# Mesure de Gmax in situ et applications

E.Flavigny, C. Obremski, labo 3S ,Grenoble

L. Boutonnier, Scetauroute

C. Boutin, E.N.T.P.E, LGM

# Introduction

But du projet: élaboration d'un outil de prédiction du niveau vibratoire engendré par le passage d'un tramway.

Application au contrôle des vibrations transmises

Optimisation du dimensionnement des voies

Application à la reconnaissance géotechnique

Les partenaires :

Scetauroute, Vibratec, E.C.P. (LMSS), 3S, Semaly

# Quelle est la vibration transmise ?

# Plan de l’exposé

- Mesure des efforts transmis
- Propagation d'ondes de Rayleigh
- La méthode CSWS
- Les sites étudiés
- L'interprétation
- Conclusion

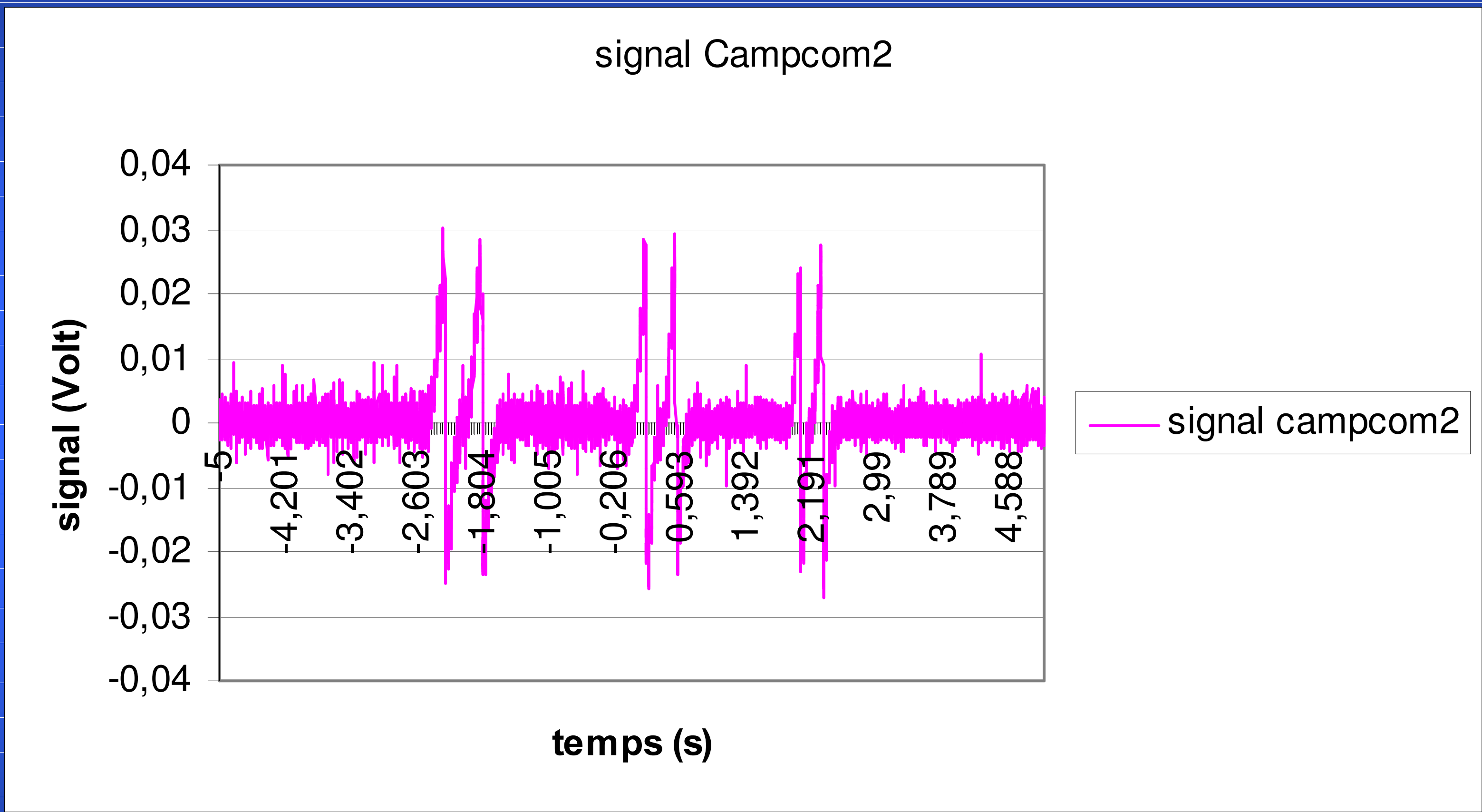
# I –Mesure des efforts transmis.

# Mesures d'efforts

Collage de jauges

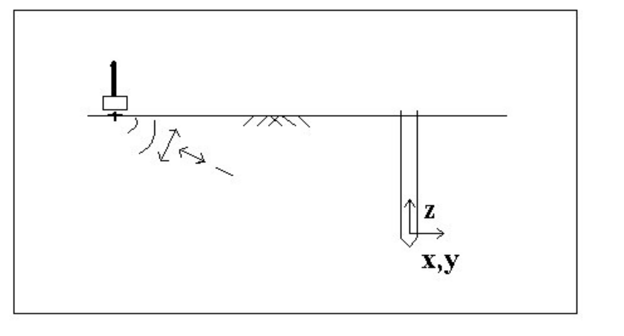

Etalonnage

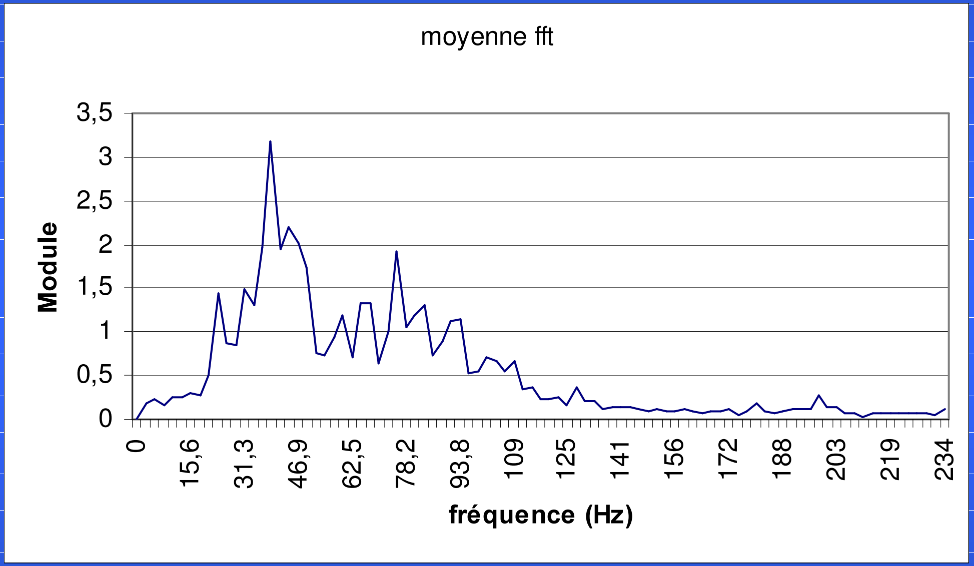
# Enregistrement passage du tram




Les pics correspondent au passage des 6 roues ( 3 boogies)

# Mesures sur le sismocône




Enregistrement sur un sismocone du passage du Tramway ( FFT)

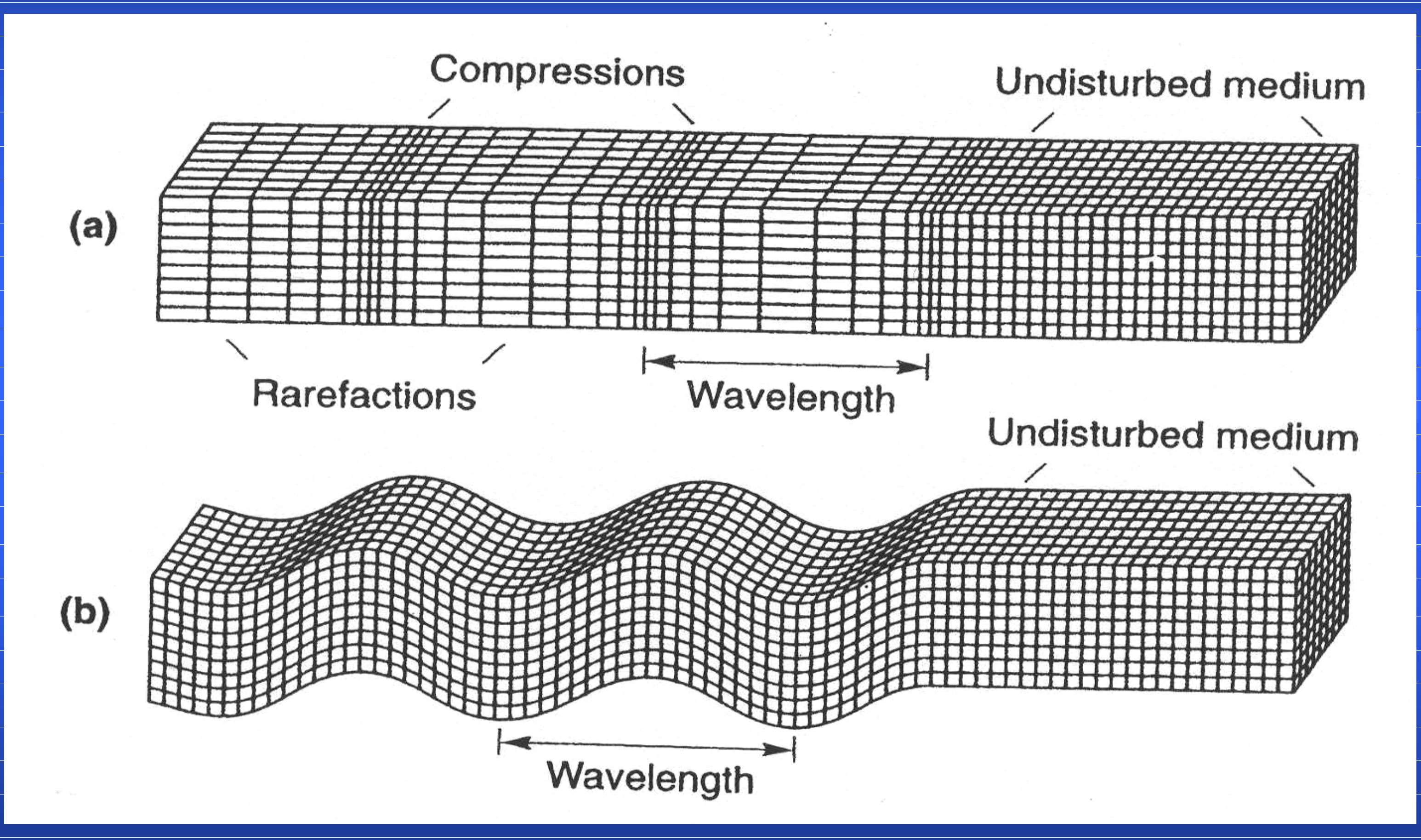
# II –Propagation des ondes de Rayleigh

# Ondes de volumes

Dans un solide élastique, il existe 2 types d'ondes de volume:

- Onde P (première), longitudinale ou de compression. Elles provoquent un changement de volume sans changement de forme.
- Onde S (seconde), transversale ou de cisaillement. Elles provoquent un changement de forme sans changement de volume.

# Représentation des ondes de volume.



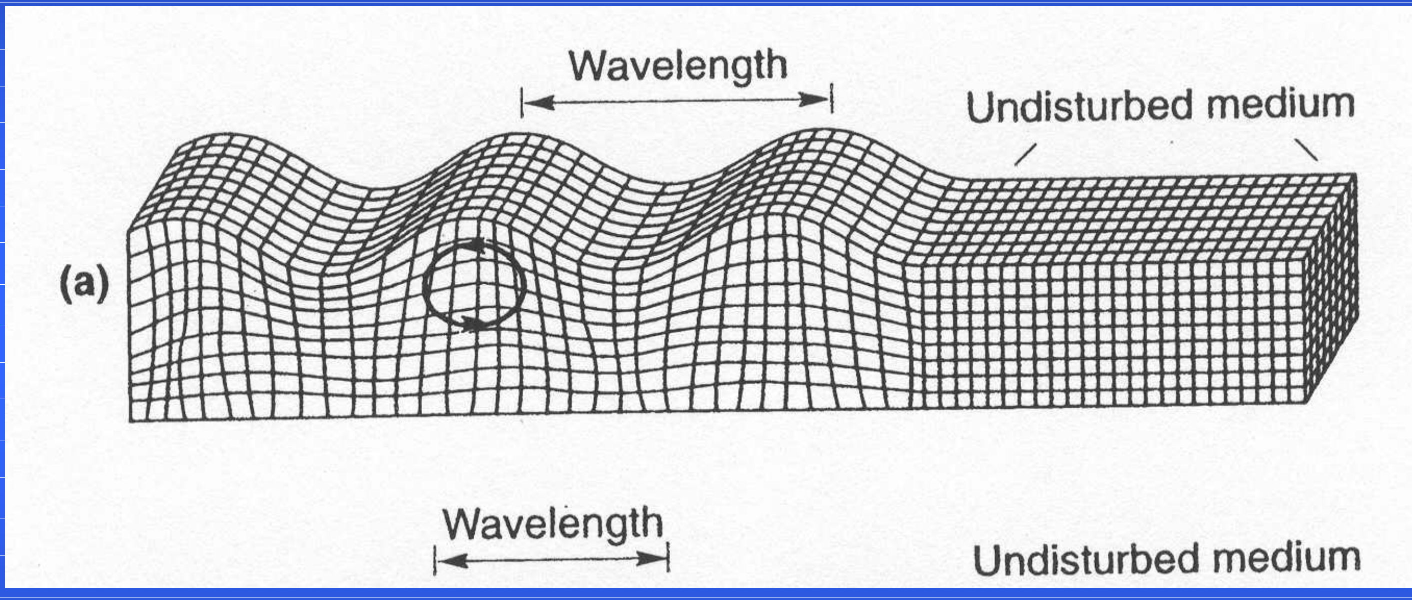

a) Ondes de compression b) Onde de cisaillement

# Ondes de surface

Dans un solide élastique semi infini, d'autres types d'onde peuvent se propager à l'interface entre le milieu et l'extérieur:

