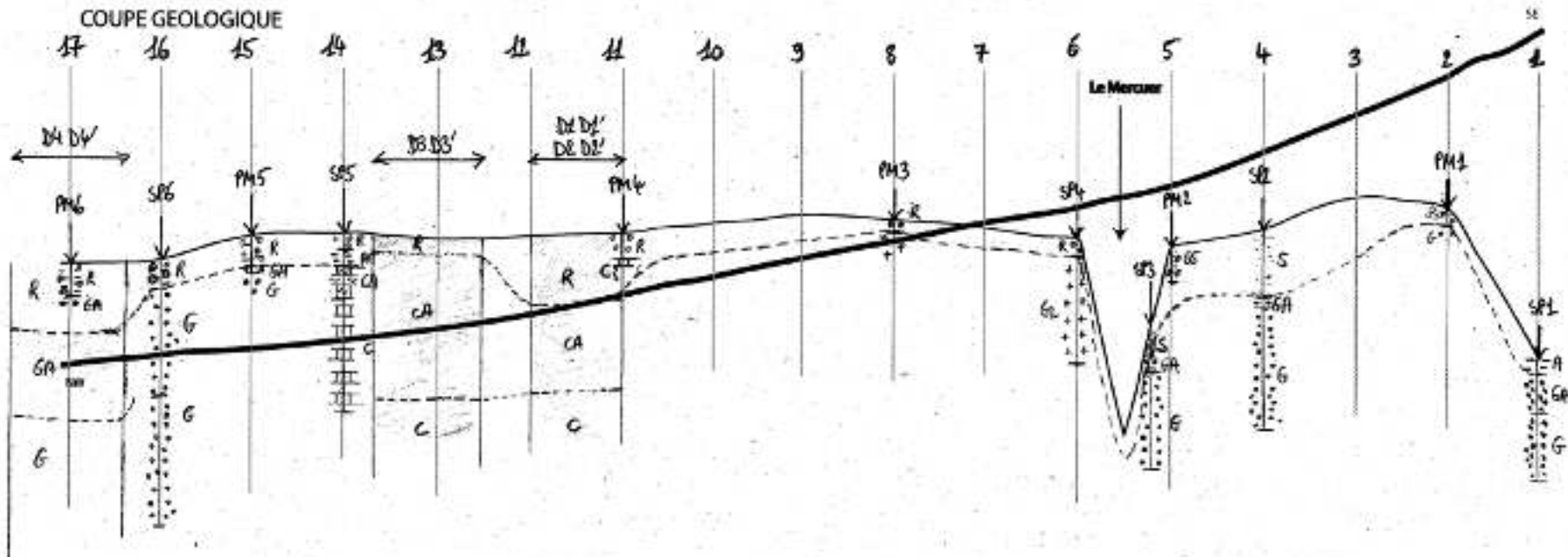


Cours n°2 : analyse géologique

RN 102 : DEVIATION DE LABEGUDE

Avant projet sommaire

COUPE GEOLOGIQUE



R : REMBLAI + FORMATIONS SUPERFICIELLES

GA : GRÈS ALTÉRÉ

G : GRÈS SAIN

CA : CALCAIRE ALTÉRÉ

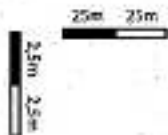
C : CALCAIRE SAIN

GA : GRANITE SAIN

S : SABLE

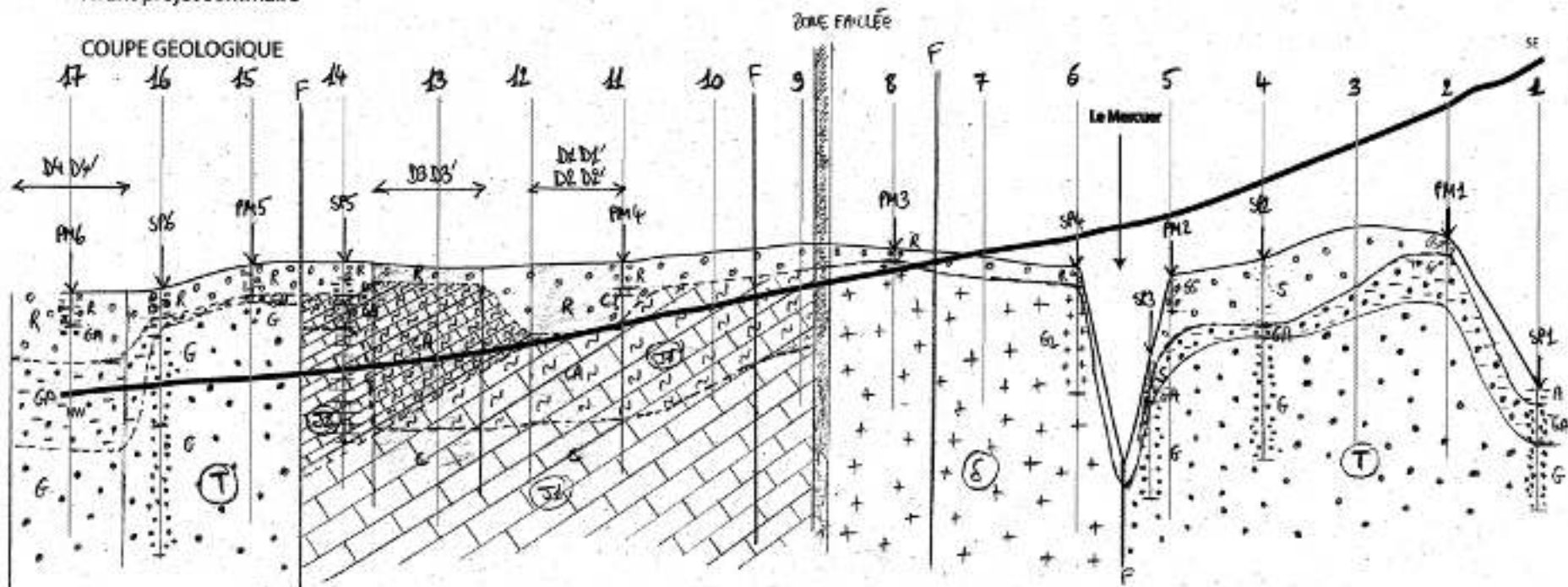
GS : GRAVE SABLEUSE

A : ARGILE

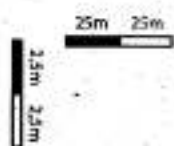


RN 102 : DEVIATION DE LABEGUDE
 Avant projet sommaire

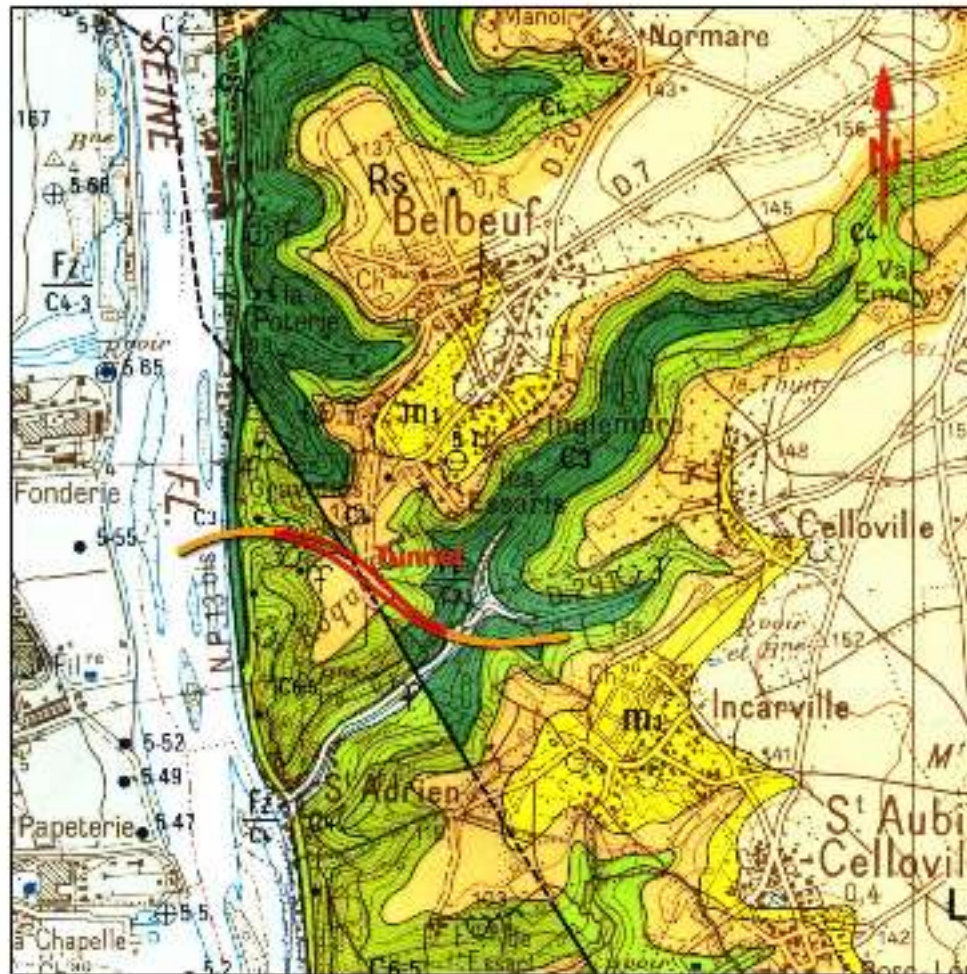
COUPE GEOLOGIQUE



- R: REMBLAI + FORMATIONS SUPERFICIELLES
- GA: GRÈS ALTÉRÉ
- G: GRÈS SAIN
- CA: CALCAIRE ALTÉRÉ
- C: CALCAIRE SAIN
- Gm: GRANITE SAIN
- S: SABLE
- GS: GRAVE SABLEUSE
- A: ARGILE



Cours n°3 : géophysique et applications

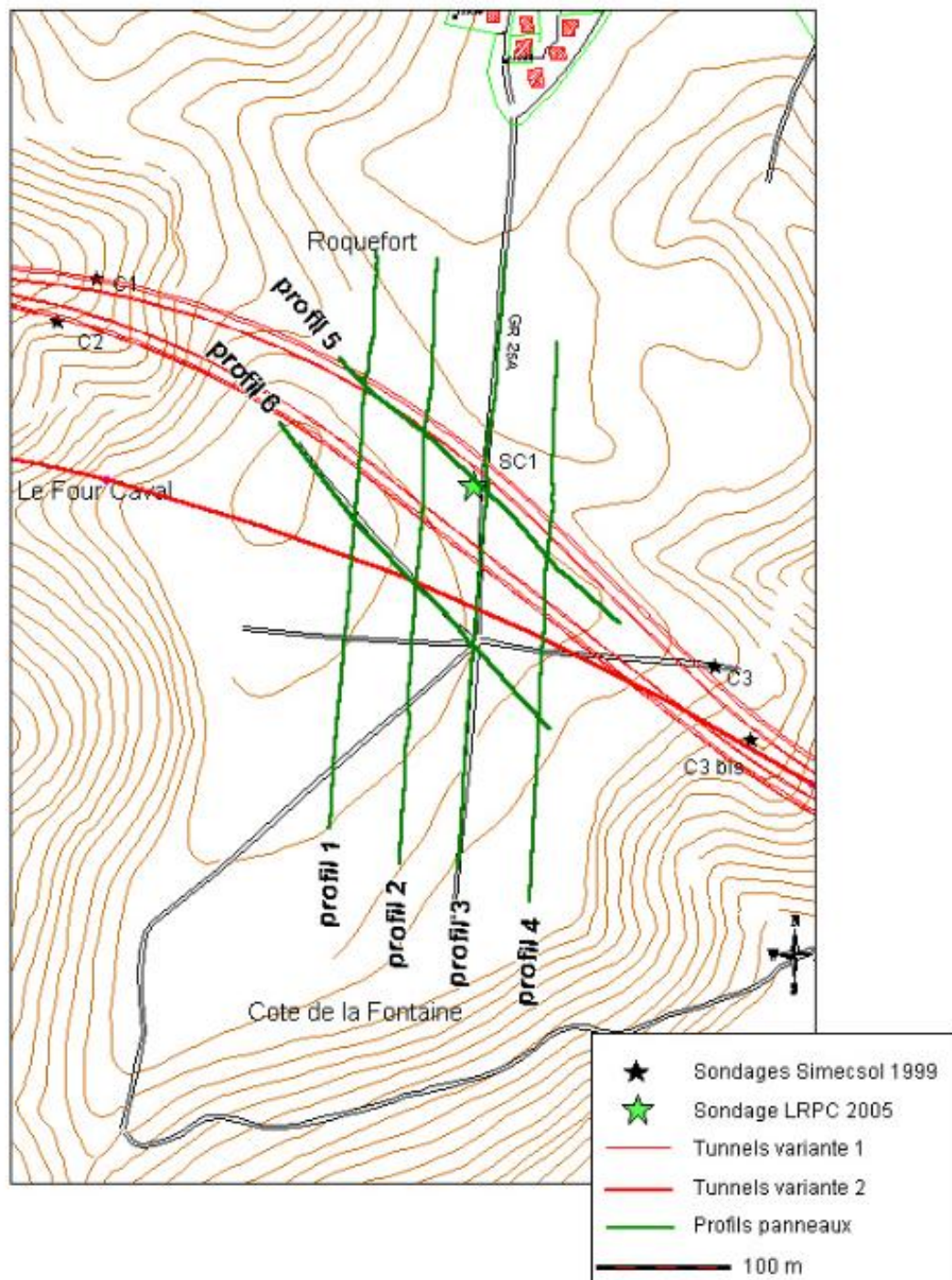


Légende sommaire

LP - Limons des plateaux
 LV - Limons des fonds de vallées sèches
 Rs - Formations à silex
 Fz - Alluvions modernes

