

BILAN GEOPHYSIQUE DES RESSOURCES EN EAU DANS LE SOCLE SOUS CLIMATS MEDITERRANEENS ET ARIDES.

Jean Pierre Mercury, Corse Géophysique Stazzona 20229 Stazzona

Mercury20270@aol.com

VLF method is an old method known since early years 1960. It has been modernized by technical progress. It is a fast , useful and cheap method for prospecting water in granitic or metamorphic areas in zones with problems to access. VLF method is useful for localizing water in faults or other geological structures that may contain water. In Corsica or Morocco different case are studied for showing water in different contexts, metamorphic rocks in alpine part of Corsica, anorogenic annular complexes in Corsica , old granitic basement with or without mineralization in south Morocco.

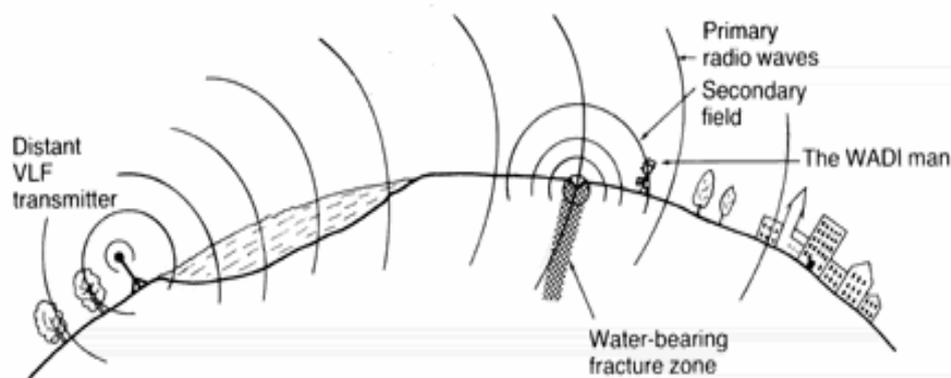
Signal treatment may discriminate easily water and mineralization. This point is very important for water quality, water is often associated in old basements with mineralization like we have seen in the south morocco.

VLF method is easier to put in place and more efficient for searching structures that may contain water in basement areas than other methods like geoelectric imagery , only the magneto telluric method may be more interesting but with a very high price.

1 principe de la méthode et conditions expérimentales.

1.1 principe de la méthode VLF

La méthode utilisée est la prospection géophysique par la méthode VLF (Very Low Frequency). Cette méthode est basée sur la propagation des ondes à très basse fréquence de 10



à 30 khz, émises par des émetteurs servant à la radio navigation.

Figure 1 : principe de fonctionnement de l'appareillage.

Ces ondes présentent la particularité de pénétrer dans le sol et d'émettre un champ électromagnétique induit à l'aplomb de structures conductrices. Ces structures sont, dans le cas qui nous intéresse, des zones de failles remplies d'eau.

L'appareil de VLF mesure en permanence le champ résultant par rapport au champ primaire émis. Le traitement consiste à appliquer une transformation mathématique des données recueillies sur le terrain qui est appelée filtrage (Karous et Hjelt). Cette transformation mathématique des données permet de calculer la densité de courant à une profondeur donnée et ce pour les deux composantes réelle ou imaginaire du signal.

La densité de courant calculée de 0 à 100m est aussi représentée sous forme de pseudosection, les valeurs de champ sont classées par groupes de valeurs par exemple de 0 à 10%, à chaque valeur correspondra une couleur ; le graphique comporte deux échelles, l'une des distances horizontales l'autre des profondeurs. Sur ce graphique un pixel représente une unité de 2m de long sur 2 m de profondeur.

. Les zones de forte réémission de champ seront ainsi repérées facilement.

1.2 le protocole expérimental utilisé dans tous les exemples proposés.

2- Les réponses de la méthode en zone de climat méditerranéen : le socle Corse

Corse est caractérisé par des précipitations modérées l'intérieur possède un climat montagnard avec d'abondantes précipitations sous forme de pluie et de neige.

La géologie de la Corse se caractérise par 3 domaines distincts. Une plaine le long du littoral oriental où on observe des formations sédimentaires d'âge quaternaire à miocène. Ces séries comportent des ressources en eau assez importantes.

Le socle est ce qui nous intéresse le plus il est constitué de deux parties séparées par un grand décrochement orienté NW SE.

Les ressources en eau de la Corse intérieure se trouvent dans des zones de fracture assez étroites. La prospection géophysique par méthode VLF a permis d'obtenir de très bons résultats, le taux de forages réussi est d'environ 90% en tenant compte d'une démarche multicritères, la méthode a même permis dans un cas la détection d'une ressource en eau minérale ferrugineuse.

