

Université de Ferhat Abbas sétifl
Institut d'architectur et des sciences de la terre
Département des sciencenes de la terre.

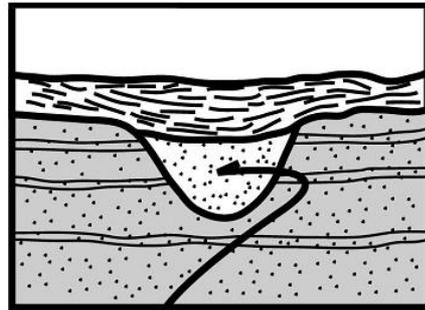


COURS DE DIAGRAPHIE

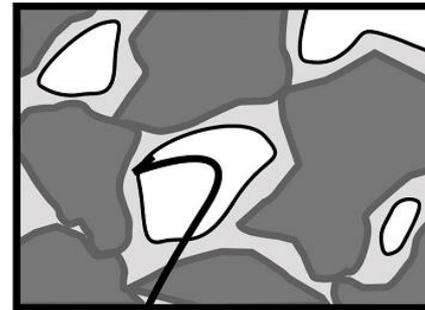
Présenté par : Dr. HAMLAOUI MAHMOUD

INTRODUCTION GENERALE

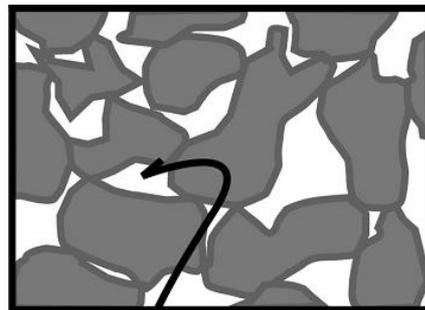
Lorsque l'on a repère un réservoir potentiel souterrain par des méthodes de surface, géologiques et géophysiques, il faut en étudier les qualités. Les qualités qui conditionnent le rendement potentiel d'un réservoir, qu'il soit aquifère ou pétrolier, sont principalement: son volume, sa porosité, son taux de saturation, sa perméabilité, les différents fluides qu'il renferme (huile, gaz, eau).



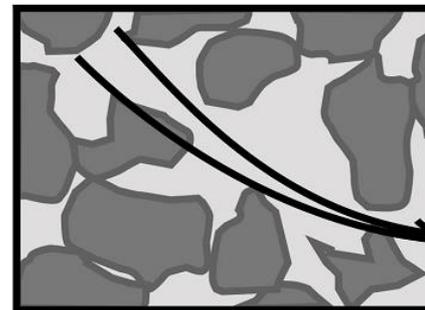
Volume du réservoir



Saturation



Porosité



Perméabilité

Le forage

Un forage est une cavité, approximativement tubulaire, ayant un diamètre nominal défini par l'outil de forage. Le diamètre peut varier énormément, on parle de forage petit diamètre pour des diamètres allant jusqu'à 250 mm puis de forages à gros diamètres. Le forage est généralement rempli d'un fluide qui peut être de nature variable : boue à la bentonite, eau, mousse, boue + l'huile ou air.

Le fluide qui remplit le trou de forage a des rôles multiples qui sont :

- Le nettoyage du trou, les déblais (**cuttings**) sont remontés à la surface ou ils sont partiellement récupérés et étudiés par les géologues.
- Le maintien des parois du trou et des fluides contenus dans les formations. Le fluide exerce sur les formations une contre-pression. Cette contre-pression a bien évidemment une influence sur l'état des contraintes au voisinage du trou.
- La lubrification et le refroidissement des outils de forage.
- La consolidation des parois du forage en déposant en face des zones perméables un dépôt de boue que l'on appelle **mud-cake** ou gâteau de boue. Ce dernier finit par empêcher toute circulation de fluide entre le trou de forage et la formation.

Une boue ne peut jouer convenablement tous les rôles que nous avons énumérés que si elle est bien conditionnée, c'est-à-dire que si ses principales caractéristiques physiques et chimiques sont maintenues aux valeurs appropriées.

La reconnaissance des formations traversées par un sondage se fait tout d'abord en exploitant les informations obtenues au cours du forage. On enregistre les paramètres suivants : poussée sur l'outil, vitesse d'avancement, poussée des fluides de forage, examen des déblais, examen qualitatif et quantitatif de la boue, indices de gaz ou d'huile etc.

Tous ces renseignements sont d'accès pratiquement direct. On appelle l'ensemble de ces enregistrements les **diagraphies instantanées**.

Mais on se heurte à un obstacle inévitable : la dispersion dans le temps et dans l'espace qu'impose le transit par la boue de tout échantillon venant du fond du trou, aggravée souvent par la contamination due à l'éboulement plus ou moins important des parois, il peut en résulter une grande confusion. Seul le carottage mécanique continu donne l'image exacte de la succession des couches géologiques et certaines de leurs caractéristiques physiques.

Pour les forages profonds il faut de plus remarquer que l'étude des carottes n'est faite que ponctuellement sur des échantillons prélevés parfois à intervalles réguliers, d'autre fois sélectionnés en fonction de critères subjectifs. Certaines informations ne peuvent être fournies par le carottage : la valeur et la direction des pendages, la nature et la quantité exacte des fluides en place, etc. D'autre part, les opérations de carottage sont d'un prix de revient très élevé

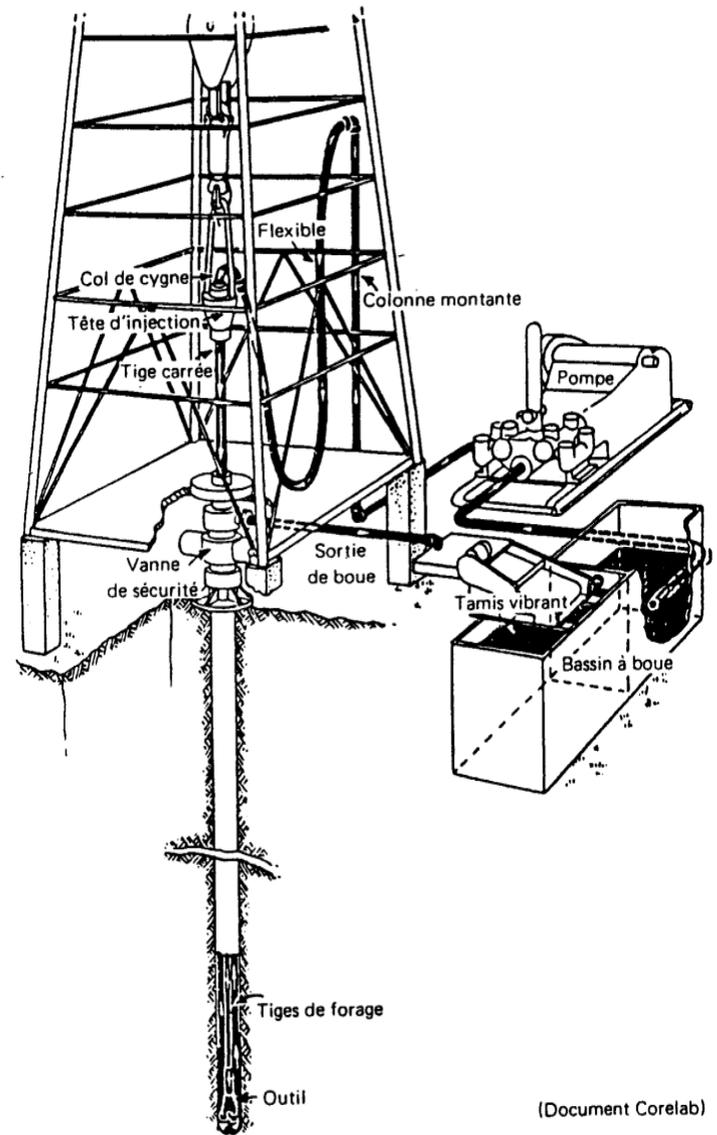


Figure 1.2 : Circulation de la boue.

Les diagraphies

Pour pallier ces inconvénients est apparue, en 1927, la technique des enregistrements dans les forages. On parle de diagraphies ou logging.

Une diagraphie est un enregistrement continu des variations d'un paramètre physique en fonction de la profondeur.

Les diagraphies sont enregistrées lors d'un arrêt ou en fin de forage, et les paramètres mesurés ne sont accessibles qu'avec un certain retard sur l'exécution du forage d'où le nom de **diagraphies**

Différées .

Des outils, conçus dans ce but, sont descendus dans le trou de forage à l'extrémité d'un câble qui assure la liaison avec les instruments de surface commandant les opérations, et groupés soit dans un camion, soit dans une cabine fixe pour les forages en mer.

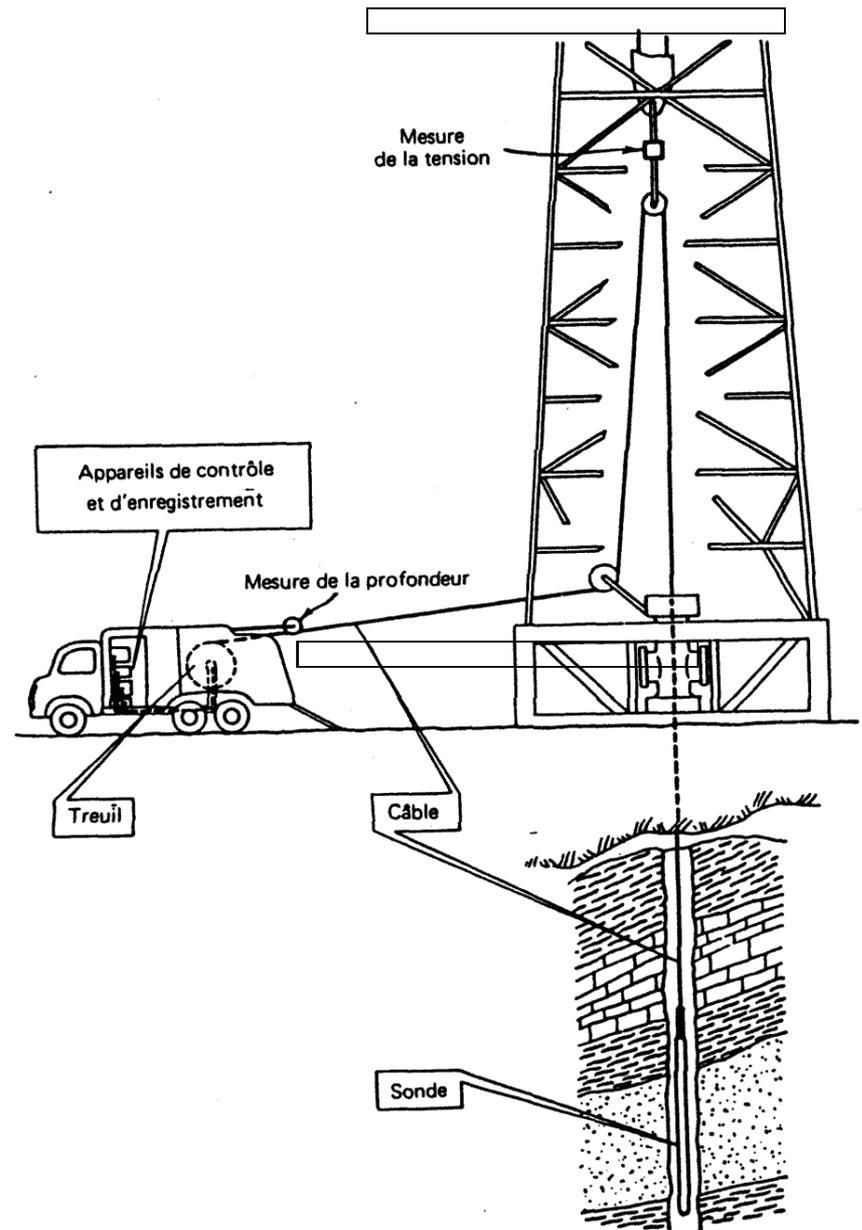


Figure 1.4 : Diagraphies différées.

Pour autant que l'on sache relier les paramètres mesurés et leurs variations aux propriétés physiques et/ou chimiques des formations géologiques et des fluides connus, on dispose d'un instrument sans égal pour étudier les roches et leur contenu éventuel. Il existe des relations étroites entre les paramètres physiques enregistrés et les paramètres géologiques.

On peut définir un "faciès géophysique" qui est pour un niveau donné, la somme des caractéristiques vues par les diagraphies. Le "faciès géophysique" reste inchangé pour un même niveau au cours de plusieurs enregistrements successifs avec les mêmes outils, dans le même trou.

Il en résulte que la modification d'un paramètre géologique doit se répercuter sur un ou plusieurs paramètres physiques.

De même, une variation de paramètre physique aura une signification géologique.

Les diagraphies sont donc très utiles pour faire des corrélations de puits à puits et donnent des indications très précieuses sur les variations lithologiques.

Les moyens techniques d'enregistrement

L'ensemble des équipements utilisés pour l'enregistrement des diagraphies comprend :
Un treuil volumineux et puissant sur le tambour duquel sont enroulés plusieurs milliers de mètres de câble . Le câble est un organe essentiel dont le rôle est à la fois mécanique et électrique. Fixé à une extrémité du tambour, il se termine à l'autre extrémité par un raccord rapide qui permet la connexion mécanique et électrique avec l'outil descendu dans le trou de forage.



Treuil

Boitier de commande et de digitalisation de l'équipement



Sonde combinée

Normales, mono Electrode, polarisation spontanée, gamma ray, température, résistivité du fluide.

Système d'acquisition de l'équipement OYO

Le câble assure la transmission, vers l'outil, de l'énergie électrique assurant son fonctionnement, et permet le retour en surface des signaux émis par l'outil. C'est le défilement du câble qui permet la mesure des profondeurs. La mesure des profondeurs est une mesure imparfaite ; le câble, en effet est soumis à des efforts considérables, il peut s'allonger sous l'effet de son poids ou par vieillissement, certains outils collent à la paroi du trou, il peut aussi y avoir des dépôts de boue sur le câble ou sur la molette. Une première chose à faire avant toute interprétation est de recalibrer les diagraphies entre elles.

- Les circuits de contrôle et de commande des appareils de mesure, ainsi que les équipements de traitement de l'information. Ils sont réunis dans des "panels" que l'on met en place dans des supports adaptés en fonction des outils utilisés.
- Les outils, ce sont les appareils que l'on descend dans le trou de forage, à l'extrémité du câble. Cela peut aller de la simple électrode aux outils à plusieurs patins et aux outils de diagraphies de production en prospection pétrolière.
- Un système d'enregistrement. L'avancement du film ou du papier est synchrone du déroulement du câble et l'enregistrement se fait en fonction de la profondeur. De plus en plus un enregistreur digital remplace les dispositifs analogiques

Présentation d'une diagraphie

La présentation est très importante. Sur l'en tête du log on doit voir figurer un certain nombre de renseignements indispensables:

- le nom de la compagnie,
- le numéro du forage et ses coordonnées,
- l'outil utilisé,
- tous les autres logs enregistrés en même temps, c'est-à-dire pendant la même opération,
- Depth - Driller : la profondeur atteinte par le forage,
- Depth - Logger : la profondeur maximum atteinte par le log,
- Btm log interval : la profondeur à laquelle le log commence véritablement,
- Top log interval : la profondeur à laquelle le log est arrêté,
- Type fluid in Hole : le type de fluide remplissant le forage, type de boue avec ses caractéristiques, densité, viscosité, pH, etc.,
- Source sample : provenance de l'échantillon de boue, en général, pris à la dernière circulation,
- Rm (m = mud = boue) : résistivité de la boue,
- Rmf (mud filtrate) : résistivité du filtrat,
- Rmc (mud cake) : résistivité du mud cake,
- Time since circulation : temps qui s'est écoulé après la dernière circulation jusqu'au log,
- Permanent datum : niveau de référence (très important en diagraphies pour l'eau),
- Casing : tubage,
- KB : Kelly bush, élévation de la table de forage.

