécanique
 - Perméabilité élevée : précautions spéciales pour éviter les fuites et l'entraînement des sables

FONDACTIONS MEUBLES

➤ Couche limono-argileuse :

- étanchéité suffisante
- ! à vérifier la résistance et à calculer les tassements sous le poids du barrage (étude géotechnique)

➤ Alternances de strates perméables et imperméables :

- sous-pressions importantes
- entraînement de fuites si les passages sableuses sont en communication avec la retenue
- mise en place de dispositifs spéciaux

FONDATION ROCHEUSE

- Exemple : granite, calcaire, grès, schistes, marnes, ...
- présentent des caractéristiques mécaniques meilleurs que les fondations meubles
- Acceptent les barrages *rigides*
- l'étanchéité dépend de la fracturation de la roche et des discontinuités
- ...

MOYENS DE RECONNAISSANCE

PRINCIPES

- Ces moyens complètent les investigations géologiques de surface
- Moyens relativement coûteux : choix judicieux de l'implantation des travaux de reconnaissances et des moyens à mettre en œuvre
- Choix de moyens : Fonction du problème géologique et géotechnique posé ainsi que des détails et du budget disponible

METHODOLOGIE

➤ Deux catégories principales :

- **Méthodes d'observation du terrain** soit en place, soit à l'aide d'un échantillon. C'est un prolongement en profondeur de la géologie de surface.

- **Méthodes de mesures *in situ*** basées sur la mesure d'une propriété physique (mécanique, électrique, hydraulique...) d'un terrain observable ou non : Utiles pour le calcul géotechnique

observation du terrain

Tranchées et puits

Objectifs :

- Recherche du substratum sous une couverture peu épaisse ;
- Définition de l'épaisseur d'altération du bed-rock (si nécessaire puits) ;
- Etablissement d'une coupe géologique détaillée ;
- Prélèvement d'échantillons pour identification et essais mécaniques ;
- Réalisation des essais *in situ*

Avantages :

- Conviennent à tous les cas et peuvent être réalisées n'importe où
- Rapidité d'exécution, si mécanisation est possible, avec un prix de revient faible
- Souplesse d'emploi considérable

Puits et tranchées (suite)

Inconvénients :

- Si cohésion insuffisante du terrain, un soutènement s'impose (perte d'information, augmentation du délai et du coût d'exécution ...);
- Présence de nappe à faible profondeur pénalise le recours à ce moyen au-delà d'une certaine cote.

Domaine d'application :

- Études de fondation
- Recherche de matériaux meubles ou alluvionnaires
- Peuvent être utilisés Choix de sites de barrages vue leur coût

Galleries

Objectifs :

- Pratiquement les mêmes que ceux cités précédemment ;
- Accent mis sur la reconnaissance du substratum (nature en vraie grandeur, fracturation, altération, stratification, joints et leur remplissage, % des faciès rencontrés...) ;
- Réalisation des essais aux vérins, essais hydrauliques, petite sismique...

Galerie -suite

Avantages :

- Disponibilités en permanence des observations
- le tracé peut être conduit de manière à s'adapter aux détails structuraux du sous-sol
- Possibilité de réaliser une très vaste gamme d'essais
- Possibilité de réemploi dans les ouvrages définitifs (g. de visite, d'injection ou en galerie de dérivation provisoire après élargissement)

Inconvénients :

- Principal : coût élevé
- Hauteur limitée (de l'ordre de 2,20m) et le tracé ne pourra être très sinueux.

Sondages mécaniques

Objectifs :

- la reconnaissance géologique du terrain en profondeur
- Accent mis sur la reconnaissance du substratum (nature lithologique, stratification, fracturation, altération, joints et leur remplissage, failles, grottes ou grandes fissures ...)