Les exemples proposés permettent d'illustrer la réaction de la méthode dans différents cas typiques.

2.1.1 Le socle schisteux de la corse

2.1.1.1 Pietra Corbara

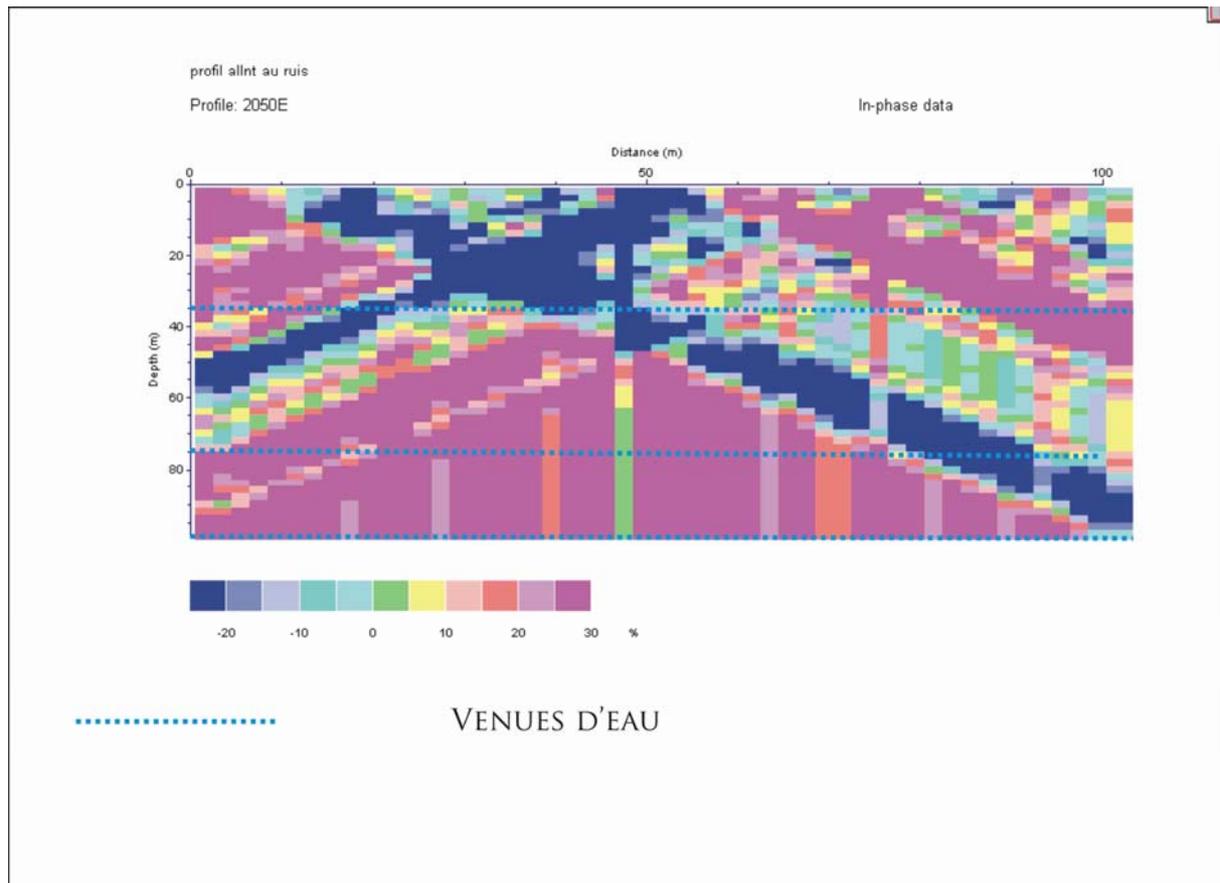
L'exemple choisi est celui d'une commune située dans le nord de la Corse. Cette commune présente pour l'alimentation en eau potable l'inconvénient d'être en zone touristique avec une forte demande de sa partie littorale.

La prospection VLF a été précédée d'une étude par photo interprétation suivie d'une campagne de terrain pour reconnaître les structures géologiques. Cette étude a fait apparaître une fracture orientée NW-SE, les terrains sont des calcschistes et micaschistes appartenant à la série de la Castagniccia qui est caractéristique de cette partie de la Corse.

La prospection VLF a été réalisée sur la structure la plus intéressante qui soit à la fois facilement accessible et dont la situation permette un minimum de dépenses en infrastructures.

