

CHAPITRE V

Éléments d'hydrogéologie

DÉFINITIONS

L'hydrogéologie est la science des eaux souterraines

Partie de la géologie qui s'intéresse à:

- l'étude de la circulation des eaux dans le sol et le sous-sol, à la recherche et au captage des eaux souterraines;
- la connaissance des conditions géologiques et hydrologiques, des lois physiques qui régissent l'origine, la présence, les mouvements et les propriétés des eaux souterraines

Hydrogéologie

Hydrologie



Sciences de l'eau



Cycle de l'Eau

Géologie



Sciences de la Terre



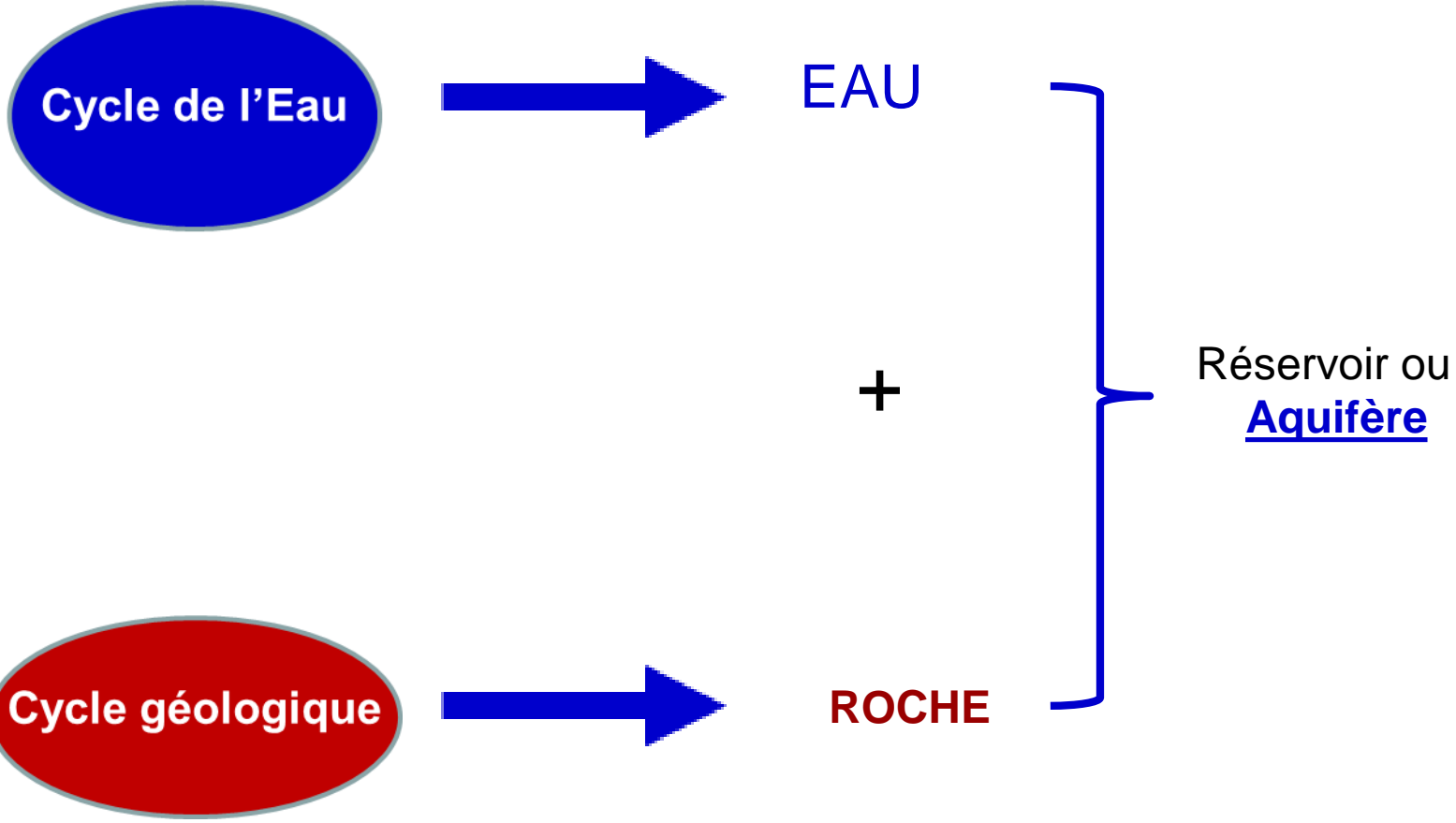
Cycle géologique

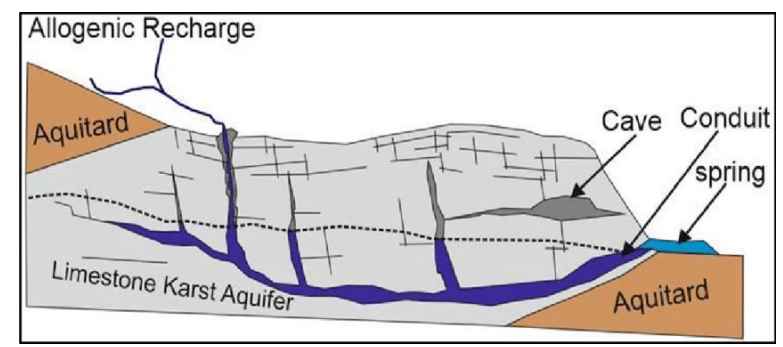
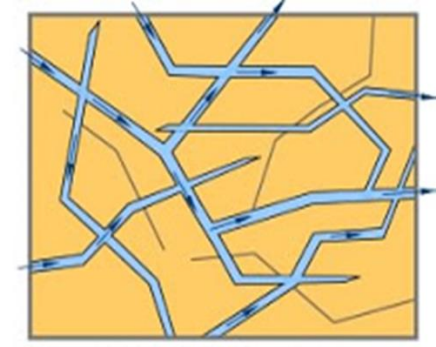
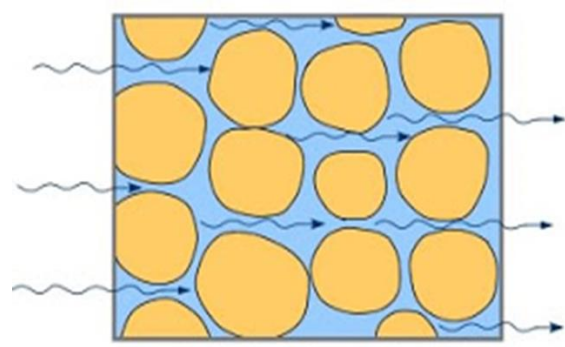
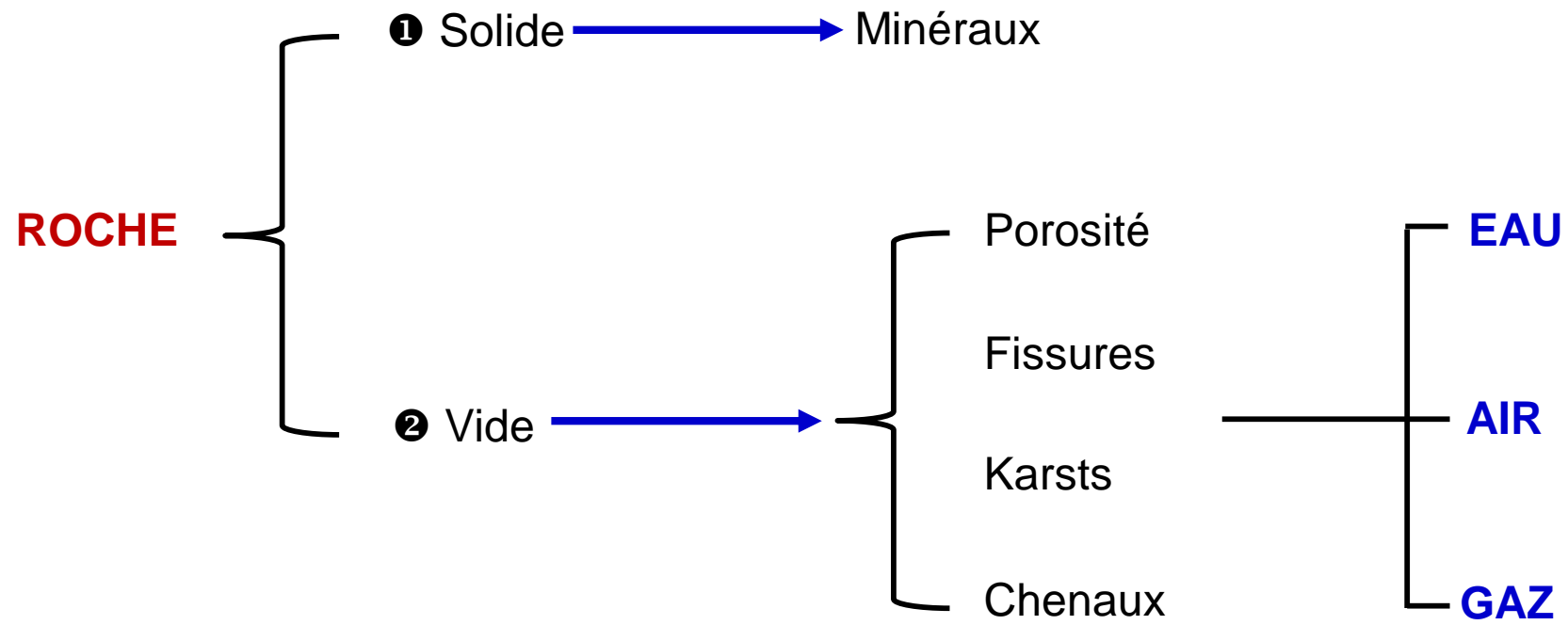
Cycle de l'Eau

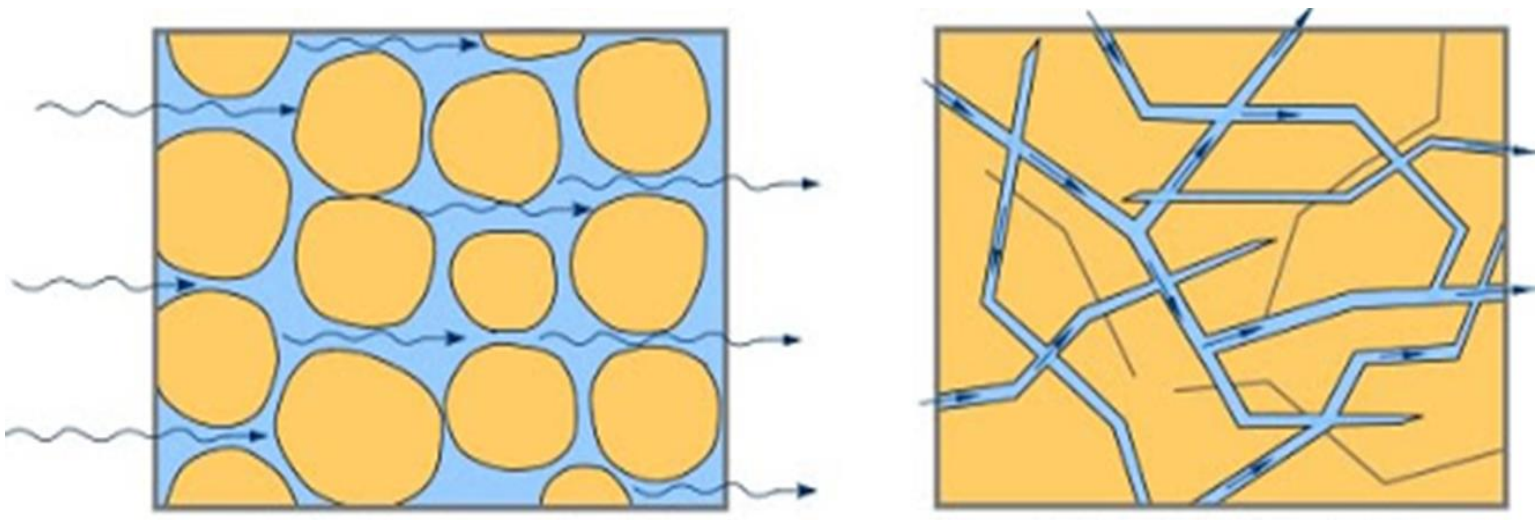
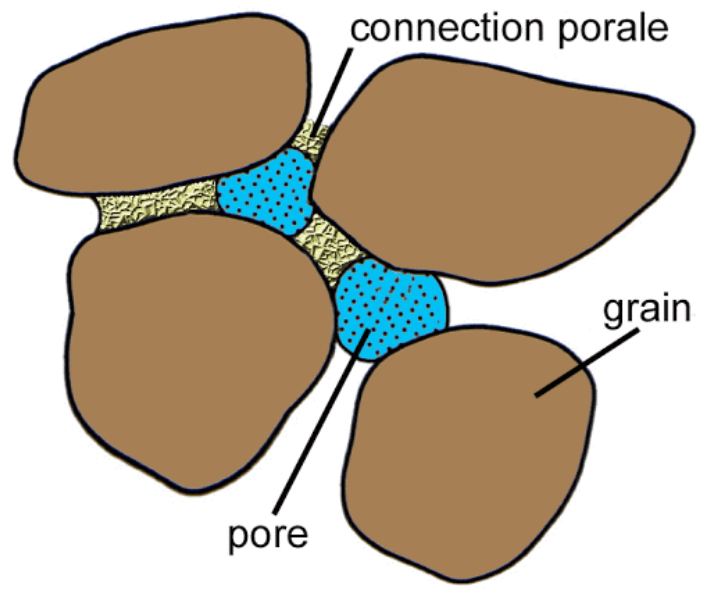
A Venn diagram consisting of two overlapping circles. The top circle is blue and contains the text 'Cycle de l'Eau'. The bottom circle is red and contains the text 'Cycle géologique'. The intersection of the two circles is labeled 'HYDROGEOLOGIE' in black text.