M1 - Burdigalien : sable à faciès "gros sel"
 C6-5 - Campanien, Santonien : craie blanche à silex traçants
 C4 - Coniacien : craie jaunâtre à silex dolomitique
 C3 - Turonien : craie marmorée à silex rares
 C2 - Cénomarien : craie glauconieuse grise

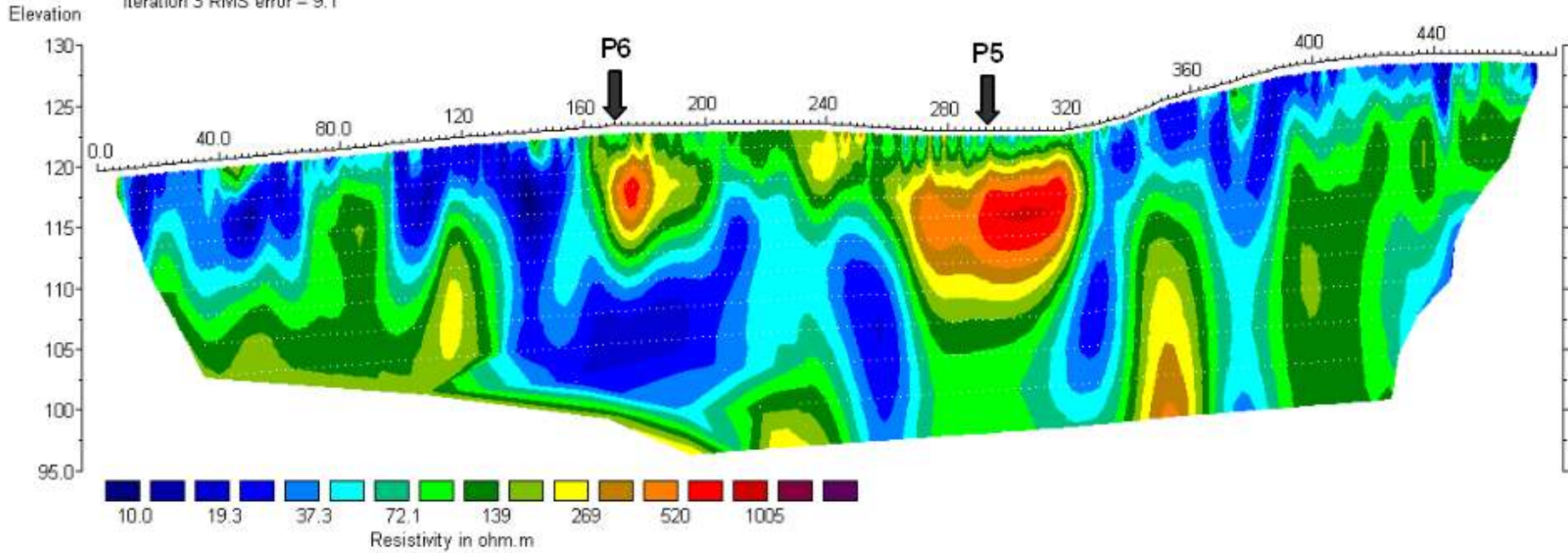
Falaise de Seine --- (occidentale) — (orientale)
 ~~~~~ Carrières

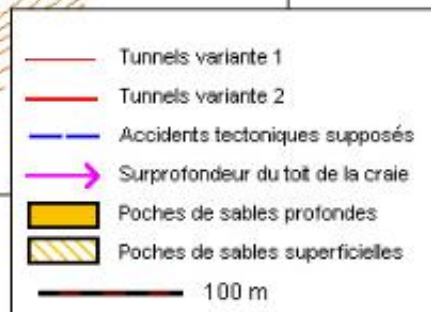
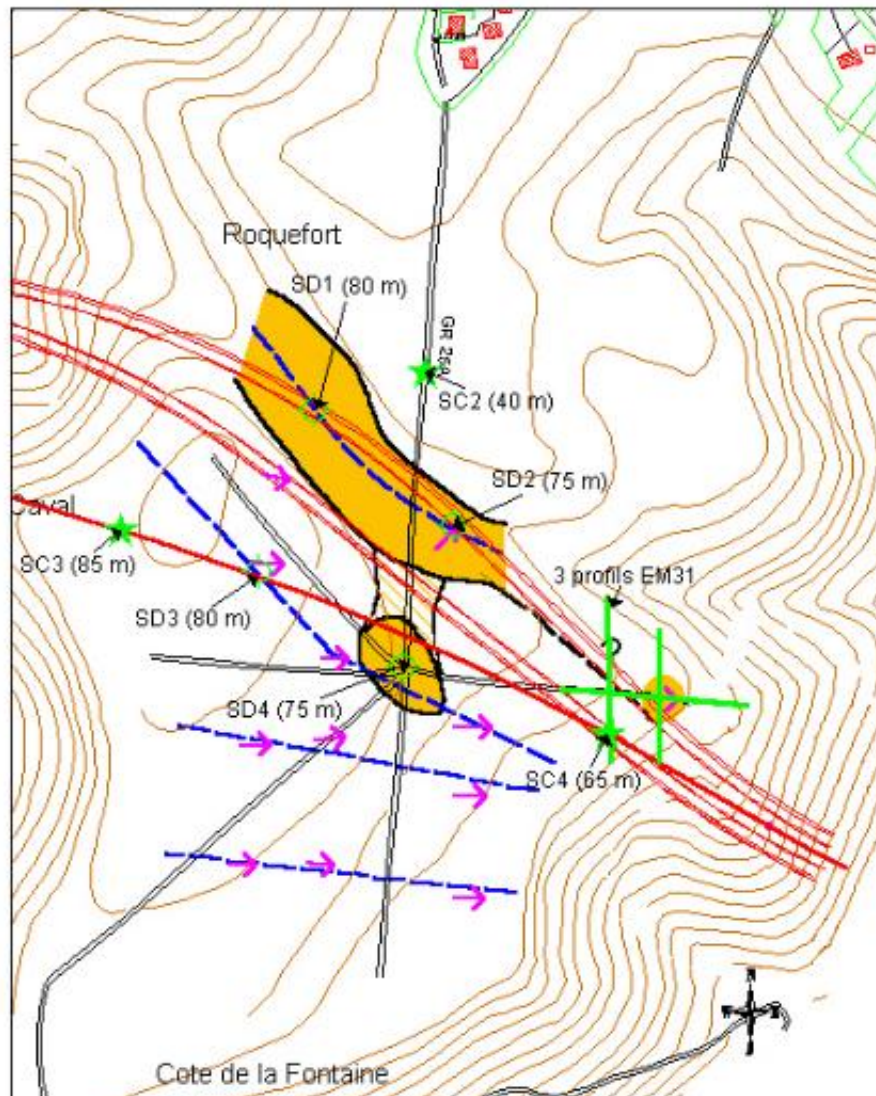




**Profil 3**

Model resistivity with topography  
Iteration 3 RMS error = 9.1





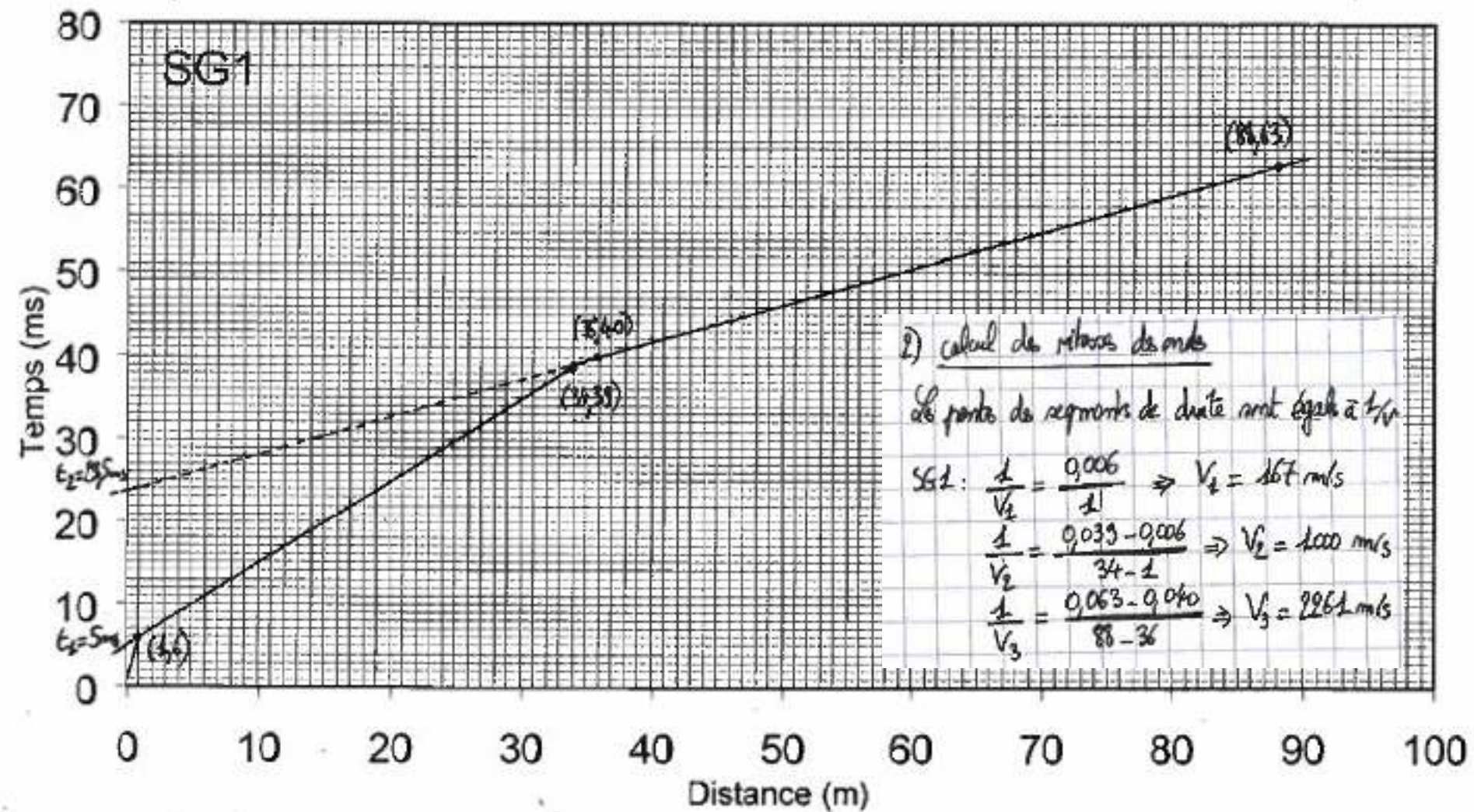
1) formations géologiques rencontrées

\* formations superficielles meubles

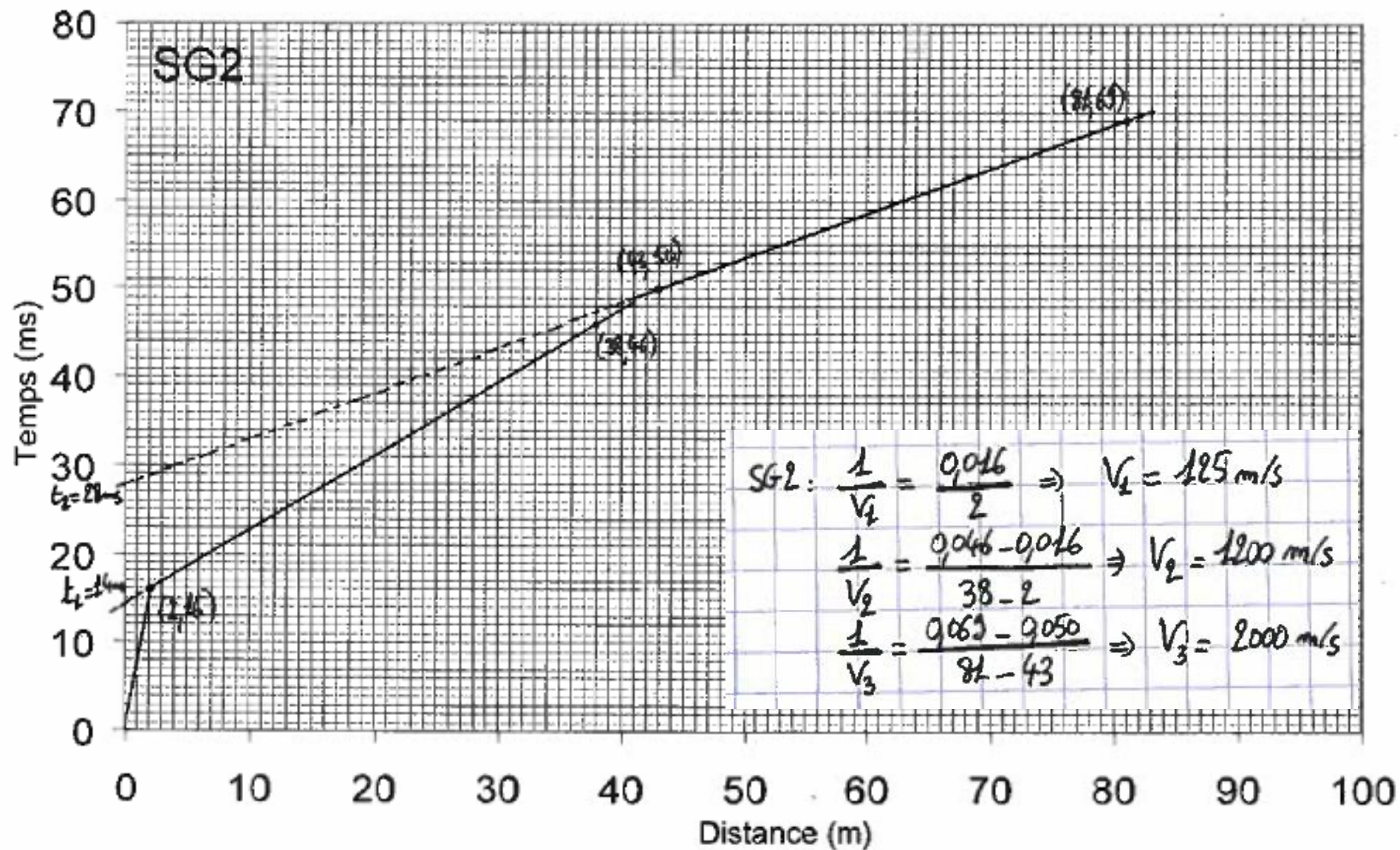
- alluvions

- terranis de couverture (altération, formations superficielles de pente)

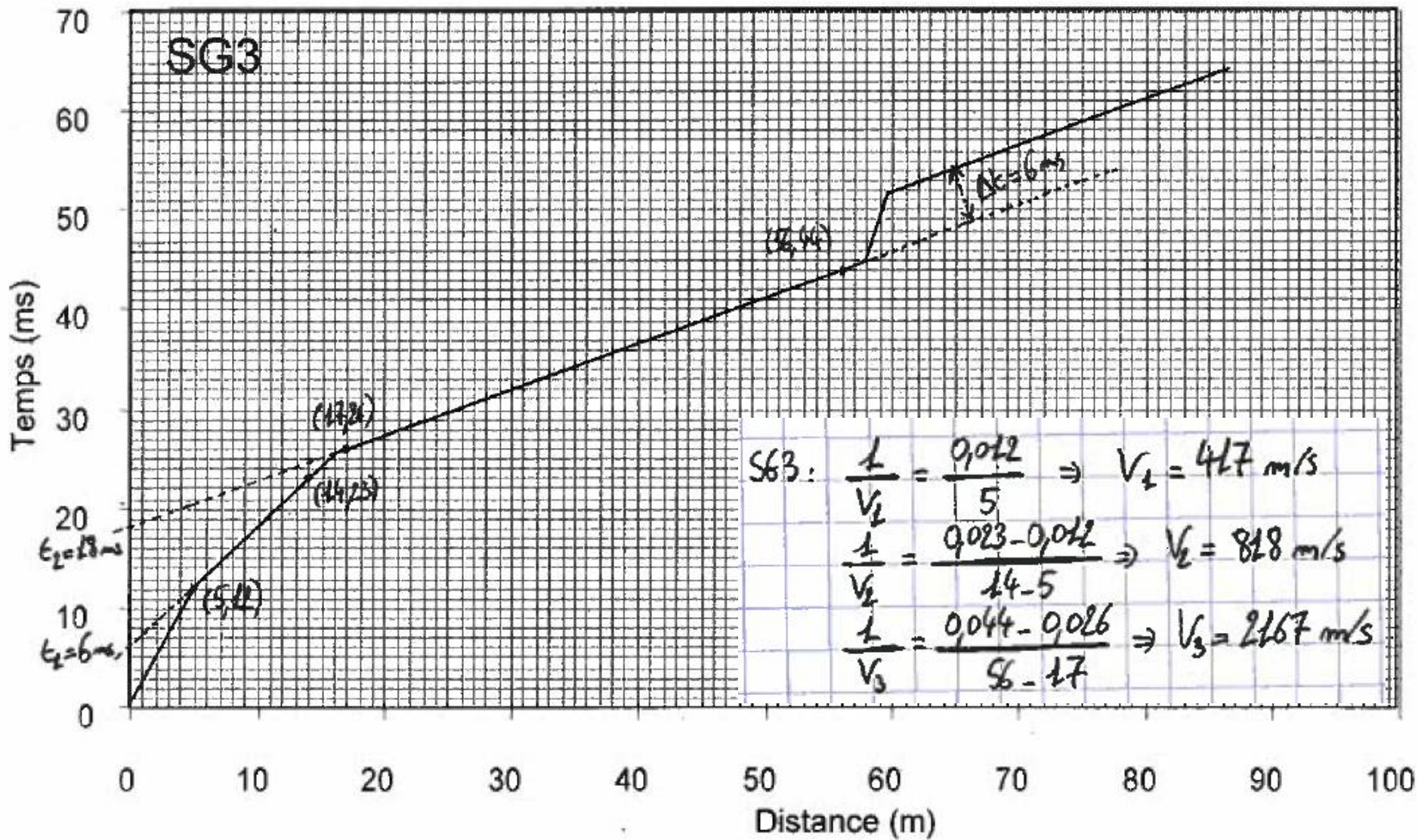
\* roches : calcaires, marbres et grès







SG3



3) calcul de l'épaisseur des couches

$$\text{S61: } \left. \begin{aligned} t_2 &= \frac{2R_2 \cos i_{12}}{V_1} \\ \text{sin } i_{12} &= \frac{V_1}{V_2} \end{aligned} \right\} R_2 = \frac{t_2 V_2}{2 \cos(\arcsin \frac{V_1}{V_2})}$$

$$\Rightarrow R_2 = \frac{0,005 \times 167}{2 \cos(\arcsin \frac{167}{1000})} = \underline{0,42 \text{ mm}}$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{t_2}{2} &= \frac{R_2 \cos i_{23}}{V_1} + \frac{R_2 \cos i_{23}}{V_2} \\ \text{sin } i_{23} &= \frac{V_1}{V_3} \quad \text{sin } i_{23} = \frac{V_2}{V_3} \end{aligned} \right.$$

$$\Rightarrow R_2 = \frac{V_2}{\cos(\arcsin \frac{V_1}{V_3})} \left( \frac{t_2}{2} \frac{R_2 \cos(\arcsin \frac{V_1}{V_3})}{V_2} \right)$$

$$\Rightarrow R_2 = \frac{1000}{\cos(\arcsin \frac{1000}{1167})} \left( \frac{0,0235}{2} - \frac{0,42 \cos(\arcsin \frac{167}{1000})}{167} \right)$$

$$\Rightarrow \underline{R_2 = 10,30 \text{ m}}$$

$$SG2: h_2 = \frac{0,014 \times 125}{2 \cos(\arcsin(\frac{125}{200}))} = \underline{0,88 \text{ m}}$$

$$h_2 = \frac{1100}{\cos(\arcsin(\frac{1100}{2000}))} \left( \frac{0,028}{2} - \frac{0,88 \times \cos(\arcsin(\frac{125}{200}))}{125} \right)$$

$$\Rightarrow \underline{h_2 = 10,46 \text{ m}}$$

$$SG3: h_2 = \frac{0,006 \times 427}{2 \cos(\arcsin(\frac{427}{818}))} = \underline{1,45 \text{ m}}$$

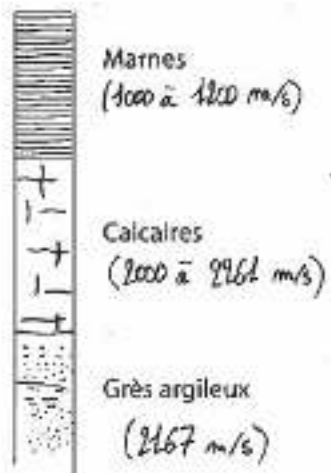
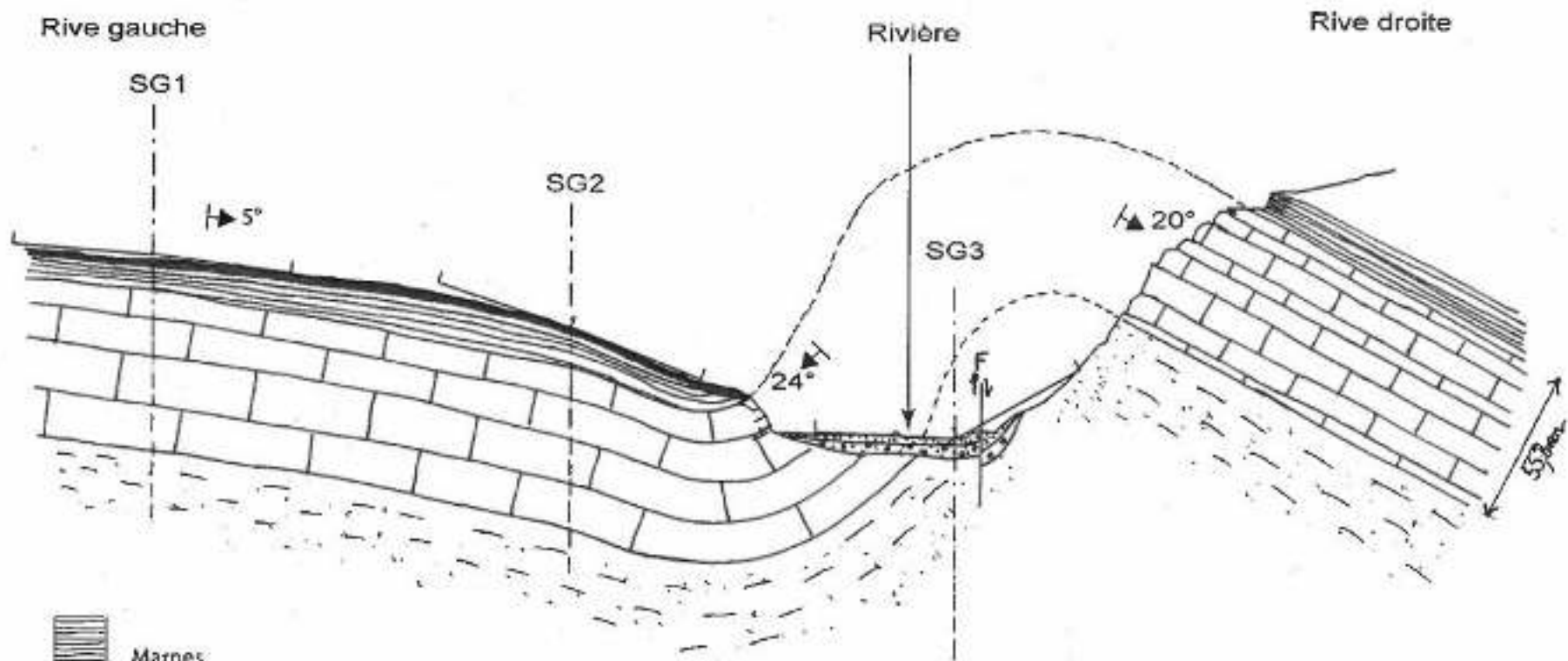
$$h_2 = \frac{818}{\cos(\arcsin(\frac{818}{2167}))} \left( \frac{0,018}{2} - \frac{1,45 \times \cos(\arcsin(\frac{427}{818}))}{427} \right)$$

$$\Rightarrow \underline{h_2 = 4,94 \text{ m}}$$

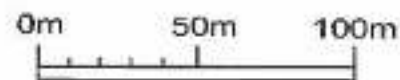
\* calcul du débrèvement:

$$z = \frac{\Delta E V_2 V_1}{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}} = \frac{0,006 \times 427 \times 818}{\sqrt{818^2 - 427^2}}$$

$$\underline{z = 2,97 \text{ m}}$$



- FORMATIONS SUPERFICIELLES DE RENTE (125 à 167 m/s)
- ALLUVIONS RÉCENTES FINES (447 m/s)
- ALLUVIONS ANCIENNES GROSSIÈRES (818 m/s)



## Cours n°4 : étude hydrogéologique

POMPAGE À DÉBIT  $Q$  CONSTANT À LA DESCENTE:

MÉTHODE D'APPROXIMATION LOGARITHMIQUE DE JACOB

$$s = \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{2,25 T t}{x^2 S}$$

$$s = \frac{0,183 Q}{T} \log t + \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{2,25 T}{x^2 S}$$

$$s = A \log t + B$$

$$\Rightarrow A = \frac{0,183 Q}{T}$$

$$\Rightarrow B = \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{2,25 T}{x^2 S}$$

$Q$  = débit constant

$T$  = transmissivité (= constante par l'aquifère)

$S$  = coefficient d'emmagasinement  
(= constante par l'aquifère)

$x$  = distance entre le puits et le piézomètre  
(= constante par un piézomètre)

$t$  = temps écoulé depuis le début du pompage

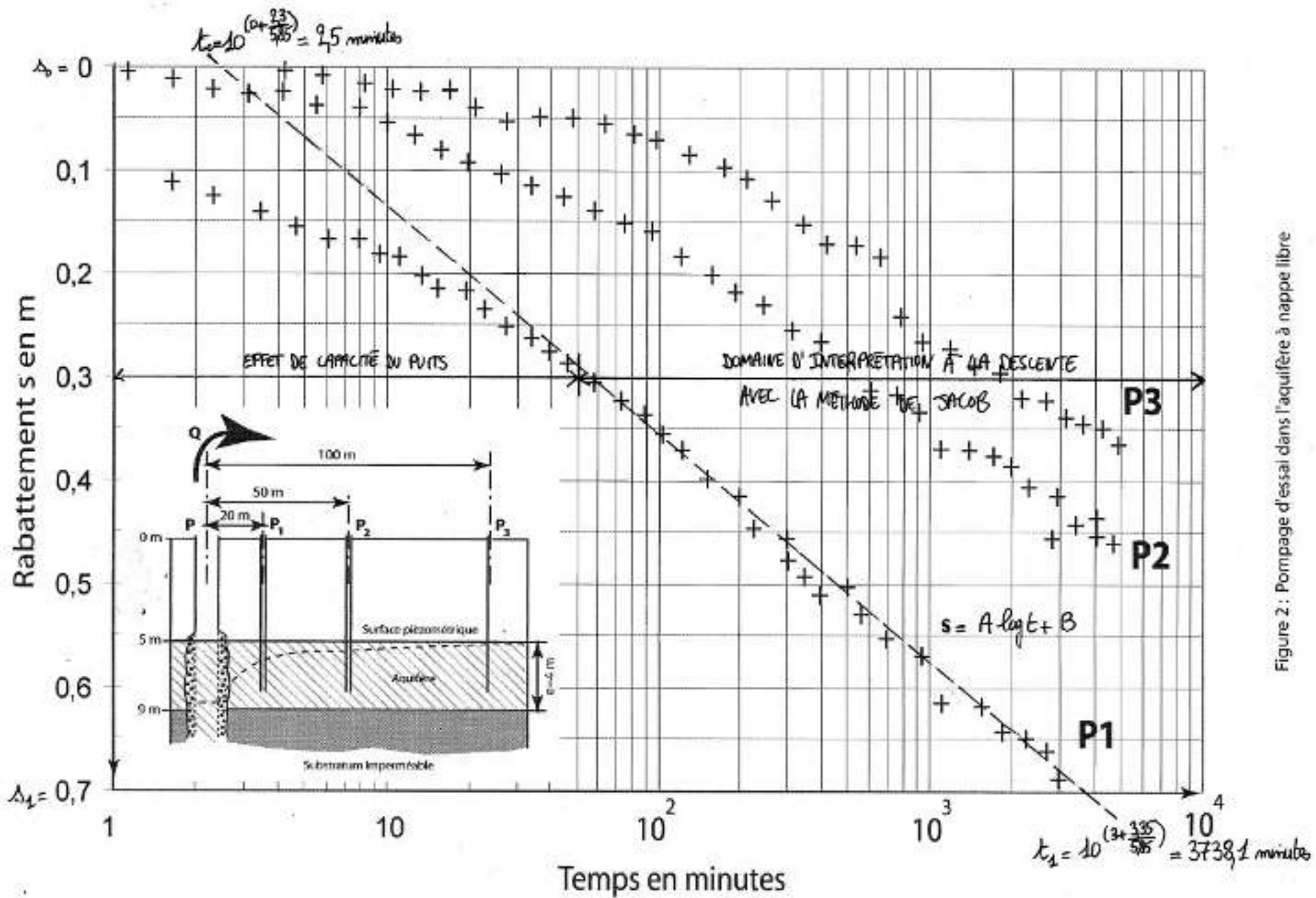


Figure 2 : Pompage d'essai dans l'aquifère à nappe libre

$$\begin{cases} t_0 = 2,5 \text{ minutes} = 150 \text{ segundos} \\ \Delta_0 = 0 \text{ m} \end{cases}$$

