

METHODES DE RECONNAISSANCE GEOPHYSIQUE ET GEOTECHNIQUE POUR LE DIAGNOSTIC DES DIGUES DE PROTECTION CONTRE LES CRUES

**Guide méthodologique et recommandations
pour la mise en œuvre et l'interprétation**

Projet National CriTerre

Rédaction : C. FAUCHARD et P. MERIAUX

20 ans AREAS – 19 octobre 2006



CRITERRE



Cemagref

Quelle grandeur physique pour la reconnaissance géophysique?

1 - Dignes = ouvrages à grand linéaire



Méthodes à grand rendement

2 - Principaux matériaux composants les digues = matériaux graveleux et sableux et matériaux argileux et limoneux sur 10 m de hauteur environ



Méthodes efficaces en milieu (encaissant) plutôt conducteurs pour des profondeurs < 10 m (corps de digue)

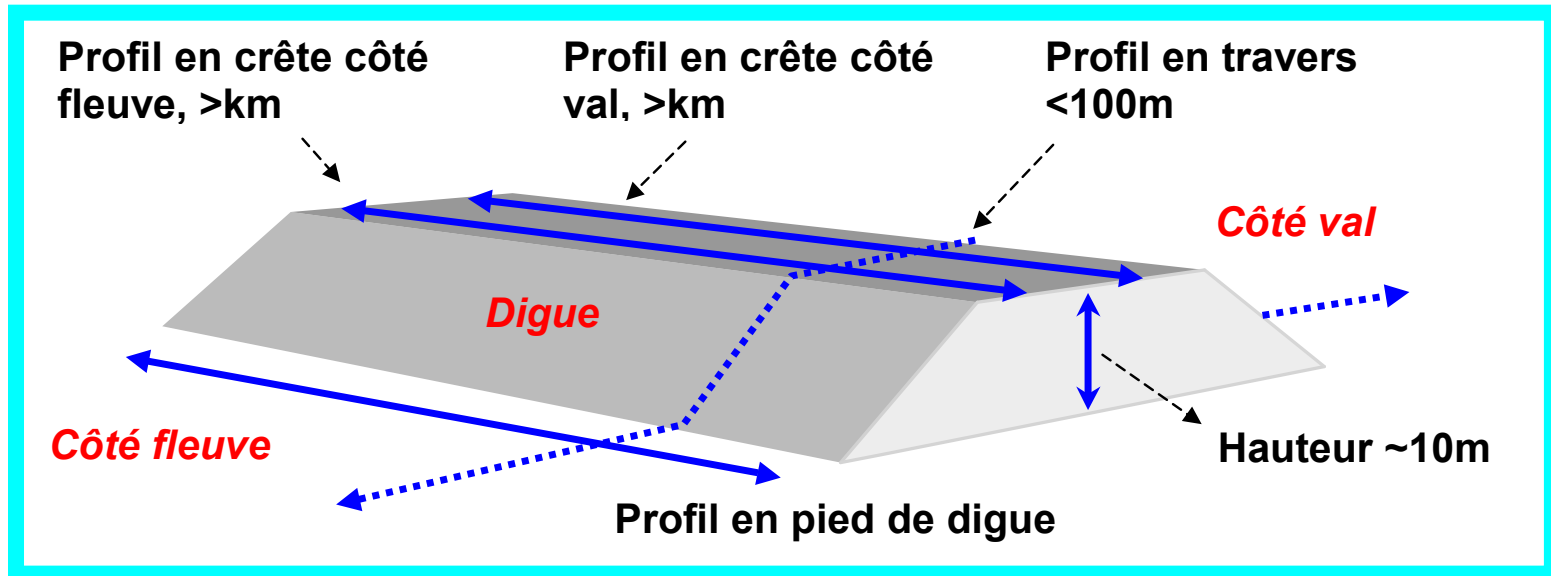
3 - Hétérogénéités recherchées = zones remaniées, conduites enterrées, terriers, ...



Anomalies conductrices et résistantes

La résistivité ($\Omega.m$) (inverse de la conductivité (S/m))

Domaine d'étude



Efficacité des méthodes

Méthodes	efficacité	Digues carrossables	Digues non carrossables
Slingram tractable (type EM31)	+++ jusqu'à 6 m	oui	
Slingram portable (type EM34)	+++		
Radio-MT	++	oui, si électrodes capacitives	oui si électrodes conductives
Panneau électrique	+++	difficile si goudronnée	oui
Panneau électrique capacitif	+	oui	non
Sismique réfraction	++	oui	oui
Radar géologique	+	oui	oui

