

GÉOPHYSIQUE

I. Notions de base

Contenu de la matière :

I. Notions de base :

I.1. Introduction ;

I.2. Qu'est-ce que la géophysique ;

I.3. Objectifs de la géophysique ;

I.4. Les propriétés physiques des roches.

II. Méthodes de prospection géophysique : Principes de base ;
objectifs ; choix des méthodes.

II.1. Méthodes sismiques (sismique réfraction et sismique réflexion) ;

II.2. Prospection gravimétrique ;

II.3 Méthodes électriques ;

II.4. Prospection électromagnétique.

TD : Exercices et applications concernant le cours

I.1. Introduction

La géophysique est une discipline de la géologie qui permet l'étude du sous sol par l'analyse des champs naturelles de la terre ou provoqué (induit) appliquée sur le sol afin d'investiguer en sous sol en exploitant les propriétés physique des formation géologique, tel que, la densité, vitesse, susceptibilité magnétique, conductivité et résistivité électrique.

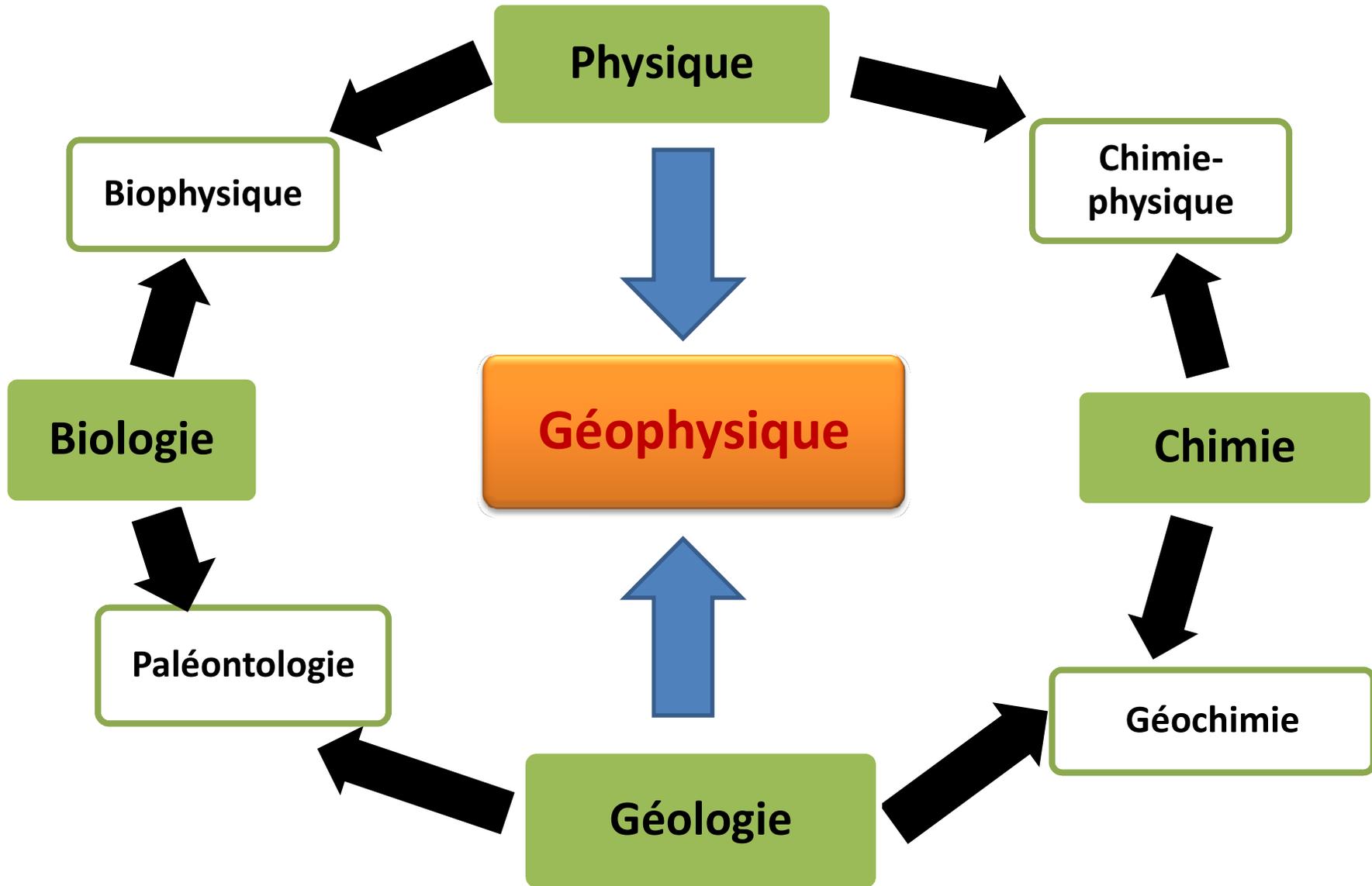
Ces propriétés physique sont identifiées à laide de méthodes géophysique fondées sur les lois de la physique, citant parmi ces méthodes : la méthode Gravimétrique, Géomagnétique, sismique et Géoélectrique.