La réalisation de la mission a pris environ une journée entre la reconnaissance de terrain et la réalisation de 3 profils dont seul un s'est révélé intéressant.

L'image obtenue en Cross section qui est l'image des données filtrées du champ en phase et quadratique entre 0 et 100m révèle plusieurs zones de présence supposée d'eau avec un fort champ réémis.



L'image présentée est celle qui a été obtenue sur le site du forage. Ce forage a été réalisé en bout de profil a 10m de sa fin. Les venues d'eau observées lors du forage ont été comme sur cette image au nombre de 3 correspondant aux 3 zones délimitées par les traits, soit aux alentours de 35m, 75m et 100m, plus une qui n'est pas sur cette image vers 110m de profondeur.

Dans ce cas la méthode a permis d'identifier les venues d'eau avec une précision de l'ordre de 5m.

Dans ce contexte de fracture dans des micaschistes on a obtenu une très bonne précision.

Par contre les micaschistes de la zone alpine de la Corse présentent parfois une tectonique tangentielle, dans ce cas là les pendages des contacts sont proches de l'horizontale et dans ce cas la méthode est peu fiable. Dans ce genre de cas on s'appuie sur les reconnaissances de terrain pour décider de la campagne VLF et on utilisera plutôt une autre technique géophysique dans le cas de plis à axes horizontaux repérés dans la zone d'étude..

2.1.2 Le socle granitique

La Corse granitique représente environ 80% de l'île en superficie, elle comporte différents terrains cristallins et métamorphiques. Le batholite Corso sarde est composé de granites calco alcalins.

Réponse d'un débit important en zone de granite sous climat méditerranéen sec: mola

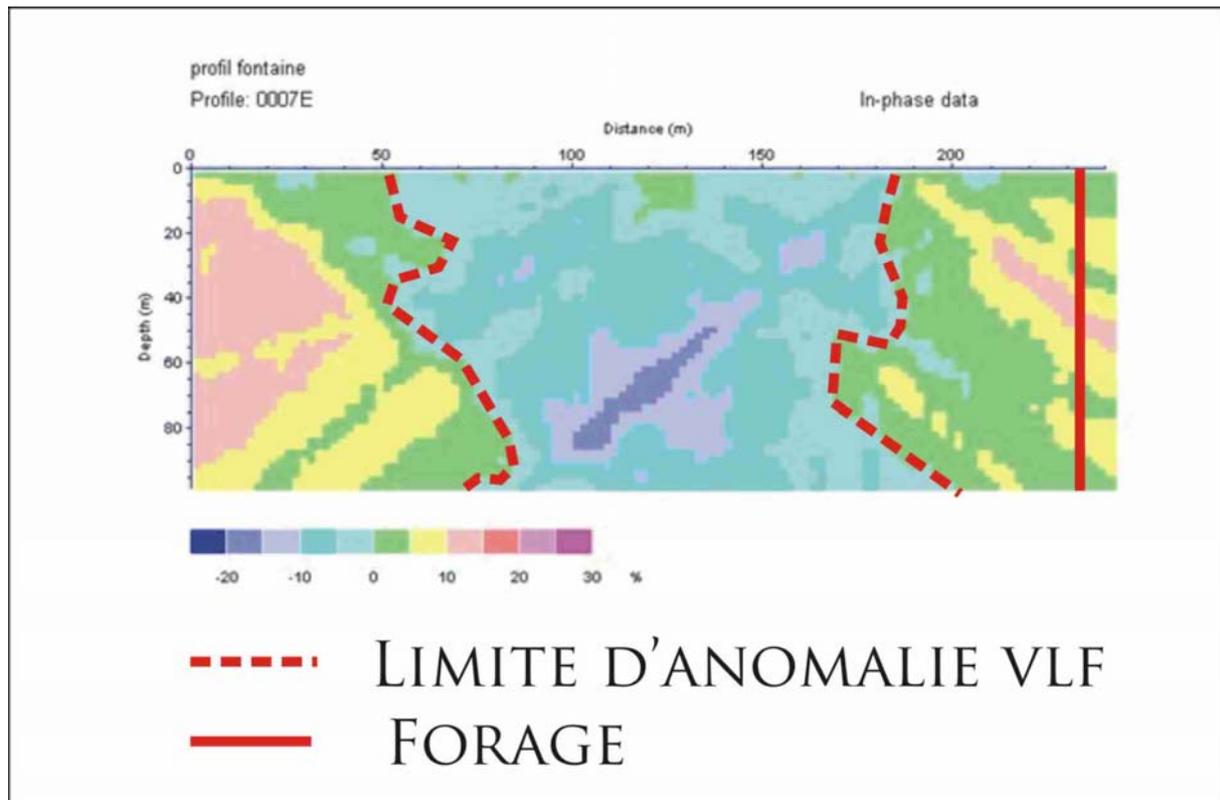
Une zone importante de population se situe dans le sud ouest de la Corse vers la ville de Sartène.

