

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

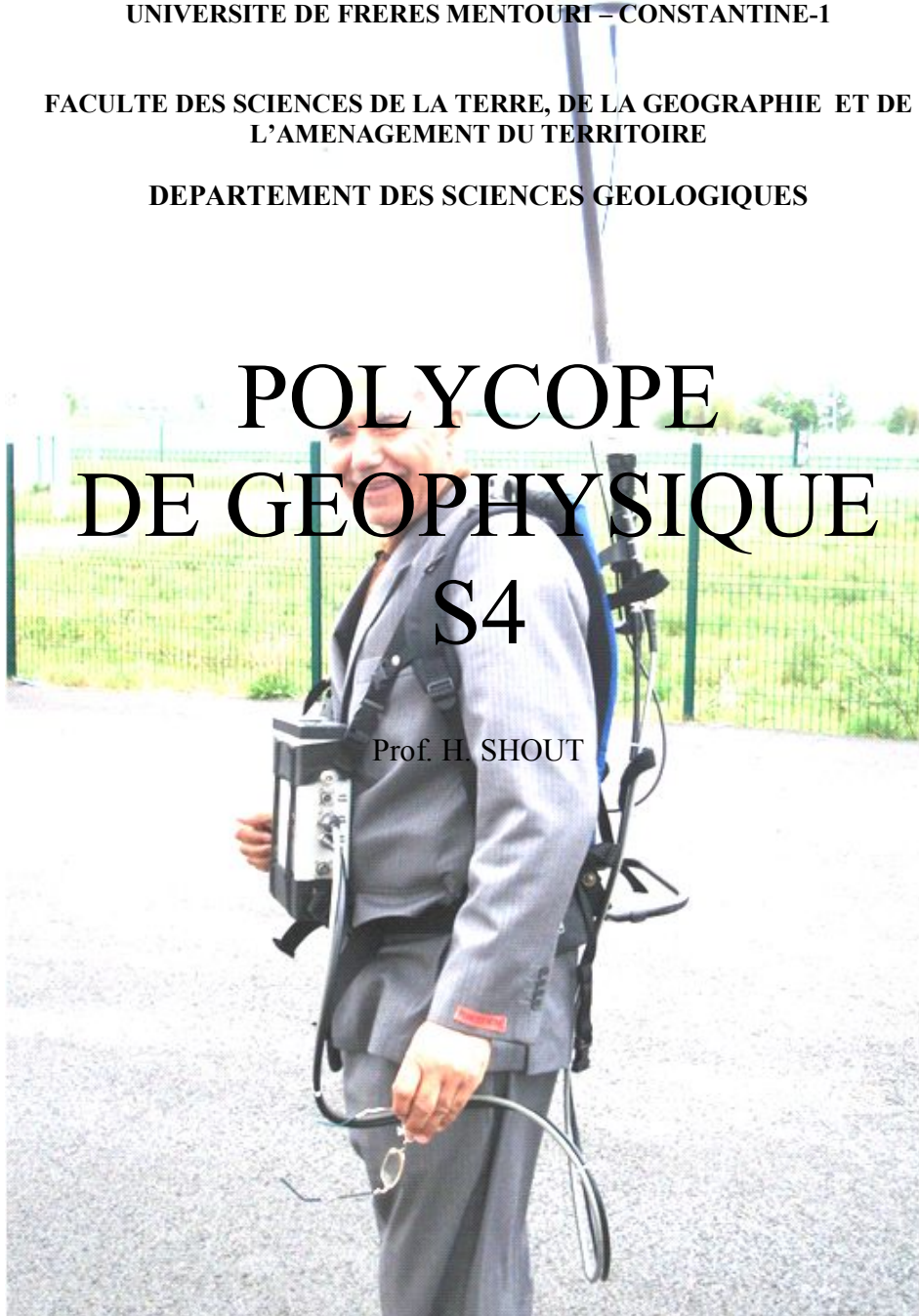
UNIVERSITE DE FRERES MENTOURI – CONSTANTINE-1

FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE, DE LA GEOGRAPHIE ET DE  
L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE

DEPARTEMENT DES SCIENCES GEOLOGIQUES

# POLYCOPE DE GEOPHYSIQUE S4

Prof. H. SHOUT



2020

# NOTIONS DE BASE

## Introduction aux champs physiques

La géophysique est la science qui étudie les phénomènes Physiques dont la terre et l'univers sont le siège. La géophysique est née de l'interaction de ces phénomènes physiques avec les paramètres pétro physiques liés à la roche ou caractéristiques des roches.

Les différents champs physiques qui assurent cette interaction sont : La pesanteur ou la gravitation, l'électricité terrestre et atmosphérique, le champ magnétique (naturel de la terre et induit), le champ électromagnétique tellurique ou artificiel, la vibration (vibrations, ondes), la radioactivité et les radiations (naturelle et artificielle), le champ thermique (énergie solaire, géothermie).

## Formalisme fondamental de quelques champs ou phénomènes physiques

- 1- Phénomène Électrique :
- 2- Phénomène Magnétique :
- 3- Phénomène Electromagnétique :
- 4- Phénomène de Pesanteur ou de la gravitation :
- 5- Phénomène de radiation :
- 6- Phénomène thermique :
- 7- Phénomène vibrations et ondes :

1- LES LOIS DE L'ELECTRICITE :

### Histoire de l'électricité :

#### Débuts de la théorie

---

En 1600, [William Gilbert](#) assimile la Terre à un gros aimant<sup>L1b3</sup> expliquant les pôles Nord et Sud. Lorsqu'il étudie les boussoles, il compare les attractions d'un aimant et de l'ambre: sur le même effet attractif que la composante "magnétique" de l'aimant, il invente pour l'ambre le mot "électrique"<sup>L1b3</sup>. De là nait ce qui s'appelle l'[électricité](#)<sup>V1</sup>.

Depuis 1646 en Angleterre le terme « *électricité* » est employé dans la trilogie « gravité, magnétisme, électricité »<sup>La3</sup> dont Isaac Newton est un [extrait1](#) des mathématiciens-philosophes.

En 1660, [Otto von Guericke](#) crée une production d'électricité expérimentale avec une boule de soufre frottée par rotation: il constate des étincelles qu'il compare avec les éclairs<sup>L1b1</sup>. Une [lumière](#) a probablement été vue à partir de cette machine.

En 1669, [Hennig Brand](#) découvre le phosphore, avec la [lumière](#) qui en est issue<sup>1</sup>.

En 1676, [Ole Christensen Rømer](#) évalue la vitesse de la lumière à l'Observatoire de Paris<sup>L4a1</sup>.

Entre 1676 et 1689 [Gottfried Wilhelm Leibniz](#) le mathématicien-philosophe propose une théorie vectorielle de la [force vive](#), la « conservation de l'énergie de mouvement relatif des objets » par rapport au temps dans leurs systèmes autonomes. Il est en opposition au [mécanisme théorique](#) de Newton et Descartes issu du « plein » de la "[chose étendue](#)" reliant toute chose, les perceptibles comme les immatérielles.

En 1733, l'[intendant Du Fay](#), en France examinant l'attraction et la répulsion de corps électrisés par frottement, distingue une électricité positive et une électricité négative<sup>La4</sup> (électricité *résineuse* venue de l'ambre et du soufre, électricité *vitreuse* ou *vitree* venue du verre).

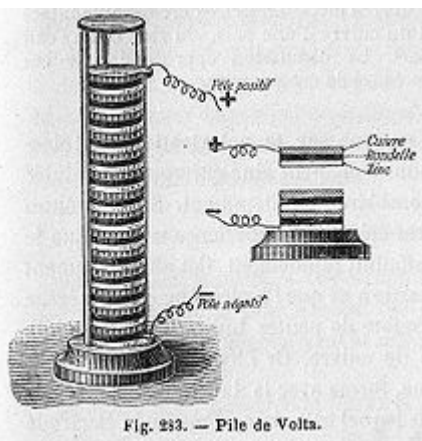
En 1746, le docteur Maimbray en Écosse procède à l'étude de l'effet de l'électricité sur deux plantes, en prémices de l'« [électroculture](#)<sup>extrait 3</sup> ». Dans cette période des suppositions sont établies de l'existence de l'électricité dans le corps vivant<sup>L24.1</sup> faites à la suite de l'usage de machine électrostatique.

En 1747, [Jean le Rond D'Alembert](#) établit l'[Équation de d'Alembert](#) de propagation d'onde. (Elle est analogue aux quatre équations de Maxwell du XIX<sup>e</sup> siècle)<sup>Lib.1</sup>.

En 1752, [Benjamin Franklin](#) a la vision théorique que la [foudre](#) est un phénomène dû à l'électricité et invente le paratonnerre: il est mis en place<sup>V.1</sup> en France en toute première application par [de Buffon](#) et [Dalibard](#) pour le démontrer.

Vers 1770 une expérience de [Luigi Galvani](#), en Italie, va avec des cuisses de grenouilles mises en contact avec différents métaux, mettre en évidence le phénomène de nature nouvelle: la contraction des muscles d'un animal. Pour lui, « l'[électricité animale](#) est une électricité d'une nature différente de celle de l'« électricité de la foudre ». Elle n'est pas en mouvement et se situe dans le corps: il écrit en 1786 « de ANIMALI ELECTRICITATE »<sup>V.1</sup>.

Cependant en 1773, le chimiste [Henry Cavendish](#) en Angleterre a fabriqué une "maquette" de poisson-torpille avec des [bouteilles de Leyde](#) (connues depuis 1745) imbriquées enterrées. Et une "électricité" de même [nature](#) que la foudre — puisque venant du système du ciel et du sol — y a été constatée avec les mêmes effets contractants (environ 2 500 V) que l'électricité animale du poisson-torpille (environ 250 V)<sup>V.1</sup>.

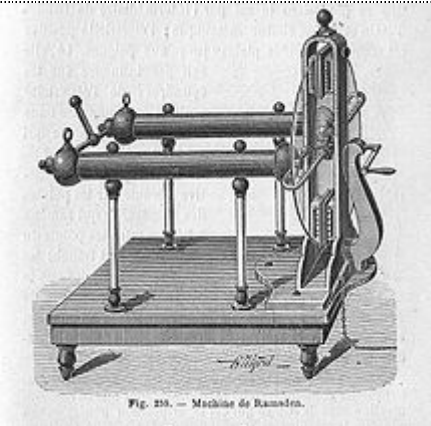


En 1799, [Alessandro Volta](#) invente la [pile électrique](#) en empilant alternativement des disques de métaux différents ([cuivre](#), [zinc](#)) séparés par des disques de [feutre](#) imbibés d'[acide](#) qui sont l'image des petits muscles du poisson torpille.

En Italie, Luigi Galvani qui est un tenant de l'« ordre divin » où « Dieu donne vie » est opposé *philosophiquement* à [Alessandro Volta](#), ils appartiennent à deux Universités concurrentes<sup>V.1</sup>. Vers 1800, Volta, afin de démontrer et confirmer son point de vue sur les phénomènes électriques, part des observations antérieures du poisson-torpille, simule les nombreux petits muscles interstitiels par des cartons imbibés entre des plaques et surtout les empile en série<sup>L15.1</sup>. Il met au point le premier objet qui fournisse de l'« électricité » sans *transformation d'un mouvement mécanique* et de façon continue: la [pile voltaïque](#) ancêtre de la [pile électrique](#)<sup>V.1</sup>. Le « *fluide électrique* » ayant des « *goûts différents sur la langue* » selon leur [inventeur](#) (électricité générée par la transformation chimique de métaux avec la salive).