L'invasion à

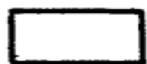
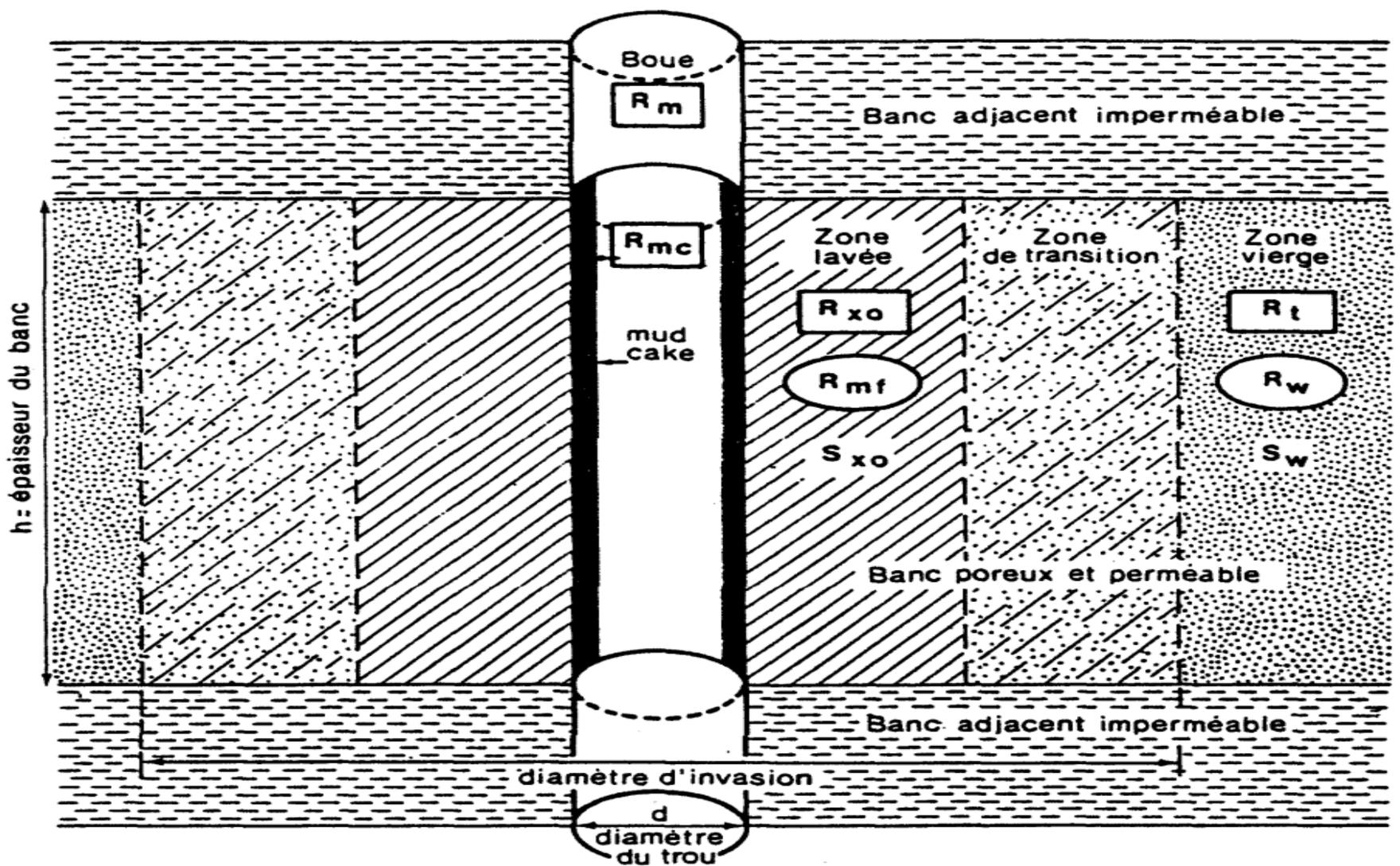
D'une manière générale, la présence du fluide de forage est génératrice de perturbations.

Dans le cas le plus général, les formations forées contiennent des fluides (eau et pétrole) qu'il est important de maintenir en place afin d'éviter leur venue en surface. Pour cela, la boue de forage, en phase liquide, exerce une pression hydrostatique supérieure à la pression des formations et des fluides qu'elles contiennent. Dans ces conditions, il se produit dans la formation une filtration de la phase liquide et des substances dissoutes : c'est le filtrat.

Les particules dispersées, elles, s'accumulent sur la paroi du trou, formant le dépôt de boue encore appelé « gâteau de boue » ou « mud cake ». La composition, l'épaisseur et la perméabilité du mud cake dépendent surtout de la nature de la boue. L'épaisseur du mud cake varie en général entre 1/8 et 1" (3 mm à 2.54 cm). Ce mud cake a une perméabilité faible et c'est lui qui conditionne en partie la filtration, petit à petit la filtration va diminuer puis stopper. Le filtrat, lui, envahit la formation, perturbe la répartition des fluides en place, et ses caractéristiques physiques contribuent à modifier celles des formations.

La figure suivante montre la représentation schématique de l'invasion d'une formation par le filtrat de boue : La boue de résistivité **Rm** remplit le trou de forage.

La filtration a laissé un mud cake de résistivité **Rmc**. Le filtrat de boue, phase aqueuse de résistivité **Rmf**, a sur une certaine distance refoulé toute l'eau de formation créant la zone lavée. Cette zone a pour résistivité **Rxo**. Puis la quantité de filtrat diminue jusqu'à ce que l'on retrouve dans la zone vierge la saturation complète des pores par l'eau de formation dont la résistivité **Rw** contribue à donner à la formation sa résistivité **Rt**. La zone s'étendant de la paroi du trou jusqu'à la limite atteinte par le filtrat est la zone envahie de résistivité **Ri**, son extension est symbolisée par son diamètre **di**.

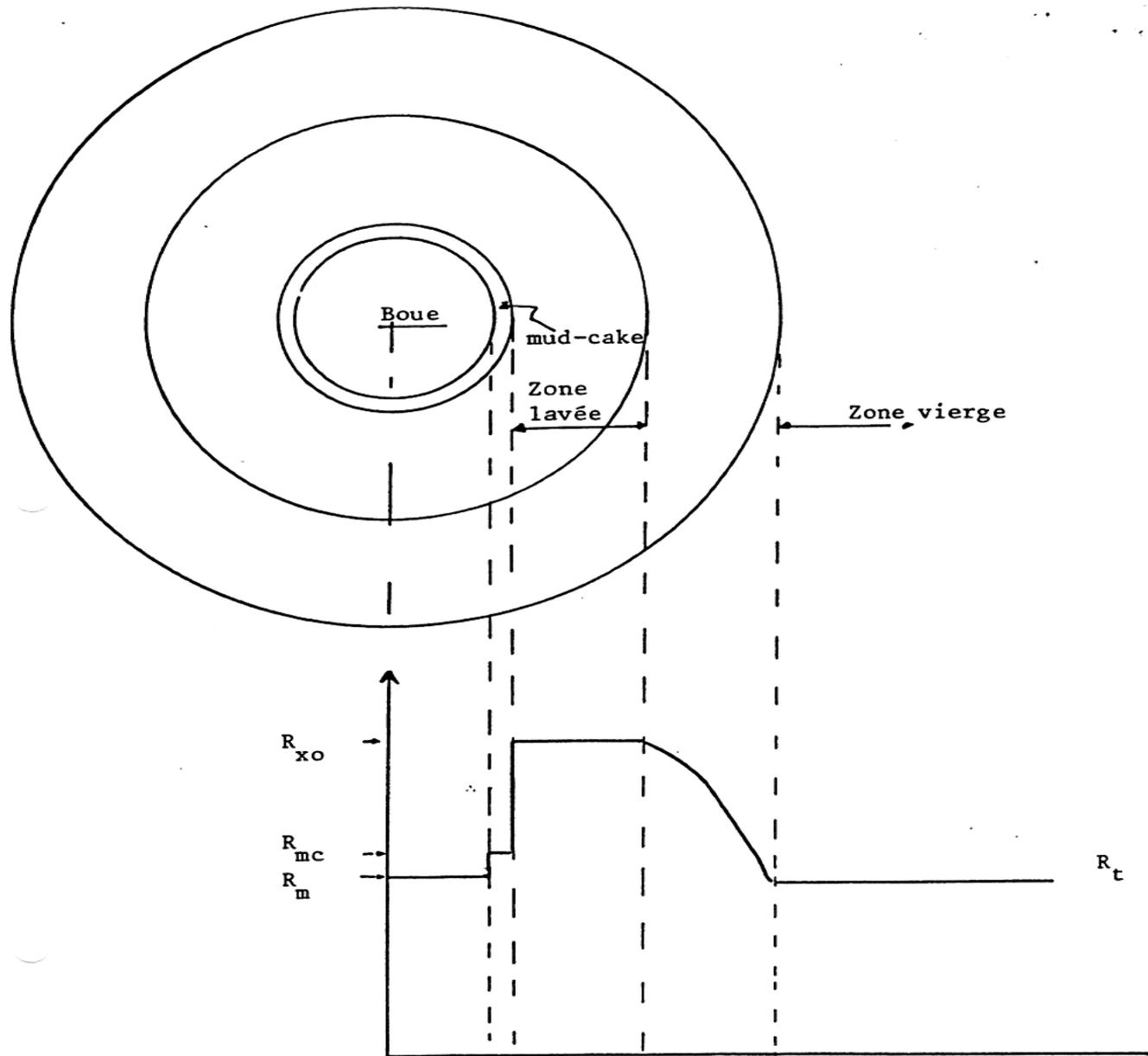


Résistivité de la formation



Résistivité du fluide d'imbibition

Représentation schématique de l'invasion



Représentation schématique de la zone envahie.

BHT	Température du fond du trou	[°C] ou [°F]
Tf	Température de la formation	[°C] ou [°F]
TD	Profondeur totale	[m] ou [ft]
d	Diamètre du forage	[inches]
di	Diamètre moyen de la zone envahie	[inches]
Rm	Résistivité de la boue	[Ohms.m]
Rmc	Résistivité du mud-cake	[Ohms.m]
Rmf	Résistivité du filtra	[Ohms.m]
Rw	Résistivité d'eau d'imbibition	[Ohms.m]
Rt	Résistivité de formation (zone vierge)	[Ohms.m]
Rxo	Résistivité de la zone lavée	[Ohms.m]
F	Facteur de formation	Sans unité
ϕ	Porosité	[%] ou [0-1]
Sw	Saturation en eau (zone vierge)	[%] ou [0-1]
Sxo	Saturation en filtrat dans la zone lavée	[%] ou [0-1]

K	Permeabilité	[mDarcies]
Δt	Temps de transite	[$\mu\text{sec}/\text{ft}$]
ρ_b	Densité de formation	[g/cm ³]
ρ_{ma}	Densité de la matrice	[g/cm ³]
ρ_f	Densité du fluide	[g/cm ³]
cps	Coup par seconde	[cps]
cpm	Coup par minute	[cps]
m	Facteur de cimentation	Sans unité
n	Exposant de saturation	Sans unité

LA RESISTIVITE

Introduction

Parmi les paramètres mesurés par les outils de diagraphies il en est un qui intervient à maintes reprises : la résistivité électrique des roches.

La résistivité électrique des roches R , est dans la plupart des cas de type électrolytique, c'est à dire que les roches conduisent le courant électrique grâce au fluide qu'elles contiennent.

On peut dire que la résistivité électrique d'une roche dépend essentiellement :

- de la qualité de l'électrolyte, c'est à dire de la résistivité du fluide d'imbibition R_w et, par conséquent, de la quantité de sels dissous,
- de la quantité d'électrolyte contenue dans l'unité de volume de la roche, c'est-à-dire de la porosité ϕ ,
- du mode de distribution de l'électrolyte.

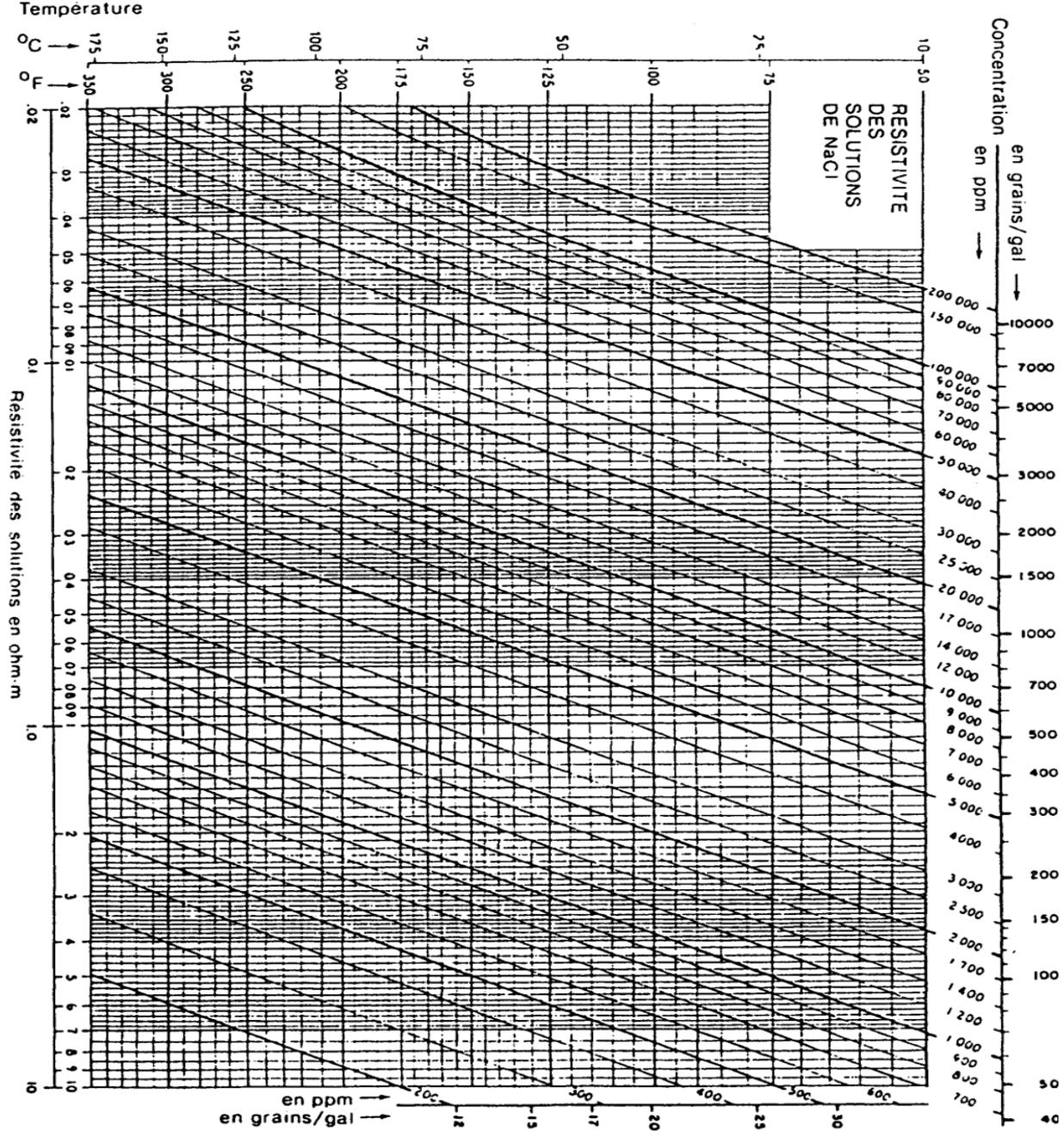
La Qualité de l'électrolyte

La résistivité d'un électrolyte dépend de : sa teneur en ions, la mobilité des ions en solution. Or la mobilité varie, il en résulte que la résistivité d'une eau dépend non seulement de la quantité de sels dissous, mais encore de leur nature.

