



# LA POLARISATION PROVOQUÉE

## DESCRIPTION THÉORIQUE DU PRINCIPE DE LA TECHNIQUE

La polarisation provoquée est une technique géophysique qui complète la méthode de résistivité électrique. Elle participe à la description géologique et hydrogéologique. Elle permet également de détecter la migration de certains polluants et de suivre l'activité de biodégradation.

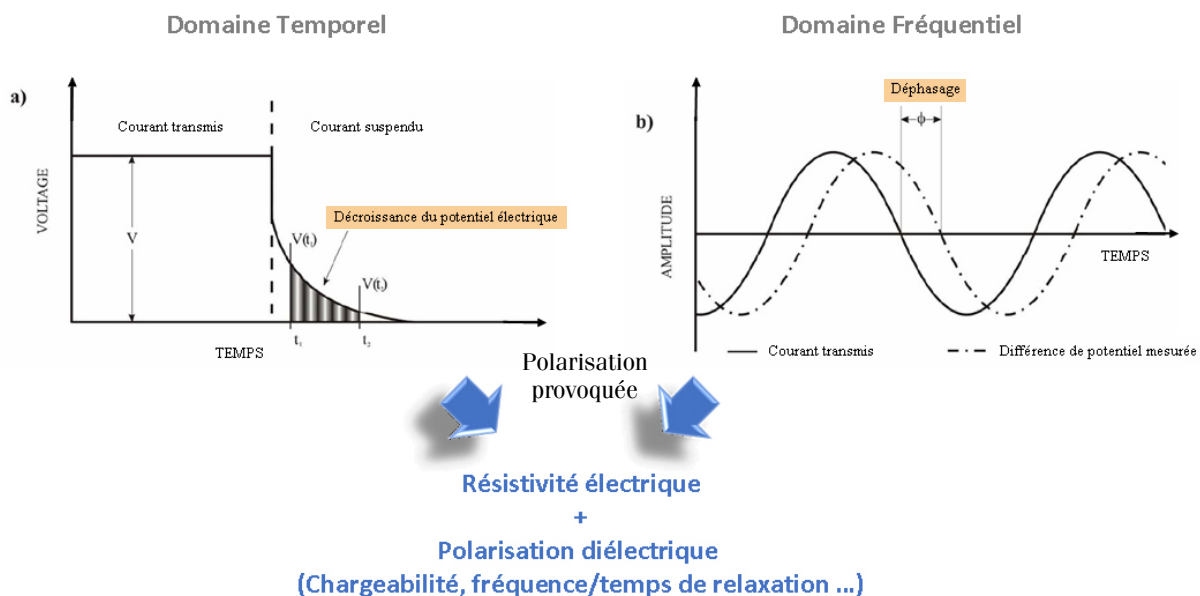
La polarisation provoquée mesure la résistivité électrique complexe d'un matériau ou son inverse, la conductivité électrique complexe. Elle donne des informations sur la capacité du milieu à résister au déplacement des charges électriques (via sa partie réelle) mais aussi sur la capacité du milieu à stocker des charges électriques (via sa partie imaginaire) : c'est l'effet capacitif ou effet de polarisation du milieu.

L'effet de polarisation peut être mesuré de plusieurs manières :

- à partir de la partie imaginaire de la résistivité électrique
- à partir du déphasage entre le signal émis et le signal reçu
- à partir de la chargeabilité du milieu c'est-à-dire du rapport entre le champ électrique induit par l'effet de polarisation et le champ électrique source.

L'effet de polarisation peut être mesuré dans le domaine temporel à partir de la décroissance du signal mesuré après injection du signal ou dans le domaine fréquentiel à partir de la variation de la différence de potentiel rapportée au courant injecté, en fonction de la fréquence de mesure.

C'est l'interprétation des variations de ces paramètres qui permet de conclure sur la mobilité et la dégradation des polluants dans les sols et dans les eaux.



Résultats d'acquisition en polarisation provoquée dans le domaine temporel (a) et dans le domaine fréquentiel (b) [D'après 1].

## CONTEXTE D'UTILISATION

Comme toutes les méthodes électriques, cette technique est **peu adaptée à un contexte urbain** et à la présence d'infrastructures enterrées.

La sensibilité et la précision des résultats dépendent à la fois des concentrations et du volume investigué. Il est nécessaire d'avoir un **contraste de chargeabilité suffisant** entre les variations liées à la pollution et celles naturellement présentes dans l'encaissant.

La profondeur maximale d'auscultation dépend de l'espacement entre les électrodes, de la longueur totale du dispositif et des matériaux présents. Plus le dispositif de mesure est étendu en surface, plus la profondeur auscultée

est grande mais plus la résolution diminue. La profondeur maximale investiguée peut aller de 10 m à plusieurs centaines de mètres.

L'information fournie est **continue spatialement et semi-quantitative et doit être complétée par des investigations physiques** (fouilles, forages) qui donnent des informations ponctuelles et permettent l'échantillonnage des milieux pour des analyses chimiques quantitatives.