Le courant continu "artificiel" de basse tension est ainsi une conséquence de la tenue des expériences sur le vivant animal démonstratrices des philosophies différentes<sup>V.1</sup>. Elle montre que la recherche initiale de la connaissance physique est intuitive et associée à la perception par les sens humains.

## Premières découvertes : électricité statique



une machine de [Ramsden](#) électrostatique à disque en verre frotteurs en cuir, peignes collecteurs et éclateur à l'arrière

Les premières recherches factuelles concernant l'électricité avant l'avènement de l'[électromagnétisme](#), se focaliseront sur la [charge électrique](#)<sup>La 5</sup> des objets donnant les [phénomènes électrostatiques](#).

Précédemment observée par ses effets d'attraction des corps légers ou bien de "décharge" par étincelles, l'électricité résineuse ou vitreuse en équilibre dans les corps "chargés" (en analogie avec la charge pondérale et le [matériel de levage](#)) aboutit au concept d'« électricité statique ». Avec la production d'une "charge" d'électricité avec des [machines](#) « à frottement »<sup>V1</sup> peuvent commencer les premières expérimentations concrètes. Le premier exemplaire pratique fut celui de [Francis Hauksbee](#) avec un globe de verre en [1705](#).

Suivant les façons de faire en bonne société, des spectacles popularisent « l'électrique » (terme anglais « *electric* » d'époque) grâce aux pouvoirs de fascination de ce qui devient le « nouveau [feu sacré](#) » dans le monde du merveilleux.

On crée alors la « *physique amusante* », physique scientifique qui s'occupe de la « danse électrique », de la « blquette », petite étincelle sortant du doigt s'approchant d'un corps chargé... Ainsi des « électriciens »<sup>V</sup><sup>1</sup> ([présentateurs](#)) se chargent en électricité capable par décharge de produire des étincelles pouvant allumer de la poudre noire, enflammer de l'alcool ou fournir une secousse aux spectateurs. La mode est de faire l'expérience de la « béatification électrique »<sup>V1</sup> chaise isolante sur laquelle se tient une personne portant une couronne métal produisant un halo (d'[électroluminescence](#) dû au [champ électrique](#)), spectacle du physicien [Georg Matthias Bose](#)<sup>L16 1,2</sup>.



Démonstration d'une machine d'"électricité médicale" par [George Adams](#) (en)<sup>L281</sup>, dans son livre « An Essay on Electricity, to which is added an Essay on Magnetism » (1784). Gravure de J. Lodge, (1799).

L'utilisation médicale antique de l'électricité ([#L'usage de l'électricité produite par des êtres vivants](#)) se poursuit dans les mêmes temps. [Jean Jallabert](#), utilise une machine électrostatique en [1748](#) et parvient à obtenir une amélioration notable en dirigeant la décharge sur les muscles d'avant-bras chez un patient paralysé.

L'utilisation thérapeutique de l'électricité se répand en Angleterre, elle est documentée dès [1767](#) à Londres, avant les démonstrations anatomiques de [Luigi Galvani](#) vers [1770](#).

[Jean-Paul Marat](#) en août [1783](#) se voit décerner le prix de l'Académie de Rouen pour son Mémoire sur [l'électricité médicale](#).

[Ramsden](#) qui est essentiellement un opticien s'intéressant au repérage des étoiles, en [1766](#) fabrique sur le mode utile une première machine avec boule de chargement d'électricité qui remplace les machines de Hauksbee à globe de verre. L'effet de pointe déjà vu par [Benjamin Franklin](#) y est utilisé.

En [1785](#), après les travaux de [Benjamin Franklin](#), [Luigi Galvani](#), [Henry Cavendish](#) - qui a établi que le « fluide électrique se déplace en surface »<sup>L1b1</sup> - et les constats d'existence de l'électricité donnés par les [électroscopes](#), mais avant les travaux d'[Alessandro Volta](#), [Charles Coulomb](#) présente un deuxième mémoire à l'[Académie des sciences](#). Il expose la loi selon laquelle les corps chargés électriquement interagissent avec la quantité d'électricité ([charge électrique](#)) et la distance géométrique. Il développe la [Balance de Coulomb](#) instrument de démonstration et de mesure permettant la vérification de sa loi en indépendance de la nature de l'électricité en discussion: animale ou foudroyante, positive ou négative.

## Conduction électrique

---

Au XVIII<sup>e</sup> siècle les expériences de [Stephen Gray](#)<sup>V1</sup> marquent la découverte de la [conduction électrique](#) et distingue les matières isolantes et conductrices. Dans des spectacles basés sur l'électricité « positive <sup>La4</sup> », en [1720](#), il met en scène ses « electric boys », jeunes garçons suspendus au plafond par des balancelles munies de cordes en soie ou isolés du sol sur des tabourets en verre. Électrisés, ils émettent des étincelles si on place un conducteur devant eux ou attirent avec leur main des feuilles d'or. En février [1729](#), ayant frotté un grand tube de verre fermé par deux bouchons de liège, il constate « qu'il y avait certainement une « vertu<sup>3</sup> attractive » communiquée au bouchon par le tube excité ». Il parvient alors à transmettre sur de grandes distances le pouvoir d'attraction en utilisant une ficelle de 80 mètres de longueur environ, suspendue par des fils de soie. L'expérience échoue avec la suspension par des fils en laiton, amenant Gray à diviser les substances en isolants et conducteurs<sup>4</sup>.

La découverte de la [bouteille de Leyde](#) contenant de l'eau comme récepteur de la charge électrique stockée par l'isolation du verre donne en [1745](#) l'ancêtre des [condensateurs](#) avec leur conception du matériau [diélectrique](#).

Mais surtout, par le hasard<sup>V1</sup> expérimental à Leyde, on remarque la secousse plus violente de la décharge de l'électricité reçue par lui si l'expérimentateur est en contact avec le sol. Par l'analogie faite avec le transport des fluides liquides portés sur un bateau naviguant sur un autre fluide liquide<sup>V1</sup>, la mer immense et sans mouvement de descente, l'électricité est théorisée comme un élément à charge de deux natures: électricité positive et électricité négative qui s'annulent mutuellement et fournissent une force puissante entre la machine de charge et la planète Terre. Il s'agit du « fluide électrique » en excès ou en défaut dans la matière (dont la nature "atomique" n'est pas envisagée au XIX<sup>e</sup> siècle<sup>L1b1</sup>).

La notion de courant électrique est née: l'électricité n'est plus seulement statique.

Dans la période 1780 [Henry Cavendish](#) a imaginé cette notion de « charge condensée d'électricité qui est proportionnelle au "degré d'électrification" (différence de "potentiel électrique<sup>La2</sup>") » de la bouteille<sup>L1b1</sup>.

Fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, on s'interroge beaucoup sur le lien entre l'électricité et la vie, on marque de l'intérêt pour les « poissons foudroyants »<sup>5</sup>.

## XIX<sup>e</sup> siècle

---

### Courant électrique dans la société

---

Au cours de ce [XIX<sup>e</sup> siècle](#), la formalisation des phénomènes électriques et magnétiques s'appuie sur une structuration de conception par l'esprit en Occident: la « [pensée moderne](#) ». Elle a pour maxime<sup>extrait</sup>

<sup>4</sup> institutionnelle « Scientia et Labore »(*savoir et travail* -lat.).

Elle est une reprise et continuation de la théorie de<sup>extrait 1.L10.1</sup> Newton constituée en mode de pensée [analogique](#) - partant de phénomènes ordinaires tels que les courants d'air légers pouvant emporter une plume et la pomme qui tombe et aboutissant au [CQFD](#) des mathématiques.

Cette théorie donnant les lois de l'électricité est celle des [flux](#), les fluides ou forces associés aux distances géométriques sans transport de matière, et des entités -(quantités définies unitairement) toutes mesurables même si non visibles et sans masse perceptible.

La réforme de la science chimique et physique à la Révolution française élimina la théorie culturelle des « [quatre \(ou cinq\) éléments](#)<sup>6</sup> et des « [humeurs](#) ».

Avant cela historiquement, la conception du « plein » et du « vide » posait un questionnement au XVII<sup>e</sup> siècle avec par exemple la formulation de l'atmosphère terrestre en épaisseur, forme et consistance (l'invention du corps physique « gaz » est débutée par un [médecin](#) vers 1670 qui amorce la substitution de la chimie<sup>L1c1</sup> à la place de l'[alchimie](#)).

Au XIX<sup>e</sup> siècle cela se poursuit dans la science pour les deux éléments métaphysiques préalables à la démarche de Newton<sup>2</sup> du « [rien](#) » et du « quelque chose », résolus ultérieurement à l'aide de la théorie des [ensembles](#) mathématiques qui produira une image correcte de la réalité.

Physiquement « le plein » a une transparence à la lumière qui est un problème, et pour ce qui concerne une vision avec « le vide », la conduction de rayonnement attend aussi une explication; Ils peuvent véhiculer des « fluides ».

On fait alors usage des inventions pratiques comme celle de l'« [éther](#) »<sup>L1b1</sup> (dispositif « faux » abandonné<sup>L14.1.La</sup> ultérieurement) et de l'[ion](#)<sup>8</sup> (dispositif qui sera reconnu « vrai » lorsque les moyens techniques le permettront).

On effectue une théorisation déterministe<sup>note 2.La 7</sup> de « savoir exact<sup>L34.1</sup> » et qui s'appelle la « [Science](#) »<sup>L3.1</sup>.

On applique cependant la terminologie grecque qui était, elle, issue de la pensée philosophique de la création « sacrée<sup>extrait 5</sup> ».

Un vocabulaire sur l'électricité se constitue<sup>extrait 6</sup> avec pour références initiales les machines à frottement qui sont « chargées<sup>La 5</sup> » d'électricité statique, plus la puissance électrique fournie par la chimie avec les électrodes et enfin le magnétisme<sup>9</sup>.

En même temps se formule une religion<sup>L5.1</sup> dogmatique<sup>note 1</sup> du progrès humain<sup>extrait 4</sup> par la science<sup>note 3</sup> pour dire le « pourquoi » des choses, cela avec des concepts de « principe universel »<sup>L1c.2</sup> en équivalence avec celui de la religion ([Scientisme](#))<sup>extrait 7</sup>.

Le constat, dans la période 1820-1825 par André-Marie Ampère lorsqu'il définit la loi du « [Bonhomme d'Ampère](#) », que l'aiguille aimantée ne pointe pas vers le fil électrique trouble toute la communauté des savants, qui n'y trouve pas d'explication. Ceci n'est pas cohérent avec la théorie Newtonienne de la [Mécanique](#) qui comprend force et direction et vitesse du mobile liés.

La « Recherche fondamentale » se déploie pour trouver une explication, c'est le constat qu'il existe une autre « sorte de force »<sup>10</sup>.

En 1831, [Michael Faraday](#) aborde la notion de « *courbes magnétiques* » avec de la limaille de fer jetée sur un papier au dessus d'un aimant : elles dessinent des « *lignes de force* », celles du « *flux magnétique* ».

La notion de « [champ](#) » pour la science des phénomènes comportant un effet mécanique est née<sup>11</sup> avec les [repères cartésiens](#).

La [mathématique](#) qui doit représenter cela aborde l'« [espace vectoriel](#) » de façon [topologique](#) avec le [nombre complexe](#). Cet espace deviendra [normé](#) en fin de siècle et cet espace reposera encore la notion [Leibnizienne](#) de l'[infini](#) du siècle précédent.

La nature de l'électricité et du magnétisme est hors de portée de la perception sensorielle humaine usuelle, qui ne perçoit en permanence que la gravité, elle se définit par l'usage conventionnel.