HYDROGEOLOGIE


Cycle géologique







LES FONCTIONS DU RÉSERVOIR :

- Le stockages des eaux
 - La conduite des eaux
 - La protection des eaux
- 
- Dimensions des vides
 - Interconnections des vides

LES TYPES DE RÉSERVOIRS

- Réservoirs granulaires : sables, graviers, alluvions...
- Réservoirs fissurés : basaltes, dolomies, granite...
- Réservoirs karstiques : calcaires

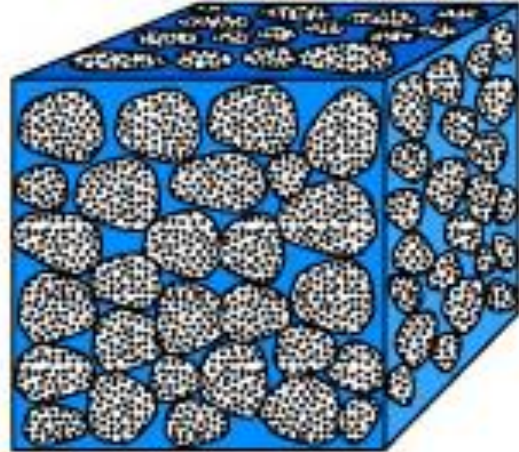
HYDROGEOLOGIE



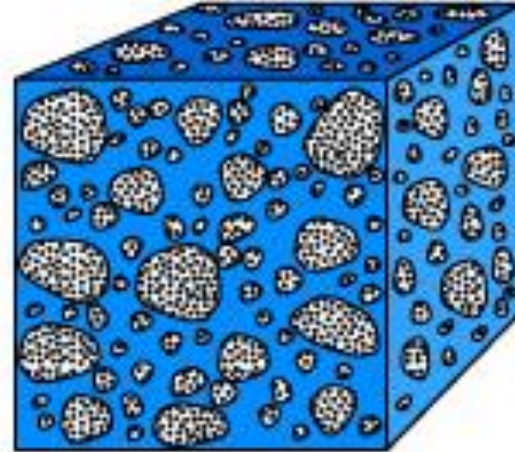
POROSITE

- **La porosité** traduit la faculté d'un sol à stocker un fluide (eau, air, gaz...) dans ses interstices, également appelés pores.
- Elle ne dépend pas essentiellement de la taille des grains mais surtout de leur agencement.
- Des sols ou des sous-sols de faible porosité favorisent les écoulements de surface
- Des sous-sols de forte porosité favorisent le stockage et l'écoulement des eaux en profondeur

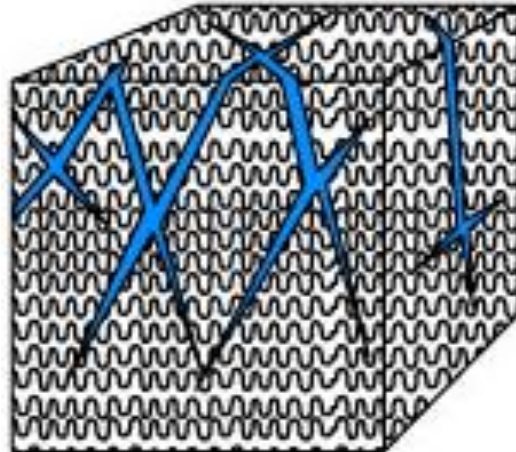
Il existe plusieurs types de porosités :



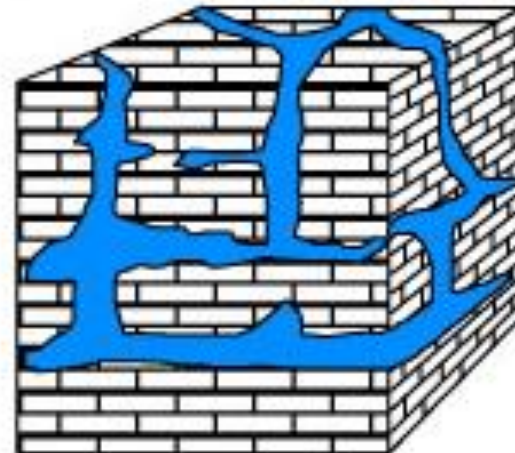
Porosité d'interstice
(éléments bien classés)



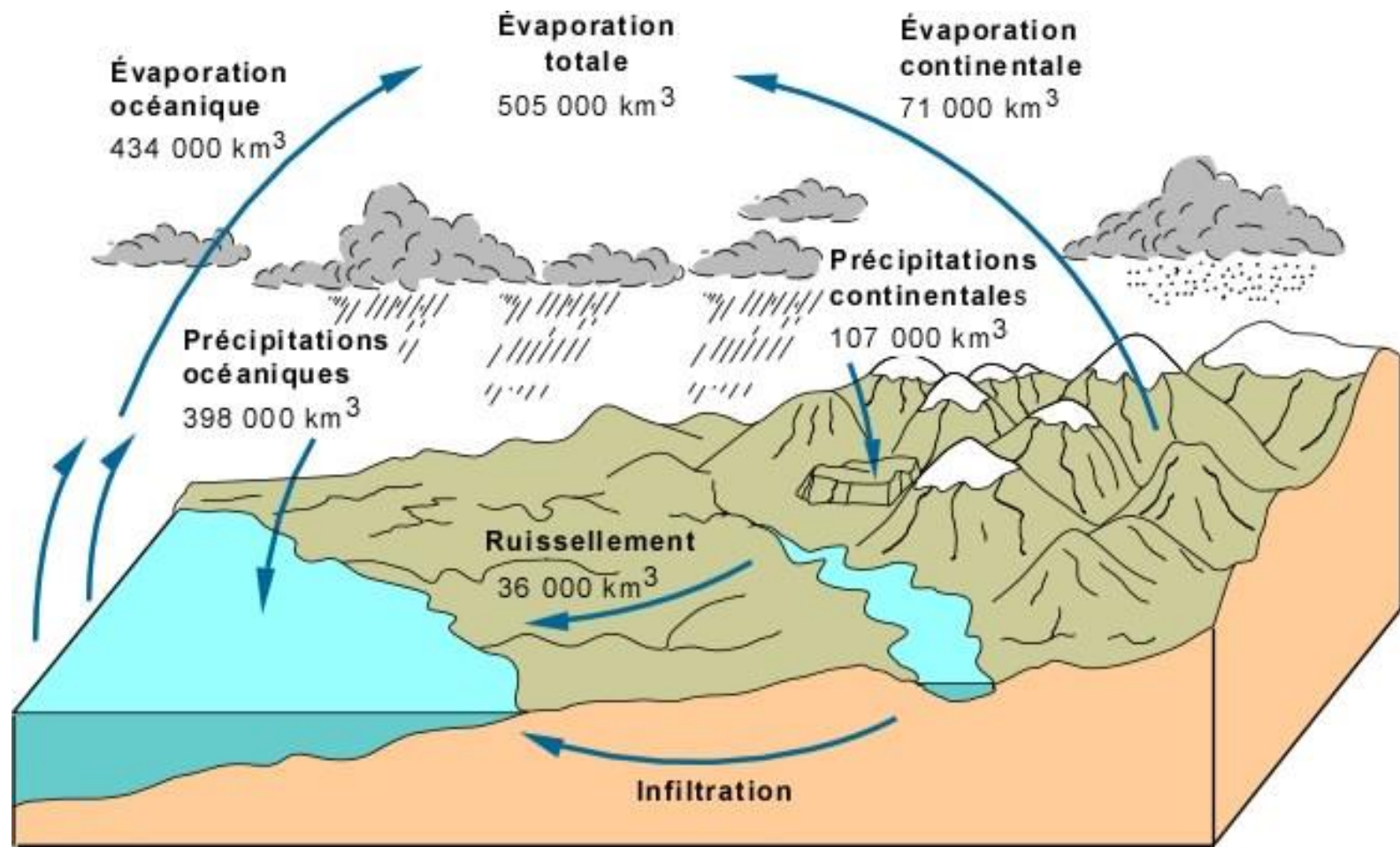
Porosité d'interstice
(éléments hétérométriques)

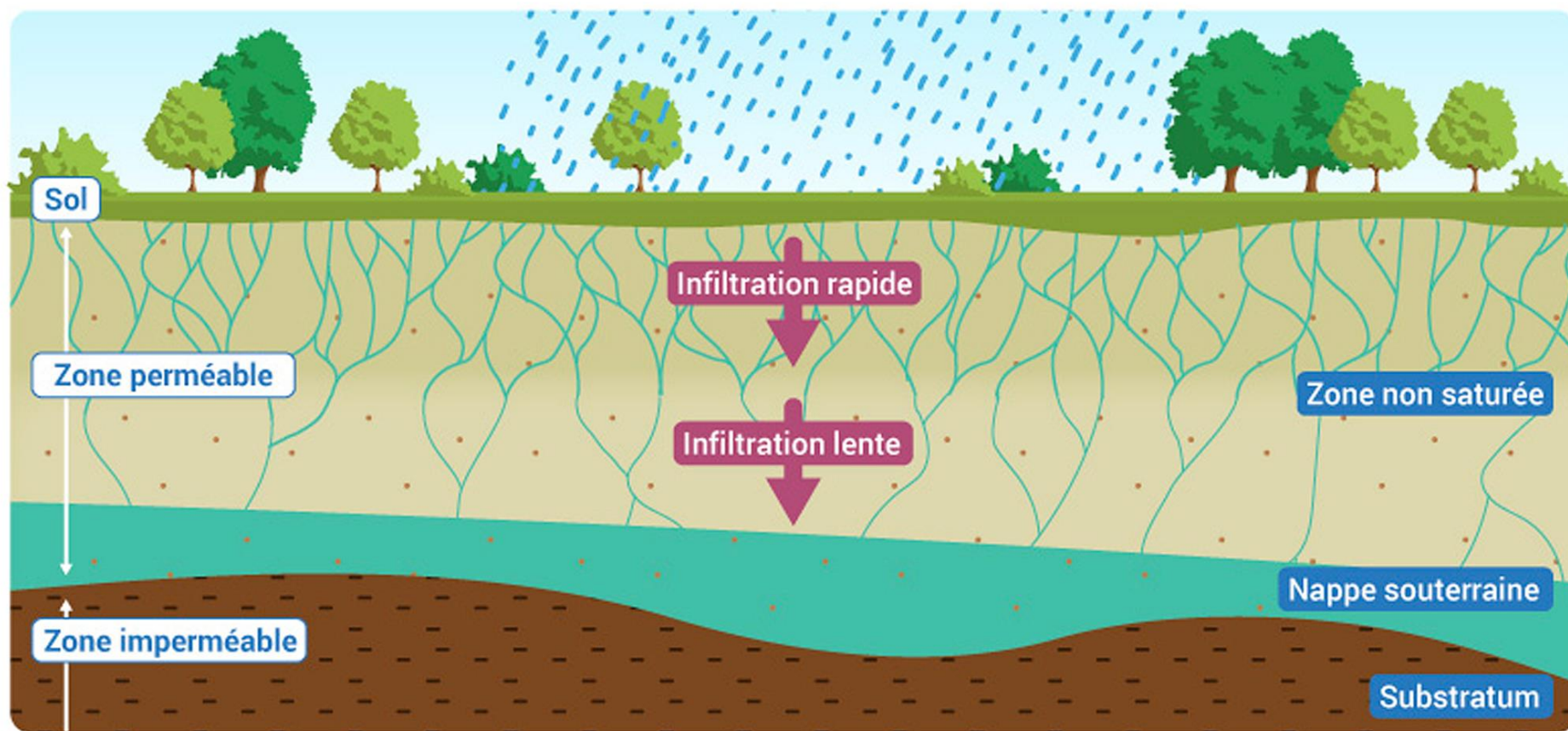
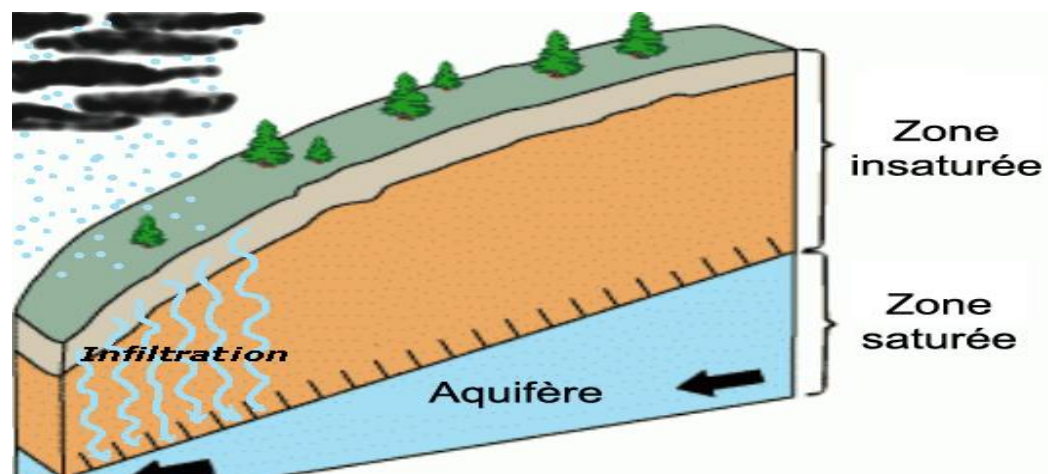