**Une étude au cas par cas** est nécessaire pour chaque site afin de comprendre le mécanisme de dégradation du polluant et pouvoir interpréter les résultats géophysiques.

# LA POLARISATION PROVOQUÉE

## À quelle étape?

La polarisation provoquée est sensible aux contrastes dans le sous-sol, ce qui la rend utilisable à toutes les étapes de gestion d'un site pollué.

### Caractérisation du site et de la pollution lors du diagnostic

La polarisation provoquée peut être utilisée pour distinguer des variations d'argilosité dans les différentes couches lithologiques. En effet, grâce à leur surface spécifique importante, les argiles présentent des valeurs de chargeabilité plus importante que d'autres lithologies.

La mesure de la chargeabilité permet également de localiser et d'identifier la migration de certains polluants qui créent un déséquilibre local partiel (polarisation de membrane). C'est le cas des hydrocarbures qui ferment partiellement les pores du matériau.

## POLLUANTS CONCERNÉS

Les polluants qui peuvent être repérés et suivis par la polarisation provoquée sont ceux qui impliquent la discontinuité d'un paramètre physique, généralement des

### Suivi des opérations de dépollution et surveillance

La polarisation provoquée est particulièrement adaptée en suivi de dépollution. Une fois le dispositif mis en place, il est possible de répéter autant que nécessaire les mesures *in situ* et suivre à l'échelle du terrain la dégradation du polluant. Au cours de la dégradation des polluants, les produits dérivés peuvent engendrer des variations de chargeabilité électrique de plusieurs %, notamment lors de la précipitation/dissolution de particules métalliques très polarisables. Au cours de la biodégradation des polluants par l'activité microbienne, la surface équivalente du biofilm créé par ces bactéries peut atteindre plusieurs m<sup>2</sup>/g de sol et créer un effet de polarisation de plusieurs %.

Ces sont ces mêmes propriétés qui sont utilisées lors de la surveillance.

modifications physiques du fluide interstitiel comme les BTEX, HAP, organo-chlorés, phénols et métaux.

## MATÉRIEL NÉCESSAIRE

Le matériel déployé sur le terrain est composé :

- d'une batterie (source d'énergie électrique),
- d'un résistivimètre (générateur de courant continu et récepteur qui mesure les différences de potentiels électriques) équipé pour mesurer l'effet de polarisation dans le domaine temporel (le plus courant) ou fréquentiel,
- d'un ensemble de flûtes (câbles multiconducteurs) connectées aux électrodes plantées dans le sol.

Comme le champ électrique induit est faible en comparaison du champ électrique primaire, il faut veiller à limiter les sources de bruit électrique autant que possible. Ainsi, il est recommandé d'utiliser des électrodes impolarisables.



*Électrode impolarisable reliée à un récepteur permettant des mesures de séries temporelles.*

## MÉTHODOLOGIE

**Établissement du programme de reconnaissance** à partir des données historiques et de la connaissance topographique et géologique du site. Le programme de reconnaissance détaille la méthode d'acquisition choisie (temporelle ou fréquentielle), la zone étudiée, la configuration de mesure (géométrie, échelle et profondeur) et l'implantation des points/profils de mesure. Il peut contenir une modélisation préalable, un mode opératoire et les résultats du test préliminaire ou des mesures préalables s'ils ont été réalisés.

### Acquisition des données sur le terrain

Il est recommandé de faire un premier repérage étendu des variations de résistivité électrique sur le site et de sélectionner à partir de cette première donnée une zone plus resserrée d'étude où le dispositif de polarisation provoquée sera implanté. Les types d'acquisition et les configurations de mesure sont identiques à ceux de la résistivité électrique cependant, la configuration Dipôle-Dipôle est souvent utilisée afin de garantir une bonne qualité de la mesure.

Pour évaluer la qualité des acquisitions, il est recommandé d'utiliser, au moins sur une partie des mesures, un protocole qui permet de vérifier les potentiels réciproques (inversion des électrodes de courant et de potentiel) qui devraient être

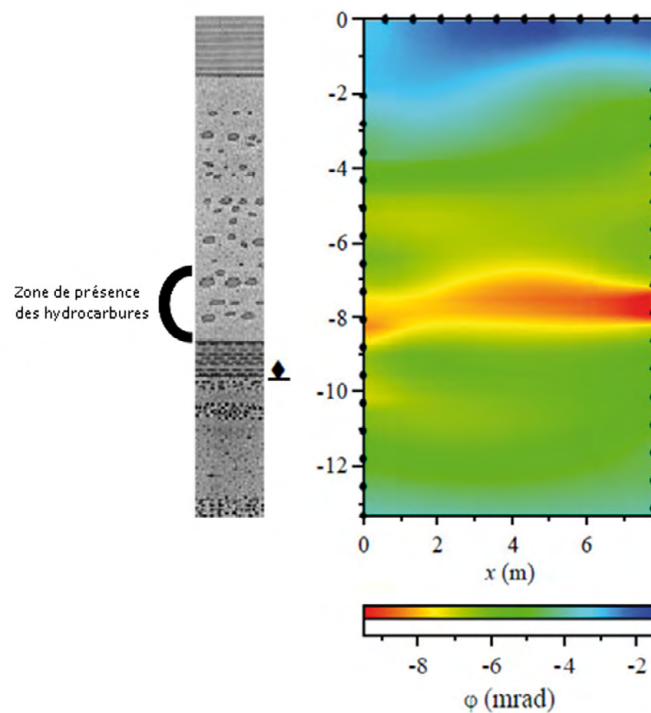
identiques. Par ailleurs, une paire d'électrodes qui a été utilisée comme dipôle d'injection ne doit pas mesurer de potentiel électrique dans les minutes suivantes pour éviter les effets de polarisation d'électrodes.

