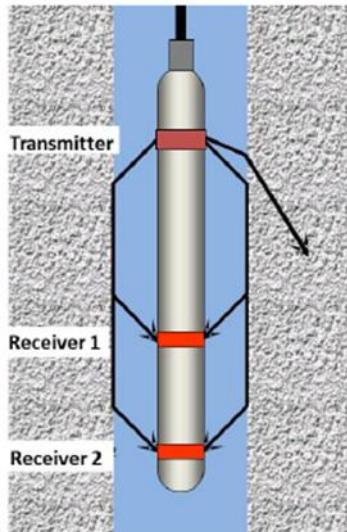


القياسات الصوتية Sonic Logs



المبدأ : يتم إصدار أمواج صوتية بترددات معينة باتجاه التشكيلة ل تستقبل من قبل لاقط أو أكثر مثبت على السابر .

أن اختلاف سرعة انتشار الصوت في الصخور او داخل الطبقات له علاقة عكسية مع مسامية الصخور فكلما كانت مسامية الطبقة عالية كانت سرعة انتقال الصوت في الطبقة أقل .

عبر عن هذا العلاقة بمعادلة رياضية : (Wyllie, 1958)

$$\frac{1}{V_t} = \frac{\phi}{V_f} + \frac{(1 - \phi)}{V_m}$$

حيث ان

V_t السرعة المقيسة اي المفروءة من السابر (ميكروثانية/قدم او ميكروثانية/م)

V_f سرعة انتقال الموجة داخل المائع

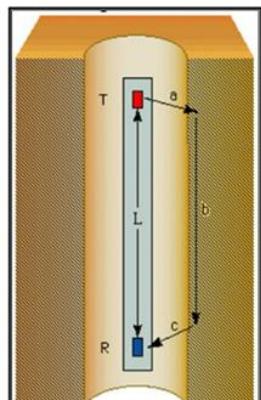
V_m سرعة انتقال الموجة داخل الهيكل الصخري (matrix) .

تقيس التسجيلات الصوتية الزمن المستغرق لمرور الموجة الصوتية المنتقلة خلال قدم واحدة من التشكيلة وتقاس بوحدات (ميكروثانية/قدم) وهي مقلوب السرعة. ويعتمد الزمن المستغرق على سرعة انتقال الموجة عبر الصخور المختلفة

يظهر بوضوح تأثير التركيب الصخري والمسامية على سرعة انتقال الموجة خلال النماذج الصخرية المختلفة اعتمادا على تركيب الصخر .

Sonic log/Acousticlog – Principle.

SONIC PRINCIPLE



للحصول على المسامية يجب أن تكون قيمة Δt_{ma} معلومة. وتقاس المسامية من معادلة

وايلي

$$\phi_{sonic} = \frac{\Delta t_{log} - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}}$$

حيث

ϕ_{sonic}

فاصلة انتقال الموجة خلال التشكيلة ويقاس من تسجيل السايرة الصوتية

Δt_{log}

فاصلة انتقال الموجة خلال الصخر وتساوي (47.5) us/f للصخور الكلسية

Δt_{ma}

فاصلة انتقال الموجة خلال السائل وتساوي (189) us/f لراشح الحفر العذب

Δt_f

تتميز أنواع الصخور المختلفة بأزمنة ارتحال ثابتة لكل نوع تدل عليه

ثوابت قيم الكثافة وأزمنة الارتحال لبعض أنواع الليثولوجيا:

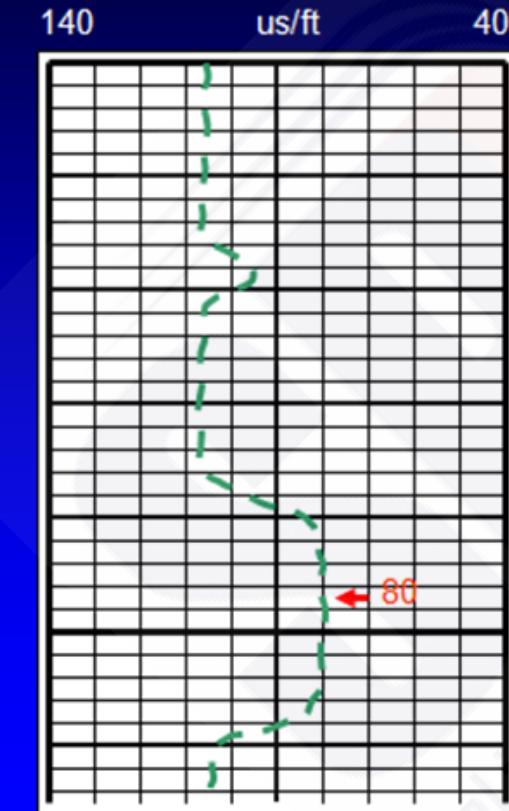
Density (g/cm ³)	DT (msec/ft)	Formation
2.65	55	Sandstone
2.71	47	Limestone
2.85	43	Dolomite
2.96	50	Anhydrite
2.03	67	Salt
2.3-2.6	80-100	Shale

- **Measures speed of sound in the formation in microseconds/ft**
- **Each rock type (lithology) has a characteristic DT 40-70 us/ft.**
- **Fluids have a much slower DT of 180-230 us/ft, gas even slower.**

تحديد المسامية من خلال التسجيلات الصوتية

Log
example

Acoustic Porosity



Observed Delta Time DT

$$\phi = \frac{DT - DT_{ms}}{DT_f - DT_{ms}}$$

(Wyles formula)

Sand DT = 55

Water DT = 189

DT 80 → Porosity = 18.5%

حساب المسامية (الكلية ، الفعالة، الثانوية) :

يتم حساب قيم المسامية الكثافية و باستخدام برنامج IP-v3.5 من قياس سايرة الكثافة ، وذلك من خلال العلاقة التالية (المسامية الكثافية (Φ_D) :

$$\Phi_D = \frac{\rho_{ma} - \rho_g}{\rho_{ma} - \rho_f}$$

حيث يتم الحصول على قيم كثافة الهيكل الصخري ρ_{ma} وكثافة المائع الطبيعي ρ_g من التقارير المخبرية ، وتعد قيمة ρ_f البارامتر المتغير على طول جدار البئر.

ويمكن الحصول على محتوى المسامية الكثافية Φ_D لكل تسجيل كثافي يندرج

أما المسامية التتروتية فتسجل مباشرة من قراءة استجابة قياس السايرة التتروتية أمام التشكيلات المختربة في كل يندر المسامية التتروتية :

$$\Phi_N = \phi_{LOG}$$

لحساب المسامية الفعالة - Φ_e (effective porosity) لكل يندر

تقوم أولاً بإيجاد المسامية الكلية ϕ

والتي تساوي إلى مجموع المساميتين التتروتية والكتافية وقسمتها على 2 وللتخلص من تأثير التشيل تقوم بطرح المسامية الغضاربة من القيمة الناتجة للحصول على قيمة المسامية الفعالة أمام الطبقات المختربة

$$\phi_T = (\phi_N + \phi_D) / 2$$

حيث يندرج تواجد التشيل لزيادة وهمية بقيمة المسامية المحسوبة

$$\phi_{Tsh} = \frac{\rho_{ma} - \rho_{sh}}{\rho_{ma} - \rho_g}$$

المسامية الكلية الغضاربة Φ_{Tsh} :

حيث : ρ_{ma} كثافة الهيكل الصخري - ρ_g كثافة المائع الطبيعي
 V_{sh} حجم التشيل في طبقة - ρ_{sh} كثافة التشيل في طبقة

$$\phi_e = \phi_T - (\phi_{Tsh} \cdot V_{sh}) : \text{المسامية الفعالة } \Phi_e$$

المسامية الأولية (ϕ_1) : يعبر عنها بالمسامية المأخوذة من التسجيل الصوتي وتحسب : حساب المسامية الصوتية باستخدام معادلة وايلي : wyllie

$$\phi_{sonic} = \frac{\Delta t_{log} - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}}$$

