

## ***Implantation de forages d'eau au Cambodge : apport de l'utilisation combinée des méthodes électriques (1D et 2D), TDEM et RMP***

**Jean-Michel Vouillamoz<sup>1</sup>, Jean Bernard<sup>2</sup>, Marc/Descloitres<sup>3</sup>,  
Pierre Fourcassier<sup>4</sup>, Laurent Romagny<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Action contre la Faim, 4 rue de Niepce, 75014 Paris, France.

<sup>2</sup>Iris Instruments, 1 avenue Buffon, 45060 Orléans, France.

<sup>3</sup>IRD (Ex-Orstom), 32 avenue Henri Varagnat, 93143 Bondy cedex, France

<sup>4</sup>Action against Hunger, Siem Reap, Cambodge.

### **ABSTRACT**

*A geophysical survey has been conducted in Siem Reap province of Cambodia. The aim was to test DC, TDEM and PMR methods to improve the borehole success rate. The preliminary results lead to propose an implementation methodology which can be describe as follow :*

- 1. To use direct current methods (1D and 2D) in any case, as standard methods.*
- 2. To use jointly PMR, DC and TDEM methods, when the borehole success rate is less than 30 %.*
- 3. To use jointly direct current and TDEM methods, when the success rate ranges 30 to 50 %.*
- 4. To use electrical well logging (normal probes) to implement the borehole screens.*

### **PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE**

Action contre la Faim est une Organisation Non Gouvernementale fondée en 1978, dont les objectifs sont de soutenir les populations vulnérables dans les situations de crise, puis de permettre à ces populations de retrouver leur autonomie. Action contre la Faim a débuté ses programmes dans la province de Siem Reap en 1992, afin de soutenir la réinstallation des populations cambodgiennes qui s'étaient réfugiées en Thaïlande pour fuir les exactions commises dans leur pays.

Cette province (15 270 km<sup>2</sup> pour 655 000 habitants) se situe au nord-ouest du Cambodge. La topographie est monotone (altitude moyenne de 0 à 30 mètres) et le climat est de type tropical à régime de mousson (pluviométrie annuelle moyenne de 1.500 mm). Le contexte géologique est représenté par des sédiments quaternaires non

consolidés (argile, silt, sable et graviers) hétérogènes à l'échelle de la province, mais également à l'échelle du village, d'une puissance de 20 à 100 mètres. Ces sédiments reposent sur des grès fini crétacé-paléocène. Les aquifères recherchés sont les zones perméables des sédiments quaternaires, de 20 à 70 mètres de profondeur.

Depuis 1992, 900 forages d'eau ont été forés, dont 180 négatifs (débit inférieur à 800 l/h). Dans certaines zones, le taux de réussite des forages n'excède pas 30 %. Pour atteindre son objectif d'approvisionnement en eau potable des populations vulnérables, Action contre la Faim a essayé d'améliorer les procédures d'implantation des forages par l'utilisation d'outils géophysiques : une mission de trois semaines a été organisée en 1998 afin de tester les méthodes présentées dans le tableau 1 (le lecteur désirant obtenir des informations sur ces méthodes peut consulter les références proposées en fin d'article). Les résultats des différentes méthodes, obtenus sur 13 sites, ont été comparés puis validés par la réalisation de forages, de diagraphies électriques et d'essai de pompage.

Méthodes	Configuration	Equipement	Interprétation
Sondage électrique 1D	Schlumberger et pôle-pôle	Ωméga (Aquifer)	Abaques et « QWSEL » (Tabbagh, 1998)
Panneau électrique 2D	Pôle-pôle	SYSCAL R2 (IRIS Instr.)	« RES2DINV » (Loke, 1995)
TDEM	Centrale, émission 100x100 m, 2A	PROTEM 47 (Geonics Ltd.)	TEMIX (Interpex)
RMP	boucle de 75x75 m	NUMIS (IRIS Instrument)	Numis Inversion (IRIS Instrument)
Diagraphie élec.	Normale 16 et 32", résistivité fluide	construction AcF	manuelle
Forage	Rotary 6", PVC 4"	PAT-AcF 201	
Essai de pompage	1 à 4 paliers		manuelle (Jacob).

Tabl. 1 - Matériels et méthodes utilisés sur les sites de forage.

## RÉSULTATS

- Exemple d'un forage productif : site de l'école ACPI. L'ensemble des résultats est présenté figure 1. Le débit d'exploitation est estimé à 6 000 l/h.