Ainsi naît la houille blanche, par analogie de pensée expérimentale<sup>extrait 7</sup> avec le courant puissant de l'eau et de ses chutes canalisées, effective au tournant du siècle à partir de la Suisse et l'Autriche puis la France, par le turbinage électrique, qui continue le modèle des moulins mécaniques vent et eau très implantés dans l'industrialisation naissante au Moyen Âge. L'époque du XIX<sup>e</sup> siècle est encore celle de la [houille](#) en usage industriel intense dans la métallurgie; ce terme est un mot imagé pour désigner toute forme d'énergie, sa distillation ayant donné au début du siècle le [gaz manufacturé](#). Cette époque de l'énergie nécessaire à son fonctionnement de production d'objets dans les pays développés démarre aussi en son milieu l'usage du [pétrole](#).

L'*utilité économique* ([brevet](#)) des phénomènes que constituent<sup>L1b2</sup> le « courant électrique », le « champ électrique », le « champ magnétique » et, les « ondes », est la motivation de la recherche des lois qui modélisent. Dans cette démarche de [progrès](#) le hasard a sa part. C'est une démarche autant pragmatique que scientifique, (par exemple l'électrotechnique<sup>12</sup> des machines à noyaux plongeurs reprenant le « Système bielle-manivelle » des machines à vapeur existe en même temps que celle des machines rotatives).

Le déterminisme de la physique classique<sup>13</sup> se met en place pour la pratique avec l'invention des premiers appareils de mesure du « courant électrique ». [André-Marie Ampère](#) définit la première unité de mesure du courant électrique, l'[intensité d'un courant électrique](#), aboutissant au premier [ampèremètre](#) en 1821, il crée et définit les termes distinctifs « électrostatique » et « électrodynamique », il invente le terme de « tension électrique<sup>La.8</sup> »<sup>L1b.1</sup>.

La curiosité sur les phénomènes dans leur ensemble se poursuit, elle amène à quantifier pour former les caractéristiques: ainsi la vitesse de propagation de l'électricité est l'objet de recherches analytiques<sup>L20</sup><sup>1</sup> essentiellement en Allemagne.

En 1832 [Joseph Henry](#) crée l'unité de mesure d'induction électrique qui servira à calculer tout ce qui utilise l'« électromagnétisme »<sup>L23.1</sup>.

L'électricité est un nouveau [média](#) technique qui permet la communication à distance dès le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle en remplacement du télégraphe optique (avec un langage articulé à trois états électriques: rien, créneau bref, créneau long)<sup>V.2</sup>. Elle fait l'objet d'une [Convention télégraphique internationale](#)<sup>extrait 8</sup> avec son usage généralisé après la première liaison Baltimore-Washington aux États-Unis (1844)<sup>14</sup>. La téléphonie se développe<sup>L23.2</sup>, elle permet une télécommunication instantanée installée dans des zones d'habitat dense. L'électricité « vecteur de message » autrement dit « vecteur de communication » ou encore « [vecteur d'information](#) » est né. Il existe en importance applicative avant le « vecteur énergie ».

L'électricité peut devenir à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle une énergie produisant des mouvements mécaniques à source distante, le hasard de l'installation<sup>note.4</sup> d'un « [circuit électrique](#) » entérine le constat de la conversion pratique en [énergie cinétique](#) et de la réciprocité.

Cet usage possible s'ajoute à ses utilisations potentielles déjà constatées à partir des effets calorifiques, lumineux et chimiques.

C'est l'aboutissement de l'avancement technique préalable des industries des matériaux conducteurs et cela induit le développement des ateliers et usines d'emboutissage et de tréfilage d'alliages de cuivre amagnétiques, ceux d'aciers résistants (fils électriques, "résistances électriques"<sup>note.5</sup>).

En même temps s'effectue la croissance de l'industrie des [isolants électriques](#) avec le développement des industries du [verre](#), de la [porcelaine-céramique](#), du [caoutchouc](#) ou du bois. À ces matériaux déjà en place pour d'autres usages s'ajoutent au début du XX<sup>e</sup> siècle la [bakélite](#) et les [verniss](#) puis les [huiles](#) pour la science du [bobinage](#)<sup>note.6</sup>. La science mécanique des plaques et coques et profilés métalliques assemblés est mise à profit, l'industrialisation devient possible.

L'électricité peut alors sortir d'une production utile et non expérimentale jusqu'alors essentiellement obtenue par des effets de réactions chimiques, que cela soit pour des communications ou encore à ses débuts la fabrication de la lumière artificielle, etc. Elle entre alors dans la conversion d'énergie physique<sup>L37.1</sup>.

L'électricité est une nouveauté conceptuelle pour son époque, elle se détache de son aspect d'outil, elle suscite un engouement populaire dans le dernier tiers du XIX<sup>e</sup> siècle.

La culture moderne est aidée dans sa diffusion par la prospérité des revues, journaux et affiches de communication.

L'électricité est déclinée à cette époque dans les pays comme Les États-Unis, l'Angleterre, la France sous son aspect scientifique dans les feuilletons de journaux, et du théâtre<sup>15</sup> autant que sous son aspect d'idéal ludique.

Le transport d'électricité change le paysage des pays qui en développent l'usage sur des distances qui peuvent être longues; Cela surtout si l'énergie vient de l'eau<sup>L23.3</sup>.

Les zones urbaines commencent à se différencier plus fortement encore à la fin du siècle; L'habitat somptueux nouveau est dans cette pratique fortement ostentatoire<sup>extrait 7</sup> du luxe de l'électricité pratique et confortable<sup>extrait 9</sup>.

Il s'agit tout d'abord des premiers [gratte-ciels](#), qui deviennent un signal dans l'échelle des valeurs modernes<sup>R.1</sup>.

La banlieue industrielle — qui se différencie des faubourgs artisanaux historiques — est une zone qui se définit entre autres par le fait de l'usine utilisant de l'énergie et par ailleurs fabricant son électricité pour la livraison à soi-même. Cet établissement industriel agglomère autour d'elle l'habitat de ses ouvriers, géré par elle ou installée « par la force des choses » sans plan d'urbanisme en « mitage » de la campagne<sup>16</sup>.

Au moment où on détermine que électricité et lumière sont liées parce que le [plus petit élément porteur d'électricité](#) va à la « [vitesse de la lumière](#) »<sup>Li2</sup> s'ajoute à la fin de siècle l'étude de la radio-activité dans ce qui poursuit la mise en théorie du « quelque chose » qui est « électricité » en [dualité onde-corpuscule](#).

## Conduction électrique

---

En 1827 [Georg Ohm](#) publie<sup>L234</sup> et énonce la loi des courants électriques en circuit sans composant électromagnétique, la [loi d'Ohm](#). Elle deviendra après le XIX<sup>e</sup> siècle la loi fondamentale des circuits par l'extension de son concept philosophique appartenant à « l'école du [contactisme](#)<sup>8</sup> », autant que par sa conception physique de [système](#) en équilibre, conception modélisée par la mathématique de la géométrie. Une des ébauches de la [systémique](#).

Article détaillé: - [lon](#) -

Plus: [Théodor Grotthuss](#), [Histoire de l'électrochimie](#), [Électrolyse de l'eau](#), [Histoire de l'électrophysiologie](#)

En 1874, [Friedrich Kohlrausch](#)<sup>17</sup> établit la loi sur la conductivité des électrolytes<sup>18</sup>. En 1875, [Gabriel Lippmann](#) fabrique un électromètre avec ce qui sera nommé l'[électromouillage](#). En 1887, [Svante August Arrhenius](#) élabore la théorie acide/ base de la dissociation ionique<sup>18</sup>. En 1889, [Walther Nernst](#) formule la dynamique électrochimique<sup>18</sup>.

La théorie de l'[ionisation](#) se met en place à partir du milieu du siècle. Elle définit « l'école du [chimisme](#)<sup>8</sup> », elle représente une pensée<sup>La9</sup> qui structure de façon transversale la société moderne composant entre le biologique [vivant](#) comprenant la « [force vitale](#) » et le physique inerte ou [dynamique](#). Cet ensemble de notions utilise toujours la théorie mécaniste Newtonienne de l'attraction particulière qui lie celles-ci par le mouvement, tout en donnant à leur ensemble, la structure composée, une forme globale (un volume) et une masse<sup>extrait</sup><sup>10</sup> en y ajoutant l'attraction par le champ électrique.

Le comportement physique et chimique des atomes connus est établi dans la [table des éléments](#) de [Dmitri Mendeleïev](#) en 1869, sa configuration permet de prédire les propriétés des éléments inconnus qui vont le compléter.

La [chimie physique](#) est mise en place. L'isolation de circuits électriques a d'abord été un constat de propriétés de matériaux solides dans un environnement en fin de XIX<sup>e</sup> siècle: les télécommunications ont fait leurs essais avec l'emploi des matières rigides traditionnelles (verre, porcelaine, mica, bois) et ont essayé des matières souples de textile et de papier imprégnés avec des goudrons, des [gommes](#) et résines avec des résultats variables.

La planète Terre est connue depuis l'invention de l'électricité statique et la Bouteille de Leyde pour être un élément conducteur. La conduction depuis le générateur avec un seul fil jusqu'à l'utilisateur et le retour par la terre a existé dans des projets mis en place comme ceux de clôtures électriques pour le bétail, mais aussi dans ceux de réseaux de distribution ruraux économiques d'énergie électrique (qui seront effectifs dans le monde au XX<sup>e</sup> siècle<sup>note 7</sup>).

### *Force de Coulomb*[\[modifier\]](#) | [modifier le code](#)

---

La force exercée par une [charge électrique](#)  $q_1$  placée au point sur une charge  $q_2$  placée au point s'écrit ,

où  $\epsilon_0 \cong 8,854 \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$  est une constante universelle appelée [constante diélectrique](#), ou [permittivité du vide](#). La loi de Coulomb n'est pas valable pour des charges en mouvement mais uniquement dans un référentiel où elles sont toutes les deux fixes. La loi de Coulomb, énoncée ainsi, l'est en réalité dans un système d'unités où la [charge électrique](#) est une grandeur physique non commensurable avec toute autre unité issue de la [mécanique newtonienne](#). Cette nouvelle unité motive l'introduction de la constante diélectrique pour que le rapport du produit de deux charges électriques à la permittivité du vide soit une unité de mécanique (en l'occurrence une [force](#) multipliée par une [surface](#)). On peut, de façon alternative mais souvent peu éclairante, utiliser un autre système d'unités ne faisant pas appel à une nouvelle unité



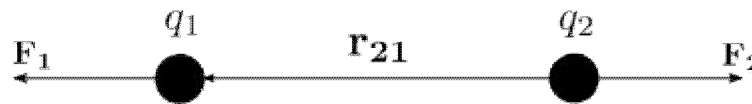
pour la charge électrique. Le système d'unités le plus fréquemment utilisé est le [système CGS](#), où la loi s'écrit plus simplement

Dans ce cas, les distances doivent *impérativement* être exprimées en [centimètres](#) et les forces en [dynes](#). La charge électrique possède alors l'unité hybride appelée [unité électrostatique](#), ou « esu », issu de l'[anglais](#) *electrostatic unit*, puisque le système CGS est principalement utilisé dans les pays anglo-saxons.