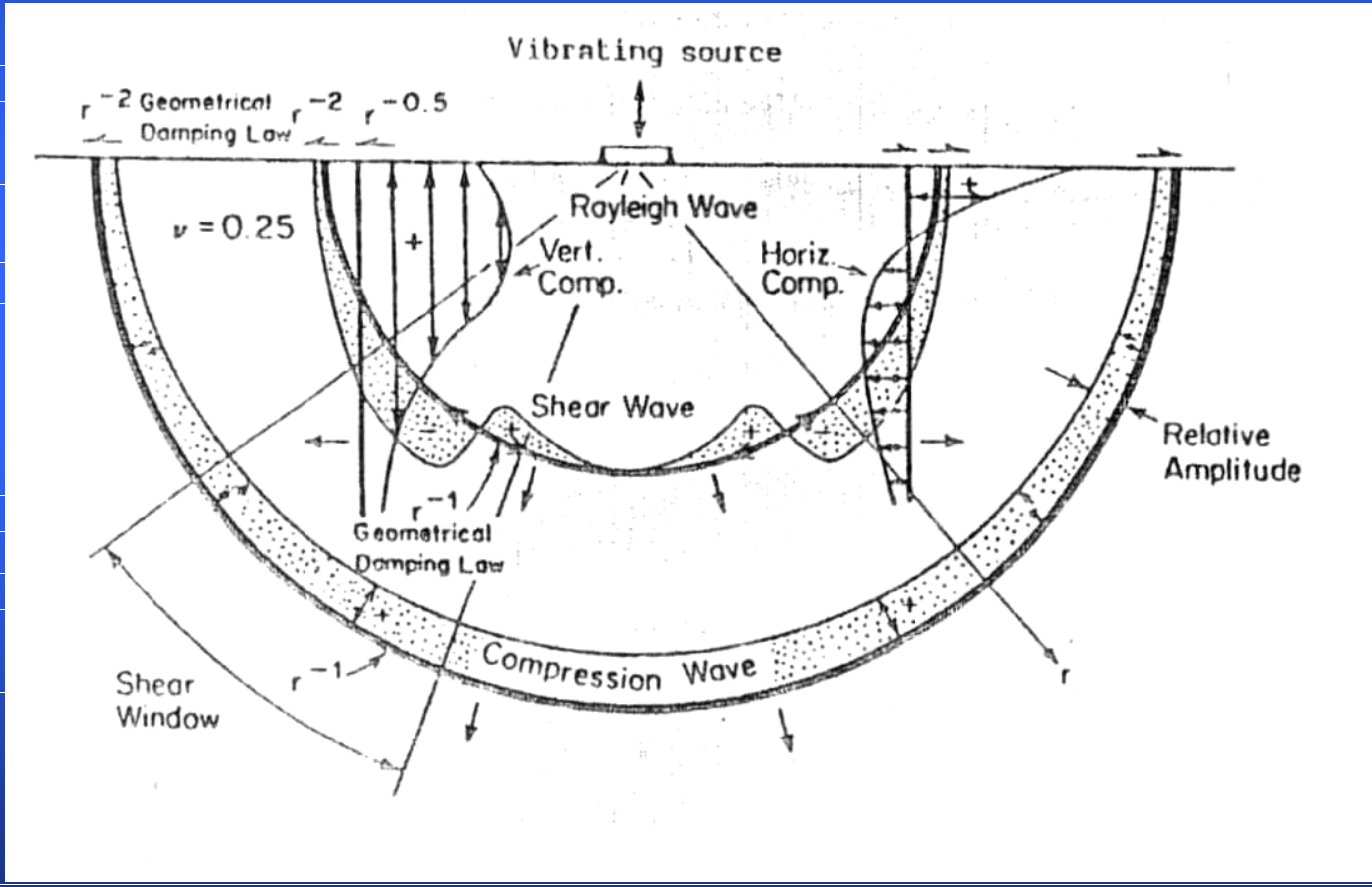
- Les ondes de Rayleigh,
- Les ondes de Love,

# Représentation des ondes de surface.




Onde de Rayleigh

# Propriétés des ondes



# Vitesses:

$$\longrightarrow \quad Vp = \sqrt{\frac{\lambda + 2G}{\rho}}$$

$$\longrightarrow \quad Vs = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

# Les ondes de surface:

les ondes de Rayleigh:

↳La profondeur de pénétration de l’onde dépend de sa longueur d’onde. Plus celle ci est grande, plus l’onde se propage profondément .

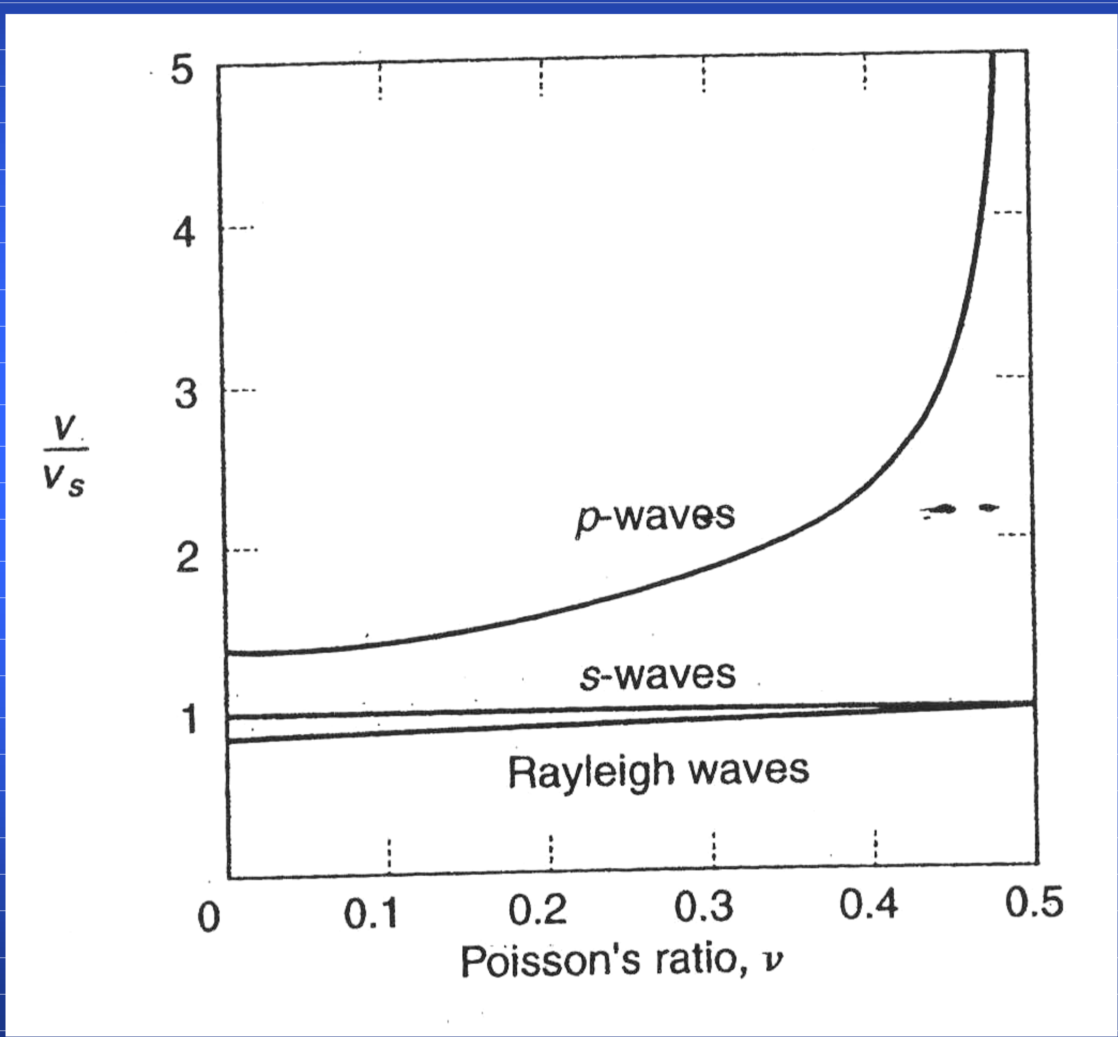
↳Le déplacement d’une particule soumise à une onde de Rayleigh est une ellipse verticale décrite dans le sens rétrograde.

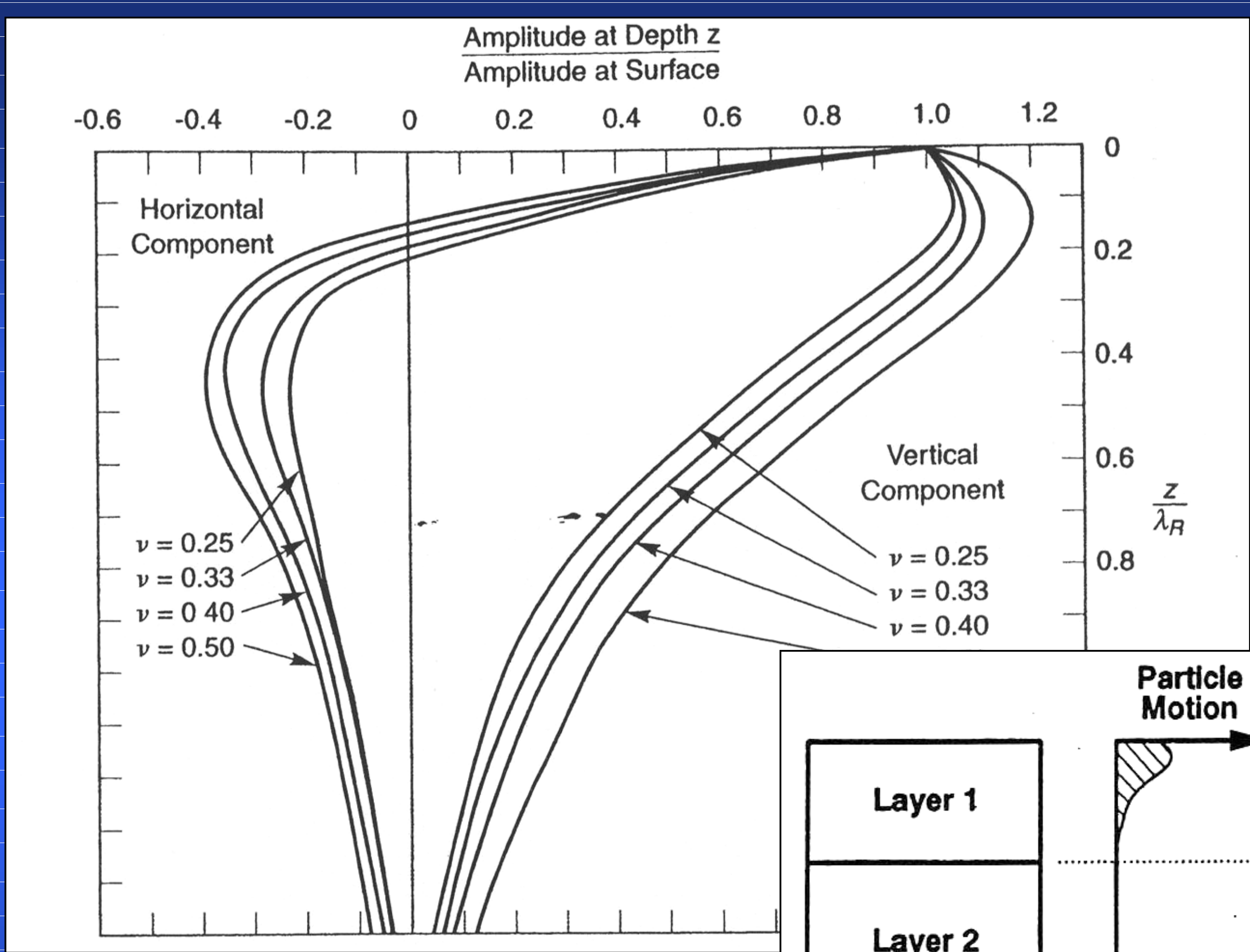
↳Dans un milieu non homogène, la vitesse de ces ondes dépend de leur fréquence. Elles sont dites dispersives.

# Vitesse des ondes de Rayleigh

$$V_r = C.V_S$$

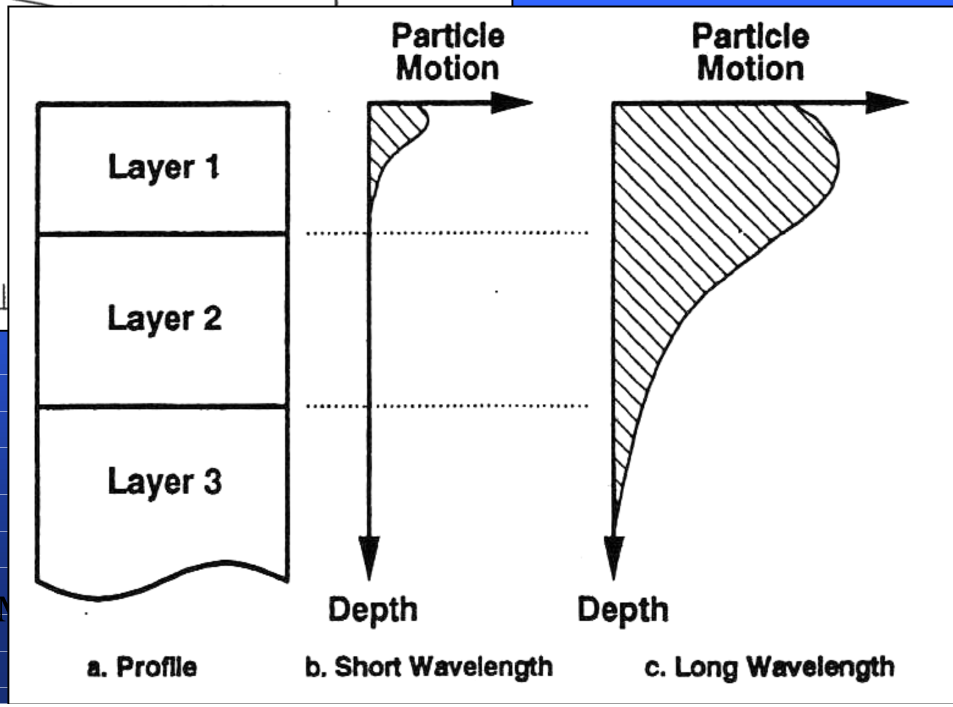
$$C = \frac{0{,}87 + 1{,}12.\nu}{1+\nu}$$






Rix et al.

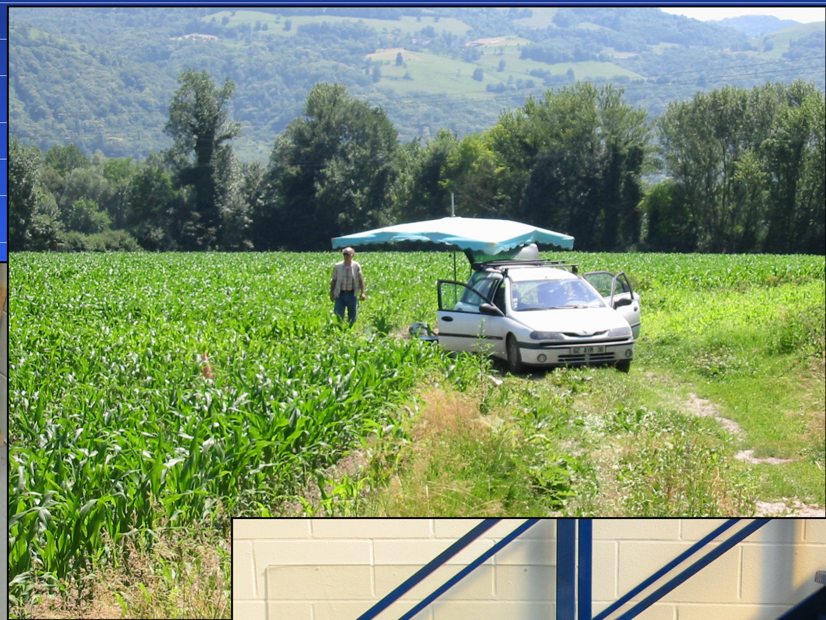
$$V_r = f \lambda_r$$



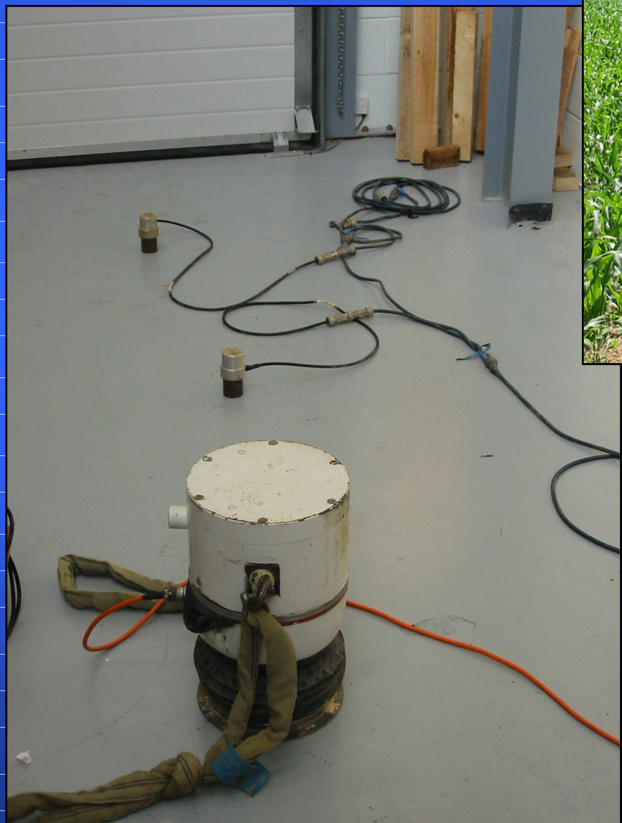
# III –La méthode CSWS*.