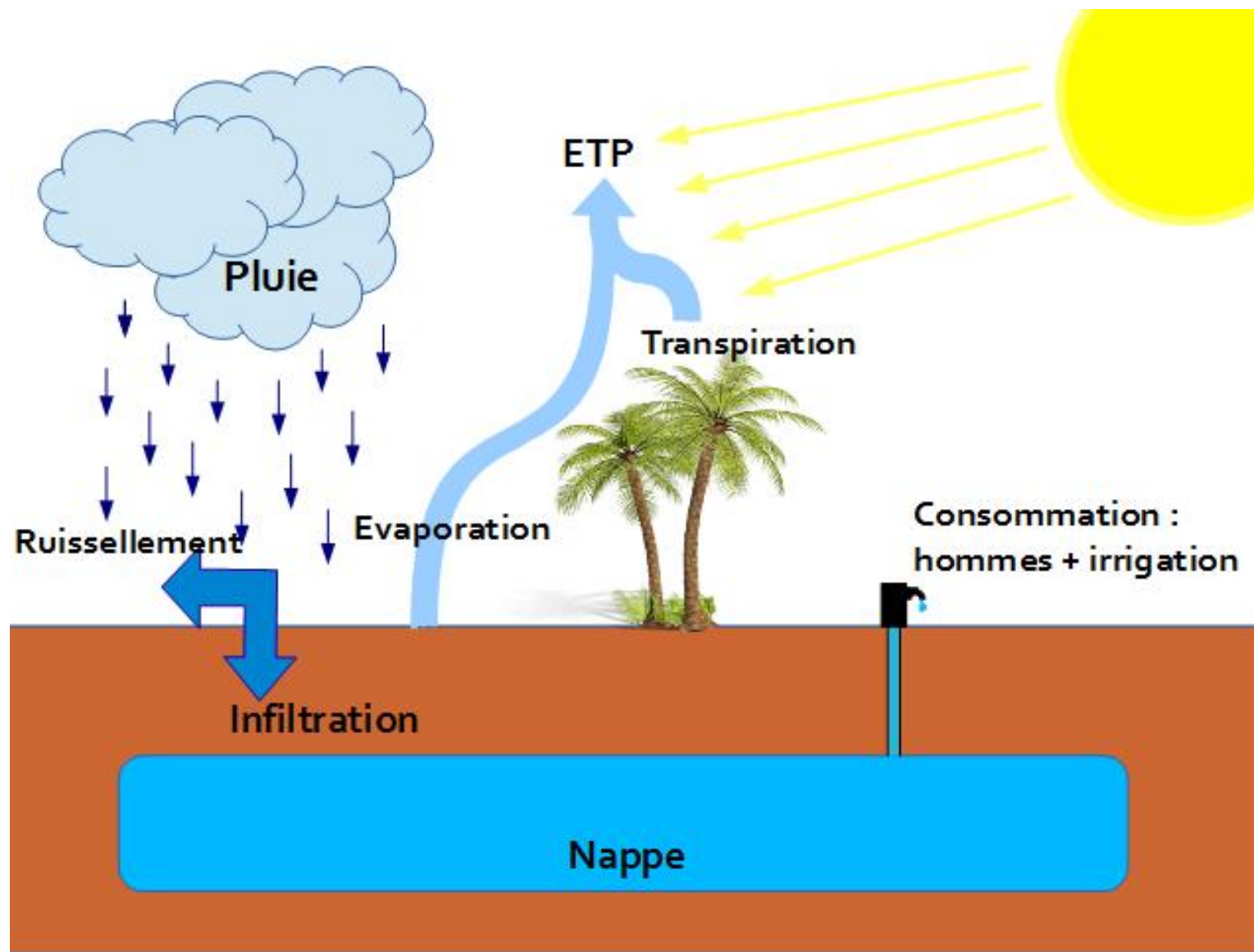
Porosité de fissures

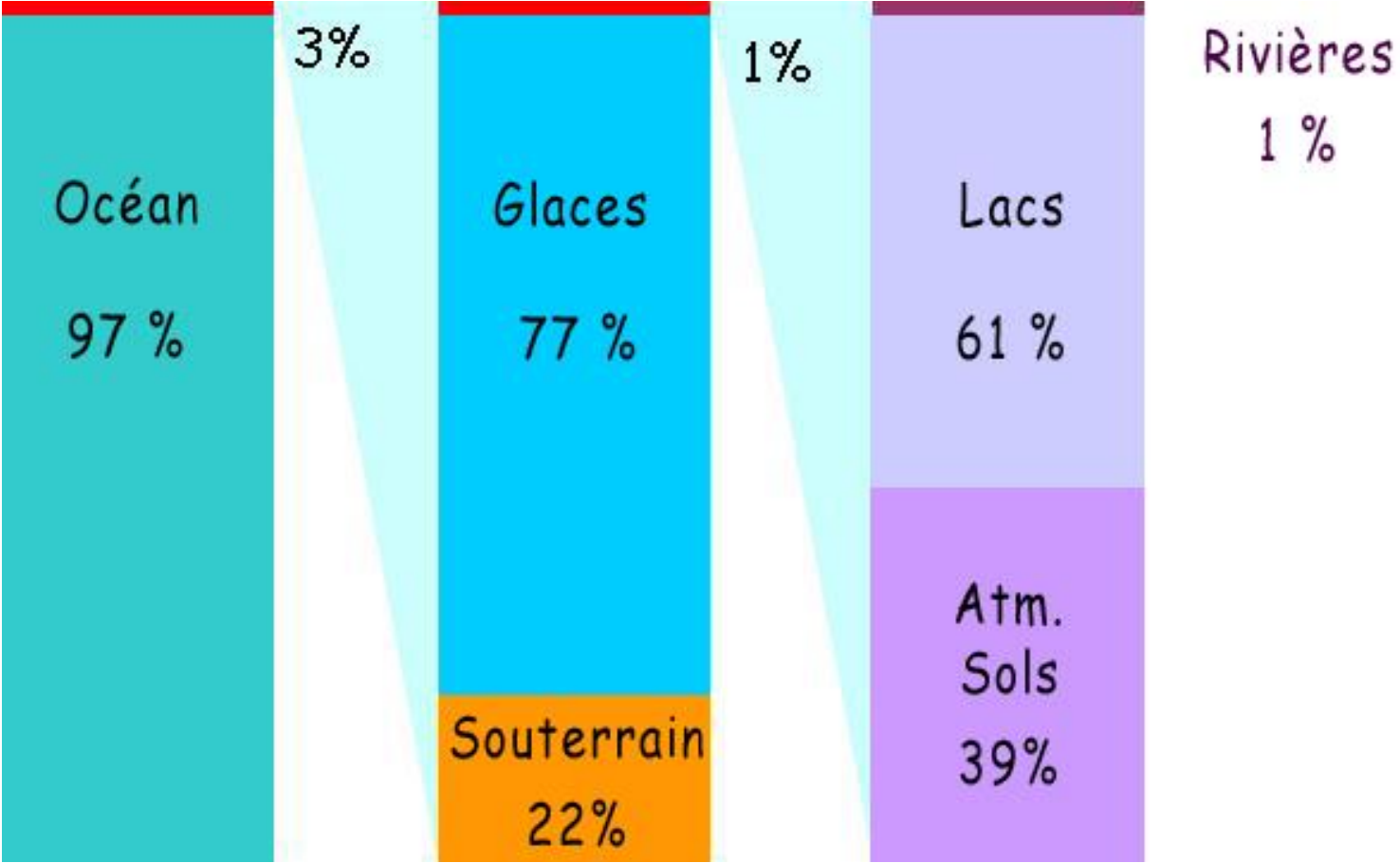


Porosité de chenaux



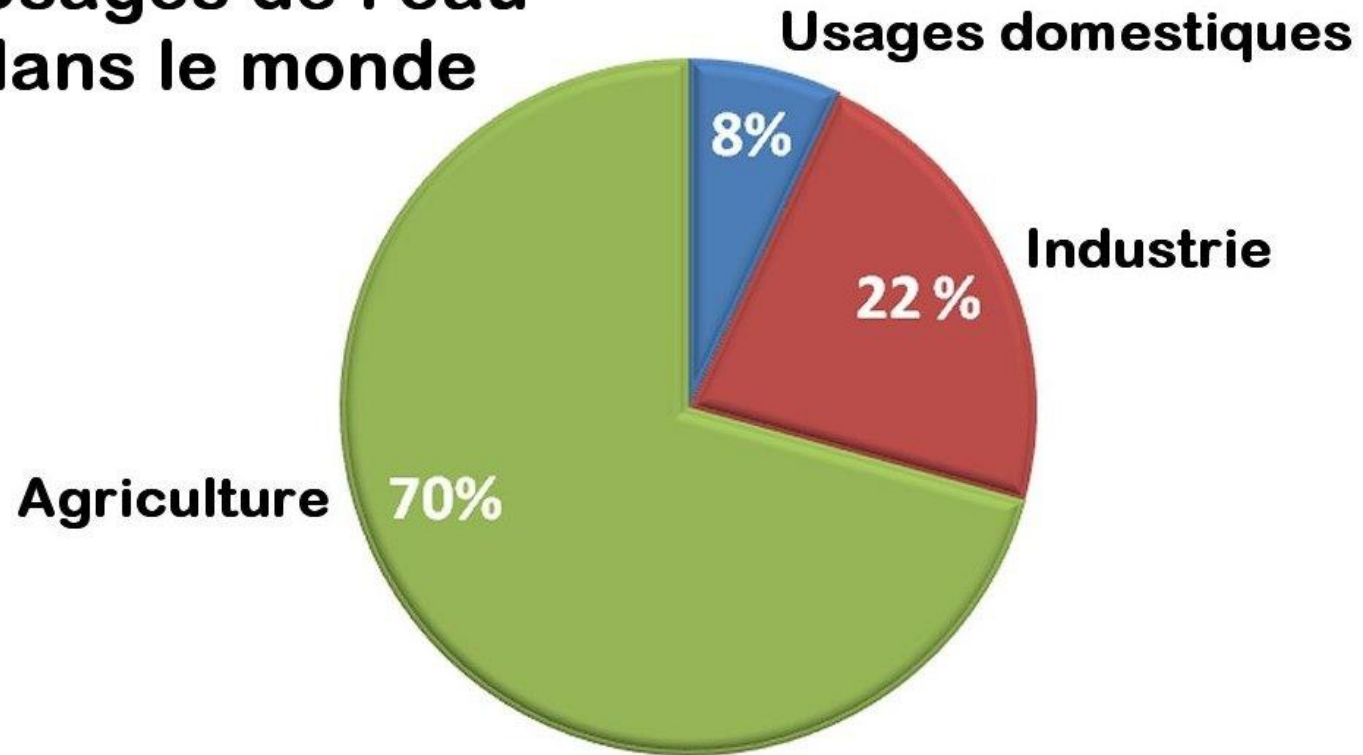


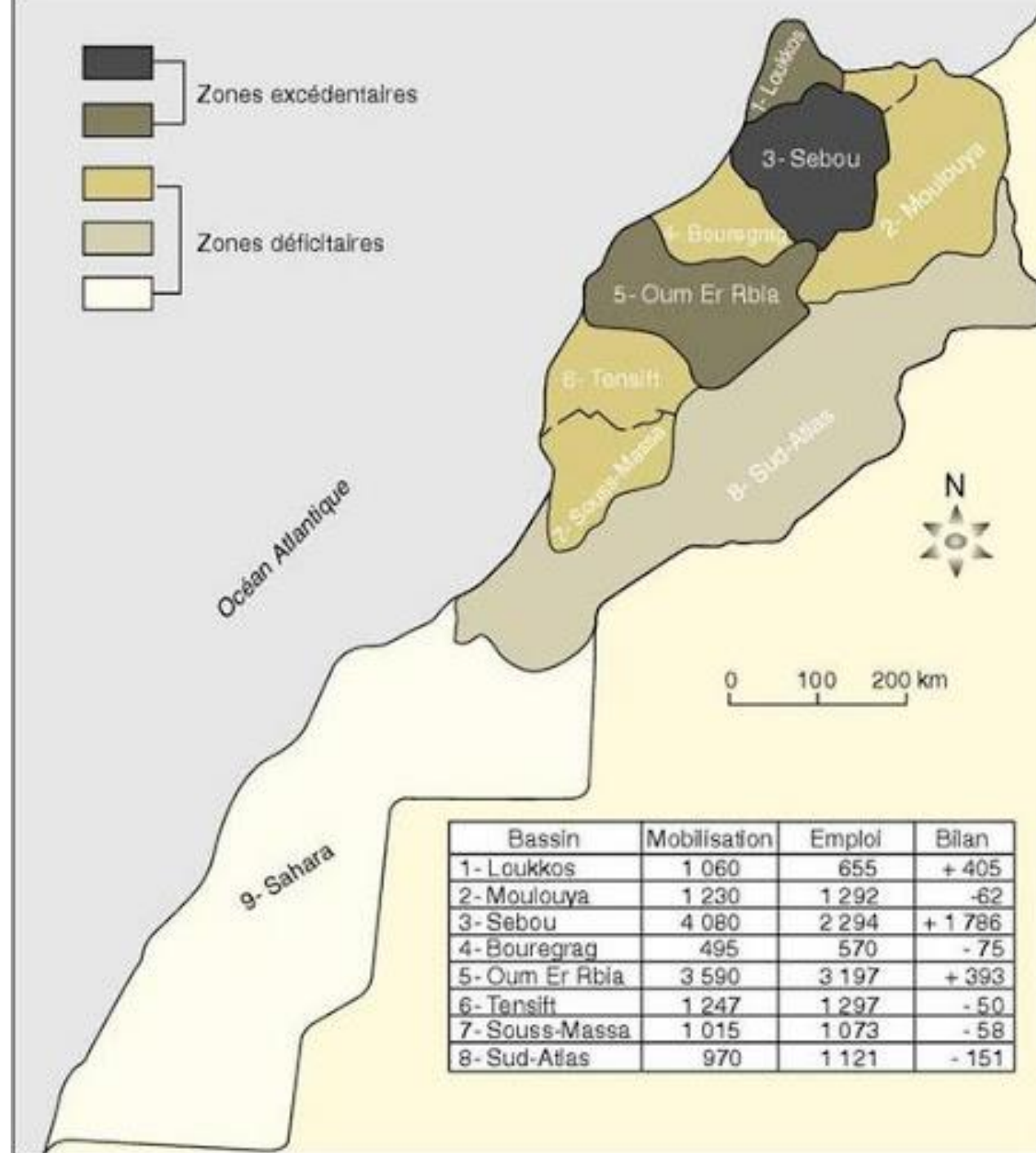


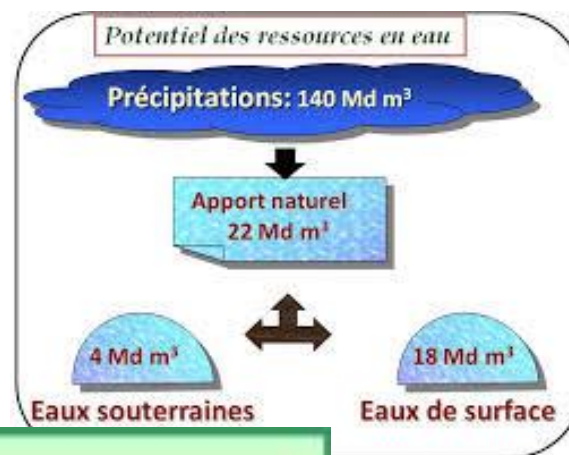


	Volume (10³ km³)	Pourcentage de l'eau totale (%)	Pourcentage de l'eau douce (%)
Eau totale	1,386 millions	100	-
Eau douce totale	35 000	2,53	100
Océans mondiaux	1,340 millions	96,5	-
Eau salée souterraine	13 000	1	-
Eau douce souterraine	10 500	0,76	30
Glaciers antarctiques	21 600	1,56	61,7
Glaciers du Groenland	2 340	0,17	6,7
Îles arctiques	84	0,006	0,24
Glaciers montagneux	40,6	0,003	0,12
Pergélisol et glace souterraine	300	0,022	0,86
Lacs salins	85,4	0,006	-
Lacs d'eau douce	91	0,007	0,26
Humidité du sol	16,5	0,0012	0,047
Tourbières	11,5	0,0008	0,03
Rivières (flux moyen)	2,12	0,0002	0,006
Dans la matière biologique	1,12	0,0001	0,0003
Dans l'atmosphère (en moyenne)	12,9	0,0001	0,04

Usages de l'eau dans le monde





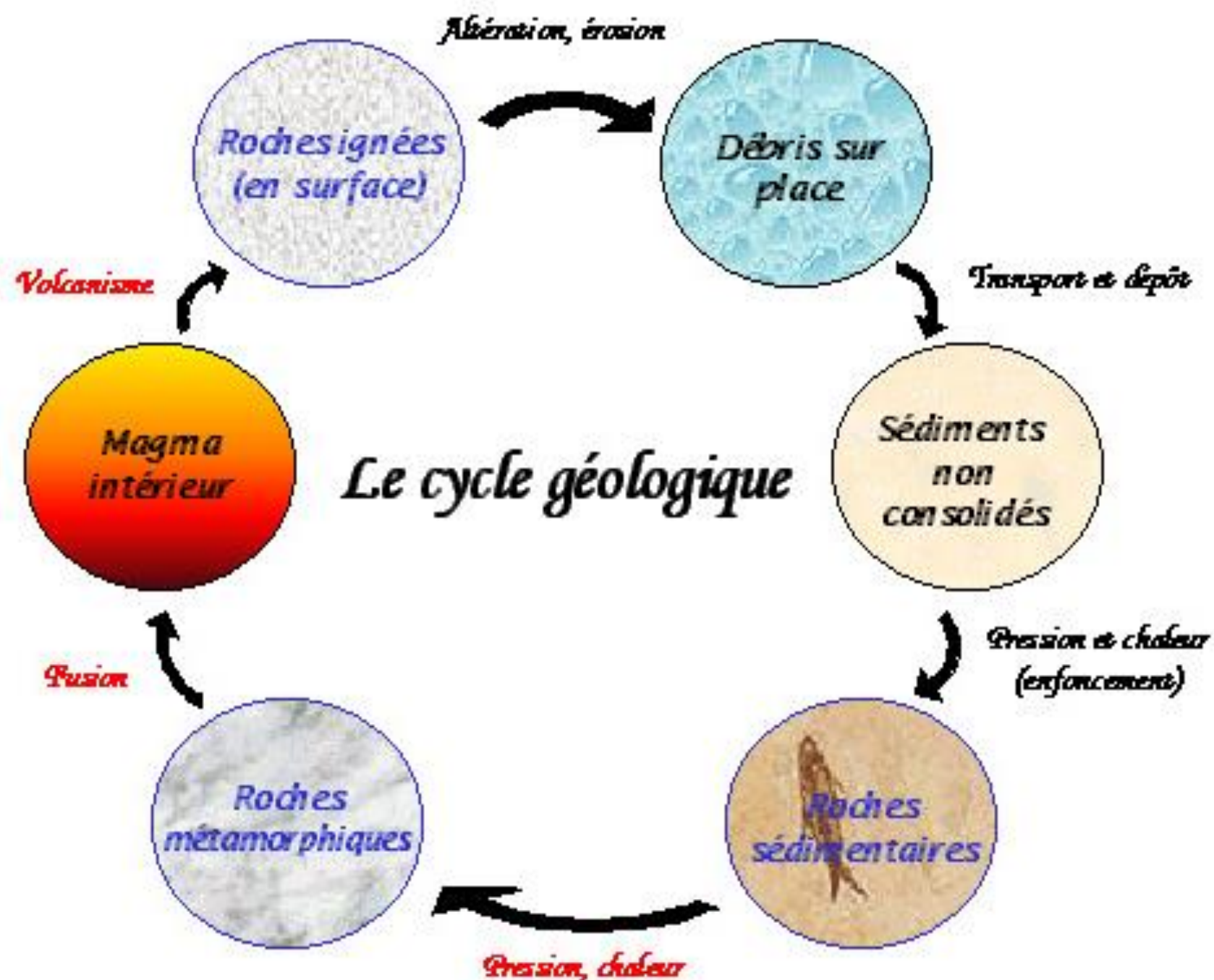


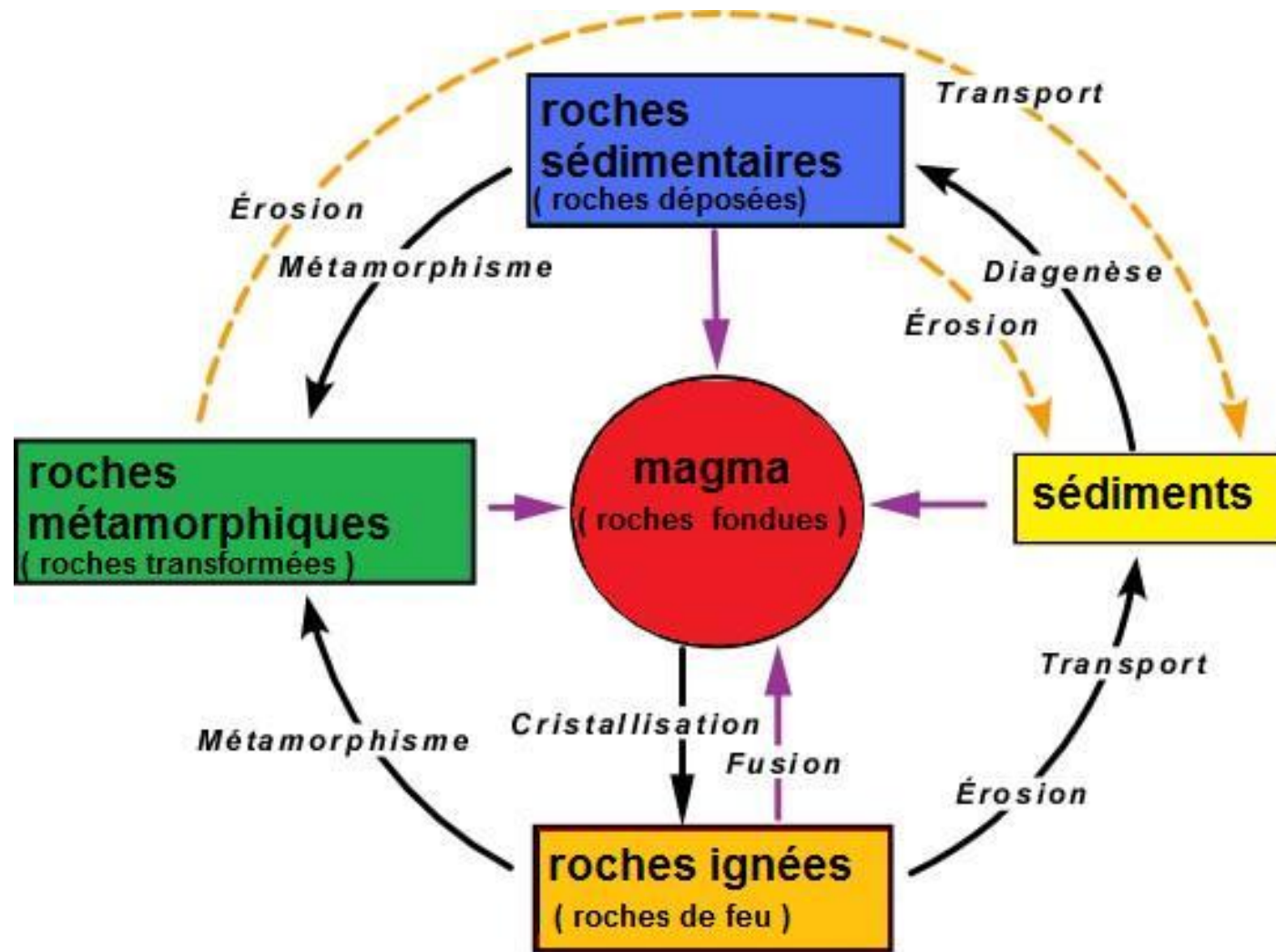
EAU

- L'eau est très abondante sur notre planète.