$$\begin{cases} t_1 = 3738,1 \text{ minutes} \\ \Delta_1 = 0,7 \text{ m} = 224 \text{ 286 segundos} \end{cases}$$

$$Q = 328 \text{ m}^3/\text{h} = 0,091 \text{ m}^3/\text{s} = 91 \text{ L/s}$$

$$\Rightarrow A = \frac{\Delta_1 - \Delta_0}{\log t_1 - \log t_0} = \frac{0,7 - 0}{\log 224 \text{ 286} - \log 150} = 0,22 \text{ m}$$

$$\Rightarrow A = \frac{0,183 Q}{T} = 0,22 \text{ m}$$

$$\hookrightarrow T = \frac{0,183 Q}{A} = \frac{0,183 \times 0,091 \text{ m}^3/\text{s}}{0,22 \text{ m}}$$

$$\hookrightarrow \boxed{T = 7,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$\Rightarrow \Delta_0 = \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{2,25 T t_0}{x^2 S} = 0 \text{ m}$$

$$\hookrightarrow \frac{2,25 T t_0}{x^2 S} = 1$$

$$\hookrightarrow S = \frac{2,25 T t_0}{x^2}$$

$$\hookrightarrow S = \frac{2,25 \times 7,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} \times 150 \text{ s}}{20 \times 20 \text{ m}^2}$$

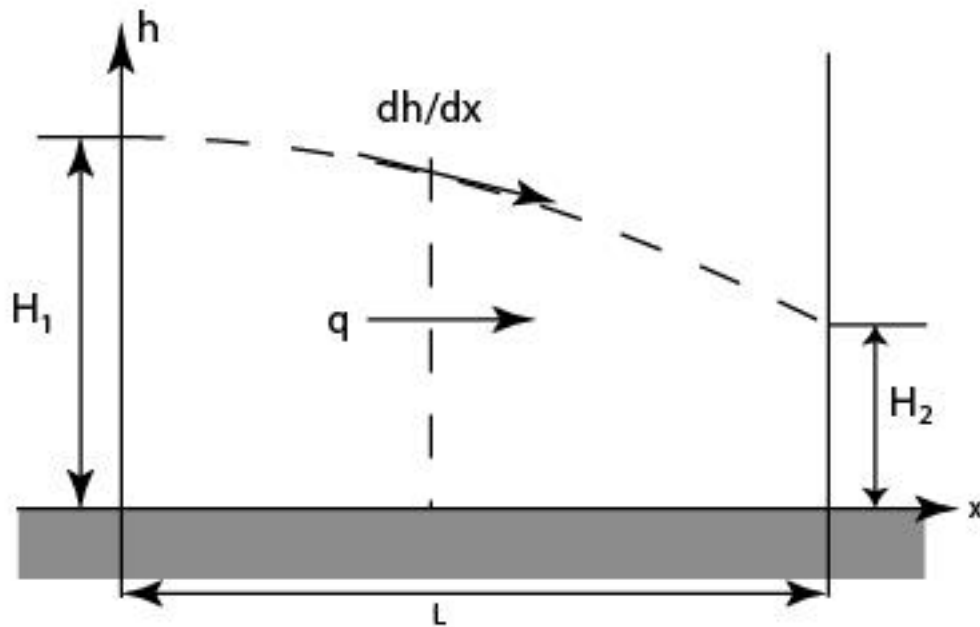
$$\hookrightarrow \boxed{S = 6,4 \cdot 10^{-2}}$$

$$\Rightarrow T = K \cdot e$$

$$\hookrightarrow K = \frac{T}{e} = \frac{7,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}}{4 \text{ m}}$$

$$\hookrightarrow \boxed{K = 1,9 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}}$$





D'APRÈS LA LOI DE DARCY,  $v = -K \frac{dh}{dx}$

POUR UNE TRANCHE DE TERRAIN D'UNE ÉPAISSEUR DE 1 M, LE DÉBIT À TRAVERS LA SECTION  $h \times 1 \text{ M}$  EST ÉGAL  $\bar{A}$  :

$$Q = -K \times h \times 1 \text{ m} \times \frac{dh}{dx} = -Kh \frac{dh}{dx}$$

$$\rightarrow dh^2 = 2h dh \Rightarrow Q = -\frac{K}{2} \frac{dh^2}{dx}$$

$$\rightarrow dh^2 = -\frac{2Q}{K} dx$$

$$\begin{cases} x_0 = 0 \\ h_0 = H_1 \end{cases} \quad \begin{cases} x_1 = L \\ h_1 = H_2 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \int_{H_1}^{H_2} dh^2 = -\frac{2Q}{K} \int_0^L dx$$

$$\Rightarrow H_2^2 - H_1^2 = -\frac{2Q}{K} (L - 0)$$

$$\Rightarrow Q = \frac{K}{2L} (H_1^2 - H_2^2)$$

$$\Rightarrow Q = \frac{2 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}}{2 \times 3000 \text{ m}} (4 \times 4 \text{ m}^2 - 0)$$

$$\Rightarrow Q = 5,33 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

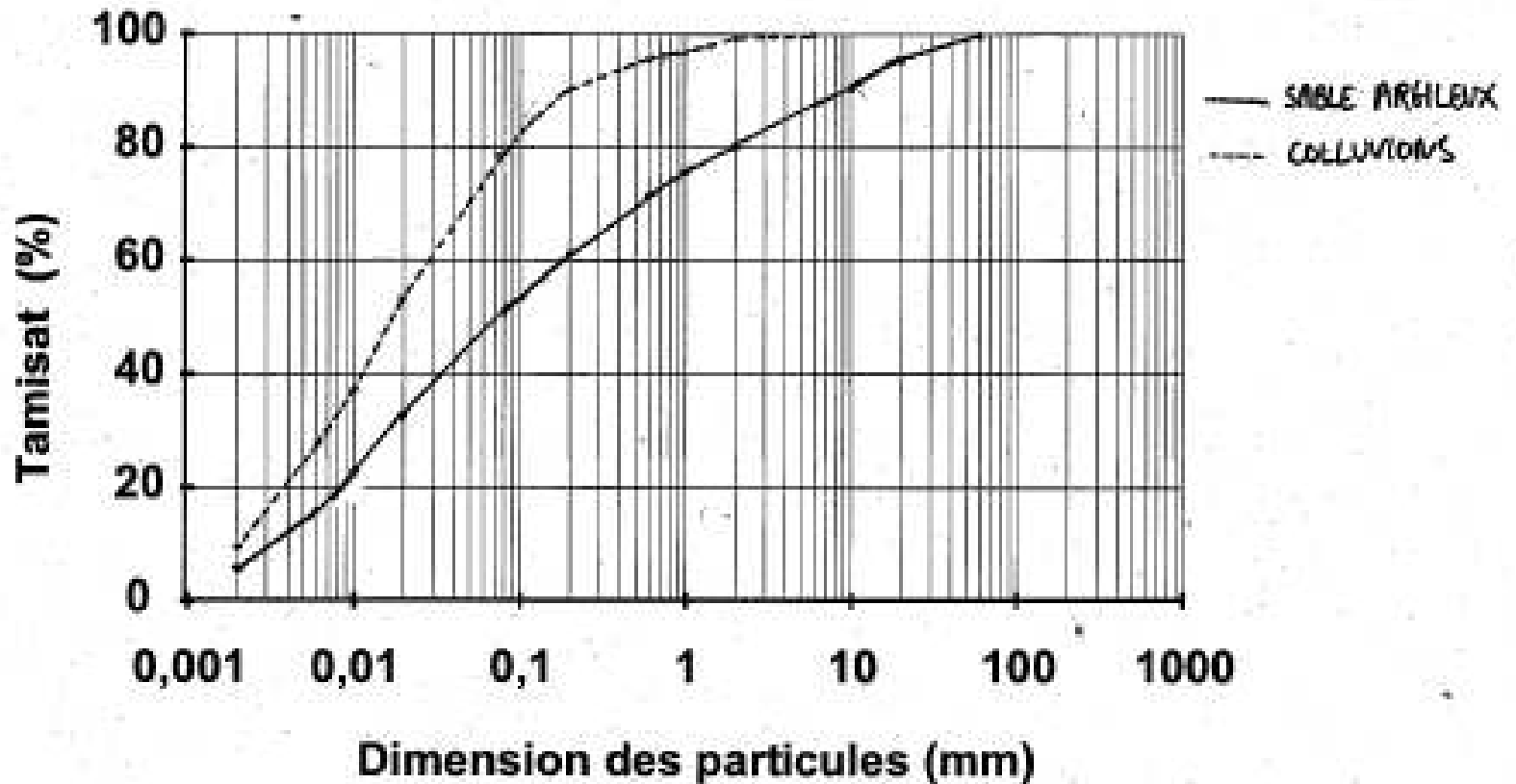
LE DÉBIT TOTAL, EN SORTIE DE DRAIN EST ÉGAL À :

$$\Rightarrow Q_{\text{tot}} = 1500 \text{ m} \times 5,33 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

$$\Rightarrow Q_{\text{tot}} = 0,08 \text{ m}^3/\text{s} = 80 \text{ L/s}$$

# Cours n°5 : terrassements

## 1. Courbe granulométrique



## IDENTIFICATION DES 4 FAMILLES DE SOLS

### ① LIMONS DE SURFACE

Passant à 80  $\mu\text{m}$  : 90% > 35%  $\rightarrow$  A

$IP = 10 < 12 \rightarrow A_1$   
(VBS non disponible)

$W_{opt} = 13\%$   $W_{nat}$  entre 15 et 18,2%

$\hookrightarrow \frac{W_{nat}}{W_{opt}}$  entre 1,15 et 1,4

$\rightarrow$  état hydrique h à th

**A1 h à th**

### ② ARGILE PLASTIQUE

Passant à 80  $\mu\text{m}$  : 98% > 35%  $\rightarrow$  A

$IP = 37$  (entre 25 et 40)  $\rightarrow A_3$

$W_{opt} = 25\%$   $W_{nat}$  entre 23,9 et 34%

$W_{nat}$  entre 0,95 et 1,36  $\rightarrow$  état hydrique m à h

**A3 m à h**

### ③ SABLE ARGILEUX

Passant à 80  $\mu\text{m}$  : 50% > 35%  $\rightarrow$  A

VBS = 2,96 (entre 2,5 et 6)  $\rightarrow A_2$

Indice de consistance :  $I_c = \frac{W_L - W_{nat}}{I_p}$

$W_L = 46\%$   $I_p = W_L - W_p = 24$

$W_{nat}$  entre 16 et 20,2%

$I_c$  entre 1,07 et 1,25  $\rightarrow$  état hydrique m à s  
(à confirmer)

**A2 m à s**

### ④ COLLUVIONS

Passant à 80  $\mu\text{m}$  : 78% > 35%  $\rightarrow$  A

VBS = 4,33 (entre 2,5 et 6)  $\rightarrow A_2$

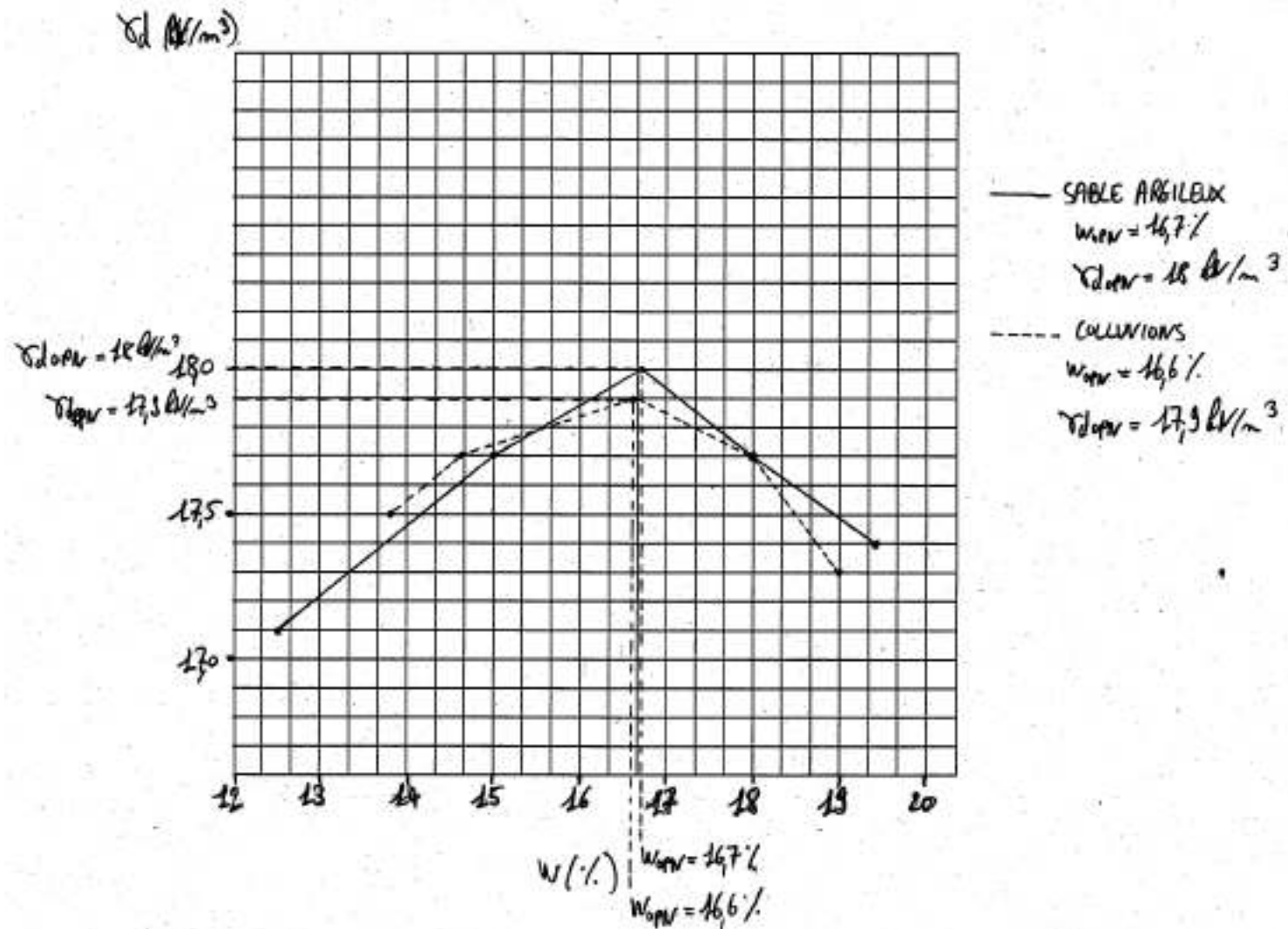
$W_L = 40\%$   $I_p = 20\%$

$W_{nat}$  entre 15,7 et 22%

$I_c$  entre 0,9 et 1,22  $\rightarrow$  état hydrique s à h  
