

## 1. Principe

Un tube piézométrique est un tube mis en place dans une cavité artificielle et remplie d'un matériau perméable permettant la détermination du niveau piézométrique. Le tube piézométrique ouvert est placé dans un terrain dont la perméabilité globale estimée est supérieure ou égale à  $1 \times 10^{-7}$  m/s.

## 2. L'appareillage

### 2.1 Piézomètre

Le piézomètre comprend les éléments suivants :

- des tubes rectilignes de **diamètre intérieur supérieur à 20 mm**,
- un bouchon placé en partie inférieure du tube piézométrique,
- une crépine qui participe à la fonction de mesure en laissant passer l'eau du terrain vers l'intérieur du tube. La surface perforée doit être au moins 10 % de la surface latérale extérieure sur la surface extérieure sur la hauteur crépinée. La **hauteur crépinée** doit être égale ou supérieure à **1 m**.
- un filtre ou à défaut un géotextile enrobant la partie crépinée,
- un couvercle amovible de protection de la partie supérieure du tube permettant, même en position fermée, une mise à la pression atmosphérique de l'intérieur du tube.
- un dispositif de sécurité de fixation du bouchon.

### 2.2 Dispositif de mesure du niveau piézométrique

La mesure est effectuée par l'un des dispositifs suivants :



- soit par un **détecteur de niveau d'eau** qui est descendu dans le tube à chaque mesure  
Lorsque la sonde atteint la surface de l'eau, un contact électrique s'établit entre les électrodes, déclenchant un signal sonore et/ou lumineux. La profondeur peut alors être lue sur le ruban gradué.

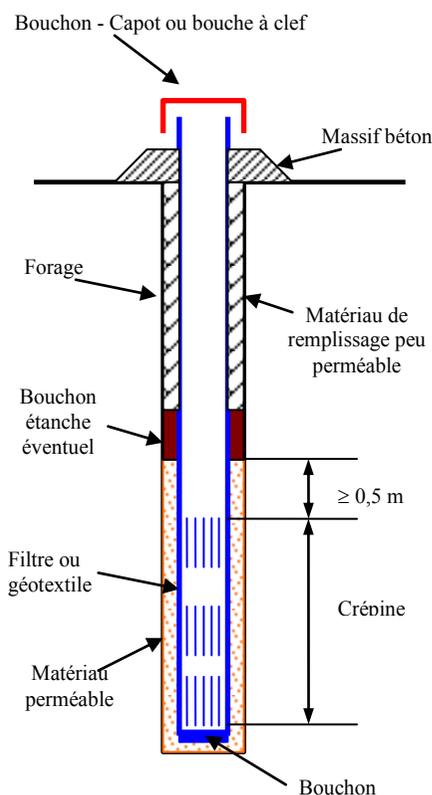
- soit par un **capteur de pression** immergé en permanence à une profondeur connue dans le tube piézométrique.  
Un enregistreur configurable mémorise et contrôle les valeurs mesurées dans une mémoire importante. On peut également enregistrer la température de nappe.

## 3. Mode opératoire de pose

### 3.1 Préparation de la cavité

Le diamètre du forage doit être supérieur d'au moins **5 cm** à celui extérieur du tube piézométrique. La cavité est exécutée :

- soit par forage exécuté à l'abri d'un tubage provisoire si la tenue des terrains n'est pas assurée. Le **forage à la boue**, même biodégradable est **exclu**, sauf accord préalable du donneur d'ordre,
- soit par passage préalable d'un mandrin battu, foncé ou vibrofoncé, uniquement dans le cas de terrains graveleux bouillants et sous la nappe.



### 3.2 Espace annulaire

- remplissage entre le tube piézométrique et le terrain avec un matériau perméable sur la hauteur de la partie crépinée augmentée de 0,5 m au moins
- la partie supérieure du forage est comblée par un matériau peu perméable
- Dans le cas où il est nécessaire d'isoler la partie crépinée du reste de la cavité, le remplissage du forage au dessus de la partie crépinée est poursuivi :
  - a) Soit par un coulis plastique constitué d'un mélange eau-ciment-argile
  - b) Soit avec des granules d'argile expansive

### 3.3 Nettoyage et protection du tube

Le tube piézométrique est nettoyé par émulsion d'air ou par lavage.