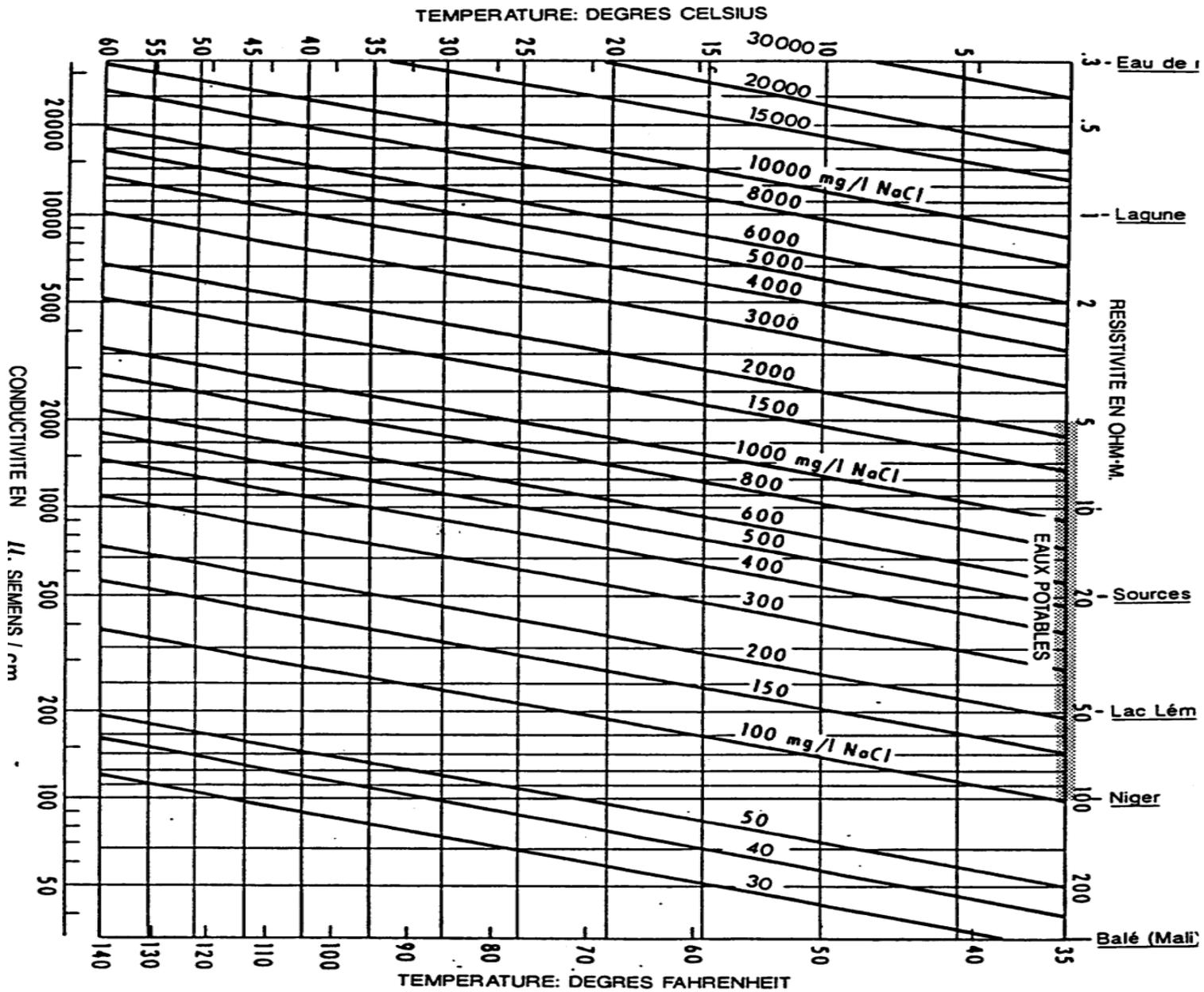
La quantité de sels en solution s'exprime en grammes par litre : **1 g/l = 1000 ppm, 1 mg/l = 1 ppm.**

Pour caractériser une eau on utilise souvent la notion de salinité équivalente. C'est la salinité en **NaCl** qui provoquerait une résistivité égale à celle de l'eau considérée. La contribution d'un sel à la résistivité d'une solution dépend de la concentration de ce sel et de la salinité totale. Si l'on connaît la salinité d'une eau et sa composition on peut, grâce à un **abaque2**, obtenir les coefficients qui permettront de passer de divers sels à l'équivalent NaCl. Il est malheureusement impossible de connaître la composition chimique d'une eau en partant de sa résistivité. Cependant il existe un **abaque1**, qui permet, à partir de la valeur de la résistivité et de la température, de trouver la salinité en équivalent NaCl d'une solution.

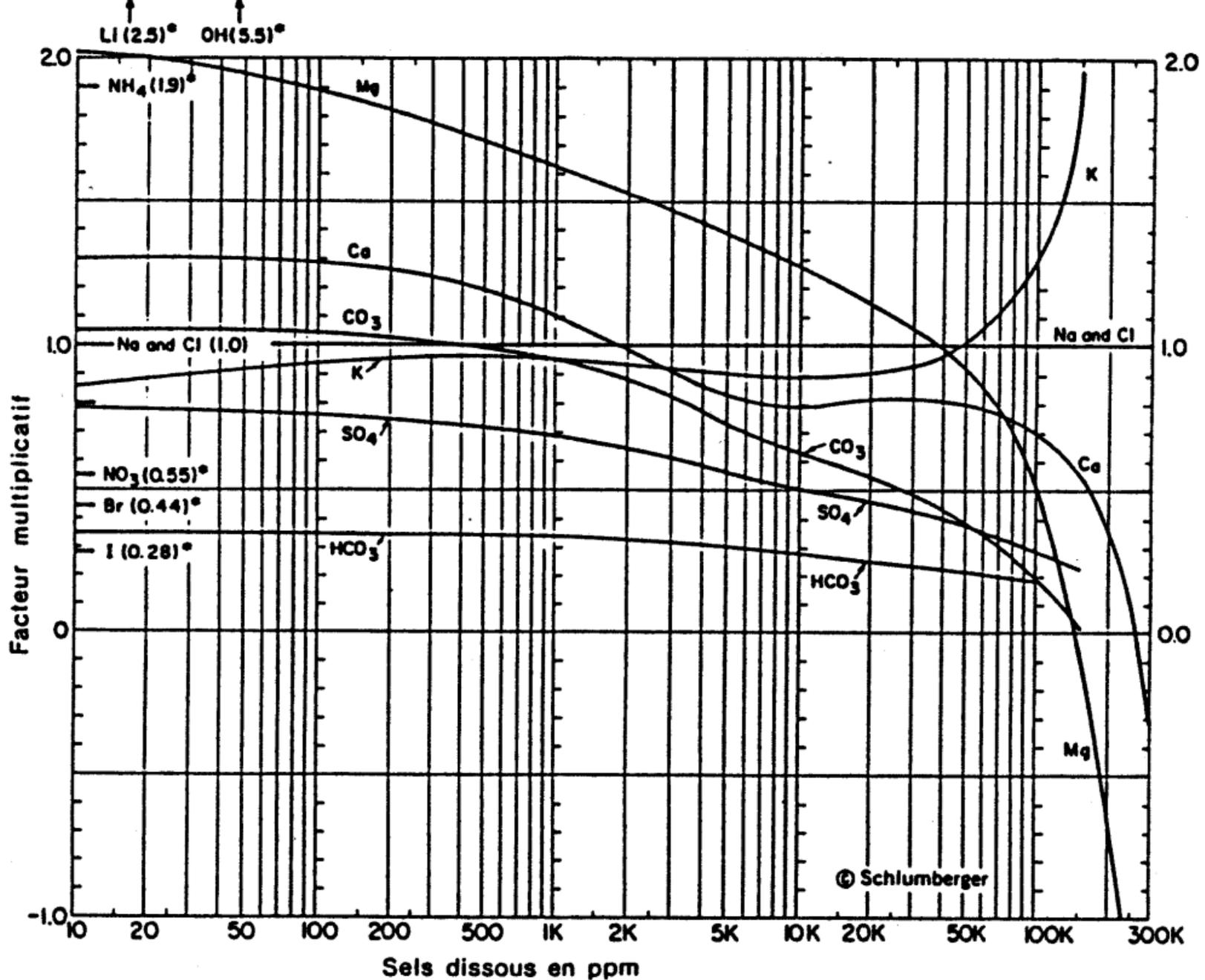
La résistivité d'un électrolyte dépend aussi de sa température, une augmentation de la température diminue la résistivité. **L'abaque1** permet d'obtenir la résistivité d'une solution pour une température et une salinité NaCl donnée.



Abaque 1 : Résistivité - Température - Salinité.



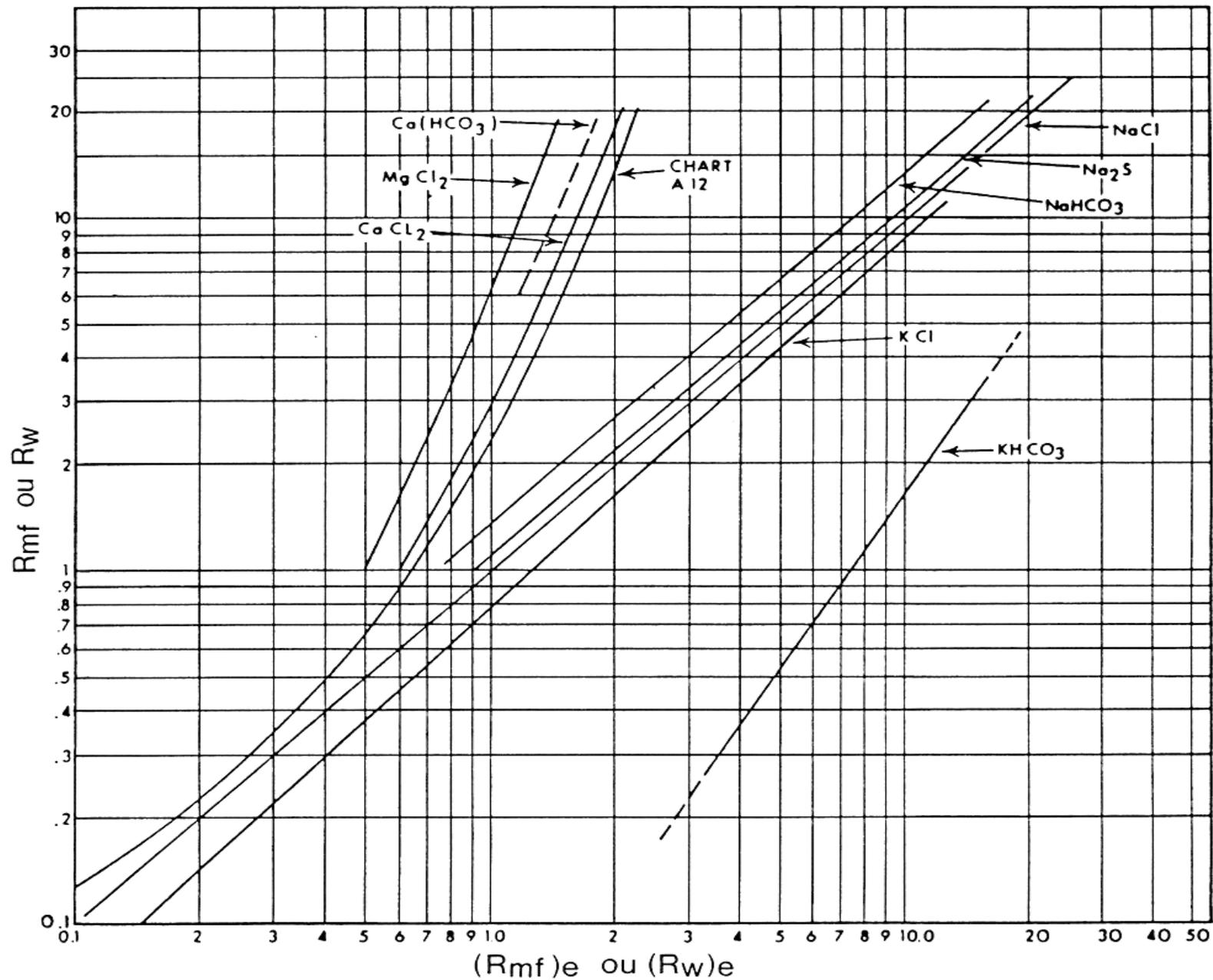
Abaque 1 Bis : Résistivité - Température - Salinité.



Abaque 2 : Résistivité des filtrats et des eaux de formations.

Exemple de calcul:

Ions	Concentration en ppm	facteur correctif	équivalent NaCl en ppm
Na ⁺	10	1	10
Ca ⁺⁺	3	1,3	3,9
Mg ⁺⁺	0,8	1,95	1,56
Cl ⁻	6	1	6
HCO ₃ ⁻	29,3	0,35	10,25
Salinité	<u>49,1</u>	Salinité en équivalent NaCl	<u>31,71</u>



Abaque 2 bis : Résistivité équivalente et normale des solutions ioniques.

La quantité et le mode de distribution de l'électrolyte.

Dans le cas d'une roche saturée, Archie a établi une relation expérimentale liant la résistivité de la roche, la porosité, le mode de distribution et la résistivité de l'électrolyte :

$$R_t = R_w \cdot a \cdot \phi^{-m}$$

R_t : résistivité de la roche en ohms.m, R_w = résistivité de l'eau d'imbibition en ohms.m, ϕ = porosité en %, m = Facteur de cimentation, varie généralement entre 1.3 et 2.2, a = facteur qui dépend de la lithologie et varie entre 0.6 et 2.