Cette agglomération comporte également de nombreux hameaux assez dispersés et loin de la ville. Le sud de la Corse est une région assez peu arrosée, l'alimentation en eau de ces hameaux dépend de sources qui dans le contexte actuel ont tendance à se tarir.

Le hameau de Mola est un exemple assez intéressant, il est situé assez loin du bourg de l'autre côté d'un col, son alimentation en eau potable dépendait de sources qui ne fournissait plus qu'environ 700 litres par jours pour une population d'environ 25 personnes. Il a été décidé de réaliser un forage.

Dans un premier temps les photos aériennes ont été étudiées et deux grandes zones ont été délimitées. La première a donné un potentiel intéressant mais a été abandonnée car trop dure à exploiter. La prospection s'est concentrée sur la seconde.

La prospection géophysique a donné un excellent résultat, la méthode a été de réaliser sur le parcours supposé de la faille un profil VLF avec un pas de mesure très faible pour bien permettre de préciser les limites de la zone à eau.



Le forage a traversé la zone a eau vers 40m sur environ 35m le débit obtenu ayant été de 2,5m³/h on a décidé de l'arrêter car les besoins du hameau étaient satisfaits.

La méthode VLF dans cet endroit sans perturbations électromagnétiques a permis une précision satisfaisante, le fait que l'image n'ai pas montré une anomalie du champ plus forte est du à l'orientation du profil par rapport à l'émetteur. Si on veut obtenir une anomalie forte sur l'image on doit avoir un angle entre la direction du profil et celle du champ émetteur proche de 90°.

4 La problématique des eaux chargées en minéraux et sels la boutonnière de Kerdous dans les environs de Taffraoute.

Au sud du Maroc dans la partie sud ouest de la chaîne de l'Anti Atlas près de son front sud est voit affleurer de grands dômes structuraux de roches du socle.

Ces dômes affleurent à travers la couverture paléozoïque.

Ce type de formation est ponctué de vulcanites acides traversées de dômes et filons basiques.

L'alimentation en eau potable des populations est réalisée par des puits artisanaux, dans certains endroits ou des dômes basiques sont intrusifs dans des formations acides on observe des sources.

La recherche d'eau dans ce secteurs révèle deux problématiques pour alimenter les populations depuis les fractures du socle.

On peut souvent observer de l'eau salée, ce problème a été trouvé dans un village aux alentours de Taffraoute, les puits témoins réalisés ont donné de l'eau salée assez fortement. Ce type de formations géologiques dans les grandes boutonnières comporte aussi très souvent des minéralisations.

Du côté du col de kerdous on a des indices d'or. Plus loin dans la boutonnière on a des gisements de cuivre, de plomb, de zinc et d'argent.

D'autres métaux sont en concentrations assez faibles dans ces formations.

La présence de minéralisations entraîne des concentrations à des teneurs indésirables de métaux dans l'eau des nappes, il est donc important d'avoir une idée de la minéralisation possible des terrains avant de forer.

La méthode VLF est très utilisée en recherche minière, on s'intéressera à la composante quadratique du signal.

L'eau salée au maroc igher

Igher est un village dans les environs immédiats de Taffraoute.