: المسامية الصوتية (الأولية) ϕ_{sonic}

: زمن الارتحال المأخذ من التسجيل الصوتي أمام الطبقة الهدف
قراءة القياس الصوتي ب ميكروثانية / متر

: زمن الارتحال في الهيكل الصخري (تؤخذ من التقارير المخبرية لعينات الأكوار) Δt_{ma}
زمن عبور الموجة في الهيكل

: زمن الارتحال ضمن المائع الطبقي Δt_f
زمن عبور الموجة في السائل

المسامية الثانوية (ϕ₂)

وهي المسامية التي تشكلت بعد عملية تشكيل الصخر نتيجة
تأثير قوى خارجية (الشد أو الانضغاط) أو عمليات كيميائية داخلية (الدلتة)

وبما أن التسجيلين النتروني والكتافي يعطيان المسامية الكلية والتسجيل الصوتي يقيس فقط المسامية الأولية ،
يمكن حساب المسامية الثانوية بطرح المسامية الأولية من الكلية

$$\Phi_{\text{secondary}} = \Phi_{\text{Total}} - \Phi_{\text{Primary}}$$

حساب المسامية الثانوية

تعرف المسامية الثانوية على أنها الفرق بين المسامية الكلية المشتقة من القياس النتروني والكتافي وبين المسامية الأولية المشتقة من القياس الصوتي ، ويمكن حساب المسامية الثانوية من خلال المعادلة :

$$\Phi_{\text{sec}} = \Phi_{\text{ND}} - \Phi_{\text{S}}$$

حيث أن Φ_{ND} هي المسامية الكلية المشتقة من القياس الكثافي النتروني
 Φ_{S} المسامية الأولية المشتقة من القياس الصوتي.

كما أن Φ_{ND} يمكن حسابها من المعادلة :

$$\Phi_{\text{ND}} = \frac{\Phi_{\text{N}} + \Phi_{\text{D}}}{2}$$

Resistivity

- **Measures electrical conductivity**

Saturation الاشباع & Formation Resistivities مقاومية التشكيلات

ت تكون معظم التشكيلات المشبعة بالنفط والغاز من صخور لا تنقل التيار الكهربائي بحالتها الجافة فالناقلية الكهربائية لهيكلها الصخري معدومة وبالتالي مقاوميتها لا نهائية

يمر التيار الكهربائي فقط خلال المياه التي تملأ مسامات الطبقة التي تحوي أملاحاً منحلة فيها على شكل شوارد موجبة (SO₄--, Cl-, anions) وسالبة (Ca++, Na+, Cations)

تنخفض مقاومية المياه الطبقية ومعها المقاومية الإجمالية للطبقة نفسها كلما - ازداد التركيز بالأملاح - ازدادت كمية المياه الطبقية (الاشباع) .

- ازدادت كمية الغبار الموجودة في الصخر وبالتالي هناك دوراً هاماً لنوعية الغبار وكيفية توزعه

تحظى قياسات المقاومية **Resistivity** بأهمية خاصة للأهداف التالية :

* - **تحديد الاشباعات Saturations**

حيث تتتوفر سوابر ذات أعمق استكشاف مختلفة ولاسيما في الأجزاء غير المجاتحة من الطبقة الخازنة .

* - تحديد مقاومية الطبقة غير المجاتحة

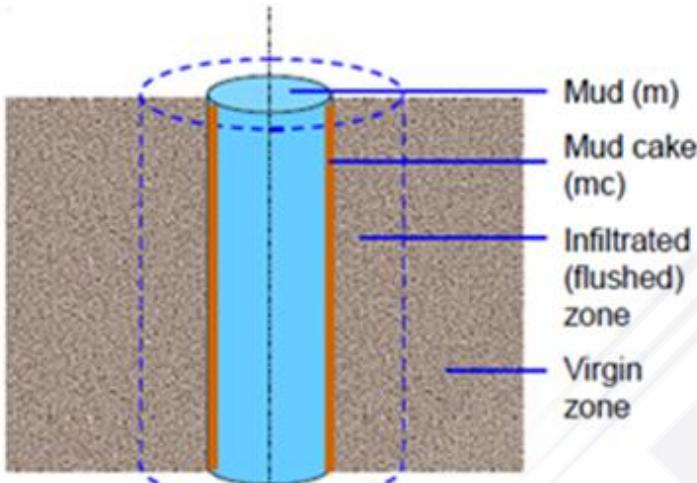
(المقاومية الحقيقة Rt) Univaded zone resistivity