* Continuous surface waves system

# Le matériel.



Site de la Chantourne



P.C de commande et Alim


Géophones
Vibreur

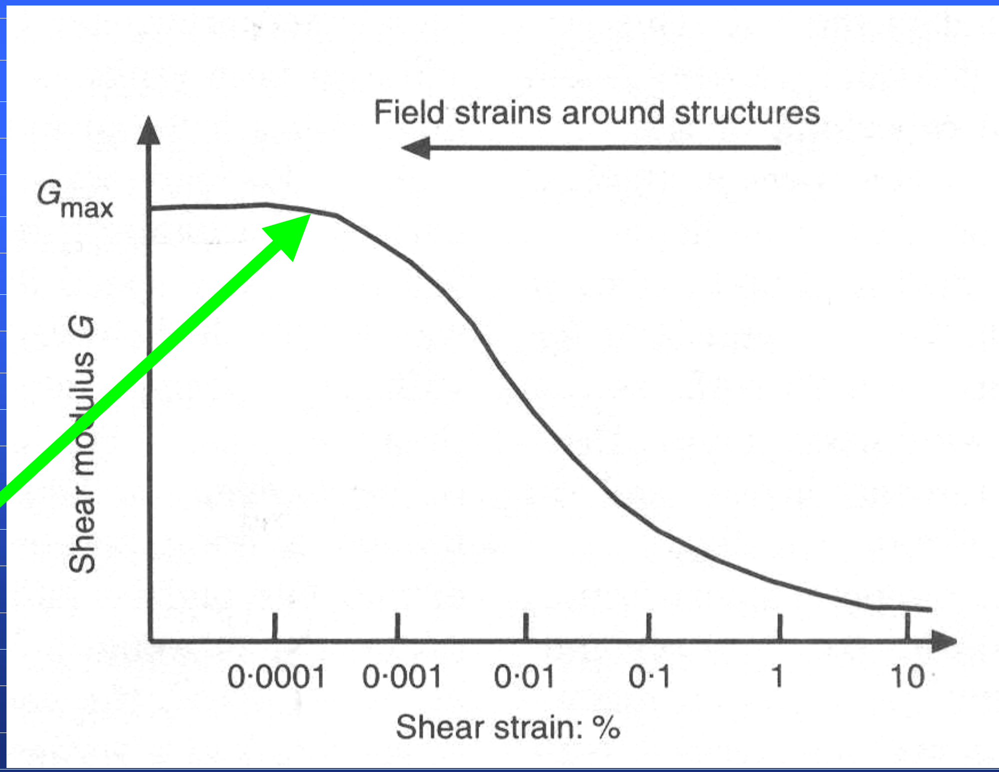

Géophones

# La méthode.

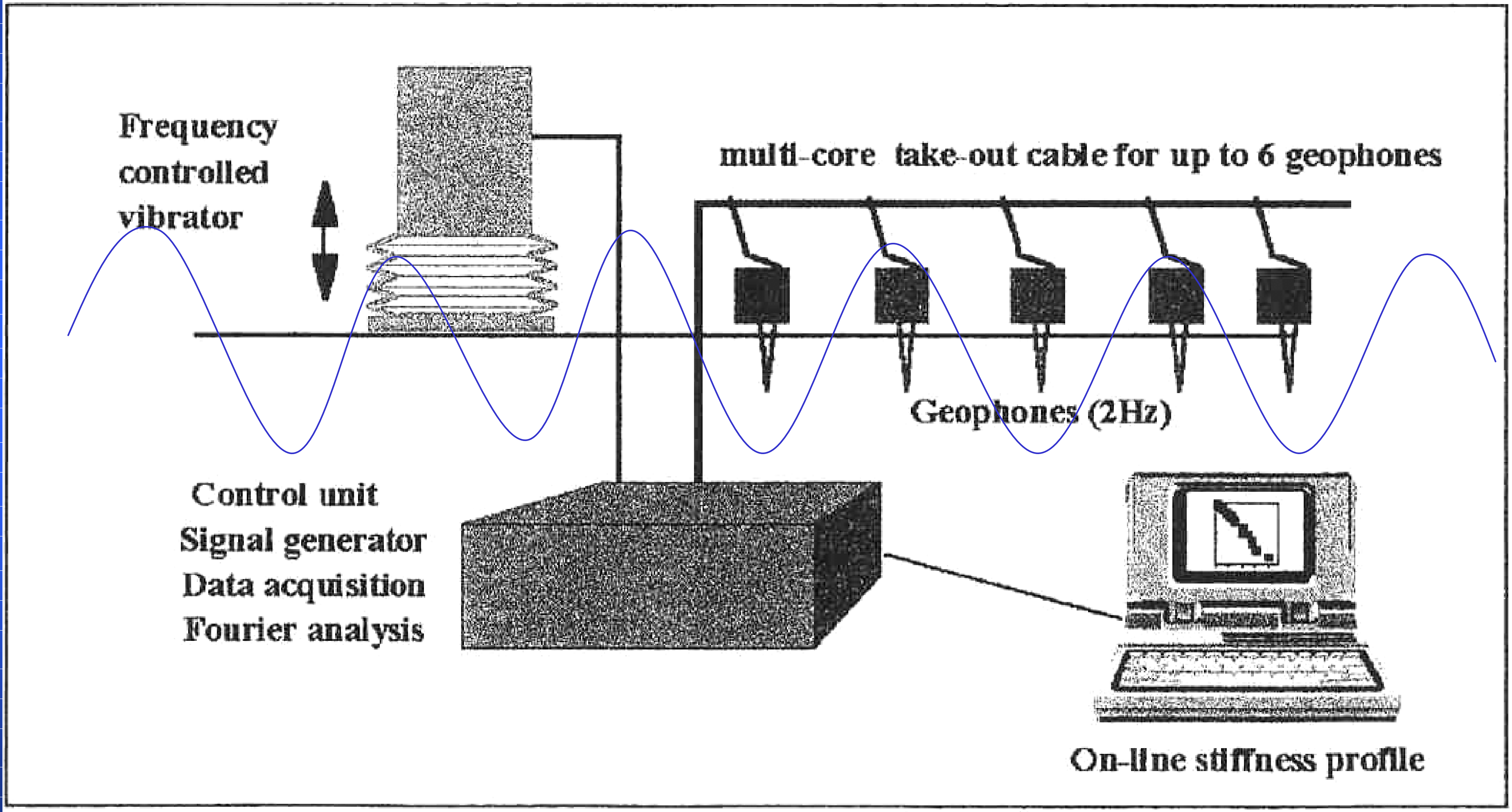
➢ Dans un demi-espace homogène et isotrope, 67% de l'énergie d'une source vibrant verticalement se propage en une onde de Rayleigh, 26% en une onde de cisaillement et 7% en une onde de compression [Miller et Pursey,1955 cités par Abraham & al.].

➢Déformations inférieures à 0,001%

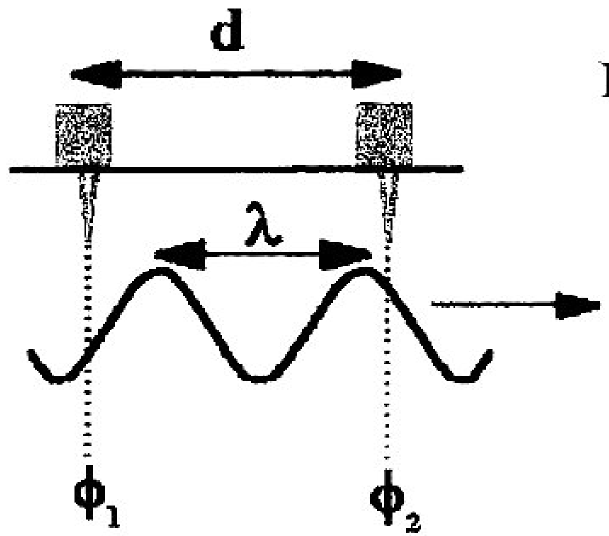
➢Obtention de la valeur de $G_{max}$



# Schématisation



# Calcul de la vitesse de phase.




Frequency = f

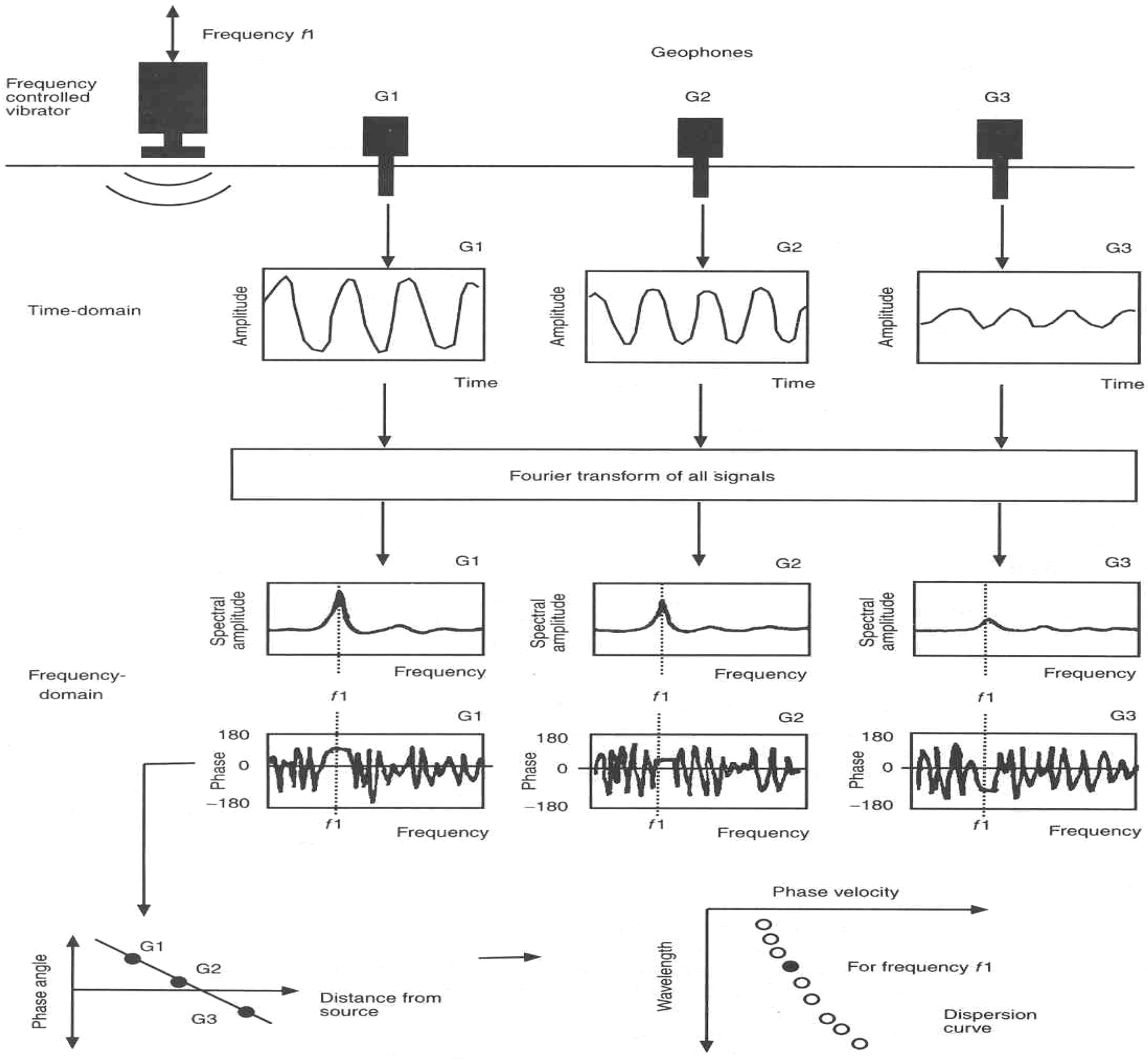
Phase difference = $\phi_2 - \phi_1 = \phi$

by proportion $\dfrac{\phi}{360} = \dfrac{d}{\lambda}$

Therefore $\lambda = \dfrac{360 \,.\, d}{\phi}$

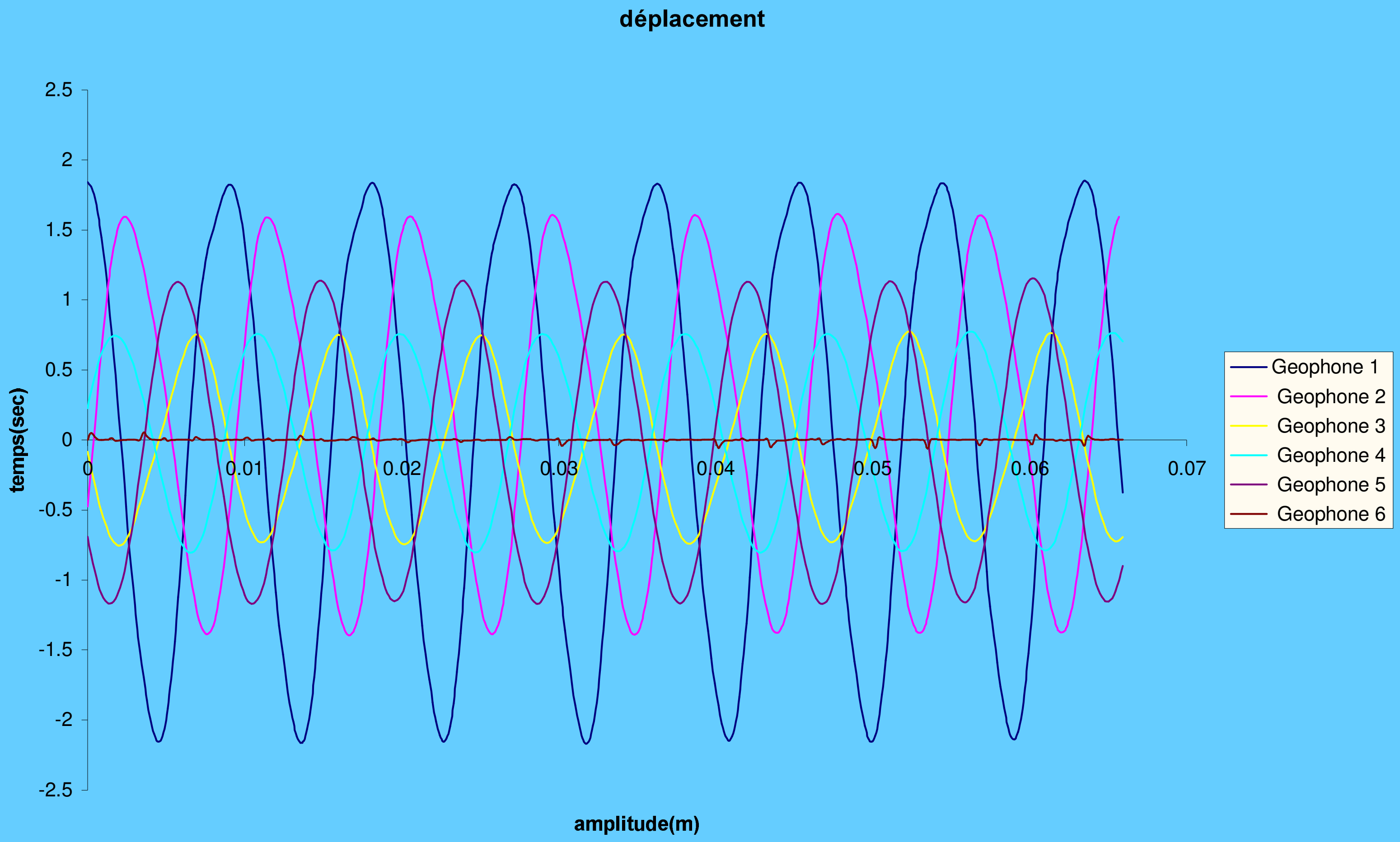
But $V = f\lambda =$ **phase velocity**

**by knowing the frequency, f, and the change in phase with distance from the vibrator, $\phi$/d, we can determine the phase velocity**