Principales caractéristiques des méthodes utilisées

	Profondeur d'investigation indicative	Rendement	Type de cibles	Sensibilité au bruit	Conditions nécessaires de détection
Slingram	Théoriquement jusqu'à 50 m	1 à deux km/jour pour dispositif portable, plusieurs km à quelques dizaines de km/jour pour dispositif tractable	Portions plus ou moins résistantes et réseaux enterrés	Lignes et clôtures électriques	Milieu plutôt conducteur
Radio-MT		Faible si électrodes conductives piquées dans le sol, p de km/j, q dizaines de km/j grand pour dispositif tractable		Topologie de la digue, ligne électrique, clôture métallique, surface en crête irrégulière	Réception des émetteurs, digue non sinueuse
Sismique réfraction	Jusqu'à 30 m	Quelques centaines de mètres par jour, pour des dispositifs d'une centaine de mètres et une distance de 1 ou 2 m entre géophone	Interface entre couche, pour des vitesses croissantes en fonction de la profondeur	Trafic, micro-séisme	Milieu de vitesse croissante avec la profondeur
Panneau électrique	Dépend de la longueur de ligne : 1*R pour une sphère vide de rayon R. 1,5*R pour une sphère conductrice de rayon R	Quelques centaines de mètres par jour, pour des dispositifs d'une centaine de mètres et une distance entre électrodes m	Plutôt anomalies conductrices (pendage, stratification,...)	terrain moins conducteur que la cible	/

II - Méthodologie proposée

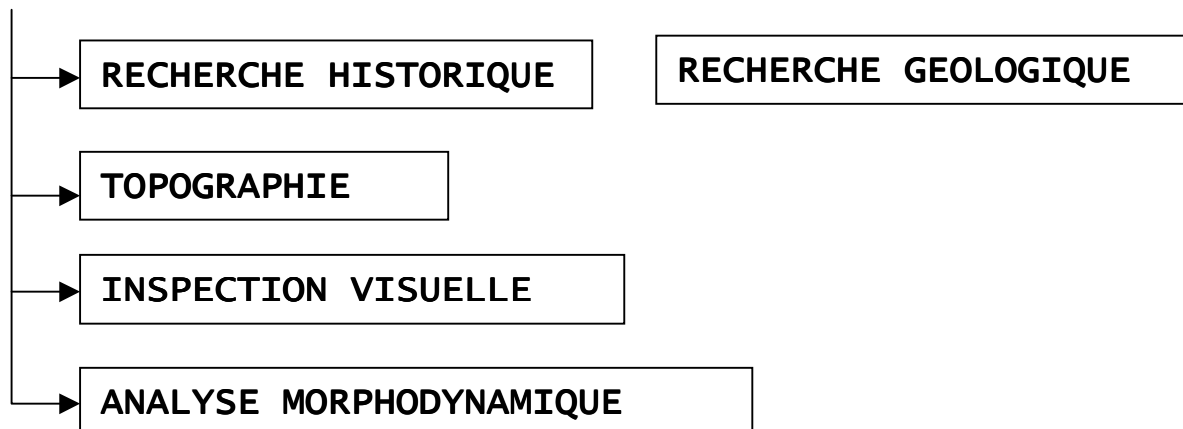
1 - ETUDES PRELIMINAIRES

2 - RECONNAISSANCE GEOPHYSIQUE

3 - RECONNAISSANCE GEOTECHNIQUE

4 - DIAGNOSTIC

1 - ETUDES PRELIMINAIRES



2 - RECONNAISSANCE GEOPHYSIQUE

2.1 – RECONNAISSANCE A GRAND RENDEMENT

Méthodes : **Slingram** (type EM31 ou EM34), **RMT**

Résultat : Profil de résistivité pour l'élaboration d'un **premier zonage** de la digue

Autres méthodes : radar en pied de digue, panneau électrique capacitif

2.3 – RECONNAISSANCE LOCALE

Méthode : **Panneau électrique en courant continu**

Résultat : Cartes longitudinales ou transversales de résistivité pour un **zonage précis**

Méthode : **Sismique réfraction**

Résultat : Profil de la profondeur de l'**interface digue/fondation**

*Autres méthodes : **IR, polarisation spontanée - > problématique en charge, détection de fuite***

3 - RECONNAISSANCE GEOTECHNIQUE

Méthodes : Essais pénétrométriques (PANDA et pénétromètre lourd)

Résultat : Profil de résistance dynamique en fonction de la profondeur

Méthodes : Essais ou diagraphies de perméabilité en forage (Lefranc et Perméafor)

Résultat : Profil de perméabilité horizontale le long du sondage

Méthode : Pelle mécanique

Résultat : Observation de la tranche représentative d'une coupe de digue

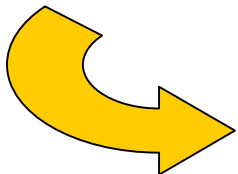
Méthode : Forage mécanique destructif

Résultat : Répartition des matériaux en place, prélèvement d'échantillons de classe 3

Méthode : Forage mécanique carotté

Résultat : Répartition des matériaux en place, prélèvement d'échantillons de classe 1 pour essais en laboratoire