* - تحديد مقاومية القطاع القريب جداً من ثقب البئر - الطبقة المجاتحة

(مقاومية القطاع المغسول Rxo) invaded zone resistivity

حيث أزاح راشح سائل الحفر المواقع الأصلية من مسامات الطبقة .

التشوهات التي تلم بالقطاعات الصخرية حول البئر:



Invaded and virgin zone in a permeable section of a borehole.

RESISTIVITY OF EARTH MATERIALS

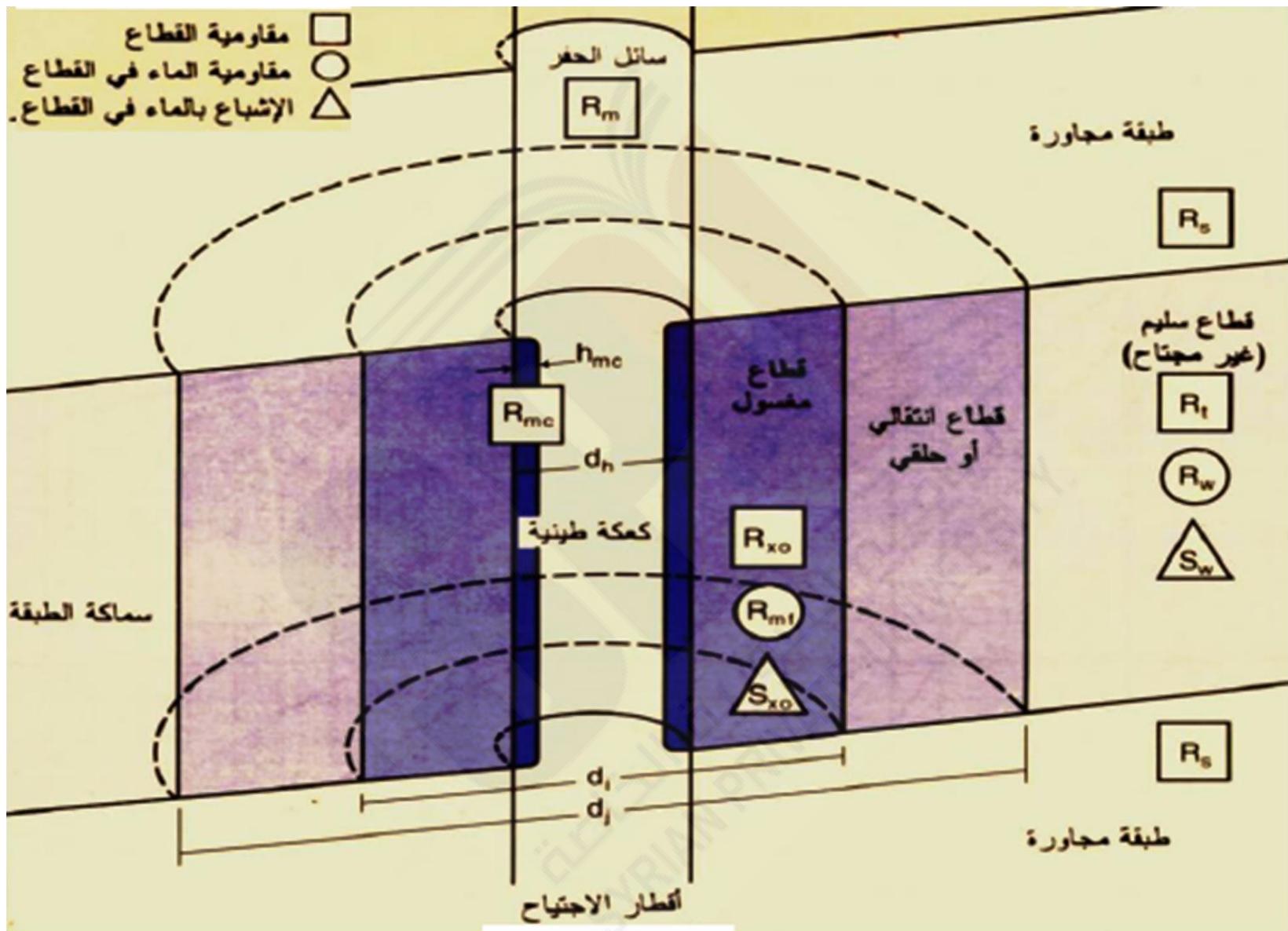
$$\text{Resistivity} = \frac{1}{\text{Conductivity}}$$



