

HG07 - 676

Etude géophysique des pertes
du CHASSEZAC

(Ardèche)

744

oct 1990 - avril 1991

**SYNDICAT DEPARTEMENTAL
D'EQUIPEMENT DE L'ARDECHE**

Etude géophysique des pertes
du CHASSEZAC

(Ardèche)

744

oct 1990 - avril 1991

Etude N° 3751

Octobre 1990 - Avril 1991

C.P.G.F. HORIZON
Division Lyon Sud-Est
Ferme de la Croix
BP 69
38090 VILLEFONTAINE

Tél. : 74.96.42.53
FAX : 74.96.29.35

SOMMAIRE

I -	PREAMBULE	page 1
II -	CADRE DE L'ETUDE ET POSITION DU PROBLEME	page 1
III -	RESULTATS DES MESURES	page 2
	A. MESURES ELECTROMAGNETIQUES EM31	page 2
	B. MESURES DU POTENTIEL D'ELECTROFILTRATION	page 3
	C. PANNEAUX ELECTRIQUES HAUTE RESOLUTION	page 4
VI -	SYNTHESE DES RESULTATS	page 5
V -	CONCLUSIONS ET PROPOSITIONS	page 7

-oOo-

PLANCHES

- 3751-01 Carte de situation générale (1/200000)
- 3751-02 Carte d'implantation des mesures (1/5000)
- 3751-03 Cartes des résultats de mesures électromagnétiques et d'électrofiltration(1/2000)
(a, b et c)
- 3751-04 Exemple de profil d'électrofiltration
- 3751-05 Diagrammes d'interprétation des panneaux électriques haute résolution

-oOo-

ANNEXES

- Annexe 1 Principe de la méthode EM31
- Annexe 2 Principe de la méthode électromagnétique
- Annexe 3 principe de la méthode des panneaux électriques

-oOo-

Conseil Général de l'Ardèche

Etude géophysique des pertes
du CHASSEZAC (07)

Echelle 1/200 000

CARTE DE SITUATION GENERALE



I - PREAMBULE

A la demande du Syndicat Départemental d'Équipement de l'Ardèche et sous le contrôle du SRAE Rhône-Alpes, CPGF HORIZON a entrepris une étude géophysique dans la Vallée du CHASSEZAC à l'amont de Maison Neuve (figure 3751-01). Pour cette étude, trois méthodes de géophysique électrique ont été mises en oeuvre :

- une méthode électromagnétique : mesures avec un EM31
- une méthode électrique : réalisation de panneaux EHR
- une méthode électrique : réalisation de mesures de courants d'électrofiltration

On trouvera en annexe une description détaillée de ces trois méthodes, rappelons simplement que plus un terrain est électriquement conducteur, plus sa teneur en argile ou son niveau d'altération est élevé ; il est donc relativement imperméable. Dans le cas de formations calcaires, une résistivité très élevée traduira également un terrain imperméable car non fracturé et/ou fissuré.

Les mesures ont été réalisées et dépouillées par Messieurs A. Debière, T. Lefèbre, F. Lenclud et J. Varniol entre octobre 1990 et janvier 1991 pour tenir compte des impératifs de production d'E.D.F. Leur interprétation et la rédaction du présent rapport ont été assurées par Monsieur E. Siwertz, Directeur de la Division Sud Est de CPGF HORIZON.

Parallèlement à notre intervention, une étude détaillée des photographies aériennes est prévue.

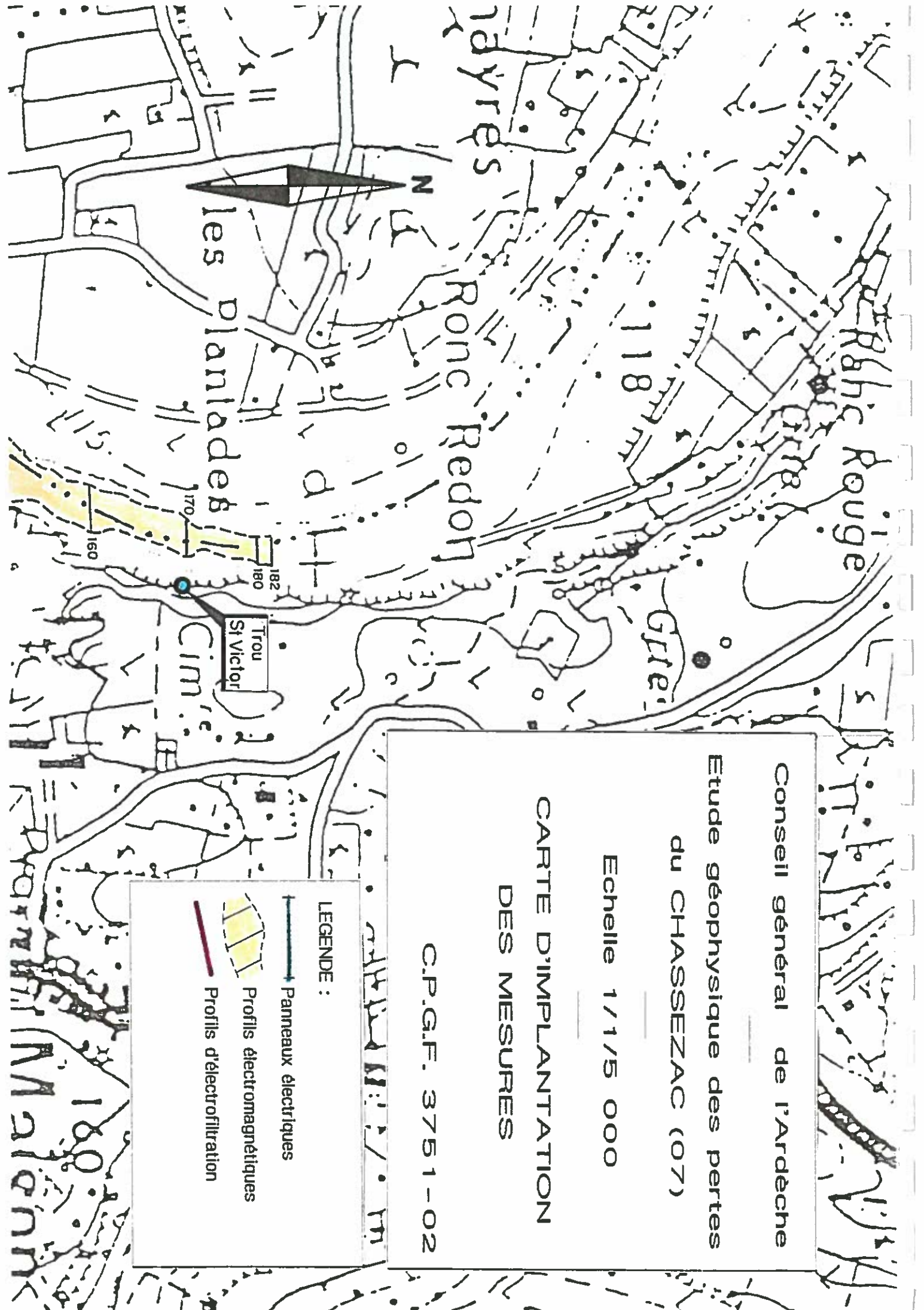
-oOo-

II - CADRE DE L'ETUDE ET POSITION DU PROBLEME

Le Chassezac est le principal affluent de l'Ardèche (figure 3751-01); il prend sa source au Moure de la Gardille près des sources de l'Allier et se jette dans l'Ardèche à Samprozon.

Son bassin versant total couvre 730 km² et son débit moyen à Bertrannes (BV de 507 km²) est de 18 m³/s avec un débit caractéristique d'étiage (DCN10) de 740 l/s et des crues qui peuvent dépasser 1800 m³/s. Ce débit est régulé par plusieurs barrages EDF: Villefort, Raschas, Roujanel, Sainte Marguerite et Malarce.

L'ensemble des éléments concernant le régime hydrologique du Chassezac a fait l'objet de plusieurs rapports du SRAE Rhône-Alpes (FD-JL/MR-Janv. 1989, FD/MR-Juin 1989 et FD/JL Janv. 1990) pour le compte du Syndicat Départemental d'Équipement de l'Ardèche.



Conseil général de l'Ardèche

Etude géophysique des pertes




du CHASSEZAC (07)

Echelle 1/1/5 000

CARTE D'IMPLANTATION
DES MESURES

C.P.G.F. 3751-02

LEGENDE :

-  Panneaux électriques
-  Profils électromagnétiques
-  Profils d'électrofiltration



les Planades

Ronc Redon

Rahc Rouge

118

Trou
St Victor

Cim.

Gre

160

170

180

182

180

Dans la partie aval de son cours, il subit des pertes importantes qui parviennent à l'assécher sur près de 8 km. Les études menées par le SRAE montrent qu'en dessous d'un débit de 1400 à 1600 l/s, le lit s'assèche complètement entre Chaulet et le confluent avec l'Ardèche.

A la lumière des éléments disponibles, il semblerait que les pertes soient liées à un karst qui se développe dans les formations calcaires du Kimméridgien supérieur (j6-5, 40 à 50 m. de puissance). La partie sommitale de cette formation affleure largement avec une morphologie ruiniforme dans le lit de la rivière sur 1,5 km. dans le secteur supposé principal des fuites.

L'objectif de l'étude est d'une part d'identifier avec le maximum de précision les zones de fuites et d'autre part de proposer, en fonction de ces résultats, des solutions pour limiter au maximum ces pertes afin de rendre au cours inférieur du Chassezac sa vocation touristique et piscicole.

-oOo-

III - DESCRIPTION DU RESULTAT DES MESURES

A. MESURES ELECTROMAGNETIQUES EM31

Les mesures ont été réalisées suivant des profils perpendiculaires au cours de la rivière. Les profils sont espacés de 10 à 15 m. et la maille de mesures sur les profils a été en moyenne de 2 m. L'implantation de ces mesures fait l'objet de la carte 3751-02 au 1/5000^{ème}.

Au total, plus de 5000 mesures ont été effectuées et cette densité de mesure permet de tracer objectivement une carte d'isorésistivité apparente (cartes 3751-03 a, b et c au 1/2000^{ème}).