## 4. Mesures

Un délai de repos d'au moins un jour pour les sols perméables et d'au moins une semaine pour les sols peu perméables ( $k < 1 \times 10^{-5}$  m/s) est à observer après la mise en place du tube piézométrique. Dans le cas de sols peu perméables, la vérification du fonctionnement du piézomètre doit être faite en le vidant et en observant la remontée de l'eau.

### 1. Principe de l'essai

L'essai d'eau LEFRANC est un essai en place qui permet de déterminer la valeur du **coefficient perméabilité locale ( $k_L$ )**, qui peut être nettement différent du coefficient de perméabilité en grand

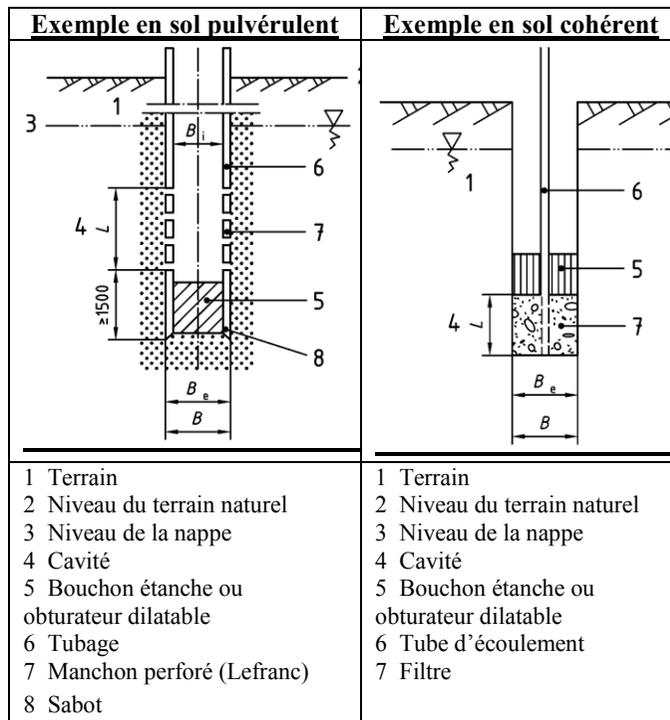
Il s'applique à tous les sols fins ou grenus **sous la nappe**, dont le coefficient de perméabilité présumé est supérieur à une valeur de l'ordre de  **$1.10^{-6}$  m/s**. Il peut être réalisé dans les sondages de reconnaissance au fur et à mesure de l'avancement.

L'essai Lefranc consiste à injecter ou à pomper de l'eau dans une cavité de forme invariable appelée **lanterne**, ouverte dans le terrain (contenant la nappe), dont on veut connaître la perméabilité et à mesurer la variation de charge et de débit correspondant. Cet essai est souvent pratiqué pendant l'exécution d'un sondage et la cavité est limitée par le fond et une partie de la paroi du sondage.

On distingue deux types d'essai Lefranc :

- **l'essai à niveau constant** : on pompe ou on injecte de l'eau à débit constant dans la cavité jusqu'à stabilisation du niveau dans le forage. Seules des mesures après stabilisation sont retenues pour la détermination du coefficient de perméabilité. Ce type d'essai est réalisé dans les sols perméables (généralement  $k > 10^{-4}$  à  $10^{-5}$  m/s)
- **l'essai à niveau variable** : on pompe ou on injecte (essai par abaissement ou par remontée) un volume d'eau dans une cavité. On suit, en fonction du temps, les variations du niveau dans le tube piézométrique. Ce type d'essai est réalisé dans les sols peu perméables.

Le forage de la cavité doit être réalisé exclusivement à l'eau claire ou à l'air. Pour la confection de la cavité on distinguera le cas des **sols pulvérulents** ou **boulants** de celui des **sols cohérents**



### 2. Dépouillement de l'essai

Le coefficient de perméabilité Lefranc  $k_L$ , exprimé en mètres par seconde, à partir de la formule :

- en régime permanent :  $k_L = \frac{Q_a}{m.h.B}$

- en régime transitoire :  $k_L = \frac{Q(t)}{m.h(t).B}$

- $Q_a$  : débit constant d'extraction ou d'apport d'eau dans le forage
- $Q(t)$  : débit percolant à travers la paroi de la cavité à un instant donné
- $h(t)$  : variation de la charge hydraulique
- $B$  : diamètre de la cavité
- $L$  : longueur de la cavité
- $m$  : facteur qui ne dépend que de la forme de la cavité et de la position de cette dernière par rapport aux limites de l'aquifère.