تتغير صفات المقاومية للطبقات التي تخترقها البئر في قطاع اسطواني قريب من جدار البئر بتأثير عملية الحفر، إذ يرشح جزء من سائل الحفر (راشح الحفر) مدفوعاً بفارق الضغط بين الضغط المائي (الهيدروستاتيكي) السكוני لعمود سائل الحفر وضغط الماء الذي يملأ الطبقة ليمנע إنفراغ الغازات وليحافظ على صمود جدران البئر وهي من المهام الأساسية له.

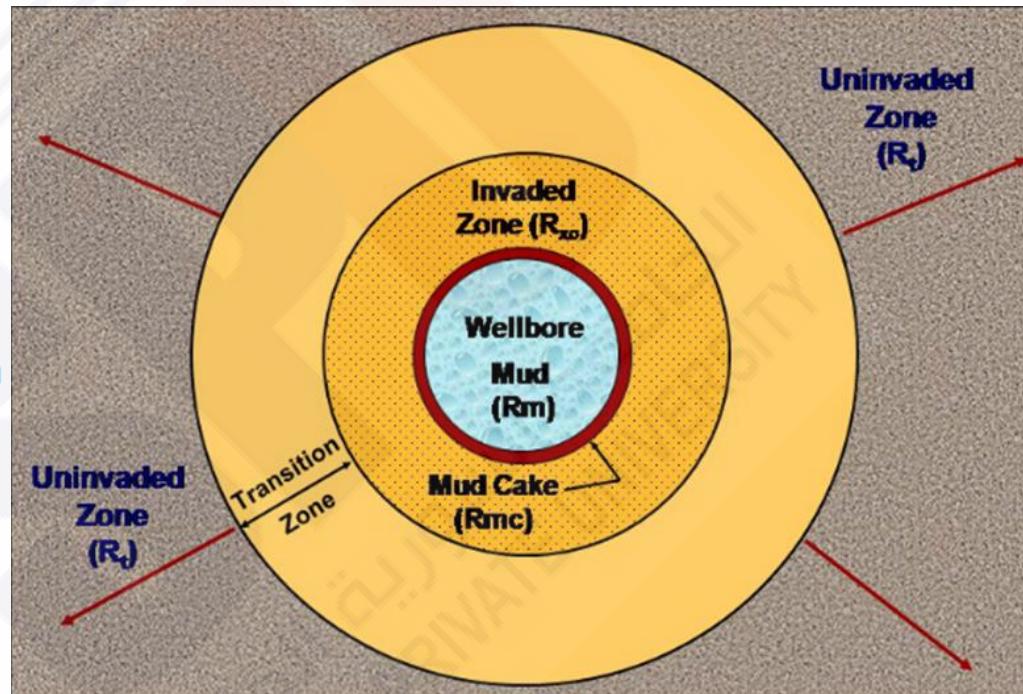
يدفع راشح الحفر ماء الطبقة أمامه مجاتحاً القطاع المجاور لجدار البئر (القطاع المجتاح INVADED ZONE).

ويكون هذا الاجتياح كاملاً في الجزء القريب من البئر (القطاع المغسول) وجزئياً في الجزء الذي يليه بعيداً عن جدار البئر (القطاع الانتقالـي TRANSITION ZONE).



