

Les Techniques de Reconnaissance ELECTROMAGNETIQUES pour le Génie - Civil

Philippe Côte

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

Les Techniques de Reconnaissance ELECTROMAGNETIQUES pour le Génie - Civil

I / Caractéristiques électromagnétiques des Matériaux

II / Méthodes Basses Fréquences

III / Méthodes Hautes Fréquences

AUSCULTATION NON DESTRUCTIVE STRUCTURES ANTHROPIQUES DE GRANDES DIMENSIONS

OBJETS	BESOINS
Digues, Remblais,...	Détection d'hétérogénéités dans le profil en long, inclusions anormales, zones décomprimées, estimation caractéristiques mécaniques, zonage, teneur en eau, ...
Barrages	Idem, zonage 2D, suivi événements, zonage encaissant, fondations, ...
Routes	Mesures d'épaisseurs (chaussées, fondations), estimation caractéristiques mécaniques, auscultation contact entre couches, évolution sous-sol, ...
Lignes SNCF	Idem, (+ cavités)
Tunnels	Dimensions utiles, décollements, état massif
Canaux, canalisations	Zonage encaissant, détection de fuites
Décharges	Zonage objet et environnement, estimation dimensions,

Motivations

- Sécurité Usagers
- Pressions politiques (P.O.S.)
- Ré-affectation de l'ouvrage
- Evolution réglementation
(environnement, ...)
- Apparition de désordres
- ...

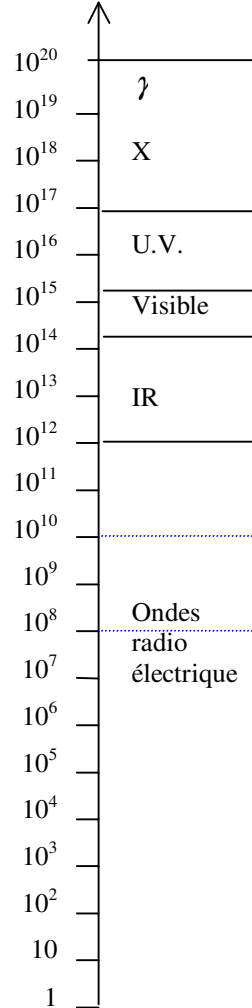
Contraintes

- Coûts
- Pas d'interruption fonctionnelle

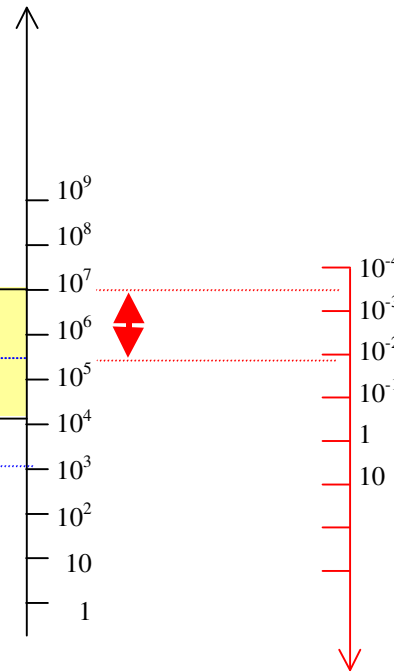
=> Méthodes à grand rendement

Domaine Fréquentiel

Fréquence (Hz) – ondes électromagnétiques



Fréquence (Hz) – ondes mécaniques



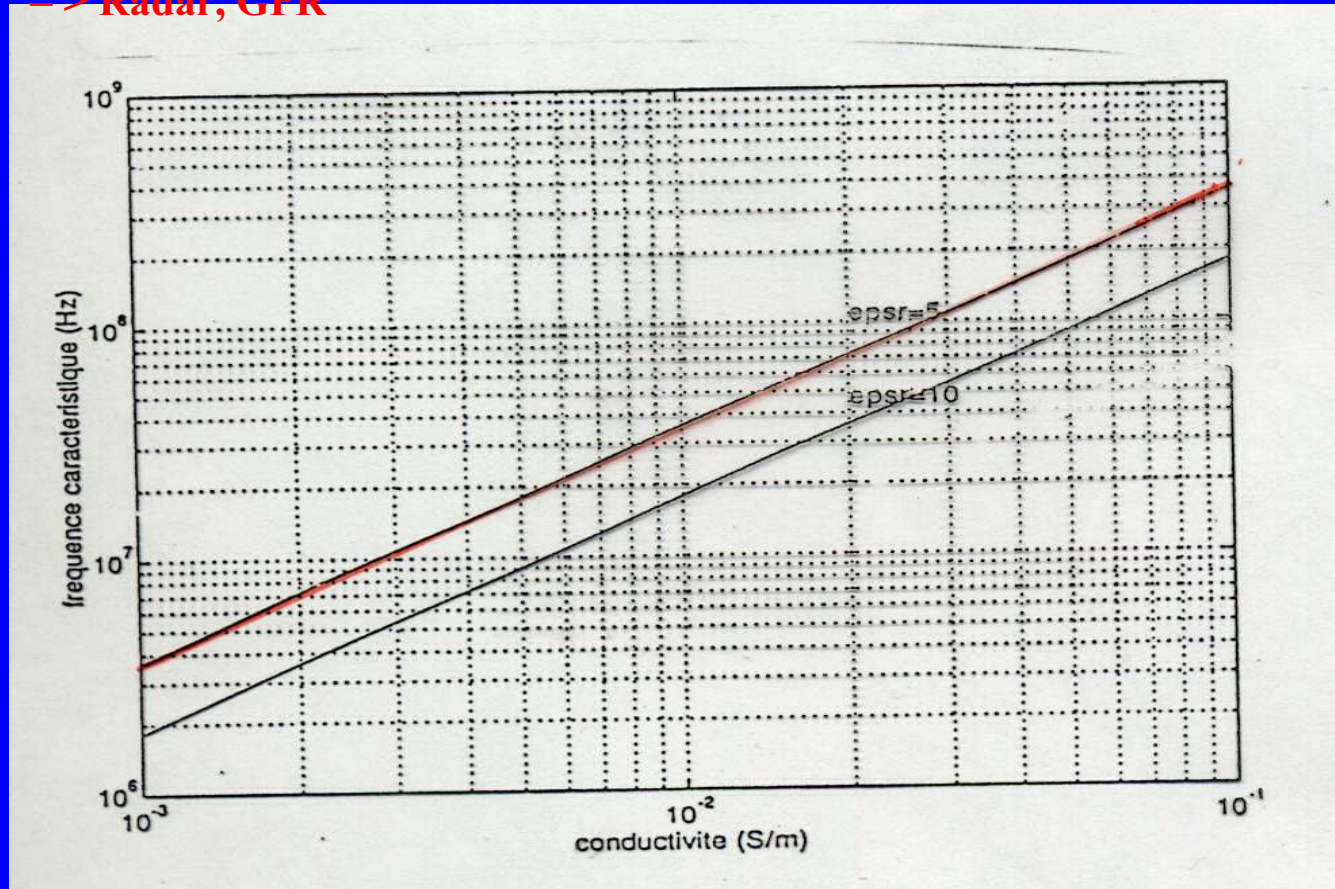
Longueur d'onde (m)
dans béton

Longueur d'onde (m)
dans l'acier

A/ “ Hautes fréquences ” $\sigma \ll \omega\epsilon$ ($f_c > \sigma / (2\pi\epsilon)$)

=> Propagation $v = c/(\epsilon_r)^{1/2}$ $\beta = 60 \pi \sigma / (\epsilon_r)^{1/2}$ $1/\beta = L_c$

=> Radar, GPR



B/ “ Basses Fréquences ”

=> Pas de Cte Propagée

=> Conductivimètres, Résistivimètres

$\sigma \gg \omega\epsilon$ ($f_c < \sigma / (2\pi\epsilon)$)

$\rho = 1/\beta = 500/(f\sigma)^{1/2}$

Techniques Electromagnétiques Basses Fréquences

Intérêt pour le Génie Civil :

- Mesure de résistivités (bonnes discriminations potentielles)
- Profils de ρ à très grand rendement (rapidité, faibles coûts, ...)
- Mesures exhaustives envisageables

= > Zonages aisés

Limitations

- Investigations urbaines très limitées

Profondeur de pénétration $p = 1/\beta = 500/(f\sigma)^{1/2}$

Resistivity	15 KHz	164 KHz	1,6 MHz
10 Ωm	13 m	4 m	1,3 m
100 Ωm	41 m	12,3 m	4,1 m
1000 Ωm	130 m	39 m	13 m