Avantages :

- Possibilité de mise en place d'équipements de mesures (piézométrie, perméabilité, déformations, pressions interstitielles, prélèvement d'échantillons...)
- Peuvent être utilisés pour le Traitement de terrain (injections, drainage) ou le soutènement (ancrages divers)
- Economique, surtout en mode destructif

measures *in situ*

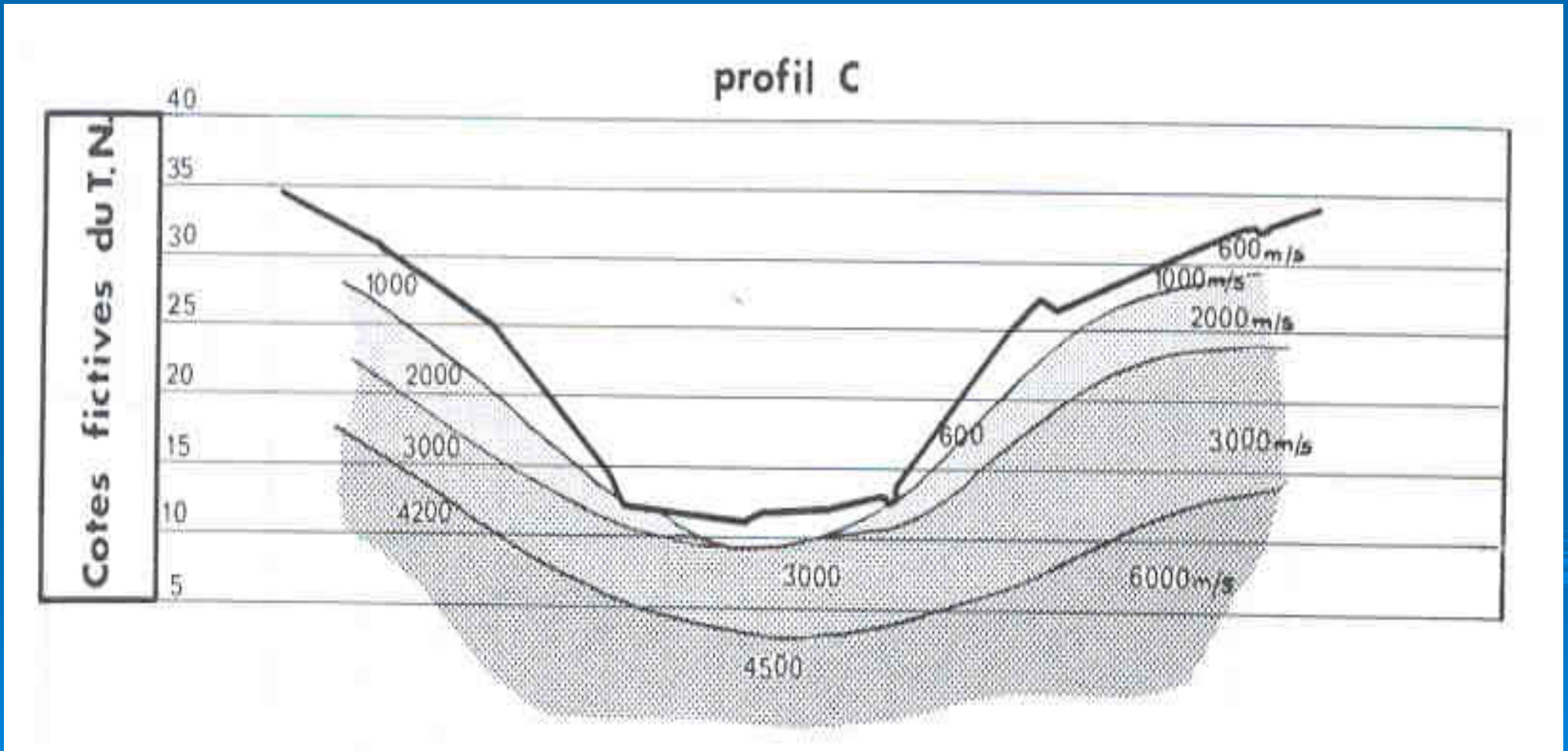
Reconnaitances géophysiques

Ces méthodes permettent de déterminer la nature des couches profondes en utilisant leurs caractéristiques sismiques ou électriques mesurées à l'aide d'appareils disposés à proximité ou à la surface du sol.