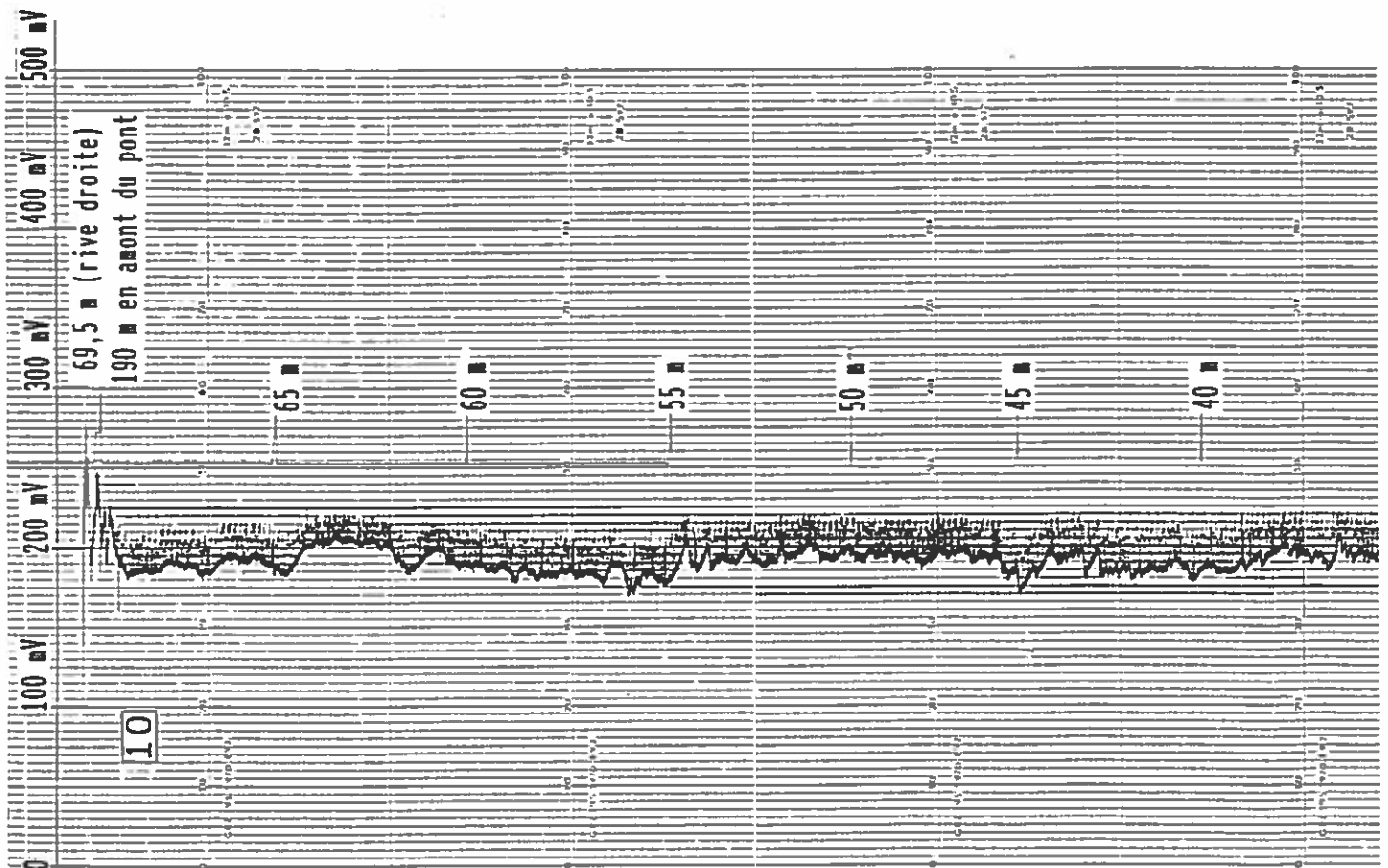
Rappelons que ces mesures traduisent la résistivité apparente d'une tranche de terrain de 4 à 6 m de puissance mais que la résistivité du premier mètre joue un rôle important surtout si cette première tranche est relativement conductrice.

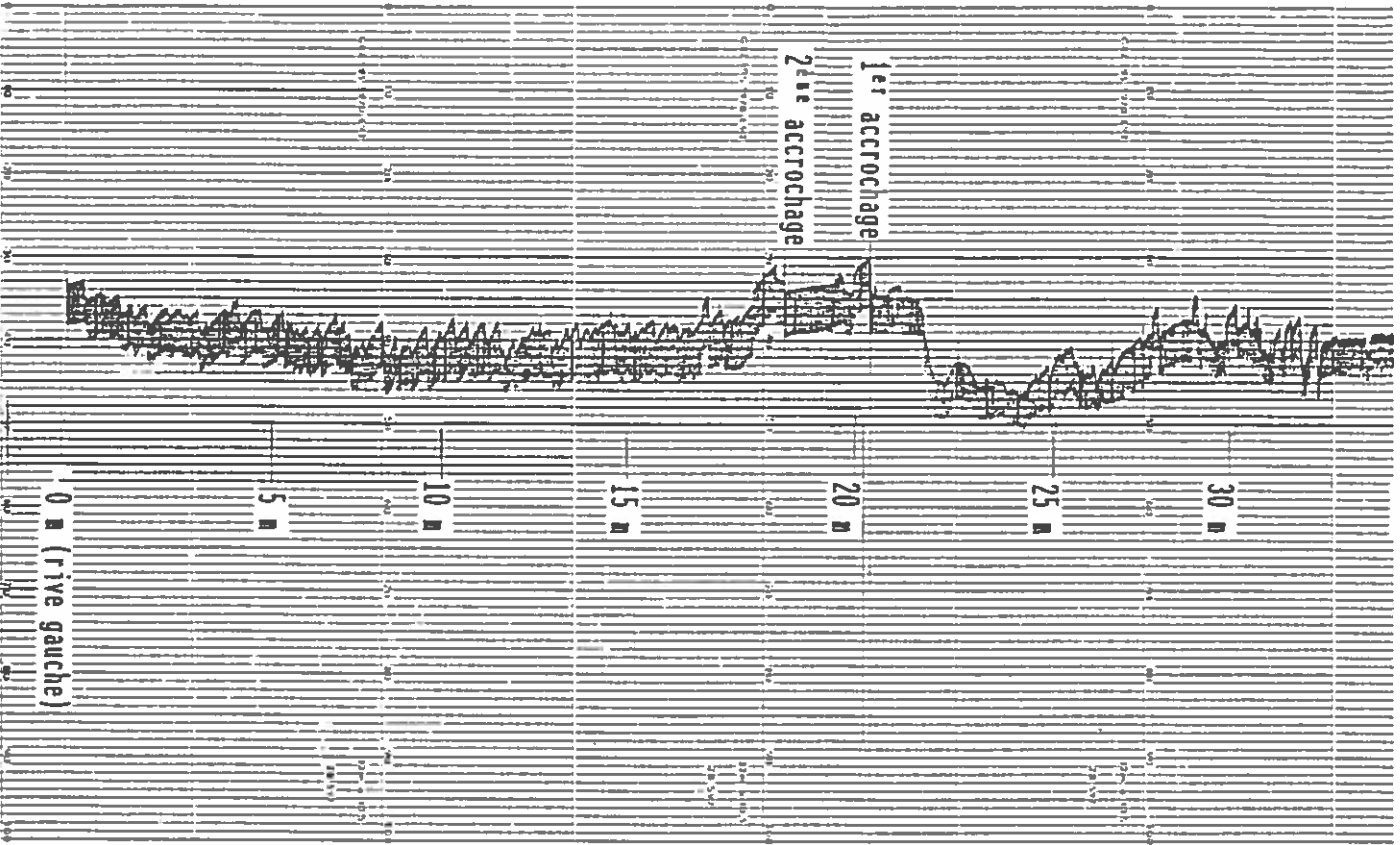
Les résistivités apparentes mesurées varient relativement peu entre 75 et 27.5 $\Omega.m$ car les mesures ont été réalisées dans le lit de la rivière avec une teneur en eau élevée dans les horizons superficiels. Les cartes 3751-03 a, b et c montrent cependant que les valeurs mesurées s'organisent suivant des ensembles cohérents que nous avons soulignés en choisissant quatre plages de résistivité apparente :

- Résistivité > 70 $\Omega.m$ couleur orange
- 70 > Résistivité > 50 $\Omega.m$ couleur jaune

Pertes du CHASSEZAC (07)

EXEMPLE DE PROFIL D'ELECTROFILTRATION





- 50 > Résistivité > 35 Ω .m couleur verte
- Résistivité < 35 Ω .m couleur bleu

Le choix de ces plages et des couleurs qui les illustrent sur les figures ont été motivés par les considérations suivantes :

- Les formations conductrices, inférieures à 50 Ω .m, sont a priori à dominante argileuse et donc peu favorables à une infiltration des eaux de surface. Elle ressortent en bleu et vert sur les figures 3651 03.
- Les formations relativement plus résistantes, supérieures à 50 Ω .m, traduisent des formations moins argileuses, sans doute, dans le contexte géologique décrit, des calcaires plus francs.

On observe un ensemble "résistant" entre l'extrémité nord de la zone reconnue (profil n°183) et une zone de transition comprise entre le profil n°128 et le profil n°120.

En allant vers l'aval, on recoupe une zone plus conductrice entre les profils n°120 et n°112, puis une bande à nouveau résistante entre les profils n°110 et n°94. A l'aval du profil n°94, et jusqu'au profil n°65, les mesures électromagnétiques montrent un ensemble "conducteur" avec des résistivités homogènes et inférieures à 30 Ω .m. Il faut signaler que la limite de cette zone est franchement marquée avec un fort gradient; on passe en effet de 30 Ω .m à 70 Ω .m en moins de 5 profils.

Dans la partie la plus aval de la zone reconnue, les résistivités mesurées varient entre 55 et 65 Ω .m avec seulement une petite zone conductrice entre les profils n°27 et 33.

B) MESURES D'ELECTROFILTRATION

18 profils de potentiel d'électrofiltration ont été réalisés en décembre 1990 et janvier 1991 avec un certain nombre de difficultés liées aux impératifs d'EDF pour la gestion des barrages amont.

La figure 3751-04 illustre un exemple de ces profils enregistrés en continu. Sur certains profils la présence de clôtures électrifiées proches entraîne des parasites mais sous la forme de signaux à très haute fréquence par rapport à ceux que nous cherchons à identifier.

Les zones d'infiltration se caractérisent par des potentiels négatifs par rapport au potentiel de polarisation spontanée moyen sur le profil étudié. En raison des conditions de mesure qui n'ont pas été constantes durant les deux phases (avec en particulier de fortes variations du débit du Chassezac), il n'a pas été possible de fixer des valeurs absolues aux potentiels d'électrofiltration enregistrés. On a donc retenu, pour illustrer les résultats de ces campagnes de mesures, les variations de polarisation spontanée (PS) par rapport au signal moyen (bruit de fond local pendant les différentes journées de mesure).