مخطط أفقي لتوزع القطاعات في طبقة نفوذه اختراقها البئر

- **Borehole**
- R_m : Borehole mud resistivity
- R_{mc} : Mudcake resistivity
- **Invaded zone**
 - R_{mf} : Mud filtrate resistivity
 - R_{xo} : Invaded zone resistivity
 - S_{xo} : Invaded zone water saturation
- **Uninvaded zone**
 - R_w : Interstitial water resistivity
 - R_t : Uninvaded zone resistivity
 - S_w : Uninvaded zone water saturation



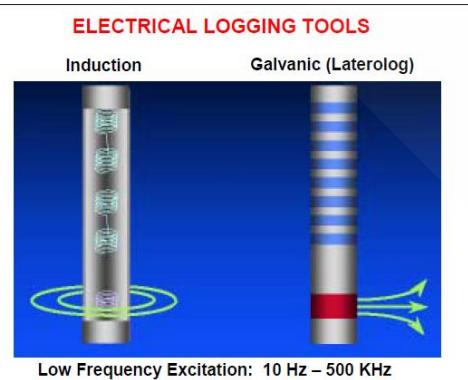
قياسات المقاومية (Resistivity Logs)

تعد القياسات المقاومية أساس التمييز بين الموائع التي تملأ التشكيلات، والتي تتراوح مقاومتها بين ($\Omega \cdot m$) 0.2 - 2000 ونادراً ما تتجاوز هذه القيم، وإن حدث ف تكون في الصخور الكثيمة مثل المتبخرات.

تختلف أعمق الإختراق للقياسات المقاومية البئرية، ولكن بشكل عام تكون ضحلة في معظمها، وتنقص بعمق الإختراق بعد النقطة المقيسة عن جدار البئر، بحيث تتميز القياسات المقاومية بعدة أعمق اختراق حسب عمق النطاق المقيس للتمييز بين النطاقات المجاتحة والنطاقات العذراء .

تعتمد المقاومية الطبيعية بشكل رئيسي على ثلات عوامل :

- 1- نوع المائع الطبيعي.
- 2- كمية الماء.
- 3- هندسة المسامات.



تقاس المقاومية الكهربائية للتشكيلات إما عن طريق توليد تيارات كهربائية وإرسالها إلى التشكيلة وقياس قابلية الطبقة لإمداد هذه التيارات، أو بتحريض تيارات داخل الطبقة وقياس هذه التيارات المتضرسة، حيث أن لكل طريقة استخدامها لأهداف وظروف محددة.

تسجيلات المقاومية الكهربائية في الآبار:

يمكن تقسم القياسات الكهربائية في الآبار إلى ثلاثة مجموعات رئيسية:

CONVENTIONAL RESISTIVITY LOG

FOCUSSED RESISTIVITY LOG

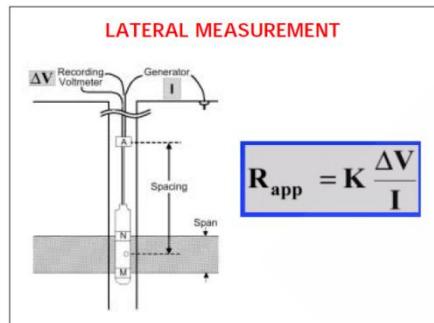
LATERO LOG

INDUCTION LOG (IL)