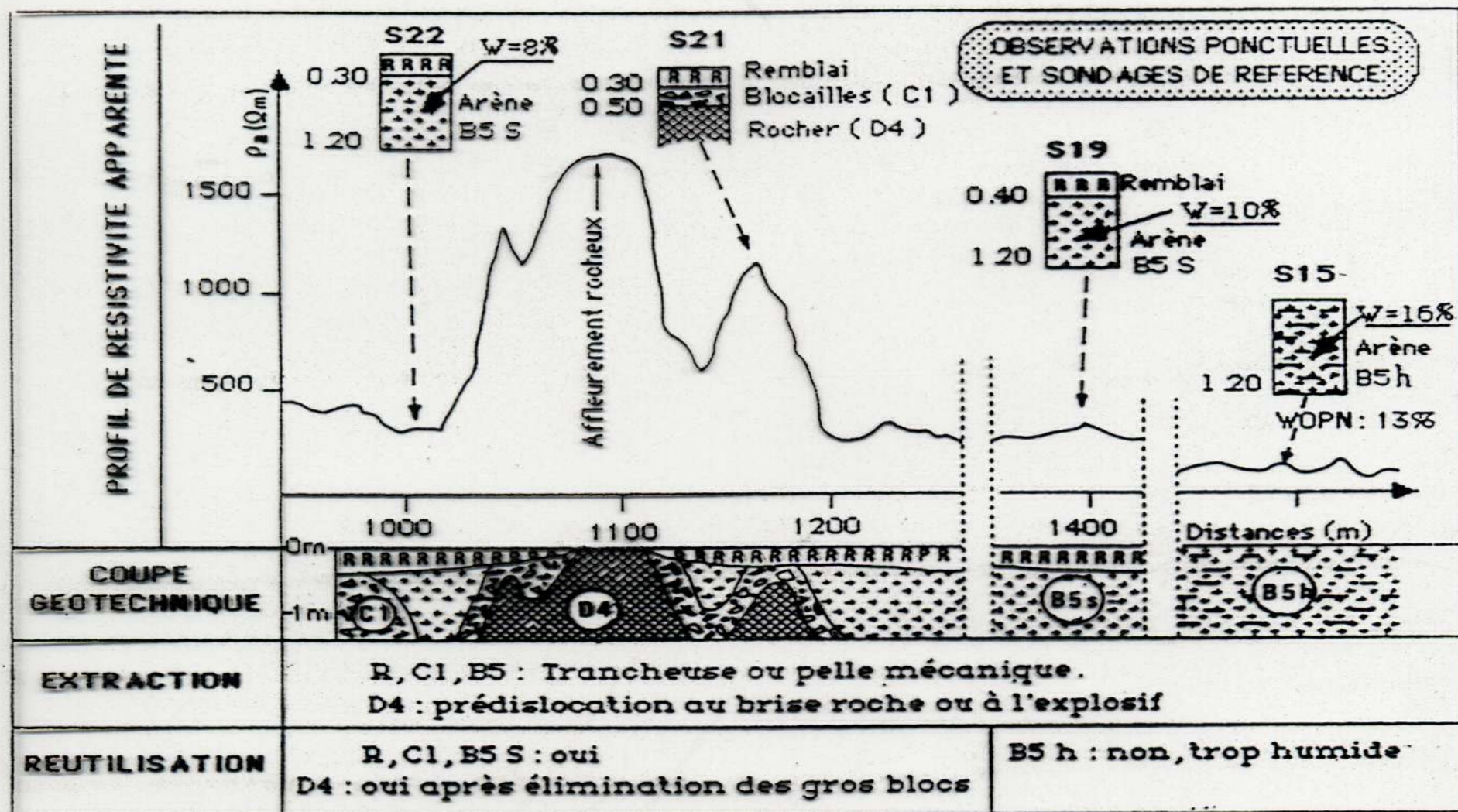
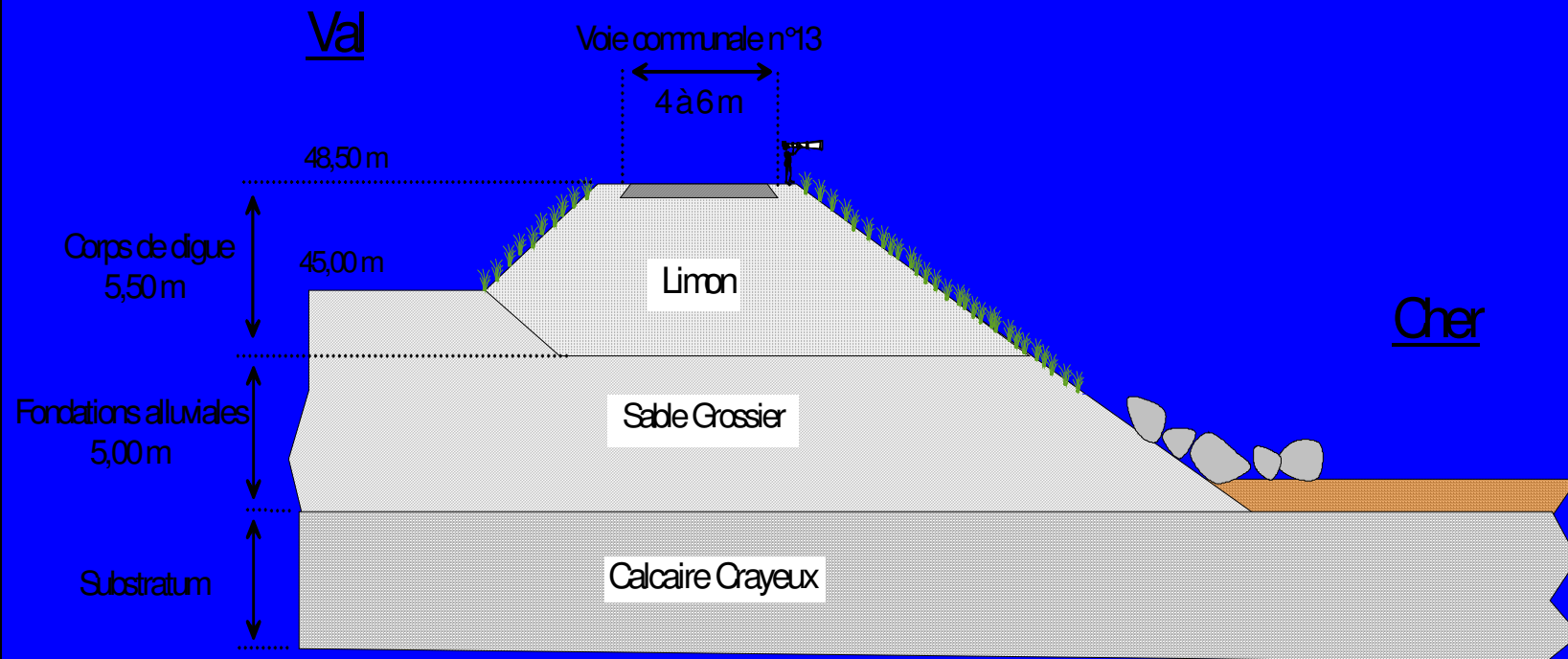


Fig. 5 - Présentation des résultats.

Schéma de constitution de la digue



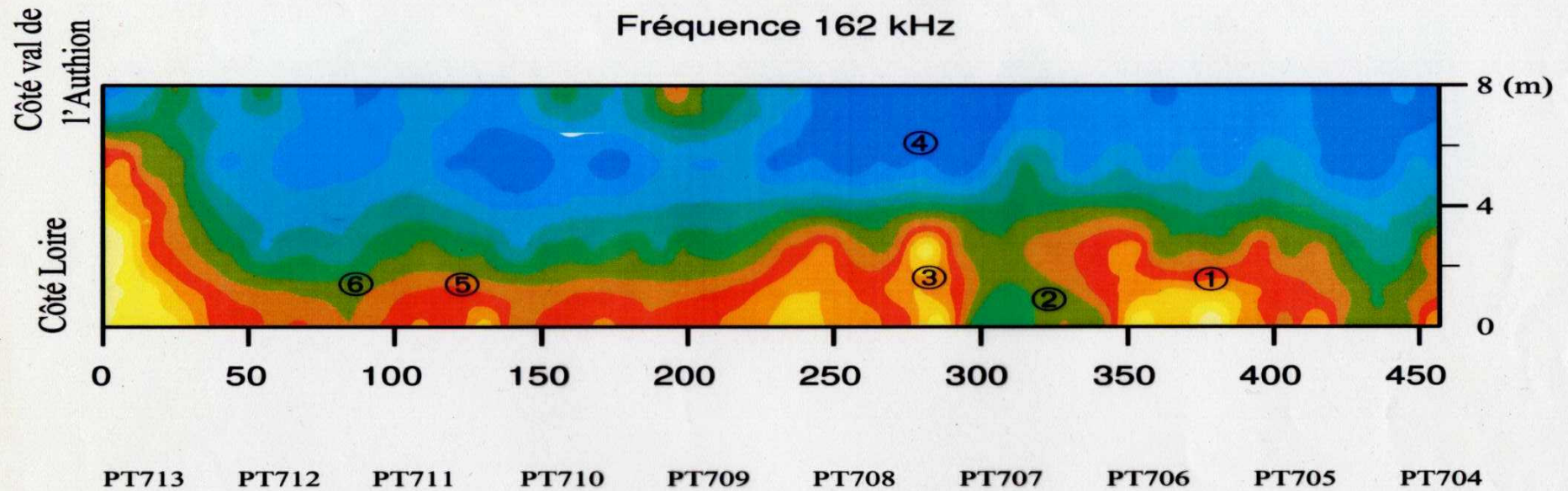
Profil en travers type au droit du Hameau de Grand Moulin, rive droite du Cher en aval de Tours.