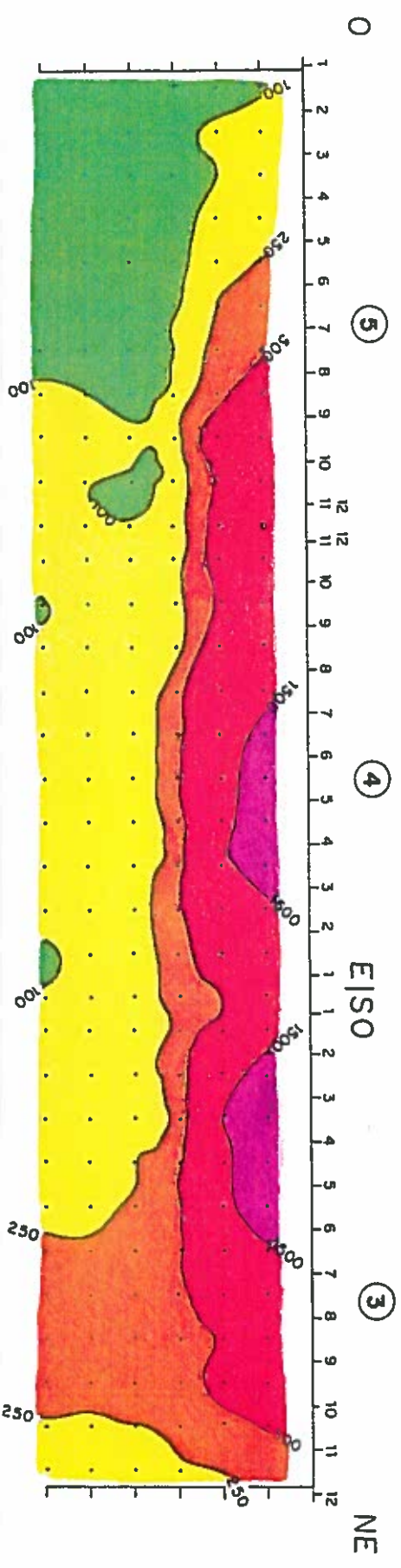
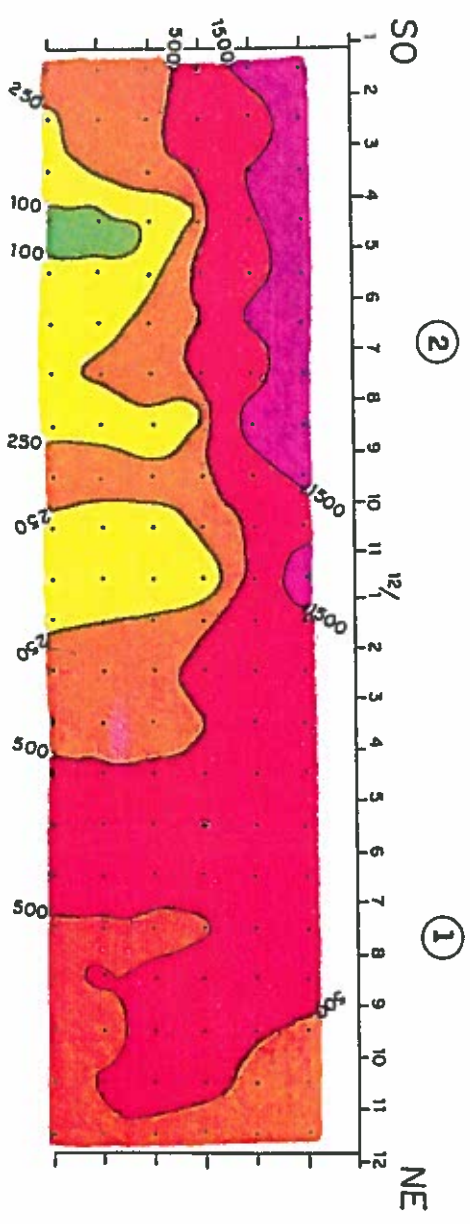
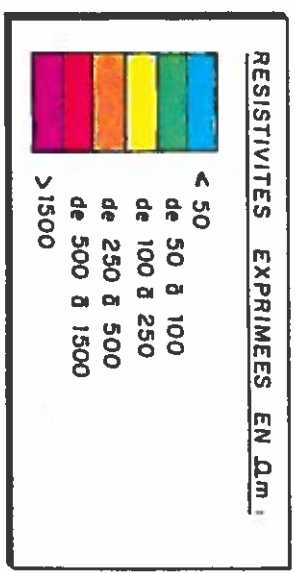
5 plages de PS ont été retenues :

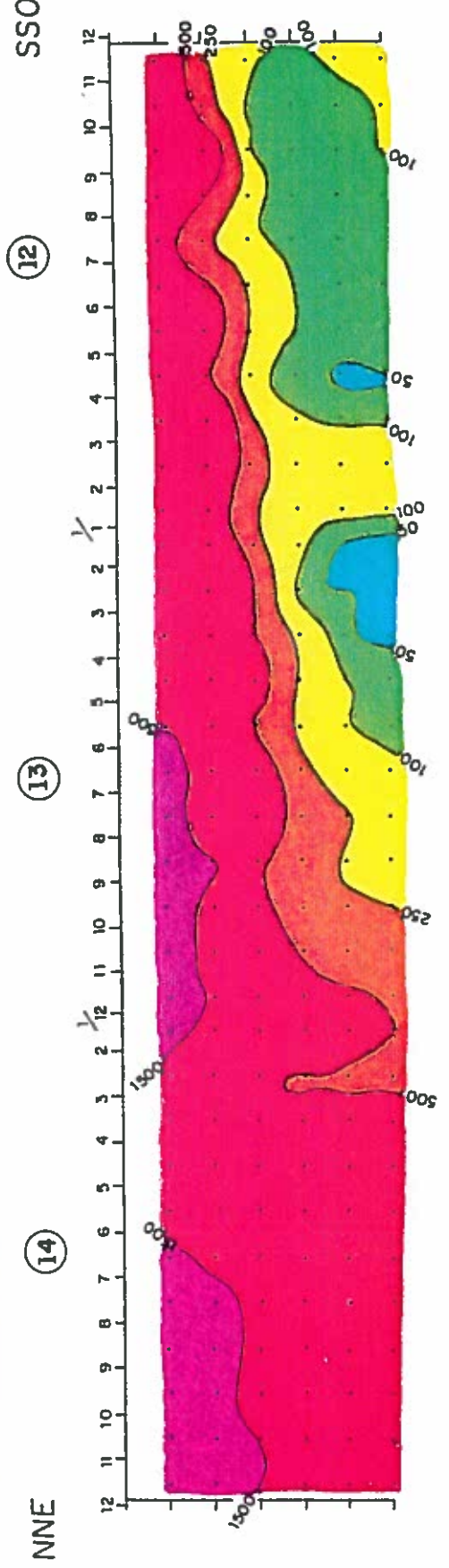
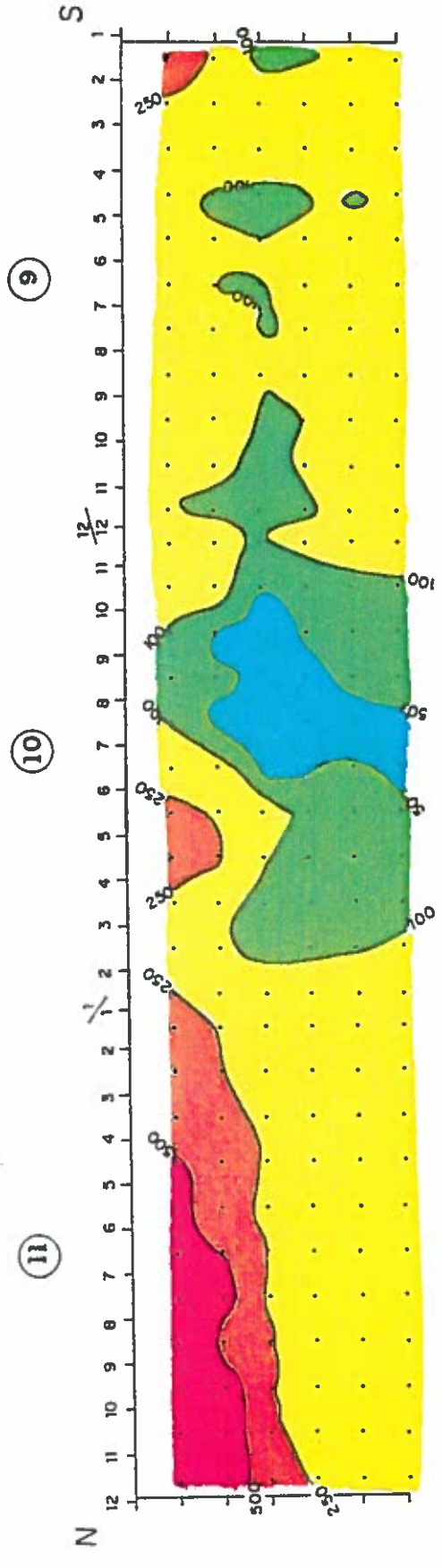
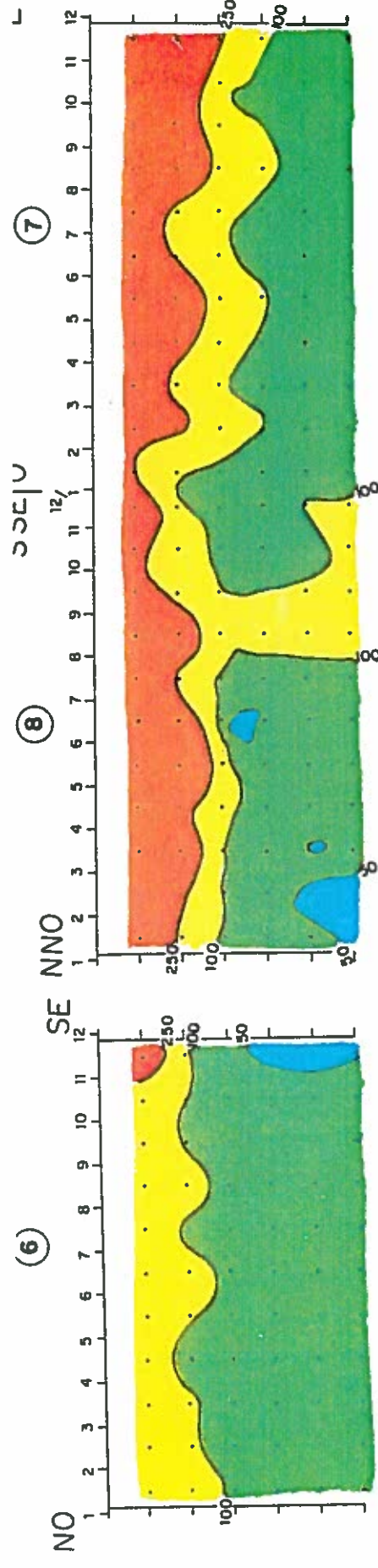
- PS supérieur à +25 mV couleur bleue
- PS comprise entre 0 et +25 mV couleur verte

Etude géophysique des pertes du CHASSEZAC

Echelle H. 1/1 500

DIAGRAMME D'INTERPRETATION DES PANNEAUX ELECTRIQUES





h4

- PS comprise entre -25 et 0 mV couleur jaune
- PS comprise entre -50 et -25 mV couleur orange
- PS inférieur à -50 mV couleur rouge

On a également souligné les anomalies négatives ponctuelles (20 mV sur moins de 5 m).

Les figures 3751-03 a, b et c illustrent les résultats et nous avons choisi des plages de couleur cohérentes avec les résultats d'électromagnétisme; en effet plus les teintes sont "chaudes" : rouge, orange et jaune, plus le potentiel d'électrofiltration traduit des zones d'infiltration préférentielle. En revanche, les couleurs "froides": vert et bleu traduisent des zones à potentiel positif où l'infiltration est à priori absente ou bien très faible.

On constate généralement une bonne corrélation entre les deux méthodes, sauf pour le secteur le plus "résistant" entre les profils n°62 et n°57 où la résistivité apparente mesurée avec l'EM31 est supérieure à 70 Ω .m alors que la PS est supérieure à +25 mV.

Les secteurs présentant les anomalies négatives les plus significatives sont situés sur les profils PS n°9,10, 11, et 12 dans la zone aval du Chassezac (entre les profils EM n°1 et n°24).

Une autre zone existe entre les profils EM n°32 et n°38, ainsi qu'entre les n°98 et n°108.

Par contre les 3 secteurs avec une résistivité EM comprise entre 50 et 35 Ω .m (zone verte et bleue) montrent généralement un potentiel d'électrofiltration nul ou légèrement positif; il y a cependant quelques anomalies à cette règle particulièrement sur les bordures de chacune de ces zones (profils EM n°79 à n°83, profils EM n°92 et 93).

C) PANNEAUX ELECTRIQUES HAUTE RESOLUTION

14 panneaux électriques HR ont été réalisés en rive droite du Chassezac. Leur implantation figure sur les plans 3751-02 et 03. L'objectif de ces mesures était de mettre en évidence des discontinuités structurales pouvant constituer des zones d'infiltration préférentielle. Elles permettent par ailleurs de vérifier les résistivités des terrains en profondeur et constituent de ce fait un étalonnage des mesures EM.

La planche 3751-05 illustre les résultats des panneaux HR. Rappelons qu'il s'agit d'une représentation conventionnelle (dite de Schlumberger) et qui traduit seulement l'évolution des résistivités avec la profondeur et non une "coupe des terrains".