(à confirmer)

**A2 s à h**

## 2. Essai Proctor



### IPI DU SABLE ARGILEUX

$$IPI = \text{MAX} \left\{ \frac{F(2,5)_{\text{obs}}}{13,35}, \frac{F(5)_{\text{obs}}}{20} \right\}$$

$$w = 12,5\% \quad IPI = \text{MAX} \{ 23,5; 22,6 \} = 23,5$$

$$w = 15\% \quad IPI = \text{MAX} \{ 19,0; 17,8 \} = 19,0$$

$$w = 16,7\% \quad IPI = \text{MAX} \{ 11,5; 10,4 \} = 11,5$$

$$w = 18\% \quad IPI = \text{MAX} \{ 7,0; 6,6 \} = 7,0$$

$$w = 19,4\% \quad IPI = \text{MAX} \{ 4,0; 3,3 \} = 4,0$$

### IPI DES COLLUVIONS

$$w = 12,5\% \quad IPI = \text{MAX} \{ 23,1; 20,8 \} = 23,1$$

$$w = 15\% \quad IPI = \text{MAX} \{ 21,5; 19,6 \} = 21,5$$

$$w = 16,7\% \quad IPI = \text{MAX} \{ 14,8; 13,4 \} = 14,8$$

$$w = 18\% \quad IPI = \text{MAX} \{ 10,6; 9,3 \} = 10,6$$

$$w = 19,4\% \quad IPI = \text{MAX} \{ 5,0; 4,7 \} = 5,0$$

### SABLE ARGILEUX (A2)

$$16 \leq w_{\text{sat}} \leq 20,8\%$$

$$IPI \text{ entre } < 4 \text{ et } 11 \rightarrow \text{L à m}$$

$$I_c \text{ entre } 1,07 \text{ et } 1,25 \rightarrow \text{m à s}$$

$$\frac{w_{\text{sat}}}{w_{\text{opt}}} \text{ entre } 0,96 \text{ et } 1,21 \rightarrow \text{L à m}$$

état hydrique m prépondérant

### COLLUVIONS (A2)

$$15,7 \leq w_{\text{sat}} \leq 22,0\%$$

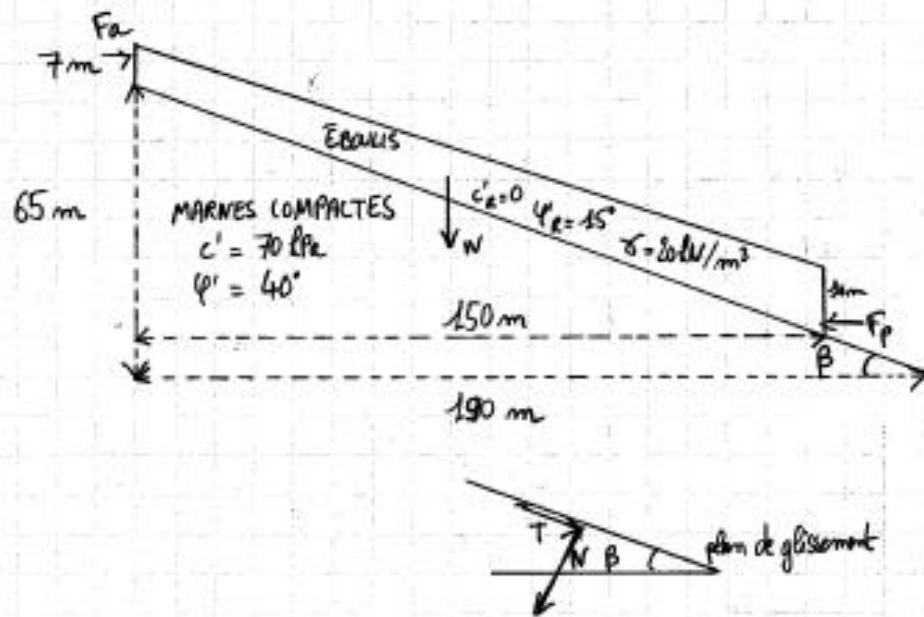
$$IPI \text{ entre } < 5 \text{ et } 15 \rightarrow \text{L à m}$$

$$I_c \text{ entre } 0,90 \text{ et } 1,22 \rightarrow \text{L à m}$$

$$\frac{w_{\text{sat}}}{w_{\text{opt}}} \text{ entre } 0,94 \text{ et } 1,33 \rightarrow \text{L à m}$$

états hydriques L et m prépondérants

# Cours n°6 : mouvements de terrain



a) calcul de la pente du plan de glissement par rapport à l'horizontale:

$$\tan \beta = \frac{65}{190} \Rightarrow \beta = \arctan \frac{65}{190} = 18,9^\circ$$

b) calcul du poids du massif potentiellement instable (trapèze):

$$W = \gamma \times H \times \frac{(B+b)}{2} = 20 \text{ kN/m}^3 \times 150 \text{ m} \times \frac{7\text{m} + 10\text{m}}{2}$$

$$W = 25500 \text{ kN/m} \quad (\equiv \text{pour une tranche de terrain de 1m d'épaisseur})$$

c) calcul de la force de poussée  $F_a$ :



$$\text{On a } \sigma_a = K_a \sigma_v$$

$$\text{et } F_a = \frac{\sigma_a \times 7\text{m}}{2}$$

$$\Rightarrow \text{Équilibre limite de Rankine : } K_a = \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi'}{2} \right)$$

$$\Rightarrow \sigma_v = 7 \text{ m} \times \gamma$$

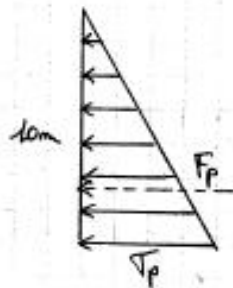
$$\text{d'où } F_a = \frac{1}{2} \times 7 \text{ m} \times \sigma_a = \frac{1}{2} \times 7 \text{ m} \times K_a \times \sigma_v$$

$$F_a = \frac{1}{2} \times 7 \text{ m} \times \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi'}{2} \right) \times 7 \text{ m} \times \gamma$$

$$\Rightarrow F_a = \frac{1}{2} \times 7 \text{ m} \times 7 \text{ m} \times 20 \text{ kN/m}^3 \times \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{15^\circ}{2} \right)$$

$$\Rightarrow F_a = 289 \text{ kN/m}$$

d) calcul de la force de butée  $F_p$  :



$$\text{On a } \sigma_p = K_p \sigma_v$$

$$\text{et } F_p = \frac{\sigma_p \times 10 \text{ m}}{2}$$

$$\Rightarrow \text{Équilibre limite de Rankine : } K_p = \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi'}{2} \right)$$

$$\Rightarrow \sigma_v = 10 \text{ m} \times \gamma$$

$$\text{d'où } F_p = \frac{1}{2} \times 10 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 20 \text{ kN/m}^3 \times \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{15^\circ}{2} \right)$$

$$\Rightarrow F_p = 1698 \text{ kN/m}$$

e) calcul de l'effort normal  $N$  au plan de glissement :

$$N = W \cos \beta + F_p \sin \beta - F_a \sin \beta$$

$$\Rightarrow N = 25500 \cos 18,9^\circ + 1698 \sin 18,9^\circ - 289 \sin 18,9^\circ$$

$$\Rightarrow N = 24581 \text{ kN/m}$$

f) calcul de l'effort tangentiel  $T$  au plan de glissement :