Autre méthode : essai au phicomètre

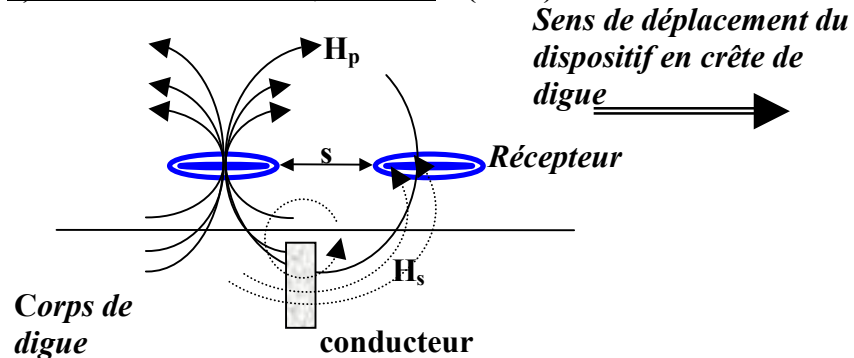


II - 4 DIAGNOSTIC

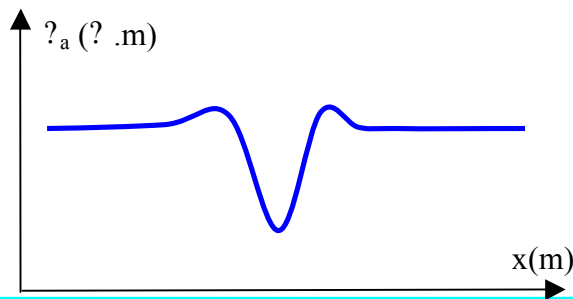
IV – Méthodes électromagnétiques basse fréquence (EMBF) en champ proche (1/2)

V-1 Principe

a) Bobine horizontales, mode VD (HCP)



b) Représentation qualitative d'un profil de résistivité



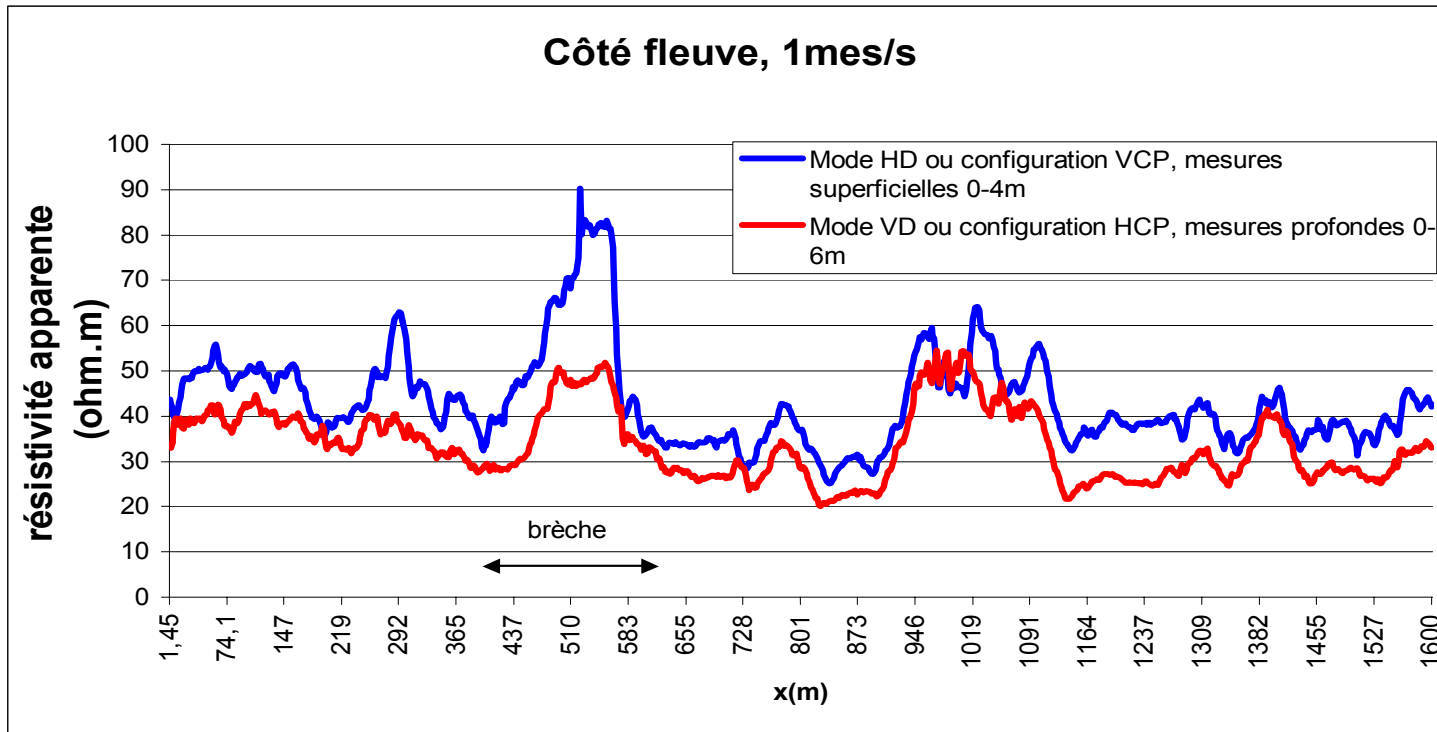
V-2 Grandeurs mesurées

$$\frac{|H_s|}{|H_p|} = \frac{B^2}{2} = \frac{\pi f \mu_0 \sigma_a s^2}{2} \quad \text{et}$$