On a l'habitude de regrouper sous le terme facteur de formation F ce qui caractérise la structure de la roche :

$$F = a \cdot \phi^{-m}$$

L'expression de la loi d'Archie pour une roche saturée en eau devient alors :

$$R_t = R_w \cdot F$$

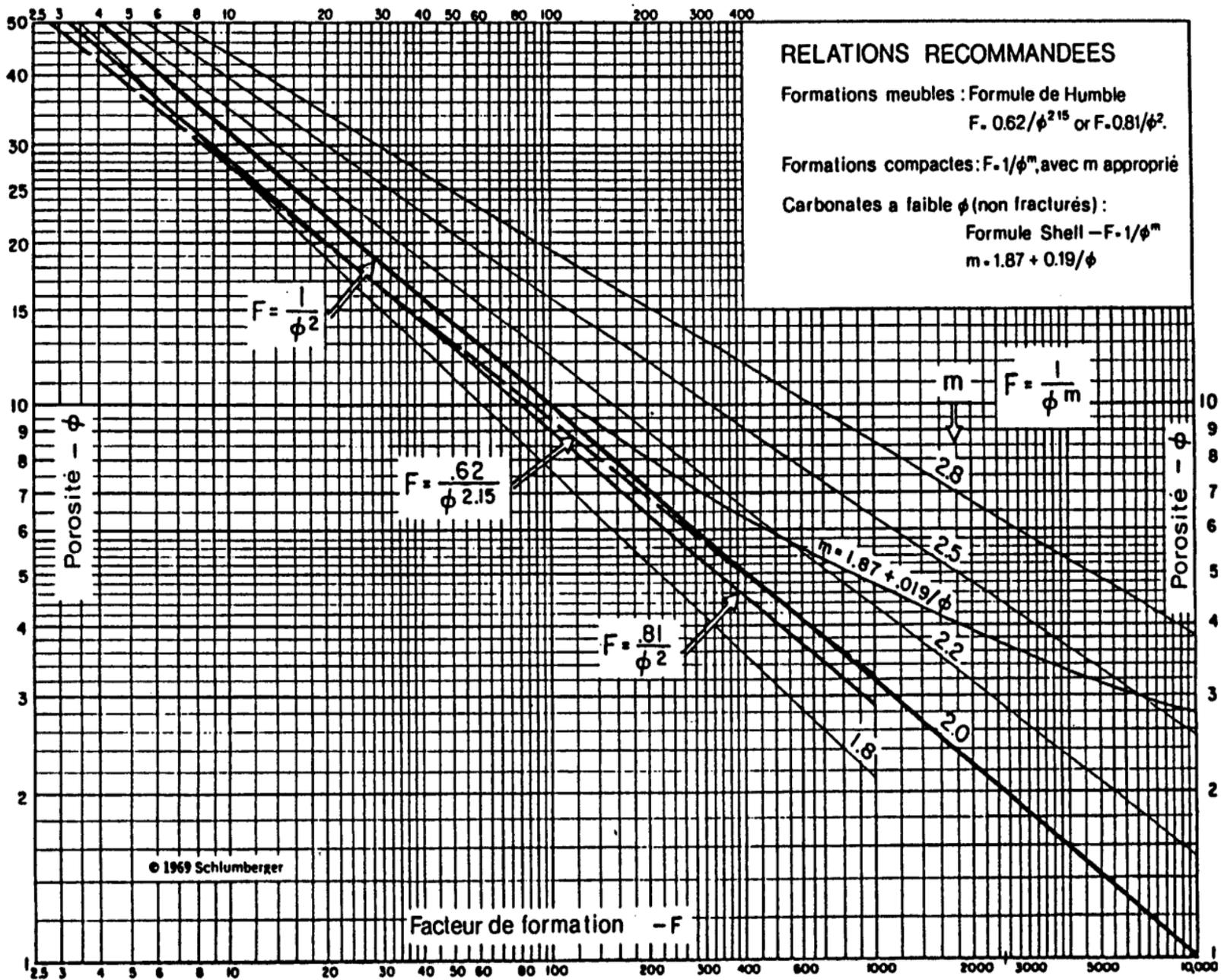
L'abaque3, permet à partir de la valeur de la porosité, d'obtenir la valeur de F et vice versa, ceci pour diverses relations. Ces relations expérimentales sont relativement rigoureuses lorsqu'il s'agit de formations propres c'est-à-dire dépourvues d'argile. En présence d'argile il faudra faire intervenir des corrections.

La résistivité des roches dans la zone lavée

Dans la zone lavée la loi d'Archie s'écrit :

$$R_{xo} = F \cdot R_{mf}$$

R_{xo} = résistivité de la roche dans la zone lavée, R_{mf} = résistivité du filtrat qui remplit les pores de la roche, F = Facteur de formation.



Abaque 3 : Porosité - Facteur de formation (Attention dans la formule de Shell : $m = 1.87 + 0.19/\phi$ et non pas $m = 1.87 + 0.19/\phi$).

La résistivité des roches dans la zone vierge

Dans la zone vierge la loi d'Archie s'écrit :

$$R_t = F \cdot R_w$$

R_t : résistivité des roches dans la zone vierge, R_w : résistivité de l'eau d'imbibition, F = Facteur de formation.

En général on utilise pour l'exécution des forages de l'eau prélevée dans les rivières voisines, cette eau est très généralement plus résistante que l'eau de formation qui imbibe les roches forées.

On peut alors Écrire :

$R_{mf} > R_w$ ce qui entraîne $R_{xo} > R_t$

La saturation

Lorsqu'une partie des pores de la roche est remplie par des hydrocarbures, gaz ou huile de résistivité infinie ou air ou polluants, cela va modifier la résistivité. Archie a établi une formule très largement utilisée :

$$S_w = \sqrt[n]{\frac{R_0}{R_t}} \quad \text{et} \quad S_{xo} = \sqrt[n]{\frac{R_{xo0}}{R_{xo}}}$$

R_0 , résistivité de la roche dans la zone saturée en eau, R_t , résistivité de la roche dans la zone sous-saturée. R_{xo0} , résistivité de la roche dans la zone saturée en eau de la zone envahie, R_{xo} , résistivité de la roche dans la zone sous-saturée de la zone envahie.

Formule que l'on peut aussi écrire :

$$\frac{R_0}{R_t} = S_w^{-n}$$

en général $n = 2$ pour la plupart des roches meubles, on obtient alors pour la zone vierge :

$$R_t = R_w \cdot a \cdot \phi^{-m} \cdot S_w^{-n}$$

et pour la zone lavée :

$$R_{xo} = R_{mf} \cdot a \cdot \phi^{-m} \cdot S_{xo}^{-n}$$

avec S_{xo} : saturation en filtrat et S_w : saturation en eau.

Pour des réservoirs pétroliers on définit aussi S_{hc} = saturation en hydrocarbures dans la zone vierge et S_{hr} = saturation en hydrocarbures résiduels dans la zone lavée.

$S_{xo} + S_{hr} = 1$ dans la zone lavée et $S_w + S_{hc} = 1$ dans la zone vierge.

les résistivités électriques mesurées dépendent pour une part des conditions géologiques naturelles et pour une part de l'action des fluides de forage.

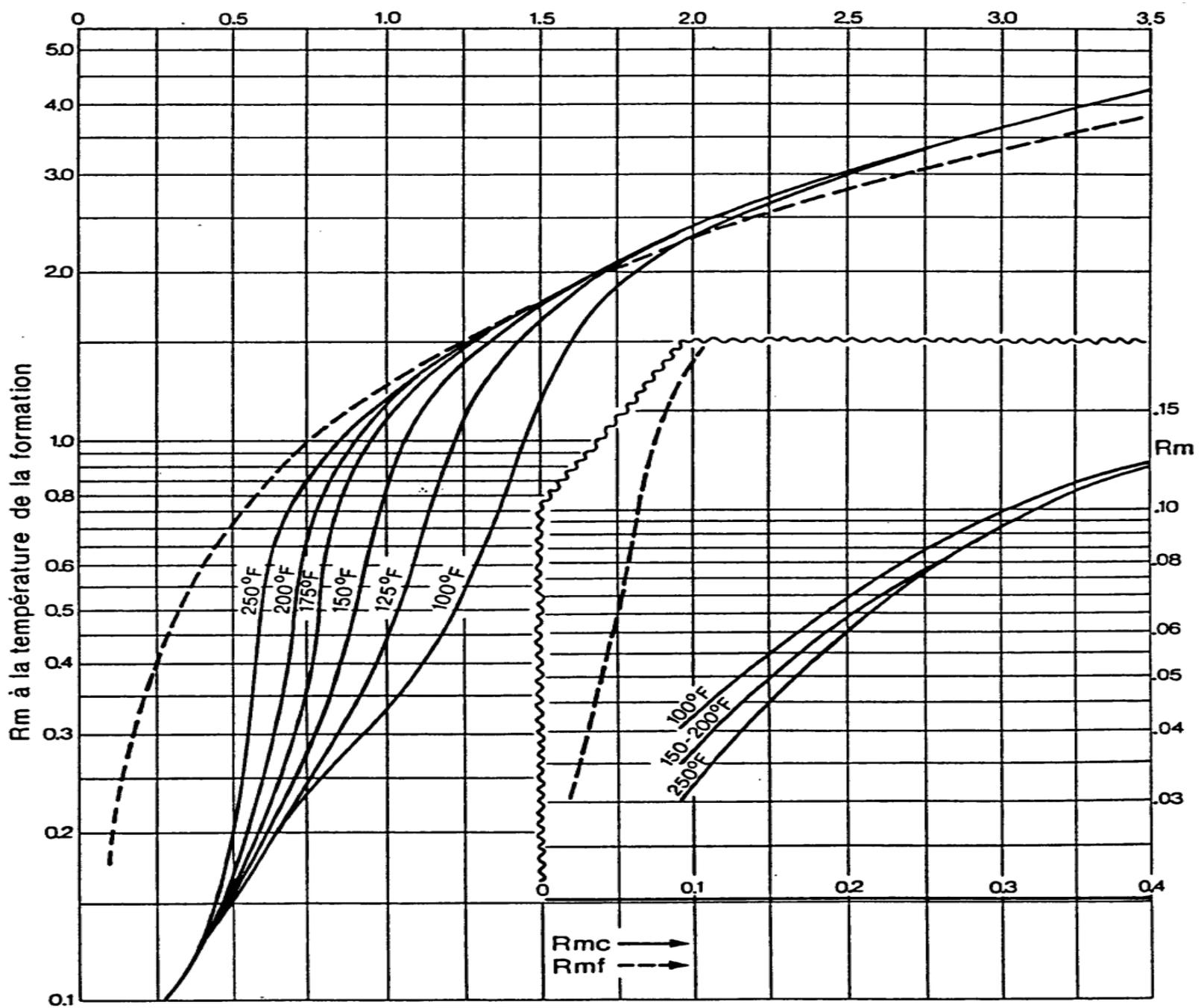
La boue et son filtrat sont prise en compte dans la plupart des mesures. L'invasion de la zone lavée ajoute aux déductions que l'on peut tirer de nos mesures.

Il est indispensable, lorsque l'on désire interpréter quantitativement les mesures, de connaître toutes les caractéristiques de la boue utilisée. **L'abaque4** permet lorsque l'on connaît la résistivité de la boue d'en déduire la résistivité du mud cake et celle du filtrat.

On peut aussi appliquer la relation approximative suivante :

$$R_{mc} = 1.5 R_m \text{ et } R_{mf} = 0.75 R_m$$

Lors des interprétations quantitatives, il ne faut pas oublier de ramener les diverses résistivités **R_m , R_{mf} , R_{mc} , R_t** , etc. à la température de la formation considérée.



Abaque 4 : Détermination de R_{mf} et R_{mc} .

LE LOG PS

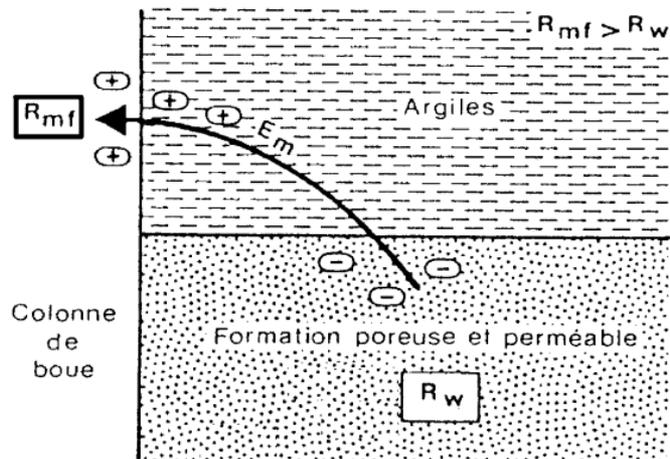
Le log **P.S.** ou log de polarisation spontanée (P.S. en anglais), enregistre des différences de potentiel électrique dues à des causes naturelles. Ces différences sont mesurées entre une électrode de référence fixe, placée en surface, et une électrode mobile qui parcourt toute la longueur du forage.

Le log P.S. permet :

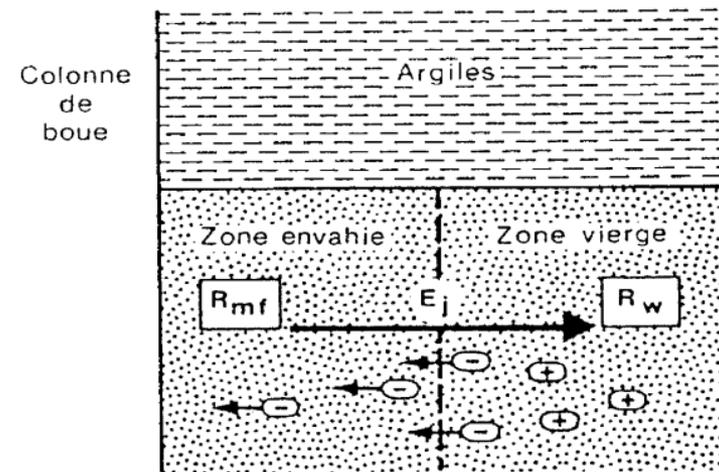
- de mettre en évidence les bancs poreux et perméables,
- de localiser certains niveaux imperméables,
- de calculer le pourcentage d'argile contenu dans la roche réservoir,
- de calculer la résistivité de l'eau d'imbibition **R_w**, ce qui permet d'obtenir la salinité et donc la qualité chimique de cette eau.

Le paramètre enregistré et Origine de la P.S.

Le liquide employé lors de l'exécution d'un forage (eau, boue, air, etc.) diffère presque toujours chimiquement de l'eau renfermée dans les formations traversées. C'est la mise en contact de ces fluides dissemblables qui provoque l'apparition de potentiels naturels.



Le potentiel de membrane



Le potentiel de jonction liquide

Le potentiel de membrane

Considérons une formation poreuse et perméable, contenant un électrolyte R_w , cette formation est limitée en haut comme en bas par des argiles jouant le rôle de membrane.

Lorsque cet ensemble est traversé par le forage, l'électrolyte naturel est mis en présence du filtrat de résistivité R_{mf} .

Généralement l'eau de la formation est plus saline que la boue de forage, de ce fait $R_{mf} > R_w$.

Les argiles en présence de deux fluides de salinités différentes se comportent comme une membrane cationique, c'est à dire qu'elles laissent passer librement les cations Na^+ , mais sont imperméables aux anions Cl^- .