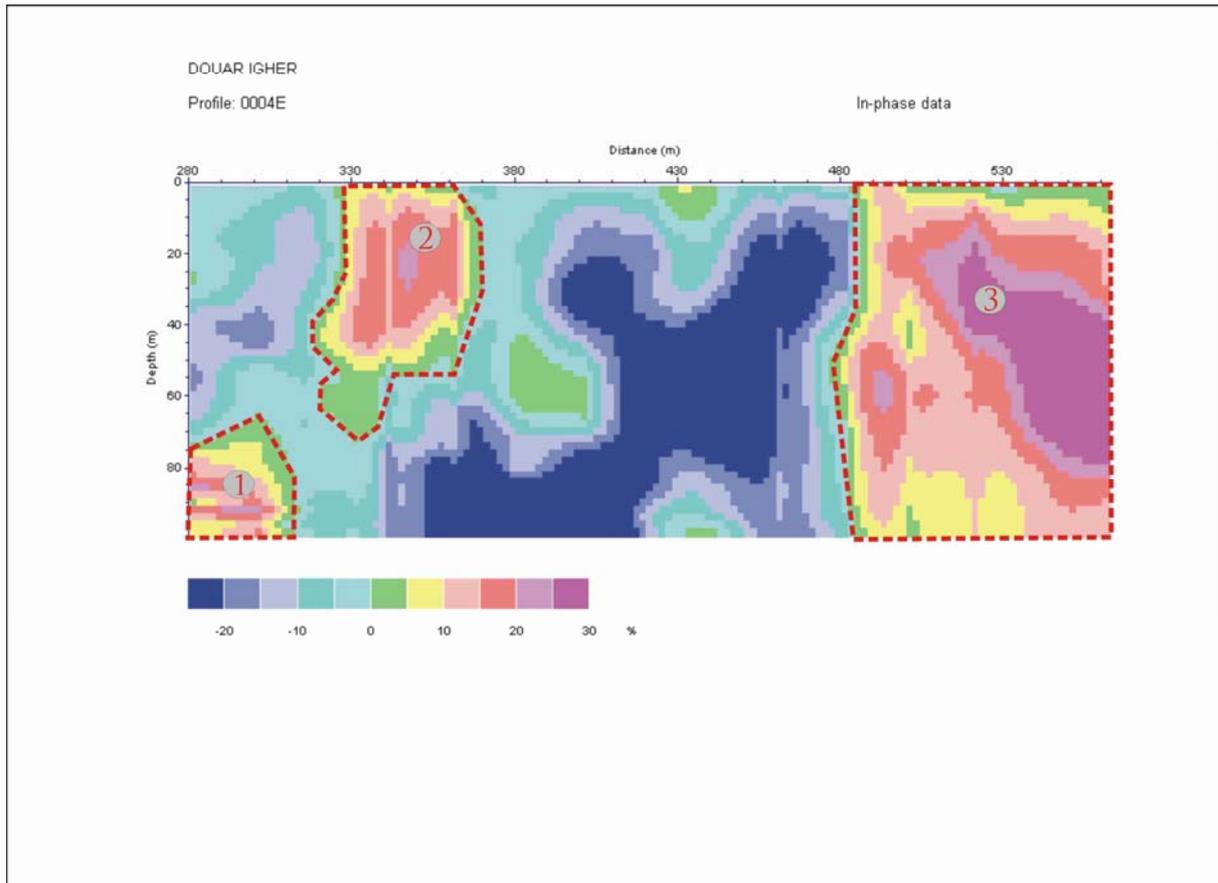
L'objectif était la réalisation de 2 forages pour réaliser des accès publics à l'eau potable.

Après la campagne de terrain pour reconnaissance géologique on a fait plusieurs profils VLF.

Les résultats d'un profil très significatif sont exposés ici.

Le profil a été implanté de façon à recouper facilement la fracturation visible dans le paysage.