D'après A. Hollier-Larousse (2002)

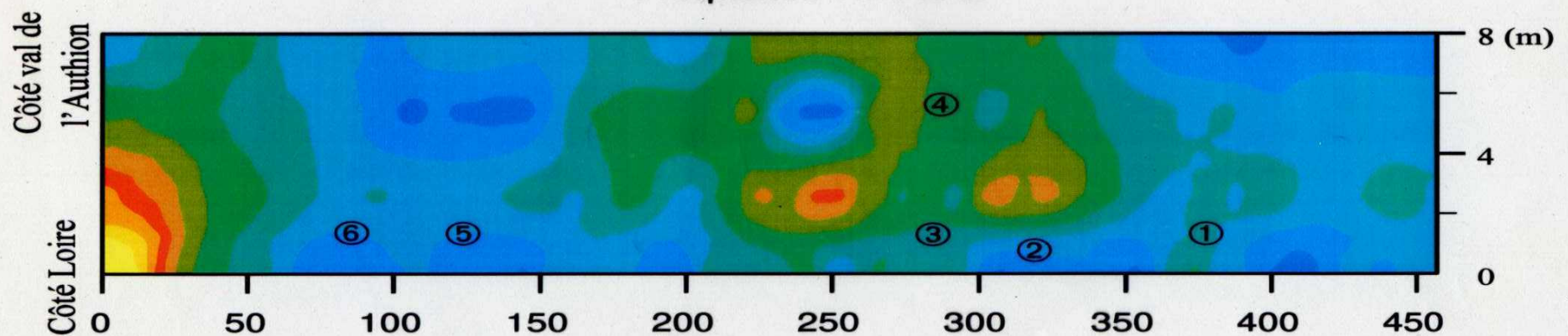
Cartographie de résistivité apparente

Radio magnétotellurique

Fréquence 162 kHz



Fréquence 18.6 kHz



Résistivités croissantes

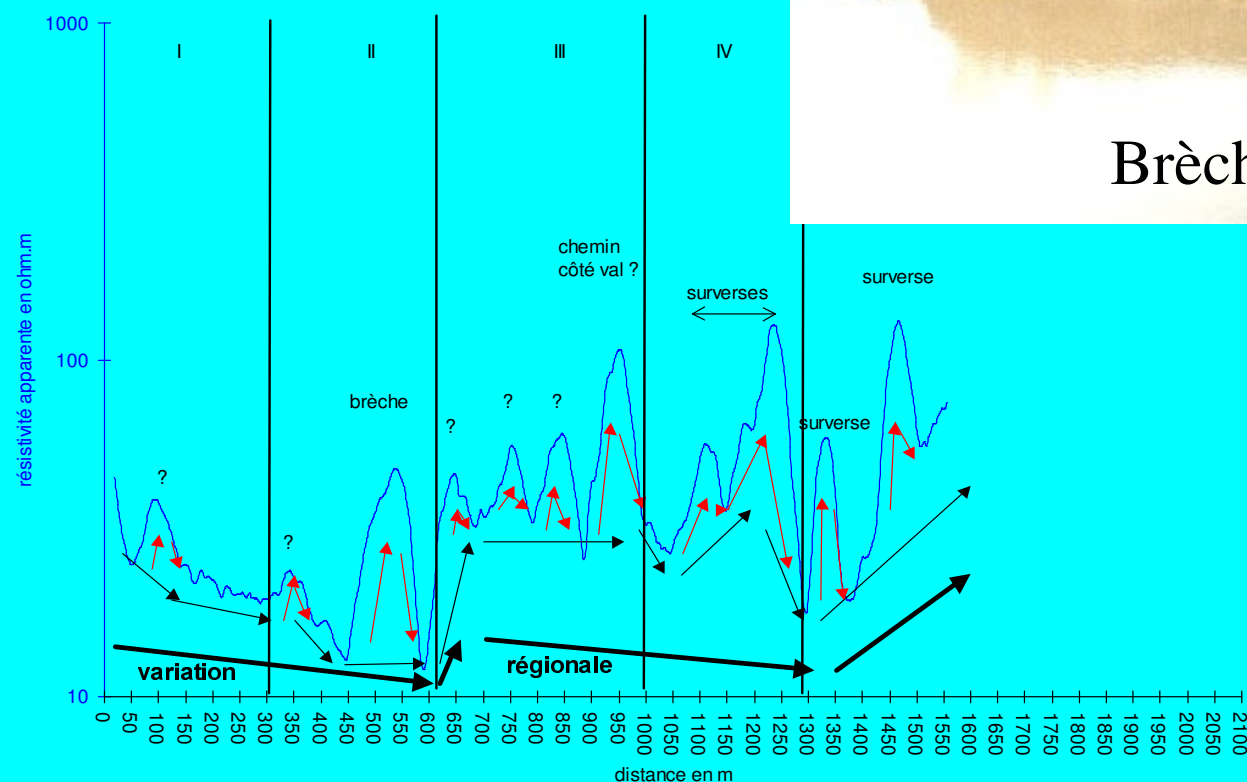




Radio MT sur la digue de l'AGLY (après réparations)



Brèche de 1999



Techniques Electromagnétiques Hautes Fréquences

RADAR

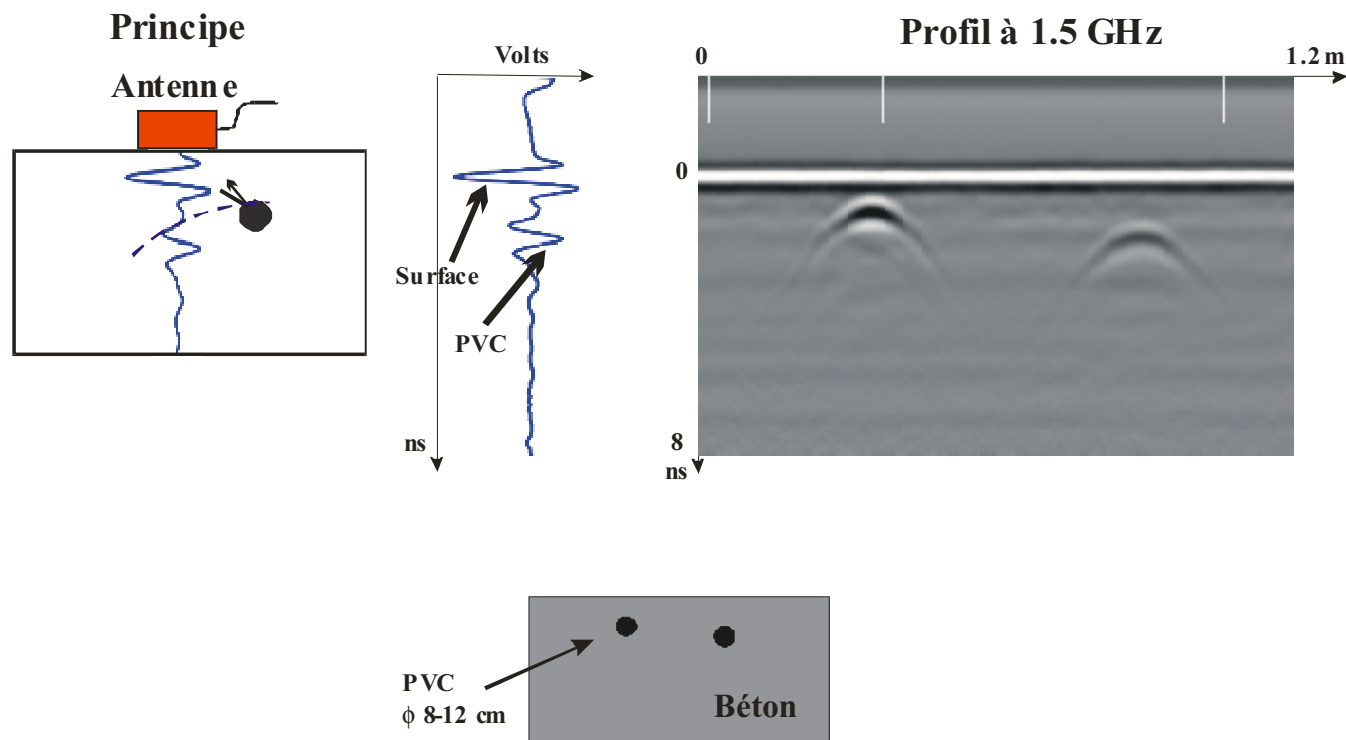
Intérêt pour le Génie Civil :