يضاف لهذه المجموعات مجموعة رابعة هي التسجيلات الدقيقة التي تحتوي

MICRONORMAL

MICROLATEROLOG



يعتمد تحديد المقاومية

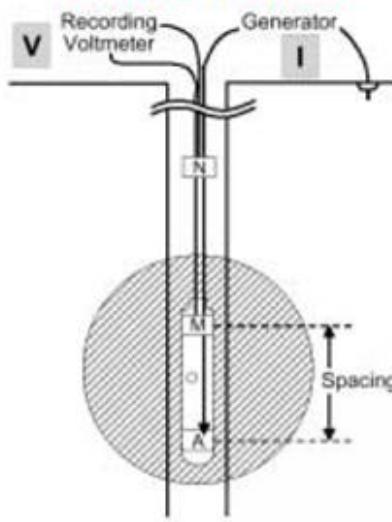
في المجموعة الأولى والثانية والرابعة على إرسال تيار كهربائي في طبقات الأرض بواسطة مسرعين للإرسال A, B وتسجيل فرق الكمون ΔV المتولد نتيجة لجريان التيار بين نقطتين معينتين M, N واقعتين على سطحي كمون مختلفين. يمكن الحصول على مقاومية الطبقة من قيمة كل من شدة التيار I وفرق الكمون ΔV والتبعاد الهندسي بين مسارى التيار والكمون ممثلا بالحد K حسب العلاقة .

نرمز هنا للمقاومية الكهربائية بالرمز R.

كما نسمي مجموعة مسارى الكمون والتيار تشكيلا Configuration .

تمثل R قيمة حقيقة وواقعية إذا كان الوسط الذي يجري فيه التيار متجانسا . أما إذا وجدت طبقات مختلفة المقاومية تخترقها خيوط التيار أثناء جريانها من مجرى لآخر فإن قيمة المقاومية المقاسة لا تمثل مقاومية طبقة معينة منها .

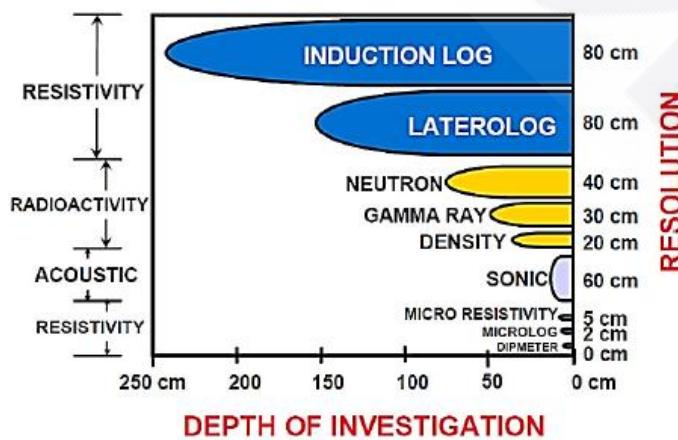
NORMAL MEASUREMENT IN A BOREHOLE



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

وإنما تمثل مقاومية وسط ظاهري تكافئ المقاوميات للطبقات المختلفة الموجودة وبما أن الحالة الأخيرة أي تعدد الطبقات والمقاوميات هي السائدة عمليا في الآبار لهذا نحصل بنتيجة القياس دائما على مقاومية ظاهرية (Apparent Resistivity) R_a

Logging Tools



Depth of investigation and vertical resolution of some tools

- تتعلق القيمة المقاسة (R_a) :
- بمقاييس وسمك الطبقات
- نوعية التشكيل
- قطر البئر
- مقاومية سائل الحفر
- قطر الاجتياح
- مقاومية القطاع المجتاز
- مقاومية الكعكة الطينية وسمكها

يتحدد عمق اختراق كل تشكيل من المسارى بناء على التباعد الهندسى بين مسارى التيار وبناء على التوزع المقاومي الجانبي اعتبارا من مركز البئر .
لهذا يمكن تصميم التشكيلات الكهربائية ذات الاختراق المعين والمناسب للحصول على :

مقاومة الطبقة غير المجاتحة (R_t)

مقاومة القطاع المجاتح (R_i)

مقاومة الكعكة الطينية (R_{mc})

مقاومة سائل الحفر (R_m)

وذلك عن طريق التحكم بتباعد مسارى التيار AB المثبتة على جسم السابرة .
إذ يزداد بشكل عام عميق الاختراق في كل تشكيل مع ازدياد تباعد مسارى التيار ونسمى المسافة التي تحدد عمق اختراق التشكيل لكل سابرة :

تباعد السابرة . Spacing of Sonde

تنسب القياسات في كل سابرة إلى نقطة محددة تكون عادة مركز التشكيل الكهربائي المثبت عليها وهي منتصف تباعد السابرة وتسمى نقطة الإسناد

Reference Point

إذا : كان التباعد دقيقا نقيس مقاومة سائل الحفر والكعكة الطينية
وإذا كان التباعد متوسطا نقيس مقاومة القطاع المجاتح
ومقاومة الطبقة غير المجاتحة إذا كان التباعد كبيرا .