La méthode géophysique la plus utilisée est la **sismique réflexion**, elle permet, à partir des profils géophysiques de déterminer les épaisseurs des couches traversées, la position du substratum, la profondeur de l'altération...

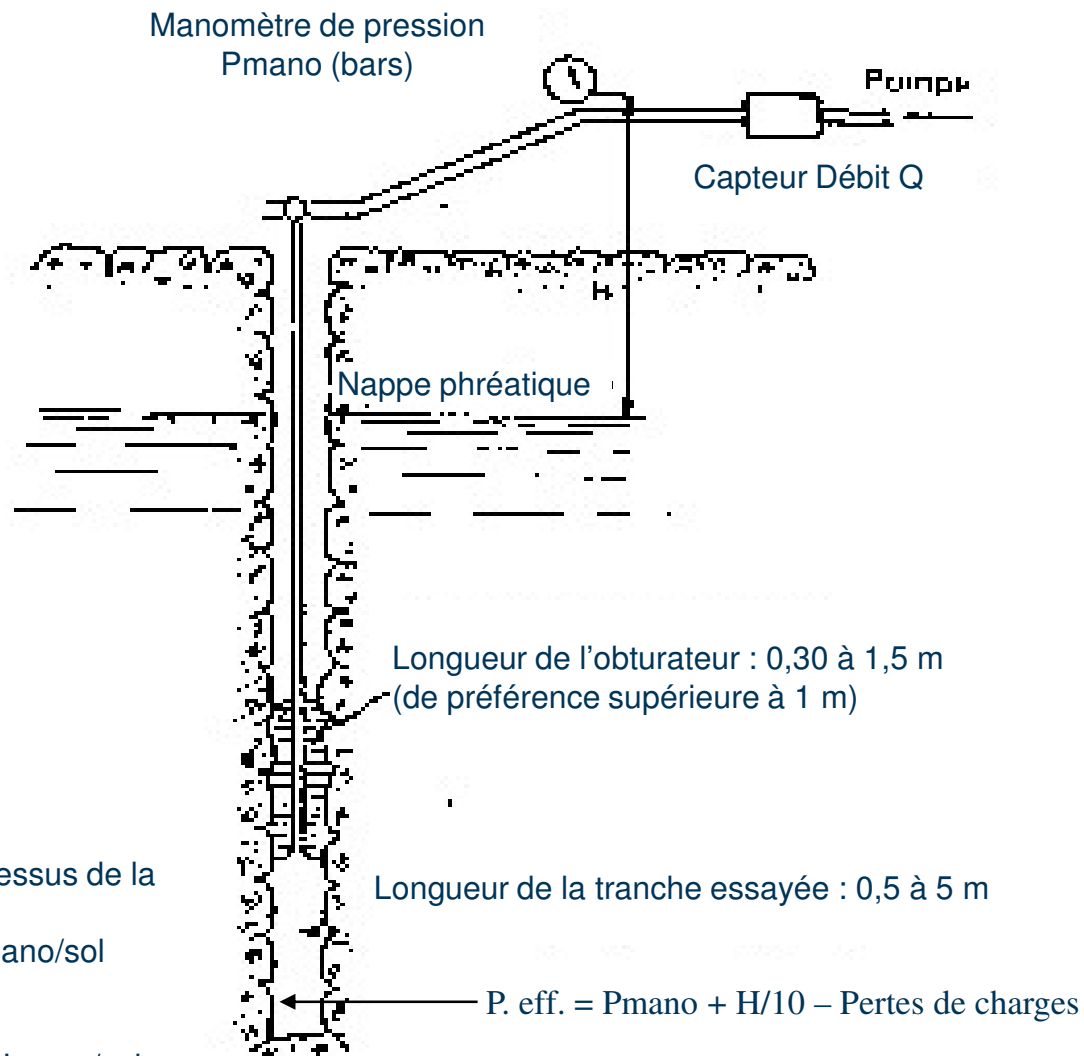
Un substratum sain peut avoir une vitesse sismique de 3000m/s