I.2. Qu'est-ce que la géophysique

La *Géo-physique*, ou physique de la Terre.

Une science multidisciplinaire qui étudie les phénomènes et les champs physiques terrestre, elle est liée aux autres sciences naturelles (voir Figure 1)

Figure 1: Position de la *géophysique* parmi les sciences naturelles



I.2. Qu'est-ce que la géophysique

Les méthodes géophysiques fournissent, à l'aide des **instruments** de mesures, des informations sur **les propriétés physiques** du sous-sol. Ces instruments peuvent être utilisés directement au sol, dans des sondages, à bord d'un avion, sur un véhicule, un bateau ou au niveau de satellite.

Il existe deux grands types de méthodes:

1. Active, qui mesure la réponse souterraine à l'énergie:

- ✓ Electromagnétique,
- ✓ Electrique
- ✓ Sismique;

2. Passive, qui mesurent les champs :

- ✓ magnétiques,
- ✓ gravitationnels ambiants de la Terre.

I.2. Qu'est-ce que la géophysique

Les méthodes géophysiques peuvent également être subdivisées en : méthodes de surface ou de forage.

- Les méthodes géophysiques de surface sont généralement non intrusives et peuvent être utilisées rapidement pour collecter des données souterraines.
- Les méthodes géophysiques de forage (Diagraphie) exigent que des puits ou des forages soient forés afin que les outils géophysiques puissent être introduits à travers le trou de forage.

1.3. Objectifs de la géophysique ;

- L'objectif principal de la géophysique est de déduire les propriétés physiques et la constitution de la Terre (ou d'autres corps du système solaire), à partir des phénomènes physiques qui leur sont associés, par exemple, le champ géomagnétique, le flux de chaleur, la propagation des ondes sismiques, la force de pesanteur, etc.
- Les informations fournies par ces outils peuvent aider à localiser les objets et structures enfouis, à déterminer les formations géologiques et les réservoirs hydrogéologiques et d'hydrocarbure ainsi déterminer les conditions environnementale

