

Combiner les méthodes MT, CSEM et AEM pour l'exploration d'énergie géothermique haute enthalpie en contexte volcanique insulaire.

Simon Védrine, BRGM/UBO, Alexandre Stopin, BRGM, François Bretaudeau, BRGM, Mathieu Darnet, BRGM, Pierre-Alexandre Reninger, BRGM, Pierre Wawrzyniak, BRGM

s.vedrine@brgm.fr

f.bretaudeau@brgm.fr

m.darnet@brgm.fr

pa.reninger@brgm.fr

a.stopin@brgm.fr

p.wawrzyniak@brgm.fr

Mots clés : Exploration géophysique, Géothermie haute enthalpie, Magnétotellurique, CSEM, AEM.

1. INTRODUCTION

La Martinique, dans les Petites Antilles françaises, est une île volcanique présentant des signes de ressources géothermiques potentielles à haute enthalpie. Pour quantifier le potentiel géothermique de la zone Petite-Anse et identifier des sites de forage, plusieurs campagnes d'acquisition de données géophysiques ont été menées afin d'alimenter la construction d'un modèle d'exploration géologique. Les méthodes électromagnétiques (Streich, 2016) sont sensibles aux variations de résistivité électrique ($\Omega.m$) du sous-sol, paramètre qui est particulièrement bien adapté à l'exploration géothermique haute enthalpie puisqu'il permet de distinguer le réservoir (plus résistant) du clay cap altéré (moins résistant), au contact duquel la circulation de fluide géothermique a lieu. Dans ce contexte, c'est traditionnellement la méthode Magnétotellurique (MT) qui est utilisée en raison de son faible coût et de sa profondeur de pénétration kilométrique (> 10 km). Mais le signal naturel sur lequel elle repose est en moyenne plus faible aux basses latitudes et peut être inférieur de plusieurs ordres de grandeur au bruit anthropique limitant ainsi son utilisation à proximité des zones urbanisées de l'île. L'EM à source contrôlée (CSEM) permet d'obtenir un signal de plusieurs ordres de grandeur supérieurs au bruit anthropique grâce à l'utilisation de sources de courant actives déployées à proximité de la zone d'étude, fournissant alors une couverture dense de données même dans les zones les plus urbanisées. Cependant, le CSEM a une profondeur de pénétration plus faible que la MT peut aussi avoir du mal à résoudre la très proche surface (< 200 m) du fait de la distance inter-captateurs (~ 300 m). L'EM aéroporté (AEM), qui consiste en une source et un récepteur EM remorqués sous un hélicoptère, complète la CSEM en fournissant des informations sur la partie peu profonde du modèle (< 200 m). Dans cet article, nous présentons une étude de cas où les méthodes AEM, CSEM et MT ont été utilisées simultanément pour aider à construire un modèle géologique avec la profondeur et la résolution requises pour une analyse du potentiel géothermique haute enthalpie.

2. DONNEES ELECTROMAGNETIQUES

La zone d'intérêt est une zone côtière de 25 km² autour de la ville des Anses d'Arlet (Illustration 1).

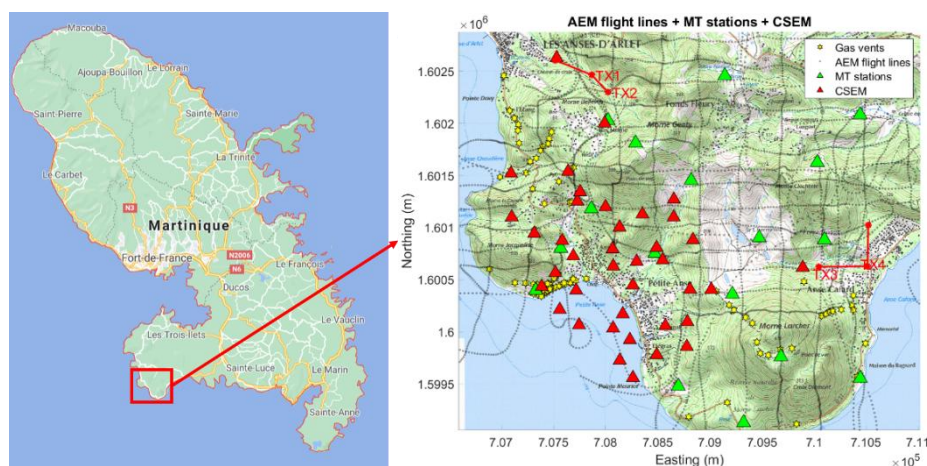


Illustration 1 : Synthèse des acquisitions MT, CSEM et AEM de la zone de Petite-Anse en Martinique.

La campagne AEM réalisée avec la compagnie SkyTEM dispose d'un espacement nominal de 400 m entre les lignes de vol (Illustration 1 en gris). Au-dessus de la zone urbaine et de la mer, les données n'ont pas été jugées exploitables. L'inversion et l'interprétation des données ont identifié un faciès éruptif récent et résistant ($> 50 \Omega.m$) et un paléo clay cap plus profond et peu résistant ($< 5 \Omega.m$) (voir Illustration 2).