L'ensemble constitue une pile de concentration dont le pôle positif correspond à la formation la moins saline, le filtrat dans cet exemple. Une telle pile donne naissance à une force électromotrice E_m .

On appelle le potentiel ainsi créé potentiel de membrane, shale potentiel.

Lorsqu'il s'agit de solutions de NaCl, ce potentiel est relié à la résistivité des solutions par la relation :

$$E_m = -K_1 \cdot \text{Log} \left(\frac{R_{mf}}{R_w} \right)$$

$K_1 = 59$ mV pour des solutions de NaCl à 25 °C.

Le potentiel de jonction liquide:

Une autre force électromotrice naturelle apparaît dans les forages. Elle est associée au potentiel de jonction liquide qui prend naissance là où le filtrat et l'eau de formation sont en contact direct, c'est à dire à la limite de la zone envahie.

En effet, lorsque deux solutions de salinités différentes sont en présence, on peut montrer qu'une **force électromotrice de jonction liquide** va apparaître entre ces deux solutions si la mobilité des anions et des cations n'est pas identique.

Dans le cas d'une solution de NaCl, la mobilité des anions est supérieure à celle des cations. Il en résulte un flux de charges négatives vers la solution la moins concentrée (la boue en général) et la création d'une force électromotrice qui vient s'ajouter à celle associée aux membranes argileuses.

$$E_j = -K_2 \cdot \text{Log} \left(\frac{R_{mf}}{R_w} \right)$$

$K_2 = 11.6 \text{ mV}$ pour des solutions de NaCl à 25° C .

Cas général

Finalement, on arrive au schéma suivant avec un potentiel positif en face des formations argileuses et un potentiel négatif en face de la formation poreuse et perméable, le circuit se fermant par la boue (on suppose que la boue est moins saline que l'eau de formation et que par conséquent $R_{mf} > R_w$).

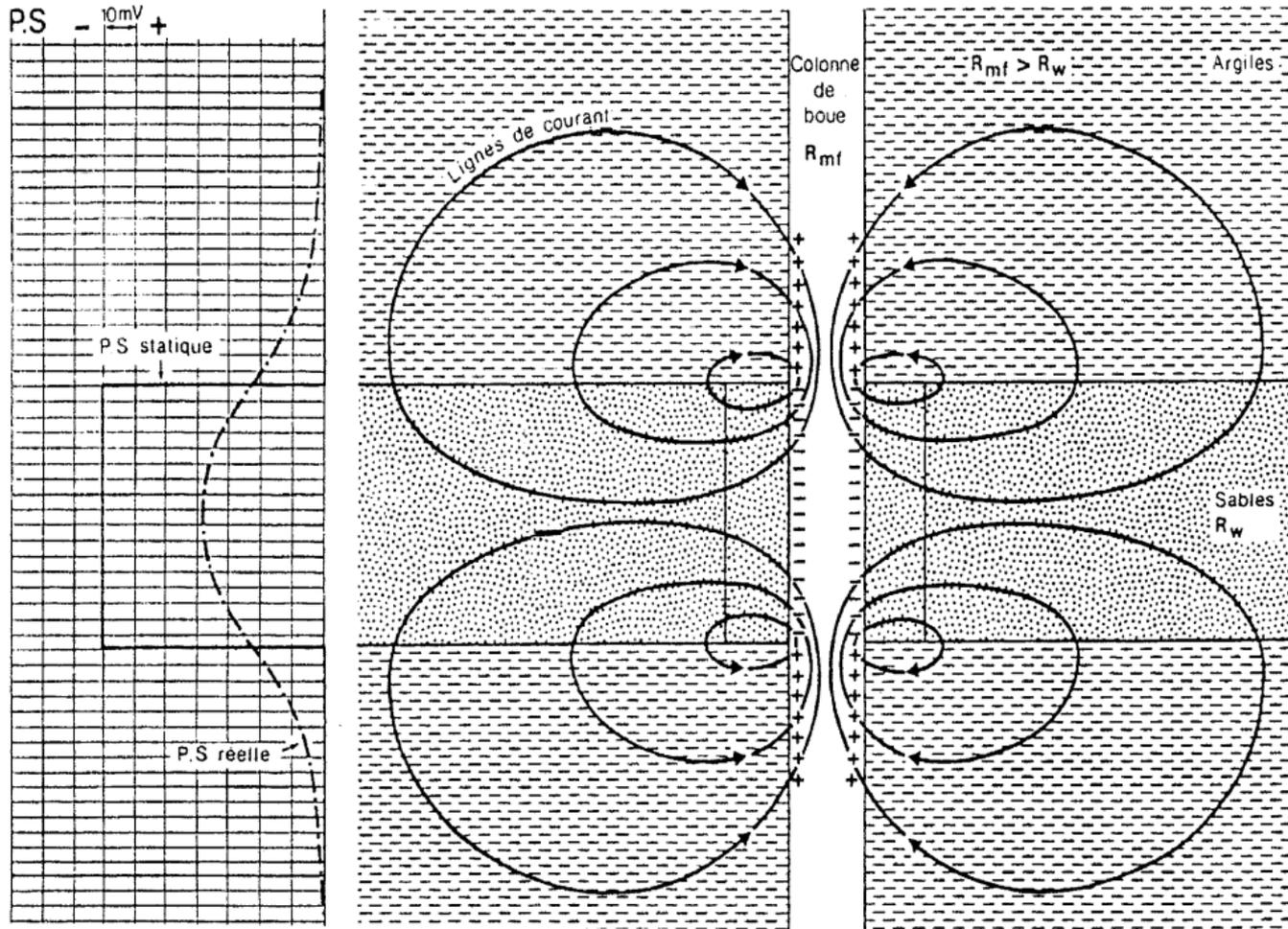
La courbe en traits tirés correspond à l'enregistrement réel alors que la courbe en traits pleins représente le voltage théorique appelé P.S. statique (P.S.S.).

En réalité le voltage enregistré est presque toujours inférieur à la P.S.S. Cette dernière peut être calculée de la façon suivante :

$$\text{Valeur de la déflexion P.S. [mV]} = -K \cdot \text{Log} \left(\frac{R_{mfe}}{R_{we}} \right)$$

R_{mfe} = résistivité équivalente du filtrat, c'est à dire la résistivité qu'aurait le filtrat s'il n'y avait que du NaCl en solution. R_{we} = résistivité équivalente de l'eau de formation.
 K = constante qui tient compte de la température.

$$K = 0.133.T(F^\circ) + 61$$



Distribution schématique des courants de P.S.

La mesure

La mise en œuvre

On mesure \mp l'aide d'un voltmètre la différence de potentiel entre deux électrodes, l'une mobile dans le trou et l'autre fixe en surface.

Le zéro est arbitraire, il s'agit de valeurs relatives. L'échelle est donnée en millivolts par division, par convention, le positif est toujours à droite et le négatif \mp gauche.

Le log P.S. ne peut être enregistré que dans les forages contenant un liquide conducteur en contact avec les parois du trou.

Facteurs parasites

Divers facteurs parasites peuvent affecter les mesures , ce sont :

- la nature des électrodes,
- les courants parasites.
- la dérive de la référence.

Interprétation qualitative

La figure suivante représente un log P.S. enregistré dans une série de sables et d'argiles.

On peut observer, c'est le cas le plus général, qu'en face des couches d'argiles les potentiels restent plus ou moins constants. L'enregistrement s'approche d'une droite. Celle-ci est appelée shale base line ou ligne de base des argiles.

En face des bancs poreux perméables, la courbe montre une forte déflexion vers la gauche.

Lorsque ces bancs sont assez épais, il est possible de tracer la ligne de base des sables, sand line. La limite des bancs est à l'inflexion de la courbe.

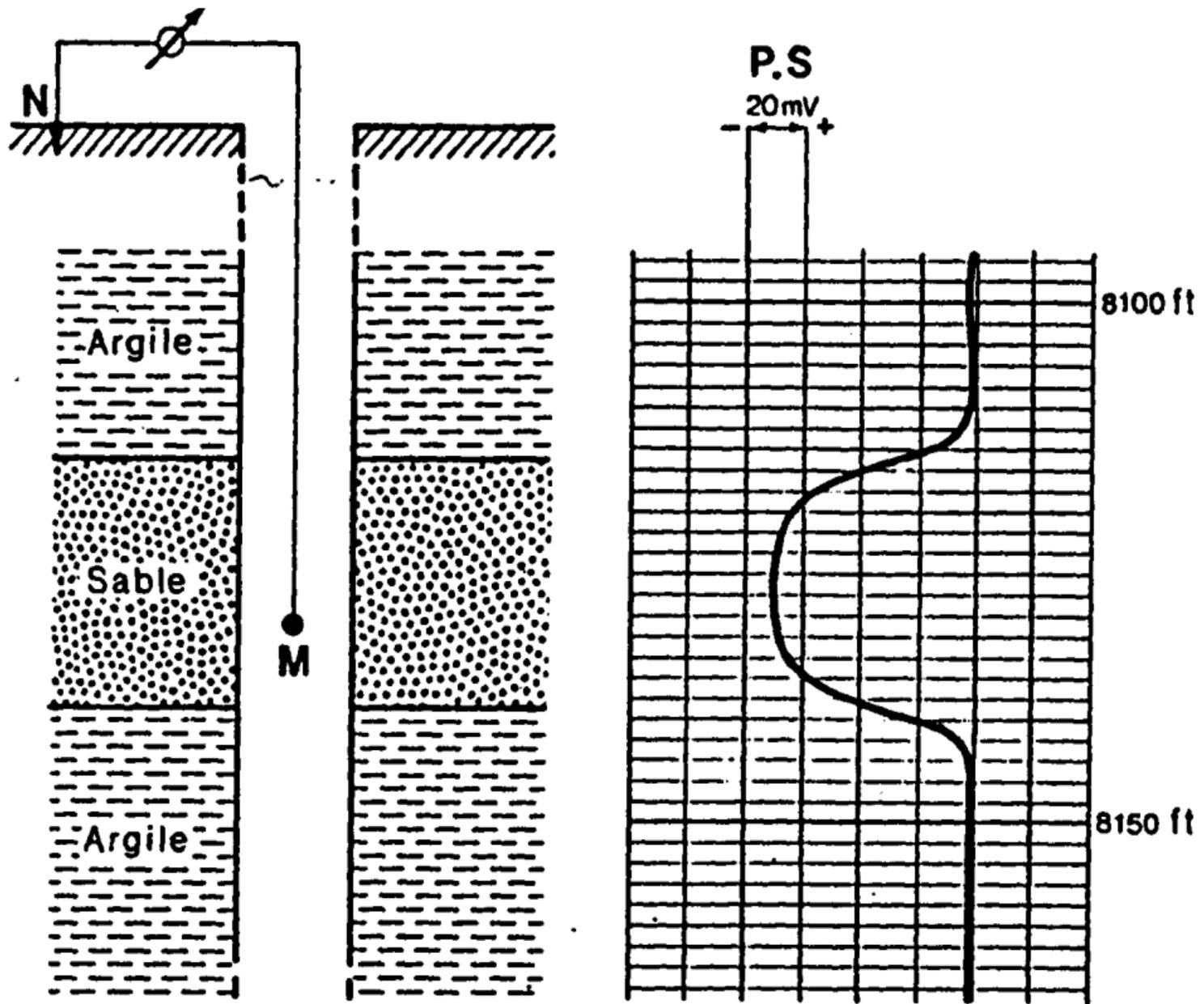
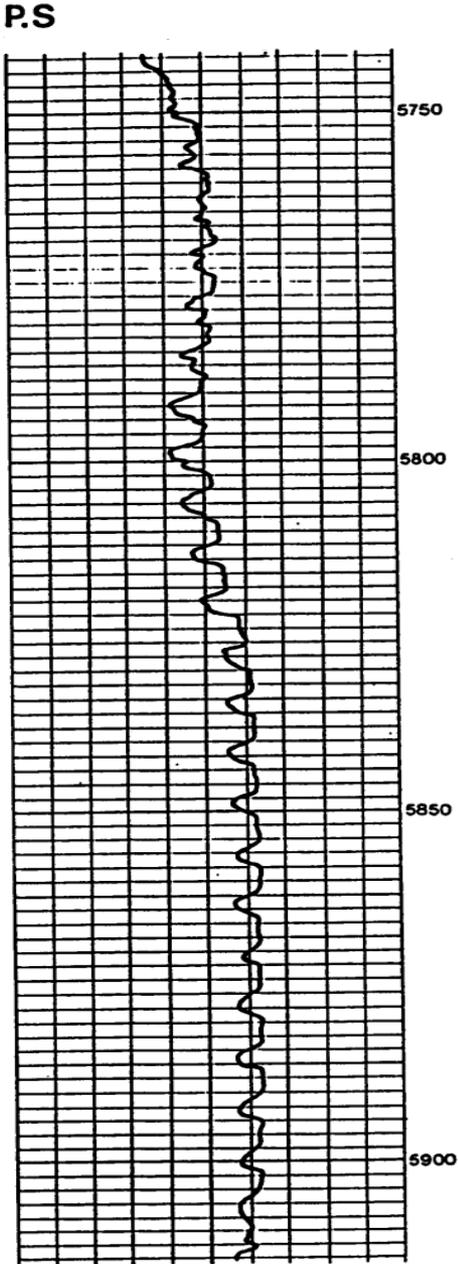
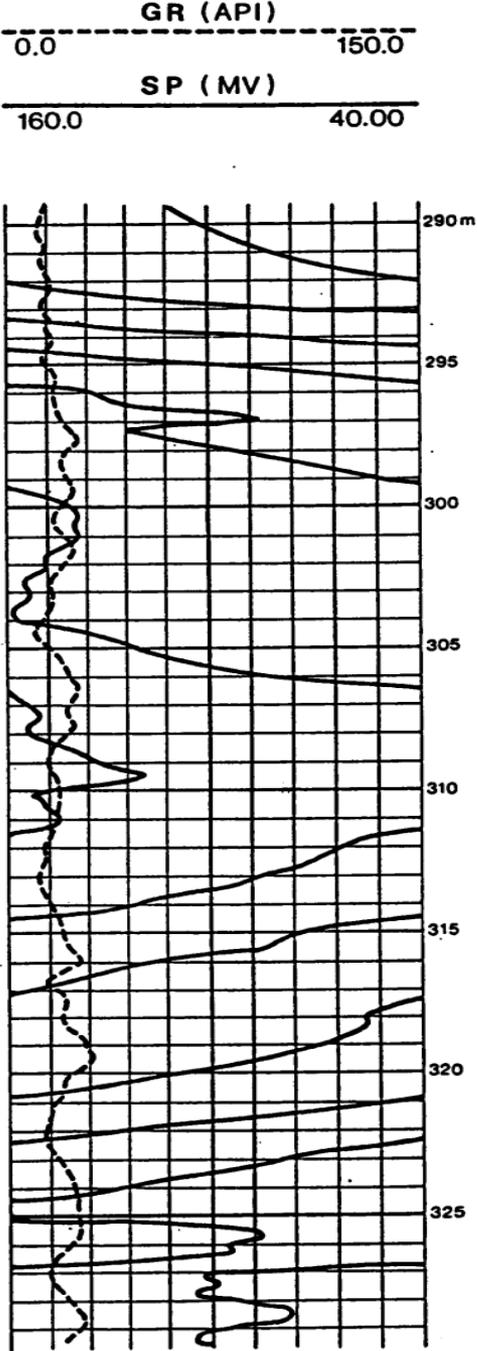


Schéma de principe de mesure de la P.S.