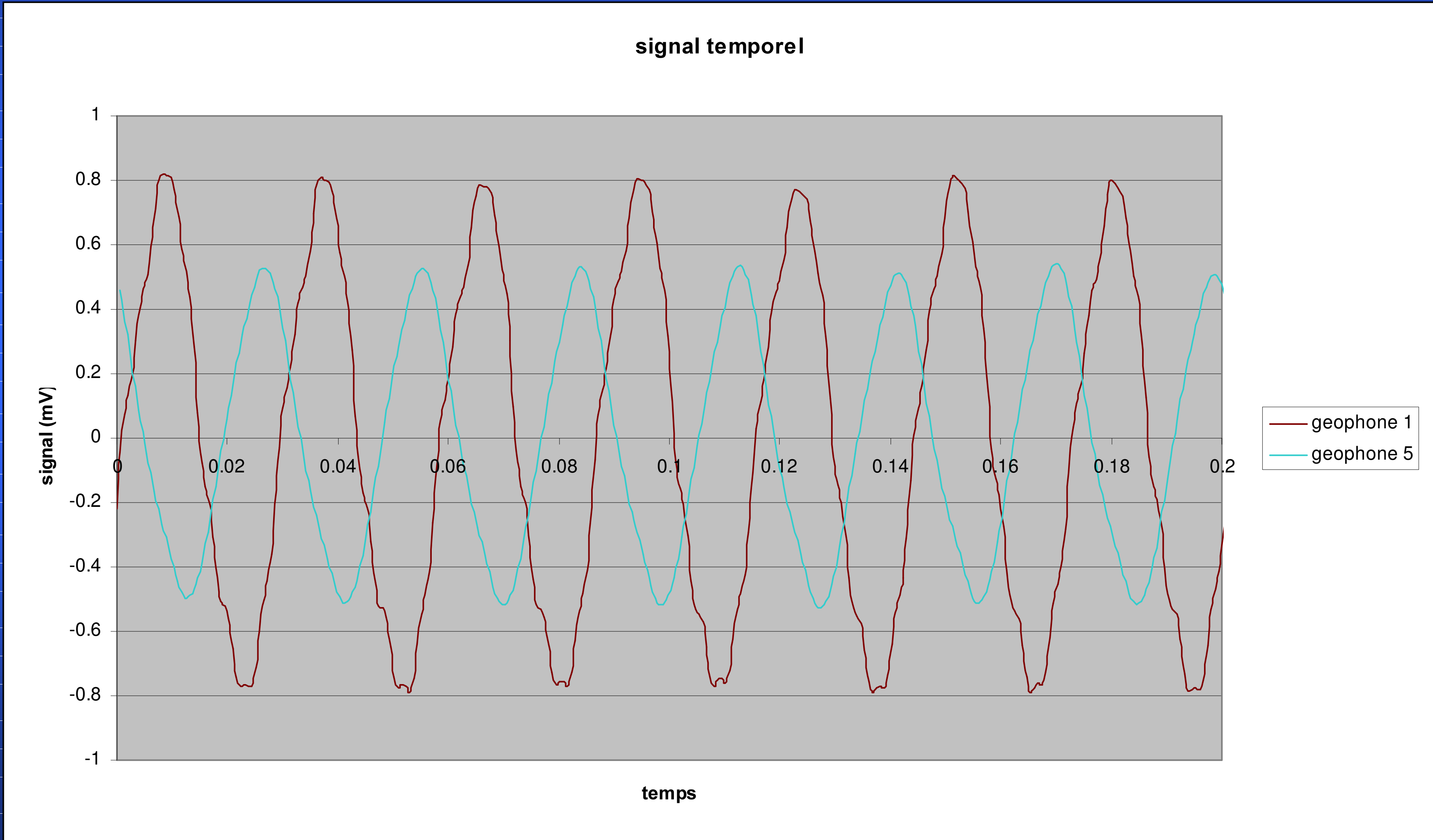


Frequency f1
Geophones
Frequency controlled vibrator
G1
G2
G3
Time-domain
Amplitude
Time
Fourier transform of all signals
Spectral amplitude
Frequency
Frequency-domain
f1
Phase
180
0
−180
Phase angle
Distance from source
Phase velocity
Wavelength
For frequency f1
Dispersion curve

# Traitement des données expérimentales



# Fichiers temporels



**GDS INSTRUMENTS LIMITED**

12 Eversley Way
Thorpe Industrial Estate
Egham, Surrey TW20 8RG
Tel: +44 1784 439228   Fax: +44 1784 434644

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Job: | | | | | |
| Date: | 19-juin-02 | | | | |
| Location: | campus | | | | |
| File Name | campus2 | | | Vr = C*Vs | |
| | | | | C = | 0,9195 |
| Bulk density | 2,00 | Mg/cu m | | | |
| Geo Dist: | 1 | m | | | |

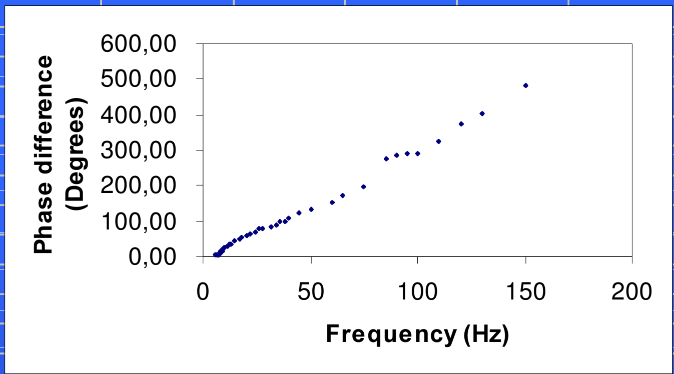
| Frequency (Hz) | Phase Difference (Deg) | Corrected Phase Diff. (Deg) | Wavelength (m) | S wave velocity (m/sec) | Shear modulus G (MPa) | Depth Wavelength/3 (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 4,744 | | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! |
| 6 | 4,023 | 4,02 | 89,49 | 584 | 682 | -29,83 |
| 6,2 | 4,686 | 4,69 | 76,82 | 518 | 537 | -25,61 |
| 6,4 | 5,044 | 5,04 | 71,37 | 497 | 494 | -23,79 |
| 6,5 | 5,077 | | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! |
| 6,6 | 5,77 | | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! |

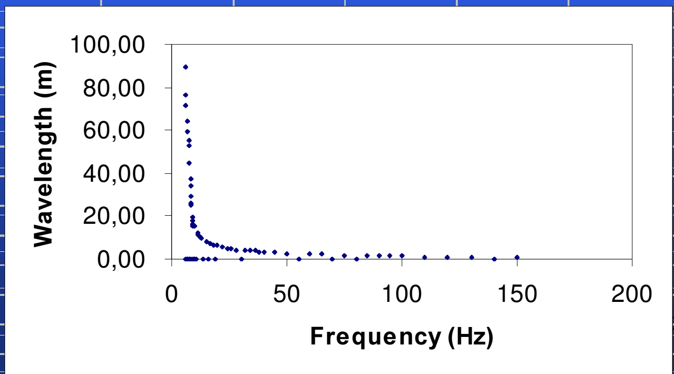
# Le traitement:

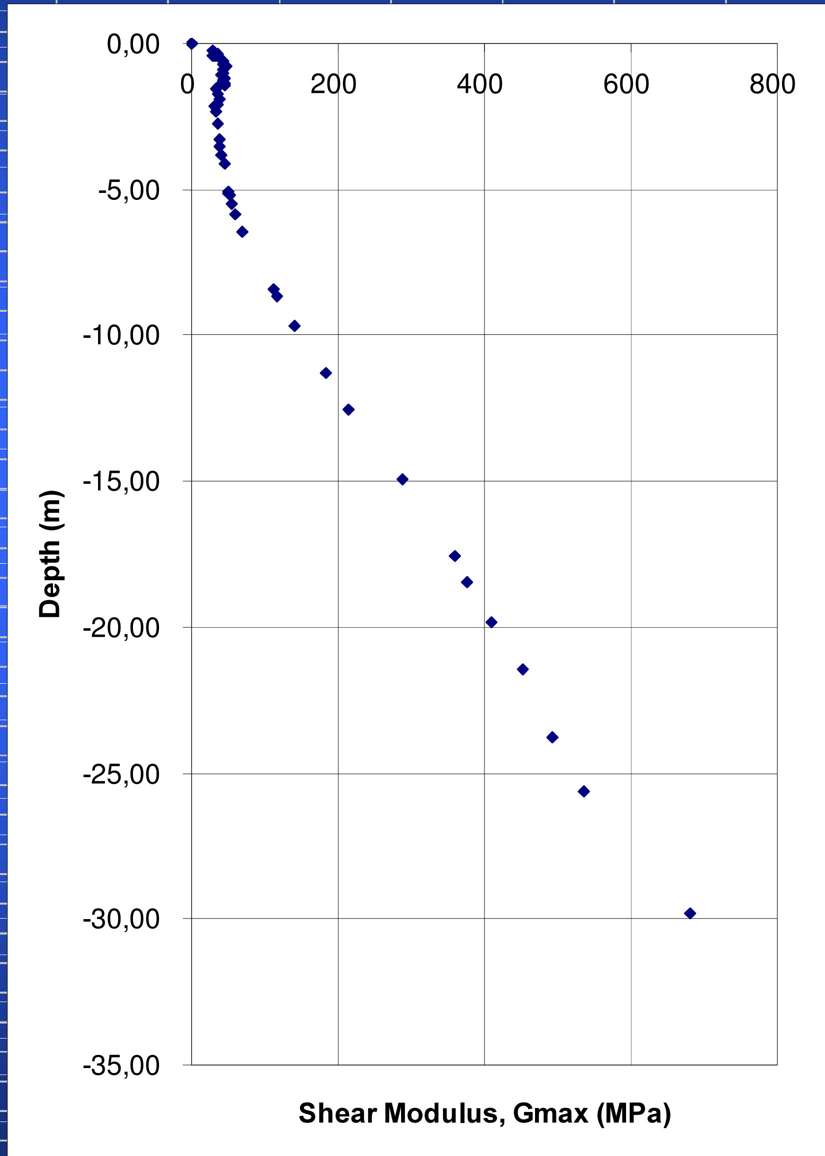
**GDS INSTRUMENTS LIMITED**
12 Eversley Way
Thorpe Industrial Estate
Egham, Surrey TW20 8RG
Tel: +44 1784 439228 Fax: +44 1784 434644