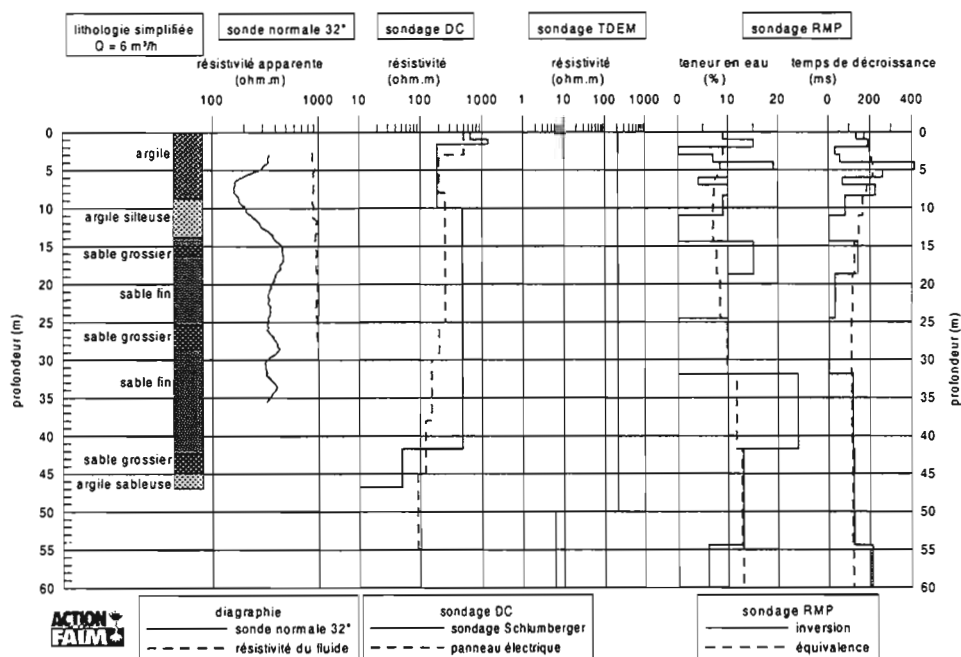


Fig. 1 - Résultats des différentes méthodes - école ACPI.

- diagraphie : le log normal 32" propose des résultats qui correspondent bien à la lithologie révélée par le forage, et les changements de faciès des sables résistants sont bien mis en évidence ;
- sondage électrique Schlumberger : les résultats sont en bonne correspondance avec la lithologie et le log diagraphie. Cependant, les équivalences ne permettent pas de définir avec une grande sûreté l'interface résistant/conducteur ( $\pm 15$  m) ;
- panneau électrique : les contrastes de résistivités avec la profondeur sont plus nuancés que ceux du sondage 1D. Des hétérogénéités longitudinales dans le résistant sont mises en évidence (fig. 2) et peuvent être interprétées comme des zones de sables plus grossiers ;
- TDEM : l'inversion (fig. 3) est cohérente avec la lithologie. On remarque que i) l'interface entre le résistant et le conducteur est bien définie (moins d'équivalence qu'en sondage électrique); ii) pour la configuration utilisée, la profondeur d'investigation est d'environ 200 mètres et permet de définir un second résistant en profondeur ; iii) les premiers 10 mètres sont mal définis par le TDEM ;
- RMP : l'inversion met en évidence trois aquifères. Un premier de surface; un second de 14 à 24 mètres (teneurs en eau de 10 à 15% et temps de décroissance de 30 à 140 ms) et un troisième aquifère de 32 à 54 mètres (15 à 25 % d'eau, 110 ms). On peut remarquer que : i) le résultat de l'inversion des premiers mètres n'est pas en parfaite correspondance avec la lithologie, ii) l'aquifère central est bien défini, avec des teneurs en eau et des temps de décroissance plus importants pour les sables grossiers que les sables fins, iii) le domaine des équivalences est assez large et permet d'expliquer l'absence d'eau dans l'interprétation entre 24 et 32 mètres.

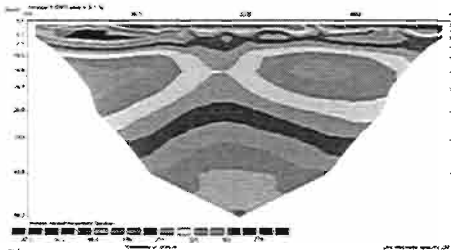


Fig. 2 - Panneau électrique – ACPI.