$$T = W \sin \beta - F_p \cos \beta + F_a \cos \beta$$

$$\Rightarrow T = 25500 \sin 18,9^\circ - 1698 \cos 18,9^\circ + 289 \cos 18,9^\circ$$

$$\Rightarrow T = 6927 \text{ kN/m}$$

g) calcul de l'effort tangentiel maximal mobilisable :

$$T_{\max} = c'_R \times L + (N - U) \tan \varphi'_R \quad (\text{Mohr-Coulomb})$$

avec  $c'_R = 0$  et  $U = 0$  (aucune donnée hydraulique)

$$\text{d'où } T_{\max} = 24582 \text{ kN/m} \times \tan 15^\circ = 6586 \text{ kN/m}$$

h) calcul du coefficient de sécurité :

$$F = \frac{T_{\max}}{T} = \frac{6586 \text{ kN/m}}{6927 \text{ kN/m}} = 0,95 < 1 \Rightarrow \text{rupture}$$

autre méthode plus simple :

hypothèses : pente sèche, sol purement frottant ( $c'_R = 0$ ), sans eau

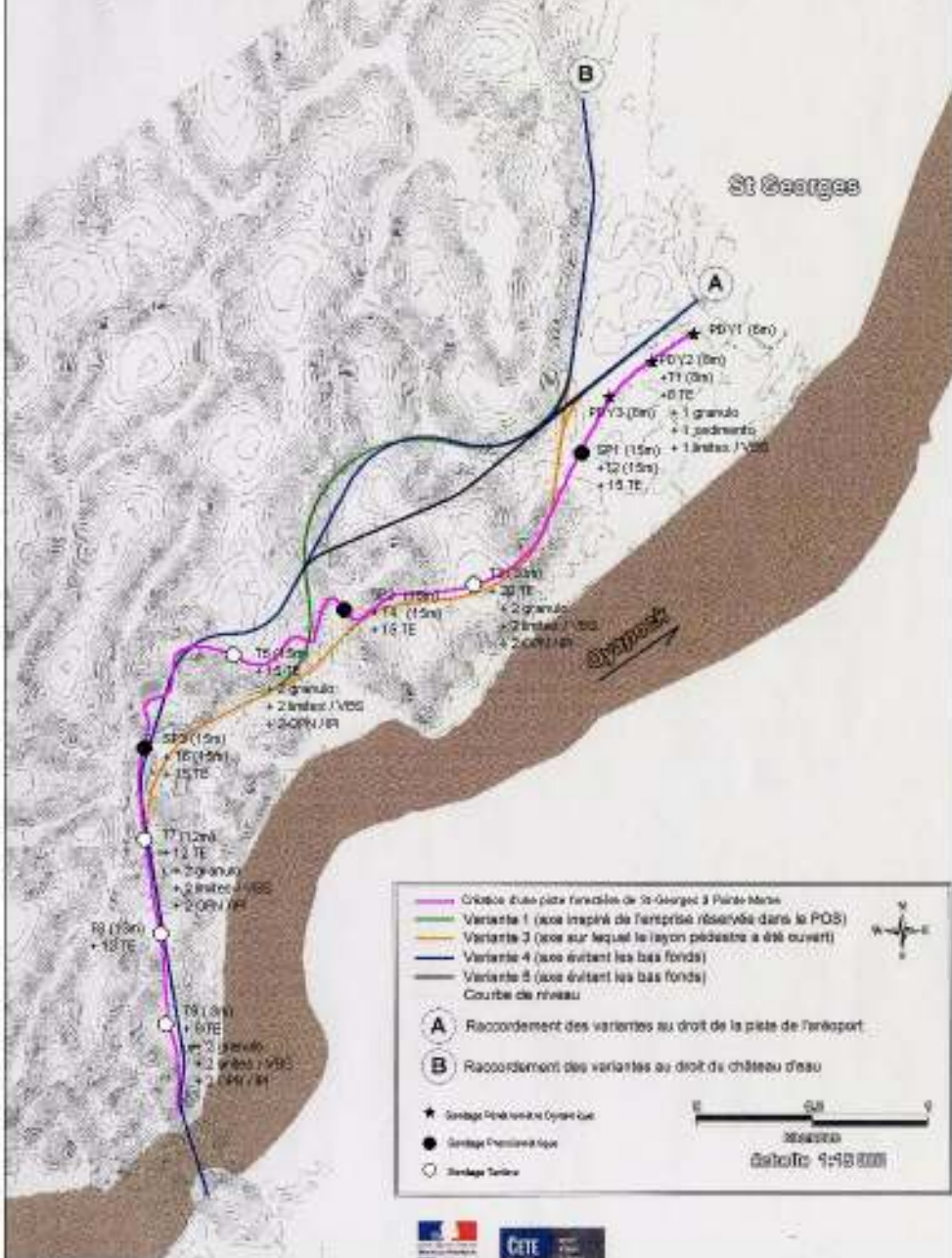
$$F = \frac{\tan \varphi'_R}{\tan \beta} = \frac{\tan 15^\circ}{\tan 18,9^\circ} = 0,78 < 1 \Rightarrow \text{rupture}$$





CETE Normandie Centre - LRPC de Rouen  
 Reconstruction du Pont sur la Comté  
 Implantation prévisionnelle des sondages rive Regina  
 Echelle : 1/1000e

# Proposition de tracés à étudier dans le cadre de l'APS



LÉGENDE.

P: SONDAGE À LA BELLE MÉCANIQUE

T: SONDAGE À LA TROISÈME MÉTHODE

DX: SONDAGE AU PÉNETROMÈTRE DYNAMIQUE

SC: SONDAGE CAROTTE

TE: Teneur en Eau Naturelle

LIMITE: LIMITE D'INTERBANK (DU VALEUR DE BUE)

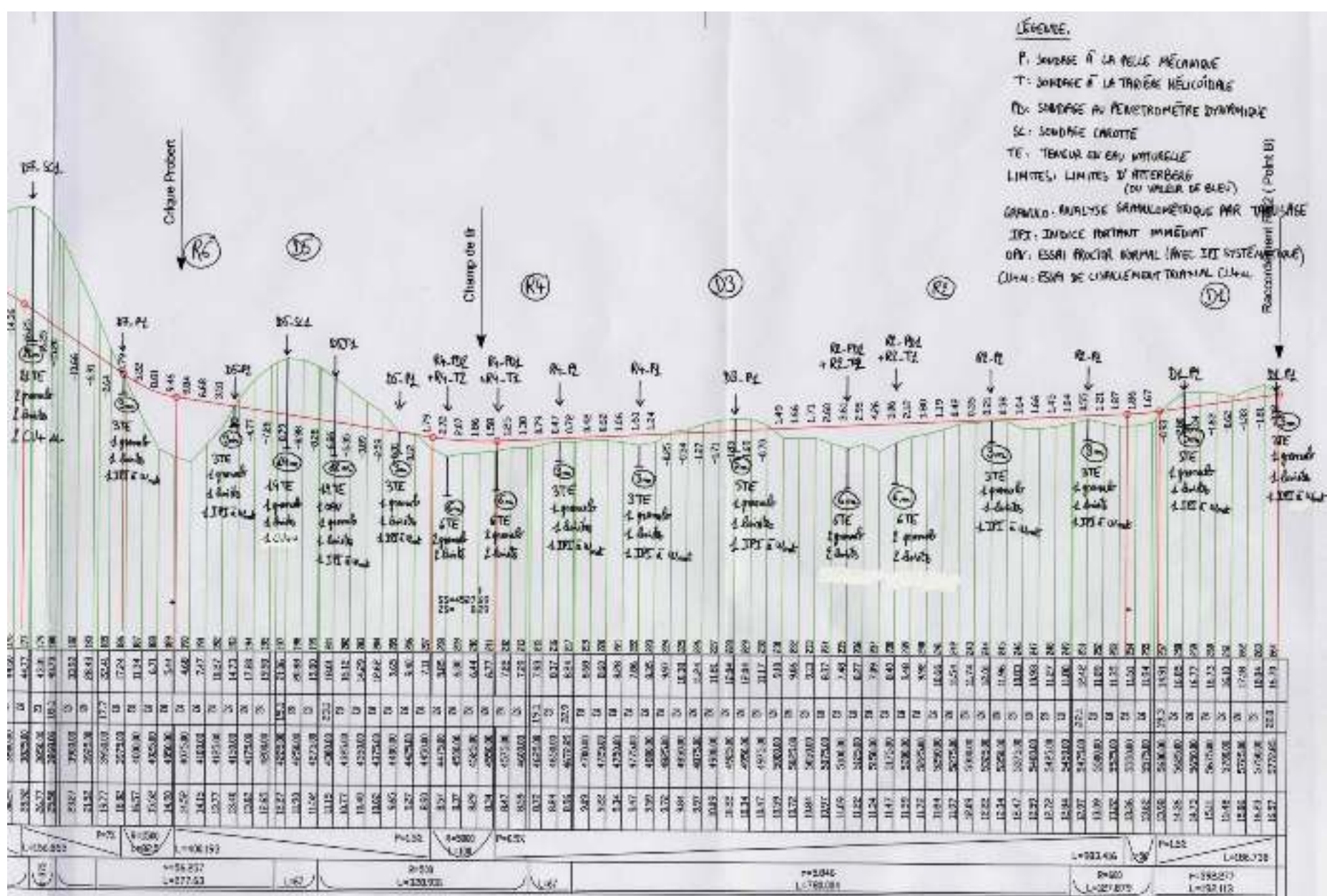
GRANUL: ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE PAR TRIUSAGE

IP: INDICE PORTANT IMMÉDIAT

OP: ESSAI PROCTOR NORMAL (AVEC IP SYSTÉMATIQUE)

CUA: ESSAI DE COMPACTAGE TRIAXIAL CUA

Raccourciement IP 22 (Point B)



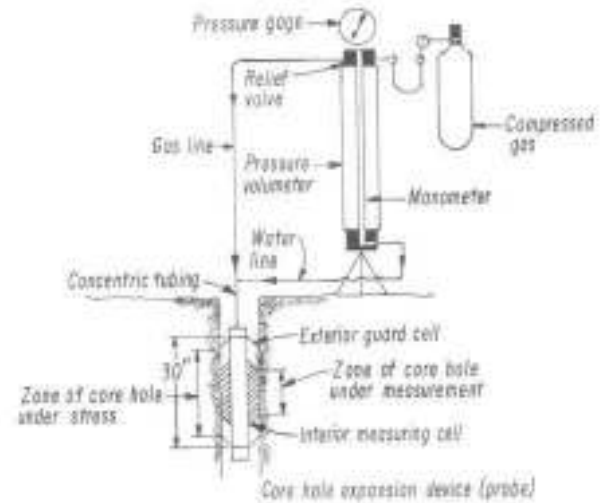


Figure 4-11. - Pressuremeter Testing

# **Cours n°7 : organisation des reconnaissances géotechniques**

## **A. Analyse des courbes d'expansion pressiométrique**

**Essai à 4 m :  $p_0 = 100$  kPa**

Essai pressiométrique : Forage P1 Profondeur 4m Sol : Argile très plastique

Variation de volume (cm<sup>3</sup>)

Volume initial de la sonde :  $V_s = 530 \text{ cm}^3$  (sous  $P = 0$ )

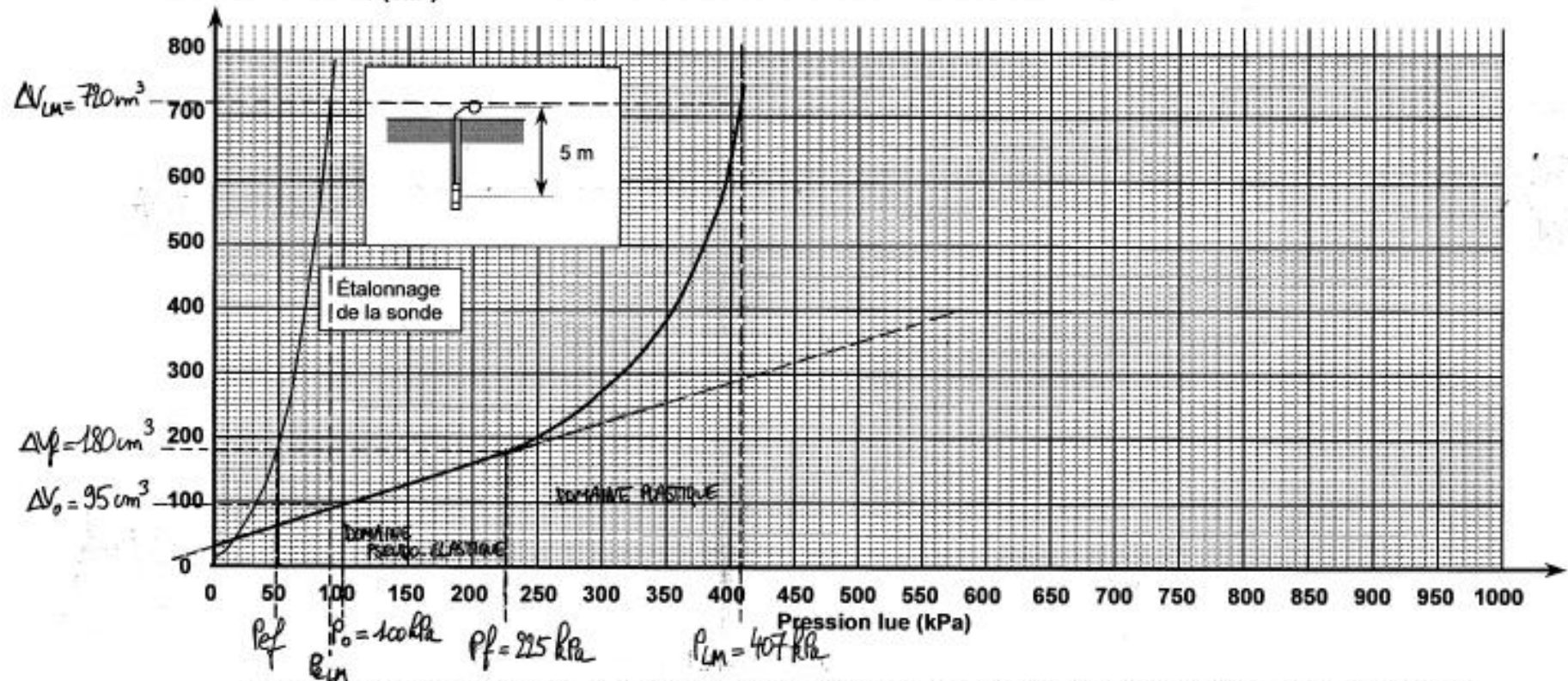


Figure 2. Courbe d'expansion de l'essai pressiométrique Ménard exécuté à 4m de profondeur dans le sondage P1

$$\Delta V_{LM} = V_s + 2 \Delta V_o = 530 \text{ cm}^3 + 2 \times 95 \text{ cm}^3 = 720 \text{ cm}^3$$

## Essai à 4 m

1) pression de fluage:

$$P_{f\text{ con}} = p_f - p_{ef} + (H+R) \gamma_w$$

$$P_{f\text{ con}} = 225 \text{ kPa} - 48 \text{ kPa} + 5 \text{ m} \times 10 \text{ kN/m}^3$$

$$\underline{P_{f\text{ con}} = 227 \text{ kPa} = 0,22 \text{ MPa}}$$

2) pression limite pressiométrique:

$$P_{LM\text{ con}} = P_{LM} - P_{eLM} + (H+R) \gamma_w$$

$$P_{LM\text{ con}} = 407 \text{ kPa} - 90 \text{ kPa} + 5 \text{ m} \times 10 \text{ kN/m}^3$$

$$\underline{P_{LM\text{ con}} = 367 \text{ kPa} = 0,36 \text{ MPa}} \quad (1,7 \times 0,22 = 0,37 \text{ MPa})$$

3) module pressiométrique Ménard:

$$E_M = 2(1+\nu)(V_s + \Delta V_m) \frac{\Delta P}{\Delta V}$$

$$E_M = 2(1+\nu) \left( V_s + \frac{\Delta V_o + \Delta V_f}{2} \right) \frac{P_f - P_o}{\Delta V_f - \Delta V_o}$$

$$E_M = 2(1+0,33) \left( 530 + \frac{95+180}{2} \right) \frac{225-100}{180-95}$$

$$\underline{E_M = 2611 \text{ kPa} = 2,6 \text{ MPa}}$$

$$\frac{E_M}{P_{LM}} = \frac{2611}{367} = 7,1 \Rightarrow \text{argile lâche}$$

Essai pressiométrique : Forage P1 Profondeur 10 m Sol : Sable limoneux

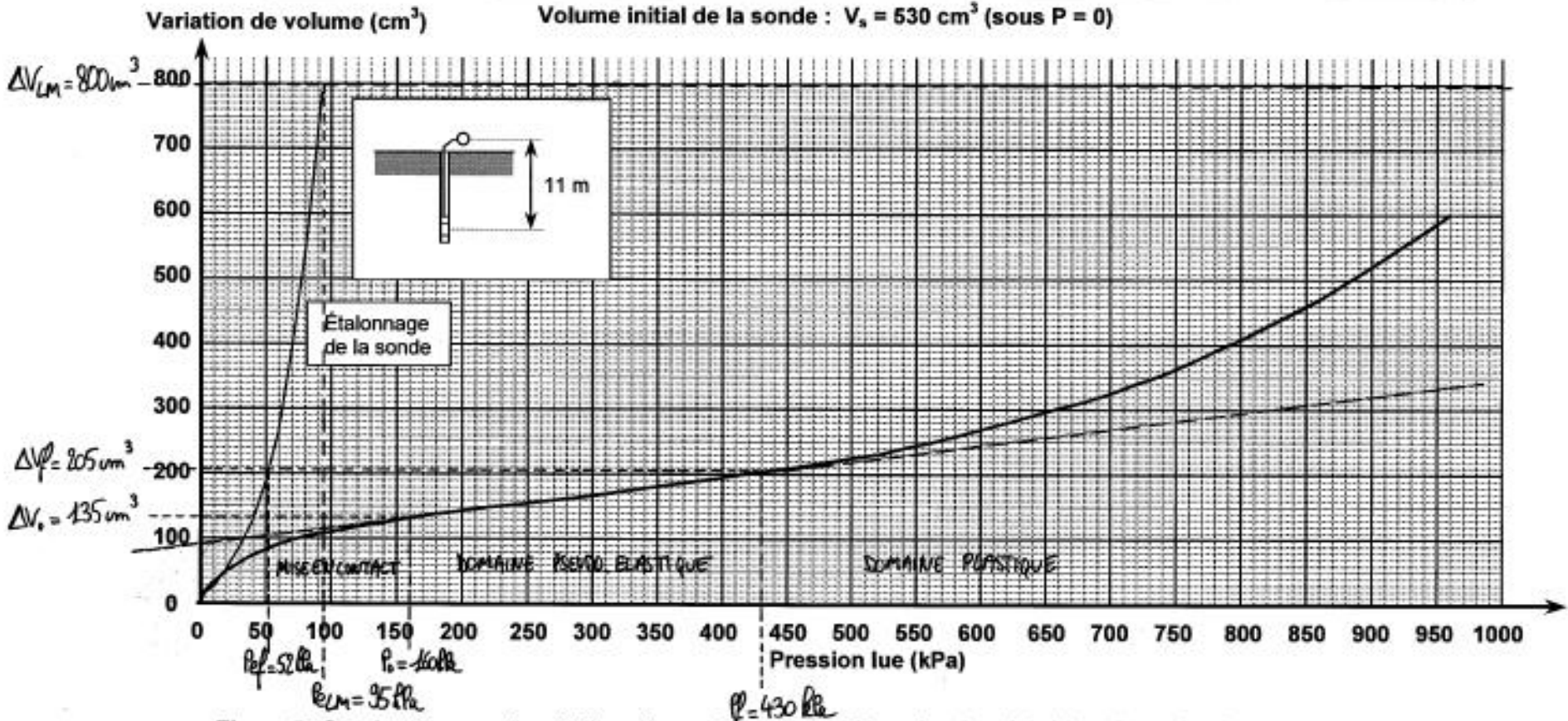


Figure 3. Courbe d'expansion de l'essai pressiométrique Ménard exécuté à 11 m de profondeur dans le sondage P1

$$\Delta V_{LM} = V_s + 2 \Delta V_s = 530 \text{ cm}^3 + 2 \times 135 \text{ cm}^3 = 800 \text{ cm}^3$$



Essai à 10 m

1) pression de fluage

$$P_{fcm} = P_f - p_{ef} + (H+h) \gamma_w$$

$$P_{fcm} = 430 \text{ kPa} - 52 \text{ kPa} + 11 \text{ m} \times 10 \text{ kN/m}^3$$