Conductivité apparente, inverse de la résistivité apparente

$$\sigma_a = \frac{|H_s|}{|H_p|} \frac{2}{\pi f \mu_0 s^2} = \frac{1}{\rho_a} \quad (\text{S/m})$$

IV - Méthodes EMBF en champ proche : exemple de résultat (2/2)



Auscultation EM basse fréquence en champ lointain : une mesure tout les 5 mètres, côté val
HCP : profondeur d'investigation inférieure à 6m - VCP : profondeur d'investigation inférieure à 4 m

Rendement : 1 mes/s avec un dispositif Slingram (EM31)

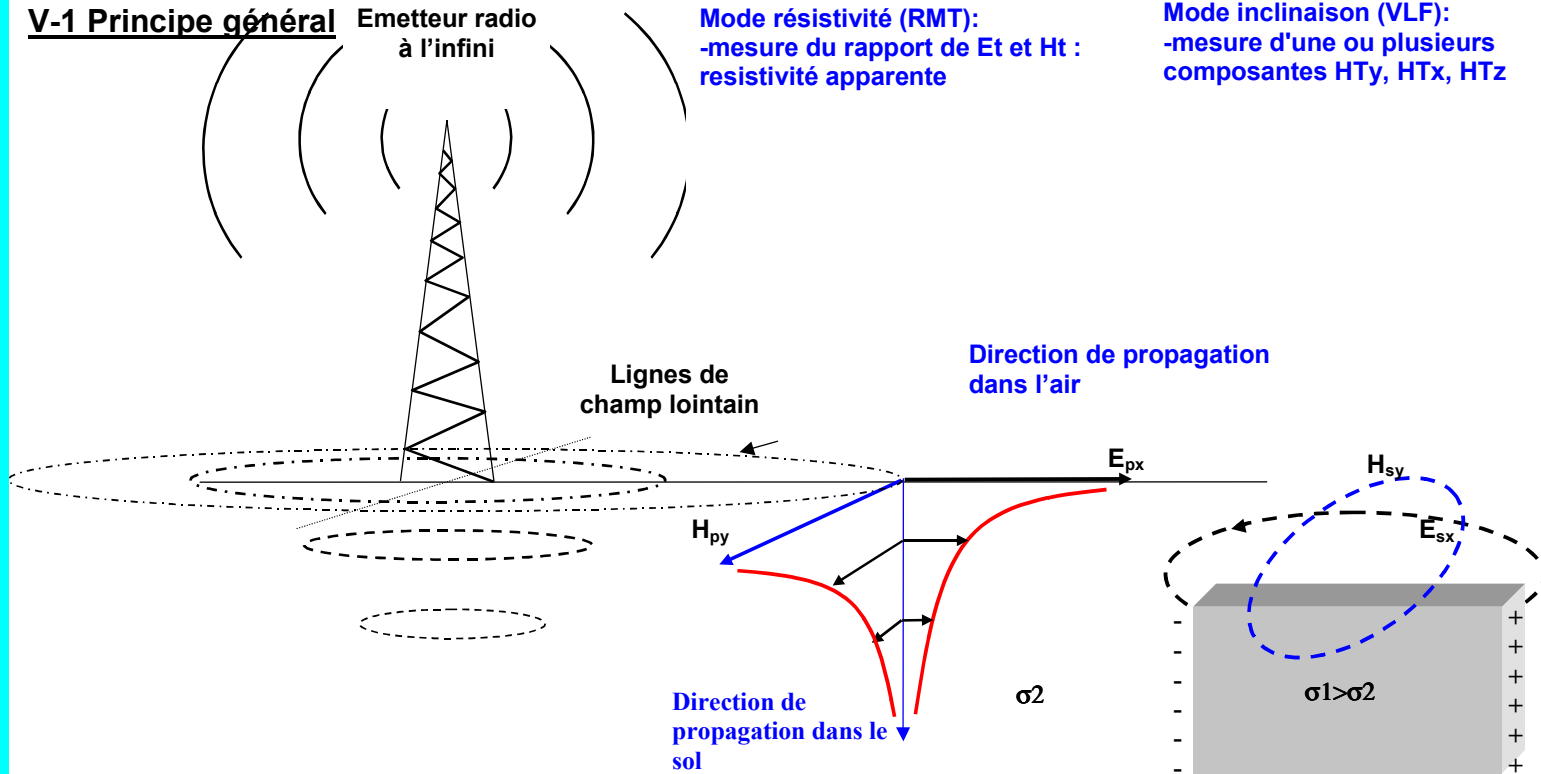
V - Méthodes EMBF champ lointain (1/3)