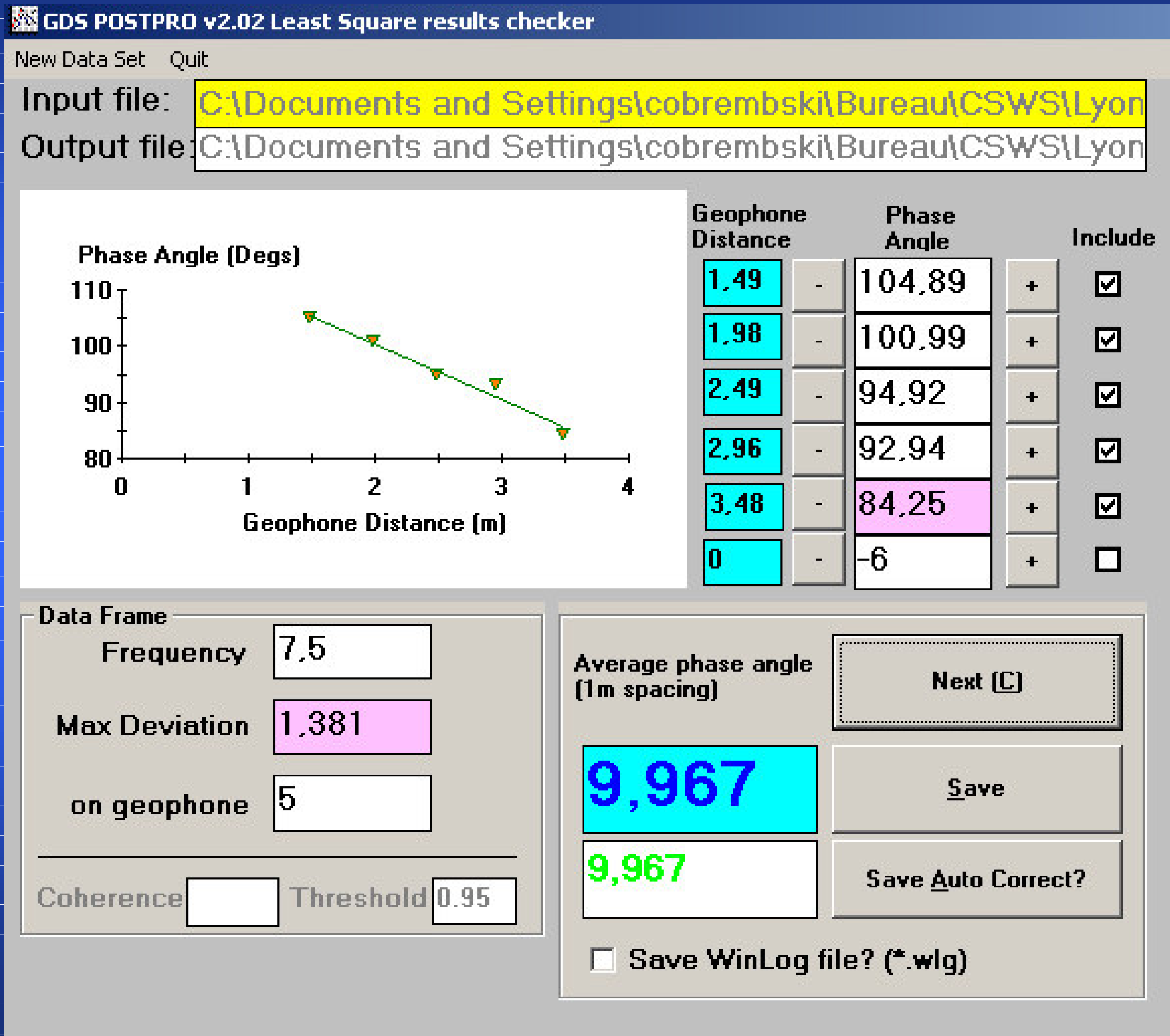
**Continuous Surface-Wave Test**

Date: 06/19/02
Site: campus



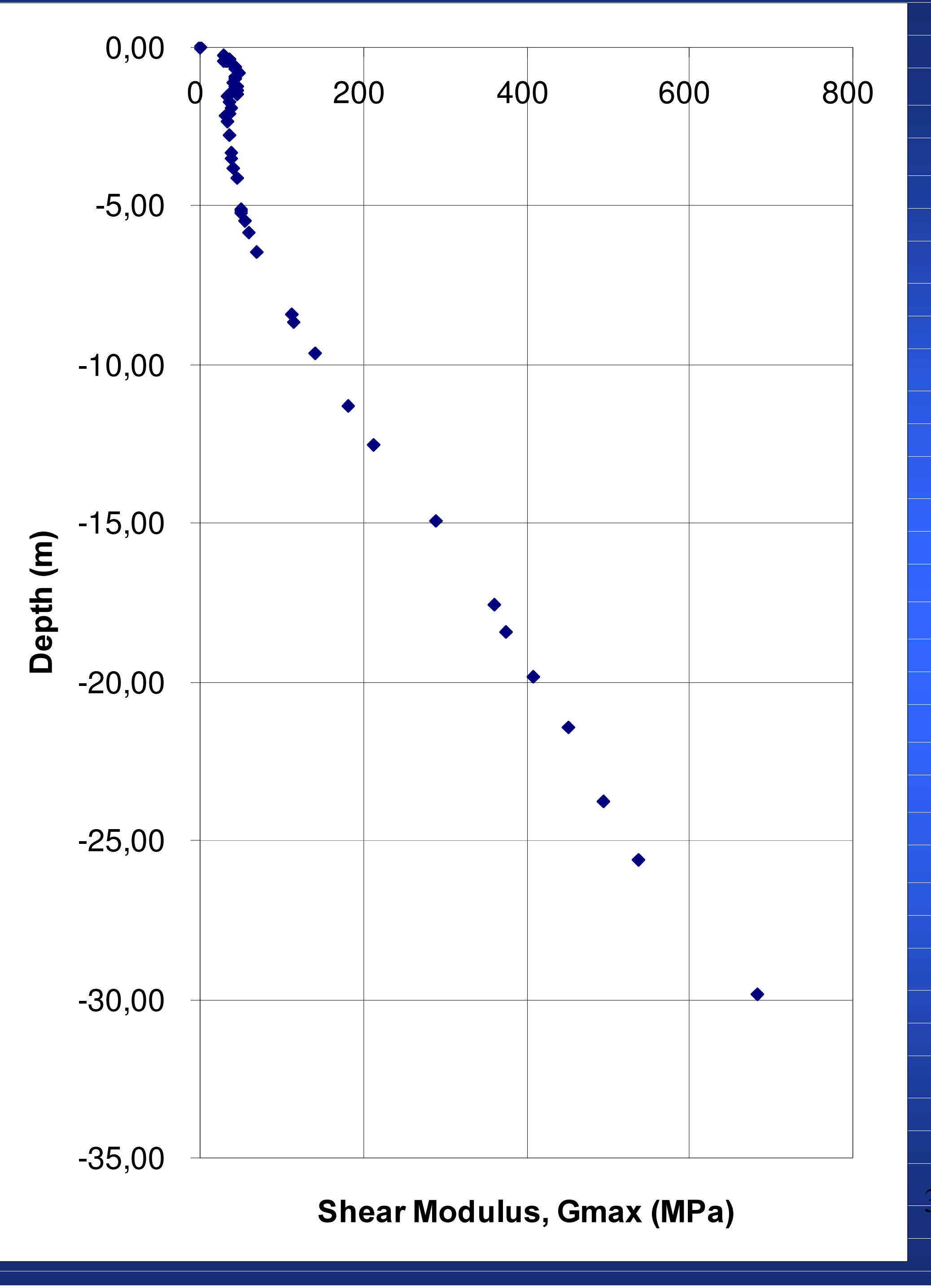




GDS POSTPRO v2.02 Least Square results checker
New Data Set
Quit
Input file: C:\Documents and Settings\cobrembski\Bureau\CSWS\Lyon
Output file: C:\Documents and Settings\cobrembski\Bureau\CSWS\Lyon
Phase Angle (Degs)
110
100
90
80
0
1
2
3
4
Geophone Distance (m)
Geophone Distance
Phase Angle
Include
1,49
104,89
1,98
100,99
2,49
94,92
2,96
92,94
3,48
84,25
0
-6
Data Frame
Frequency 7,5
Max Deviation 1,381
on geophone 5
Coherence
Threshold 0.95
Average phase angle (1m spacing)
9,967
9,967
Next (C)
Save
Save Auto Correct?
Save WinLog file? (*.wlg)

# Exemples de résultat

| Frequency (Hz) | Phase Difference (Deg) | Corrected Phase Diff. (Deg) | Wavelength (m) | S wave velocity (m/sec) | Shear modulus G (MPa) | Depth Wavelength/3 (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 97.579 | 97.58 | 3.69 | 120 | 29 | -1.23 |
| 32 | 110.378 | 110.38 | 3.26 | 114 | 26 | -1.09 |
| 34 | 123.464 | 123.46 | 2.92 | 108 | 23 | -0.97 |
| 38 | 131.507 | 131.51 | 2.74 | 113 | 26 | -0.91 |
| 40 | 133.093 | 133.09 | 2.70 | 118 | 28 | -0.90 |
| 45 | 140.916 | 140.92 | 2.55 | 125 | 31 | -0.85 |
| 50 | 153.369 | 153.37 | 2.35 | 128 | 33 | -0.78 |
| 55 | 166.972 | 166.97 | 2.16 | 129 | 33 | -0.72 |
| 60 | 186.126 | 186.13 | 1.93 | 126 | 32 | -0.64 |
| 70 | 192.302 | 192.30 | 1.87 | 143 | 41 | -0.62 |
| 75 | 208.462 | 208.46 | 1.73 | 141 | 40 | -0.58 |
| 80 | 225.077 | 225.08 | 1.60 | 139 | 39 | -0.53 |
| 85 | 236.408 | 236.41 | 1.52 | 141 | 40 | -0.51 |
| 90 | 269.327 | 269.33 | 1.34 | 131 | 34 | -0.45 |
| 95 | 280.99 | 280.99 | 1.28 | 132 | 35 | -0.43 |
| 100 | 293.321 | 293.32 | 1.23 | 133 | 36 | -0.41 |
| 110 | 328.072 | 328.07 | 1.10 | 131 | 34 | -0.37 |
| 120 | 314.488 | 341.49 | 1.05 | 138 | 38 | -0.35 |
| 130 | 352.914 | 352.91 | 1.02 | 144 | 42 | -0.34 |
| 140 | 410.527 | 410.53 | 0.88 | 134 | 36 | -0.29 |
| 150 | 433.096 | 433.10 | 0.83 | 136 | 37 | -0.28 |

# Résultat



0,00
-5,00
-10,00
-15,00
-20,00
-25,00
-30,00
-35,00
0
200
400
600
800
Depth (m)
Shear Modulus, Gmax (MPa)

# IV –Les sites étudiés

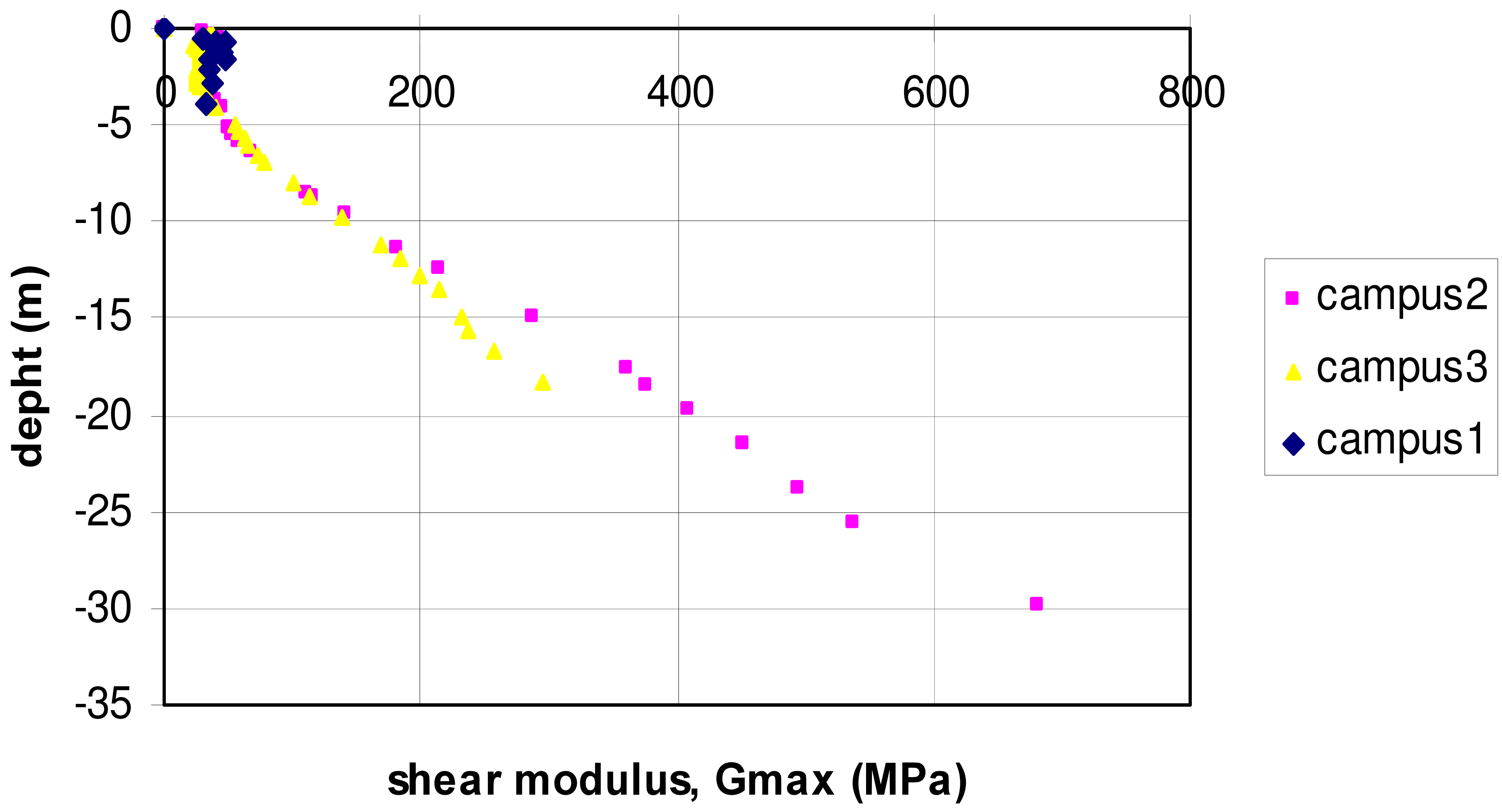
Campus universitaire Saint Martin d'Hères

Echirolles

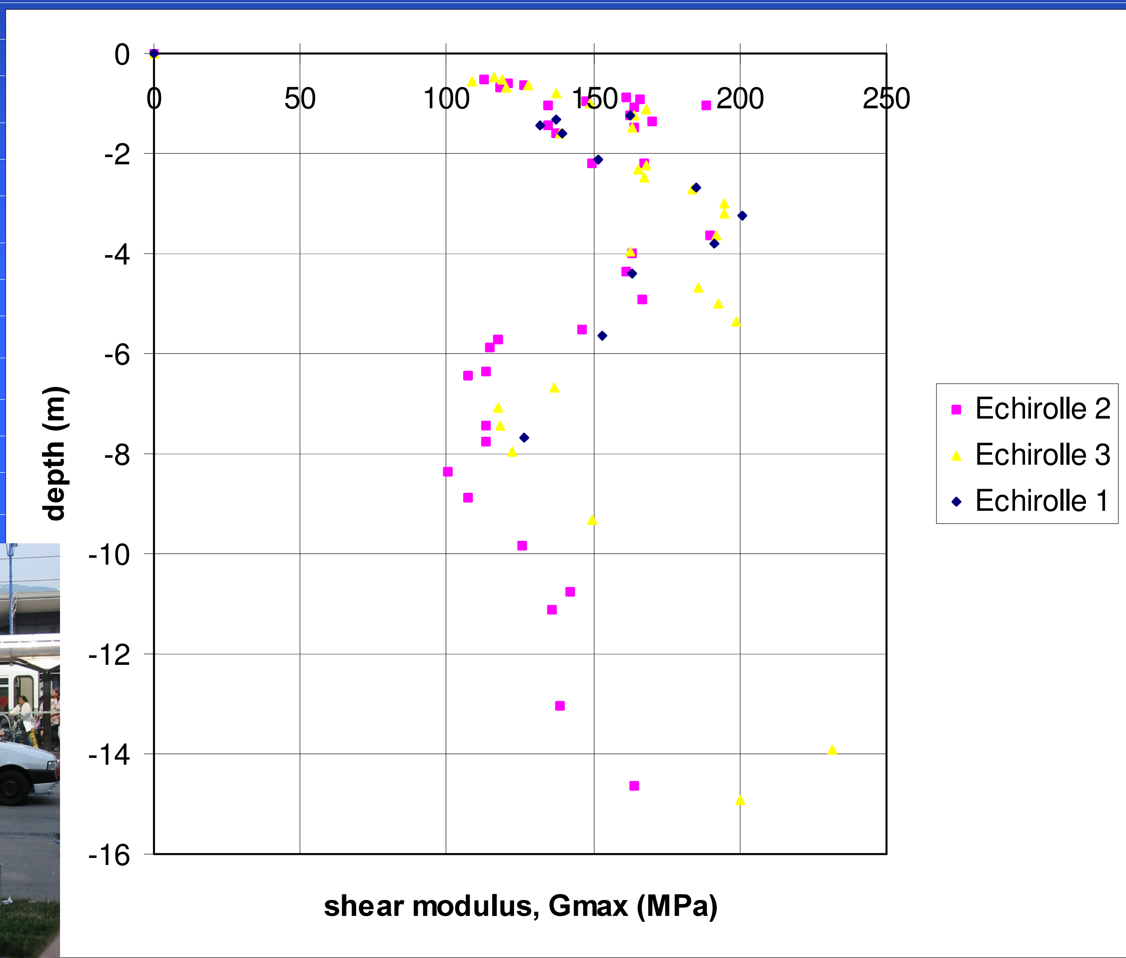
La Chantourne ( Vallée de l'Isère)

Vaulx en Velin ( Mas du Taureau)

