

## Rapport

# Atelier de Renforcement des Capacités des Acteurs de l'Eau sur les Méthodes Innovantes de Prospection Hydro- géophysique

Juin 2024

Dans le cadre de la mise en œuvre de leurs objectifs, les Centres d'Excellence Africains (CEA) sont évalués sur la base des Indicateurs de décaissement (ILD), dont l'ILD 3 (Nombre d'étudiants, de formations continues et de formation diplômante).

C'est dans cette optique que, le Centre d'Excellence d'Afrique pour l'Eau et l'Assainissement (C2EA) de l'Institut National de l'Eau (INE) de l'Université Abomey Calavi (UAC, Bénin) ont organisé une formation continue sur les techniques innovantes d'implantation des forages au profit des cadres techniques des structures du secteur de l'eau. Cette formation s'est déroulée du 17 au 21 juin 2024 à Lomé.

L'objectif est de permettre aux différentes parties prenantes de jouer pleinement leur rôle dans la mobilisation des ressources en eau souterraine pour l'amélioration de l'approvisionnement en eau potable. Dans la mise en œuvre de cette activité, une phase théorique fondée sur des enseignements

Après avoir planté de décors sur les conditions de l'accès à l'eau potable en Afrique qui se réalise à partir des eaux de surface et des eaux souterraines, le formateur a présenté la problématique de l'accès à l'eau potable en Afrique, ainsi que les enjeux y associés. Les eaux de surface plus exposées à la pollution sont aussi bien exploitées comme les eaux souterraines, plus accessibles dans les zones de bassin sédimentaire, alors que les zones de socle représentant 40 % de la surface terrestre renferment des nappes dans les zones de fracture. Les aspects de durabilité ont été abordés au regard de la salinisation des eaux en zones côtière, des menaces du changement climatique et de la nécessité de satisfaire les besoins de tous les acteurs.

L'application de la géophysique à ces différents contextes permet de mesurer les paramètres au sol et de chercher les variations de contrastes suffisantes afin de discriminer l'eau des agrégats, de l'aquifère, des autres ressources et composantes.

Dans le cadre de la prospection de l'eau, il est recherché habituellement la résistivité (c'est-à-dire la capacité d'un matériau au passage d'un courant mesuré en micro siemens/m.) et la conductivité (inverse de la résistivité). Ces paramètres permettent d'exploiter la loi d'Archi qui n'est valable que lorsqu'il n'y a pas d'argile dans le milieu. Deux méthodes fondamentales ont été enseignées : la RMP (résonance magnétique protonique) et la TDEM (Time Domain Electro-Magnetism, Méthode Electromagnétique en domaine temporel).

### **La RMP (résonance magnétique protonique)**

Les méthodes géophysiques traditionnelles d'exploration se fondent sur l'analyse d'anomalies de structures ou de paramètres physiques qui ne sont pas nécessairement liés de façon unique à la présence ou à l'absence d'eau dans le milieu étudié. L'émission d'un champ magnétique perturbateur à une fréquence spécifique (dite fréquence de Larmor) modifie cet état d'équilibre et provoque une précession de des moments magnétiques autour de la direction du champ magnétique initial. Après coupure du champ excitateur, au cours du retour à l'état d'équilibre, un champ magnétique de relaxation est émis par les protons, constituant ainsi la réponse RMP. L'amplitude de ce champ est d'autant plus intense que le nombre de protons entrés en résonance est grand, et donc que la teneur en eau est importante.

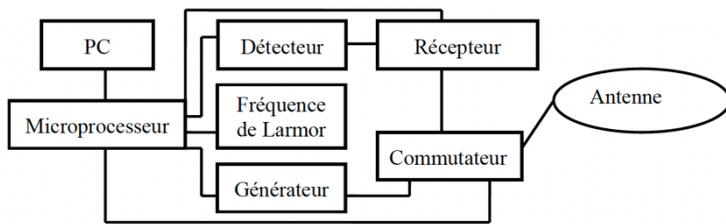


Schéma fonctionnel du dispositif RMP



Photo : déploiement du dispositif

La fréquence spécifique à laquelle les protons sont excités est caractéristique de l'atome d'hydrogène et assure ainsi que la méthode est sélective. La très grande majorité des noyaux d'hydrogène présents dans le proche sous-sol sont ceux des molécules d'eau. Ceci implique que la méthode RMP renseigne spécifiquement et directement sur la présence ou l'absence d'eau dans le milieu étudié ainsi que sur les caractéristiques hydrodynamiques du milieu.