Sismique réfraction



Essai Lugeon

Principe de l'essai Lugeon



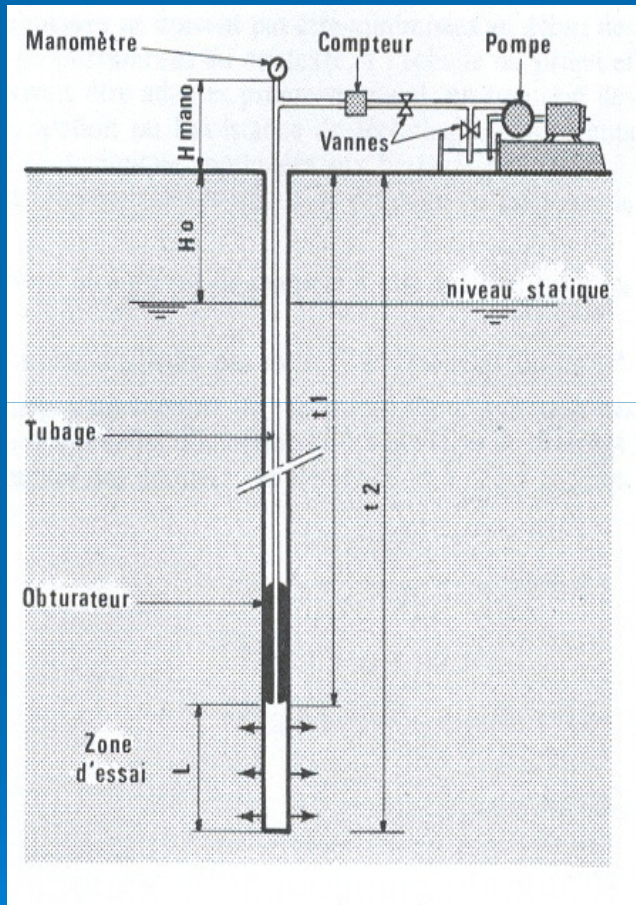
Si le niveau de la nappe est au dessus de la tranche testée :

$H = \text{la prof. de la nappe} + H_{mano}/sol$

Si au dessous :

$H = \text{milieu de la tranche testée} + H_{mano}/sol.$

Essai Lugeon (suite)



- **Objectif** : déterminer le coefficient de perméabilité de la fondation rocheuse (en UL)