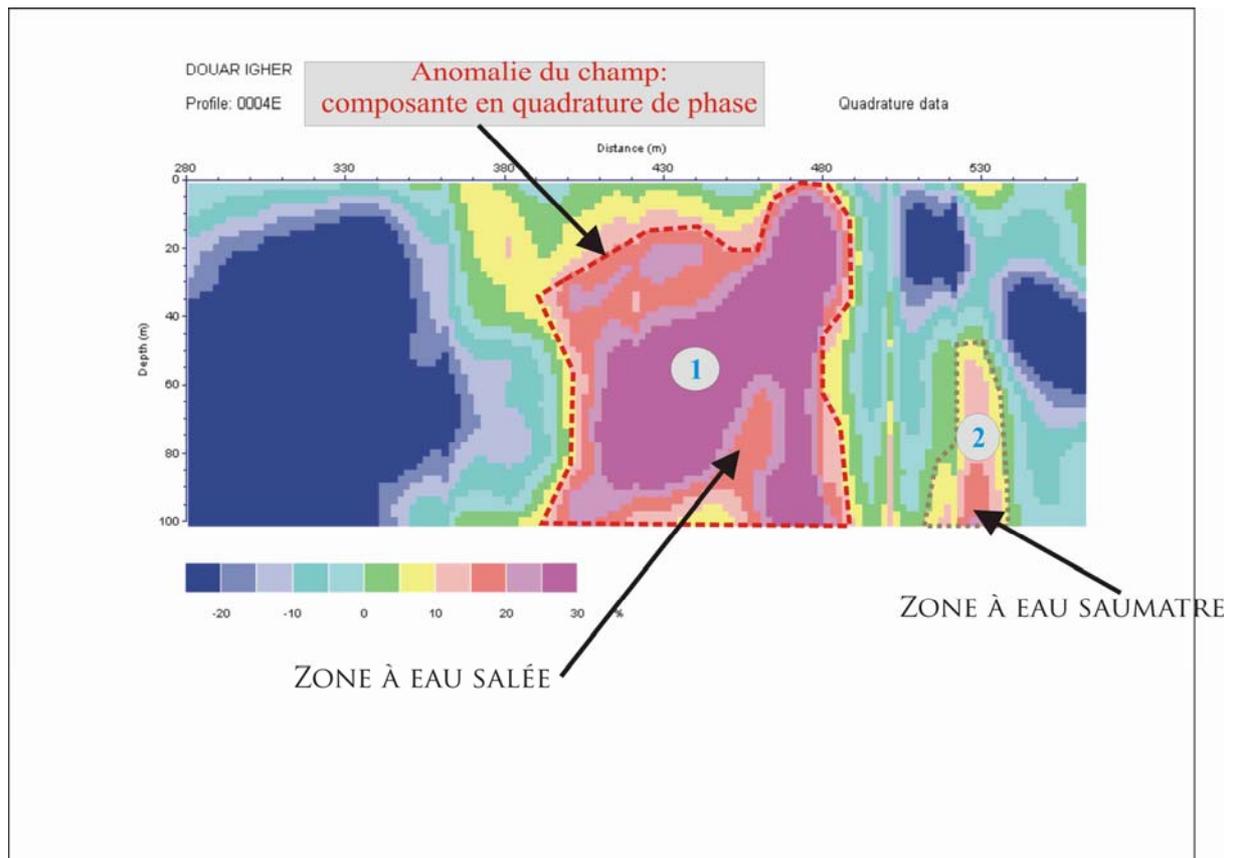
Certains puits artisanaux existants montraient une eau salée, el VLF avait aussi pour but de délimiter des zones à eau douce.



Les données en composante en phase font apparaître trois zones de réémission du champ VLF.

Deux zones de faible importance, zones 1 et 2 sur le graphique, entre l'origine et 20 m plus loin, coordonnées 280 à 300 m

Une zone de forte importance entre les coordonnées 480 et 560 m, zone 3 du graphique.



En superposant les deux images on voit que la zone principale ou la composante quadratique est la plus importante se superpose par endroits à la zone ou la composante en phase est aussi forte.

Ces zones correspondent à la présence d'eau salée. A l'écart du profil en cherchant on a trouvé des puits abandonnés pour cause d'eau trop salée.

La zone où se superposent les deux images correspond à une zone d'eau salée et le VLF a réagi aux deux composantes car l'eau dans la deuxième partie est peu salée et donc les deux composantes réagissent faiblement pour la composante quadratique plus fortement pour la composante en phase.

Dans la zone où le champ en phase est faible on s'aperçoit que le champ en quadrature est fort, dans cet endroit là les puits étaient trop salés pour être exploités et ont été abandonnés.

Dans la zone où le champ quadratique était faible et le champ en phase fort les puits étaient exploités pour certains car l'eau était plutôt saumâtre.

L'eau analysée dans un autre endroit semblable a révélé une forte salinité dans la zone du centre mais aussi une forte teneur en plomb et cuivre.

La méthode VLF présente un avantage certain dans ce contexte de fractures plus ou moins minéralisées caractéristique des grandes boutonnières de l'anti atlas.