Les couleurs illustrant les plages d'isorésistivités apparentes sur ces diagrammes ont été choisies dans la même gamme et avec la même finalité que pour les méthodes précédentes

- Résistivité < 50 Ω .m couleur bleue
- 50 < résistivité < 100 Ω .m couleur verte
- 100 < résistivité < 250 Ω .m couleur jaune
- 250 < résistivité < 500 Ω .m couleur orange

- 500 < résistivité < 1500 Ω .m couleur rouge
- Résistivité > 1500 Ω .m couleur violette

Les panneaux électriques ont été réalisés sur la rive de la rivière, plus ou moins éloignés de la berge suivant les possibilités d'implantation.

En partant de l'amont, les résultats sont les suivants :

Panneaux 14-13-12 : les résistivités apparentes sont élevées surtout au droit du panneau 14.

En allant vers l'aval on observe une baisse des résistivités en profondeur et l'apparition de terrains conducteurs. Au droit du panneau 12 les terrains sont très conducteurs en profondeur. La corrélation avec les mesures EM est évidente malgré un écart important sur les valeurs absolues.

Panneaux 11-10-9 : les valeurs de résistivité apparentes élevées disparaissent en "biseau" et une discontinuité nette est visible au centre du panneau 10 avec une alternance résistant/conducteur et une zone de fort gradient. Sur le panneau 9, la série semble plus homogène avec l'apparition de terrains plus résistants en surface à l'extrémité aval.

Panneaux 8-7 : On retrouve des valeurs de résistivité élevées dans les horizons superficiels, mais en profondeur la série est conductrice.

Panneau 6 : sur ce panneau, les résistivités apparentes sont inférieures à 150 Ω .m (sauf à l'extrémité aval).

Panneaux 5-4-3 : le panneau 5 est encore largement conducteur, mais à partir de la trace 8, les terrains en surface deviennent plus résistants. Sur le panneau 4 le substratum est conducteur mais la résistivité des horizons superficiels est très élevée. Au milieu du panneau 3, la série devient résistante avec une discontinuité nette au droit des traces 8 et 9.

Panneaux 2-1 : le panneau 2 montre trois discontinuités, la principale étant située à la limite entre le panneau 1 et le panneau 2, ce dernier est globalement résistant. Au droit de ces deux derniers panneaux, la corrélation avec les mesures d'électromagnétisme est tout à fait significative.

-oOo-

IV - SYNTHÈSE DES RESULTATS

Les trois méthodes géophysiques utilisées pour cette reconnaissance apportent des éléments de réponse complémentaires au problème des pertes du Chassezac:

Les mesures électromagnétiques permettent de délimiter trois grands domaines : un domaine résistant, relativement homogène entre le profil EM n°183 au nord du Trou St. Victor et le profil EM n°125; un domaine globalement plus conducteur avec en particulier une zone très conductrice entre les profils EM n°95 et n°65 et surtout des variations rapides de résistivité entre les profils EM n°60 et n°70; et enfin un domaine moyennement résistant mais avec des variations plus nettement marquées que dans la partie amont.

Ces trois domaines ont, à notre avis, des comportements différents vis-à-vis des pertes de la rivière.

Les panneaux électriques HR matérialisent, sur la rive droite du Chassezac, une série de discontinuités (failles ou contacts géologiques: entre les panneaux 13 et 12, à l'extrémité sud du panneau 10, sur l'ensemble du panneau 2 et entre le panneau 2 et le panneau 1. Par ailleurs, ils illustrent également la structure géologique locale avec la remontée progressive d'un terrain conducteur à partir du centre du panneau 13 (profil EM n°128-130) qui vient affleurer à partir du panneau 10 (notons que les panneaux 9, 10 et 11 sont assez éloignés de la berge du Chassezac et qu'il peut y avoir un léger décalage par rapport aux mesures EM31. Les panneaux 8, 7 et 6 montrent, sous une mince couverture résistante un substratum conducteur. Cette situation se poursuit jusqu'au centre du panneau 5, au delà duquel on voit réapparaître une série résistante qui devient très résistante à partir du panneau 3, la série étant entièrement résistante sur le panneau 1.

Les zones moyennement résistantes étant a priori les plus favorables à une infiltration des eaux, on retiendra en priorité les secteurs en face des panneaux 14 et 13, puis 4, 3, 2 et 1.

Les mesures de potentiel d'électrofiltration sont les plus simples à interpréter car il s'agit d'une mesure directe qui permet d'identifier les zones de perte. En fonction du résultat des premiers profils de mesures PS1 et surtout profil PS7, il semble que les zones EM relativement très résistantes ($ra > 72 \Omega.m$) ne donnent pas de signaux nets alors que les zones moyennement résistantes ($50 > ra > 70 \Omega.m$) donnent les signaux les plus significatifs. Ce résultat est en contradiction apparente avec les observations du SRAE dans la zone du Trou St. Victor mais semble par contre confirmer les résultats des forages qui n'ont mis en évidence, dans ce secteur, que des calcaires peu fracturés et pas de circulation d'eau notable.

Les zones EM conductrices montrent peu ou pas de signaux qui, lorsqu'ils existent, se situent en limite des différentes unités.

Trois zones critiques sont clairement identifiées :

- l'extrémité amont du profil PS5
- les extrémités amont des profils PS8, PS13 et PS14
- l'ensemble des profils PS9, PS10 et PS11

Les anomalies ponctuelles sont distribuées préférentiellement dans les zones EM moyennement résistantes mais il en existe aussi dans les zones conductrices: profils PS6 et PS17.

V - CONCLUSIONS ET PROPOSITIONS

Les mesures géophysiques entreprises dans le cours du Chassezac entre Les Plantades et le pont sur le CD 104 mettent en évidence trois entités identifiées par leur signature électrique ou électromagnétique :

- Une zone amont (profils EM n°183 à n°130) avec une résistivité EM relativement élevée traduisant la présence en surface de terrains calcaires compacts et peu fracturés. Les mesures d'électrofiltration réalisées sur une zone EM équivalente (profils EM n°56 à n°62) ne signalent pas d'anomalies PS significatives. Notons cependant qu'il n'a pas été possible de réaliser des mesures à proximité même du Trou St. Victor où l'on observe une zone légèrement plus conductrice.
- Une zone médiane entre les profils EM n°130 et n°65 avec une résistivité EM variable mais où les terrains conducteurs dominent, surtout du profil EM n°95 au n°65. Sur ces zones conductrices, les anomalies PS sont très faibles ou absentes sauf, très localement, sur le PS6. Une zone plus résistante est identifiée entre les profils EM n°95 et n° 110 où les mesures d'électrofiltration montrent une zone d'anomalie négative même à l'extrémité amont du PS3.
- Une zone aval, elle même séparée en deux sous-ensembles : une première sous-zone entre les profils EM n°65 et n°25, où alternent terrains résistants, moyennement résistants et conducteurs. On y trouve en particulier un secteur avec une résistivité EM supérieure à 70 $\Omega.m$ où le signal en PS est légèrement positif, traduisant l'absence d'infiltration (profil EM n°54 à n°62) et un secteur avec une résistivité EM moyenne associée à un signal PS négatif bien individualisé (profils PS n°13, n°8 et n°14). Une seconde sous-zone à l'aval du profil EM n°25, où associées à une résistivité moyennement résistante, on observe des valeurs de PS négatives à très négatives sur les profils PS n°9, n°10, n°11, et n°12. Il s'agit là de la zone où ce type de mesure traduit l'infiltration la plus forte.

Cette meilleure connaissance de la localisation des zones de pertes (dans la mesure où elle serait confirmée par des forages ou des observations in situ) nous conduit à proposer un schéma d'aménagement de cette portion du cours du CHASSEZAC visant à minimiser l'incidence des pertes sur les débits d'étiage.

Le principe général consiste à redessiner un lit mineur pour la rivière en utilisant au mieux les caractéristiques morphologiques et lithologiques du lit actuel en évitant les zones de pertes identifiées ou potentielles.

Schématiquement, on peut envisager de creuser ce lit dans les calcaires compacts de la zone amont en rive droite pour la partie comprise entre le PEM n°183 et le PEM n°160 et indifféremment en RD ou en RG sur la partie comprise entre le PEM n°160 et n°120. Au delà de ce profil EM et jusqu'au PEM n°65, le lit restera naturel puisque le substratum conducteur, donc marneux, interdit toute infiltration en profondeur. A l'aval du PEM n° 65, la situation est plus complexe et le lit mineur creusé dans les calcaires fracturés et karstifiés nécessitera très probablement des aménagements (injection de ciment, voile étanche protégé...). Par ailleurs, le tracé devra tenir compte entre les PEM n°31 et n°38 et surtout à l'aval du PEM n°24 des zones d'infiltration préférentielle identifiées.

La mise en oeuvre d'une solution de ce type nécessitera une modélisation très fine des écoulements actuels et futurs à l'étiage et en moyennes eaux. Nous manquons actuellement d'éléments topographiques de détail pour aller plus avant dans l'analyse de cette solution qui nous parait, dans l'état actuel des connaissances, la plus prometteuse.



P.O. Erik SIWERTZ
Ingénieur Géologue

le 6 mars 1991

Pg - A

Conseil Général
de l'Ardèche

Etude géophysique des
pertes du CHASSEZAC

Echelle 1/2 000

CARTE DES RESULTATS DES MESURES
D'ELECTROMAGNETISME
ET D'ELECTROFILTRATION

C.P.G.F. 3751 -03c

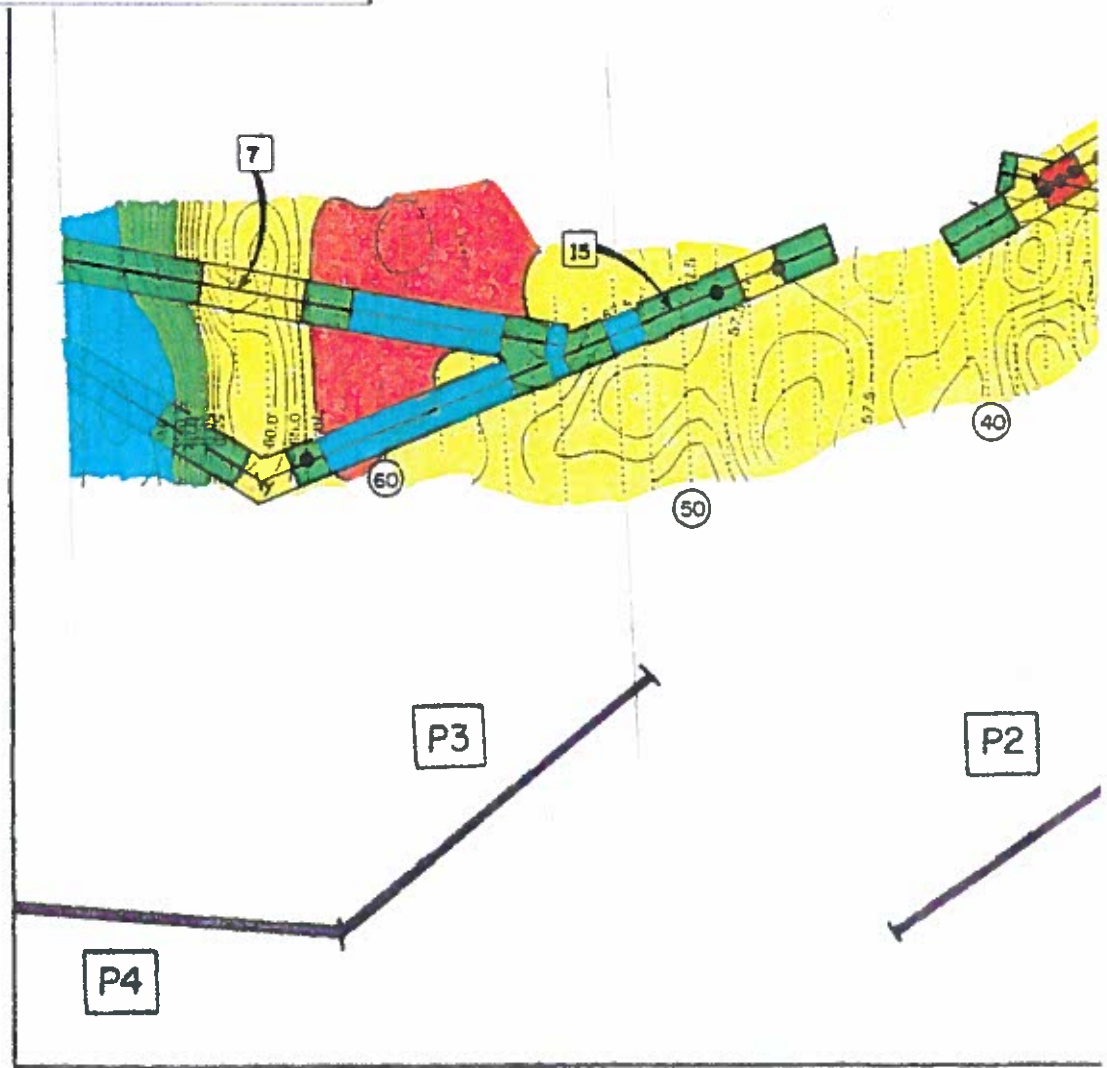
-  PANNEAUX ELECTRIQUES
-  PROFILS D'ELECTROFILTRATION
-  PROFILS ELECTROMAGNETIQUES