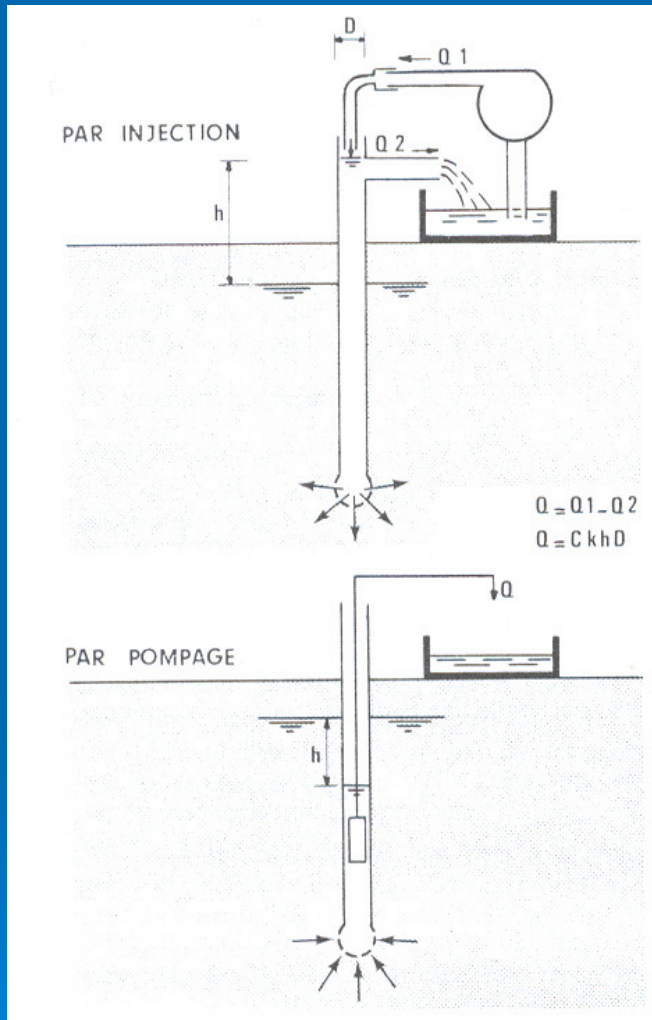
- **Mode opératoire** : injection d'eau sous pression (paliers croissants puis décroissants: PM/3, 2PM/3, PM, 2PM/3, PM/3) pendant 10min. On mesure, pour une pression donnée constante, le débit injecté pendant 10 mn, et ce, jusqu'à PM=10 bars.

- **Interprétation de l'essai** : Absorption sous 10 bars en l/min/ml (1 Lugeon = 10^{-7} m/s), Absorption totale, Refus, claquage, bourrage, comportement élastique...

- ✓ Répartition de la perméabilité dans la fondation (H et V) pour dégager un horizon étanche (< 5 UL).

- ✓ Conception du voile d'injection (géométrie, profondeur, espacement entre sondages, contrôle, paramètres d'injection...).

Essai Lefranc



- **Objectif** : déterminer le coefficient de perméabilité en terrain **meuble**.