- Mesure 2D : profondeurs, suivi d 'interface, ...
- Profils à grand rendement (insertion possible dans le trafic, ...)
- Mesures exhaustives envisageables (cartographies)

= > Zonages aisés

Limitations

- Forte limitation de la profondeur de pénétration en terrains argileux
- Données assez lourdes, phase d 'interprétation



- 1- Vitesse de propagation non maîtrisée (calibrages nécessaires)
- 2- Forte absorption de l'énergie par les matériaux conducteurs
- 3- Directivité des antennes dans le matériau peu accessible

Matériels



(source LRPC d 'Autun)



(source Radar Syst. Inc.)



(source LCPC)



(source GSSI)

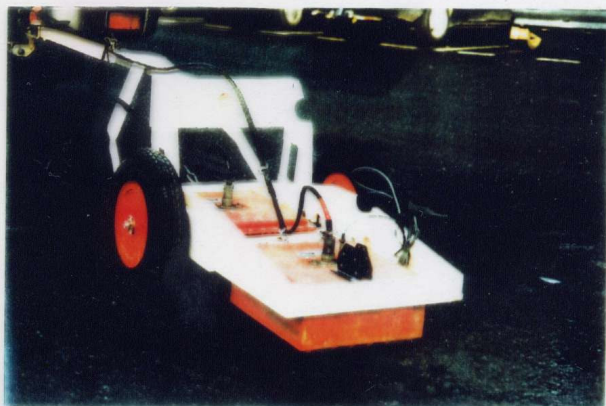
* Antennes de 2.5 Ghz avec une roue codeuse

(montage constructeur - GSSI)



* Antennes de 500 Mhz tractées

(montage du LR de S^t-Brieuc)



Profondeur d 'investigation / Résolution (Paramétrage)

- Atténuation intrinsèque du milieu / longueur caractéristique :

$$\alpha = \frac{60\pi\sigma}{\sqrt{\epsilon'_r}} (1/m)$$

$$l_c = \frac{1}{\alpha} (m)$$

Profondeurs d 'investigation radars / Résolutions ($> \lambda/2$):

<i>2 GHz</i>	<i>0 - 1 m</i>	<i>~ 4 cm</i>
<i>1 GHz</i>	<i>0 - 2 m</i>	<i>~ 8 cm</i>
<i>500 MHz</i>	<i>0.3 - 6 m</i>	<i>~ 15 cm</i>
<i>200 MHz</i>	<i>1 - 10 m</i>	<i>~ 30 cm</i>

Atténuation dans divers matériaux

(Paramétrage)

- Atténuation intrinsèque

$f=100\text{ MHz}$	$v\text{ (cm/ns)}$	$\alpha\text{ (dB/m)}$
Air	30	0
Eau douce	3,3	0.1
Sable sec	12-15	0.01-1
Sable saturé (eau douce)	5-10	0.03-3
Granite	11-15	0.5-3
Calcaire	10-15	0.4-2
Schistes	7-13	1-100
Argiles	4-13	10-1000
Enrobés	11-15	4-20 (à 2 GHz)
Bétons	8-13	

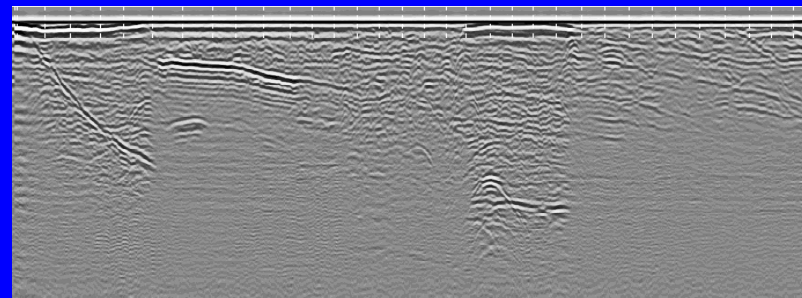
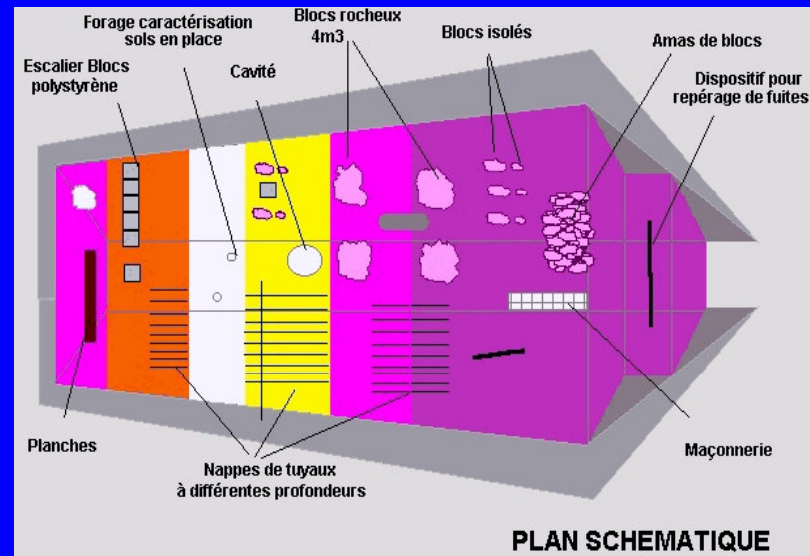
- Atténuation par diffraction

Radar - Géotechnique

Applications classiques :

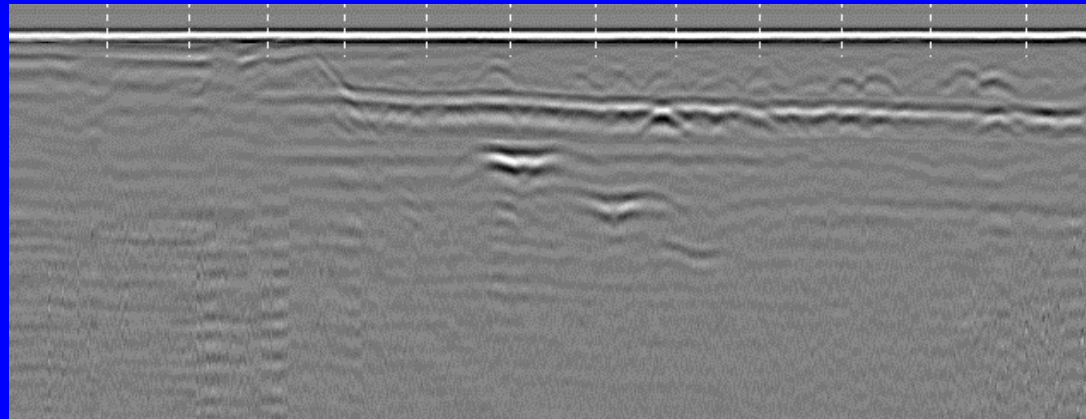
- Détection de vides $\Rightarrow$ *Karsts, caves, galeries,*
- Détection de failles, fractures en site rocheux
 $\Rightarrow$ *mines, zones altérées,*
- localisation des canalisations en site urbain
 $\Rightarrow$ *creusement de tranchées,*
- Recherches archéologiques,
-_

Site test géophysique (LCPC)