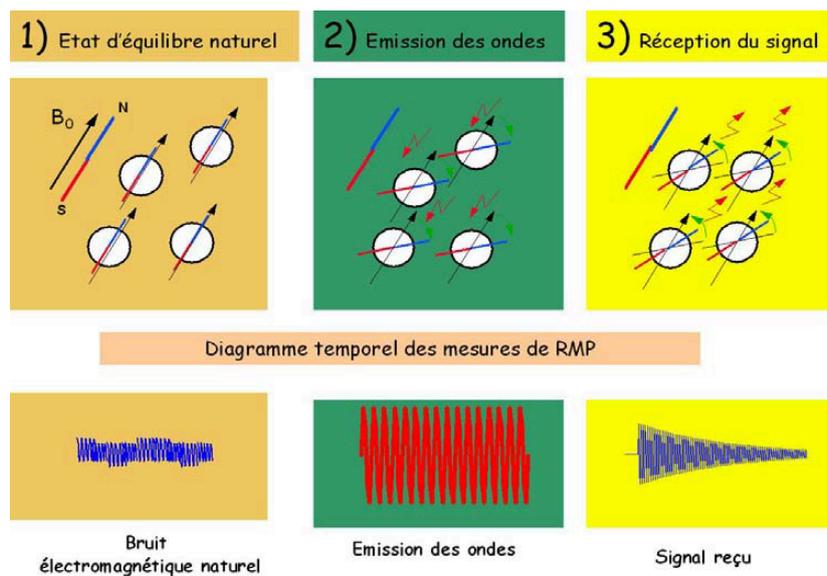


Figure : principe de la mesure RMP

Sur le terrain, une boucle (câble électrique) est posée sur le sol et on envoie dans le sous-sol des ondes électromagnétiques. Ces ondes traversent les terrains. Les molécules d'eau présentes dans les terrains absorbent l'énergie de la fréquence émise et renvoient un signal vers l'antenne.

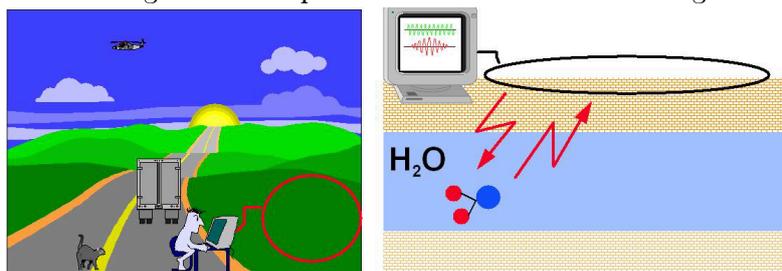


Figure : Dispositif RMP sur un site de mesure

## La TDEM (Time Domain Electro-Magnetism ou Méthode Electromagnétique en domaine temporel).

La TDEM est une méthode de prospection électromagnétique. Elle permet de réaliser des sondages de résistivité électrique de manière non-destructrice, à partir d'un dispositif constitué uniquement de câbles électriques. Elle intervient dans de nombreuses applications pour lesquelles la structure du sol doit être connue, comme notamment la recherche d'aquifères, de minerai, ou encore le suivi de pollution du sous-sol. Son utilisation est toutefois réservée aux situations où :

La réalisation d'un sondage TDEM consiste à envoyer une impulsion électromagnétique dans le sous-sol à l'aide d'une boucle d'émission et d'étudier la réponse électromagnétique du sous-sol à cette impulsion. Cette réponse, mesurée à l'aide d'une boucle de réception dépend en effet de la conductivité électrique des terrains à l'endroit du sondage.