- **Mode opératoire** : Essai à niveau constant, ou variable

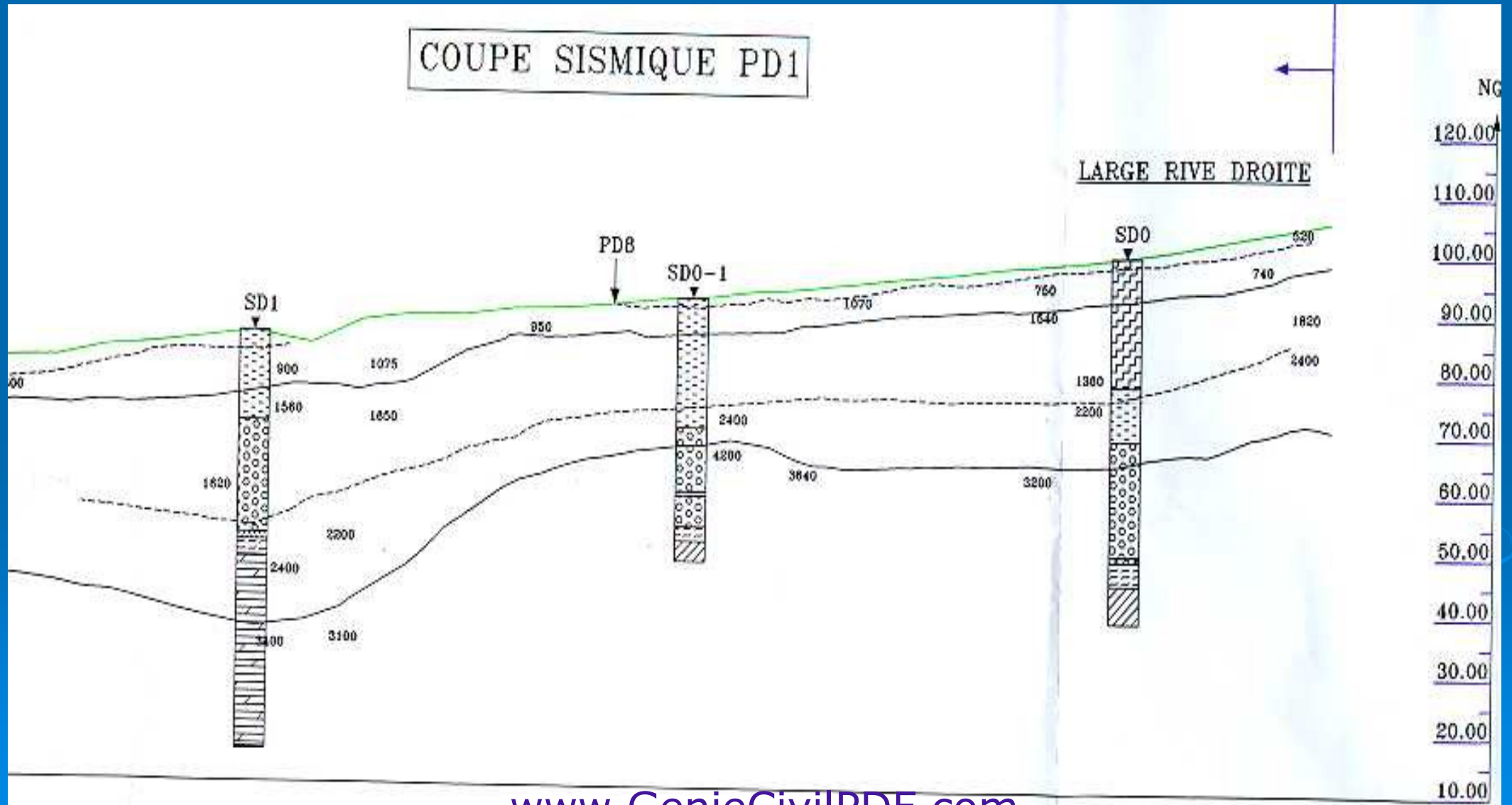
- $Q = k.C. h$ (C : coefficient de poche)

- **Exploitation de l'essai** :

- Estimation des fuites par infiltration
- Conception de l'organe d'étanchéité de la fondation (tranchée parfoilles, paroi-moulée...)

*SYNTHÈSE
ET
EXPLOITATION DES
RÉSULTATS*

Complémentarité entre Sondage - Sismique réfraction



Conséquences sur le projet

- Type de barrage (Rigide ou souple)
- Implantation exacte
- Emplacement adéquat de l'évacuateur de crues
- Niveau de fondation (profondeur à excaver pour atteindre rocher sain)
- Pentes des talus d'excavation
- Définition des traitements et de leurs caractéristiques

EXEMPLES DE TRAITEMENTS

Traitements

Suite aux résultats de l'étude géologique plusieurs types de traitements sont effectués pour améliorer les caractéristiques mécaniques et hydrauliques de la fondation :

- Dégagement des alluvions et du rocher fortement altéré
- Injection de consolidation
- Installation de câbles précontraints ...

Traitements

- Soutènement des talus par ancrage
- Soutènement superficiel par Béton projeté et treillis soudés ...
- Stabilisation par remblai voire ouvrage en béton
- Ceintrage d'une galerie instable

Traitements

➤ Injection d'étanchéité :

- Géométrie du voile d'étanchéité, profondeur de traitement, espace entre forages (maille finale)
- méthode d'injection, paramètres d'injection et type de coulis

➤ Parois moulée

➤ Tapis limoneux

➤ Voile de drainage :

- configuration géométrique et profondeur des forages
- Équipement des forages

➤ Puits filtrant

➤ Tranchée drainant ...