Dans le cas du suivi d'opérations de dépollution, il est possible de lancer à distance des mesures *in situ* successives.

### Traitement et interprétation des données

Des prétraitements sont réalisés pour repérer et supprimer les valeurs aberrantes et pour supprimer le bruit électromagnétique environnemental. Les potentiels réciproques sont également une partie essentielle de la vérification de la qualité des données. Il est ensuite possible d'obtenir la résistivité électrique et la chargeabilité vraies du sous-sol par inversion.

La restitution des résultats varie selon la méthode d'acquisition (modèle 3D pour la tomographie ou paramètres apparents sans inversion pour le rectangle-gradient), mais inclut toujours deux jeux de données parallèles au moins : un pour la résistivité électrique et un autre pour la chargeabilité.



Polarisation provoquée sur un site pollué par des hydrocarbures.



## AVANTAGES – INCONVÉNIENTS – MATURITÉ DE LA TECHNIQUE

### AVANTAGES

#### Acquisition

- Technique intégratrice et non destructive,
- Technique sensible à la nature et à l'état d'un sol,
- Mise en œuvre simple,
- Rapidité d'acquisition,
- Grande profondeur d'investigation,
- Bonne couverture en suivi temporel.

### INCONVÉNIENTS

#### Acquisition

- Nécessité d'un contact électrique de qualité avec le sol (difficile et coûteux en milieu urbain ou industriel),
- Perturbation par la présence de nombreux objets conducteurs enterrés ou à proximité (dalle béton armé, rails et tuyaux parallèles au profils, cuve métallique, grillage métallique, barbelés mis à la terre, clôture électrique),
- Multiplicité de sources à l'origine de signaux mesurés (variation de température, présence de zones boisées).

#### Interprétation

- Nécessité d'investigations complémentaires ou de mesures directes pour l'interprétation

### MATURITÉ DE LA TECHNIQUE



R&D aboutie, indicateurs non développés, technique rarement utilisée sur le terrain à l'heure actuelle

## DÉLAIS DE MISE EN ŒUVRE

La durée d'acquisition dépend du nombre d'électrodes implantées et du nombre de quadripôles mesurés et du temps d'injection (en domaine temporel) ou de la gamme de fréquence de mesure utilisées (en domaine fréquentiel). Le rendement moyen pour des sites d'accès facile (sur terrain plat, sans végétation ni infrastructures de surface) est de 1 tomographies de 500 mètres par jour. Le rendement est

plus faible que pour la résistivité électrique car la pose des électrodes impolarisables est plus sensible et le temps de mesure peut être doublé en fonction du temps d'injection ou de la gamme de fréquences choisies.

L'interprétation pour un superviseur nécessite 1 jour d'interprétation pour 1 jour de terrain pour une tomographie, sans compter la rédaction de rapport.

### PHASE

### INVESTIGATIONS

### TRAITEMENT ET INTERPRÉTATION

Délai associé



⌚: jour / ⌚⌚: semaine / ⌚⌚⌚: mois

## ÉLÉMENTS DE COÛTS

Les coûts associés correspondent au temps passé sur le terrain pour 2 opérateurs (1 ingénieur géophysicien et 1 technicien) dont une personne expérimentée ainsi qu'à

l'interprétation par un superviseur. La location de matériel est également un poste de dépense non négligeable (environ 1 000 € pour une semaine).

### PHASE

### INVESTIGATIONS

### TRAITEMENT ET INTERPRÉTATION

Coût associé



€ < 100 € / €€ < 1000 € / €€€ > 1000 €

## POUR EN SAVOIR PLUS - RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] AGAP Fiche de bonne pratique sur la polarisation spontanée

[2] Rapport ADEME - Apports et limitations des méthodes géophysiques dans le cadre de la démonstration de l'atténuation naturelle - Projet ATTENA - PHASE 2 - Juin 2013

[3] Rapport ADEME AGAP - Guide des méthodes géophysiques pour la détection d'objets enfouis sur les sites pollués - Janvier 2017

[4] Géophysique appliquée : Code de bonne pratique - BRGM/CGG/CPGF/LCPC - Mars 1992

[5] Fiche de description de l'US EPA

[6] Norme AFNOR 1999 FD X 31-611-2 - Méthodes de détection et de caractérisation des pollutions - Partie 2 : Guide général pour l'utilisation de méthodes géophysiques en criblage de terrain - Août 1999