70 % de la surface de la Terre est recouverte d'eau
(97 % d'eau salée et 3 % d'eau douce),

- Elle se trouve répartie entre quatre grands réservoirs :
 - les mers et océans,
 - les eaux continentales (superficielles et souterraines),
 - l'atmosphère
 - la matière vivante.





Types de roches

TYPES DE ROCHEs

Roches sédimentaires

Roches détritiques

Roches chimiques

Roches magmatiques

Roches volcaniques

Roches plutoniques

Roches métamorphiques

Roches de contact

Roches régionales

1. Les roches magmatiques ou ignées

- Elles proviennent du refroidissement du magma.
- Elles sont catégorisées selon la vitesse de refroidissement du magma.

Roches ignées extrusives (volcaniques)

- Elles sont formées par un refroidissement rapide du magma.
- Les cristaux n'ont pas le temps de se développer (petits ou absents).
- Refroidissement brutal = roches à texture vitreuse.

BASALTES



Andésite



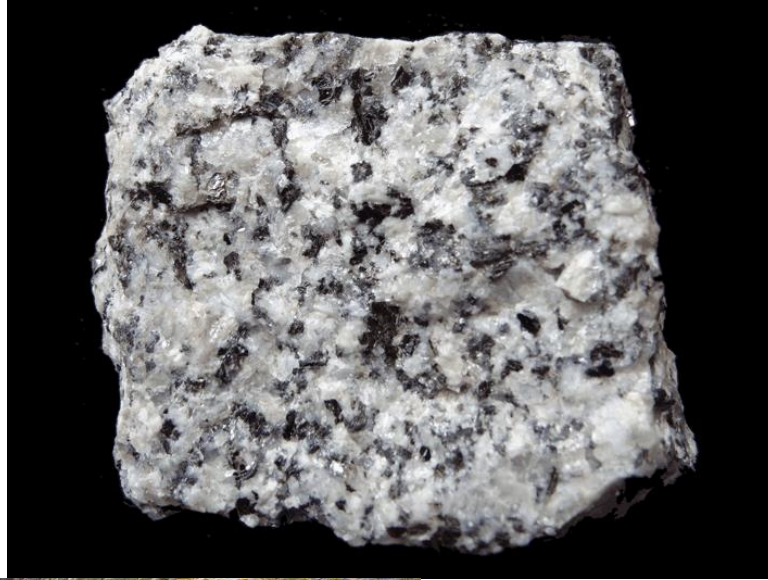
Obsidienne



Roches ignées intrusives

- Elles sont formées par un refroidissement lent du magma (à l'intérieur de la croûte terrestre).
- Les minéraux ont le temps de cristalliser (visibles à l'oeil nu).