V-1 Principe général

Emetteur radio
à l'infini

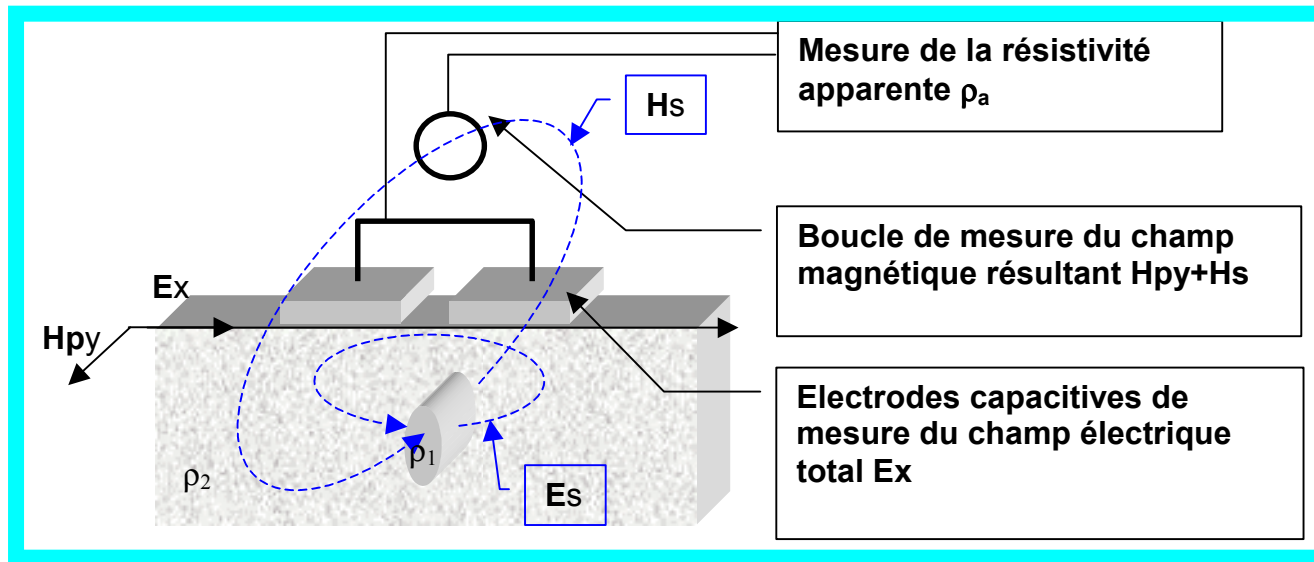
Mode résistivité (RMT):
-mesure du rapport de E_t et H_t :
résistivité apparente

Mode inclinaison (VLF):
-mesure d'une ou plusieurs
composantes H_{Ty} , H_{Tx} , H_{Tz}



V - Méthodes EMBF champ lointain : RMT (2/3)