## Description scalaire, vectorielle et graphique [\[modifier\]](#) | [modifier le code](#)

La loi de Coulomb peut être énoncée comme une expression mathématique de forme [scalaire](#) et [vectorielle](#) :

où  $\epsilon_0$  est la [permittivité du vide](#),  $q_1$  et  $q_2$  sont les magnitudes positives ou négatives des charges, le scalaire  $r$  est la distance entre les charges, le vecteur  $\mathbf{r}_{21}$  est la distance vectorielle entre les charges et  $\mathbf{e}_{21}$ , c'est-à-dire un vecteur unitaire pointant de  $q_2$  vers  $q_1$ .



La forme vectorielle ci-dessus calcule la force  $\mathbf{F}_1$  appliquée sur  $q_1$  par  $q_2$ . Autrement, si on utilise  $\mathbf{r}_{12}$ , alors l'effet sur  $q_2$  est calculé, bien que cette quantité peut être calculée facilement via

la [troisième loi de Newton](#) :  $\mathbf{F}_2 = -\mathbf{F}_1$ . Le vecteur  $\mathbf{r}_{21}$  donne donc la direction de la force, mais c'est le produit scalaire  $q_1 q_2$  qui détermine si la force est attractive ou répulsive : si  $q_1 q_2$  est positif, la force est répulsive ; si  $q_1 q_2$  est négatif, la force est attractive<sup>3</sup>.

## Constante de Coulomb [\[modifier\]](#) | [modifier le code](#)

Le préfacteur qui intervient dans l'expression de la loi de Coulomb est aussi nommé constante de Coulomb, et est défini à partir de la [permittivité du vide](#) :

$$8,987\ 551\ 787\ 368\ 176 \times 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$$

## Paramètres pétro physiques liés à la roche ou caractéristiques des roches.

Les paramètres pétro physiques des roches (caractéristiques des roches) sont : La densité, la résistivité électrique, la susceptibilité magnétique, l'élasticité (paramètres élastiques), la permittivité électrique ou diélectrique, la température, la porosité, la perméabilité, le rayonnement ou radiation.

Ainsi à chaque relation établie entre propriété physique de la roche (paramètre physique de la roche) et champ physique se construit une méthode géophysique, nous avons par conséquent :

- 1- la méthode gravimétrique construite à partir de la relation « densité des roches » et « force d'attraction ou de gravitation »
- 2- La méthode magnétique construite à partir de la relation « susceptibilité magnétique des roches » et « champ magnétique terrestre »
- 3- La méthode sismique construite à partir de la relation « paramètre élastique des roches ou paramètres élastiques de Lamé, traduisant les relations forces et déformations conduisant à la relation vitesse des ondes de compression ou de déformation » et le phénomène physique vibrations-ondes.
- 4- La méthode électromagnétique construite à partir de la relation « permittivité électrique ou diélectrique, perméabilité magnétique des roches » et « champ électromagnétique naturel ou artificiel »
- 5- La méthode électrique construite à partir de la relation « résistivité ou conductivité des roches » et « champ électrique »
- 6- La méthode radioactive construite à partir de la relation « éléments radioactifs présents dans la roche Uranium, Thorium » et champ radioactif «  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  »

## Les propriétés physiques des roches

Une roche : Une roche peut être définie comme un assemblage de minéraux ayant hérité de liaisons plus ou moins fortes au cours de son histoire géologique. La description d'une roche se fait sur un échantillon observé à la loupe et éventuellement au microscope optique polarisant ou électronique à balayage. On décrit la texture, les minéraux présents, la taille des grains, les fissures et les altérations.

Le nom d'une roche est donné en fonction de sa composition minéralogique, de sa texture et de son mode de formation. Ce dernier conduit à distinguer trois grandes familles de roches : sédimentaires, métamorphiques et magmatiques.

Les propriétés ou caractères physico-chimiques des roches adoptés pour les études géophysiques doivent, à la fois, être suffisamment différenciés ou contrastés d'un milieu à l'autre ou d'une roche à l'autre et d'autre part fortement ressentis (forte amplitude) afin d'assurer un bon enregistrement du signal par les différents capteurs géophysiques

### 2-1 - Densité des roches

Ce sont les méthodes Gravimétriques qui étudient l'effet de la répartition des roches du sous-sol (**densité**) sur le champ de pesanteur terrestre (roches denses ou roches légères).

On mesure généralement les variations de l'accélération " $g_{\text{gravité}}(\mathbf{d}_{\text{densité}})$ " de la pesanteur entre les différents points répartis sur la surface du sol: On utilise pour cela des appareils appelés "gravimètre".

## **2-2 - Propriétés magnétiques des roches.**

Ce sont les méthodes magnétiques: Susceptibilité magnétique et magnétisme rémanent qui étudient l'effet de la répartition des roches du sous-sol (**susceptibilité magnétique**) sur les variations du champ magnétique terrestre d'un point à l'autre de la surface.

Le contraste magnétique entre les roches, permet de localiser les gisements ferromagnétiques, grâce à des appareils dits:

Magnétomètres, permettant la mesure des variations du champ magnétique total et induit.

## **2-3 - Vitesse de propagation d'un ébranlement dans les différentes roches.**

Les vitesses de propagation des ébranlements générées souvent à la surface dépendent des constantes élastiques des roches et de leurs densités.

Ce sont les méthodes sismiques qui mesurent et étudient les temps de propagation des ondes élastiques entre un point d'explosion(dynamite) ou un ébranlement(vibreux) et un certain nombre de sismographes ou géophones convenablement placés à la surface du sol.

Les temps observés dépendent des trajets parcourus c'est-à-dire à la fois de la répartition des terrains et de leurs "vitesse" respectives fonction des propriétés élastiques des terrains traversés. On distingue la sismique réfraction (réfraction des ondes sismiques) et la sismique réflexion (réflexion des ondes sismiques)

## **2-4 - Propriétés électriques des Roches (résistivité)**

Les méthodes électriques étudient les variations en surface et en profondeur du potentiel créés par le passage d'un courant électrique dans le sous sol, qui est fonction de la résistivité des roches traversées (corps conducteurs ou résistants).

Selon les procédés mis en œuvre: Nous distinguons les sondages électriques (champ électrique artificiel ou provoqué), telluriques et électromagnétiques (composantes électriques, naturelles ou artificielles-provoquées).

## **2-5 - Propriétés électromagnétiques**

Les méthodes électromagnétiques étudient les variations en subsurface et en profondeur de composantes du champ électromagnétiques (E et H), suivant les directions (X, Y, Z).

Les composantes du champ électromagnétiques s'expriment en fonction de la résistivité et également en fonction de la permittivité diélectrique et de la perméabilité magnétique relative des roches.

Dans le cas du géoradar, on exploite la vitesse de propagation de l'onde  $H_z$ (permittivité diélectrique des terrains traversés).

## **2-6 - Propriétés radioactives**

C'est la propriété de certaines "roches" de contenir des traces d'éléments radioactifs (Uranium, Thorium etc.), produisant des isotopes radioactifs, cette transformation ou désintégration est à l'origine d'émission de rayonnements radioactifs.

Les rayonnements émis produisent sur la matière des effets "d'ionisation, de perturbation du réseau cristallin, de luminescence, ou d'effet chimique ou calorifique.

Ainsi on exploite ces rayonnements «  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  » pour étudier la nature des terrains ainsi que leur âge.

## **2-7 - Propriétés thermiques**

Les roches en surface ou en profondeur sont de très bon conducteur de chaleur, elles reçoivent et transmettent de l'énergie calorifique « roches en contact avec le magma, rayons solaires » on exploite ainsi la température ( $t^\circ$ ) qui exprime le degré de chaleur ou d'énergie contenu dans la roche.

Nous avons pour cela des gradients géothermiques qui traduisent la variation de la température en fonction de la profondeur vers le centre de la terre et vers le soleil.

# METHODES DE PROSPECTION GEOPHYSIQUE

(Principe de base ; objectifs ; choix des méthodes)

Le rayon d'action de la géophysique ne cesse de se développer surtout la géophysique dite de sub surface (géophysique de la tranche superficielle)

Nous pouvons néanmoins la subdiviser en cinq classes:

- ✚ La géophysique des grandes profondeurs (tranche très profonde)
- ✚ La géophysique interne "Mesures dans les puits de forage"
- ✚ La géophysique des moyennes profondeurs (tranche moyennement profondes)
- ✚ La géophysique de sub surface (tranche superficielle)
- ✚ La géophysique spatiale.

La Géophysique des grandes profondeurs (5 à 100 Km), offre la possibilité d'études dans le domaine de la sismologie, volcanologie, océanographie, tectonique (mouvement des plaques et continents).

La Géophysique des moyennes profondeurs (50m à 3000 m), offre la possibilité d'études dans les domaines de la recherche pétrolière, géothermique, minière, hydrogéologique, et études des bassins sédimentaires.

La Géophysique des faibles profondeurs (la partie superficielle de la terre dite de subsurface (de quelques centimètres à 50 m), offre la possibilité d'études dans les domaines des sciences de la terre (géologie), dans les travaux publics, génie civil et militaire, archéologie et pédologie, environnement, climatologie.

La Géophysique aéroportée et spatiale offre la possibilité d'études de la surface terrestre de l'atmosphère terrestre, (météorologie et climatologie), de la géodésie.

En dehors de l'atmosphère c'est l'astrophysique une branche de la géophysique qui s'intéresse à la vie et à l'évolution des astres dans les couffins de l'univers.

La Géophysique Interne (diagraphie) offre la possibilité d'étudier tous les terrains traversés par un forage ; afin de fournir toutes les indications et informations paramétriques des roches traversées longitudinalement et transversalement (recherche pétrolière, hydrogéologique et géothermique).

La Médecine fait appel également dans son investigation à ces méthodes, dans le domaine de la radiologie, imagerie et traitement du signal.

## La géophysique des grandes profondeurs

La géophysique en générale s'efforce donc, par des mesures paramétriques précises, étudier, dans une portion de l'écorce terrestre, la répartition dans le sous-sol d'un caractère physico-chimique donné, ce caractère variant d'une couche ou série stratigraphique à l'autre, et permet d'en déduire par des méthodes d'interprétation directes et inverses la forme la profondeur ainsi que la puissance de la structure ou couche de terrain donné.

La présence des hydrocarbures dans le Sahara Algérien, a induit d'énormes études de reconnaissance en Géophysique et cela depuis le début des années 1940.

Les méthodes géophysiques des grandes profondeurs exploitées regroupent les méthodes magnétiques, gravimétriques, aéromagnétiques, magnétotelluriques et séismiques.

Les premières prospections géophysiques de grandes reconnaissances ou de grandes profondeurs, (la magnétotelluriques) fut réalisée dans le bassin sédimentaire saharien, entre 1949 et 1962.

Une étude géophysique de grandes reconnaissances **aéro magnétique** et gravimétrique recouvrant tout le territoire national y compris espace maritime et côtier, fut réalisée par la compagnie Américaine Aéroservice (1973 à 1975), qui avait pour but une meilleure définition en profondeur des bassins sédimentaires sahariens (pétroliers) et miniers.

**Des études sismologiques ont été réalisées** par Hadiouche et Jobert 1988 sur des sismogrammes de 27 séismes de magnitude supérieure à 5.6 par différents réseaux régionaux et Internationaux

Ce travail consistait à étudier la dispersion des ondes de Rayleigh dont la période est comprise entre 20 et 200 seconde et celles de Love entre 20 et 125 secondes pour tout le continent africain.

L'étude montre également que le continent africain présente une région lithosphérique rapide sous les zones cratonique s'étendant du NW au SE du continent.

La synthèse de toutes ces études géophysiques effectuées au niveau de la plate forme saharienne et du Hoggar présente une bonne corrélation entre l'anomalie géothermique caractérisée par de fortes valeurs de flux de chaleur ( $130 \text{ Mw/Km}^2$ ), l'anomalie négative de  $-100 \text{ mgal}$  d'amplitude et une relative faible vitesse sismique dans la lithosphère.