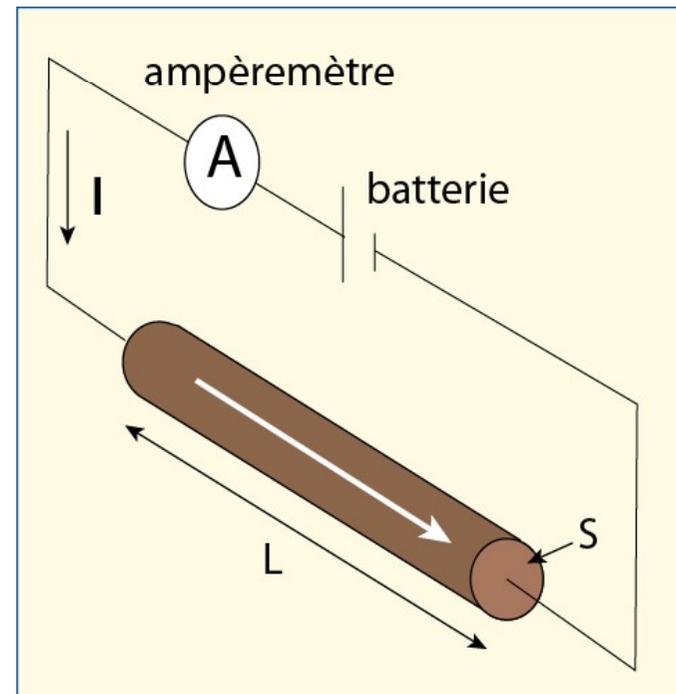
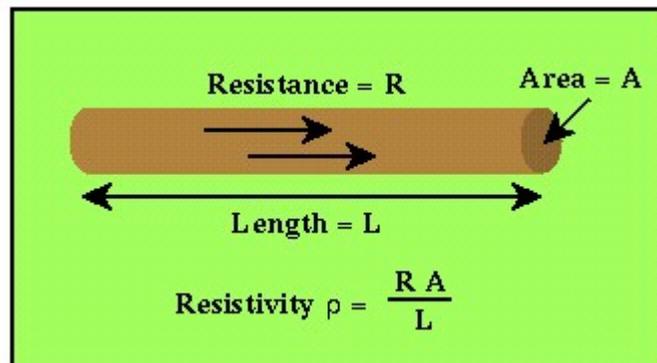
.

1.4. Les propriétés physiques des roches.

- a) **La résistivité ρ** d'un milieu est la propriété physique qui détermine la capacité de ce milieu à s'opposer au passage d'un courant électrique.

On considère un courant électrique qui traverse de manière uniforme un cylindre d'une section à l'autre. La résistivité est la résistance ohmique d'un cylindre de section S et de longueur L .

ρ : résistivité (Ohm.m)



La loi d'Ohm

La loi d'Ohm s'applique aux circuits électriques, et à toutes les méthodes électriques en géophysique:

$$\Delta V = R.I$$

où ΔV est la différence de potentiel (en volts) ; I est le courant (en ampères) ; R est la résistance électrique (en ohm, Ω). La résistance est donc le ratio du voltage sur le courant :

$$R = \frac{\Delta V}{I}$$

b) La résistance d'un milieu varie linéairement avec la longueur « L » du milieu traversé, mais de façon inversement proportionnelle à l'aire « S » de la surface traversée :

$$R = \frac{\rho.L}{S} \quad d'où \quad \rho = R \cdot \frac{S}{L} = \frac{\Delta V}{I} \cdot \frac{S}{L}$$

où la constante de proportionnalité est la résistivité ρ (en $\Omega.m$). Elle exprime la difficulté du courant à traverser un milieu :

c) La conductivité σ (en Siemens) est l'inverse de la résistivité

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

d) La porosité:

Volume de vide (" pore ") existant dans la roche sur le volume total de la roche, exprimé en %.

L'ensemble des pores reliés entre eux est la porosité utile.

La porosité restante est la porosité résiduelle.

Les roches réservoirs ont des porosités très variables, généralement comprises entre 10% et 35 %.