$c = L/B$	$m_0$
$c > 10$	$\frac{2.\pi.c}{\ln(2.c)}$
$1,2 \leq c \leq 10$	$\frac{2.\pi.c}{\ln(c + (c^2 + 1)^{0,5})}$
$0 \leq c \leq 1, \square$	$2 + 4,5.c$

Cavité éloignée des limites de l'aquifère	$m = m_0$
Cavité proche du substratum imperméable avec $H \leq H_w$	$1/m = [1/m_0] + B/[8.\pi.H]$
Cavité proche de la surface de la nappe avec $H_w \leq H$	$1/m = [1/m_0] + B/[8.\pi.H_w]$
Cavité proche de la surface d'un sol situé sous la nappe	$1/m = [1/m_0] + B/[8.\pi.H_c]$
	1 Terrain 2 Niveau du terrain naturel 3 Niveau de la nappe 4 Substratum imperméable 5 Niveau du plan d'eau

#### Phase transitoire - terrain perméable ( $k \geq 10^{-5}$ m/s) :

Equation de l'écoulement :  $h(t) = \left( \frac{Q_a}{S} - \frac{dh}{dt} \right) \cdot \frac{S}{m.k_L.B}$

-  $S$  : section transversale intérieure du tube d'écoulement

#### Phase transitoire en terrain peu perméable ( $k < 10^{-5}$ m/s)

$Q_a = 0 \rightarrow Q(t) = -S \cdot \frac{dh}{dt} = k_L \cdot h(t) \cdot m \cdot B$  Le tracé de

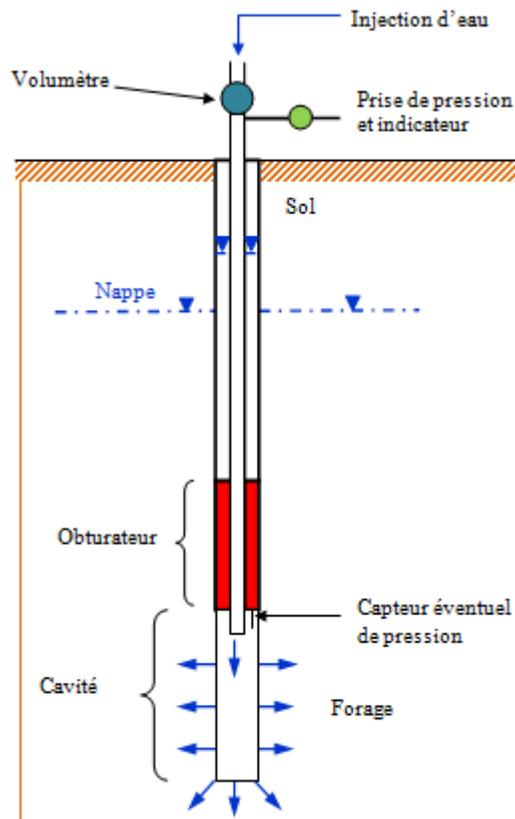
$\frac{dh}{dt}$  en fonction de  $h(t)$  donne des points à peu près alignés.

$\rightarrow$  à partir de la pente  $a$  de la droite on obtient :  $k_L = a \cdot \frac{S}{m.B}$

## 1. Principe de l'essai

L'essai d'eau Lugeon est un essai en place réalisé en sondage. Il s'applique **au rocher** et aux sols cohérents de résistance mécanique compatible avec la pression d'eau imposée pendant l'essai.

Il consiste à injecter de l'eau sous pression dans une cavité constituée d'une portion de forage de dimensions connues, et à mesurer le débit d'injection pour différents paliers de pression, pendant un temps donné.