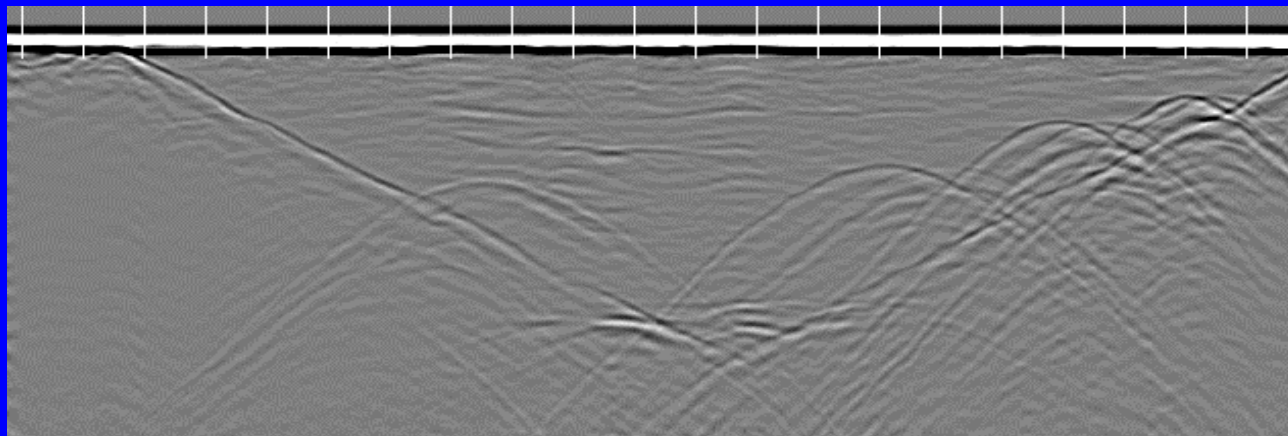


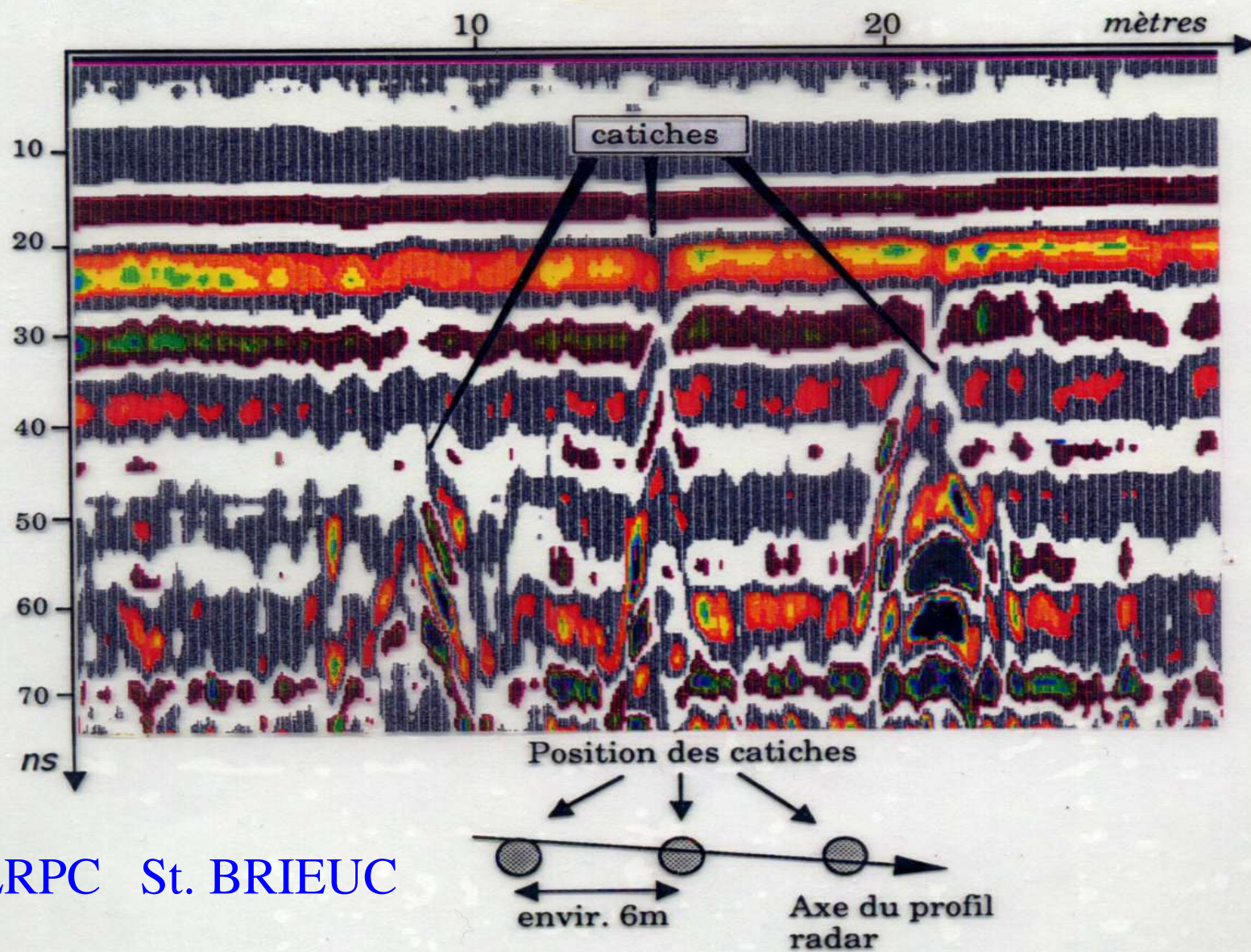
Site test géophysique

- Tranche composée de limon : 900 MHz - 50 ns - 20 m



- Tranche composée en gneiss (14/20) : 500 MHz - 90 ns - 20 m

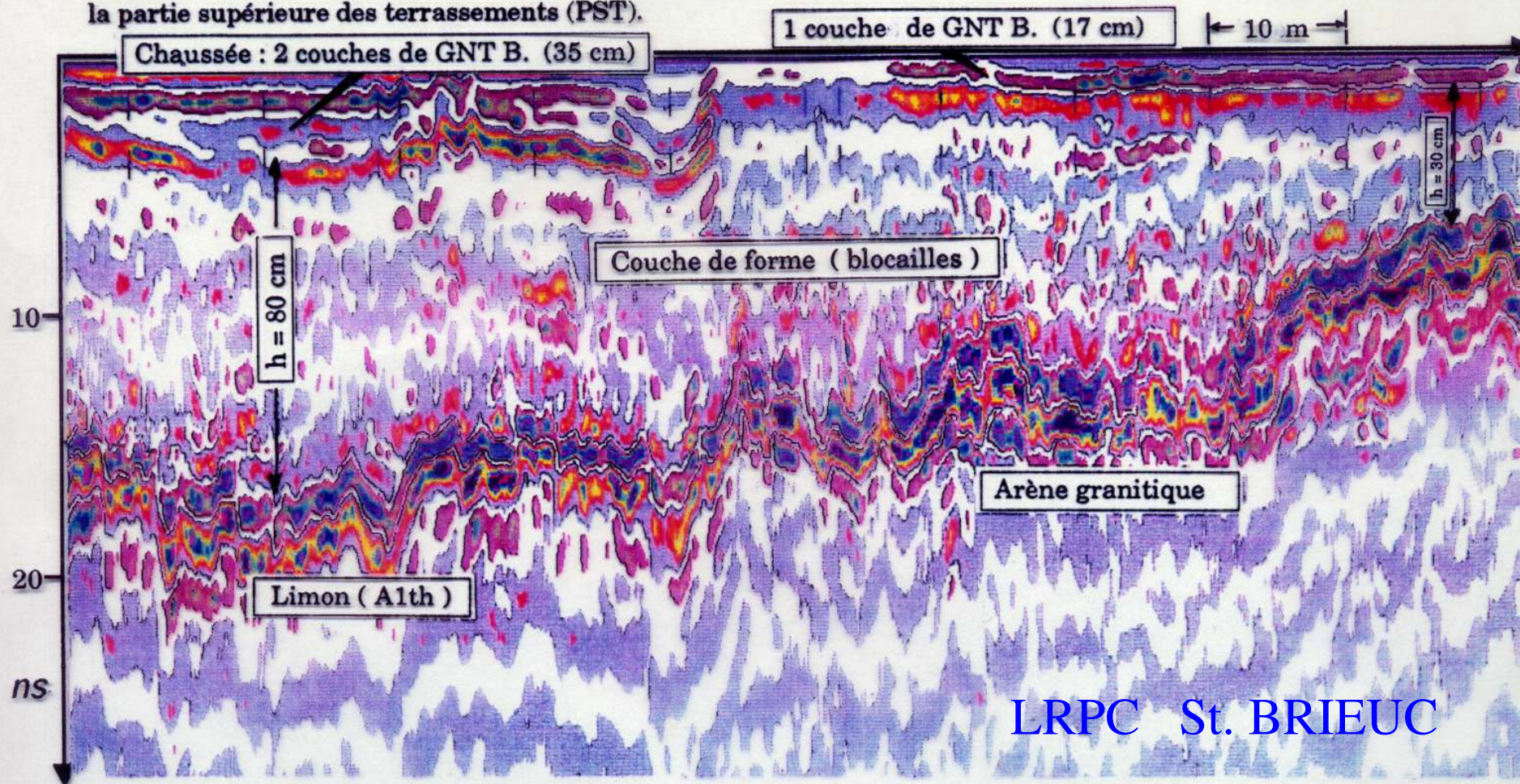




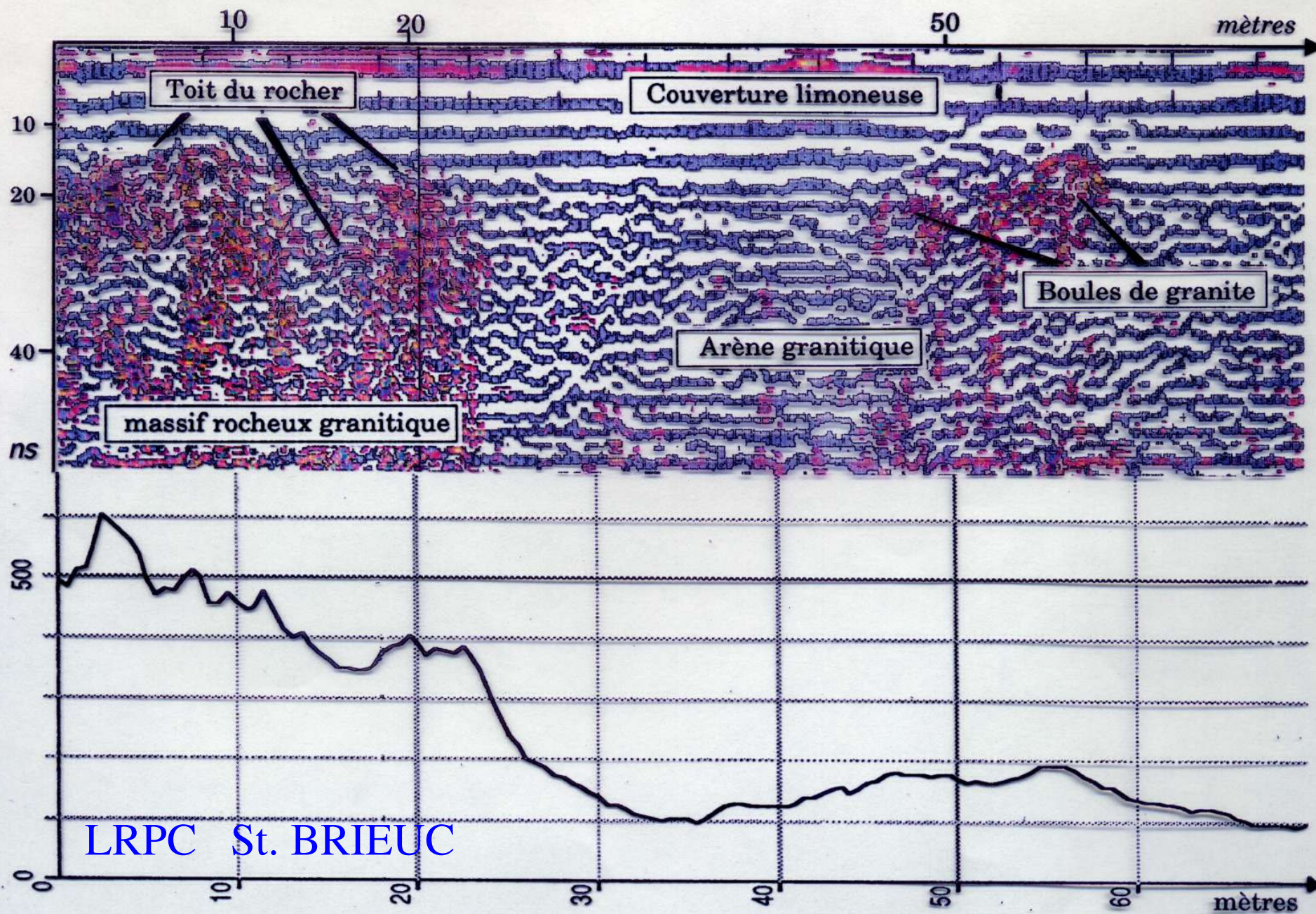
LRPC St. BRIEUC

APPLICATION GEOTECHNIQUE SUR COUCHE DE FORME

La réalisation d'un profil radar sur une couche de forme ou sur chaussées peut permettre de vérifier, à posteriori, les variations d'épaisseur des couches. Les temps de propagation peuvent être convertis en profondeur par étalonnage (sondages) ou à