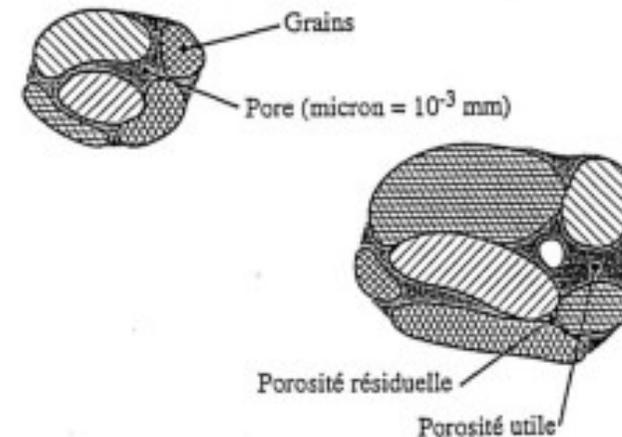
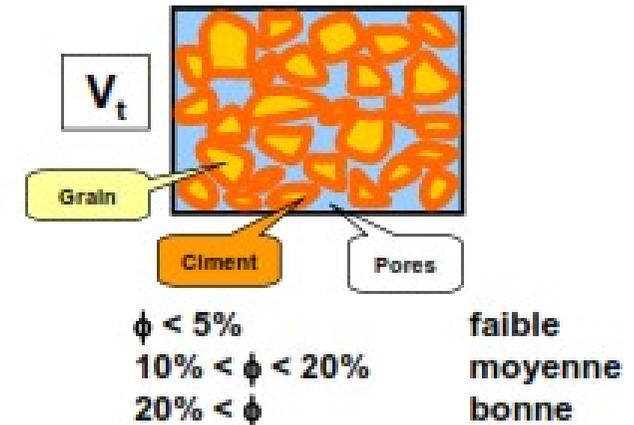
$$\Phi = \frac{V_{\text{pore}}}{V_{\text{total}}} = \frac{V_{\text{total}} - V_{\text{solid}}}{V_{\text{total}}}$$

- Porosité Primaire :

Elle est héritée du dépôt du sédiment à l'origine.

- Porosité "Secondaire" :

Elle est due aux modifications diagénétiques du sédiment au cours de son enfouissement ou bien à l'existence de fractures dans la roche.



Quelques porosités des sédiments meubles

Type de sédiments	Diamètre (mm)	porosité totale (%)
Gravier moyen	2.5	45
Sable gros	0,250	38
Sable moyen	0,125	40
Sable fin	0,09	40
Sable très fin	0,045	40
Sable silteux	0,005	32
Silt	0,003	36
Silt argileux	0,001	38
Argile	0,0002	47

e) La saturation (S)

La saturation en eau S_w , a savoir

$$S_w = \frac{\text{Volume des pores remplis d'eau}}{\text{Volume total des pores}}$$

Notez qu'il s'agit de la saturation en eau. Pour un mélange eau + air (roche partiellement saturée) on aura :

$$S_w + S_{air} = 1$$

f) La température (T): Une augmentation de température diminue la viscosité, la mobilité des ions devient plus grande et la dissociation augmente, ce qui a pour effet de diminuer la résistivité ou inversement d'augmenter la conductibilité. Alors Le gel augmente beaucoup la résistivité des roches,

On utilise généralement la relation suivante pour évaluer la résistivité d'une roche à une température t

connaissant sa résistivité à 18°C :

$$\rho_t = \frac{\rho_{18}}{1 + 0.025(t - 18)}$$

RELATION ENTRE LA RESISTIVITE, LA POROSITE ET LA SATURATION EN EAU

FORMULE D'ARCHIE - FACTEUR DE FORMATION F

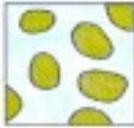
- Une roche contenant 100 % d'eau ($S_w = 1$) a une résistivité R_t , également appelée R_o .
- Cette résistivité R_o est proportionnelle à la résistivité de l'eau R_w

$$R_o = FR_w$$



Porosité ϕ

$R_{o1} = FR_{w1}$



Porosité ϕ

$R_{o2} = FR_{w2}$

- Le facteur de proportionnalité F est appelé Facteur de Formation et il est égal au rapport entre la résistivité R_o et la résistivité de l'eau R_w
- Le Facteur de Formation est fonction de la porosité et de la lithologie du réservoir :

$$F = \frac{R_o}{R_w} \quad F = \frac{a}{\phi^m} \quad \text{donc :} \quad R_o = \frac{a}{\phi^m} \times R_w$$