## 6- La géophysique des moyennes profondeurs

La richesse de l'Algérie dans le domaine pétrolier, gazier et minier à ouvert la voie aux compagnies étrangères d'exploration, de prospector progressivement et en détail tous les bassins du Sahara Algérien à la recherche des gisements d'hydrocarbures.

Parmi les méthodes géophysiques les plus convoitées et adaptées à la plate forme saharienne, on trouve en premier rang la **sismique réflexion** et réfraction pour les terrains superficiels.

Les profondeurs d'investigations atteignent les 3000 m de profondeur.

Au Nord de l'Algérie c'est surtout les territoires miniers : polymétallique (fer, cuivre, zinc, plomb, or etc.) et non métallique (gypse, soufre, kaolin, argile etc.), les plus explorés, vient ensuite le mont du Hoggar ou Tassili et mont de Bechar.

A la moyenne profondeur se situe les nappes aquifères profondes, les objectifs géothermiques et les études structurales.

Au vu du manque d'eau dans des régions d'Algérie, essentiellement dans les hauts plateaux, des programmes de recherche hydrogéologiques sont lancés afin de pouvoir individualiser les potentialités aquifères existantes, des études géophysiques sont alors utilisées afin de confirmer l'existence de zones de circulation d'eau souterraine témoin de la présence d'horizons aquifères exploitables.

## 7 – La géophysique de sub surface

La géophysique dite de sub surface occupe aujourd'hui une place primordiale dans divers domaines de l'exploration.

Elle est utilisée notamment dans le bâtiment et le génie civil: Inspection, analyse de dommages, suivi non destructif des constructions. Localisation, définition et identification d'objets métalliques et non métalliques, ainsi que de réseaux de canalisations, conduite de gaz, Câbles électriques, suivi de cadastre. Mesures de profondeur de fissures, contrôle de forage.

Dans le domaine de l'environnement, le problème de la Pollution des sols, Détection de fuites et de dommages dans le réseau x de canalisations d'évacuations et d'alimentations.

Les risques naturels, sismiques, inondations, mouvements de masses, glissements de terrains. Les risques artificiels micro sismique et bruits

Dans le domaine de l'archéologie, dans le domaine de la recherche en eau.

La géophysique de subsurface contribue également à la réalisation d'une cartographie fine, très diversifiée.

La contribution de la géophysique aérospatiale qui à travers les nombreux capteurs portés par des satellites fournissaient en continu des images et des informations utiles liées aux problèmes de la subsurface (risques naturels, pollution, cartographie, suivi en temps réel de l'évolution de l'état de

l'atmosphère.

## Choix des méthodes Géophysiques

Le choix d'une méthode géophysique dépend de l'objectif recherché (objectif très profond ; profond ; superficiel).

Il n'y a pas de règles absolues dans le choix des méthodes à adopter, car les problèmes qui se posent dans la nature ne sont d'une part jamais simples et d'autre part, jamais suffisamment bien définis.

Ainsi structures géologiques complexes que l'on cherche à déceler et à préciser, s'écartent toujours des types simplifiés (problème directe et inverse en géophysique) car les constantes physiques des roches du sous-sol varient en fonction des terrains traversés.

Du fait que les mesures géophysiques s'effectuent en surface, la profondeur d'investigation et la profondeur de pénétration des champs physiques appliqués conditionnent le choix de la méthode géophysique à utiliser.

### 3-1 La profondeur d'investigation.

La profondeur d'investigation varie avec les diverses méthodes. La sismique réfraction (petite et grande réfraction) est une méthode peu pénétrante, dite de surface, quelques dizaines à quelques centaines de mètres. Les mesures magnétiques et gravimétriques, sont influencées essentiellement par des causes très profondes, mais aussi par des effets superficiels en superposition et il est souvent difficile de les démêler. Les méthodes électriques ont une profondeur d'investigation qui peut atteindre plusieurs centaines de mètres. Mais l'interprétation est délicate.

La méthode tellurique et magnétotellurique, exploitant un champ électromagnétique naturel ont l'avantage d'avoir plusieurs gammes de fréquences et couvrir ainsi des profondeurs d'investigation variables englobant toute la série sédimentaire parfois au-delà du socle.

La méthode sismique réflexion peut donner des renseignements assez précis jusqu'à de grandes profondeurs, à condition que l'amortissement des ondes émises soit minimal (effet des terrains superficiels altérés) et que les coefficients de réflexion relatifs aux terrains profonds soient élevés.

En résumé, le choix de la meilleure méthode géophysique appliquée pour résoudre un problème géologique donné n'est pas toujours facile à faire.

Lors des études de reconnaissances de bassins sédimentaires ou de zones vierges (non explorées), le choix repose sur la gravimétrie, le magnétisme, l'aéromagnétisme, la radiométrie et la magnétotellurique.

Par contre dans des études détaillées et semi détaillées, les méthodes qui s'appliquent mieux sont la sismique réflexion et le sondage électrique et pour des structures redressées ce sont la sismique réfraction et les méthodes de polarisation.

### 3-2 La profondeur de pénétration.

La profondeur de pénétration elle est liée aux possibilités d'un champ physique donné, de pénétrer aisément à l'aide d'un système d'acquisition adéquat.

Ainsi dans le cas du champ électromagnétique, le spectre des signaux (hautes fréquences) est limité à la tranche des terrains superficiels, alors que les basses fréquences se propageant plus facilement en profondeur, sont réservées à l'étude des terrains profonds.

La méthode géophysique la plus adaptée est donc celle pour laquelle la caractéristique physique de la roche est la plus différenciée et le champ physique est le plus pénétrant.

Ainsi, la méthode gravimétrique serait efficace sur des formations présentant des contrastes de densités importantes.

Le choix des méthodes géophysiques à adopter s'appuie également, sur d'autres considérations liées aux informations et expériences acquises des zones avoisinantes ou banque de données (géologiques, géomorphologiques, forages etc.)

## **Systèmes d'acquisition des données Géophysiques**

### **Systèmes d'acquisition des données géophysiques.**

La mise en œuvre d'un système d'acquisition de données géophysiques est fonction des conditions naturelles du milieu (en montagne, en forêt, dans une zone inondée, dans une région agricole, dans un centre urbain, dans des régions perturbées par les lignes de haute tension ou des lignes de chemin de fer etc.).

Un système d'acquisition de données géophysiques est efficace, s'il peut nous assurer d'une part une bonne acquisition de données et d'autre part un bon rapport signal sur bruit: La gravimétrie redoute les régions montagneuses, parce que les corrections à faire sur les mesures de pesanteur seront plus compliquées (compte tenu du relief autour des stations et de l'altitude exacte de ces stations), également la sismique, sa mise en œuvre serait difficile si le relief est très accidenté, nécessitant des corrections topographiques et statique ponctuelles ; Si la surface est très caillouteuse pour pouvoir mieux enterrer la dynamite, le signal sismique serait fortement bruité.

Les méthodes électriques ne donnent pas de très bons résultats à proximité des lignes de haute tension, des canalisations métalliques. En effet la présence de conducteur dans le sol focalise le courant électrique et empêche par conséquent la progression des lignes de courant dans le milieu.

Les mesures magnétiques et électromagnétiques sont perturbées également par la présence d'objets en fer, ou même par des roches superficielles contenant une certaine teneur en éléments ferromagnétiques ou des lignes de Haute tension.

## **Traitement des données Géophysiques**

### **3-3- Traitement des données géophysiques.**

Le traitement des données géophysique consiste à résoudre le problème inverse, c'est la confrontation des données expérimentales (image virtuelle du modèle réel de terrain) avec un modèle théorique, où les paramètres de ce dernier sont prédéfinis à priori.

## **Interprétation des données Géophysiques**

### **3-4 – Interprétation des méthodes géophysiques**

L'interprétation accordée à ces méthodes dites de grande reconnaissance consiste au départ à décrire les anomalies constatées et d'une façon générale étudier la répartition des constantes physiques dans le sous-sol, en liaison avec la répartition des roches

Dans le socle cristallin, ou métamorphique, d'autres conditions complexes interviennent lors de l'interprétation qualitative, on s'efforcera d'abord de dégager les anomalies d'origine profonde de celle d'origine plus superficielle par la séparation d'anomalies (anomalies régionales et anomalies résiduelles, en se basant sur l'étalement des anomalies.

Ainsi, une large anomalie correspondant à un défaut de masse (une zone d'enfoncement du socle ou subsidence). Une anomalie alignée à fort gradient toujours dirigée d'un même côté (une faille ou un changement latéral de faciès). Une anomalie étroite correspondant à un excès de masse (un mouvement tectonique de type anticlinal, dôme de sel, horst).

En somme, les anomalies géophysiques obtenues par les méthodes de reconnaissance, leur interprétation qualitative, donne des indications sur les grands traits de l'ensemble de structures géologiques à l'échelle d'un bassin sédimentaire. Les conclusions ainsi obtenues permettront d'orienter les études de détail et ainsi fournir une interprétation pseudo quantitative, moyennant des hypothèses qui restent à vérifier.

Soit une large anomalie gravimétrique interprétée qualitativement comme une zone de subsidence où de terrains sédimentaires épais, vérifier cette hypothèse consiste à faire soit, rétrécir la maillage et avoir plus

de définition soit faire appel à une autre méthode géophysique de détail qui réussie bien dans les terrains sédimentaires, notamment **la sismique réflexion** qui donne une bonne précision sur la nature des terrains traversés et leur localisation en profondeur et par conséquent elle permet de réaliser une interprétation quantitative très détaillée.

D'autres méthodes géophysiques La méthode électrique et la méthode sismique réfraction peuvent être utilisées dans certains cas favorables à leurs applications, en surface quand on veut localiser et définir le prolongement en profondeur de certaines structures affleurant le sol.

Dans les études superficielles (géophysique de subsurface), la mise en œuvre des systèmes d'acquisition est facile à réaliser car les équipements sont légers, ainsi on peut appliquer plusieurs méthodes géophysiques pour un seul objectif.

L'exploitation conjointe des méthodes géologiques, géotechniques, géochimiques, et géophysiques dans le domaine de l'exploration est facilité grâce à l'apport de l'informatique, la micro-informatique, l'instrumentation ou micro instrumentation, le développement spectaculaire du génie logiciel, facilitant ainsi l'acquisition, traitement et interprétation des données. Cette percée technologique joue de plus en plus un rôle fondamental dans le rapprochement des méthodes géophysiques.

En effet, aujourd'hui lorsqu'on envisage une étude géophysique dans une région donnée, on commence par préciser les problèmes qu'on désire résoudre, généralement la proposition d'un forage d'exploitation d'hydrocarbures ou d'eau, dans d'autres cas c'est la délimitation d'une zone d'un intérêt particulier, exploitation d'une carrière, détection d'une cavité, d'un remblai, d'une zone polluée etc.

Pour cela, la connaissance d'une base de donnée intégrée géologiques, géochimiques, géotechniques et géophysiques est nécessaire pour décider quelle méthode et quelles informations, avec quelle précision recherchée on abordera cette étude.

Dans un cadre budgétaire donné, le géophysicien propose, s'il s'agit de reconnaissance la méthode qui lui semble préférable, un espacement de stations assez serrées pour qu'une perturbation intéressante ne risque pas de passer inaperçue et assez large pour que la cadence d'avancement soit suffisante ; S'il s'agit de la sismique, on précisera les profils à effectuer, et les zones à étudier plus en détail.