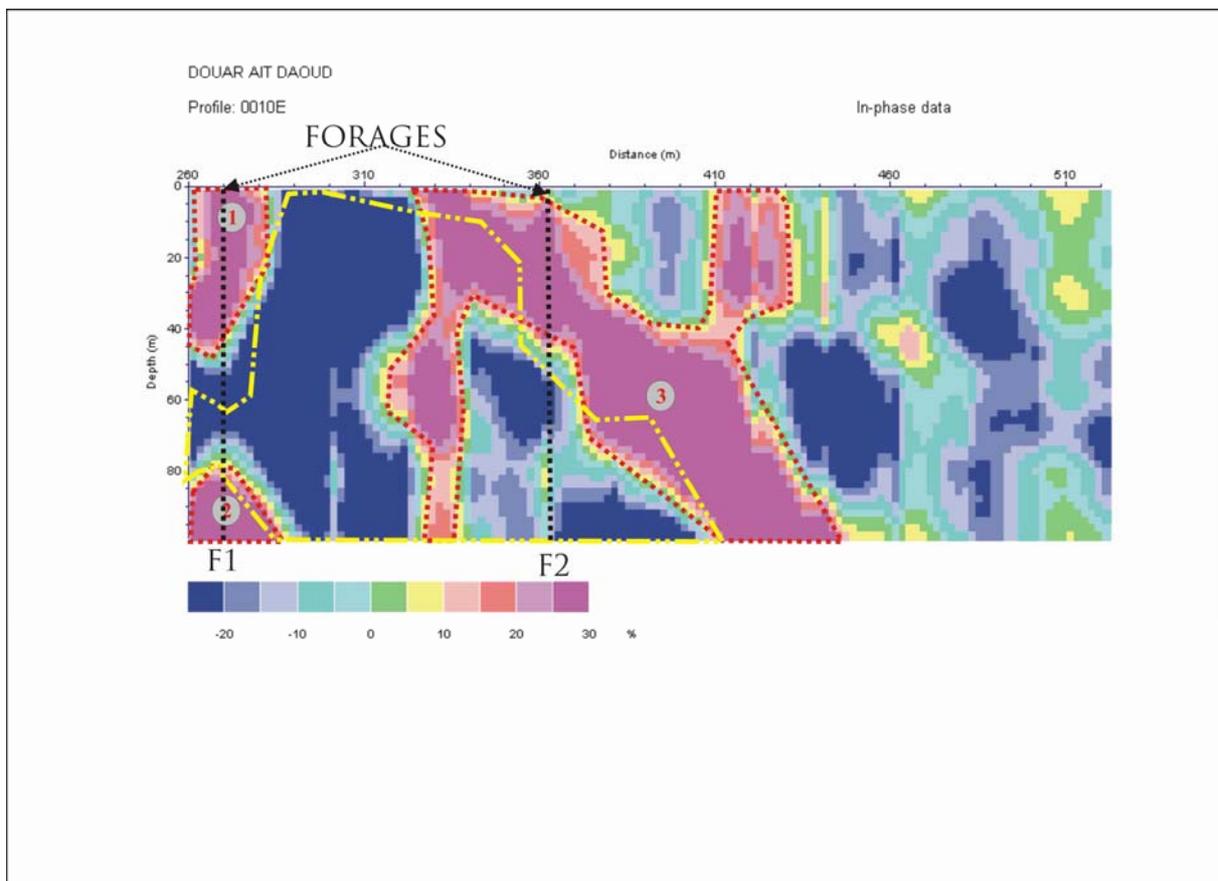
Ait Daoud, des fractures minéralisées et des zones à eau

Le douar Aït Daoud se situe au nord est de taffraoute, c'est un village assez important qui a des projets de développement agricole et agro touristique.

Ce village comporte un certain nombre de forages privés mais pas de forages publics. La campagne VLF a pour but de réaliser plusieurs forages pour les besoins agricoles et de la population.

La morphologie des roches cristallines du secteur fait apparaître un certain nombre de grands accidents.

Le VLF a été réalisé le long de ces grands accidents, un accident traverse le village. Deux forages privés sont situés sur cet accident. Le VLF a été réalisé dans la zone de ces deux forages pour vérifier l'étendue de la zone à eau et aussi la présence de minéralisations éventuelles dans la zone.



Sur cette image on a superposé la zone de forte composante quadratique et celle de forte composante en phase.

Les deux forages existants ont aussi été représentés.

Les trois zones de composante IP forte donc les parties de fractures contenant de la ressource en eau sont recoupées par la zone d eforte composante IP.

Après recoupements de plusieurs témoignages de la tradition orale locale il s'est avéré que des mines avaient été exploitées au dessus du village situé lui en plaine.

Ces mines étaient exploitées pour leur cuivre et leur plomb argentifère. L'anomalie en champ quadratique est donc expliquée par la minéralisation. L'eau exploitée dans les deux forages a toutefois une teneur en métaux lourds inférieure aux seuils de toxicité. Par contre le forage situé au cœur de l'anomalie en phase a donné un fort débit de plus de 8m³/h

La méthode VLF utilisée ici a permis le reconnaissance des limites de la zone minéralisée et aussi la réalisation de forage sans contamination par les minéralisations à un autre endroit du village ou la faille n'est pas minéralisée.

5 limitations :

On a vu à travers les exemples proposés que al méthode de prospection électromagnétique VLF donne de très bons résultats dans des contextes différents, elle a aussi ses limites qui sont de deux ordres.

La première limitation est due à la structure géologique des terrains, la seconde est due au type de traitement des données.

zone de structure horizontale

Corse alpine cas de tectonique tangentielle

En Corse les formations dites alpines occupent une grande partie à l'est d'une grande fracture orientée NW SE.