$$P_{fcm} = 488 \text{ kPa} = 0,48 \text{ MPa}$$

2) pression limite prismométrique

⇒ méthode d'extrapolation hyperbolique

$$X = \frac{\Delta V^2 - \Delta V_0^2}{P - P_0} \quad Y = \frac{P \Delta V^2 - P_0 \Delta V_0^2}{P - P_0}$$

$$\Delta V_0 = 135 \text{ cm}^3 \quad P_0 = 160 \text{ kPa}$$

|                       |                               |           |              |
|-----------------------|-------------------------------|-----------|--------------|
| $P = 600 \text{ kPa}$ | $\Delta V = 270 \text{ cm}^3$ | $X = 124$ | $Y = 92782$  |
| $P = 700 \text{ kPa}$ | $\Delta V = 325 \text{ cm}^3$ | $X = 162$ | $Y = 132521$ |
| $P = 800 \text{ kPa}$ | $\Delta V = 410 \text{ cm}^3$ | $X = 234$ | $Y = 205568$ |
| $P = 900 \text{ kPa}$ | $\Delta V = 520 \text{ cm}^3$ | $X = 340$ | $Y = 324924$ |
| $P = 950 \text{ kPa}$ | $\Delta V = 530 \text{ cm}^3$ | $X = 417$ | $Y = 414910$ |

⇒ régression linéaire:  $Y = 1097,8 X - 46218$  ( $R^2 = 0,99$ )

$$\Rightarrow \frac{P_{cm} \Delta V_{cm}^2 - P_0 \Delta V_0^2}{P_{cm} - P_0} = 1097,8 \frac{\Delta V_{cm}^2 - \Delta V_0^2}{P_{cm} - P_0} - 46218$$

$$\Rightarrow P_{cm} (\Delta V_{cm}^2 + 46218) = 1097,8 (\Delta V_{cm}^2 - \Delta V_0^2) + P_0 (\Delta V_0^2 + 46218)$$

$$P_{cm} = \frac{1097,8 (800^2 - 135^2) + 160 (135^2 + 46218)}{800^2 + 46218}$$

$$P_{cm} = 1009 \text{ kPa}$$

$$\Rightarrow P_{cm, corr} = P_{cm} - P_{e, cm} + (H+h) \gamma_w$$

$$P_{cm, corr} = 1009 \text{ kPa} - 95 \text{ kPa} + 11 \text{ m} \times 10 \text{ kN/m}^3$$

$$P_{cm, corr} = 1024 \text{ kPa} = 1,024 \text{ MPa} \quad (1,7 \times 0,48 = 0,81 \text{ MPa})$$

3) module prismométrique Ménard:

$$E_m = 2(1+\nu) \left( V_s + \frac{\Delta V_0 + \Delta V_f}{2} \right) \frac{P_f - P_0}{\Delta V_f - \Delta V_0}$$

$$E_m = 2(1+0,33) \left( 530 + \frac{160+430}{2} \right) \frac{430-160}{205-135}$$

$$E_m = 8464 \text{ kPa} = 8,4 \text{ MPa}$$

$$\frac{E_m}{P_{cm}} = \frac{8464}{1024} = 8,2 \Rightarrow \text{câble normalement consolidé}$$

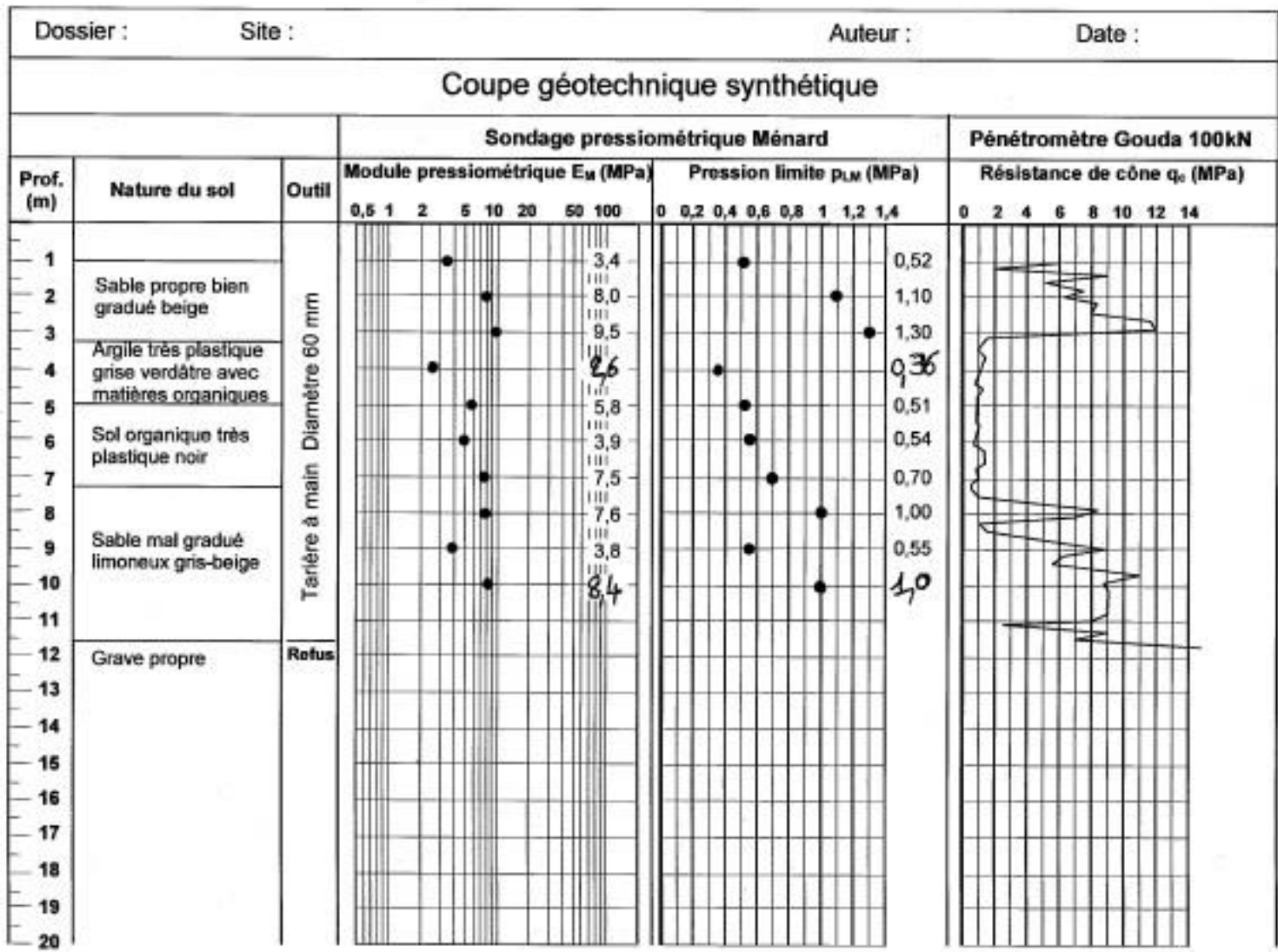


Figure 1. Coupe géotechnique synthétique du site (nature des sols, sondage pressiométrique Ménard et sondage pénétrométrique)

### 3. Interprétation des données géotechniques

| Corrélation                    | Argiles   | Limons    | Argiles sableuses ou sables argileux | Sables    | Sables et graviers | Observations                                                                                           |
|--------------------------------|-----------|-----------|--------------------------------------|-----------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\frac{q_c - p'_0}{C_u}$       | 15        |           |                                      |           |                    |                                                                                                        |
| $\frac{p_1 - p_0}{C_u}$        | 5,5       |           |                                      |           |                    |                                                                                                        |
|                                | 8         |           |                                      |           |                    |                                                                                                        |
|                                | 15        |           |                                      |           |                    |                                                                                                        |
| $\frac{q_c}{q_d}$              | $\neq 1$  | 1         | 0,5 à 0,9                            | 1         | 1                  | $p_1 - p_0 < 0,6$ MPa<br>$0,6 < p_1 - p_0 < 1,5$ MPa<br>$p_1 - p_0 > 1,5$ MPa<br>au-dessus de la nappe |