partir d'une approximation de la constante diélectrique du milieu. La coupe-temps apporte également des informations sur les conditions de mise en oeuvre (nombre de couches élémentaires) et la nature de la partie supérieure des terrassements (PST).



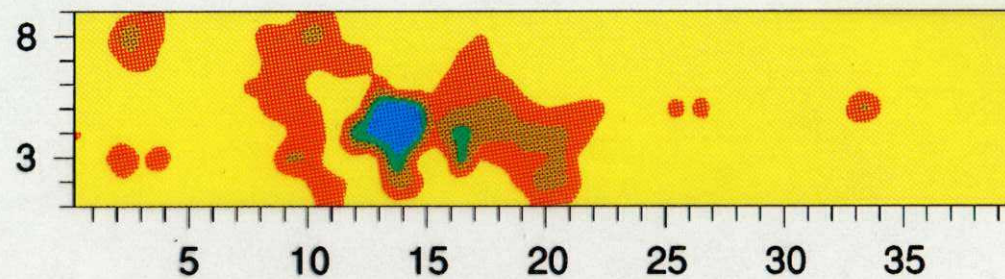
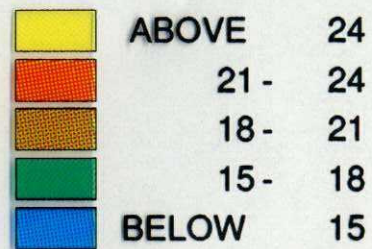
LRPC St. BRIEUC





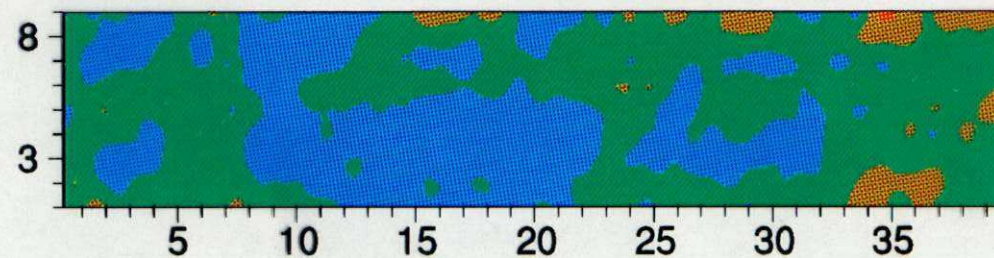
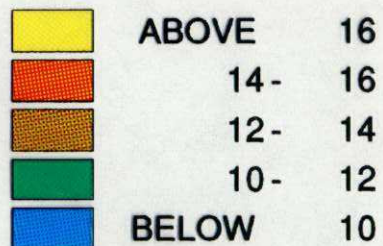
CFMS Dec. 2002 - Ph. Côte

Erdt



Écho de surface

Erdt



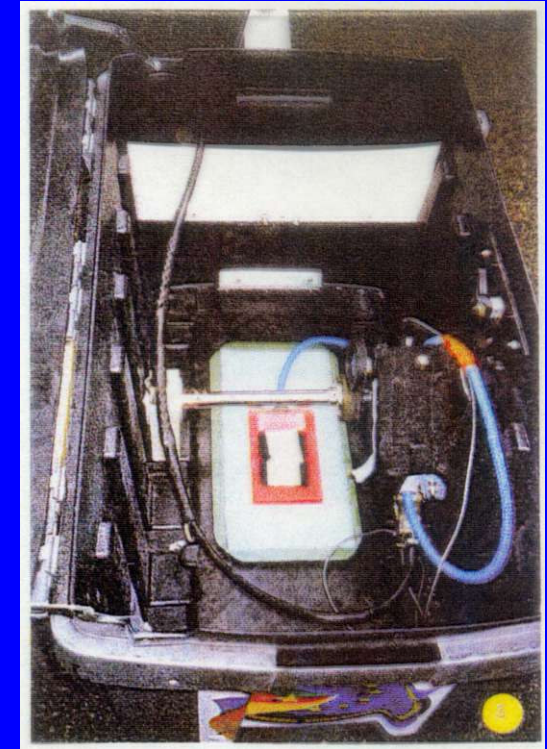
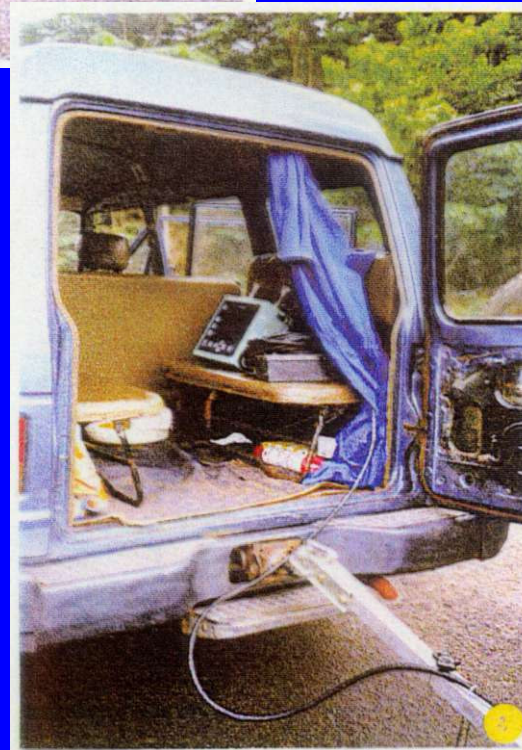
Couche auscultée de 2m sous l'écho de surface