Porosité ϕ_1

$R_{o1} = \frac{a}{\phi_1^m} \times R_w$



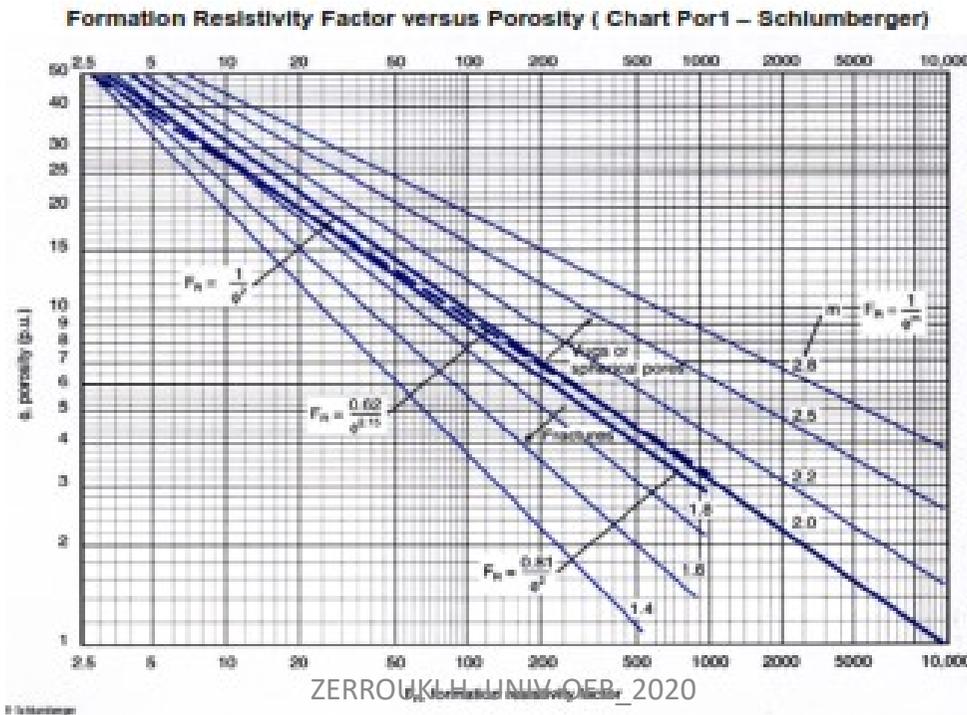
Porosité ϕ_2

$R_{o2} = \frac{a}{\phi_2^m} \times R_w$

FORMULE D'ARCHIE - FACTEUR DE FORMATION F

En général , la constante a est proche de 1 et le facteur de cimentation m est proche de 2 .

- Pour les grés en général : $F = \frac{0.81}{\phi^2}$ ou $F = \frac{0.62}{\phi^{2.15}}$
- Pour les Carbonates, en général, a = 1 et m = 2, mais m est variable : $1.3 < m < 2.5$



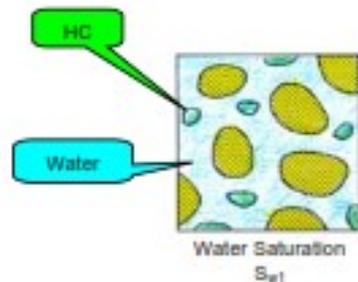
$$F = \frac{a}{\phi^m}$$

$$\log(F) = \log(a) - m \log(\phi)$$

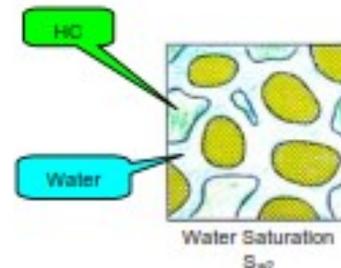
FORMULE D'ARCHIE - FACTEUR DE FORMATION F

- Une roche ayant une saturation en eau S_w a une résistivité R_t
- R_t varie avec la saturation en eau S_w et elle est inversement proportionnelle à S_w^n
- n est l'exposant de saturation et il est en général proche de 2.

$$R_t = \frac{R_o}{S_w^n} = \frac{a}{\phi^m} \times \frac{R_w}{S_w^n} \quad \text{ou} \quad S_w = \sqrt[n]{\frac{a}{\phi^m} \frac{R_w}{R_t}}$$



$$R_{t1} = \frac{F * R_w}{S_{w1}^n}$$



$$R_{t2} = \frac{F * R_w}{S_{w2}^n}$$

Ceci est la formule d'Archie. Elle n'est valable que pour les formations propres, ne contenant pas d'argile (Volume d'argile $V_{sh} = 0$)