Ces boucles sont constituées d'un (ou plusieurs) câble(s) électrique(s) isolé(s). Lors du sondage, elles sont posées à même le sol, mais peuvent également être aéroportées dans le cadre de certaines applications. Chacune est reliée à l'unité de mesure du TDEM, qui contrôle tout le processus d'acquisition des données.

Afin de générer une impulsion électromagnétique dans le sol, un courant continu de plusieurs Ampères est injecté dans la boucle d'émission. La circulation de ce courant dans la boucle provoque l'apparition d'un champ magnétique statique : le champ "primaire". Après un intervalle de temps donné, l'injection du courant est coupée brusquement. Dans la boucle d'émission, la coupure n'est pas instantanée : le courant décroît pendant quelques millisecondes avant de s'annuler. Cette diminution de l'intensité du courant entraîne une décroissance du champ primaire.

La variation d'intensité d'un champ magnétique au cours du temps provoque l'apparition d'une force électromotrice (fem) dans tout milieu conducteur situé à proximité. L'air étant infiniment résistant, c'est dans le terrain étudié que va apparaître cette fem lors d'un sondage TDEM. Celle-ci va induire dans le sol une circulation de courant électrique, qui peut être vue comme une réplique de la boucle d'émission dans le sol.

L'intensité de ce courant induit diminue immédiatement, à cause de la résistivité des formations qu'il traverse. Cette nouvelle décroissance entraîne l'apparition d'une nouvelle fem, mais à une distance et à une profondeur plus grande de la surface du sol. De la même manière, cette fem va induire dans le sol un nouveau courant, qui va également diminuer, et générer une nouvelle fem, et ainsi de suite. En résumé, immédiatement après la coupure du courant, des boucles de courant se propagent dans le sol, de plus en plus profondément, à la manière de "ronds de fumée"

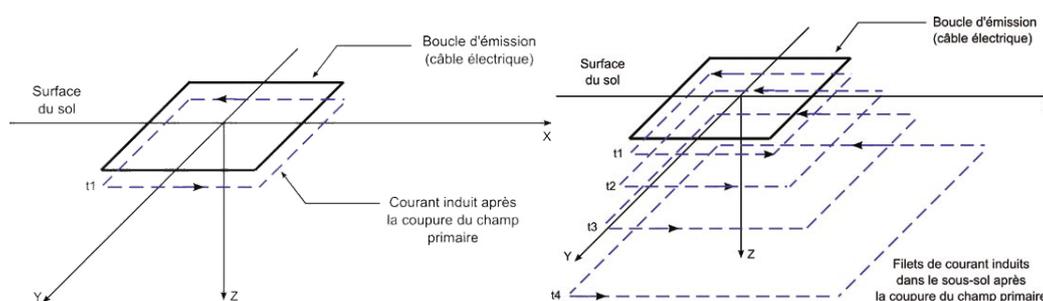


Figure : Boucle de courant induit dans le sol (a) et propagation des ondes dans le sol (b)

Les travaux de terrain ont été effectués sur la plage de Goumou-Kopé et sur le site de l'Université de Lomé à Kovié. Ces travaux ont permis de pratiquer les méthodes de la RMP et de la TDEM. Des données ont été collectées et ont permis de faire l'interprétation des mesures de la RMP et de la TDEM.



Photo : Matériel TEM et réalisation d'une boucle de mesure

## Résultat et interprétation

Les Résultats de la méthode RMP utilisée les données collectées sont des pulsations électromagnétiques présentés sous le format suivant