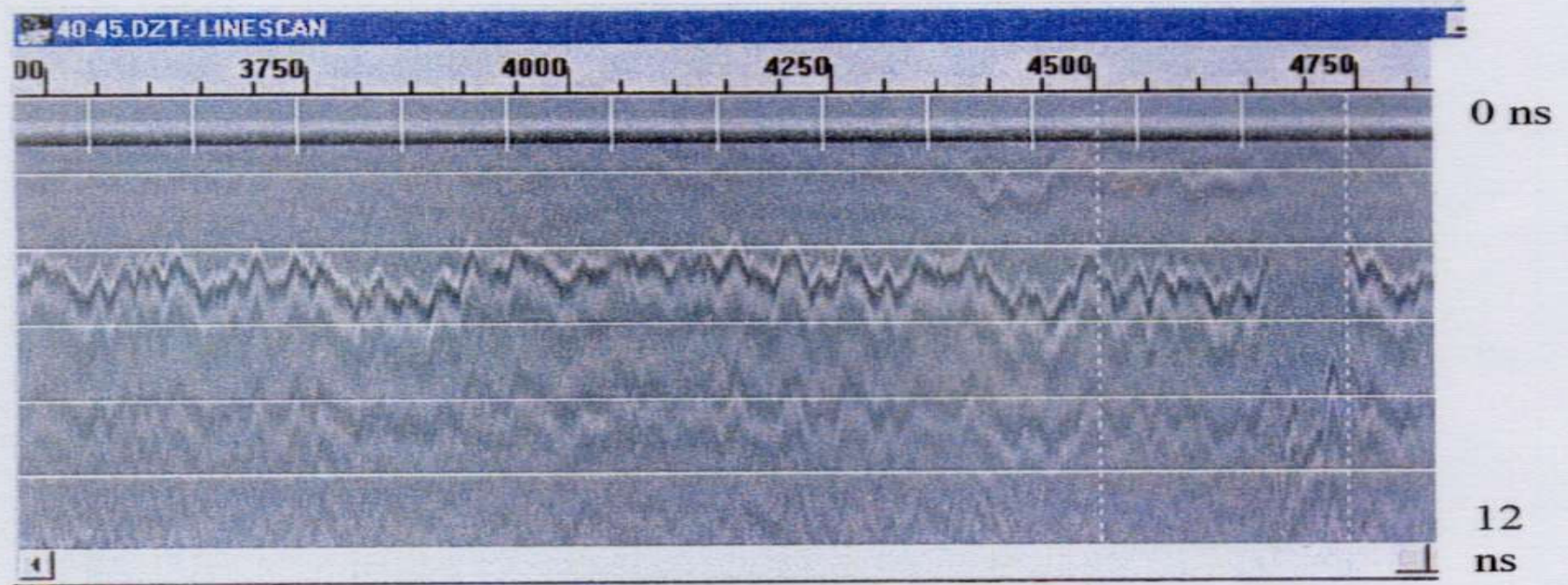


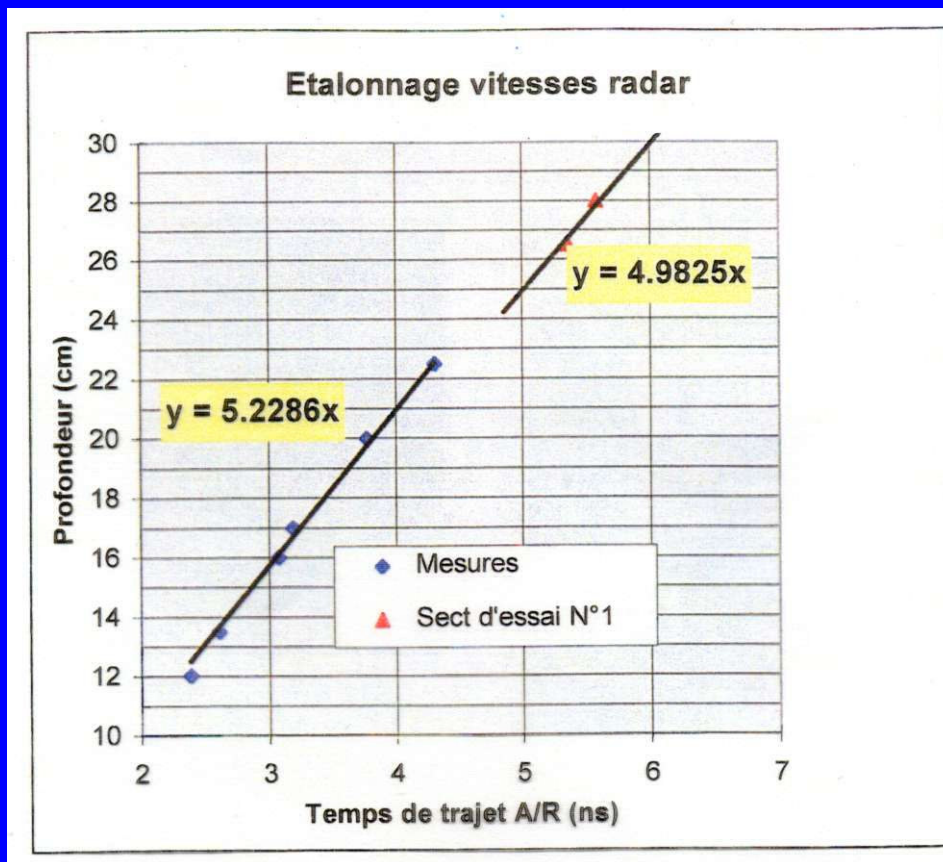
**Investigation Structure
Chaussée : Granite
concassé sur Latérites.**

L = 150 km

d 'après Dérobert et al, 2001



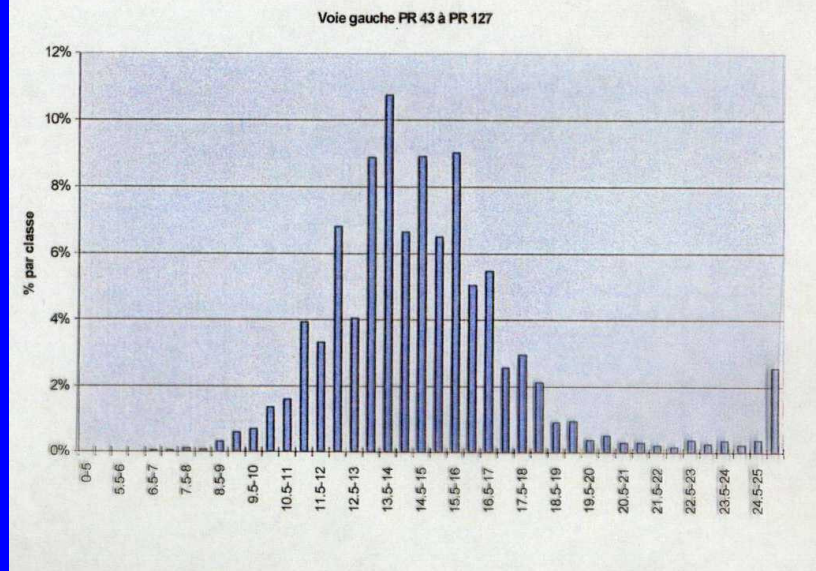
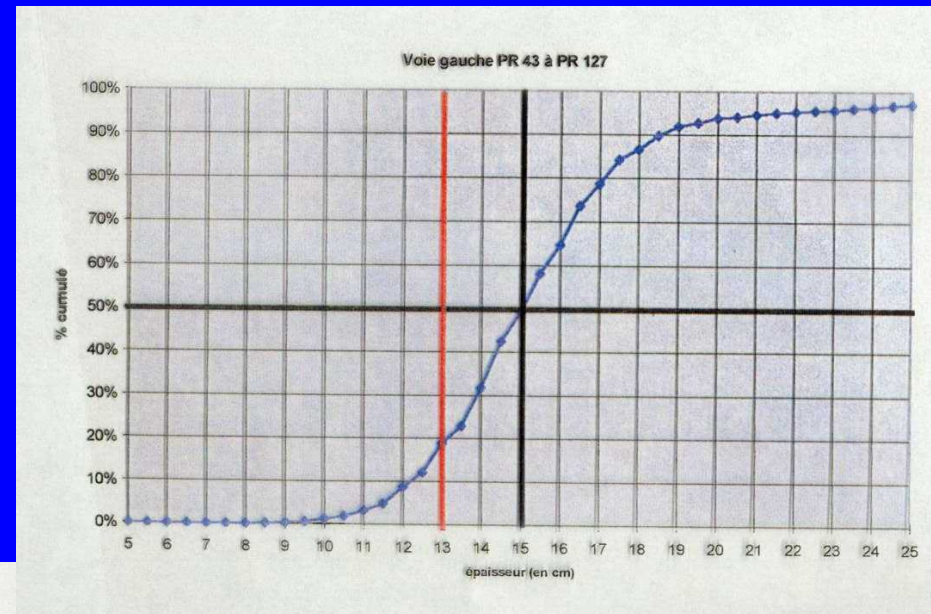