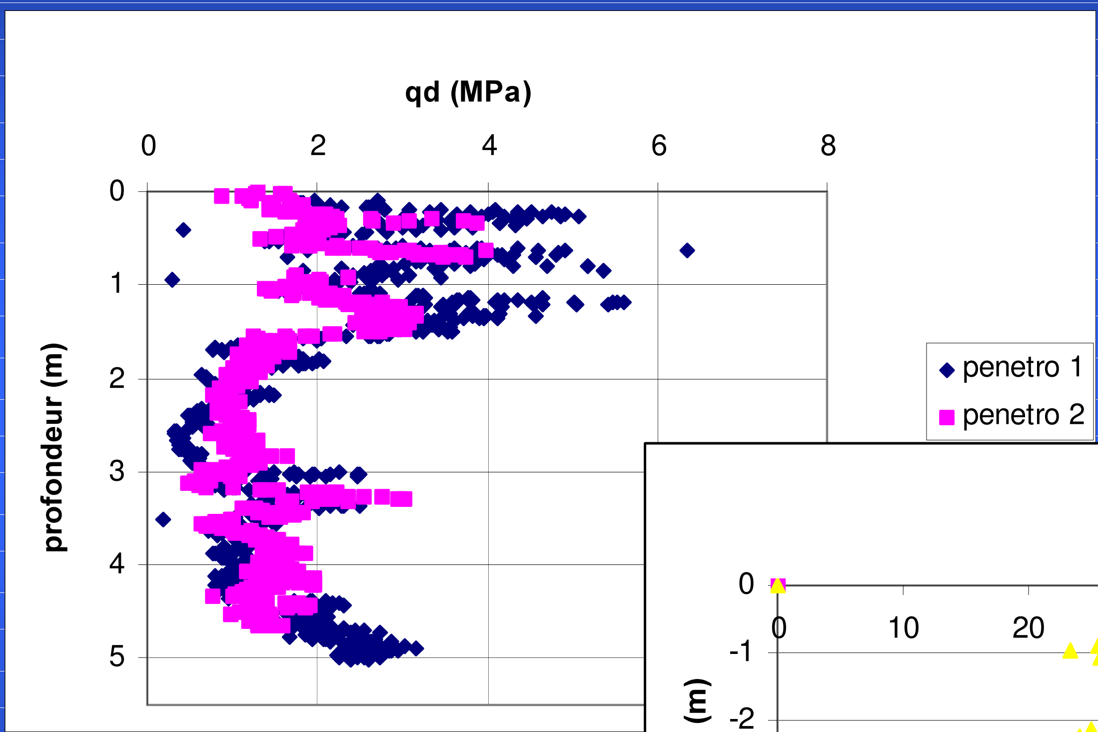
# Mesures Campus SMdH

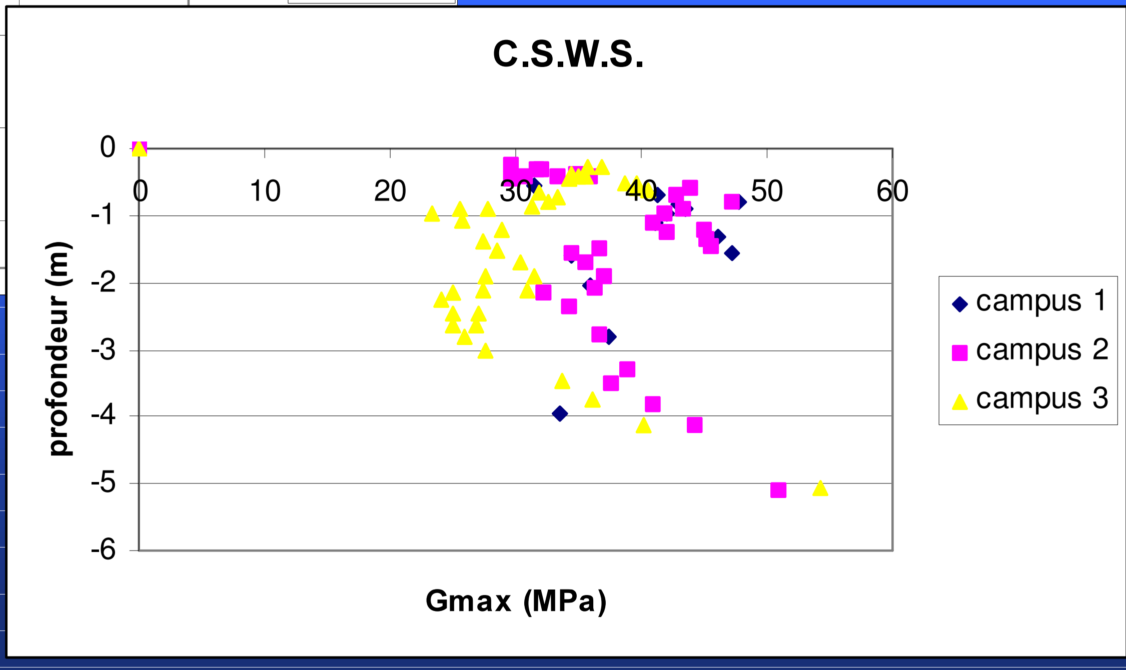


# Mesures Echirolles




# Comparaisons avec le pénétromètre PANDA.



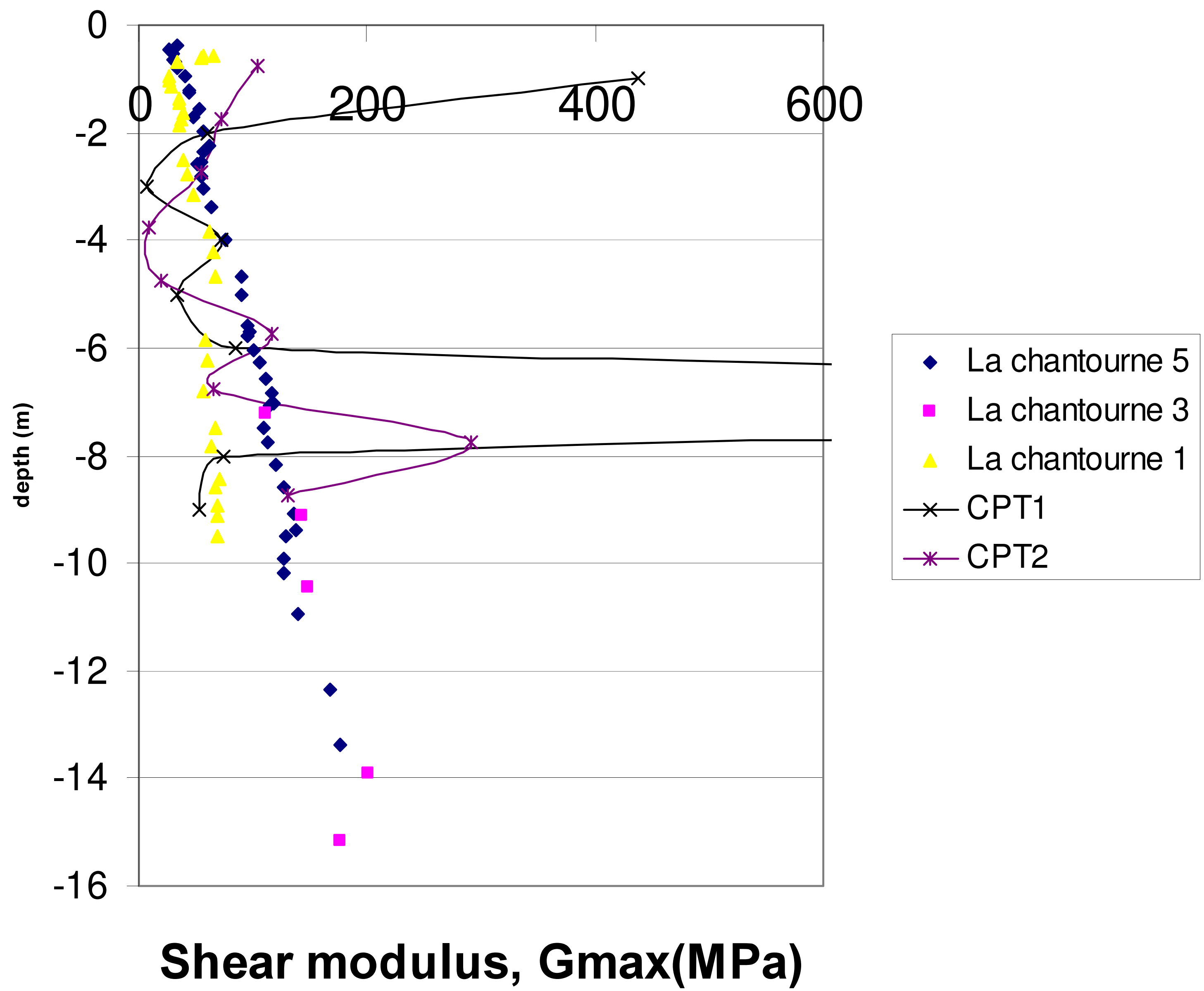



# Le site de La Chantourne.

- Il existe un forage profond.(550m)
- Site instrumenté.
- Essais SASW* (BRGM)
- Essais sismocône