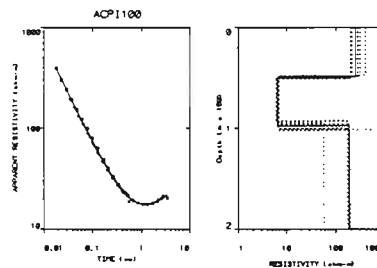


Fig. 3 - Sondage TDEM – ACPI.

- Exemple d'un site hétérogène: le village de Mukpen. Un forage non productif (300 l/h) avait été réalisé dans le Nord du village. Il s'agissait d'implanter un nouveau forage, et de mesurer l'apport de la géophysique dans ce type de situation. Les résultats sont présentés figure 4. Le débit d'exploitation du nouveau forage réalisé à l'Ouest du village est estimé à 3 000 l/h.

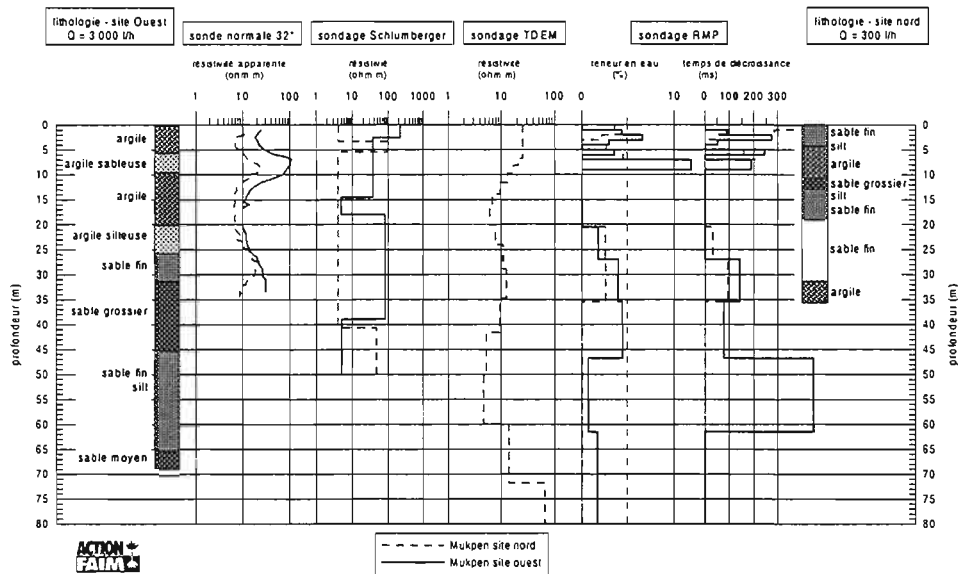


Fig. 4 - Résultats des différentes méthodes – village de Mukpen.

- site nord : les valeurs de résistivité montrent un milieu très conducteur ( $10 \Omega.m$ ) sur l'ensemble de la profondeur du forage. Le sondage RMP met en évidence un aquifère de surface puis un aquifère à faible teneur en eau (2,5 % et 32 à 90 ms) situé entre 20 et 36 mètres, qui correspond bien à la lithologie du forage (sable fin) ;
- site ouest : le sondage RMP montre deux aquifères, le premier superficiel, et le second de 20 à 46 mètres de profondeur dont les teneurs en eau (2 à 4,5 %) et les temps de décroissance (80 à 140 ms) sont tous à fait cohérents avec la lithologie. Le sondage Schlumberger et la diagraphie mettent en évidence des résistivités plus élevées que celles du site nord, mais qui restent cependant basses pour des sables aquifères ( $30 \Omega.m$ ). La résistivité du fluide de  $20 \Omega.m$  correspond à une eau assez minéralisée et explique cette faible valeur de résistivité pour des sables en eau.

## PREMIÈRES CONCLUSIONS

1. Les sondages électriques 1D apportent une information parfois difficile à interpréter à cause des problèmes d'équivalence, de suppression, de non homogénéité du milieu et de minéralisation de l'eau. C'est une méthode relativement lente à mettre en œuvre, mais économique ;
2. les panneaux électriques 2D apportent une information sur les contrastes latéraux de résistivité, utile pour l'implantation des forages. Les résultats des inversions apparaissent lissés. La mise en œuvre et l'interprétation des panneaux ne prend pas plus de temps que celle de sondages simples, mais l'équipement est plus onéreux ;
3. les sondages TDEM définissent bien les contrastes entre résistants de surface et conducteurs plus profonds. La configuration utilisée permet d'obtenir des valeurs de résistivités jusqu'à des profondeurs de 200 ou 300 mètres, ce qui permet d'envisager la recherche d'un aquifère plus profond. Cette technique ne permet pas d'obtenir d'information détaillée sur les 10 premiers mètres. Elle est rapide à mettre en œuvre, mais l'interprétation sur site est longue et peu conviviale, et l'équipement est d'un coût supérieur à celui des équipements électriques utilisés ;
4. les sondages RMP ont mis en évidence des teneurs en eau cohérentes avec les lithologies et les débits, mais les temps de décroissance sont plus difficiles à