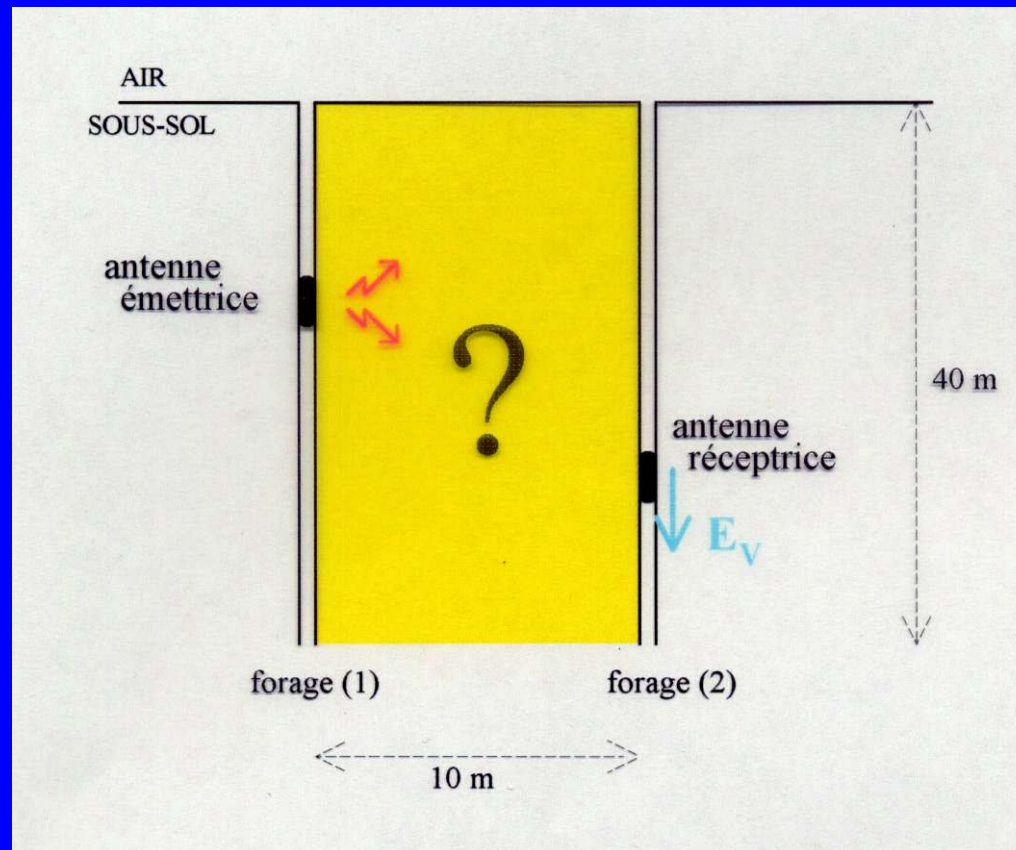
Investigation

EXHAUSTIVE

=> Modification possible de
l'approche globale du
contrôle



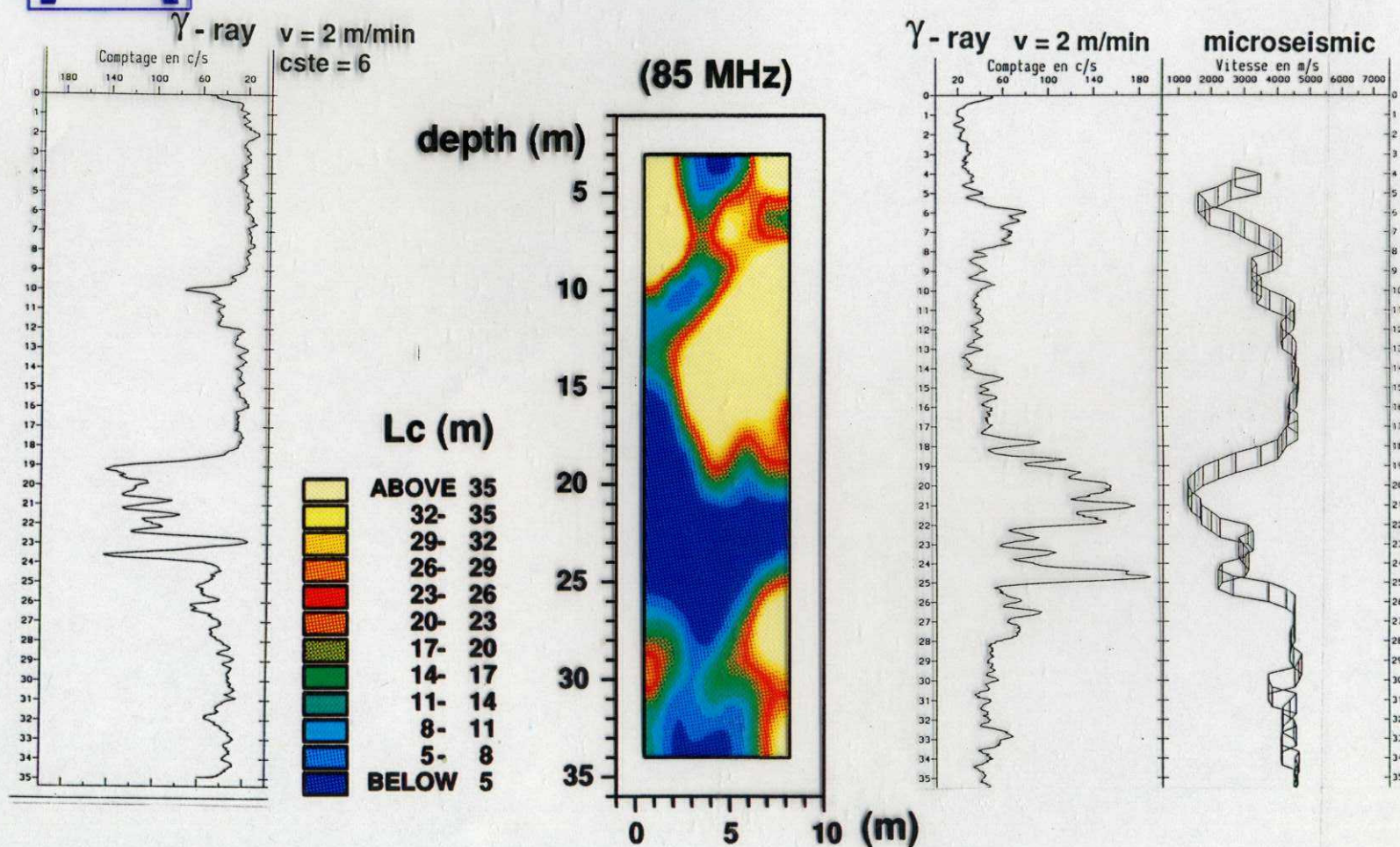
Mesures en forage : Transmission et / ou Réflexion



Dispositif tomographique



EXPERIMENT - KARSTIC ZONE



Perspectives GC- Conclusions

Basses Fréquences :

- mesures à très grand rendement, mise au point de méthodologies spécifiques aux cibles

Hautes fréquences :

- très grand rendement (insertion réelle dans le trafic),
- accroissement de la dynamique (profondeur de pénétration),
- radars très grande dynamique (step frequency),
- montée en fréquence (Domaine CND).