Les renseignements recherchés dans la base de données sont d'autant plus sûrs qu'ils sont continus, ce qui facilite les comparaisons d'un point à un autre.

Les méthodes utilisées géophysiques, géologiques, géochimiques, géotechniques, s'appuient en effet sur l'hypothèse généralement vérifiée que les paramètres physiques, chimiques ou mécaniques restent à peu près constants (ou du moins varient lentement et avec continuité) dans un niveau donné tant que le faciès reste le même. Cela assure la bonne corrélation et la bonne correspondance des paramètres pétro physiques recherchés.

L'interprétation de synthèse consiste à donner une signification d'une manière intégrée par corrélation et inter corrélation de tous les paramètres mesurés par chaque méthode utilisée.

L'interprétation géophysique, consiste à représenter sous forme graphique les résultats de traitement obtenus, décrire puis donner une signification quant à la répartition dans le sous-sol des paramètres physiques liés au model géologique réel trouvé.

L'interprétation géologique, qui consiste à mettre une étiquette lithologique et si possible stratigraphique et morphologique sur les différents « terrains géologiques », caractérisée par certaines valeurs d'un paramètre prédéterminé, qu'il s'agisse d'interprétation qualitative ou quantitative.

L'interprétation géochimique, consiste à préciser la présence ou l'absence de minéraux, leurs répartitions en surface et en profondeur à travers une carte d'indice réalisée soit à la suite d'observations, profils, coupes ou des données de carottage.

L'interprétation géotechnique consiste à son tour à donner la nature des terrains traversés ponctuellement par les outils géotechniques l'état mécanique des sols et par extrapolation séquent la nature géologique des terrains environnants.

## **Formalisme physico-mathématique de quelques méthodes Géophysique**



Les bases physico-mathématiques de la géophysique traduisent la confrontation des lois physiques avec les propriétés pétro-physiques des roches.

Cette interaction entre propriétés physiques liées à la roche et le phénomène physique donné fait naître de nouvelles lois ou expressions géophysiques.

Ainsi chaque méthode géophysique est construite à partir des lois fondamentales du phénomène physique considéré, ces lois seront confrontées aux modèles géologiques simples puis complexes.

Le résultat de cette confrontation fait naître des expressions géophysiques propres à chaque méthode, utilisée pour résoudre le problème inverse.

Cette brève introduction sur la géophysique est suivie d'un formalisme physico-mathématique essentiel sur chaque méthode présentée.

## Méthode de Prospection Géophysique

### 1- Méthode Gravimétrique

La gravimétrie est une méthode de prospection géophysique basée sur l'exploitation du champ de gravité. Tout corps doté d'une masse (densité) situé en surface ou sous terre (enfouis) est attiré vers le centre de la terre par une force proportionnelle au produit des deux masses respectivement la masse du corps et la masse de la terre (supposée concentrée en son centre) et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare.

Cela se traduit par l'expression suivante :

$$g = k \cdot M \cdot m / R^2 \quad (\text{avec } m=1 ; \text{ très négligeable devant } M \text{ masse de la terre), alors } g \text{ devient :}$$
$$g = k \cdot M / R^2$$

Où :  $K = 6,674 \cdot 10^{-11} \cdot \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$  ou bien  $K = N \cdot \text{m}^2 \text{kg}^{-2}$  ; R : rayon de la terre.

Rayon polaire = 6356.75 km ; Rayon équatorial = 6378.14 km

$g = 9,780318(1 + 5,3024 \cdot 10^{-3} \cdot \sin^2(L) + 5,9 \cdot 10^{-6} \sin^2(2L)) \dots$  où L : latitude du point

$g_{\text{pole}} = 9,83 \text{ms}^{-2}$  ;  $g_{\text{équateur}} = 9,78 \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$  (c'est la valeur de g théorique)

g anomalie est obtenu en faisant la différence entre la valeur de g théorique et la valeur de g mesurée à l'aide d'un gravimètre, des corrections dites de Bouguer sont introduites (correction d'air libre ; correction de plateau ; correction de relief).

$$\text{Anomalie}_{\text{bouguer}} = g_{\text{mes}} - g_{\text{th}} + C_{\text{al}} + C_{\text{pl}} + C_{\text{relief}}$$

où:

$g_{\text{mes}}$ : mesure observée ;  $g_{\text{th}}$ : valeur théorique de la pesanteur ;  $C_{\text{al}}$ : correction air libre

$C_{\text{pl}}$ : correction de plateau ;  $C_{\text{relief}}$ : correction de rel

### 2- Méthode Magnétométrique

Dans n'importe quel point de la surface de la terre, l'aiguille de la boussole s'oriente. Cette orientation témoigne la présence d'un champ magnétique naturel lié à la terre. L'étude de l'action réciproque d'un aimant et d'une aiguille aimantée, fait ressortir que tout se passe comme si l'aimant et l'aiguille portaient des "masses magnétiques" positives et négatives susceptible d'être mesurées quantitativement. Deux masses magnétiques  $m_1$  et  $m_2$  s'attirent si elles sont de signes contraires et se repoussent si elles ont le

même signe, par des forces proportionnelles au produit de leur masse et en raison inverse du carré de leur distance "r". (Charles COULOMB 1736-1906)

$$F = m_1.m_2/r^2 \text{ (dans le vide)} = m_1.m_2/\mu r^2 \text{ (dans un milieu ambiant matériel)}$$

.Le champ magnétique de la terre se caractérise par son intensité "T". Elle représente la force agissant sur l'unité de masse magnétique.

Si de la formule  $F=1/\mu.m_1.m_2/r^2$ , Où :  $\mu$  représente la perméabilité magnétique du milieu, dans le vide la perméabilité est égale à l'unité : Le gamma ( $\gamma$ ); un gamma vaut  $10^{-5}$  Oersted

#### **Prospection aéromagnétique**

La prospection magnétique aérienne est largement utilisée, des magnétomètres adaptés (flux-gate, à protons ou à pompage optique) sont portés et entraînés par avion ou par satellite à des altitudes bien déterminées, pour pouvoir mesurer les différents paramètres géomagnétiques de la terre: soit la variation du champ magnétique total ou bien la variation de la composante verticale "Z".

L'avantage de l'aéromagnétisme et de pouvoir éliminer les parasites magnétiques superficielles, permettant ainsi d'améliorer l'interprétation des anomalies magnétiques présentant un intérêt géologique.

Le choix de l'altitude et les lignes du vol dépendent de l'objectif recherché. En recherche minière, les altitudes sont relativement basses et les vols serrés; par contre en recherche pétrolière où l'on recherche plutôt des anomalies assez profondes liées au socle cristallin, les altitudes des vols doivent être respectivement hautes et écartés.

Les itinéraires de vol sont généralement constitués de profils de vol, rectilignes, parallèles, régulièrement écartés. Ces profils sont aussi perpendiculaires à la direction tectonique générale de la région.

L'altitude de vol, maintenue constante, peut varier en fonction du but recherché, elle est habituellement de 300 mètres; les profils parallèles sont distants les uns des autres de quelques centaines de mètres à une dizaine de kilomètres. La hauteur de vol est continuellement enregistrée par un altimètre (effet doppler), soit par radar, soit encore à l'aide d'un baromètre. Le positionnement de l'avion est effectué par un système de radionavigation (GPS) associé à quatre radars Doppler fournissant en continu la vitesse de l'avion ainsi que sa direction, ajouté à cela la prise de photographies aériennes réalisées en continu et qui permettent ainsi de définir avec exactitude le positionnement de l'avion.

La cellule sensible du magnétomètre aéroporté est placée dans une enceinte cylindrique allongée appelée "oiseau", tracté par un câble à une centaine de mètres de l'avion de manière à éviter l'effet magnétique de l'avion (bruits).

#### **Prospection magnétique en mer**

Les études océanographiques (études des fonds océaniques et mers), font appel à la prospection magnétique, suivant le but recherché, recherche pétrolière, étude des fonds océaniques et tectonique des plaques.

La mesure du champ magnétique terrestre et ses composantes en mer est similaire à celle de la mesure sur le continent, cette mesure repose essentiellement sur l'élément sensible ou capteur placé dans une enceinte étanche (poisson), naviguant à 15 mètres environ de profondeur. Le remorquage est fait à une certaine distance du bateau afin d'éviter l'influence de celui-ci. Les magnétomètres utilisés sont le magnétomètre à flux-gate et le magnétomètre à proton; ainsi le champ est mesuré en continu le long d'un profil prédéterminé.

### **3- Méthode électrique**

La prospection électrique est une des méthodes géophysiques, appliquée dans l'exploration du sous sol, par sondage électrique vertical ou par profilage électrique (recherche des conducteurs).

Le signal émis consiste à envoyer un courant électrique dans le sol à travers des électrodes d'émission (A, B) et recevoir la réponse du sous sol à travers les électrodes de réception (M, N).

La profondeur d'investigation s'étale de quelques centimètres à quelques centaines de mètres de profondeur; donc son spectre d'utilisation est très large: En subsurface, en recherche minière, dans l'agriculture, dans l'aménagement du territoire, construction de bâtiments, des ponts et chaussés, voies ferrées, dans les recherches archéologiques, également dans la recherche des aquifères en hydrogéologie. Elle est utilisée en subsurface, grâce aux techniques de multi électrodes, on peut ausculter la partie superficielle du sol avec une grande précision.

La base théorique de la prospection électrique, consiste à étudier le champ électrique correspondant aux coupes géoélectriques prédéfinies ou données théoriques (modèles théoriques). Le modèle théorique celui des courbes théoriques ou abaque est obtenu à partir de cette formule :

$$\rho_a = \rho_1 \left[ 1 + 2 \sum r^3 (K_{12})^n / [r^2 + (2nh_1)^2]^{3/2} \right]$$

La résolution du problème inverse consiste à retrouver les paramètres géoélectriques à partir des données expérimentales; le problème inverse est la confrontation du modèle théorique avec celui du modèle expérimental

Le modèle expérimental est obtenu à partir des mesures prises sur le terrain et sont convertis à l'aide de cette formule :  $\rho_a = K \cdot \Delta V / I$  ; K : coefficient du dispositif

## 4- Méthode électromagnétique

**La Magnétotellurique :** L'une des méthodes appliquée, développée par L.CAGNARD (au centre géophysique de GARCHY, est la magnétotellurique, exploitant le champ électromagnétique naturel, ayant un spectre de fréquence très large qui lui permet d'explorer les faibles et les grandes profondeurs. Son apport est précieux pour l'étude des bassins sédimentaires susceptible de contenir des d'hydrocarbures ou d'autres sources énergétiques (géothermales, gites d'uranium etc.)

Le paramètre utilisé en Magnétotellurique est la résistivité des roches sa quantification permet aux géophysiciens de dresser des coupes géo-électriques en profondeur ou des cartes d'iso-résistivité, dont l'interprétation contribuera à la localisation des structures à une deux ou trois dimension

La méthode magnétotellurique consiste à mesurer simultanément les deux composantes horizontales des champs électriques ( $E_x$ ,  $E_y$ ) et magnétiques ( $H_x$ ,  $H_y$ ) à la surface du sol de façon à obtenir un sondage de résistivité électrique apparente du sous sol en fonction de la période.