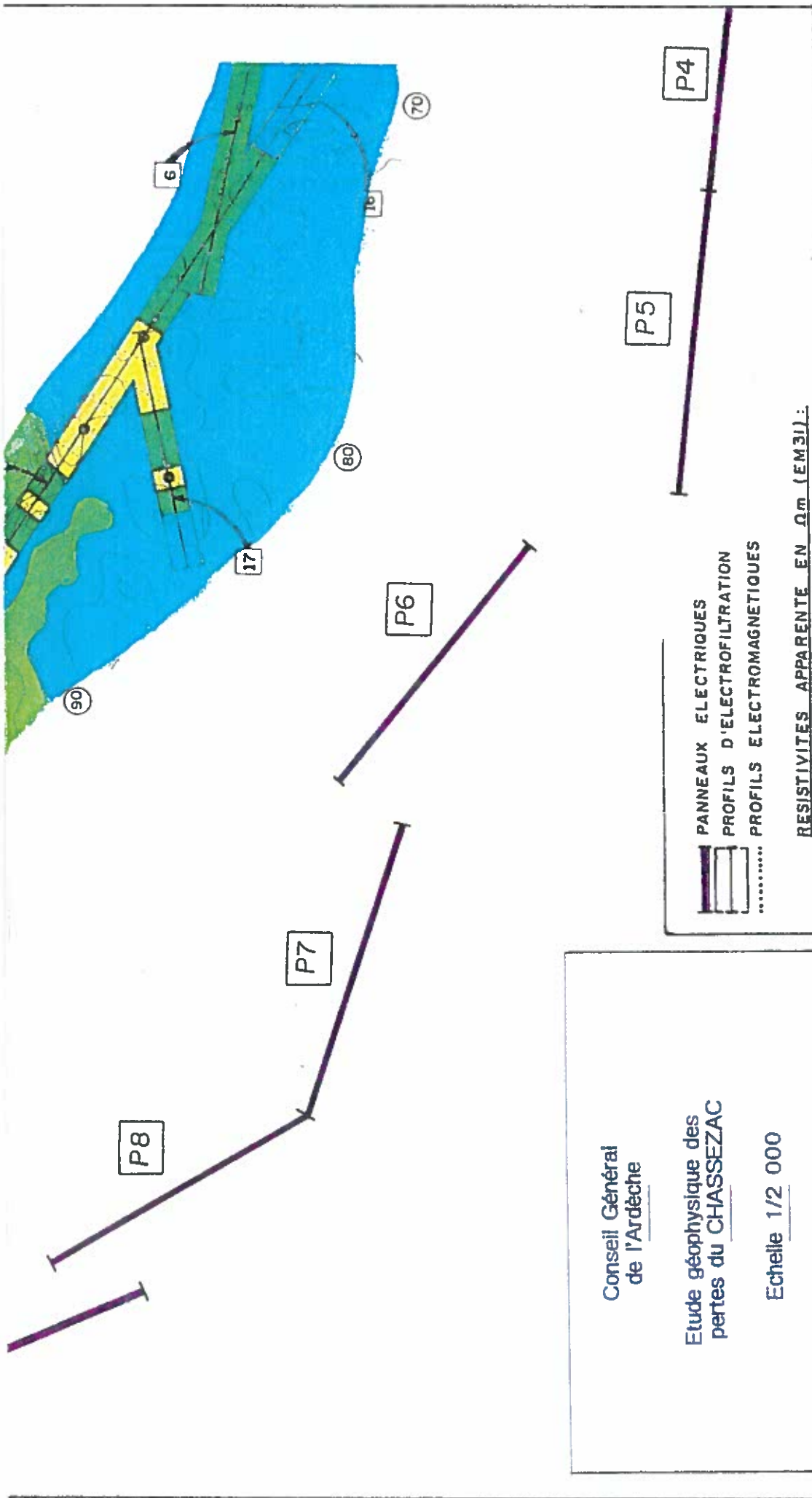
RESISTIVITE APPARENTE EN Ωm (EM31)

-  > 70
-  de 50 à 70
-  de 35 à 50
-  < 35

VARIATION DE PS PAR RAPPORT A LA VAI

-  de 25 à 50 mV
-  de 0 à 25 mV
-  de -25 à 0 mV
-  de -50 à -25 mV
-  ANOMALIE NEGATIVE PUNCTUELLE
-  < -50 mV





Conseil Général
de l'Ardèche

Etude géophysique des
pertes du CHASSEZAC

Echelle 1/2 000

CARTE DES RESULTATS DES MESURES
D'ELECTROMAGNETISME
ET D'ELECTROFILTRATION

C.P.G.F. 3751 -03b

■ PANNEAUX ELECTRIQUES
▨ PROFILS D'ELECTROFILTRATION
..... PROFILS ELECTROMAGNETIQUES

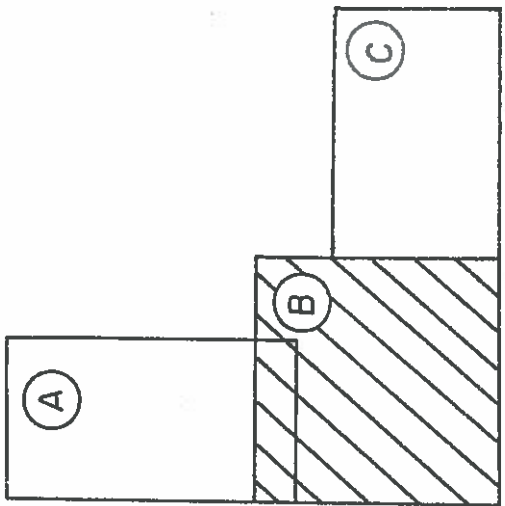
RESISTIVITES APPARENTE EN Ωm (EM31):

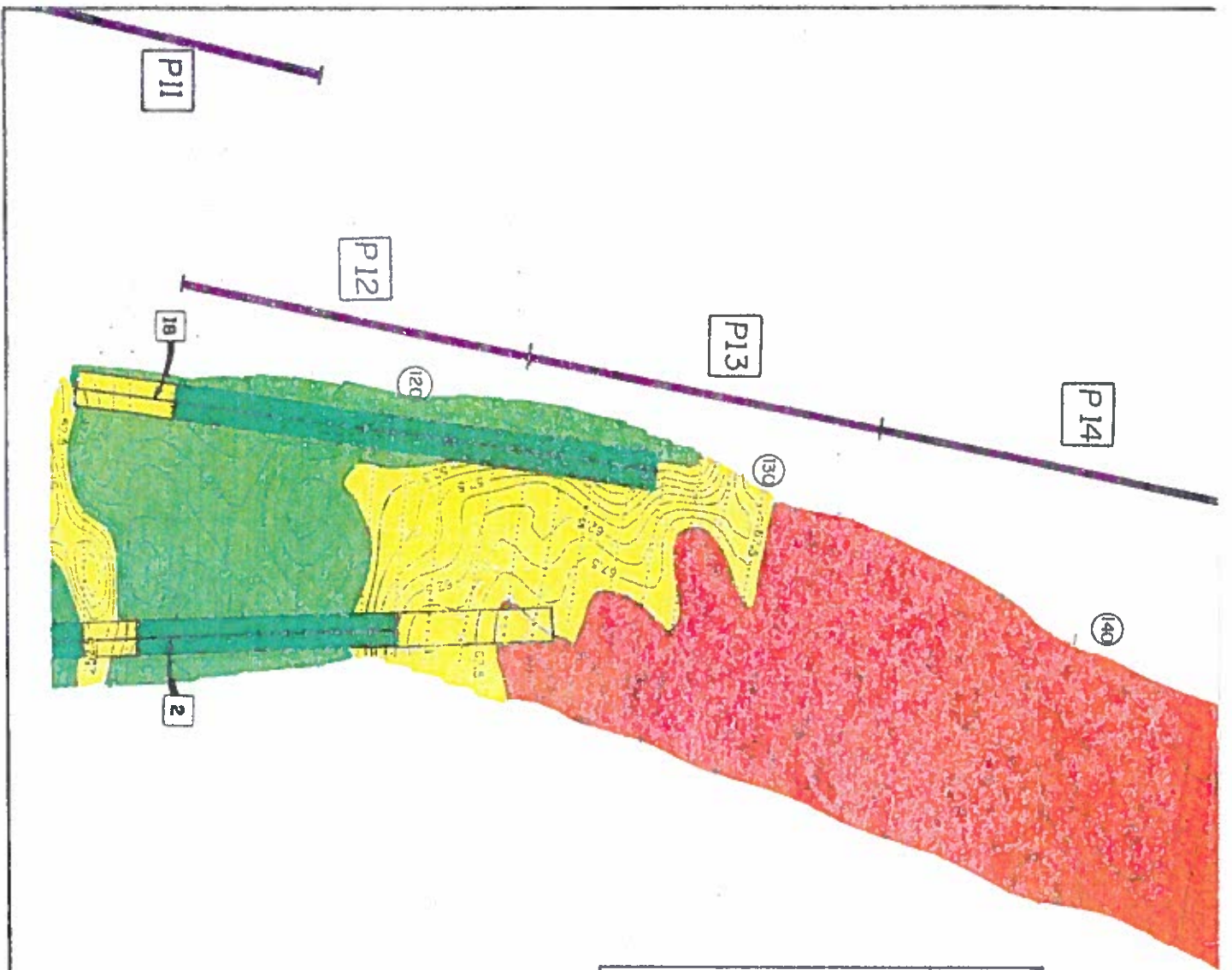


VARIATION DE PS PAR RAPPORT A LA VALEUR LOCALE:



P 98















PANNEAUX ELECTRIQUES
PROFILS D'ELECTROFILTRATION
PROFILS ELECTROMAGNETIQUES

RESISTIVITE APPARENTE EN Ωm (EM31):

VARIATION DE PS PAR RAPPORT A LA VALEUR LOCALE :

	> 70		de 50 à 70
	de 35 à 50		< 35
	de 25 à 50 mV		de 0 à 25 mV
	de -25 à 0 mV		de -50 à -25 mV
	ANOMALIE NEGATIVE PONCTUELLE		< -50 mV