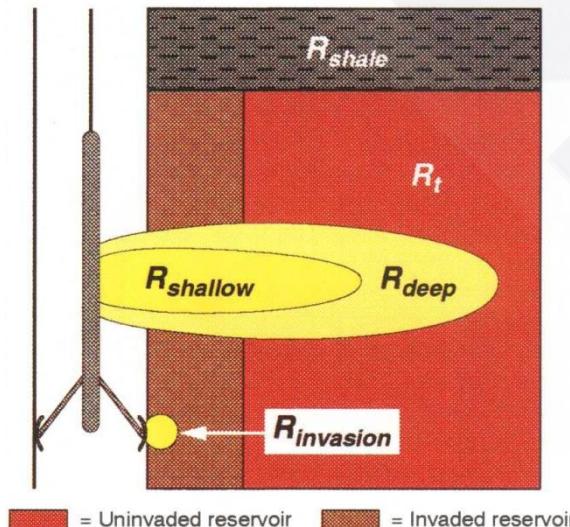
-تحديد مقاومة (R_i)

القطاع المجاتح من الطبقة الخازنة

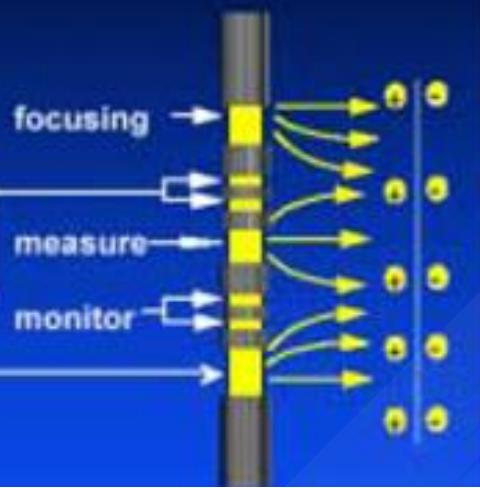
-تحديد مقاومة

القطاع غير المجاتح من الطبقة الخازنة

(R_t)



القياسات الموجهة (Focused Logs)



نتيجة تأثر القياسات التقليدية كثيرا بظروف البئر فقد تم ابتكار المسوابر التي تكون قادرة على توجيه التيارات الكهربائية إلى الطبقة خصوصا إذا كانت قليلة السماكة وذات مقاومية عالية، حيث يتم ذلك عن طريق إضافة مساري تيار معايدة أعلى وأسفل المسار المركزي وذلك لجعل قيم فرق الكمون بينهما متساوية للصفر ، وبالتالي تضطر التيارات المولدة أن تدخل إلى التشكيلة حتى لو كانت ذات ناقلة كهربائية قليلة جدا (عالية المقاومية) أو في حال كان فرق المقاومية كبيراً بين سائل الحفر والطبقة ولها عدة أنواع تختلف بعمق الاختراق (القياس) وبآلية توجيه التيار الكهربائي إلى الطبقة

- السابرة الموجهة الجانبية المزدوجة DLL والتي تتميز بمحال استجابة عالي ($\Omega \cdot m$ 4000 - 0.2) وذات تأثير شاقولي حوالي 60cm.

القياسات الدقيقة (Micro Logs)

ابتكرت هذه الطريقة من أجل إلغاء تأثير الطبقات المجاورة، وسائل الحفر، وقطر البئر، والفصل بين الطبقات الرقيقة، ذات عمق قياس ضحل جدا، حيث تقيس مقاومية القطاع المغسول R_{t0} ، ومنها فإنه يمكننا تصحيح قيم المقاوميات للحصول على المقاومية العميقة

تتعلق مقاومية الصخر الخازن الذي يحتوي على (الماء ، الغاز ، والنفط) بالعوامل التالية:
عامل الطبيقي **مقاومة ماء الطبقة** **درجة الإشباع المائي**