Selon la relation fondamentale.

$$\rho_a = 0.2.T [E_x / H_y]^2$$

$E_x(T)$  et  $H_y(T)$  sont les spectres d'amplitude des composantes perpendiculaires du champ magnétique et tellurique pour une période T donnée. La profondeur de pénétration de la méthode est fonction de la période des phénomènes considérés et de la résistivité électrique des terrains situés au dessus de cette profondeur. La magnétotellurique s'intéresse en général aux phénomènes compris entre 0,005 et 200 secondes, correspondant à des profondeurs moyennes comprises entre 250 m et 50 km. ; D'autres méthodes développées à Garchy (CNRS) sur les mêmes bases théoriques et électroniques (Radio MT, VLF,

### Radio M-T

La Radio magnétotellurique est basée sur l'exploitation des émetteurs de radio diffusion dans les gammes V.L.F ; L.F; M.F créent un champ électromagnétique dont certaines composantes peuvent être mises à profit pour procéder à l'étude du sous-sol selon la méthode M-T.

L'appareillage se compose d'un capteur magnétique, une spire de cuivre d'environ 50 cm de diamètre associée à un transformateur qui mesure le champ  $H_y$ , d'un capteur tellurique capacitif constitué de feuilles de laiton noyées dans un tapis de caoutchouc qui mesure le champ  $E_x$ , d'un boîtier électronique comprenant l'ensemble de la chaîne de mesure, d'enregistreurs graphiques (A.Dupis et al.. - 1995).

### Radio M-T Multifréquence

La radio M-T multifréquence (12-240 KHz) est une méthode géophysique électromagnétique moderne et rapide de prospection en Hydrogéologie. Sa principale caractéristique est de pouvoir procéder à un sondage vertical des résistivités électriques en chaque point du trainé (sondage électromagnétique).

Cette méthode utilise les propriétés des ondes électromagnétiques de basses fréquences (VLF) pour mesurer la résistivité apparente du sous-sol, relative à diverses profondeurs d'investigation.

Dans l'éventail des fréquences utilisées (12-240 kHz), se trouvent entre autres, les émetteurs de radioguidage et de liaison maritimes (12-30 kHz), les émetteurs télex et de divers moyens de télécommunication (50-150 kHz), ainsi que les émetteurs d'ondes longues radio (150-240 kHz). Figure Ainsi, on choisit au moins 3 émetteurs répartis sur toute la gamme des fréquences utilisables et situés dans une même direction, afin de pouvoir mesurer à plusieurs profondeurs d'investigation sans modifier le dispositif de mesure.

A chaque fréquence  $\{f\}$ , les variations du champ magnétique primaire  $\{H_0(F)\}$  engendré par un émetteur induisent des courants électriques dans le sol. Ceux-ci produisent un champ magnétique secondaire, dont l'effet est de renforcer le champ primaire au dessus du sol. On mesure la résultante de ces deux champs magnétiques  $\{B(F)\}$ .

Le dispositif de mesure est très compact: La composante magnétique du signal  $\{B(F)\}$  est captée au moyen d'une bobine d'induction de diamètre 50 cm, placée verticalement. On mesure ainsi l'intensité du champ magnétique juste au dessus du sol, pour une fréquence choisie. La composante électrique du signal  $\{E(F)\}$ , induite dans le sol, est mesurée perpendiculairement au champ magnétique, au moyen de deux électrodes plantées en terre et séparées de 5 m. On déduit la résistivité apparente du sous-sol par la relation

$$\text{Suivante: } \rho_a = \left[ \frac{E(F)}{B(F)} \right]^2 \frac{1}{2\pi \cdot F \cdot \mu_0} \quad \text{avec} \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$$

On mesure aussi le décalage de phase entre les champs électriques et magnétique  $\{ \phi(F) \}$ ; La profondeur d'investigation « P » est la profondeur pour laquelle l'intensité de l'onde électromagnétique est amortie d'un facteur 10. Elle dépend de la fréquence F(Hz) et de la résistivité apparente mesurée

$$\rho_a [\Omega \cdot m] ; P(m) = 503 \cdot \sqrt{\frac{\rho_a}{F}}$$

### Le Radar géophysique

La prospection géoradar de surface ou GPR (ground penetrating radar) est une des méthodes géophysiques exploitant les ondes électromagnétiques, elle est proche de la méthode sismique réflexion, Par contraste avec cette dernière, les instruments radar utilisent des ondes électromagnétiques au lieu d'ondes acoustiques. Le géoradar utilise des antennes (émetteur récepteur intégrés) au lieu de géophones, qui suivant leur fréquence étalent leur profondeur d'investigation, ainsi pour une antenne de 1.5 GHz, la profondeur d'investigation serait de 40 cm et une antenne de 80 MHz la profondeur d'investigation atteindrait les 30 à 40 mètres de profondeur. Cette méthode géophysique nouvellement adaptée, d'une technologie intégrée, répond bien aux préoccupations des géologues, géophysiciens et explorateurs en générale qui s'intéressent à de faibles profondeurs, que se soit dans le domaine des travaux publics (Pose et suivi de canalisations eau, gaz, égouts, câblages d'électricité, de téléphone, câble de télécommunication fibre optique); Génie civil (auscultation des structures béton armé et armatures métalliques), en Aménagement du territoire (Recherche de nappes, détection des zones polluées par des hydrocarbures ou d'autres traces de pollution); Dans le domaine de l'exploration des hydrocarbures (sondage de diagraphie), suivi du tubage en forage et de son environnement, fuite des hydrocarbures, également dans le domaine de la recherche archéologique. C'est un outil nouvellement introduit en Algérie qui contribue parallèlement aux autres méthodes géophysiques à résoudre les difficultés d'accès rencontrés jadis en zone urbaines ou dans les forages pétroliers. La vitesse de l'onde radar et la profondeur de l'anomalie sont généralement approchée par les expressions suivantes:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}} \quad \text{et} \quad P = V.T/2$$

$v$  : vitesse de l'onde radar, en m /  $\mu$ s,  $c$  : vitesse de la lumière dans le vide (300m/ $\mu$ s),

$\varepsilon_r$  : Permittivité relative du matériau.

$P$  : Profondeur ;  $V$  : Vitesse moyenne en m/ns ;  $T$  : Temps double en nano seconde.

## 5- Méthode Sismique

La sismique s'emploie pour désigner d'une manière générale les vibrations et les secousses. C'est une méthode géophysique, sa théorie est construite à partir des connaissances de l'élasticité, de l'optique géométrique, de la physique vibratoire, du traitement du signal, et enfin de la géologie. Pour connaître la constitution géologique d'une région, les géophysiciens procèdent à diverses mesures de surface. Pour préciser en particulier les courbes de niveau des couches géologiques, ils emploient les méthodes de la prospection sismique: Une explosion est provoquée au voisinage des couches superficielles du terrain étudié. L'onde de choc, provoquée artificiellement se propage dans le sous-sol. Les couches géologiques étant de densité et de nature différente, lorsque le front d'onde franchit la frontière séparant deux couches, une partie de l'énergie transportée est réfléchiée et réfractée vers la surface du fait de la discontinuité des constantes élastiques des couches.

En surface des sismographes enregistrent les arrivées de l'énergie libérée par l'explosion durant les 4 ou 5 secondes qui la suivent.

En pointant ces arrivées sur les sismogrammes (section temps) et en recoupant leurs indications avec celles procurées par d'autres mesures, le géophysicien établit des cartes en isochrones qui traduisent la position des différentes structures en terme de profondeur.

La connaissance d'une loi de vitesse permet de convertir ces cartes en isochrone en cartes d'isobathe (égale profondeur).

On distingue deux méthodes de prospection sismique: la sismique réflexion et la sismique réfraction. Elles ont toutes deux pour but de déterminer la profondeur et la forme des discontinuités géologiques, qui constituent le sous-sol.

### La Sismique Réflexion:

Le principe de cette méthode est simple: Des ondes sismiques (élastiques) engendrées par l'explosion de charges de quelques Kg d'explosifs, se propagent à travers les terrains sédimentaires ou métamorphiques, se réfléchissent sur les surfaces de séparation des formations de nature différentes, caractérisées par le paramètre vitesse de propagation de l'onde élastique.

Les ondes réfléchies sont enregistrées à la surface de la terre par une série de sismographes étalés sur une surface appelée Nappe de géophones ou trace sismique.

Si l'on connaît la vitesse de propagation des ondes sismiques dans les différents niveaux, la mesure des temps de propagation permet de calculer la profondeur de ces niveaux.

$$\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = V^2 \left( \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \right) = V^2 \Delta u \quad (1) ; \quad V_p = \sqrt{E \frac{(1-\sigma)}{\rho(1+\sigma)(1-2\sigma)}} \quad (2) ; \quad t = \frac{1}{v} \sqrt{x^2 + 4h^2} \quad (3)$$

(1) Equation d'onde ;

(2) Vitesse longitudinale de l'onde sismique en fonction des paramètres élastiques

(3) Equation des temps pour les ondes réfléchies

### **La Sismique Réfraction:**

La sismique réfraction est née du principe de réfraction des ondes élastiques traversant deux milieux caractérisés par un contraste de vitesse important.

L'onde réfractée se propage dans le cas de deux terrains superficiels, avec deux vitesses respectivement la vitesse dans le premier terrain ( $V_1$  onde réfléchi) et la vitesse dans le second terrain ( $V_2$  onde réfractée).

L'équation de l'onde réfracté, dite dromochronique des ondes réfractées permet de déterminer les vitesses de propagation des ondes sismiques, ainsi que la profondeur des différentes interfaces. L'onde sismique se réfracte sur l'interface et revient aux sismographes qui sont situés à la surface du sol. Le temps de parcours de l'onde réfractée permet de déterminer la profondeur des interfaces. L'Acquisition et le traitement des données sismiques sont réalisés par ordinateur en temps réel ou légèrement différé.

$$V_s = \sqrt{\frac{E}{\rho 2(1+\sigma)}} \quad ; \quad t = \frac{x}{v_1} + \frac{2h \cos(i)}{v_2}$$

- (1) Vitesse transversal de l'onde sismique en fonction des paramètres élastiques
- (2) Equation des temps pour les ondes réfractées

## **Les applications de la Géophysique de subsurface**

La géophysique spatiale ou aérospatiale, vient compléter la géophysique de surface, les grands traits morphologiques sont bien définis, parfois l'évolution spatial et temporel d'un phénomène particulier, séisme ou tremblement de terre, météorologie, climatologie, inondations, incendies, pollution atmosphérique ou maritime, sont suivis à l'aide de capteurs aéroportés ou satellites et une cartographie conséquente est mise à jour en permanence.

### **Méthode Gravimétrique et micro gravimétrique**

La gravimétrie est une méthode de prospection géophysique qui permet de déterminer des anomalies de densité dans le sous sol. Les levés sont effectués avec des gravimètres.

#### **Applications:**

- ✚ La cartographie géologique (tectonique)
- ✚ Détection de gisements métallifères
- ✚ Recherche archéologique
- ✚ Travaux publics (détection de cavité)

### **Méthode Magnétométrique**

La magnétométrie est une méthode géophysique dite passive car elle mesure les variations naturelles du champ magnétique terrestre, elle peut être utilisée dans un milieu urbain.

#### **Applications:**

- ✚ Localisation d'objets ferromagnétiques enfouis
- ✚ En archéologie
- ✚ Exploration minière
- ✚ Structures géologiques

## Méthode sismique

### Sismique réflexion

La méthode de sismique réflexion en plus de son utilisation à grande échelle pour l'exploration de pétrole et de gaz. Elle est également utilisée dans les travaux publics et le génie civil. Le principe consiste à générer une onde acoustique à la surface du sol par un vibreur, un marteau ou de cartouches de dynamite et d'en mesurer numériquement la réponse du sol ou réflexions à partir d'une série de capteurs sismiques ou géophones répartis régulièrement suivant un dispositif en surface. Les réflexions ainsi enregistrées sont causées par des changements de densités et de vitesses de propagation des ondes dans le milieu investigué. Le temps enregistrés aller-retour de l'onde sismique nous permet de remonter jusqu'à la détermination de la profondeur du réflecteur.