Conseil Général
de l'Ardèche

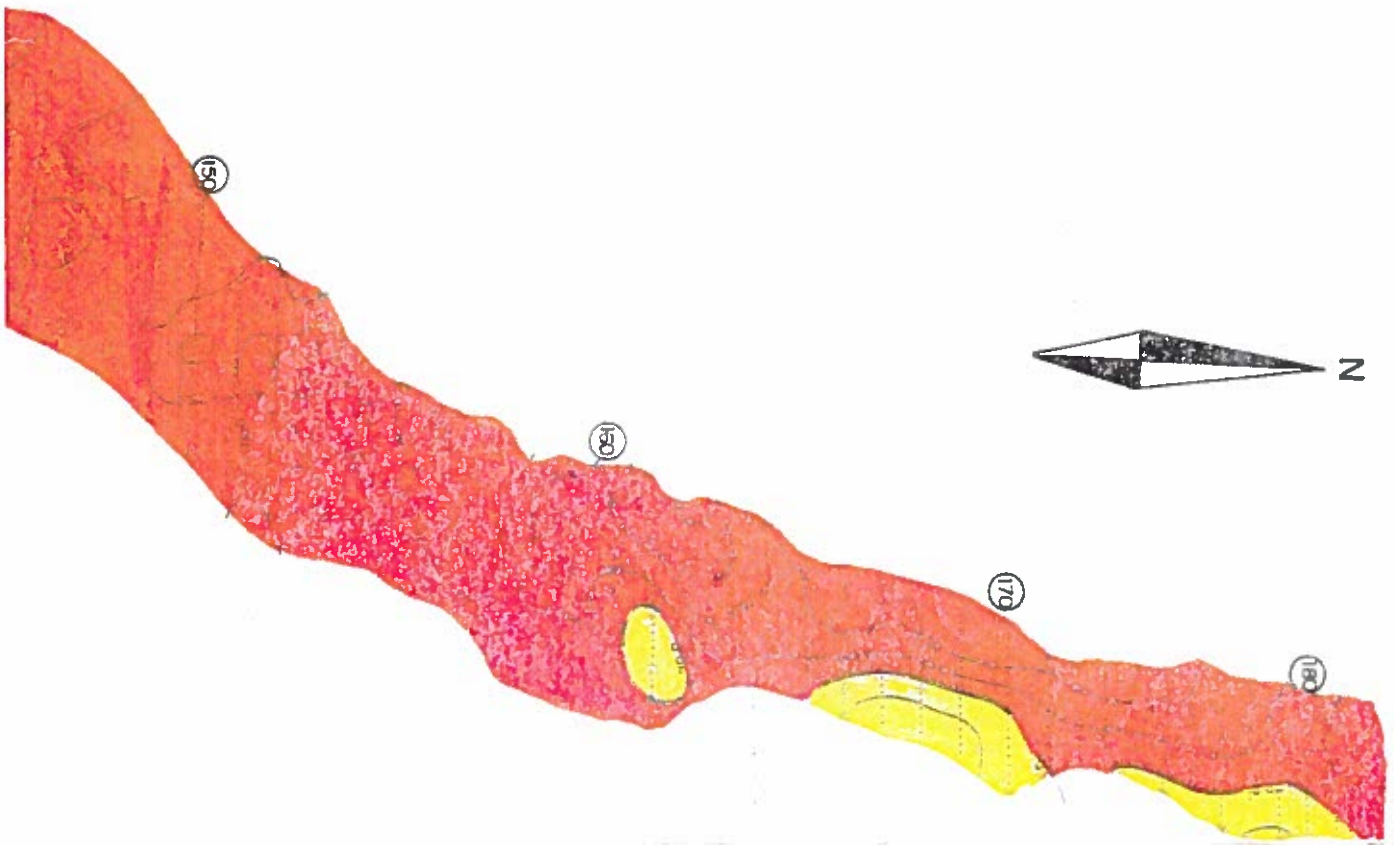
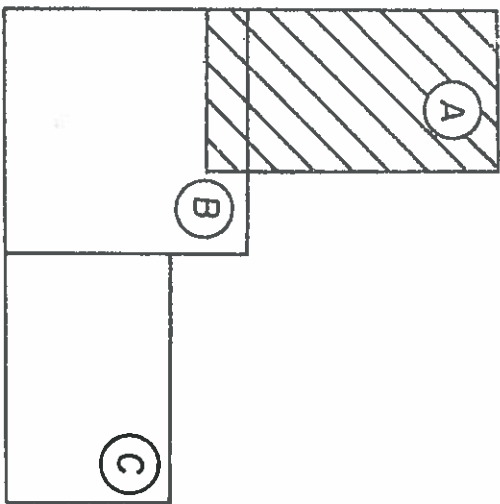
Etude géophysique des
pertes du CHASSEZAC

Echelle 1/2 000

CARTE DES RESULTATS DES MESURES
D'ELECTROMAGNETISME
ET D'ELECTROFILTRATION

C.P.G.F. 3751-03a

P a - c



ANNEXE 1

PRINCIPE DE LA METHODE EM31

CPGF HORIZON

12 Rue de Paris
78230 LE PECQ France

Téléphone: 33 (1) 30 87 08 08

Télécopie: 33 (1) 30 87 08 90

Telex: 695008 CPGFHOR F

NOTE TECHNIQUE

LA METHODE ELECTROMAGNETIQUE ARTIFICIELLE

PRINCIPE DE LA METHODE

Fondements théoriques

Les variations d'un champ magnétique provoqué (champ magnétique primaire H_p) par un courant alternatif dans la bobine d'un émetteur à une fréquence donnée induisent des faibles courants dans le sol. Ces courants créent un champ magnétique secondaire H_s , mesuré à l'aide d'un récepteur situé à une certaine distance de l'émetteur.

On montre que la conductivité apparente (mho/m)

$$C_a = \frac{4}{2 \pi f m_o S^2} \left(\frac{H_s}{H_p} \right)$$

où m_o est la perméabilité électromagnétique du milieu,

S la distance entre l'émetteur et le récepteur.

Appareillage

Dans l'appareil EM, par construction, les paramètres définis dans la formule de la page 1 sont constants, ou présentent des variations négligeables. Dès lors, cet appareil permet de réaliser la lecture directe de la conductivité d'une tranche de terrain donnée, exprimée en millimhos par mètre, et donc d'en déduire immédiatement la résistivité en ohm.mètre.

Par construction, la précision de lecture est de :

$$\pm 0,2 \text{ mmhos/mètre,}$$

suivant la résistivité du terrain superficiel, la profondeur d'investigation de cet appareil est comprise entre 2 et 4 mètres.

Toute variation de résistivité du sol est liée à sa nature géologique ou à son état mécanique (altération - fracturation). Ainsi, des argiles ou remblais argileux seront caractérisés par des valeurs de résistivité faible, de l'ordre de quelques dizaines d'ohm.mètre, et les grès calcaires ou les marno-calcaires par des résistivités de plusieurs centaines d'ohm.mètre, voire même plusieurs milliers d'ohm.mètre lorsqu'ils sont massifs.

Suivant le cas, on réalise, suivant un maillage ou un profil, une mesure de résistivité tous les 2,50 m, 5 m, 10 m ou 20 mètres, de façon à établir une carte des résistivités apparentes du terrain superficiel.

Ainsi, toute anomalie conductrice sera repérée et pourra traduire une surépaisseur de terrains argileux (ou sableux).

Ces profils de résistivité sont essentiellement destinés à orienter l'implantation des sondages mécaniques.

APPAREILLAGE EN POSITION DE MESURE



La dimension réduite de l'appareillage et l'absence d'électrodes au sol permettent, par comparaison avec les méthodes électriques traditionnelles :

- Une focalisation nettement plus importante des mesures de résistivités apparentes mesurées ;
- Une mise en oeuvre extrêmement rapide, et donc un coût réduit.

La C.P.G.F. est équipée d'un fichier sur cassette, permettant un dépouillement des mesures et leur traduction sous forme de graphique entièrement automatique, ce qui réduit d'autant le coût d'une prospection systématique.

-o0o-

EXEMPLES D'APPLICATION

Quatre exemples sont exposés succinctement ici, concernant :

- * Une étude de sol (localisation d'un rocher subaffleurant sous un faible recouvrement.

- * Une recherche de zones karstifiées.

- * Le contrôle de l'efficacité et la localisation de zones artificiellement drainées.

- * L'auscultation d'une digue.

1 - ETUDE DE SOLS

Une prospection de ce type a été mise en oeuvre à PERIGUEUX (Boulevard du Petit Change), pour une reconnaissance générale d'une zone destinée à l'édification d'ateliers municipaux.

On supposait la présence proche de la surface du substratum calcaire en certains points de cette zone.

La figure 1 ci-après illustre les résultats de la prospection électromagnétique, réalisée en première phase suivant trois profils, à raison d'un point tous les cinq mètres.

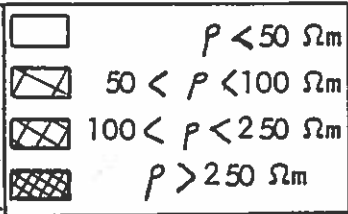
Au sud de l'étude, apparaissent clairement des valeurs de résistivité apparente élevées (150 - 300 ohm.mètre), très nettement contrastées par comparaison avec les valeurs rencontrées au nord (50 ohm.mètre).

Des sondages à la pelle mécanique réalisés en 2ème phase ont montré, aux sondages S 2, S 3, et S 6, un calcaire à moins de 0,60 m de profondeur. Les sondages S 1 et S 5 présentaient un recouvrement argileux de plus de 2 à 3 mètres d'épaisseur avant le substratum.

La prospection géophysique a donc permis de situer très précisément, en plan, les zones où le substratum se situait très près de la surface, et à éviter, en outre, des interpolations douteuses entre sondages mécaniques.