interpréter. La mise en place de sondage RMP est rapide et l'interprétation se fait sur site. Le coût d'acquisition de l'équipement est le plus élevé des méthodes utilisées.

Les premiers résultats, étayés d'une étude de coût destinée à définir les domaines économiques d'emploi des différentes méthodes, permettent de proposer une méthodologie de prospection géophysique des aquifères de la région de Siem Reap :

1. utilisation combinée des méthodes RMP, DC et TDEM sur les sites dont les taux de succès sont inférieurs à 30 %. Dès que ces taux seront améliorés de 10 %, l'investissement et la mise en œuvre de cette association de méthodes deviennent justifiables économiquement ;
2. utilisation combinée des méthodes électriques 2D et TDEM lorsque les taux de succès sont compris entre 30 et 50 % ;
3. utilisation des méthodes électriques dans tous les autres cas, et de façon routinière ;
4. enfin, réalisation de diagraphie électrique systématiquement (normale 8", 32", résistivité et température du fluide) pour équiper au mieux les ouvrages.

## **Remerciements**

Un grand merci à Yves Albouy (programme GEAQUIF de l'IRD) pour avoir soutenu ce travail, et à toute l'équipe d'Action contre la Faim : Ludovic Arnoud, Bun Haymeng, Jocelyn Lance, Philippe Pace, Ke Sokeng et l'équipe de Teuk Saat.

## **BIBLIOGRAPHIE**

Descloitres M. (1998) - Les sondages électromagnétiques en domaine temporel (TDEM) : application à la prospection d'aquifères sur volcans de Fogo (Cap Vert) et du Piton de la Fournaise (La Réunion). Thèse de l'Université de Paris 6.

Beauce A., *et al.* (1996) - Une nouvelle méthode géophysique pour les études hydrogéologiques : l'application de la résonance magnétique nucléaire. *Hydrogéologie*, n°1, 1996, 71-77.

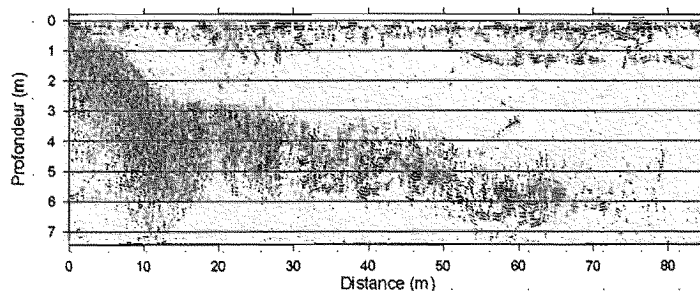
Spies B.R., Frischknecht F.C. (1991) - Electromagnetism Sounding. Chapter 5. *In* Electromagnetism Methods in Applied Geophysics-vol. 2. Publ. SEG.



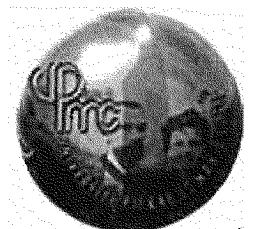
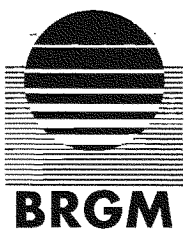
# ACTES DU 2<sup>ème</sup> COLLOQUE DE GÉOPHYSIQUE DES SOLS ET DES FORMATIONS SUPERFICIELLES

## GEOFCAN

21-22 septembre 1999  
BRGM - Orléans, France



*Section radar du toit d'une induration argileuse au Sénégal (mesures BRGM)*



*2<sup>ème</sup> colloque de Géophysique des sols  
et des formations superficielles*

*Résumés étendus*

*21-22 septembre 1999  
BRGM - Orléans, France*

*Organisé par :  
BRGM  
INRA  
IRD  
Université Pierre et Marie Curie*