Granite



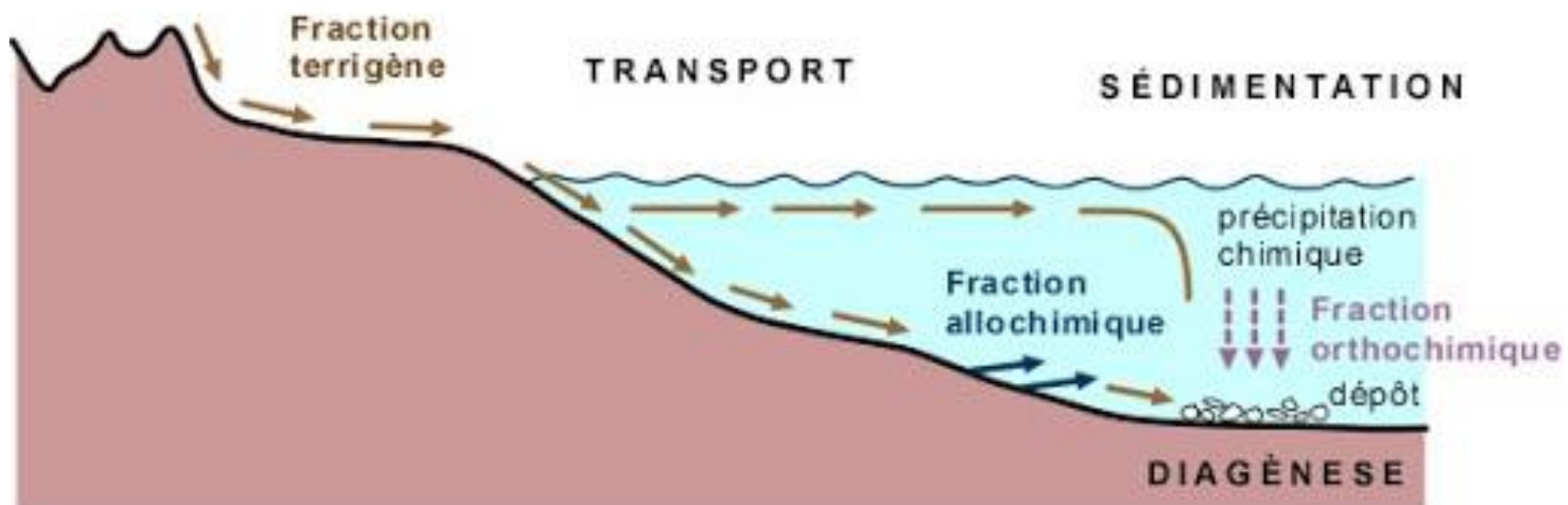
GABBRO



2. Les roches sédimentaires

- Elles sont formées par l'accumulation et le compactage de débris
 - minéraux (galets, cailloux, sable, poussière, argile)
 - organiques (restants de plantes, d'animaux, de micro-organismes)
- Elles sont aussi produites par la précipitation de différents sels.

ALTÉRATION DES
MATÉRIAUX & ÉROSION



Roches sédimentaires détritiques

- Elles proviennent de l'érosion de roches préexistantes.
- Sous le poids des multiples couches accumulées, il y a compactage des sédiments.

Grès



Roches sédimentaires chimiques

- Elles proviennent de la précipitation de substances présentes dans l'eau et de son évaporation.

Calcaire



Gypse



3. Les roches métamorphiques

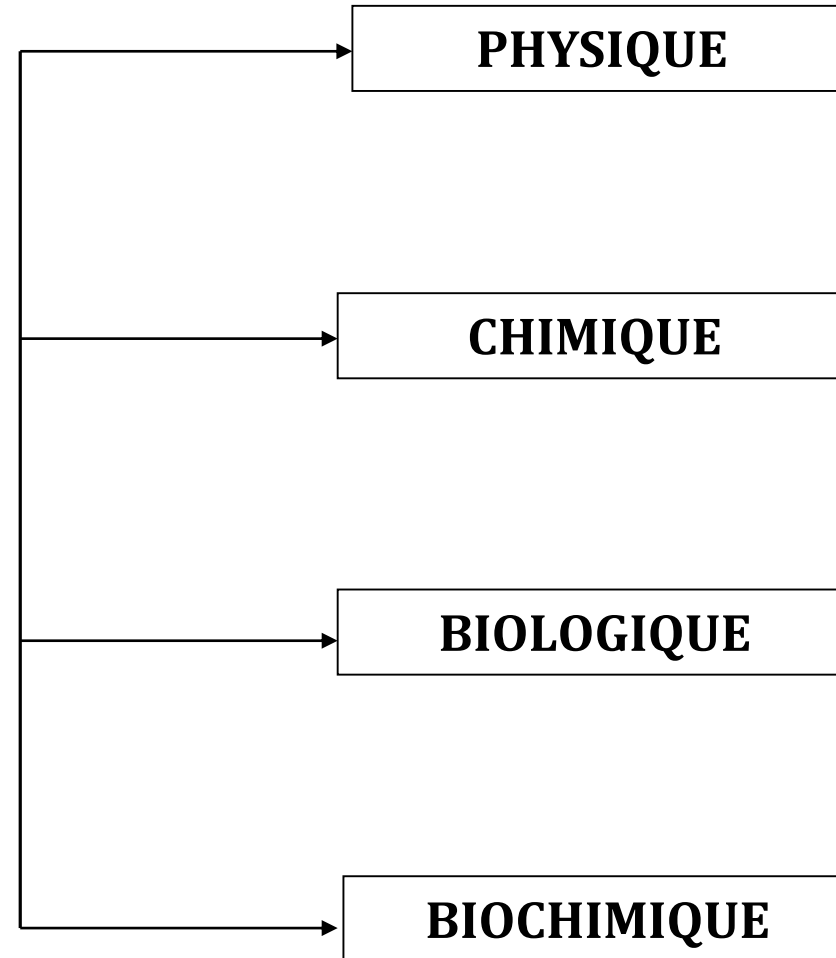
- Elles sont issues de la transformation de roches ignées ou sédimentaires sous l'effet de température et/ou de pressions élevées.
- Il y a alors perte de stabilité et recristallisation ou réarrangement des cristaux.
- On peut observer la présence de feuilletés.

Gneiss



ROCHE + EAU -----> ALTERATION

FORMES D'ALTERATION

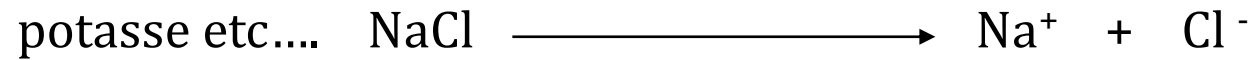




Principales réaction d'altération :

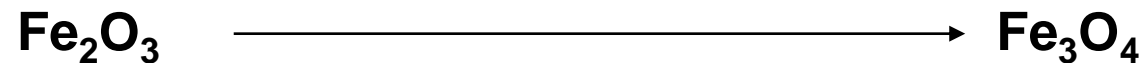
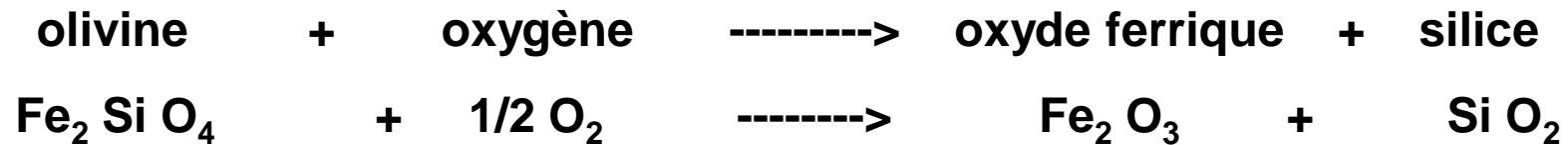
a) Dissolution :

Ce processus physique simple intéresse les roches salines : sel gemme ;



a) Oxydation et réduction

Les oxydations intéressent surtout le fer qui passe de l'état ferreux à l'état ferrique.



Hydratation

C'est une incorporation de molécules d'eau à certains minéraux peu hydratés contenus dans la roche comme l'anhydrite ; elle produit gonflement du minéral et donc favorise la destruction de la roche.

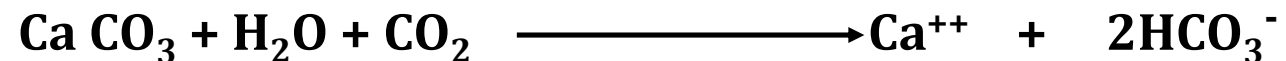


Anhydrite

Gypse

Décarbonatation

Elle produit la solubilisation des calcaires et des dolomies généralement sous l'action du C dissous dans l'eau :



Hydrolyse

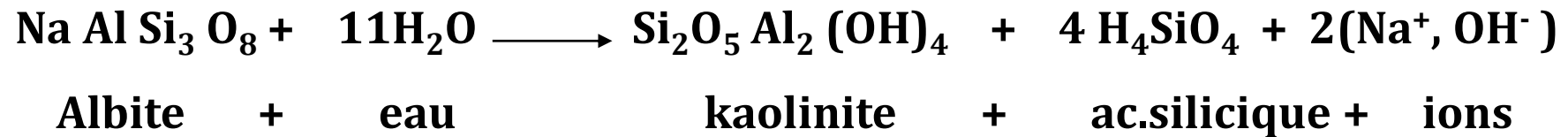
Les hydrolyses, c'est à dire la destruction des minéraux par l'eau, sont les principales réactions d'altération.

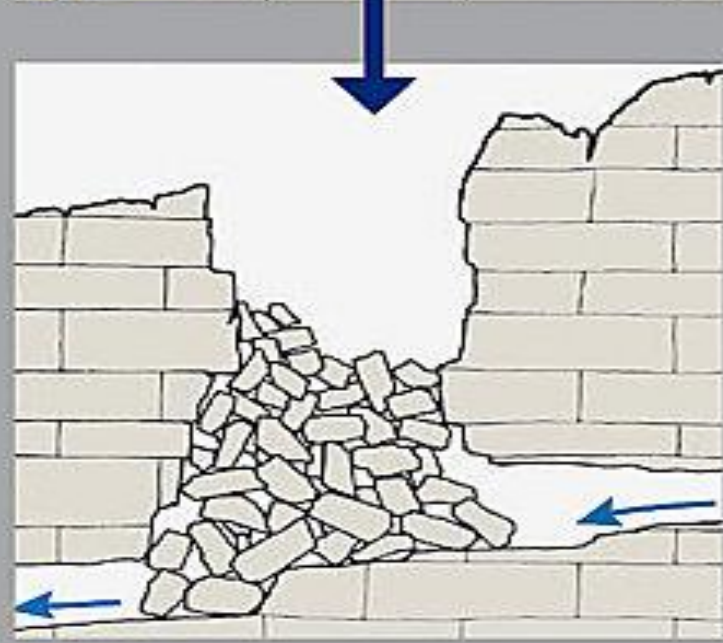
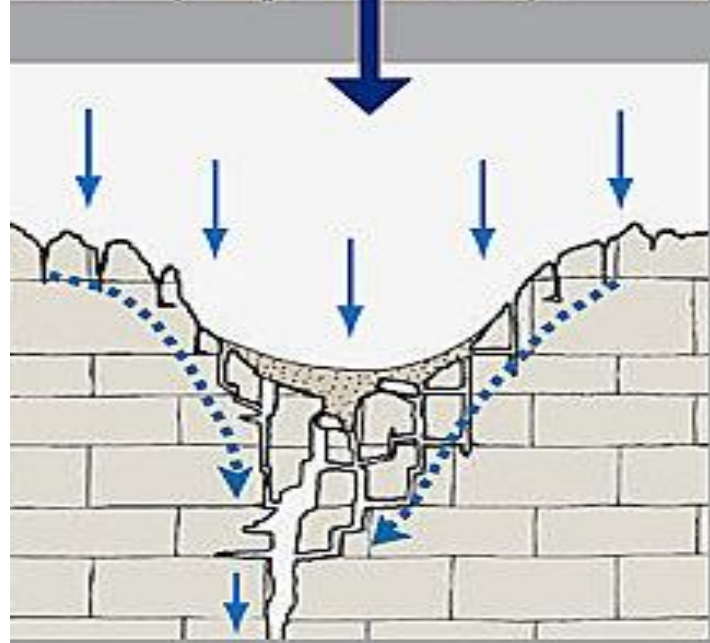
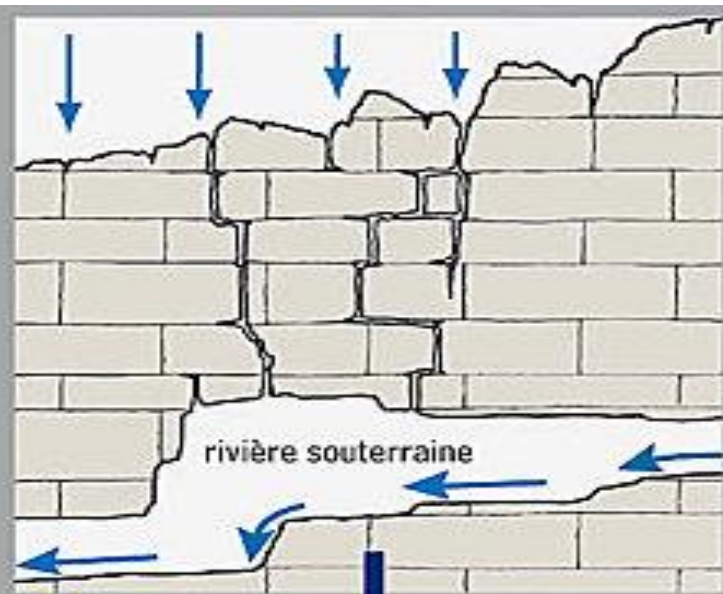
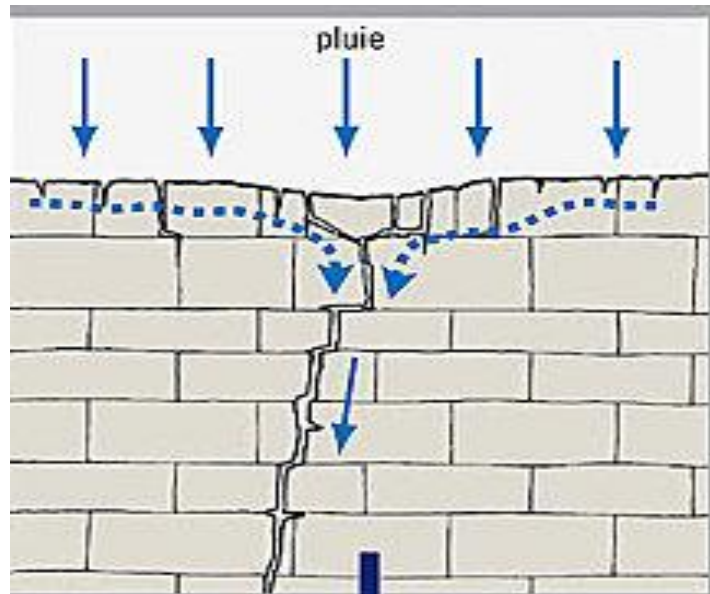
L'hydrolyse est totale lorsque le minéral est détruit en plus petits composés possibles (hydroxydes, ions)

Cas d'un feldspath sodique, l'albite :



L'hydrolyse est partielle lorsque la dégradation est incomplète et donne directement des composés silicatés (argiles). Ces composés diffèrent selon les conditions du milieu. L'hydrolyse partielle de l'Albite donne soit de la kaolinite, soit des Smectites.