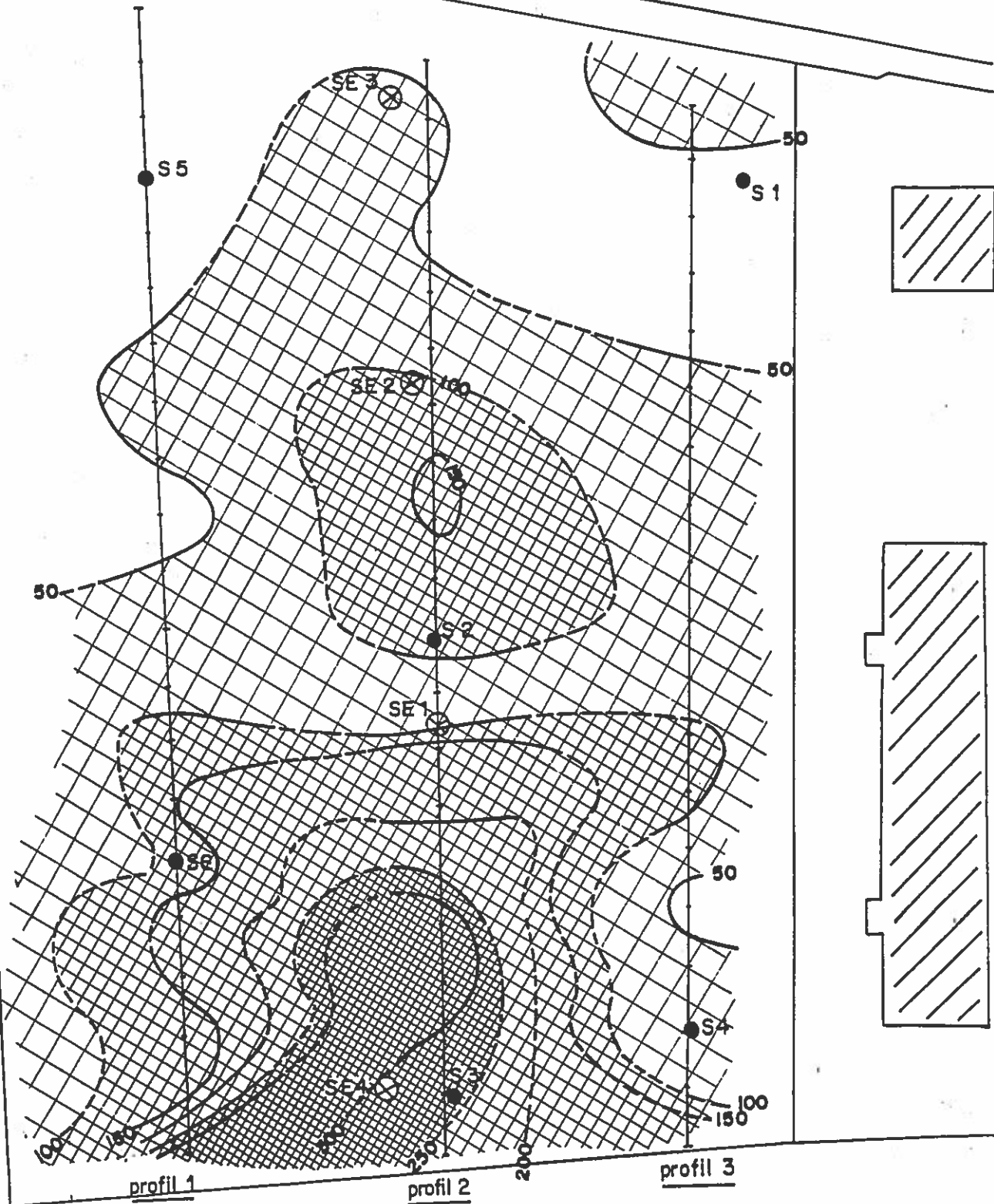
La mise en oeuvre de cette méthode, simple et rapide, a permis de couvrir une grande surface d'investigation à moindres frais, et de souligner les hétérogénéités locales du sol, pouvant, le cas échéant, présenter de graves inconvénients pour un projet (zones argileuses ou compressibles, rocher subaffleurant).

LOCALISATION D'UNE ZONE ROCHEUSE
SOUS FAIBLE RECOUVREMENT PAR E.M.



Cimetière SAINT-GEORGES

Boulevard du Petit Change



Voie ferrée de Périgueux à Brive et Agen

FIGURE 1

Autres applications dans ce domaine :

- * Auscultation de digues (hétérogénéités).
- * Reconnaissance d'un profil linéaire, préalablement à l'exécution d'une tranchée (canalisations - égouts).
- * Assainissement individuel
(localisation de zones perméables, en association avec des essais in situ).

2 - RECHERCHE DE ZONES KARSTIFIEES

Le second exemple d'application possible est la recherche de cavités ou de zones karstifiées argilisées sous moins de 3 à 4 mètres de recouvrement.

La figure 2 représente deux profils réalisés dans les calcaires du Jura, pour le fond d'un grand déblai excavé pour la construction d'une autoroute.

Le profil 1 d' EM montre bien le contact entre les marnes et les calcaires, (conducteur - résistant).

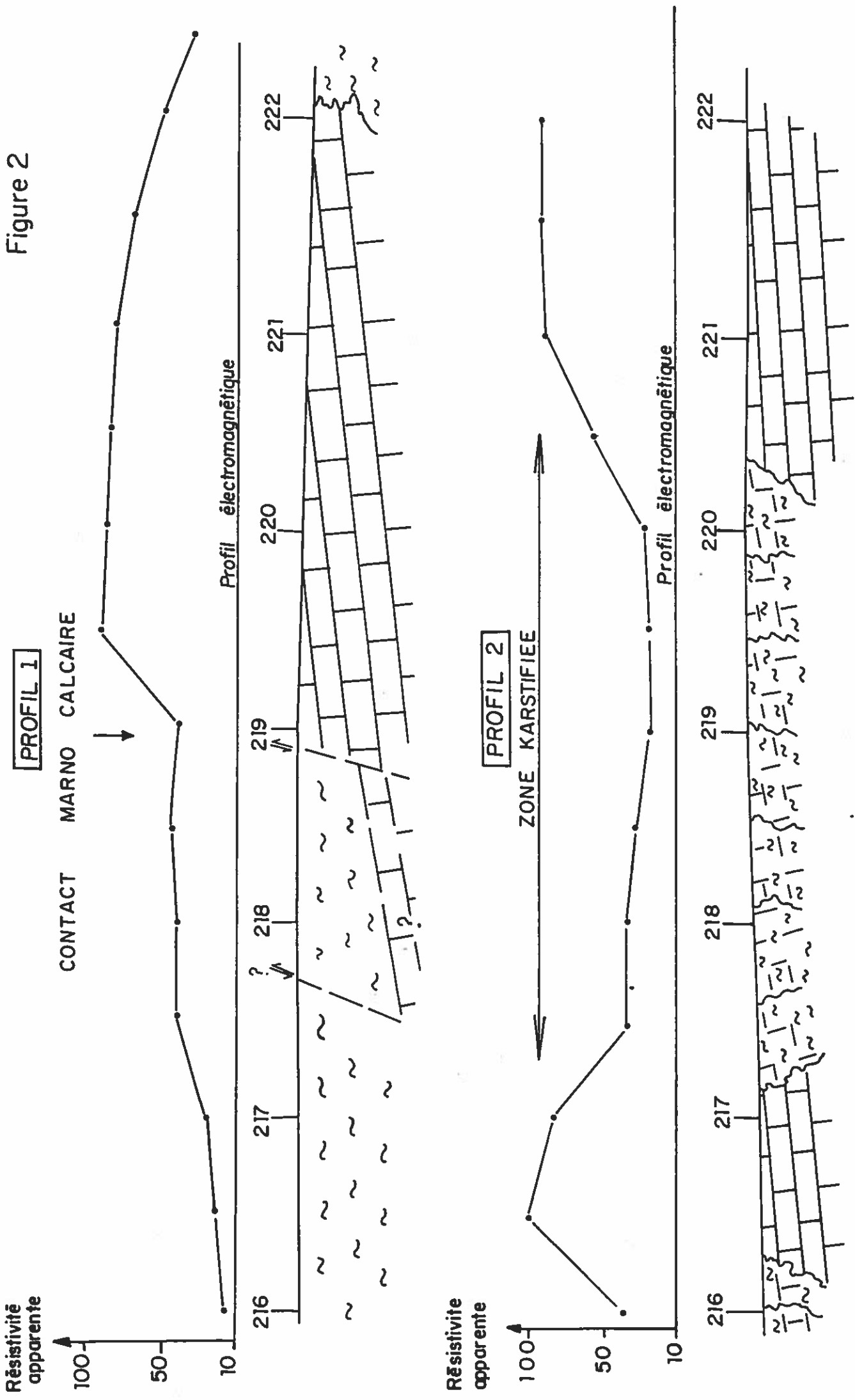
Le profil 2 marque très nettement une zone conductrice correspondant à l'existence d'une zone très fracturée et karstifiée reconnue par ailleurs par sondages mécaniques.

Il convient cependant de garder à l'esprit qu'il n'est pas possible de localiser ce genre d'anomalie au-delà de 3 - 4 mètres de profondeur. Une prospection gravimétrique s'avère alors indispensable.

La méthode EM, malgré ces restrictions, présente une grande focalisation vis-à-vis des méthodes électriques traditionnelles.

RECHERCHE DE KARST PAR EM ET INTERPRETATION GEOLOGIQUE

Figure 2



3 - DRAINAGE

L'utilisation de l'EM est possible pour caractériser l'aptitude du sol à être drainé, particulièrement si on adjoint à la prospection des essais in situ (pelle, pressio-perméamètre Ménard- C.P.G.F. ...).

Dans le troisième exemple présenté, il s'agissait, à partir d'un talus initialement saturé (en l'occurrence la rive d'un lac), de repérer les zones à drainage rapide de la rive, en faisant baisser rapidement le niveau du lac, et en faisant des profils répétitifs échelonnés dans le temps.

La comparaison entre les résistivités de l'état initial (résistivité figurant suivant une ligne épaisse sur la figure 3) et les résistivités après trois jours, une semaine et un mois de drainage, montre, à l'évidence, une zone à drainage très rapide, (en fait des graves grossières) sur les 3 premiers mètres (l'accroissement de la résistivité est de 130 %). Par contre, à l'autre extrémité du profil, l'accroissement est de 10 à 15 %, montrant des zones très peu drainées (en fait des argiles).

Autre application possible :

* Aptitude du sol au drainage : prospection systématique, en profils ou en maillage.

Dans ce cas précis, la méthode EM est surtout destinée à mettre en évidence, en plan, les grandes entités de sol en présence (argileuses, sableuses, humides ou drainées).

UTILISATION DE LA METHODE E.M.

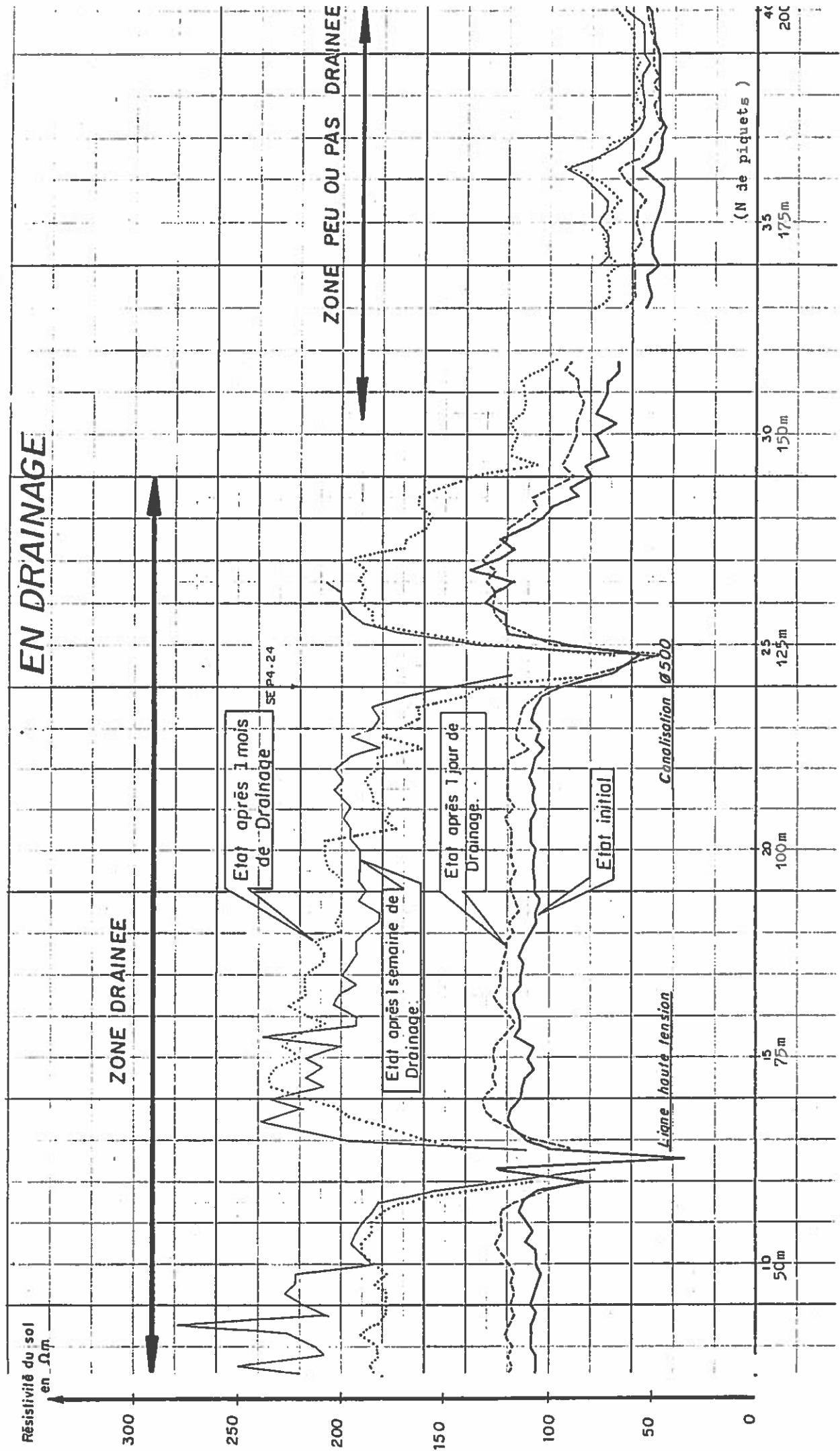


FIGURE 3

Il convient ensuite de traduire ces grandes entités en termes de perméabilité, par des essais appropriés (essais Munz, perméamètre type Ménard, essais in situ à la pelle mécanique). Une corrélation statistique est alors établie permettant, en tout point du maillage, d'avoir un ordre de grandeur des perméabilités en présence, sur une tranche de terrain de 1,5 à 4 mètres, suivant le cas.