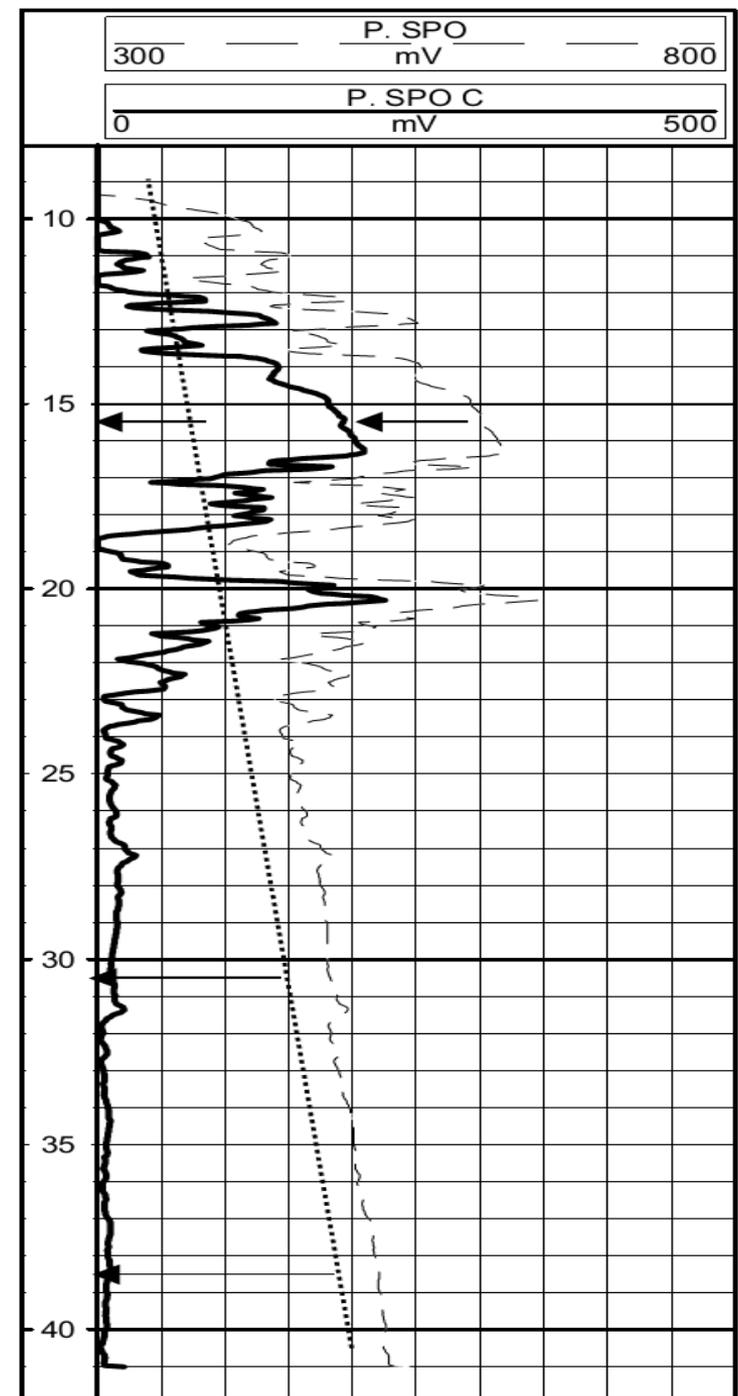
Effet des courants parasites et effet du magnétisme sur le câble



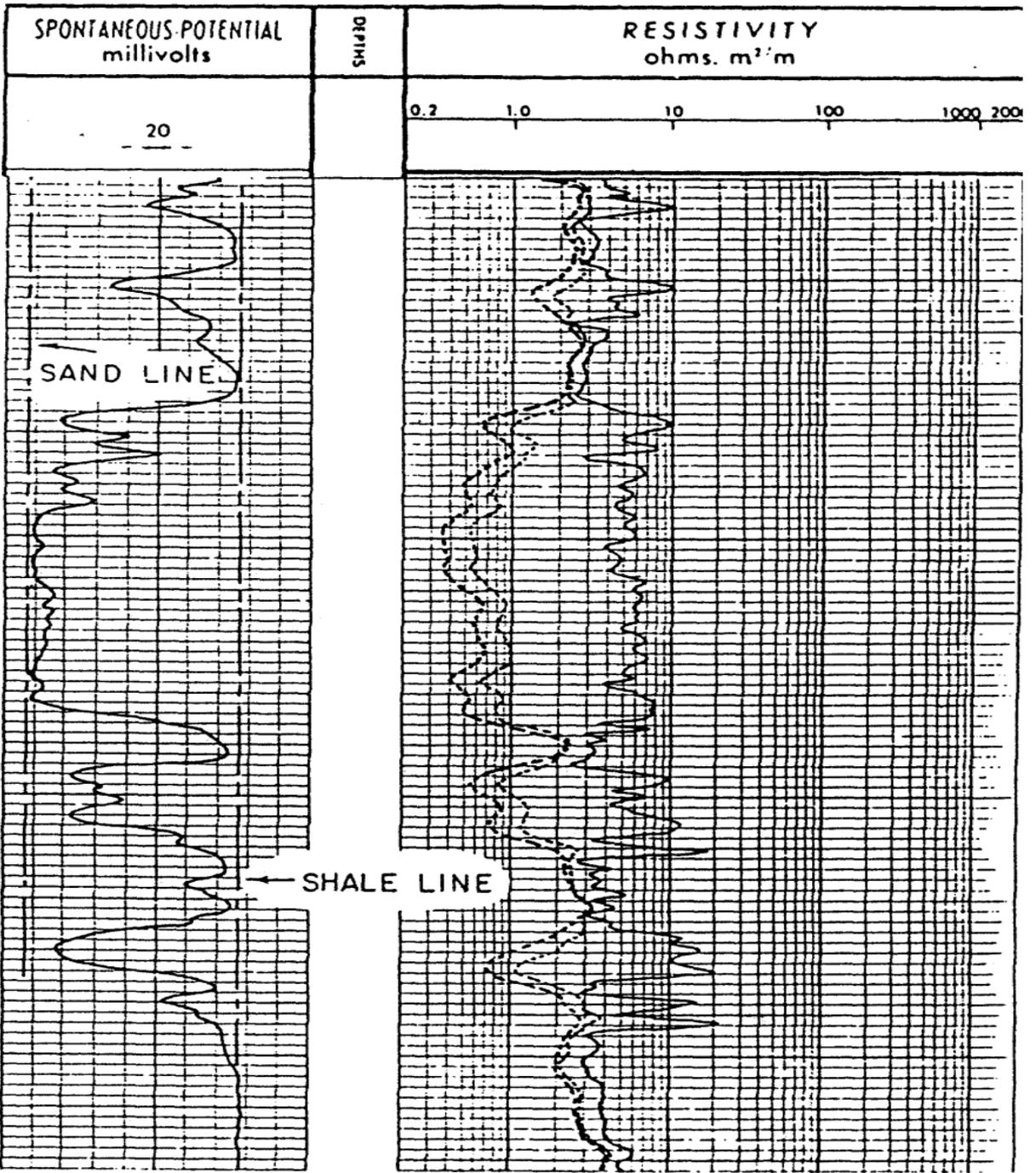
Exemple de la dérive de la référence

P. SPO : Polarisation Spontanée.

P. SPO C : Polarisation Spontanée corrigée de la dérive.



Exemple de P.S. dans une série de sables argileux.



Facteurs influençant la forme et l'amplitude des déflexions P.S.

La forme et l'amplitude des déflexions P.S. peuvent être influencées par différents facteurs qui sont :

Influence de la salinité des fluides en présence.

La P.S. dépend essentiellement de la différence de salinité entre les fluides en présence, filtrat de boue et eau de formation.

Divers cas peuvent se présenter :

- Eau de formation plus salée que le filtrat de boue $R_{mf} > R_w$.

La P.S. est dite normale c'est le cas que nous avons envisagé jusqu'à présent.

Le positif est alors en face des argiles et le négatif en face des formations propres.

La déflexion est d'autant plus marquée que le contraste des salinités est important.

- Eau de formation moins salée que le filtrat de boue $R_{mf} < R_w$.

Dans ce cas on obtient une P.S. dite inverse, le positif est en face des sables et le négatif en face des argiles. Ce phénomène se produit assez souvent en prospection hydrologique.

- Eau de formation de même salinité que le filtrat $M_F = R_w$.

La P.S. est alors plate, l'enregistrement ne montre pas de différence entre les argiles et les bancs poreux et perméables.

Influence de l'épaisseur des bancs.

Les limites correspondent aux points d'inflexion de la courbe P.S.

Si le banc est épais la déflexion est maximum et montre une forme aplatie.

Si le banc est mince la courbe dessine un pic, le potentiel statique n'est pas atteint. Dans ce cas pour connaître la valeur maximale de la P.S. il faut utiliser des abaques qui permettent de corriger en fonction de l'épaisseur du banc. Epaisseur que l'on détermine sur des autres diagraphies.

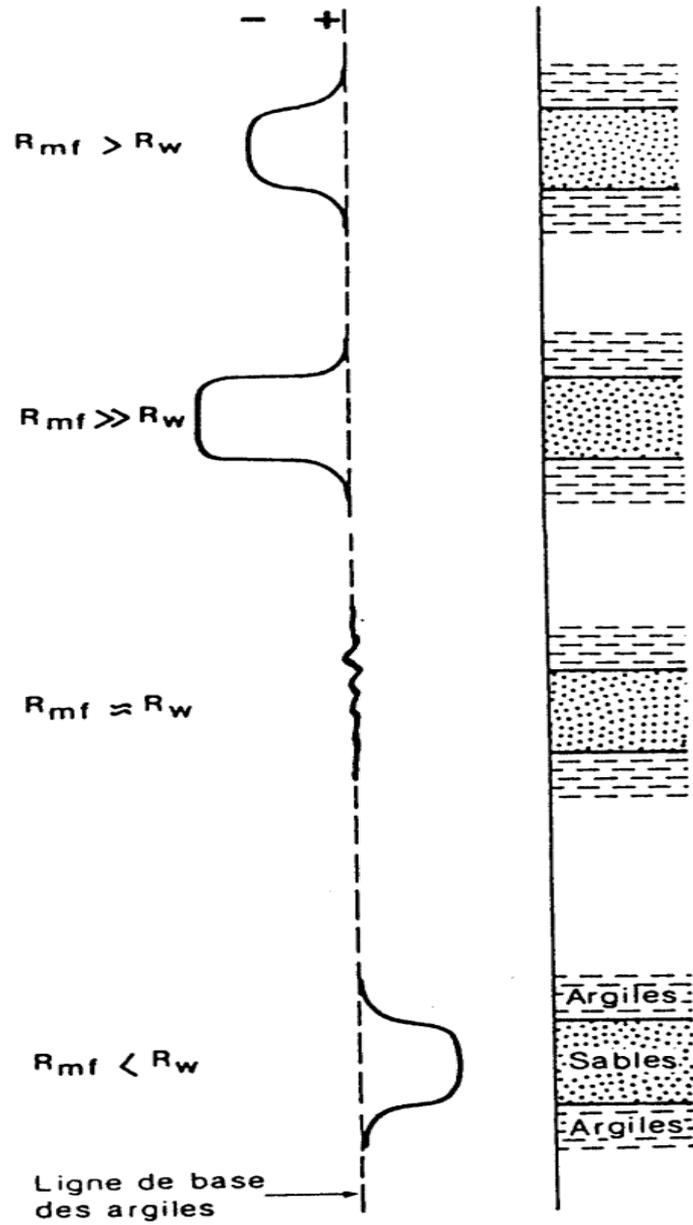
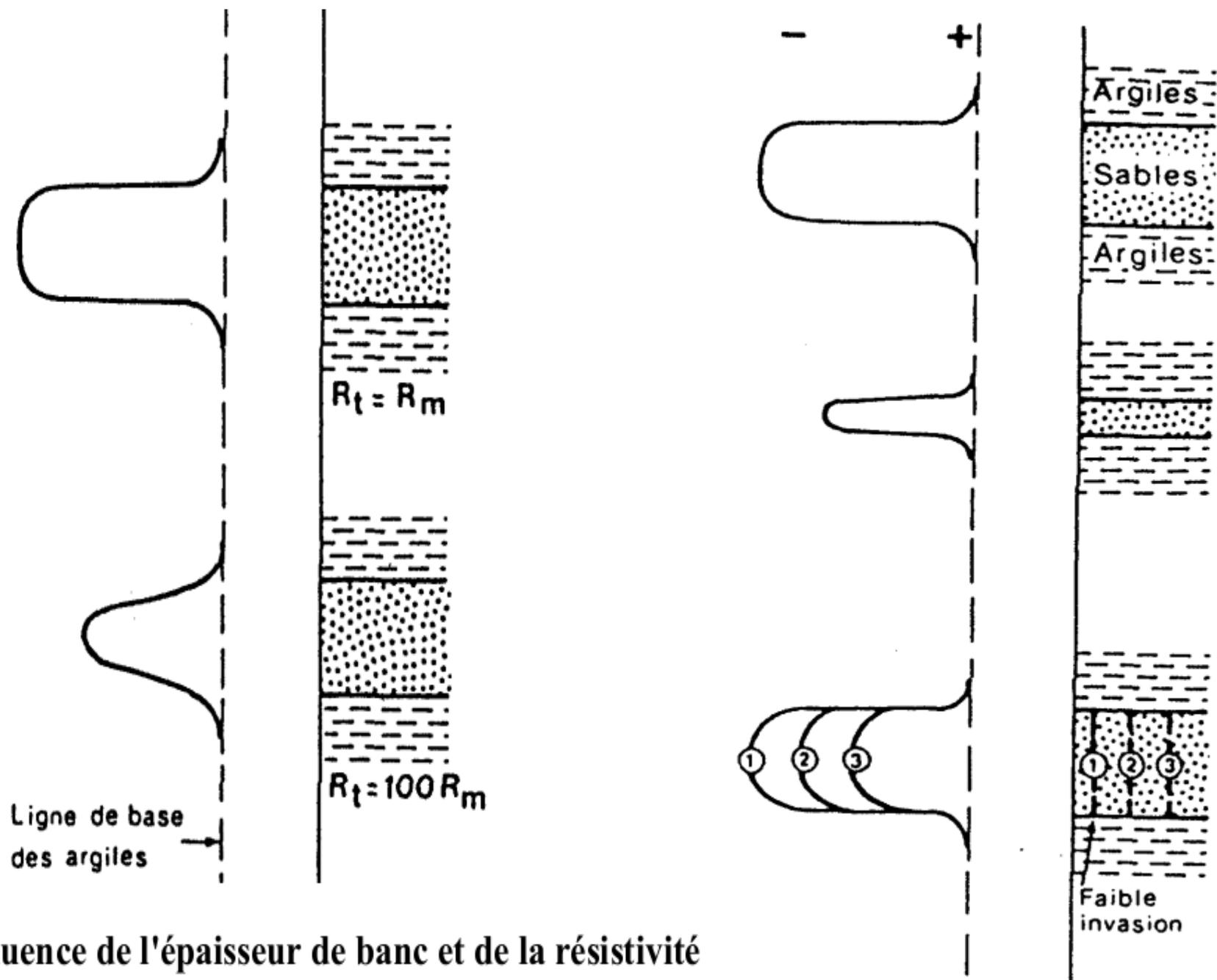


Figure 3.8 : Influence de la salinité.