La campagne CSEM a été réalisée au moyen de deux émetteurs (sources galvaniques) et 34 récepteurs à terre avec un espacement de 250 m et 8 stations en mer offrant une meilleure résolution dans les zones non couvertes par l'AEM (Illustration 1 en rouge). La distance maximale entre les émetteurs et les récepteurs était limitée par la topographie et la mer à 2500 m, réduisant la profondeur

d'investigation à 1000 m maximum au centre de la grille de récepteurs et à quelques 100 m sur les bords. Les stations proches de la côte n'ont fourni des informations que sur les premiers 100 m. L'inversion 3D des données CSEM a permis de contraindre l'étendue latérale du corps peu résistant identifié par l'AEM. Ce corps semble couvrir une grande partie de la zone d'intérêt. Sous ce corps peu résistant, on trouve une couche plus résistante (5-20 $\Omega.m$) entre 300 et 600 m dans la partie centrale de la zone d'étude avant de perdre en résolution et en sensibilité aux profondeurs supérieures à 600 m (voir Illustration 2).

L'inversion 3D des données MT (Illustration 1 en vert) a permis, entre autres, d'interpréter un corps profond résistant (> 50 $\Omega.m$) dans la partie Ouest de la zone d'étude dans le prolongement de la CSEM à partir de 600 m (voir Illustration 2). Ce corps s'étend au-delà de 3 km de profondeur. Bien que la MT ne soit pas de la meilleure qualité due au contexte volcanique insulaire, urbain et aux basses latitudes, ce résultat est essentiel pour fournir la profondeur de pénétration nécessaire à la construction du modèle géologique.

3. INTERPRETATION

L'intégration des résultats des trois méthodes, combinée aux données géologiques et géochimiques (non discutées ici) a permis de construire un modèle géologique de la zone d'intérêt montré dans l'Illustration 3.

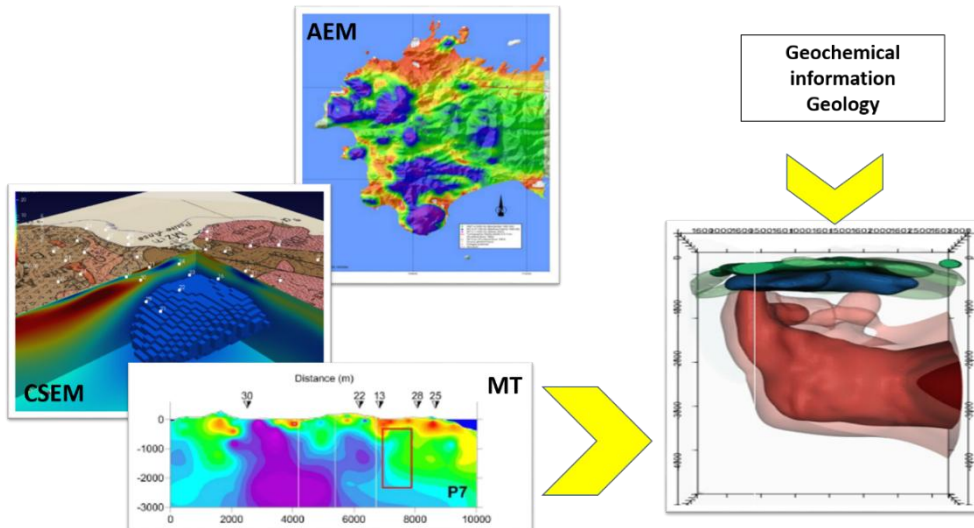


Illustration 2 : Intégration des méthodes MT, CSEM et AEM dans le modèle géologique 3D de la zone de Petite-Anse en Martinique.

La couche peu résistante (< 5 $\Omega.m$) présente dès 100 m de profondeur et d'une épaisseur pouvant atteindre 500 m, correspond très probablement à la zone d'altération dites du paléo clay cap. Des corps résistants à chaque sommet topographique, correspondant aux laves récentes non altérées, recouvrent le paléo clay cap. La couche légèrement plus résistante (5-20 $\Omega.m$) dans la partie centrale de la zone d'étude entre 300 et 600 m peut être interprétée comme un paléo-réservoir. Enfin la couche profonde très résistante (> 50 $\Omega.m$) dans la partie Ouest de la zone peut être interprétée comme un dyke volcanique jouant le rôle de source de chaleur. Le réservoir serait situé au contact du dyke et confiné sous le clay cap entre 1000 m et 2000 m de profondeur. Avec ce modèle géologique, trois différentes cibles de forage selon plusieurs hypothèses ont été identifiées et classées et une campagne d'exploration de suivi proposée.

4. CONCLUSION

L'exploration des ressources géothermiques haute enthalpie à l'aide de méthodes électromagnétiques terrestres peut être très difficile dans les îles volcaniques urbanisées. Nous avons montré que l'utilisation combinée de sources contrôlées aériennes et terrestres et de la MT peut aider à améliorer l'imagerie qualitative du clay cap et du réservoir. Sur un jeu de données de la Martinique, le workflow que nous avons proposé a permis d'alimenter la construction d'un modèle géologique 3D et d'identifier 3 sites potentiels de forage géothermique. Ce travail a démontré les bases d'un nouveau workflow d'exploration géophysique plus robuste dans des environnements EM contraignants. De futurs travaux qui pourraient inclure une meilleure correction de l'effet de mer, de la topographie et des effets de sous-résolution ainsi qu'une inversion conjointe des données EM (par opposition à une interprétation conjointe des données EM) peuvent être envisagés pour continuer d'améliorer les résultats.

4. REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier les institutions FEDER et ADEME, le Conseil Régional de la Martinique, le Syndicat Mixte d'Electricité de la Martinique (SMEM) et le fonds MarTEM pour le financement de ces projets.

BIBLIOGRAPHIE:

Streich R., 2016, Controlled-Source Electromagnetic Approaches for Hydrocarbon Exploration and Monitoring on Land, *Surv Geophys* (2016) 37:47–80, DOI 10.1007/s10712-015-9336-0