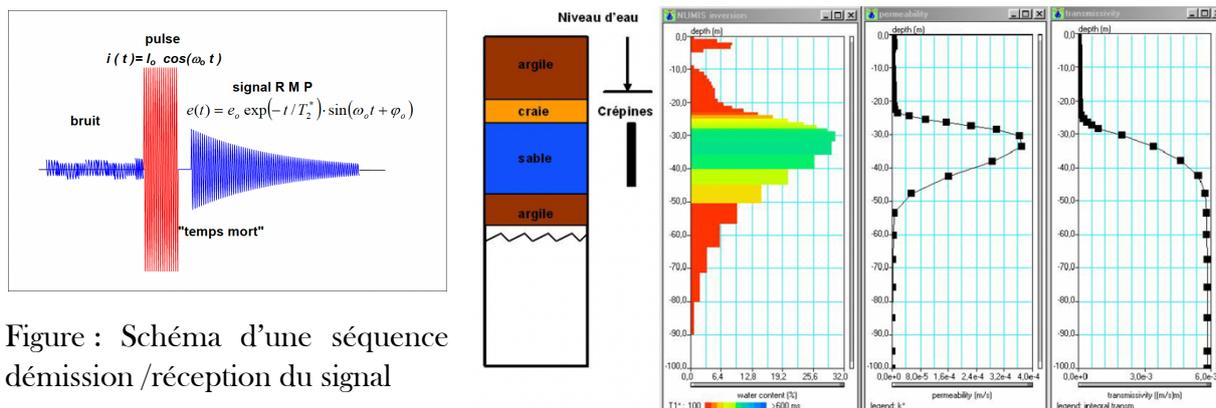
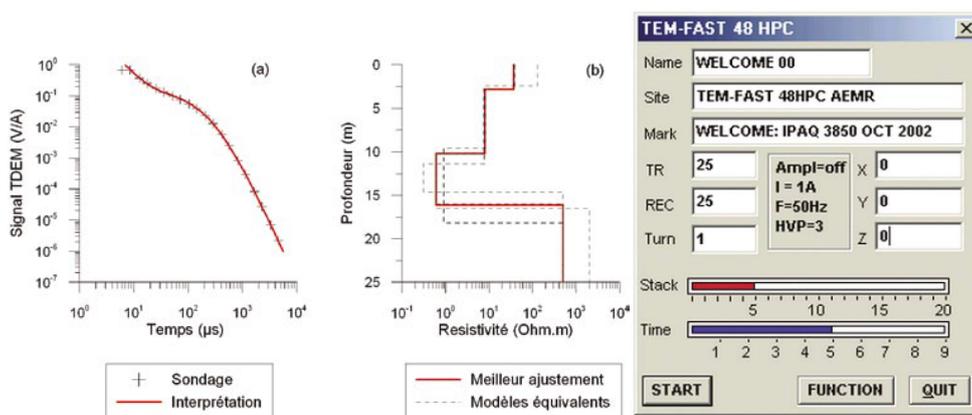


Figure : Schéma d'une séquence démission /réception du signal

Figure : Exemple de résultat RMP



Données d'interprétation et Fenêtre de configuration du TEM-Fast.

Chaque méthode a ses avantages et ses inconvénients.

La TDEM est utilisée dans les cas suivants :

- réalisation de forages,
- permet de trouver la nappe plus rapidement,
- permet de détecter l'intrusion saline, en zone côtière,
- permet d'avoir la résistivité de l'eau, permet de connaître la géométrie de la nappe,
- est très sensible aux variations de couches,
- détecter l'aquifère,
- connaître la nature de l'altération.

Mais le TDM n'est pas propice aux zones boisées ou habitées, car il est difficile de déployer le matériel (câbles).

La RMP est exploitée dans les cas suivants :

- propice aux zones de socle
- permet de connaître la réserve souterraine,
- permet de connaître beaucoup de paramètres,
- connaître la profondeur et l'épaisseur de la nappe,
- permet d'anticiper, dans le cas d'un projet d'approvisionnement en eau, définir le champ captant,
- permet de répondre aux tests de durabilité et d'efficacité, secteur public,
- permet de détecter rapidement l'eau et de réaliser un forage,
- permet d'avoir des données en 2 dimensions ou la Tomographie.

Le matériel pour la RMP est d'un coût assez élevé.

Cette formation a permis aux uns et aux autres de prendre connaissance des méthodes de prospection hydro-géophysique pour une mise à jour des connaissances et données sur les aquifères.

Le Rapporteur