|                                |           | 1,2 à > 3 | 0,4 à 0,1                            |           | 1 à 2,6            | au-dessous de la nappe la valeur 1 semblant la plus fréquente                                          |
| $\frac{q_c}{N}$                | 0,1 à 0,2 | 0,2       | 0,3 à 0,6                            | 0,5 à 0,6 |                    |                                                                                                        |
| $\frac{N}{p_1 - p_0}$          | 20 à 40   | 30        |                                      | 30 à 50   |                    |                                                                                                        |
| $\frac{N}{E}$                  | 0,8 à 1,1 | 3         |                                      | 2 à 6     |                    |                                                                                                        |
| $\frac{q_c - p'_0}{p_1 - p_0}$ | 3 à 4     | 6         |                                      | 8 à 10    |                    |                                                                                                        |
| $\frac{E}{q_c - p'_0}$         | 3 à 6     | 3         |                                      | 1 à 1,5   |                    |                                                                                                        |
| $\frac{q_d}{p_1 - p_0}$        | 3         |           |                                      |           |                    | au-dessus de la nappe                                                                                  |

CORRELATIONS ENTRE ESSAIS IN SITU (d'après CASSAN)

| PROFONDEUR (M) | $P_{LM}$ (MPa) | $q_c$ (MPa)                        | $q_c/P_{LM}$ | commentaires        |
|----------------|----------------|------------------------------------|--------------|---------------------|
| 1              | 0,52           | $\frac{6+2}{2} = 4$                | 7,6          | } $> 6$ al sableux  |
| 2              | 1,1            | $\frac{2 \times 7,5 + 6,5}{3} = 7$ | 6,3          |                     |
| 3              | 1,3            | $\frac{12+8}{2} = 10$              | 7,6          |                     |
| 4              | 0,36           | 1                                  | 2,7          | } $< 3$ al argileux |
| 5              | 0,51           | 1                                  | 1,9          |                     |
| 6              | 0,54           | 1                                  | 1,8          |                     |
| 7              | 0,70           | 1                                  | 1,4          |                     |
| 8              | 1,0            | $\frac{7 \times 2 + 8,5}{3} = 7$   | 7,0          | } $> 6$ al sableux  |
| 9              | 0,55           | $\frac{6 \times 2 + 9}{3} = 7$     | 12,7         |                     |
| 10             | 1,0            | 9                                  | 9,0          |                     |

longueur de la sonde pressiométrique  $\approx 50$  cm

1 valeur de  $q_c$  tous les 20 cm de profondeur

$\Rightarrow$  caractéristiques pressiométriques et pénétrométriques en concordance avec la coupe lithologique

$$\frac{P_{LM} - P_0}{c_u} = 5,5 \rightarrow c_u = \frac{P_{LM} - P_0}{5,5}$$

avec  $P_{LM}$  pression limite pressiométrique

et  $P_0$  contrainte horizontale totale dans le sol à la profondeur considérée

hypothèses: 4 m de profondeur

nappe en surface

nappe à 3 m de profondeur

1) nappe on surface:

$$p_0 = \sigma_{h_0} = K_0 \overbrace{(\sigma_{v_0} - u_0)}^{\sigma_{v_0}} + u_0$$

$$p_0 = K_0 (3,3 \text{ m} \times \gamma_1 + 0,7 \text{ m} \times \gamma_2 - 4 \text{ m} \times \gamma_w) + 4 \text{ m} \times \gamma_w$$