## 2. Appareillage

Outre le matériel de forage, il faut disposer pour réaliser l'essai d' :

- **un système d'obturation** d'une longueur supérieure ou égale à 10 fois le diamètre du forage avec une longueur minimale de 1 m. Il est dilaté par injection d'un fluide sous pression,

- **un dispositif d'injection d'eau** avec une pompe permettant un débit de 100 l/min sous une pression de 1,1 MPa, un jeu de vannes pour réglage du débit et une réserve d'eau clair d'au moins 1 m<sup>3</sup>.
- **un système de mesure** avec un compteur volumétrique, un capteur de pression de l'eau injectée, une sonde permettant la mesure de la profondeur du niveau d'eau, un chronomètre, un capteur de la pression du fluide injecté dans l'obturateur.

## 3. Mode opératoire

### Niveau statique

Le niveau statique de la nappe est celui qui règne avec le forage d'essai.

### Confection de la cavité

En l'absence d'indication sa hauteur est de 3 m et son diamètre est d'entre 75 mm et 140 mm. Le fluide de forage utilisé est l'eau claire ou l'air. Le forage est nettoyé par lavage avant essai afin d'éliminer les particules dues à la perforation. L'isolation de la partie supérieure du forage est réalisée à l'aide de l'obturateur dilatable.

### Déroulement de l'essai

L'eau est injectée dans la cavité sous les pressions de 0,2 MPa - 0,4 MPa - 0,6 MPa - 0,8 MPa et 1 MPa. Ensuite les pressions sont décroissantes : 0,7 MPa - 0,5 MPa - 0,3 MPa - 0,1 MPa.

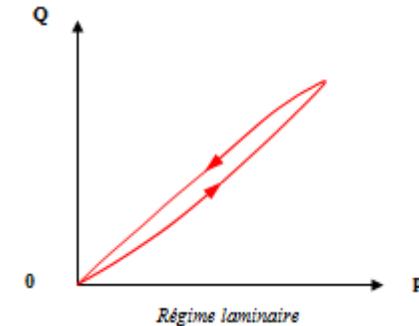
Durant chaque palier, la pression est maintenue constante pendant 10 minutes et les volumes injectés sont mesurés toutes les minutes.

Au cours de chaque palier croissant ou décroissant sont contrôlés, la pression ( $p_g$ ) sur le circuit de l'obturateur et le niveau de l'eau au-dessus de la cavité.

## 4. Interprétation des résultats

Le tracé de la courbe pression-débit permet d'estimer l'état de fissuration du massif rocheux.

Si l'écoulement est laminaire, la courbe débit pression passe par l'origine et présente une allure à peu près linéaire, légèrement concave vers les débits croissants.



Dans la pratique, on constate souvent que les courbes pression-débit sont loin de présenter des allures régulières compte tenu des variations du régime d'écoulement (laminaire ou turbulent), du colmatage et du décolmatage des fissures et de l'ouverture de celles-ci qui peut augmenter avec la pression d'injection. Il existe un certain nombre de diagrammes permettant d'interpréter ces phénomènes.

Le résultat de l'essai d'eau se traduit par un paramètre **d'absorption d'eau** qui s'exprime en unité **Lugeon** et qui correspond au débit moyen injecté sous une pression de **1 MPa**, exprimé en litres par minutes et ramené à un mètre de forage.  $U_L = \frac{Q_1}{L}$  avec L : longueur de la cavité

Si le débit ramené à 1,0 m de forage est de **n** litres/minute on dira que la perméabilité de la roche est de **n** lugeons.

Dans le cas où il est observé un point de brisure sur la courbe pression-débit ou si le palier de 1 MPa ne peut être atteint, l'essai doit faire l'objet d'une interprétation particulière.

## 5. Limite d'exploitation des résultats

Les lois qui régissent la circulation de l'eau dans une roche peuvent être très différentes de celles d'un sol, car la perméabilité d'une roche est une perméabilité de fissures, et quelques fois même de chenaux, alors que celle d'un sol est une perméabilité d'interstices.

La distribution des fissures, leur épaisseur, remplissage et leur orientation (verticale, horizontale, inclinée) ont donc un rôle très important sur les résultats des mesures. L'uniformité de la fissuration ne peut être appréciée que par plusieurs essais répartis tant en plan qu'en profondeur.

En première approche il est admis la relation Lugeon - perméabilité **k** du terrain : **1 Lugeon  $\approx 10^{-7}$  m/s**