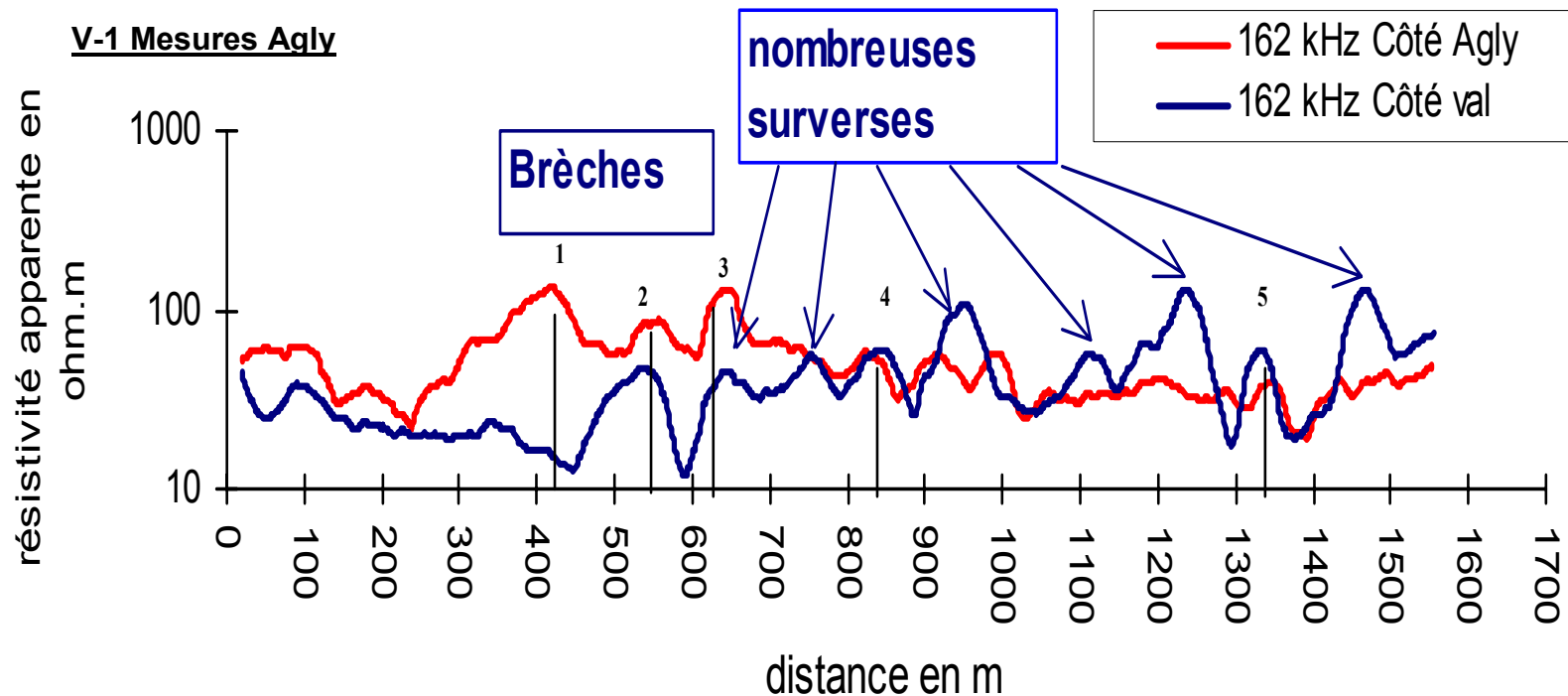
V-1 Exemple de le Radio Magnéto Tellurique (RMT) ; $f \sim [15\text{kHz} - 1\text{MHz}]$



Grandeur mesurée $\rho_a = \frac{1}{2\pi\mu_0 f} \frac{|E_x|^2}{|H_y|^2} \Omega \cdot m$

Épaisseur de peau : $\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi\mu_0 f}} \sim 503 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \text{ m}$

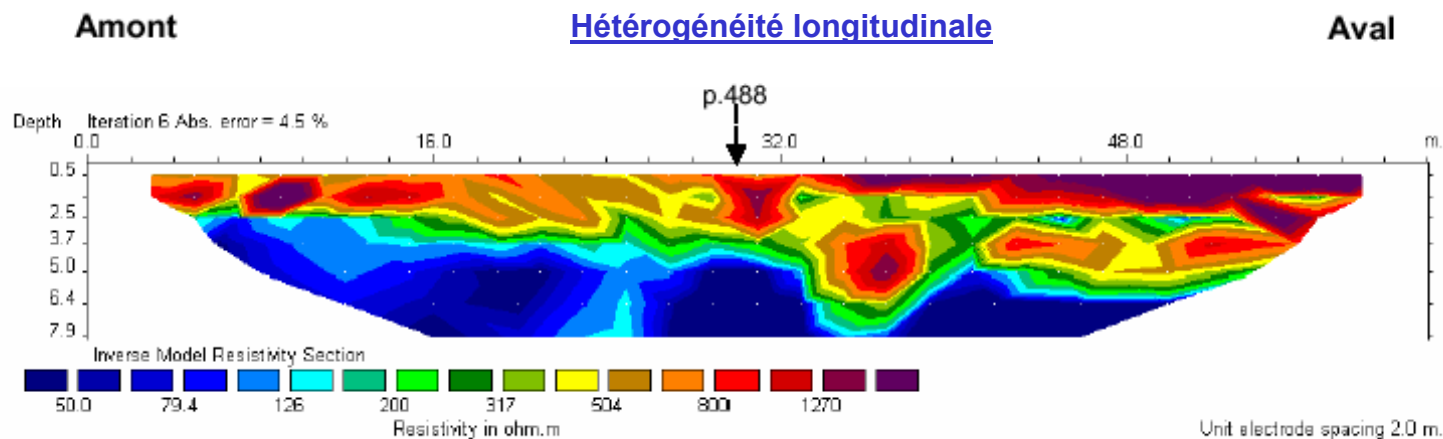
V - Méthodes EMBF champ lointain : exemple (3/3)