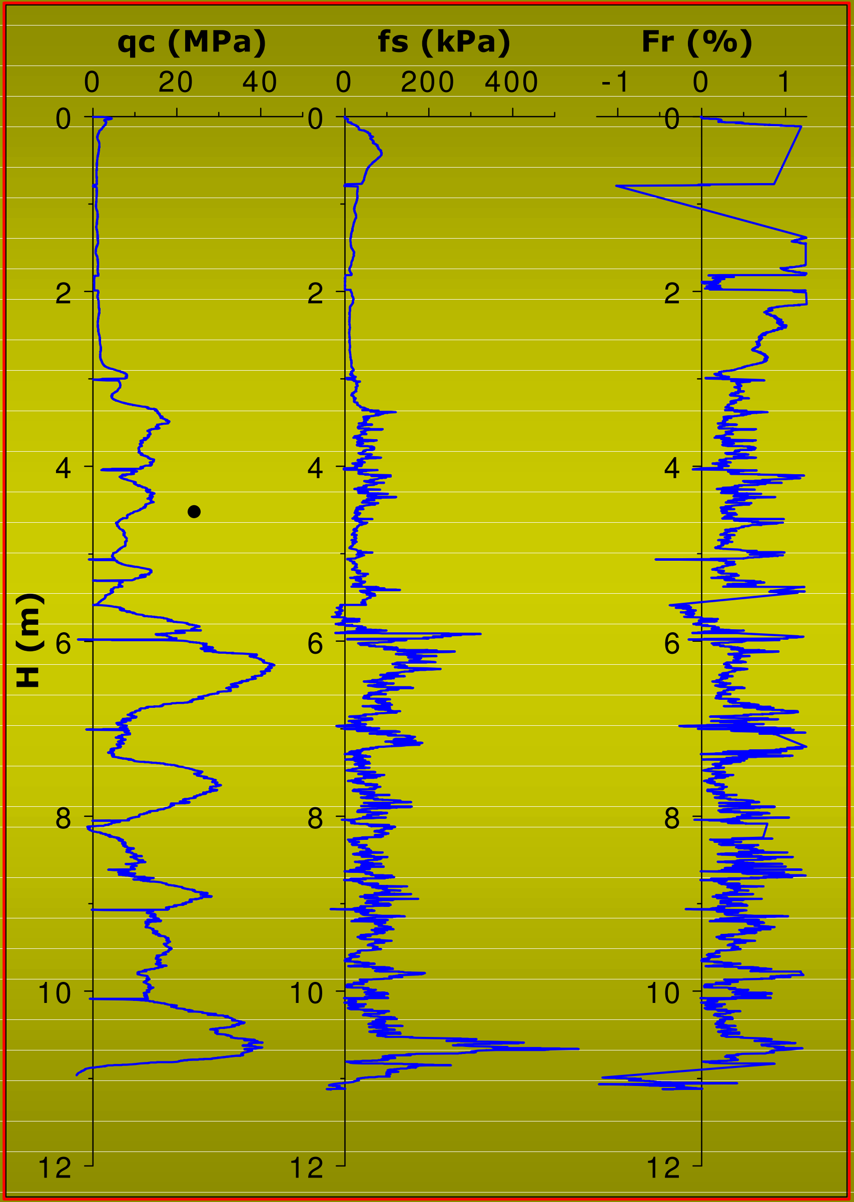
* Spectral analysis of surface waves

# Profils à La Chantourne.



# Profils à La Chantourne

Solen

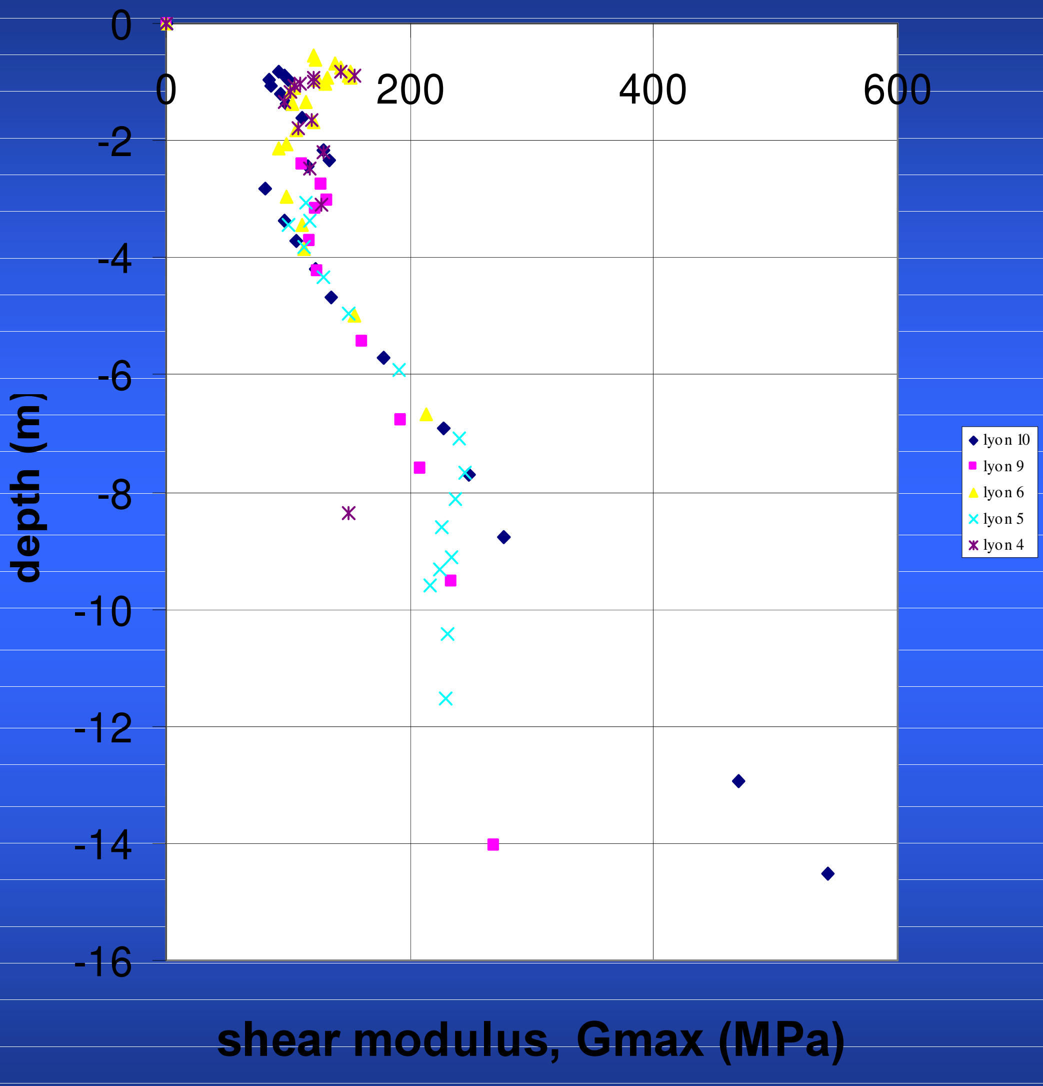



$$G_{max}=1634\, q_c^{\,0.250}\, \sigma_{v}^{\,0.375}$$

$$G_{max}=406\, q_c^{\,0.695}\, e^{-1.13}$$

*En kPa*

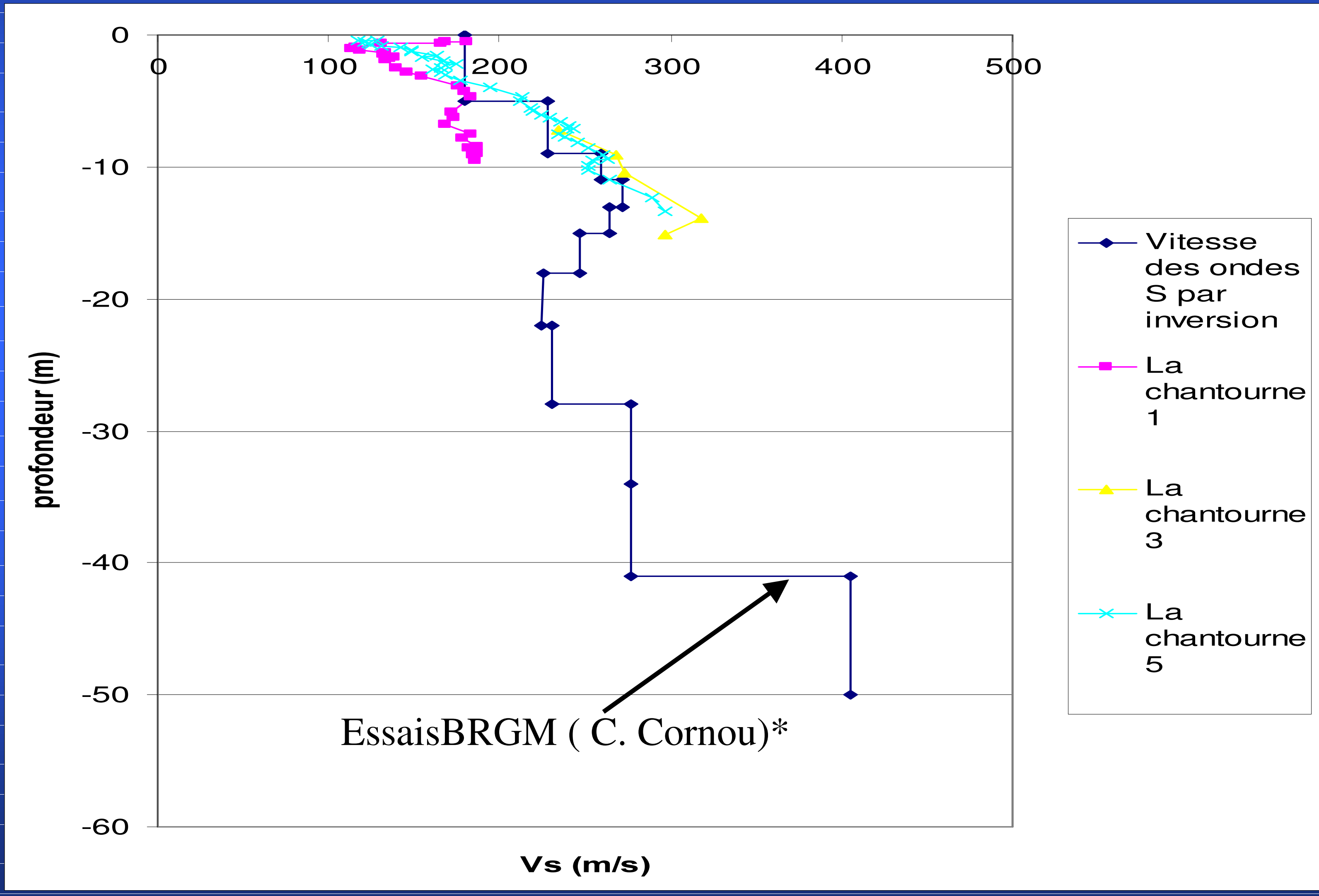
# Profils à Vaulx en Velin



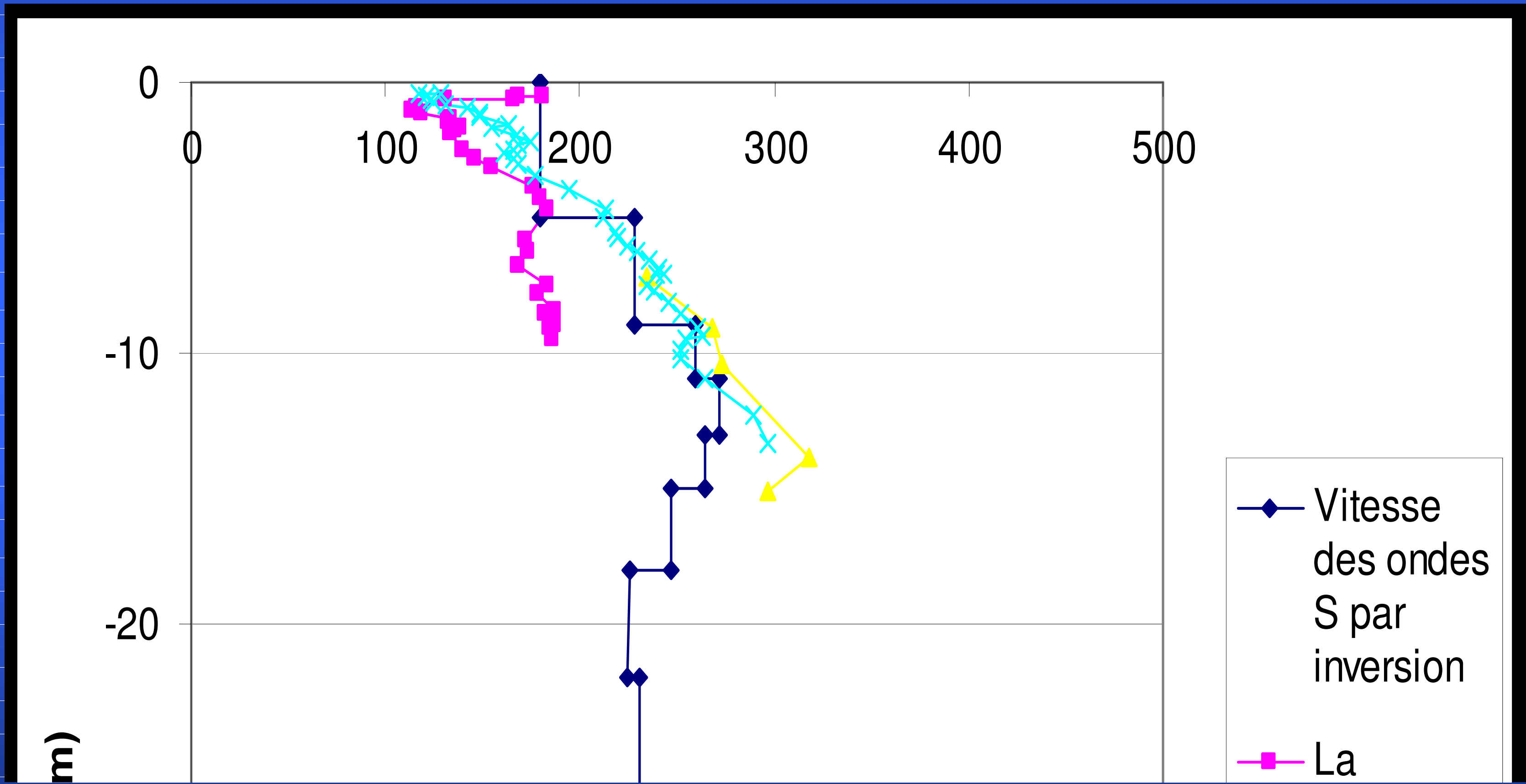

Application à l'interaction Sol- bâti

# V –L'interprétation.

# Comparaison profil de vitesse SASW et inversion réelle.

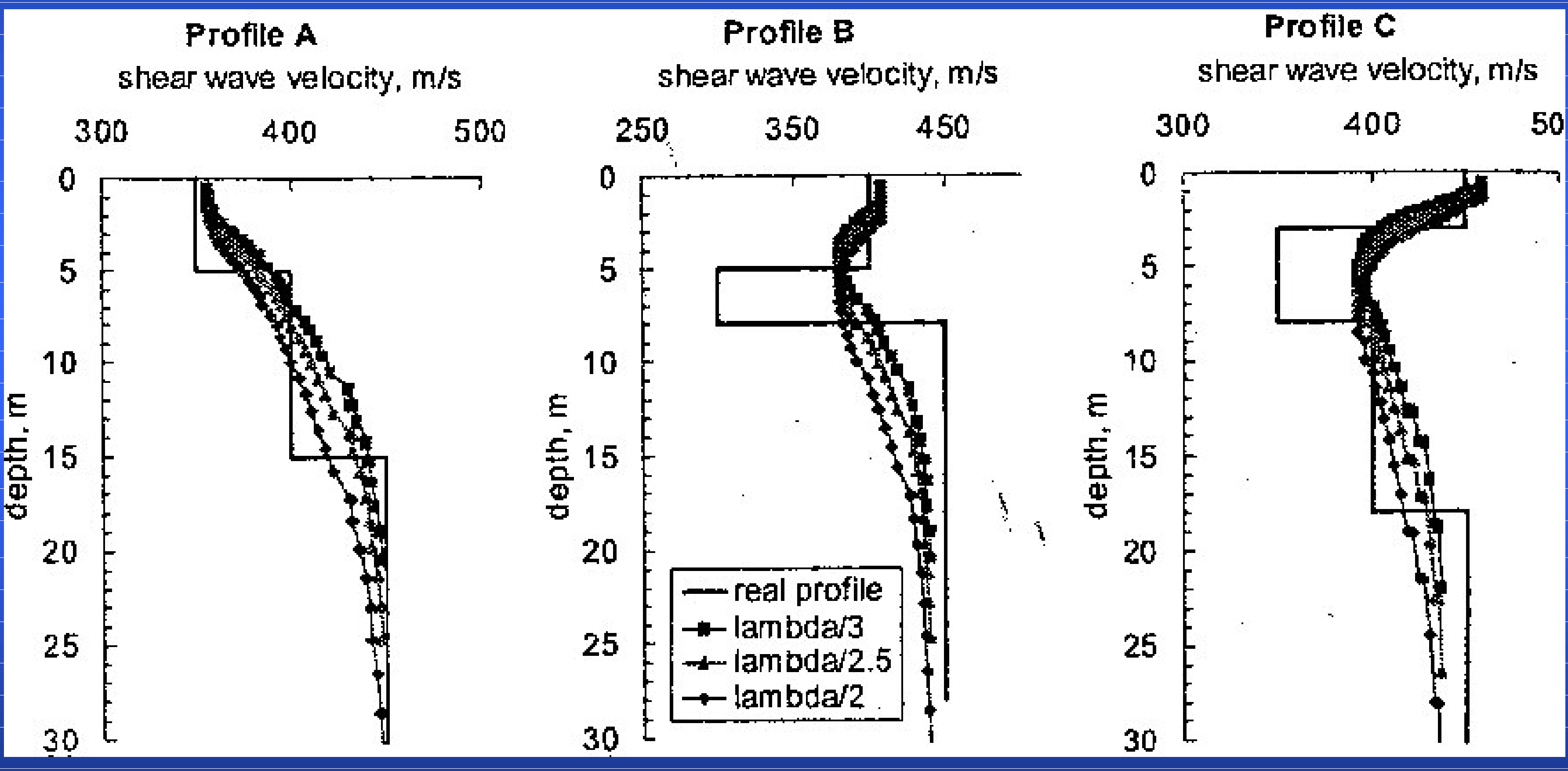


# Détails



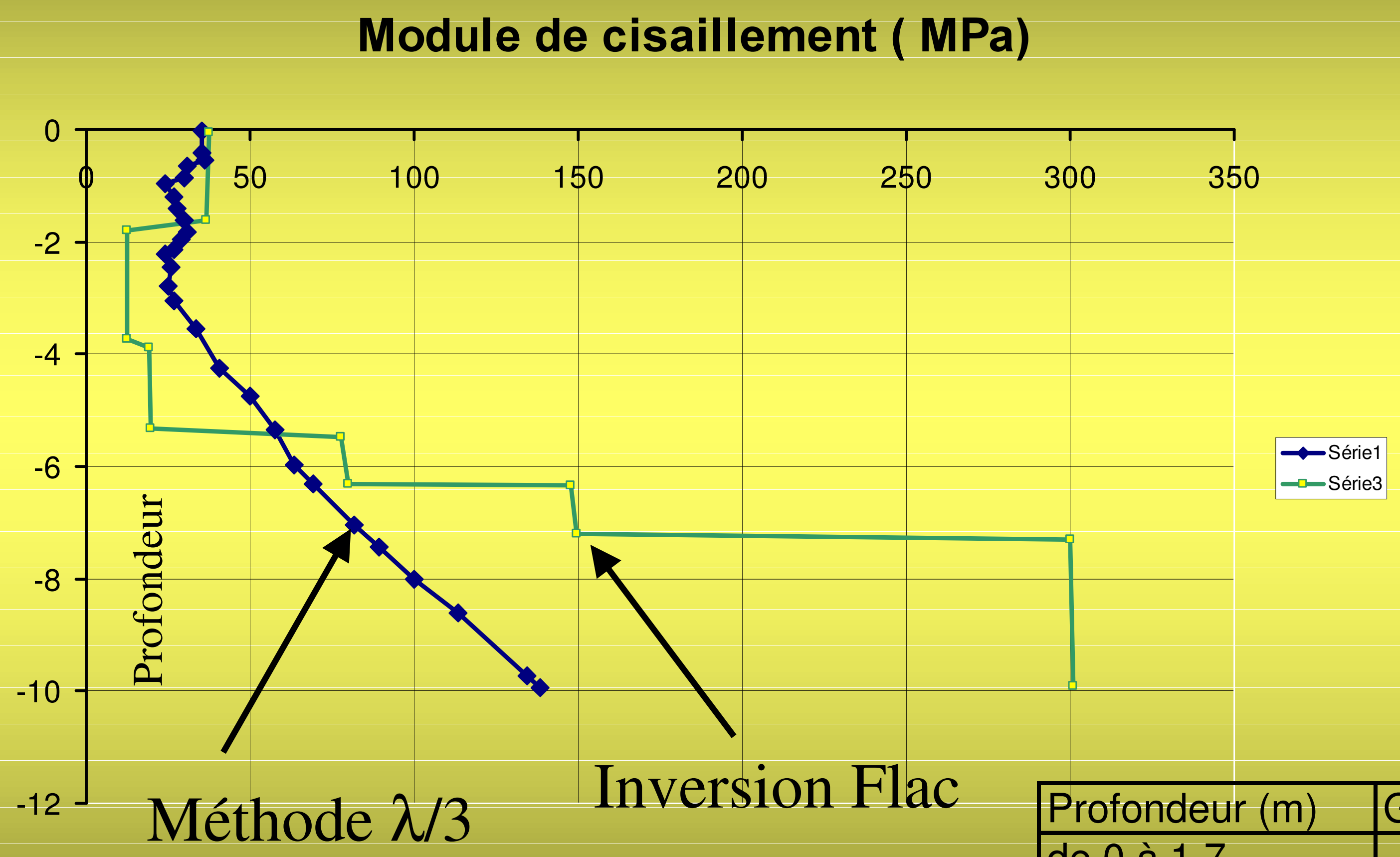
0
-10
-20
m)
0
100
200
300
400
500
Vitesse des ondes S par inversion
La