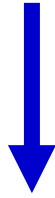








Minéraux



Roches



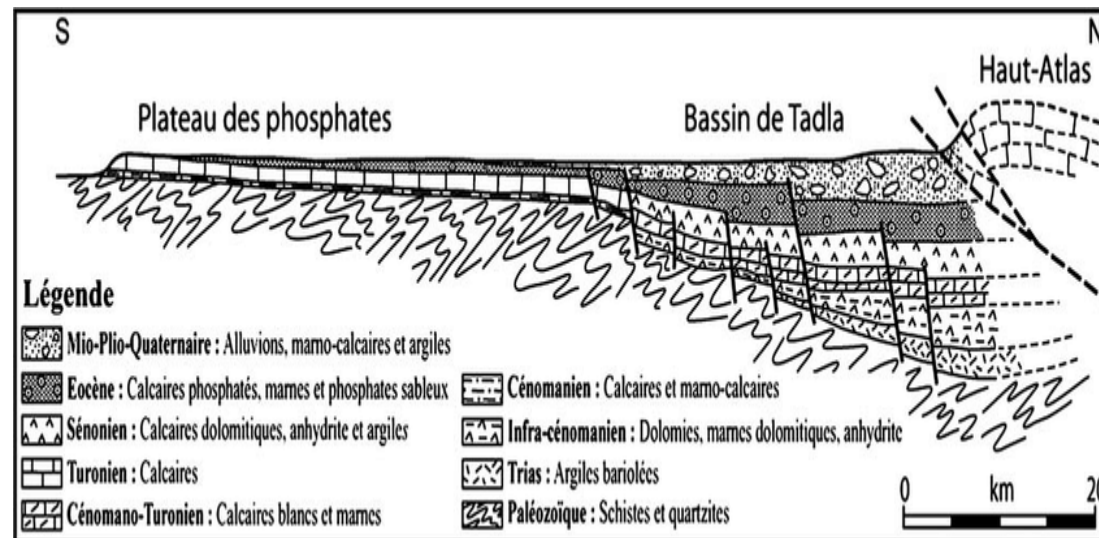
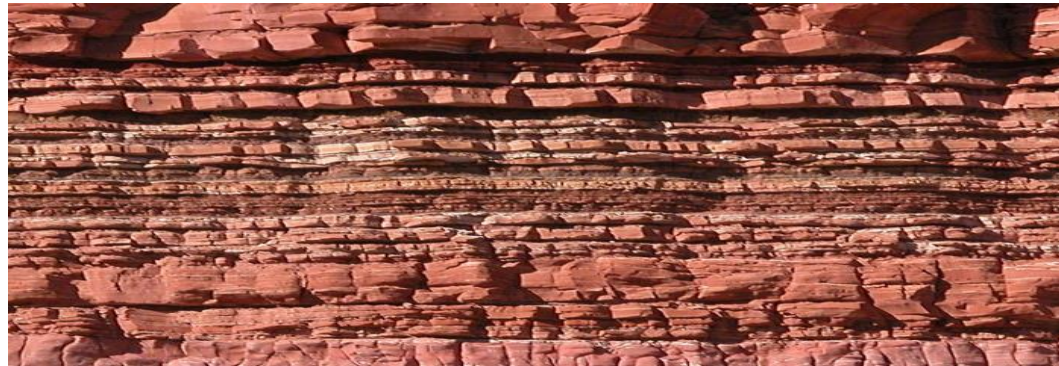
Couches



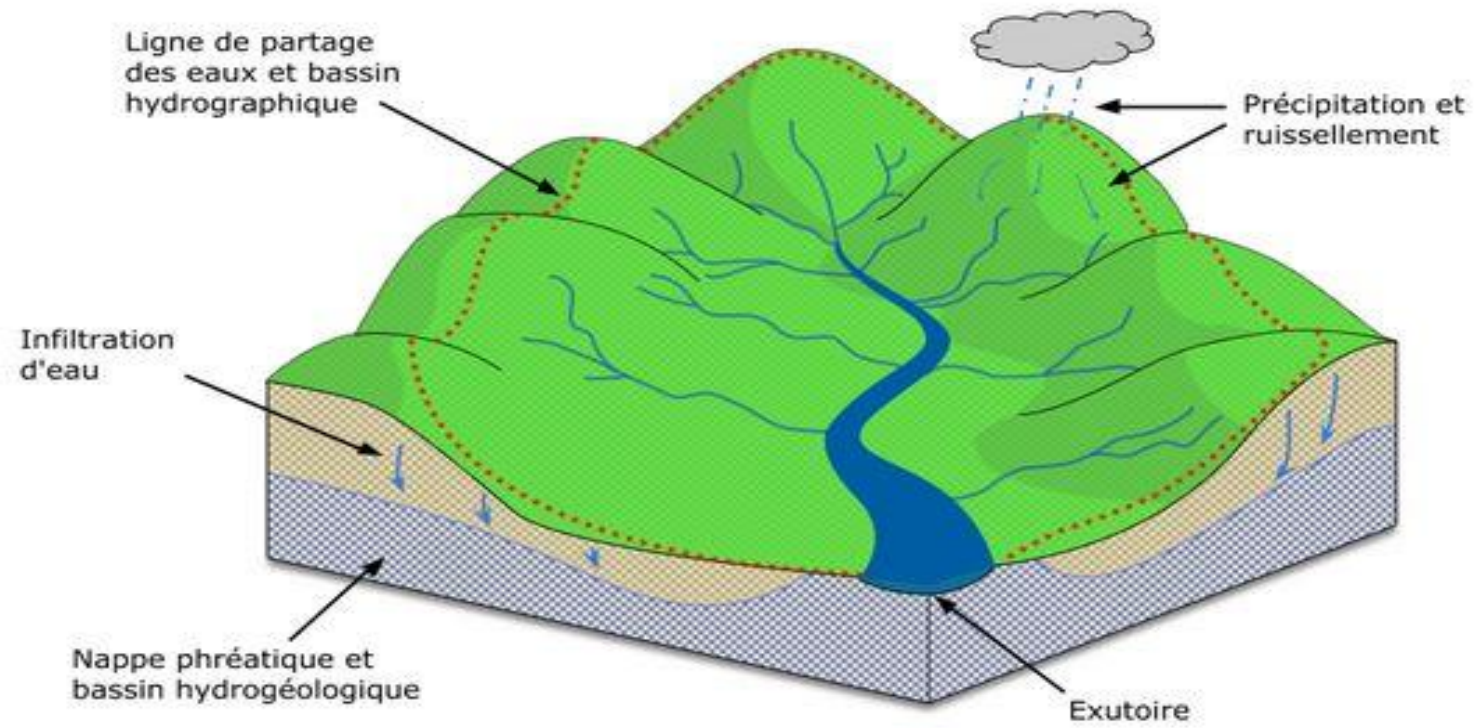
Série stratigraphique



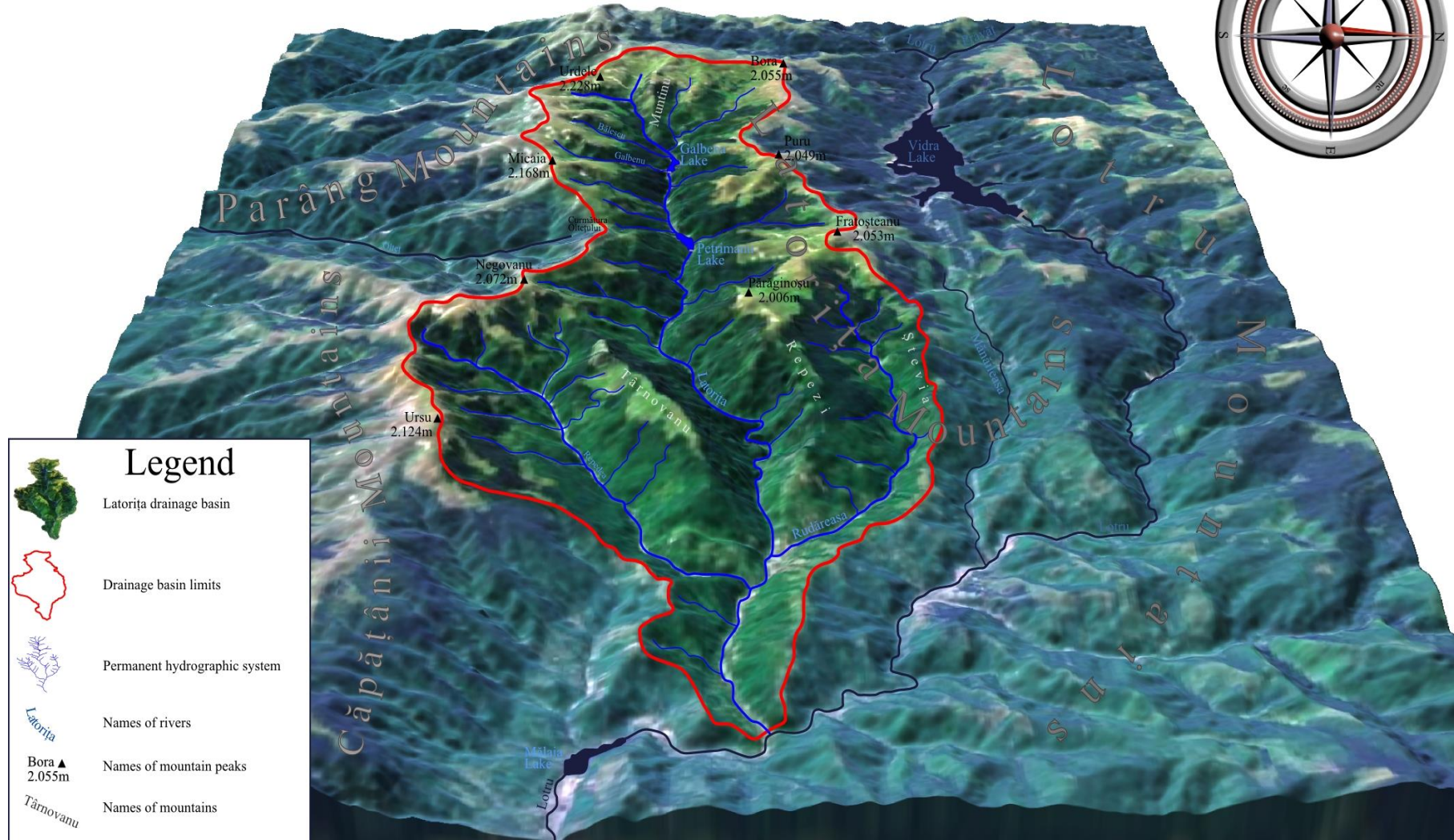
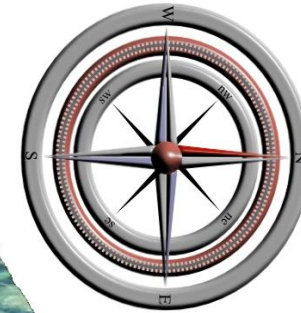
Bassin sédimentaire