Fréquence = 162 kHz

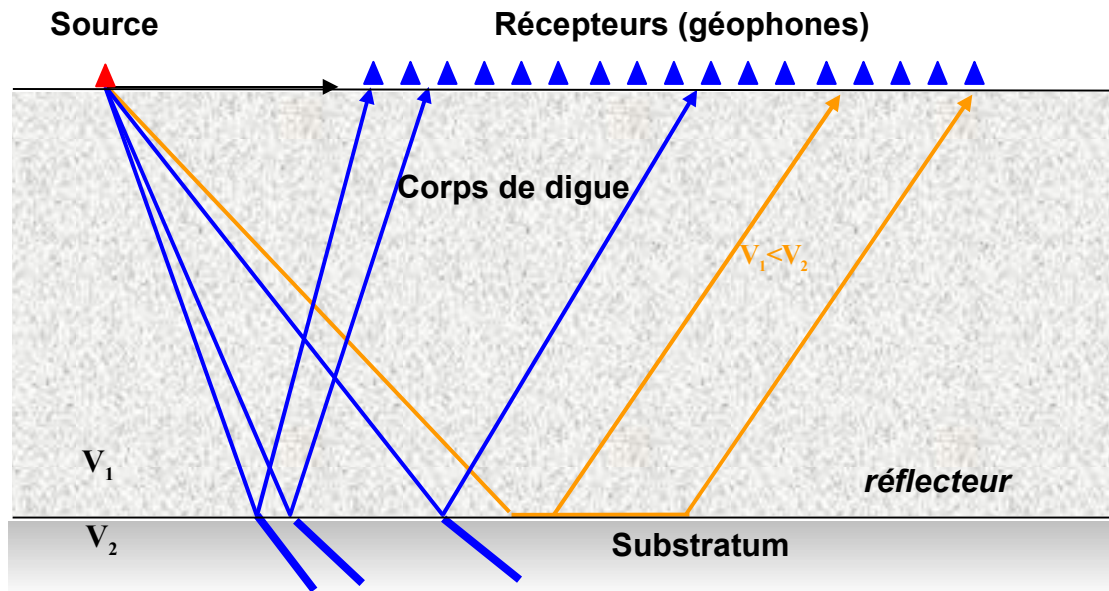
- Pour $\rho \sim 100$ Ohm.m, la profondeur de pénétration est de l'ordre de 4 m, soit environ le corps de digue
- Rendement : 11 km de digue pour 5 heures de mesure en véhicule, une mesure tous les mètres, côté val et côté fleuve

VI - Panneau électrique en courant continu (2/3)



- Les zones rouges et oranges = un remblai plutôt graveleux, de résistivité plus forte, dont on peut suivre la répartition le long de la digue.
- Les tons bleus = limono-argileuse de la digue.
- Les zones jaunes et vertes = matériaux plutôt sableux.
- Sur le profil, à 36 m, une anomalie résistante apparaît plus nettement.
- L'échelle verticale n'indique pas la profondeur des anomalies : elle n'est qu'indicative. Seuls des sondages permettent d'obtenir les vraies profondeurs.

VII – Sismique réfraction (1/2)