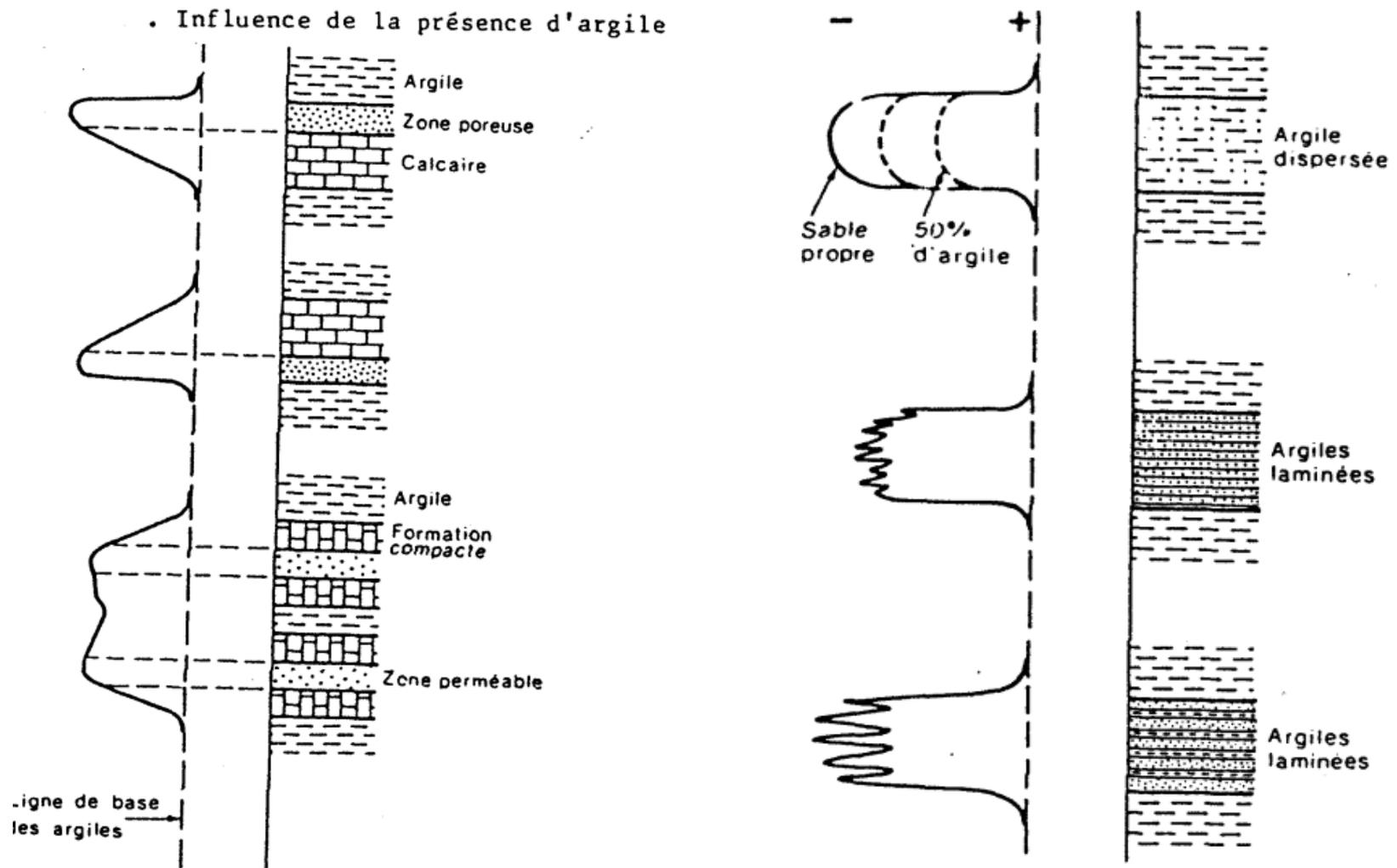


Influence de l'épaisseur de banc et de la résistivité

Une augmentation du diamètre du forage diminue la déflexion P.S.
De même, lorsque la zone lavée s'agrandit la déflexion P.S. décroît.

Influence de la résistivité

Si les bancs perméables ont une résistivité Elevée, les courants P.S. ont du mal à s'établir. Des abaques permettent de corriger cet effet.



Influence de la présence d'argile et effet des formations compactes.

Influence de la présence d'argile

La présence d'argile dans un banc réservoir diminue l'amplitude de la déflexion P.S.

L'atténuation est une fonction linéaire du pourcentage d'argile dispersée dans la roche.

Cette propriété permet d'ailleurs de calculer le pourcentage d'argile présent dans un réservoir.

Effet des formations compactes

Les niveaux argileux intercalés entre des bancs compacts se marquent par un changement de pente de la courbe P.S. La courbe P.S. demeure généralement rectiligne en face des formations compactes.

Dérive de la ligne de base

La dérive de la ligne de base est souvent provoquée par des modifications de l'électrode de référence. Un manque d'homogénéité de la boue peut provoquer des effets similaires. Parfois le changement de la ligne de base peut être imputé à des variations géologiques, soit une variation de la salinité de l'électrolyte saturant les roches, soit un changement des propriétés des argiles .

Effet de la perméabilité

Les courants ne peuvent se développer qu'en présence de bancs poreux et perméables cependant l'amplitude de la déflexion P.S. n'est pas une fonction simple de la perméabilité ou de la porosité.

Interprétation quantitative

Le log P. S. s'il est bien développé peut servir à calculer la résistivité de l'eau de formation R_w .

L'interprétation quantitative classique de la P.S. est basée sur les suppositions suivante :

- L'eau de formation et la boue de forage sont toutes deux des solutions de NaCl.
- Dans la zone considérée les sables sont propres, c'est à dire dépourvus d'argile, et les formations argileuses sont de véritables bancs d'argile.

- La résistivité du filtrat est supérieure à la résistivité de l'eau d'imbibition $R_{mf} > R_w$.

Détermination de R_w à partir de la P.S

- 1- Tracer la ligne de base des argiles. Cette ligne de base peut parfois présenter une légère dérive.
- 2- Repérer les zones poreuses et perméables. La valeur de la déflexion P.S. Etant influencée par l'épaisseur des bancs il faut si possible prendre dans l'intervalle intéressant un banc assez épais qui montre une anomalie P.S. maximum et constante.
- 3- Déterminer la température de la formation à la profondeur choisie.
- 4- Ramener R_{mf} à la température de la formation. Si cette nouvelle valeur de R_{mfe} est inférieure à 0.1 Ohm.m on doit transformer en R_{mf} à l'aide de l'abaque 5.
- 5- Lire la valeur de la déflexion P.S. (nombre de millivolts depuis la ligne de base). Il y a lieu dans certains cas d'apporter une correction pour l'épaisseur du banc. Cette correction se fait de la façon suivante :
 - Déterminer l'épaisseur du banc \neq partir des points d'inflexion. Vérifier sur d'autres logs.
 - Sur un log électrique lire la valeur de la résistivité pour la profondeur considérée.
 - Ramener R_m à la température de la formation.L'abaque 6 fournit alors le facteur de correction par lequel il faut multiplier la valeur de la déflexion lue sur le log.
- 6- L'abaque 7 permet maintenant retrouver R_{we} .
 - Si cette valeur est supérieure à 0.1 Ohm.m on la garde comme valeur de R_w .
 - Si R_{we} est inférieure à 0.1 Ohm.m il faut utiliser l'abaque 4 pour obtenir R_w .Cette valeur R_w permet de calculer la salinité de l'eau d'imbibition. Rappelons qu'il s'agit d'une salinité Equivalente en NaCl.

Calcul du pourcentage d'argile

Nous avons vu que l'on peut dans certaines conditions tracer sur le log P.S. la ligne de base des argiles qui correspond à un volume de 100 % d'argile. Il est aussi possible de tracer la ligne de base des sables qui représente alors 0 % d'argile. Cette particularité permet d'estimer le volume d'argile en un point donné.

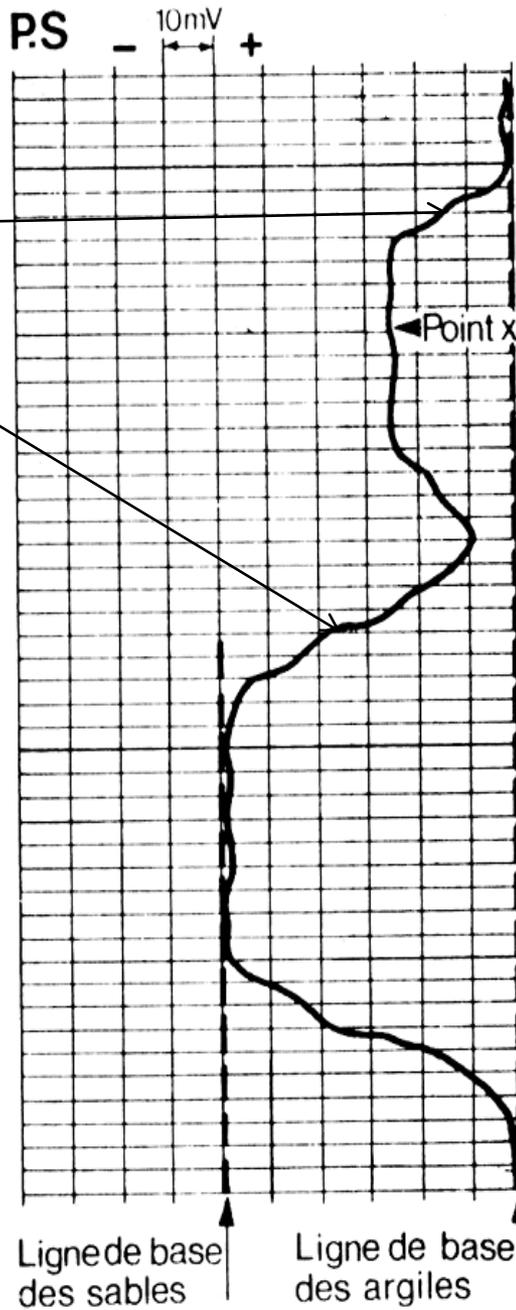
Le volume d'argile au point X se calcule de la façon suivante :

$$V_{sh} = \frac{P.S.S. - P.S. \text{ au point } X}{P.S.S.}$$

V_{sh} = volume d'argile en %

P.S.S.= valeur maximum de la déflexion P.S. dans l'intervalle considéré, valeur qui correspond à la ligne de base des sables.

P.S. au point X = valeur de la déflexion P.S. à la profondeur choisie.

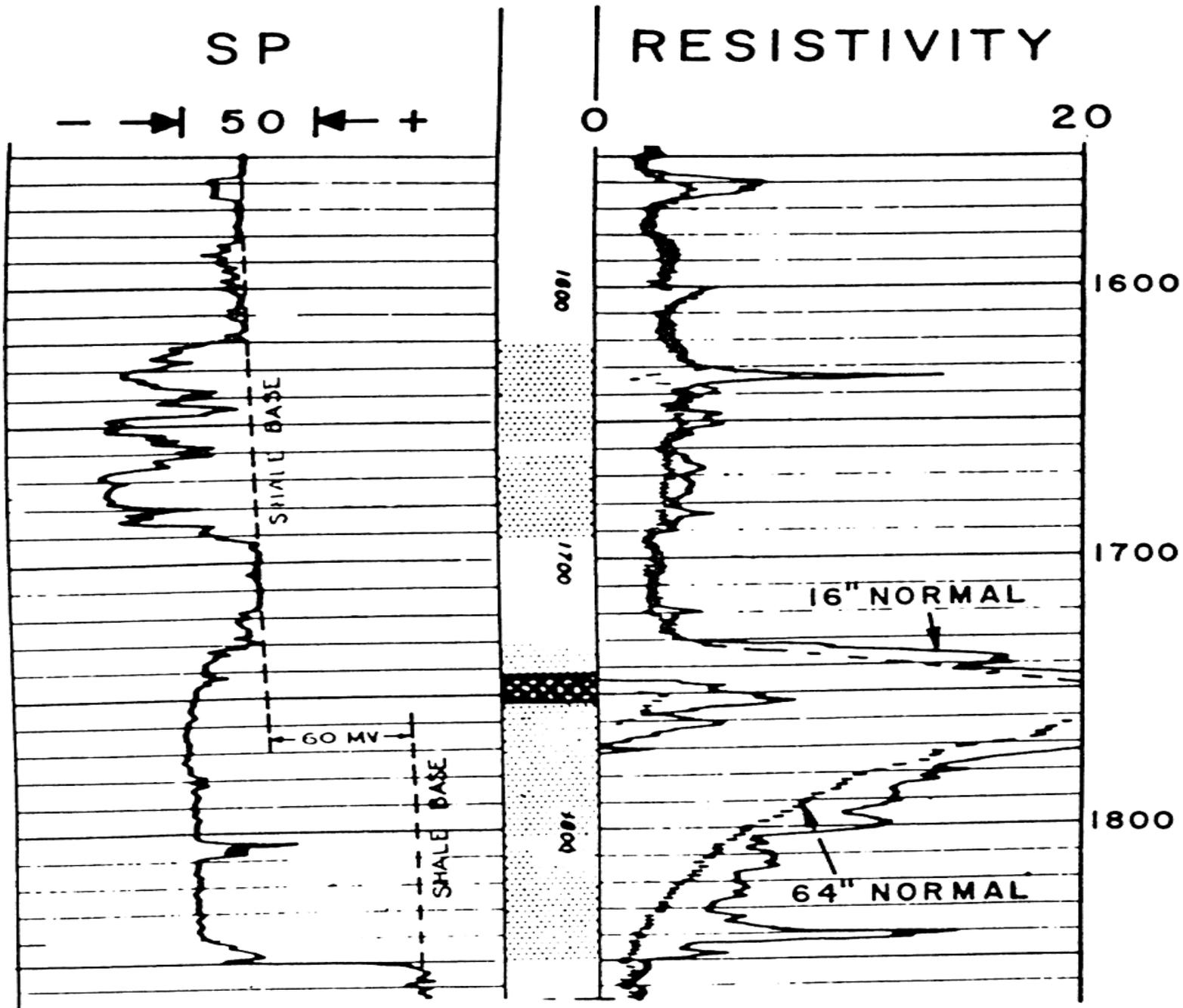


Calcul du pourcentage d'argile :

déflexion P.S. sable = 60 mV

déflexion P.S. sable argileux = 25 mV

$$V_{sh} = (60-25)/60 = 0.58$$



Changement de la ligne de base des argiles

Université de Ferhat Abbas sétif1
Institut d'architectur et des sciences de la terre
Département des sciencenes de la terre.