4 - AUSCULTATION D'UNE DIGUE

Problème posé

Une digue sur l'Isère présentait des désordres (renards, éboulements partiels ...). Il s'agissait donc, sur 2 500 mètres, de reconnaître cette digue, et de déceler, le cas échéant, des hétérogénéités de structure.

Mise en oeuvre

On a mis en oeuvre la méthode EM suivant un profil continu, le long du chemin de halage, à raison d'une mesure tous les deux mètres sur 2 500 mètres environ.

Résultats

La figure 4 représente un profil de résistivité partiel, dans sa partie la plus caractéristique.

La valeur moyenne de la résistivité apparente mesurée (sur la tranche 0 - 4/5 mètres environ) se situe, tout au long de la digue entre 180 et 220 ohms.m. Entre les PM 55 et 205, et 240 - 340, les résistivités mesurées chutent brutalement (moyenne 70 ohms.m), ce qui implique un matériau de remplissage à dominante argileuse, par comparaison avec le restant de la digue, à dominante sablo-graveleuse.

Après enquête, il s'est avéré que la digue avait été emportée dans le passé, précisément entre les points 55 - 205 et 240 - 340, et remblayée avec des matériaux composites, très différents des éléments constitutifs de l'ancienne digue.

AUSCULTATION D'UNE DIGUE PAR EM (mise en évidence d'une ancienne zone d'arrachage)

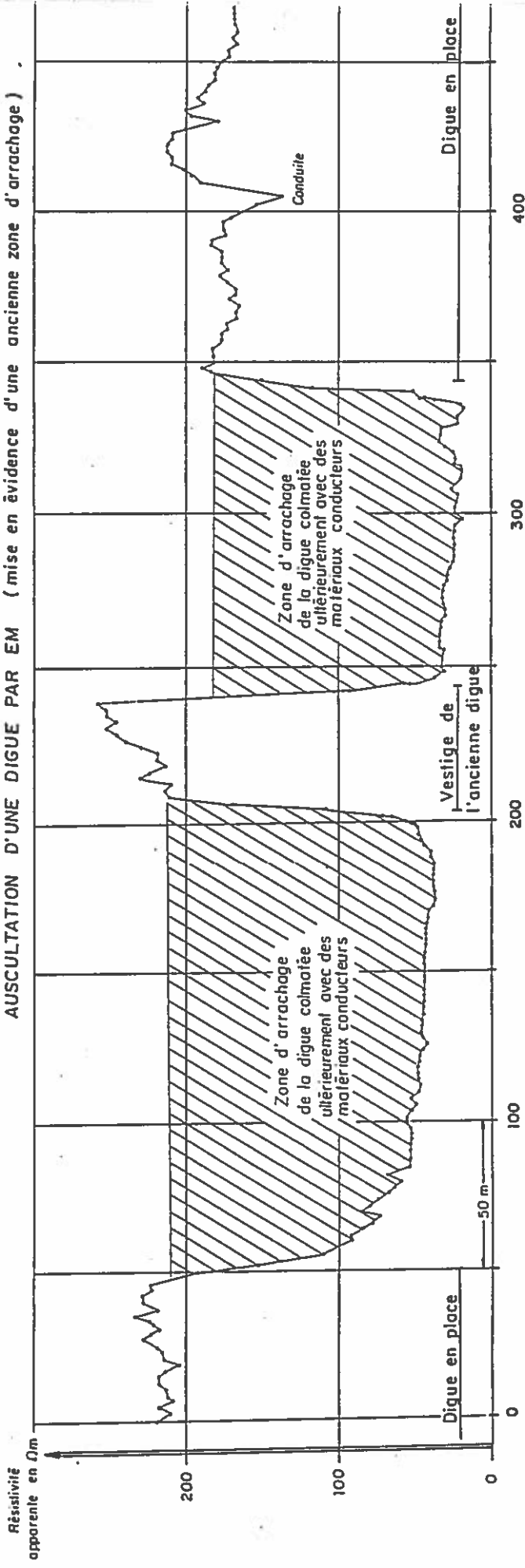


Figure 1

Cette auscultation, rapide, a permis de souligner au projeteur les zones potentielles de faiblesse de la digue, dans les zones de contact entre l'ancienne digue et les éléments rapportés ultérieurement. A noter, au centre de l'anomalie conductrice, une partie correspondant aux vestiges de l'ancienne digue, qui avait résisté à l'effondrement de cette zone (PM 205 - 240).

ANNEXE 2

PRINCIPE DE LA METHODE ELECTROMAGNETIQUE

PRINCIPE DES MESURES ELECTROMAGNETIQUES

Le dispositif de mesure consiste en un émetteur (Ex) et un récepteur (Rx) séparés par une distance (S). La bobine émettrice est alimentée par un courant alternatif à une fréquence audio (f), et le champ magnétique (Hp), fonction du temps, généré dans la bobine émettrice, induit de faibles courants (courants de Foucault) dans le sol. Ces courants sont à l'origine d'un champ secondaire (Hs), mesuré, en même temps que le champ primaire, par la bobine receptrice.

D'une façon générale, le champ magnétique secondaire (Hs) est une fonction complexe de S, f et de la conductivité (σ) du sol, cependant, avec certaines contraintes, les termes complexes de cette fonction peuvent être négligés. Ces contraintes ont été prises en compte dans la conception des dispositifs de mesures mis en oeuvre par la CPGF (EM31 et EM34), et la relation suivante peut être utilisée :

$$H_s/H_p = i\omega\mu^0\sigma S^2/4$$

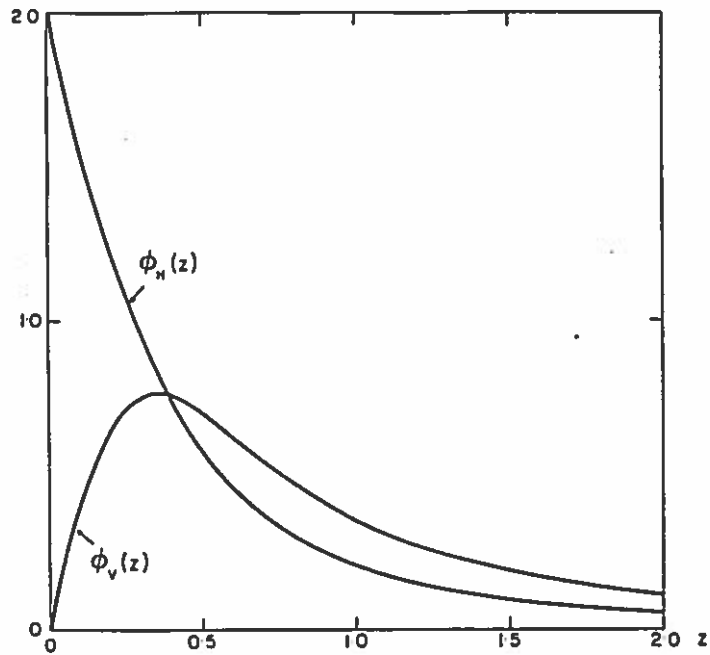
où $\omega = 2\pi f$ avec f la fréquence en Hz
 $\mu^0 =$ perméabilité électrique de l'air
 $\sigma =$ la conductivité du sol en mho/m
S = l'espacement entre les deux bobines
 $i = \sqrt{-1}$

Avec l'EM34, la profondeur de pénétration est donc fonction de l'écartement S entre l'émetteur et le récepteur, mais aussi de la configuration dans l'espace des bobines. Le tableau ci-dessous donne cette profondeur pour 3 écartements standards :

Ecartement	Profondeur	
	Dipôle Hor.	Dipôle Ver.
10	7.5	15
20	15	30
40	30	60

Principe des mesures et de l'interprétation

Si on considère un demi-espace homogène à la surface duquel on réalise la mesure, et une couche d'épaisseur dz située à une profondeur z (avec $z=z/S$), il est possible de calculer la fonction $\Phi_v(z)$, (dipôle vertical) et la fonction $\Phi_h(z)$, (dipôle horizontal) qui décrivent la contribution relative au champ magnétique secondaire Hs d'une couche mince située à une profondeur z quelconque. La figure ci-jointe illustre ces deux fonctions :



On remarque qu'avec la configuration dipôle vertical, la contribution de la couche très superficielle est négligeable et le maximum de sensibilité est atteint lorsque $z = 0.4S$. Dans le cas de la configuration horizontale, la contribution de la surface est très importante et la réponse décroît régulièrement avec la profondeur.

En définitive, le champ magnétique secondaire total au niveau de la bobine réceptrice permet de définir la conductivité apparente d'une "tranche de sol" à la verticale de l'appareil; l'intégration des fonctions ϕ_v et ϕ_h donnant le champ secondaire induit par un demi-espace homogène, lui-même directement lié à sa conductivité électrique.

ANNEXE 3

**PRINCIPE DE LA METHODE
DES PANNEAUX ELECTRIQUES**

2. Le panneau électrique

C'est une application particulière de la méthode Schlumberger couramment utilisée en sondages électriques (mise en oeuvre sur cette étude, au demeurant).

Principe

Le panneau électrique est une représentation, suivant un plan vertical, de la répartition des résistivités apparentes mesurées, en fonction de différentes valeurs de $AB/2$ (AB = ligne d'émission). La profondeur des différents horizons ne saurait être déterminée par cette méthode, qui permet surtout de détecter des anomalies de résistivité correspondant à des discontinuités (contacts, failles, karsts affleurants ou sous-jacents).

Réalisation pratique ; représentation graphique

On dispose d'une série de 12 électrodes de potentiel, régulièrement réparties en ligne, tous les 10 mètres. On mesure une résistivité apparente affectant une tranche de terrain de plus en plus profonde, en faisant varier la distance potentiel - (O, centre de MN) et émission (A). La représentation graphique conventionnelle adoptée ici, consiste à porter la résistivité apparente calculée pour une distance OA donnée suivant la médiatrice de OA et à une distance de $OA/2$. Cette façon de procéder est justifiée, dans la mesure où un certain volume de terrain, compris entre O et A, influence la résistivité apparente calculée.

L'unité habituellement utilisée pour ces mesures est la résistivité exprimée en ohms.mètres, telle que :

$$R = \frac{1000}{C \text{ (mmhos.m)}}$$