$$p_0 = 0,5 (3,3 \text{ m} \times 17 \text{ kN/m}^3 + 0,7 \text{ m} \times 15 \text{ kN/m}^3 - 4 \text{ m} \times 10 \text{ kN/m}^3) + 4 \text{ m} \times 10 \text{ kN/m}^3$$

$$p_0 = 53 \text{ kPa}$$

$$\Rightarrow \kappa_u = \frac{367 - 53}{5,5} = 57 \text{ kPa}$$

$$\Rightarrow N_c = \frac{q_c - \sigma'_{v_0}}{\kappa_u} = \frac{1000 \text{ kPa} - 26 \text{ kPa}}{57 \text{ kPa}} = 17,0$$

2) nappe à 3 m de profondeur:

$$p_0 = K_0 (3,3 \text{ m} \times \sigma_z + 0,7 \text{ m} \times \sigma_z - 1 \text{ m} \times \sigma_{vr}) + 1 \text{ m} \times \sigma_{vr}$$

$$p_0 = 0,5 (3,3 \text{ m} \times 17 \text{ kN/m}^3 + 0,7 \text{ m} \times 15 \text{ kN/m}^3 - 1 \text{ m} \times 10 \text{ kN/m}^3) + 1 \text{ m} \times 10 \text{ kN/m}^3$$

$$p_0 = 38 \text{ kPa}$$

$$\Rightarrow \alpha_u = \frac{367 - 38}{55} = 59 \text{ kPa}$$

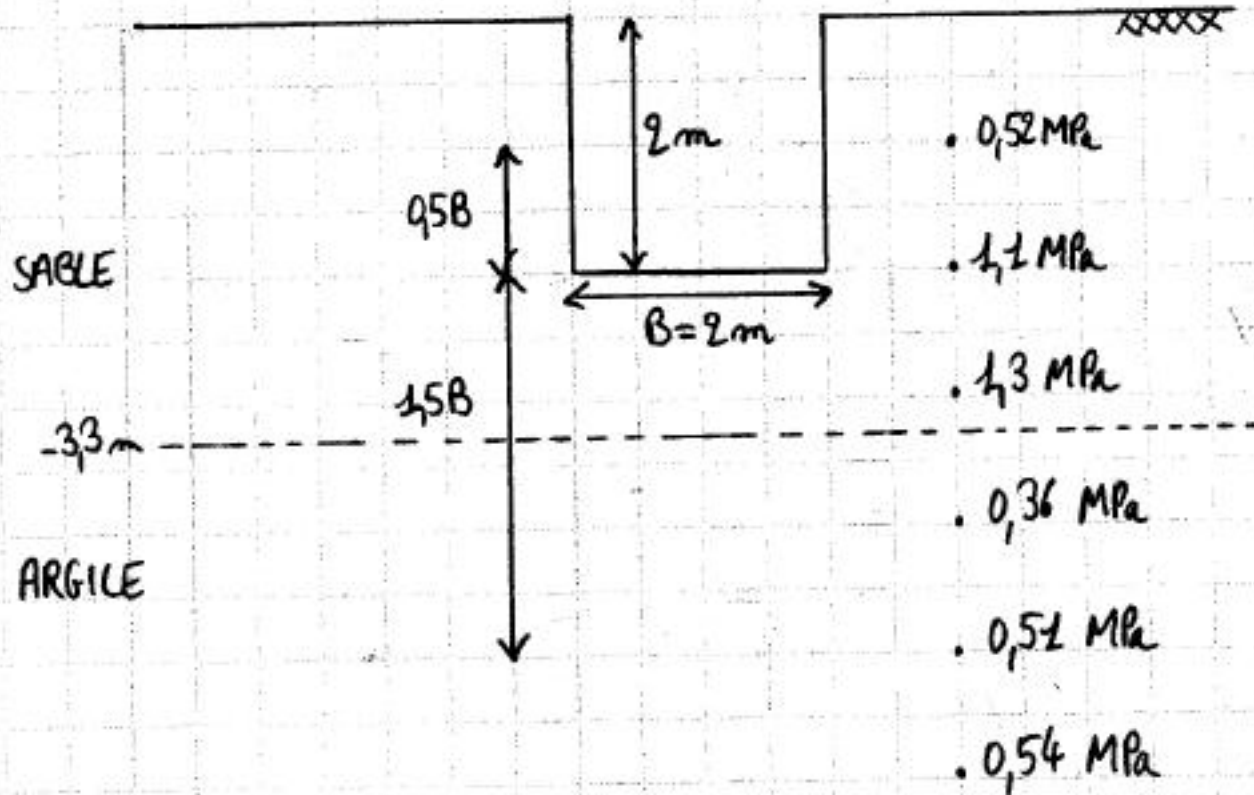
$$\Rightarrow N_c = \frac{q_c - \sigma'_{v0}}{\alpha_u} = \frac{1000 \text{ kPa} - 56 \text{ kPa}}{59 \text{ kPa}} = 16,0$$

↳  $N_c$  est plus sensible que  $\alpha_u$  aux variations du toit de la nappe

↳ la nappe en profondeur indique une valeur de  $N_c$  plus proche de la valeur théorique (15)

# C. Utilisation des caractéristiques pressiométriques du sol

6.





$$q_{adm\ ELS} = \frac{1}{3} (q'_{u} - \sigma'_{v0}) i_{sp} + \sigma'_{v0}$$

pour une charge verticale centrée :  $i_{sp} = 1$

$$q_{adm\ ELS} = \frac{1}{3} k_p (P_{LMe} - P_{oe}) + \sigma'_{v0}$$

on négligeant  $P_{oe}$  devant  $P_{LMe}$  :  $q_{adm\ ELS} = \frac{k_p P_{LMe}}{3} + \sigma'_{v0}$

pour un sable en négligeant l'encastrissement  $D_e$  :  $k_p = 1$

$$q_{adm\ ELS} = \frac{P_{LMe}}{3} + \sigma'_{v0}$$

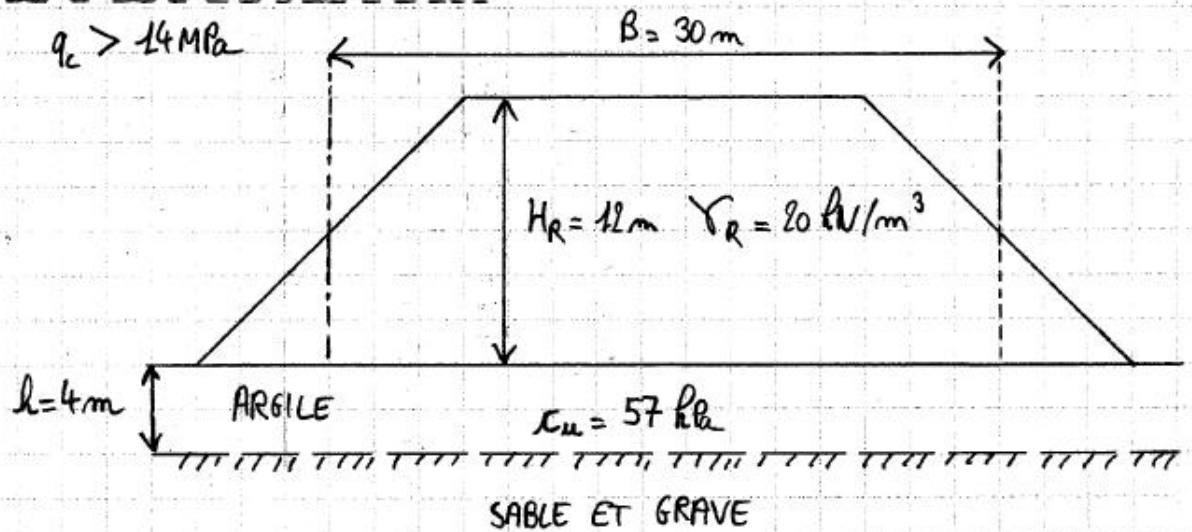
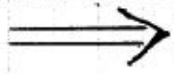
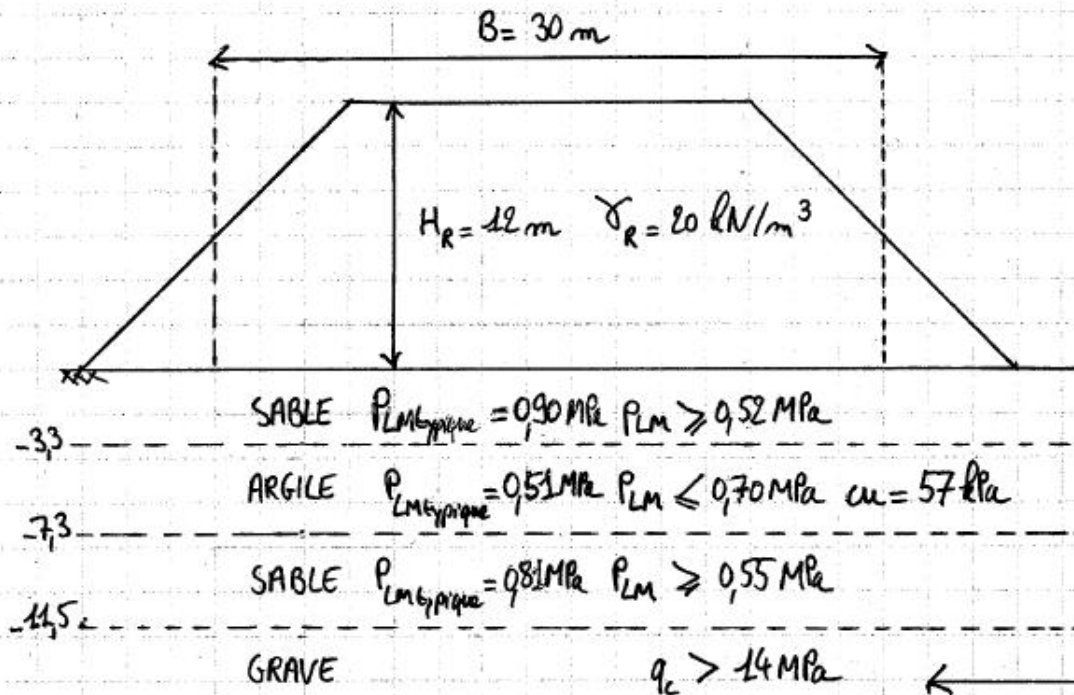
⇒ avec la nappe en surface :

$$q_{adm\ ELS} = \frac{715\ kPa}{3} + 2\ m \times 17\ kN/m^3 - 2\ m \times 10\ kN/m^3$$

$$q_{adm\ ELS} = 252\ kPa = 0,25\ MPa$$

↳ fondation superficielle en venant non-homogène = moyenne géométrique sur une épaisseur de  $1,5B$  sous la fondation

$$P_{LMe} = \sqrt[4]{1100 \times 1300 \times 360 \times 510} = 715\ kPa$$



7. Stabilité vis à vis de la rupture générale par cisaillement (bicaudé)

$$F = \frac{q_{\max}}{q} = \frac{\gamma_u \times N_c(B/r)}{H_R \times \gamma_R}$$

avec  $q$  contrainte transmise au sol et  $q_{\max}$  contrainte maximale admissible

$N_c(B/r)$  facteur de portance fonction du rapport  $B/r$

$$N_c\left(\frac{B=30\text{m}}{r=4\text{m}}\right) = N_c(7,5) = 8 \quad (N_c(B/r) \geq \pi + 2)$$

$$\Rightarrow F = \frac{57 \text{ kPa} \times 8}{12 \text{ m} \times 20 \text{ kN/m}^3} = \underline{1,9} > 1,5$$

La stabilité vis à vis de la rupture par cisaillement est assurée dans des conditions de sécurité satisfaisantes.

8. Calcul du module pressiométrique Ménard typique de la couche d'argile :

moyenne harmonique : 
$$E_{m \text{ typique}} = \frac{4}{\frac{1}{2,6} + \frac{1}{5,8} + \frac{1}{3,9} + \frac{1}{7,5}}$$

$$E_{m \text{ typique}} = 4,2 \text{ MPa}$$

L'argile est dans un état lâche  $\Rightarrow \alpha = 95$

Le tassement est égal à :

$$\Delta h = \frac{\alpha q h}{E} = \frac{95 \times 12 \text{ m} \times 20 \text{ kN/m}^3 \times 400 \text{ cm}}{4200 \text{ kPa}} = \underline{\underline{11,5 \text{ cm}}}$$

Cette méthode est uniquement valable pour les dimensions de fondations superficielles. L'ordre de grandeur est une estimation en première approche. Les tassements peuvent être calculés plus précisément par la méthode oedométrique.

La pression de préconsolidation peut être estimée par la relation  $\sigma'_p = \frac{u}{0,3}$

$$\sigma'_p = \frac{57 \text{ kPa}}{0,3} = 190 \text{ kPa} < q$$

Les tassements sont plus importants que ceux calculés par la formule simplifiée.