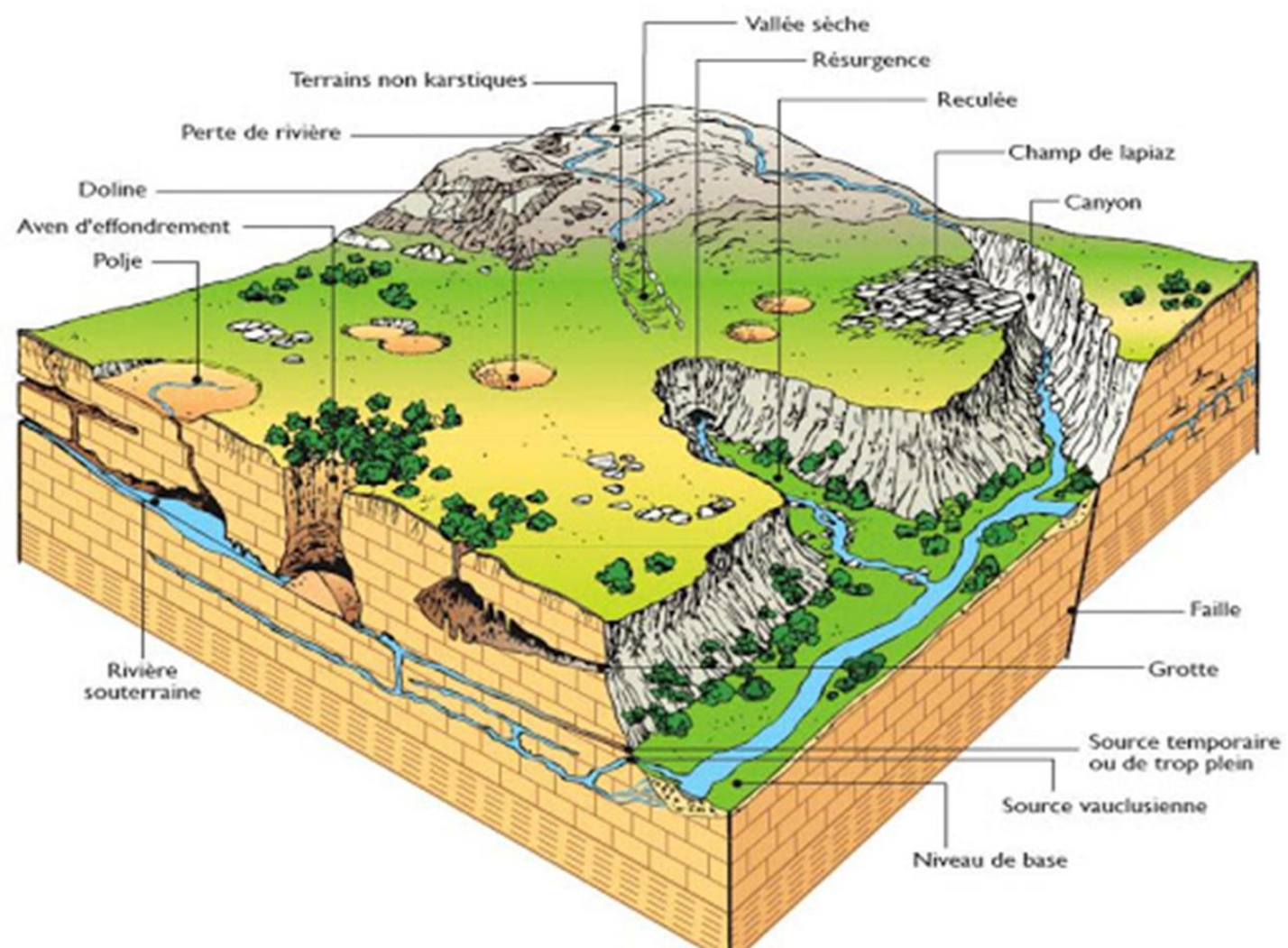


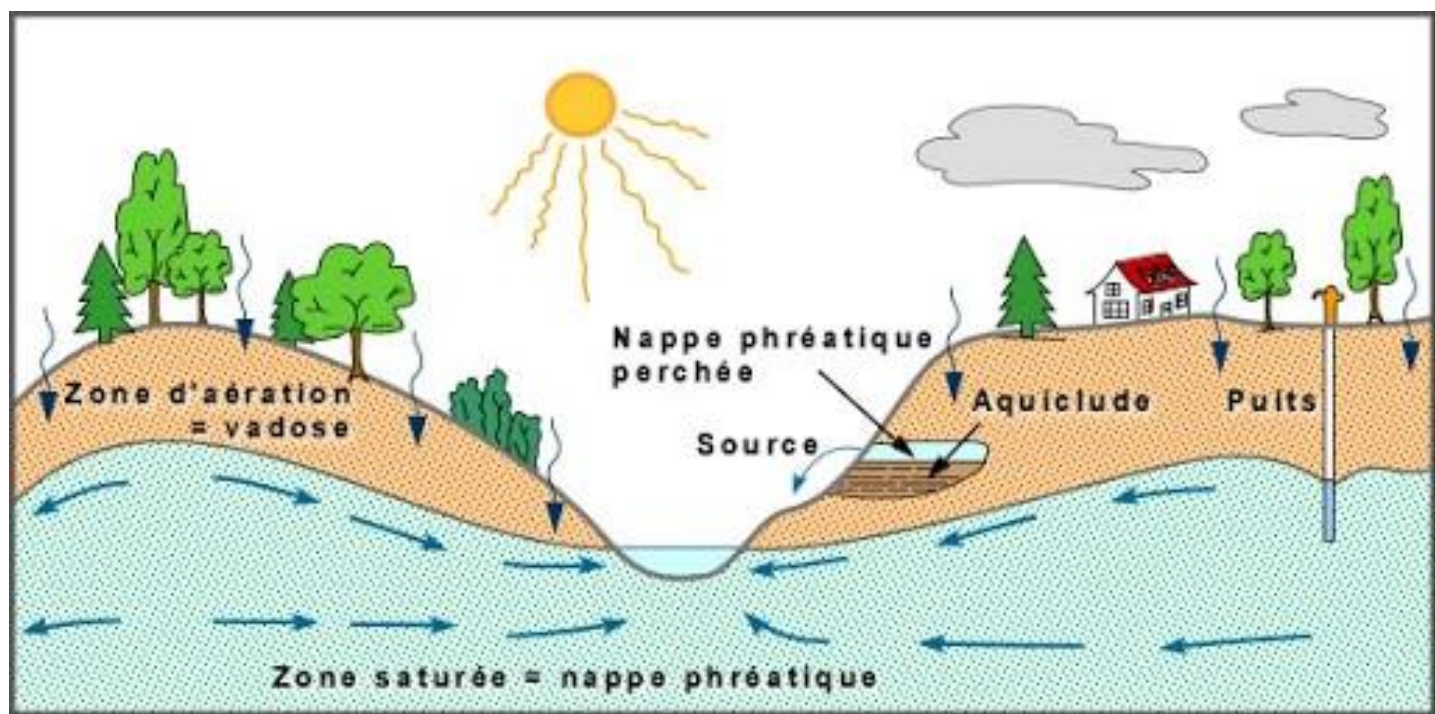
Bassin versant



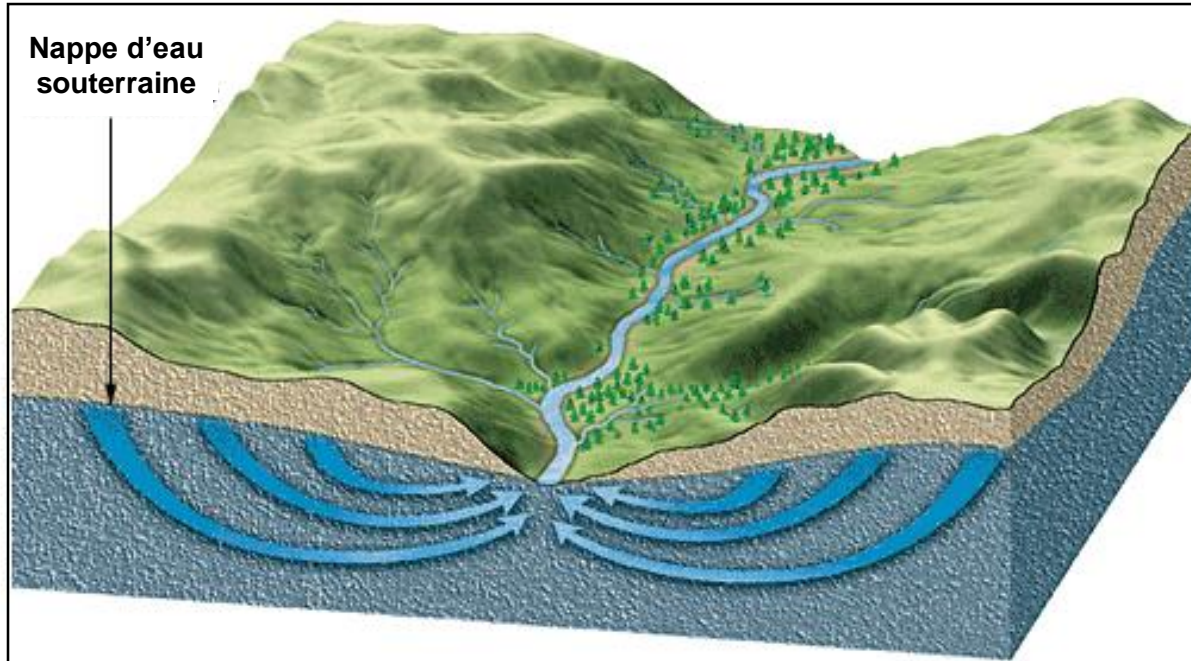
(Drainage basin)







Les écoulements souterrains



Aquifère : corps (couche, massif) de roches perméables à l'eau, reposant sur des roches peu ou moins perméables (substratum) et parfois à couverture de roches moins perméables (toit).

L'aquifère comporte une zone saturée d'eau et conduit suffisamment l'eau pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantités d'eau appréciables.

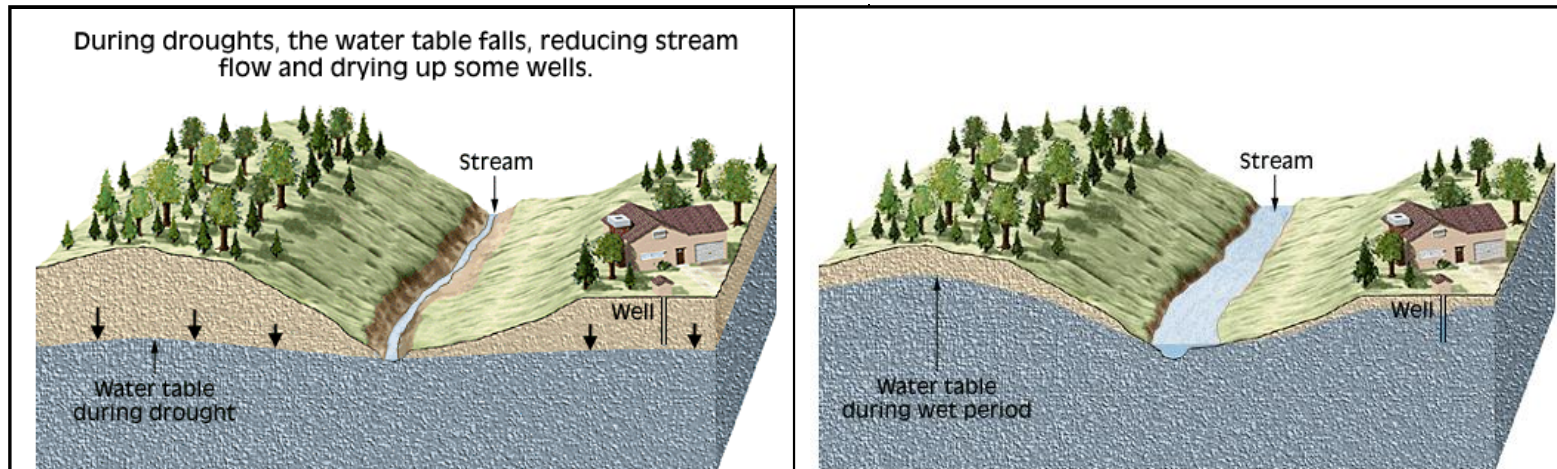
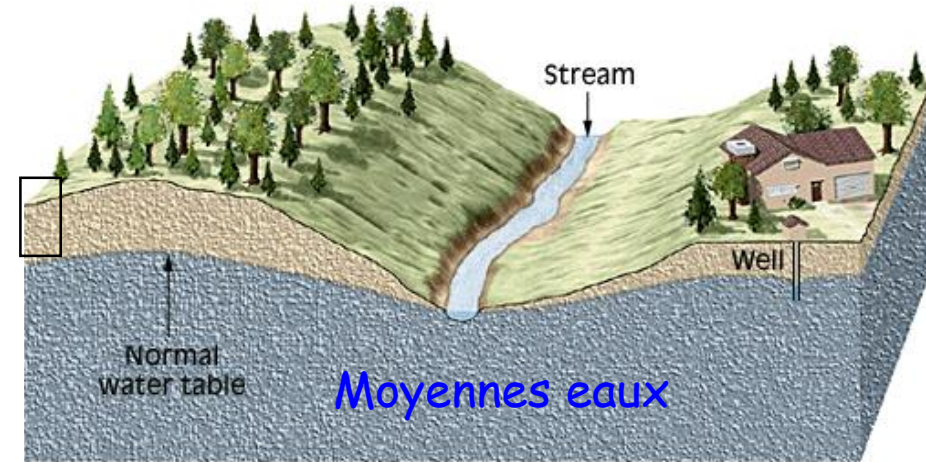
Nappe : ensemble de l'eau présente dans la zone saturée d'un aquifère, dont toutes les parties sont en liaison hydraulique.