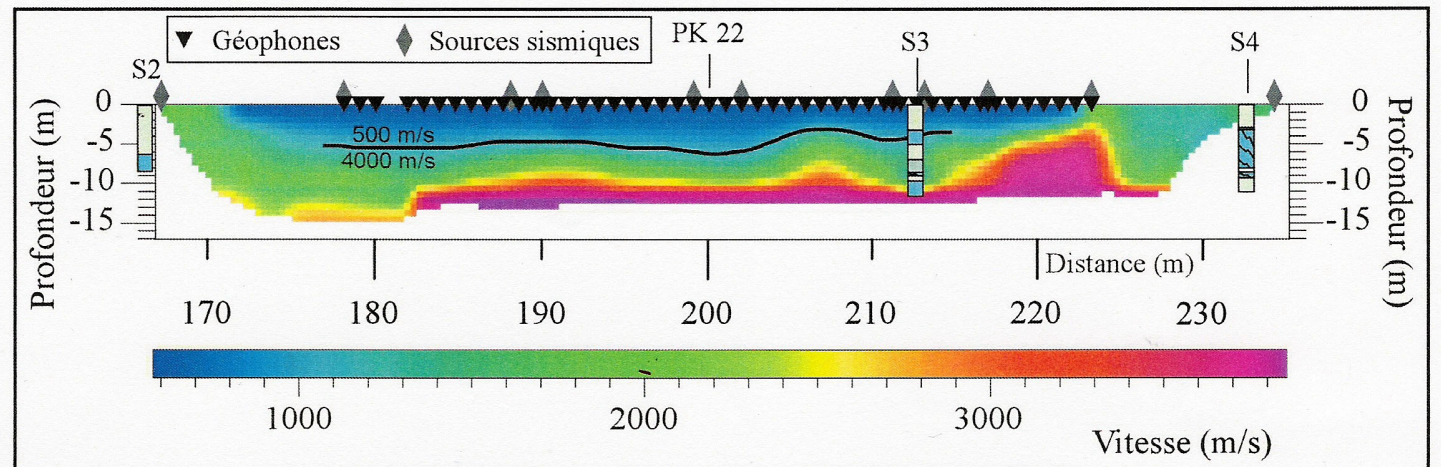
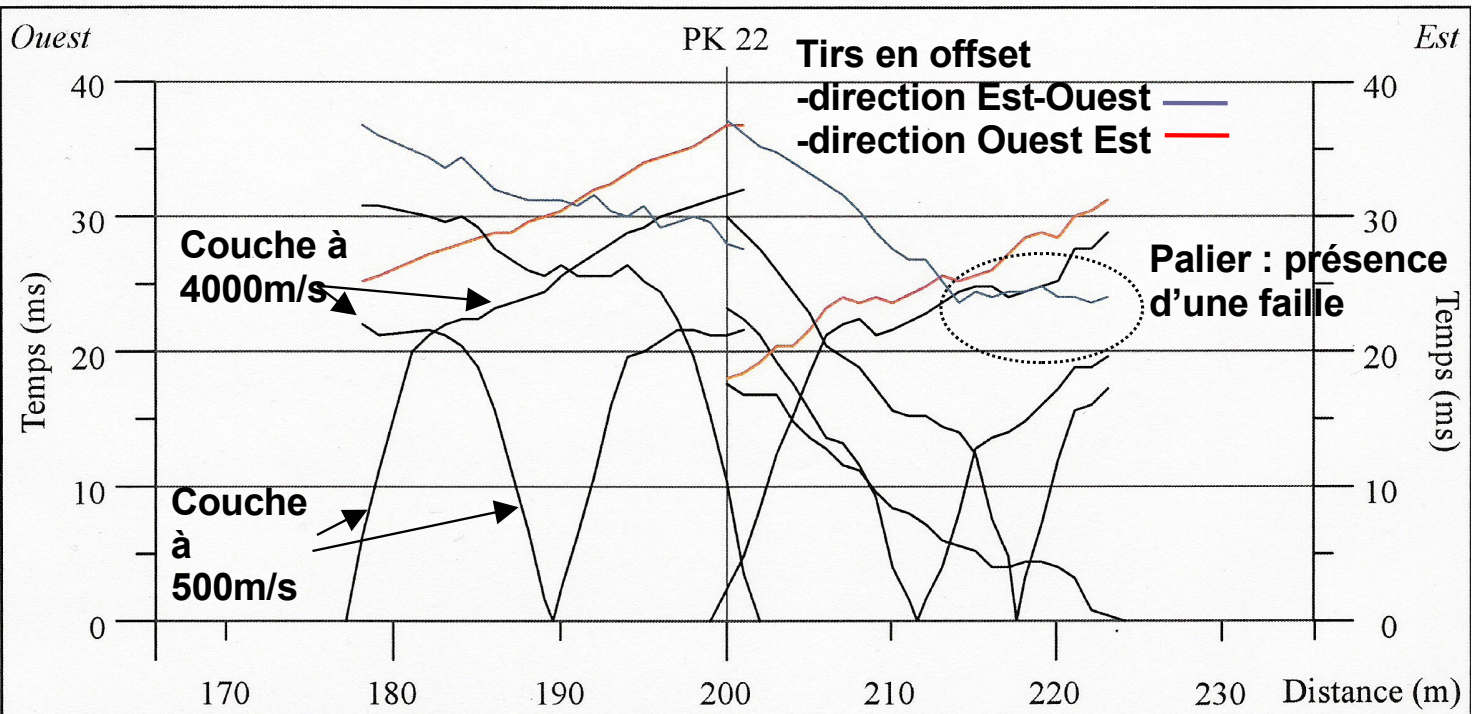


— ondes réfléchies dans le milieu 1

— ondes transmises dans le milieu 2

— ondes réfractées (si $V_1 < V_2$)

— ondes directes
(volume+surface)



Conclusion méthodologique des travaux Dignes de l'Agly, de l'Isère et du Cher

- Etudes préliminaires **impératives**

- 1er zonage : méthodes géophysiques à **grand rendement à efficacité maximale** anomalies longitudinales et transversales

Slingram : mesure grand rendement mais p.i. petite, ou petit rendement à p.i. optimale

sinon **RMT** : mesure grand rendement

- 2nd zonage : méthodes géophysiques **locale à efficacité maximale**

Panneau électrique : précision des hétérogénéités d'une zone particulière, et géométrie de la digue

Sismique réfraction : suivi d'interface digue/fondation

Polarisation spontanée : détection de fuite

-Implantation des sondages : **corrélation** entre la **géotechnique et la géophysique** : affinage du modèle de la digue

Perspectives

-inspection en **crue**,

-nécessité de **développer** des nouveaux matériels :

-dispositif de type Slingram à grand rendement et à p.i d'au moins 10 m;

-nouveaux capteurs RMT en remplacement des capteurs capacitifs.

-tester **d'autres méthodes** grand rendement (VLF-Grad);

-**modélisation** : étude de l'influence de la sinuosité de la digue et de sa topologie sur les mesures EMBF en champ lointain, sur les mesures électrique, sur la polarisation spontanée;

-> projet ANR ERINOH (ERosion INterne dans les Ouvrages d'art Hydraulique)

Merci