FORMULE D'ARCHIE - FACTEUR DE FORMATION F

Estimation de la saturation en eau dans les formations propres

$$S_w = \sqrt[n]{\frac{a}{\phi^m} \frac{R_w}{R_t}}$$

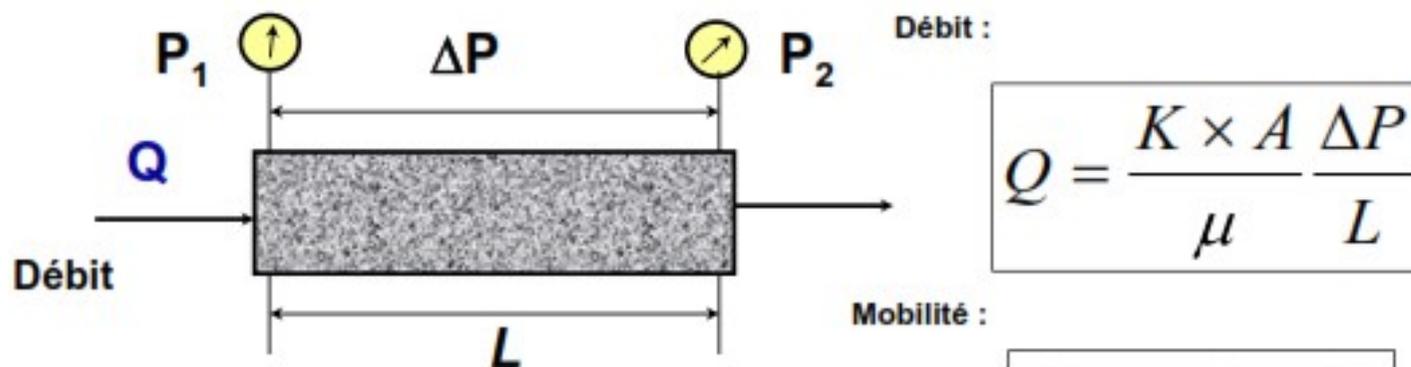
- Logs de Résistivité (Latérolog, Induction) → R_t
- Logs de Porosité (Densité, Neutron, Sonic, RMN) → ϕ
- SP, Rapport de Résistivité , R_{wa} → R_w
- Mesures Péetrophysiques en laboratoire → a, m, n

Valeurs par défaut : $a = 1, m = 2, n = 2$

Formule valable uniquement pour les formations propres, sans argile ($V_{sh} = 0$)

g) La Perméabilité

- La perméabilité est la capacité d'une formation poreuse à laisser le fluide s'écouler lorsqu'un gradient de pression est appliqué.
- Elle s'exprime en mDarcy ou en Darcy .



Darcy's Law

K: Perméabilité de l'échantillon (Darcy)
 μ : Viscosité du fluide (cP)
 ΔP : Pression Différentielle (atm)
A: Surface de la section (cm²)
Q: Débit (cm³/s)
L: Longueur de l'échantillon (cm)

Typiquement : 0.1 mD < K < 10000 mD
 K en Darcy = 0.987 10⁻¹² m²

h) La Densité

La masse volumique est définie comme le quotient de la masse et du volume d'un matériel :

Généralement le symbole pour la masse volumique est ρ , mais comme ce symbole est également utilisé pour les résistivités, nous utiliserons donc d , et le terme densité au lieu de masse volumique.

L'unité SI pour la densité est le Kg/m^3 avec $1 \text{ g}/\text{cm}^3 = 10^3 \text{ Kg}/\text{m}^3$

$$d = m/V$$

Du fait de l'hétérogénéité des roches, il est nécessaire de distinguer entre les différentes densités relatives aux divers composants qui constituent le matériel appelé roche .

$$d = (1 - \phi)d_m + \phi d_f \quad \text{et } \phi = \text{porosité totale}$$

Densité des principales roches sédimentaires (d'après Wohlenberg, 1982)