Ces formations comportent une grande série schisteuse appelée série de la Castagniccia. Cette série se compose de calcschistes, micaschistes, cipolins, marbres, grès.

Une recherche d'eau par méthode VLF a été réalisée dans cette série.

La structure une fois repérée en photo interprétation, il a été procédé à un profil VLF.

Ce profil VLF n'a pas montré de réémission significative du champ VLF, aussi bien pour la composante "En Phase" que pour la composante "En quadrature de phase".

La conclusion de l'étude VLF a été donc de ne pas réaliser de Forage, mais la présence de sources dans le secteur a donné à penser qu'il y avait peut être un dysfonctionnement de la méthode.

Le forage a été réalisé quand même et il a été assez productif.

La méthode a donc échoué dans ce cas précis. L'origine du dysfonctionnement a été trouvée en regardant finement des affleurements dans le secteur concerné le long d'une route refaite après la réalisation de l'étude. On voyait le long de ce talus qu les axes des plis affectant les formations géologiques étaient horizontaux, la zone à eau étant représentée par la charnière de ces plis son pendage sub horizontale a causé un dysfonctionnement de la méthode VLF.

Exagération spatiale des anomalies :

Dans une commune, une recherche d'eau a été réalisée en terrain granitique.

La seule structure intéressante du secteur de l'étude avait l'objet déjà d'un Forage, le VLF a été utilisé pour voir les limites de la zone à eau.

Le VLF a donné une zone à eau très large (30m) il a donc été décidé d'implanter le nouveau forage dans la même structure à 20m du forage.

Ce forage s'est révélé un échec, il y a donc une certaine exagération spatiale des anomalies.

L'anomalie était moins large que prévu à cause d'une certaine amplification de sa largeur par le système de filtrage linéaire.

Une campagne VLF réussie doit tenir donc compte de l'analyse structurale préalable mais complétée par une campagne de terrain, surtout pour ne pas avoir un résultat faussé par la tectonique tangentielle.

Pour éliminer l'effet d'exagération de la largeur des anomalies il faudra implanter les éventuels forages dans le cœur des structures repérées en photo interprétation et aussi là où le calcul donne la zone la plus intense mais aussi où les données brutes sont les plus élevées.

Une autre chose à éviter est de passer sur des canalisations enfouies ou des lignes électriques car le champ induit dans ces deux cas ne pourra pas être discerné de celui des lignes électriques ou conduites ou câbles souterrains.

6 conclusions : utilité de la méthode en termes de rapport résultats/coûts

La méthode VLF est très fiable si on respecte bien les limites de la méthode.

Cette méthode de prospection géophysique est particulièrement indiquée dans les deux cas suivants : recherche d'eau en zone de roches cristallines, recherche de minéralisations ou d'eau salée.

Pour la recherche d'eau en zone cristalline, la méthode a été employée depuis plus de 10 ans en Corse mais aussi au Maroc.

Le taux de réussite dans les conditions de respect d'une bonne méthodologie est de 80%.

Les échecs ont été imputables le plus souvent à l'obligation de travailler dans une zone donnée et aussi dans l'urgence et au plus faible coût, donc en supprimant la phase de reconnaissance préalable.

Les minéralisations ont toujours été bien détectées, mais cela a rarement été l'objet des campagnes VLF réalisées.

La méthode comparée à d'autres techniques est facile à mettre en œuvre. L'appareillage est de poids relativement faible on peut passer partout, la même personne doit être opérateur et faire l'interprétation, la vitesse de balayage d'une zone est rapide.

Tout cela permet un coût de campagne peu élevé pour de bons résultats. La profondeur d'investigation en zone cristalline ou métamorphique dépasse largement les 100m et la précision est excellente, c'est donc une méthode bien adaptée au travail en zones de pays en développement.

References

Periodiquess:

[1] Tikhonov, A.N., 1950. On investigation of electrical characteristics of deep strata of Earth's crust. Dokl. Akad. Nauk SSSR 73 (2):295-297

[2] Cagniard, L., 1953. Basic theory of the magnetotelluric method of geophysical prospecting. Geophysics 18 (3):605-635.

[3] Cantwell, T., 1960. Detection and analysis of low frequency magnetotelluric signals. Ph.D. Thesis, Mass. Inst. Tech

[4] Grant, F.S. et West, G.F. [1965]. Interpretation theory in Applied Geophysics. McGraw-Hill.

[5] Karous and Hjelt, 1983, Linear filtering of VLF dip-angle measurements, Geophys. Prosp.,
31, 782-794.

Traitement des donénes

[6] RAMAG :V2.2 (2002), P.A Walen, Encinitas California, U.S.A