#### **Applications:**

- ✚ Exploration gazière et pétrolière;
- ✚ Cartographie géologique;
- ✚ Exploration minérale;
- ✚ Études de sites en génie civil.

### Sismique réfraction

Dans le cas d'un milieu composé de deux terrains, les ondes sismiques se réfractent sur la surface du second milieu caractérisé par une vitesse de propagation des ondes élastiques plus importante. Un levé de sismique réfraction consiste à provoquer une vibration en surface et à enregistrer le temps d'arrivée des ondes réfractées. Le traitement de la chronogramme de l'onde réfractée enregistrée à partir de géophones, permet de déterminer la vitesse de propagation de l'onde réfractée du second milieu, ainsi que sa profondeur.

#### **Applications :**

- ✚ localiser les zones de faille ou de cisaillement;
- ✚ Connaître l'épaisseur des différentes couches reposant sur un terrain plus dur
- ✚ Mesurer la profondeur de la nappe phréatique;
- ✚ Identifier des contacts géologiques sub-verticaux.

### Sismique en forage

La diagraphie sismique consiste à prendre des mesures ( $\Delta t$ ) en émettant des ondes sismiques en surface (méthode « down-hole ») ou dans un autre forage (méthode « cross-hole ») à partir d'une explosion. L'enregistrement s'effectue à l'aide de géophones à 3 composantes (x, y, z) placés en surface ou dans le trou de forage.

il est possible d'obtenir un profil des variations de vitesses en fonction de la profondeur.

#### **Applications:**

- ✚ Définition des interfaces

### Micro sismicité

La méthode micro sismique repose sur les mesures de la vitesse de propagation et l'atténuation des ondes sismiques de haute fréquence.

Cette méthode est utilisée pour évaluer la qualité du béton. Ainsi, un béton de bonne qualité sera caractérisé par des vitesses élevées de propagation des ondes et par des atténuations faibles tandis

que des vitesses plus faibles et des atténuations élevées témoignent de la présence soit de fissures ou de zones de broyages. L'acquisition, le traitement et l'analyse des signaux sont effectués en temps réel.

#### **Applications :**

- ✚ Caractériser l'état de qualité du béton ou ciment des infrastructures urbaines
- ✚ Caractériser l'état de détérioration des chaussées, pistes d'atterrissages.
- ✚ Mesurer les modules d'élasticité du béton
- ✚ Identifier les contacts des couches des différents matériaux

#### **Tomographie sismique**

La tomographie sismique permet d'imager la couche superficielle de la terre ou subsurface et également l'intérieur d'un puits de forage.

Les signaux sismiques sont générés à partir d'un trou de forage par des moyens explosifs, puis enregistrés par un ensemble de géophones dans un second trou de forage. Les traitements des différents enregistrements nous donneront une coupe ou section représentant la répartition spatiale des vitesses de propagation des ondes sismiques.

#### Applications :

- ✚ Évaluation quantitative spatiale d'un matériau par les vitesses sismiques ;
- ✚ Représentation des sections (2D) ou (3D) de la zone investiguée.
- ✚ Contrôle de l'état d'un barrage hydraulique.

#### **Méthode électromagnétique**

##### **Radar géophysique en surface :**

Le radar géophysique ou géoradar émet des impulsions électromagnétiques à une fréquence constante, les réflexions obtenues permettent de convertir les temps en profondeur connaissant la vitesse de propagation de ces réflexions.

Ainsi, on pourra évaluer l'état de la chaussée, la détection d'objets enfouis en temps réel et avec une grande résolution. Les fréquences utilisées sont 80 MHz ; 500 MHz et 1,5 GHz permettant des profondeurs de pénétration respectivement 30m ; 5m ; à seulement quelques centimètres

#### **Applications :**

- ✚ l'auscultation du béton afin
- ✚ Détection des conduites et armatures
- ✚ Cartographie des fonds marins
- ✚ bathymétrie
- ✚ cartographie de l'épaisseur de revêtement bitumineux des routes

#### **Tomographie radar**

Cette méthode emploie des antennes radar spécifiques pour les trous de forages, soit une émettrice et une réceptrice qui sont descendues dans des forages adjacents. Cette méthode permet d'obtenir des sections 2D montrant les changements de vitesse de propagation des ondes électromagnétiques entre deux trous à l'aide du même logiciel utilisé pour la tomographie sismique. La tomographie radar est une technique très efficace qui permet d'obtenir une résolution exceptionnelle.

#### Applications :



- ✚ Délimitation des variations stratigraphiques
- ✚ Identification des failles et zones de cisaillement
- ✚ Localisation de cavités
- ✚ Estimation de la porosité.

## **Méthode électrique**

La méthode électrique consiste à injecter un courant électrique dans le sol à l'aide de deux électrodes (A et B) et mesurer la différence de potentiel par une autre paire d'électrodes (M et N). C'est le processus de mesure d'un sondage électrique, ainsi en s'éloignant progressivement de part et d'autre du centre du dispositif (dispositif de Schlumberger), à chaque fois on effectue la mesure correspondante. On détermine ainsi la résistivité apparente pour chaque pas de la longueur AB.

Le traitement d'un sondage consiste à donner la répartition verticale de la résistivité du sol en un point précis à partir de la surface (centre du dispositif).

Des profilages électriques peuvent être réalisés à l'aide d'un système multi-électrodes qui permet d'obtenir des sections ou images 2D ou 3D traduisant la distribution de la résistivité électrique dans le sol. La profondeur d'investigation des méthodes électriques est fonction de l'espacement maximal entre les électrodes. Plus cet espacement est grand, plus la profondeur d'investigation est grande.

### **Applications :**

- ✚ Détermination des variations lithologiques des sols
- ✚ Identification des aquifères.
- ✚ Délimitation et suivi des zones de contamination
- ✚ Délimitation des zones de minéralisation.

## **Tomographie électrique**

La tomographie électrique est une méthode qui consiste à mesurer la résistivité électrique du sol en déployant un système de multi électrodes le long d'un ou plusieurs profils.

Le traitement des données acquises permet de donner une image de la distribution de la résistivité électrique ou section électrique 2D ou 3D.

### **Applications :**

- ✚ Détermination des variations lithologiques des sols
- ✚ Identification des aquifères.
- ✚ Délimitation et suivi des zones de contamination
- ✚ Délimitation des zones de minéralisation.

## **-1- Exemples d'interventions en géophysique des grandes profondeurs Réalisés par l'auteur:**

**Traitement et interprétation des données électromagnétiques ou magnétotellurique dans le grand bassin de Paris. Contribution à l'étude de l'anomalie magnétique du bassin de Paris. (Géologie Profonde de la France)**

*Par: H.SHOUT-Doctorat d'Etat de l'Université de Paris VI – septembre 2007*

**Contribution de la magnétotellurique et de la sismique à l'étude de l'anomalie magnétique du bassin parisien.**

*Par: A.DUPIS, H.SHOUT, P.BALTENBERGER, H.FABRIOL, M.GASMI, N.GHORBEL, A.THERA. - septembre-octobre 1990*

**Publié dans :**

*Bulletin de la Société Géologique de France - 8e série, tome VI, n°5, pages 711 à 866*

**Contribution de la magnétotellurique dans la recherche pétrolière, Hydrogéologique et Géothermique exemple dans le Sud Algérien.**

*Par : H.SHOUT. 3<sup>ème</sup> Séminaire de la géologie pétrolière Centre de Recherche et Développement (CRD- SONATRACH) Boumerdes 24, 25 et 26 Novembre 1997*

## **-2- Exemples d'interventions en géophysique des moyennes profondeurs Réalisés par l'auteur:**

**Apport des données géologo-géophysiques à la détermination et localisation des anomalies gravito-magnétiques dans le Bassin de Ghadamès (Grand Erg Oriental).**

*Par : Hocine SHOUT, Séminaire – Exploration pétrolière et minière  
Institut National des Hydrocarbures et de la Chimie Boumerdes 8 – 9 Mai 1982*

**Délimitation zonale des sources thermo-minérales en Algérie par les méthodes géophysiques et géochimiques et l'évaluation de leur risque de pollution**

*Par : Hocine SHOUT, Premier séminaire International sur l'environnement en Algérie  
Université de Constantine le 27 – 30 Novembre 1988.*

**Etude géophysique et géochimique des aquifères profonds dans les aures  
(Cas de Khenchela-Contribution au Programme d'Appui de la Communauté Européenne)**

*Par : Hocine SHOUT, Bouazi Rokia , Derouiche Ali  
Colloque international "terre & eau 2008" annaba-17,18,19 novembre 2008.*

## **-3- Exemples d'interventions en géophysique de sub surface Réalisés par l'auteur:**

**Adaptation des nouvelles techniques géophysiques à l'exploration de très faibles profondeurs, cas des glissements de terrains et détection des failles**

*Par: Hocine SHOUT. Fifth International Conference on the Geology of the Arab World  
(GAW-5) – 21-22-23 Avril 1999 -University - Gisa – Arab Republic of Egypt.*

**les applications géoradars dans les investigations de subsurface**

*Par : Hocine SHOUT, Revue de l'Université Mentouri de Constantine – Sciences et Technologie  
B – N°21, Juin (2004, pp. 83-88*

### **Acquisition, Traitement et Interprétation des Images Géoradars**

*Par : Hocine SHOUT. 1st International Symposium on Electromagnetism, Satellites and Cryptography IEEE (ISESC'05) June 19-21, 2005, JIJEL University, Algeria*

### **Dynamique des mouvements de terrains dans la région de Constantine, conception et mise en œuvre d'un Système d'Information Géographique pour le suivi et le contrôle de son évolution spatial et temporel**

*Par : Hocine SHOUT. GAW 8 ( Géologie du Monde Arabe) – Cairo University – Arab Republic of Egypt. 13-16 Fev- 2006*

### **Les perspectives d'un désordre en aménagement du territoire (impact sur l'environnement et le développement durable)**

*Par : Prof. Hocine SHOUT et Dr. Zohra MERRAD. Colloque International Villes et Risques Urbains, Acteurs, Pratiques Urbaines, Gestion et Systèmes de Préventions Université Mentouri de Constantine ALGERIE 05-06 Mai 2009*

### **Sismicité de constantine et son effet sur la réalisation d'ouvrages d'arts (téléférique, tramway, ponts)**

*Par : SHOUT Hocine, MERRAD Zohra, DEROUICHE Ali  
The Fourth International Conference on the Geology of Tethys Cairo University, November 2008.*

#### **Référence :**

**Manuel de Mécanique des Roches Tome 1** : Fondements par le Comité français de mécanique des roches Coordonné par Françoise Homand et Pierre Duffaut. Pierre BÉREST Pierre BÉREST Daniel BILLAUX Pierre HABIB Marc BOULON Jean-Paul SARDA François CORNET Gérard VOUILLE

Les Presses de l'École des Mines Paris, 2000

© École des Mines de Paris, 1999 60, Boulevard Saint-Michel, 75272 Paris CEDEX 06 FRANCE email : delamare@dg.ensmp.fr <http://www.ensmp.fr/Presses> ISBN : 2-911762-23-1 Dépôt légal : mai 2000 Achevé d'imprimer en mai 2000 (Grou-Radenez, Paris) Tous droits de reproduction, d'adaptation et d'exécution réservés pour tous les pays