# Limitations



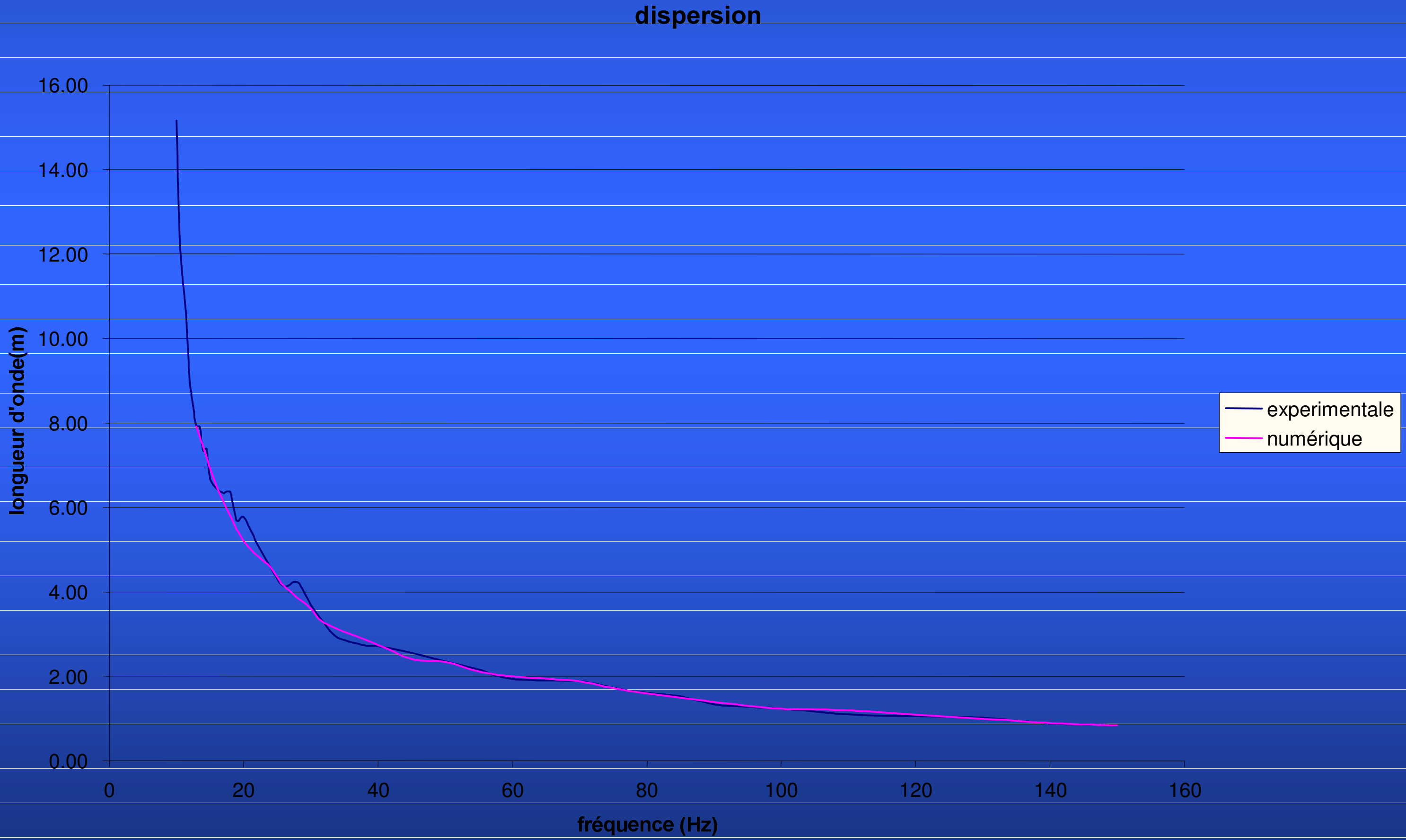

Sebastiano Foti

# Limitations




| Profondeur (m) | G(MPa) |
|---|---|
| de 0 à 1.7 | 38 |
| de 1.7 à 3.8 | 13 |
| de 3.8 à 5.3 | 20 |
| de 5.3 à 6.3 | 80 |
| de 6.3 à 7.3 | 150 |
| de 7.3 à ? | 300 |

# Comparaison de la dispersion expérimentale et numérique



# Conclusions

- Les mesures CSWS permettent une première approche du profil de rigidité en fonction de la profondeur

- Intérêt du couplage avec d'autres essais in situ

- Corrélation $G_{max} - q_c$

- Application aux calculs de dynamique des sols

# Conclusions

- Limitations:

    Moyenne sur la profondeur.
    Nécessité d'une analyse inverse
        (elle même avec ses limitations).
    Pas de mesure de l'amortissement hystéritique.

- Avantages

    Rapidité de l'essai
    Traitement sur site ou " à la maison "

# Remerciements

Au Réseau R.G.C.U. qui soutient ce projet

À Christophe OBREMSKI

À Emmanuel ROBBE

Et aussi pour votre aimable attention

# Bobliographie sommaire

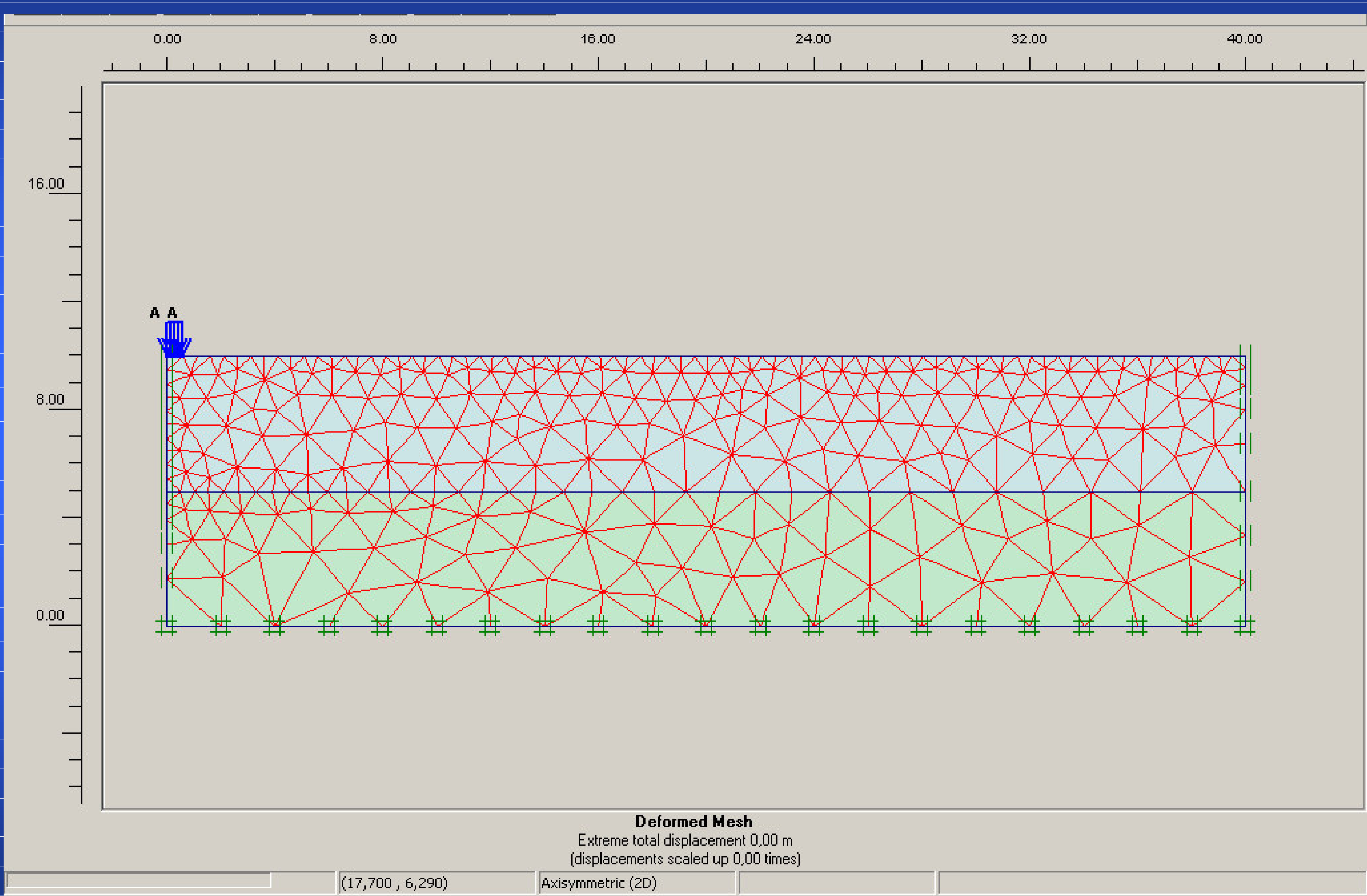
Cornou, C. 2002. Traitement d'antenne et imagerie sismique dans l'agglomération grenobloise (Alpes françaises) : implications pour les effets de site. Thèse de Doctorat de l'Université Joseph Fourier.

Foti S. (2000). Multistation Methods for Geotechnical Characterization using Surface Waves, Thèse de doctorat de l'université de Turin.

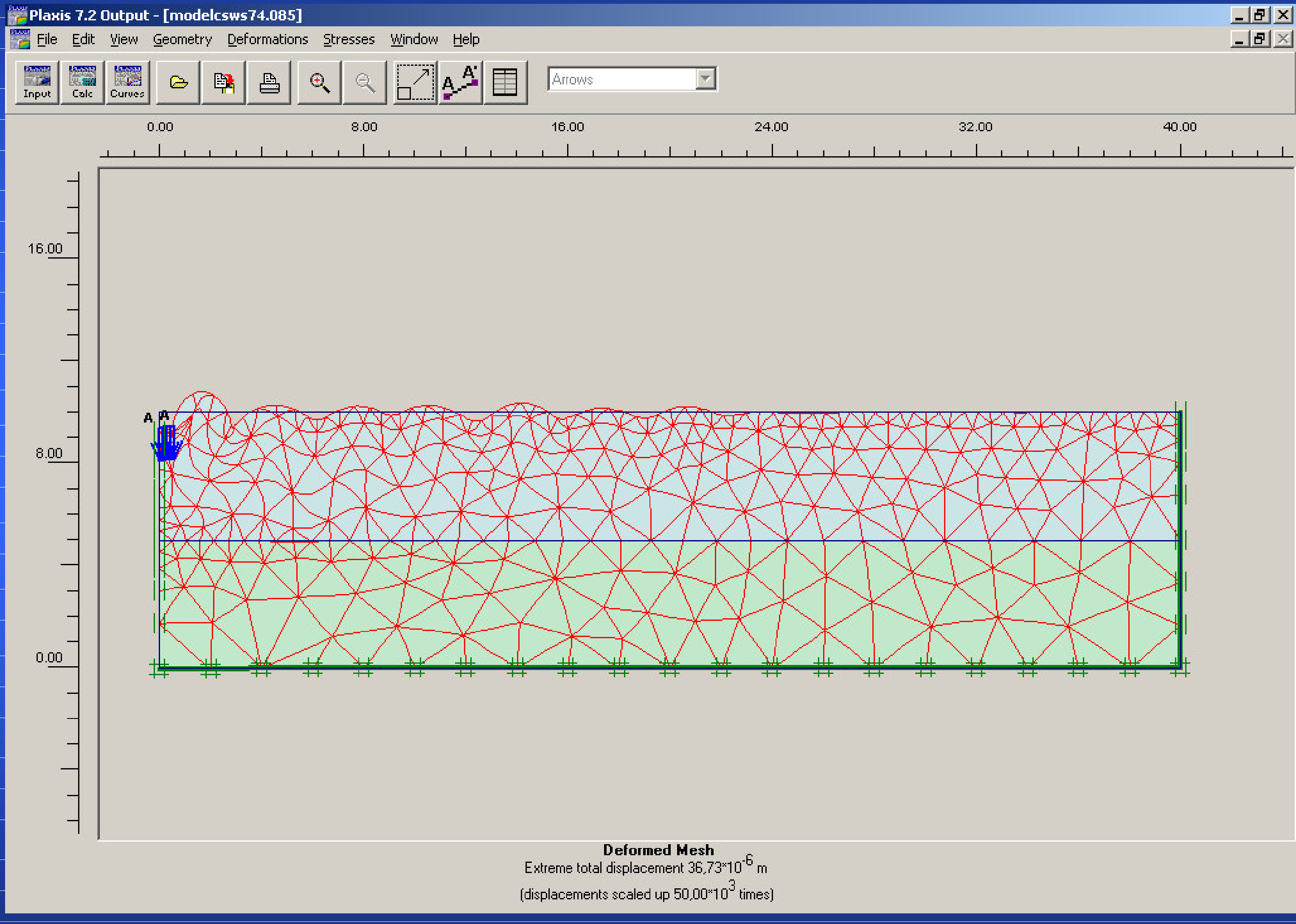
Kramer S. L. (1996). Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall.

Matthews M.C., Hope V.S. & Clayton R.I. (1996). The use of surface waves in the determination of ground stiffness profiles, Geotechnical engineering panel paper 10818, Geotechnical engineering, 1996, vol119, Apr, pp 84-95

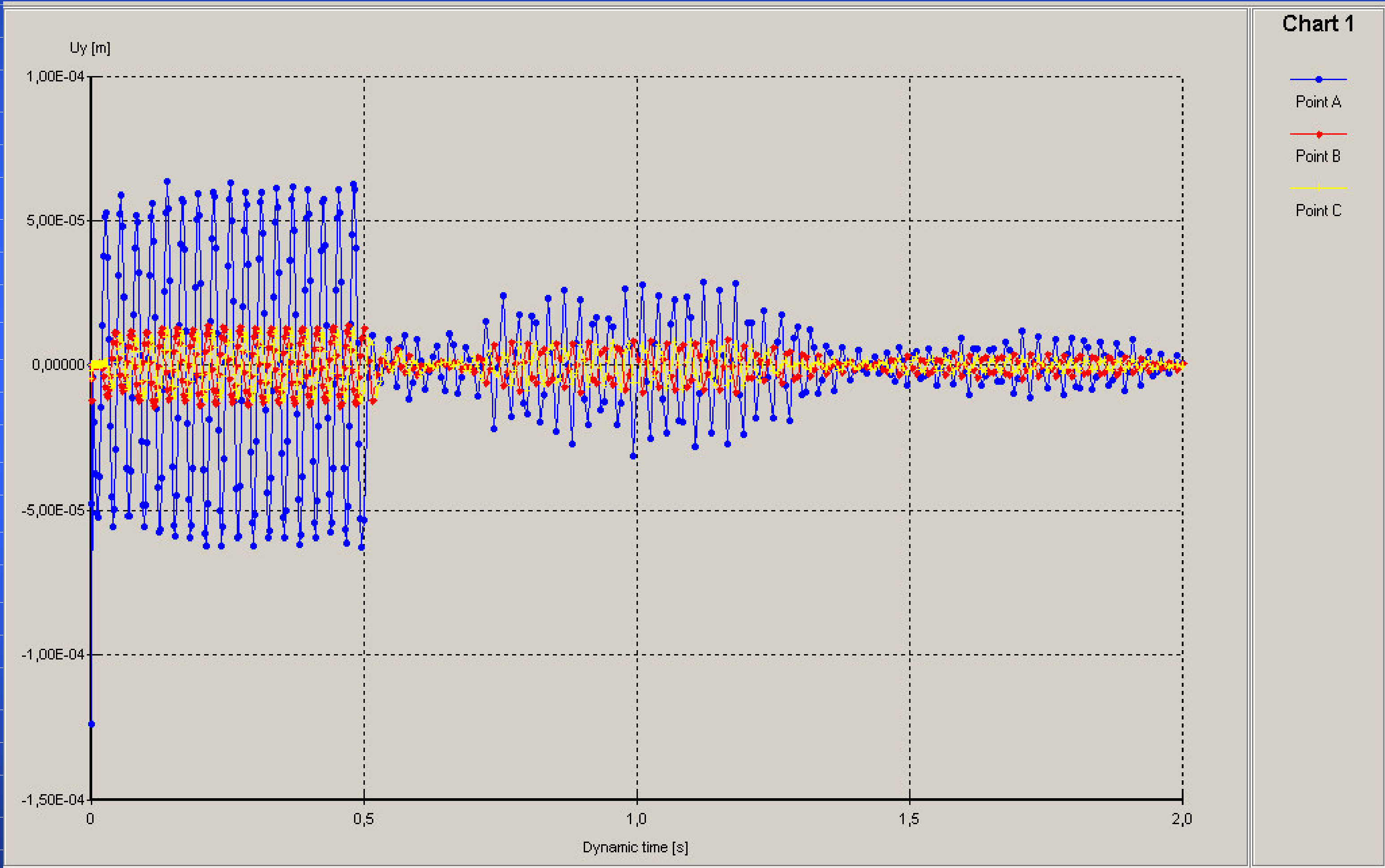
# Le modèle.


0.00
8.00
16.00
24.00
32.00
40.00
16.00
8.00
0.00
A A
Deformed Mesh
Extreme total displacement 0,00 m
(displacements scaled up 0,00 times)
(17,700 , 6,290)
Axisymmetric (2D)

# Modélisation.



# Visualisation des déplacements sans amortissement.



# Visualisation des déplacements avec amortissement de Rayleigh.