**Polycopie de cours
(Cours donné au géologues)**

COURS DE DIAGRAPHIE

Présenté par : Dr. HAMLAOUI MAHMOUD

LES LOGS ELECTRIQUES

Introduction

Pour mesurer la résistivité électrique en forage le principe est le même que pour les méthodes électriques de surface et la résistivité apparente est obtenue par la formule suivante :

$$R_{app} = K \frac{\Delta V}{I}$$

K :est appelé ici coefficient de sonde. C'est un facteur géométrique qui dépend du dispositif utilisé.

Pour chaque outil utilisé, la distance entre électrode d'envoi de courant et électrode de mesure de potentiel est désignée sous le terme d'espacement = L.

Plus L est grand, plus la profondeur d'investigation de l'outil sera grande.

A chaque outil utilisé ayant un certain espacement, correspondra une lecture de résistivité à une certaine distance du sondage. Il importe donc, pour apprécier la valeur de la résistivité mesurée de bien connaître la contribution au signal recueilli de chacune des zones entourant le trou de forage.

On pourrait penser qu'en augmentant la longueur des dispositifs, il est possible de mesurer une résistivité apparente qui soit très proche de la résistivité vraie de la formation vierge. Cela ne peut être vrai que si la formation mesurée est aussi proche que possible des conditions idéales, c'est à dire homogène, isotrope et infinie en dimension vers le haut et vers le bas. Cette condition ne saurait être réalisée qu'exceptionnellement dans le modèle géologique exploré par l'outil.

C'est la combinaison d'outils, de profondeurs d'investigation variées qui nous permettra en définitive d'obtenir les valeurs des résistivités qui nous intéressent.

Le log single point ou mono Électrode

Principe

Mesure de la résistances ohms entre une électrode descendue dans le forage et une électrode de référence en surface.

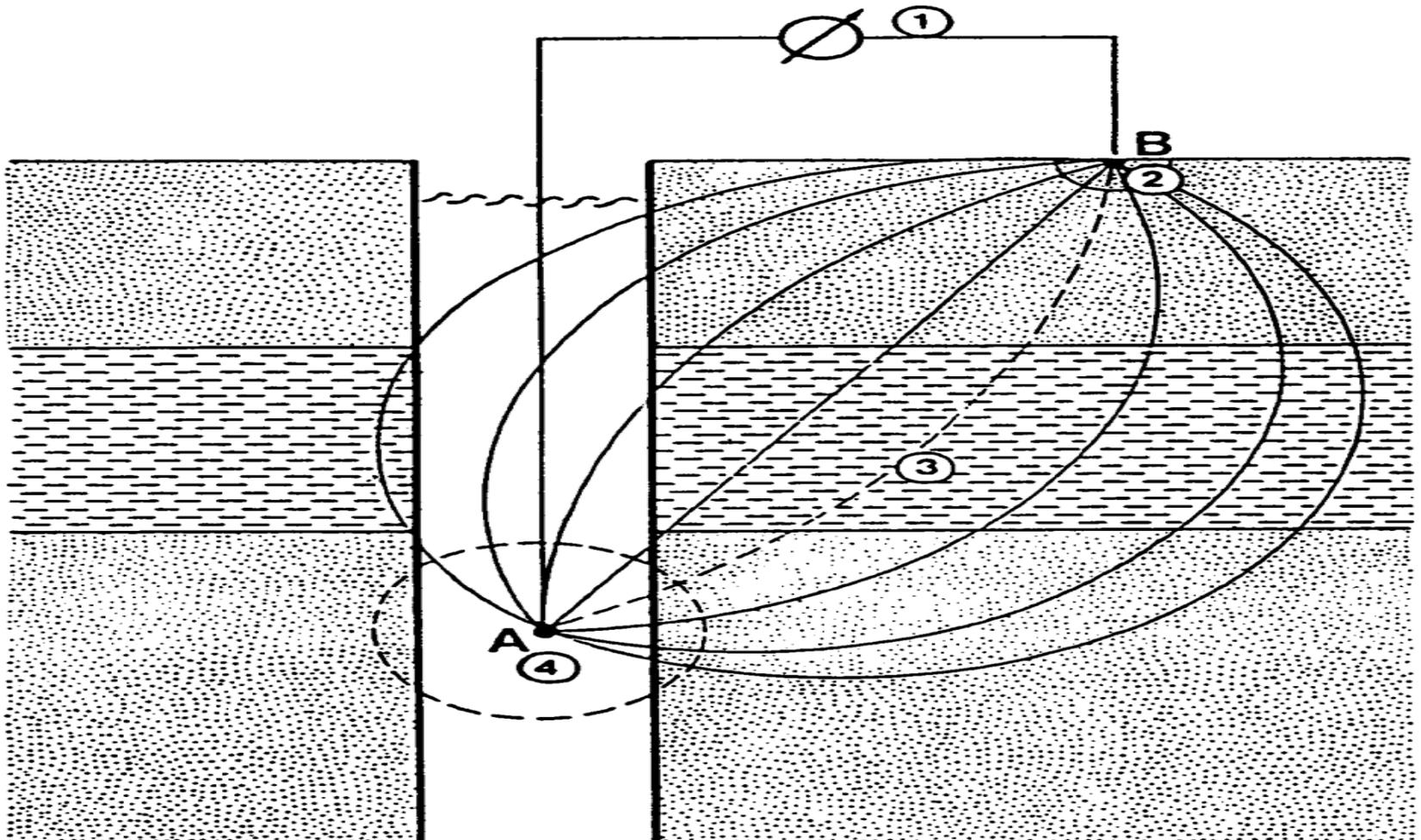
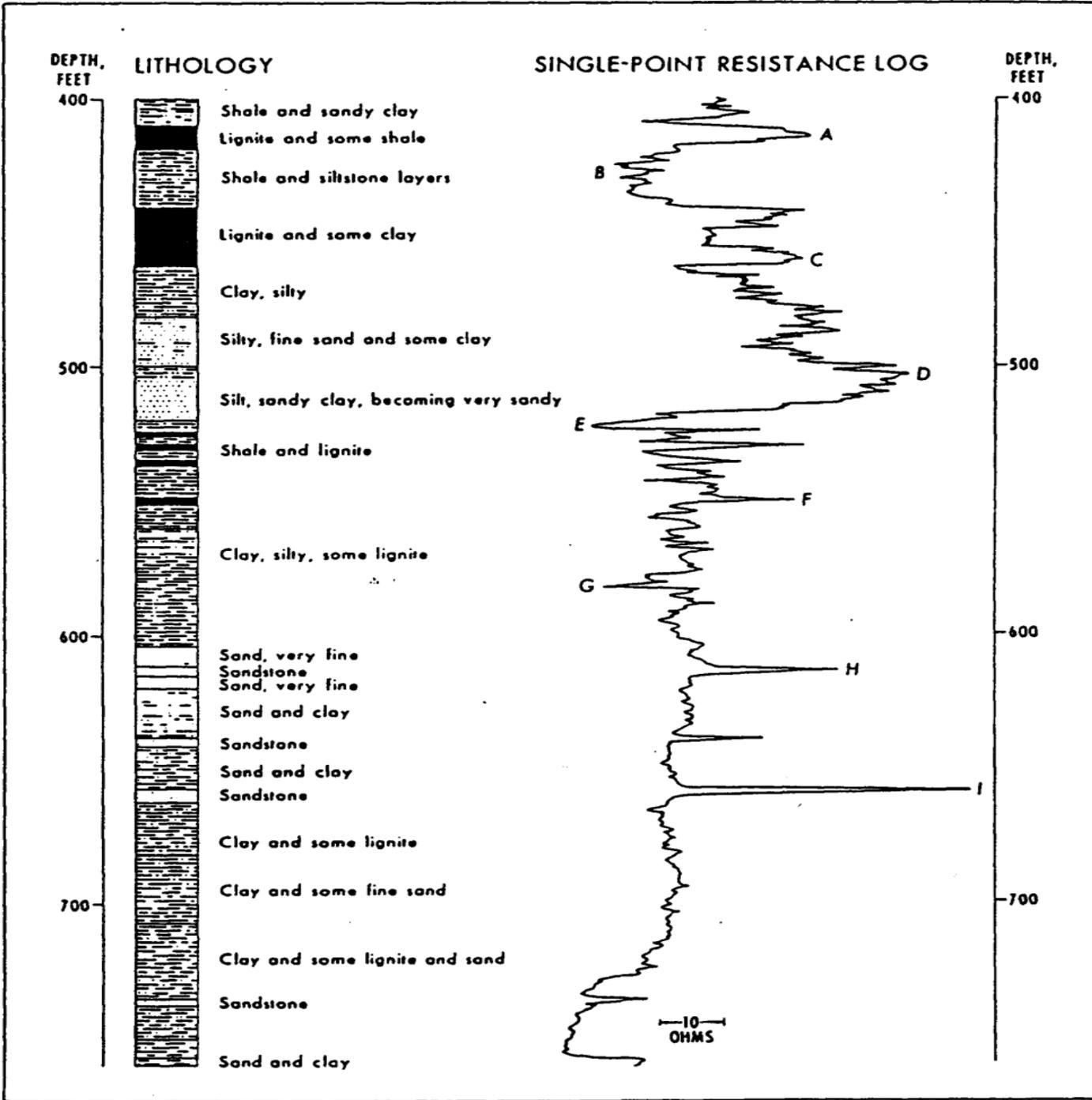


Schéma de principe du single point

Exemple :
d'enregistrement du
single point



RÈponse du single point

L'Interprétation n'est que qualitative. Cependant, l'outil possède un très bonne définition verticale.

La courbe est symétrique par rapport au milieu du banc et les limites des couches aux points d'inflexions. Cette mesure est très influencée par la résistivité du fluide de forage et les changements de diamètre du trou.

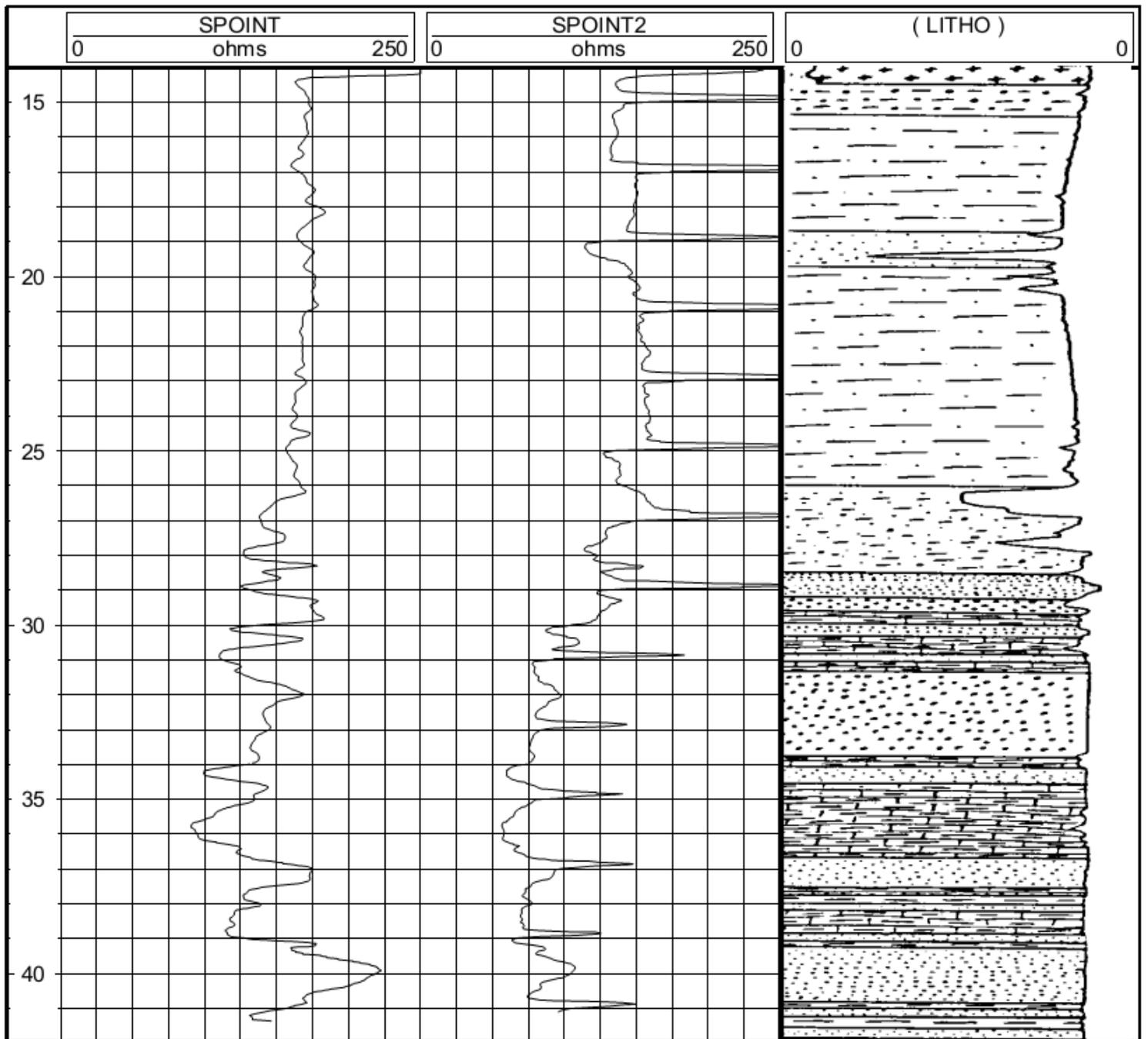
L'Èchelle est en ohms par division augmentant vers la droite.

En résumé c'est un très bon outil qualitatif avec une très bonne définition verticale.

Enregistrement de single point.

SPOINT 1 : Single Point en trou nu

SPOINT2 : Single Point en trou tubé PVC crépine



Le dispositif normal ou Normal device

Principe

C'est une réalisation de la mesure selon une géométrie très simple. Le potentiel mesuré en M est issu de A ; B et N étant considérés à l'infini. I étant maintenu constant, le potentiel mesuré varie avec R, on a :

$$V = R \cdot I \frac{1}{4\pi \cdot AM}$$

Le point de mesure est O, milieu de AM. Le rayon d'investigation d'une telle sonde est égal à 2 AM. La définition verticale est égale à 2 AM.

Deux espacements sont utilisés dans la pratique :

- la petite normale, N 16", short normal (AM = 40 cm),
- la grande normale, N 64", long normal (AM = 160 cm).

Le point de mesure de la résistivité est le milieu de l'espacement AM.

Réponse de la sonde normale

La résistivité lue est en général inférieure à la résistivité vraie.

L'épaisseur des couches aux points d'inflexion est plus petite que l'épaisseur vraie d'une longueur AM dans le cas des bancs épais résistants, et plus grande que l'épaisseur vraie d'une longueur AM dans le cas des bancs conducteurs.

Pour les couches minces résistantes il se produit un phénomène d'inversion la couche apparaît comme conductrice. Ce phénomène ne se produit pas pour les couches minces conductrices. Dans tous les cas, les sondes normales donnent une courbe centrée sur le milieu des couches. Pratiquement on peut considérer que :

- la petite normale donne une valeur de R_{xo} ,
- la grande normale donne des valeurs comprises entre R_{xo} et R_t et très tributaires de la profondeur d'invasion.