Fluctuations piézométriques

Les nappes sont influencées par les recharges (fluctuations saisonnières et interannuelles) et par les prélèvements

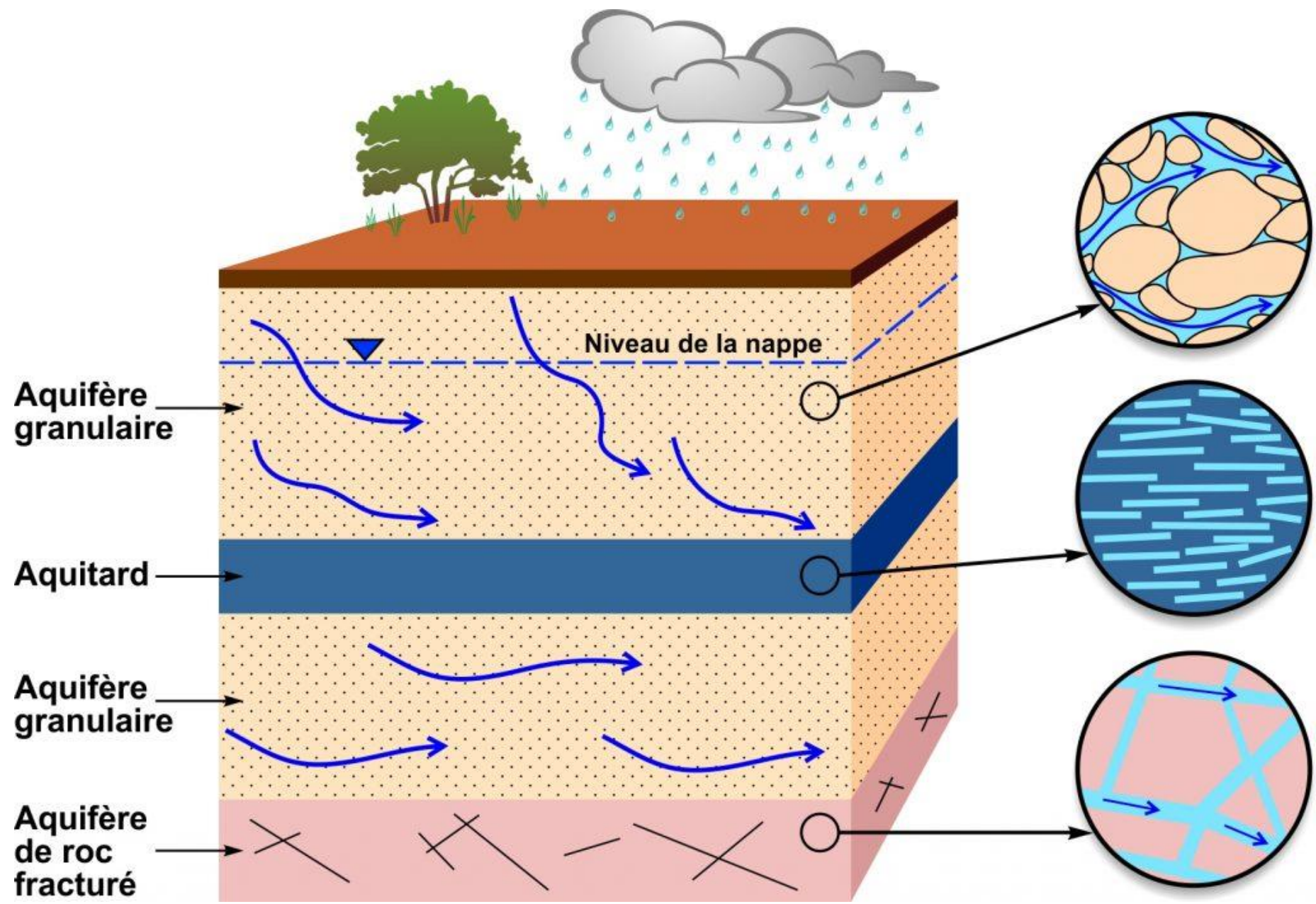
Exutoires des nappes :

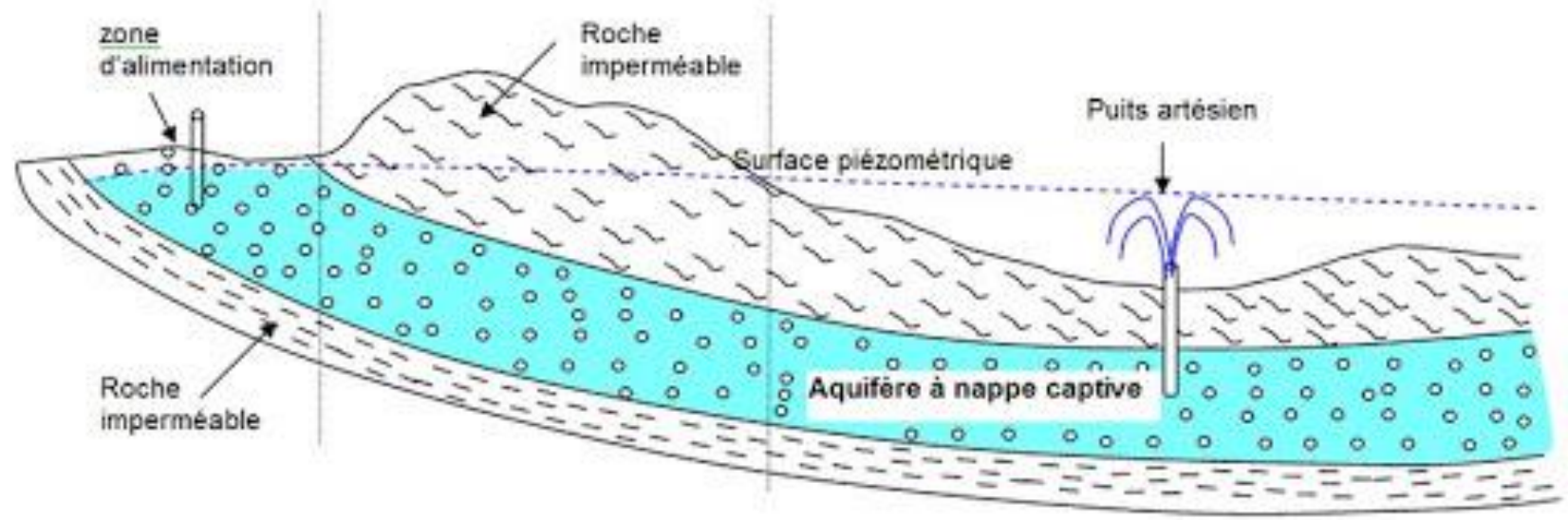
- Lacs, rivières, océan
- Sources
- Autres nappes
- Reprise par évaporation

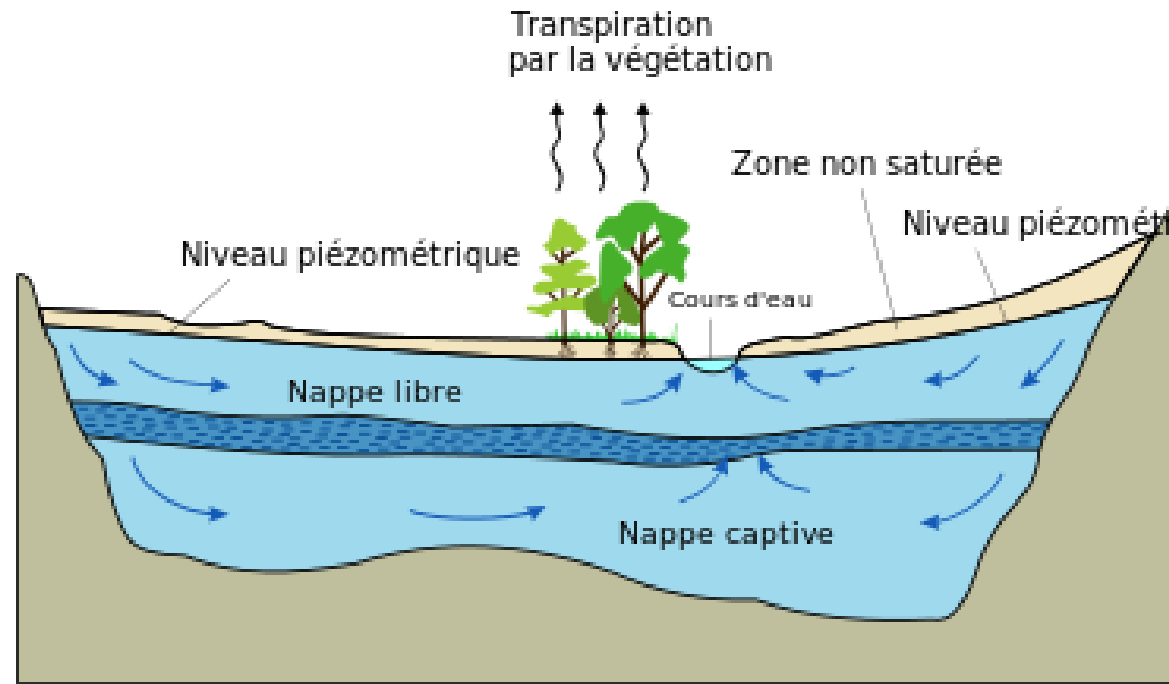


Basses eaux

Hautes eaux







- Formation perméable
- Formation peu perméable
- Formation imperméable
- Circulation de l'eau souterraine





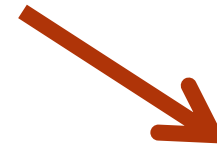
CHAPITRE V

Méthodes géophysiques

Géophysique



Géologie



physique

Géophysique = étude des paramètres physiques de la Terre à partir des phénomènes physiques qui leur sont associés.

Géophysique

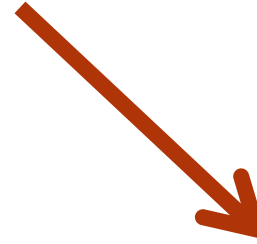
```
graph LR; A[Géophysique] --- B[Géophysique Fondamentale]; A --- C[Géophysique Appliquée]
```

Géophysique Fondamentale

Géophysique Appliquée

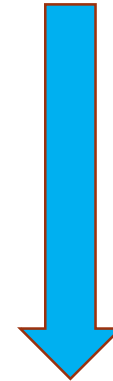
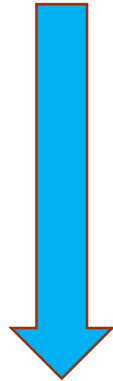
La **géophysique appliquée** est une branche de la géophysique qui utilise des méthodes pour mesurer les propriétés physiques du sous-sol terrestre, afin de détecter ou de déduire la présence et la position des concentrations **d'eaux** et de **minerais**.

Reconnaissance du sous-sol



Reconnaissance directe

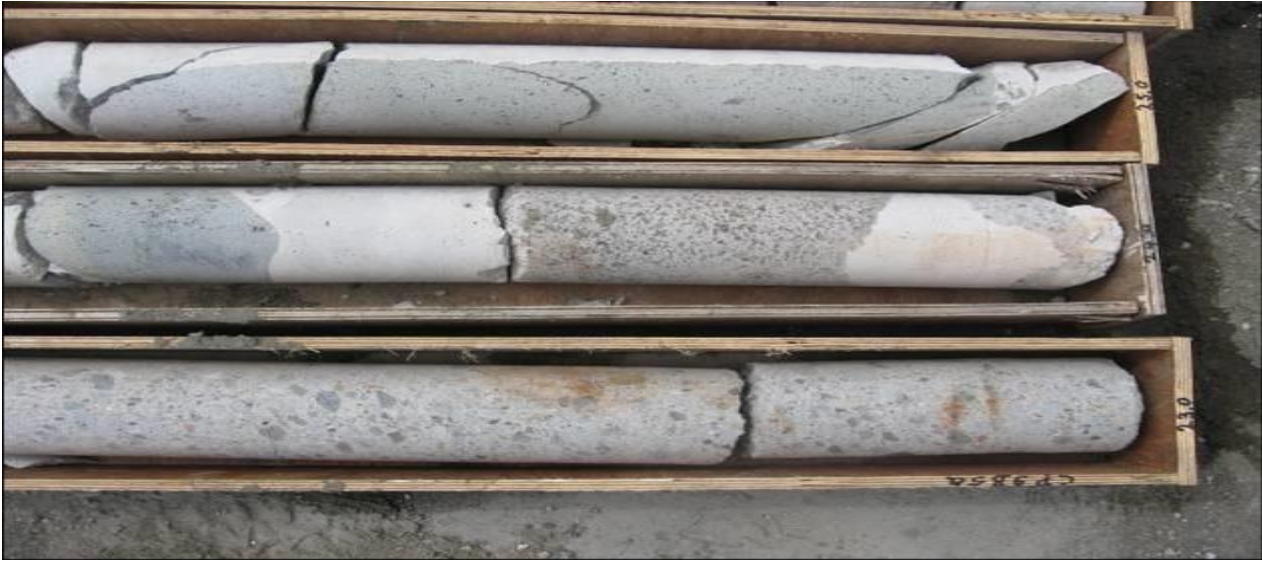
Reconnaissance indirecte

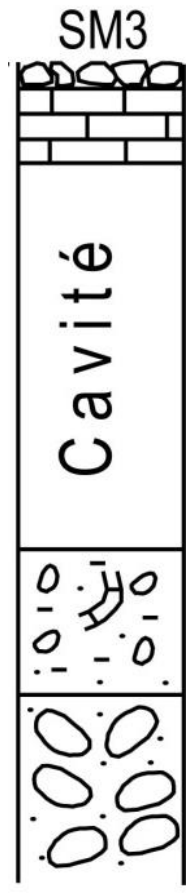
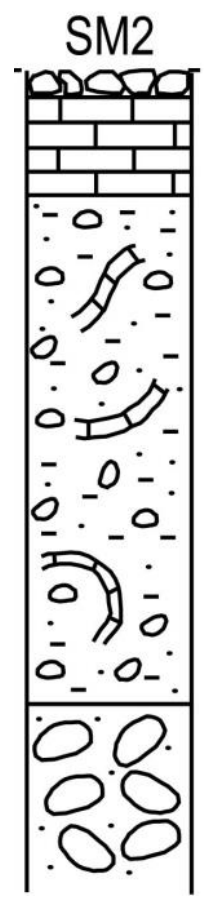
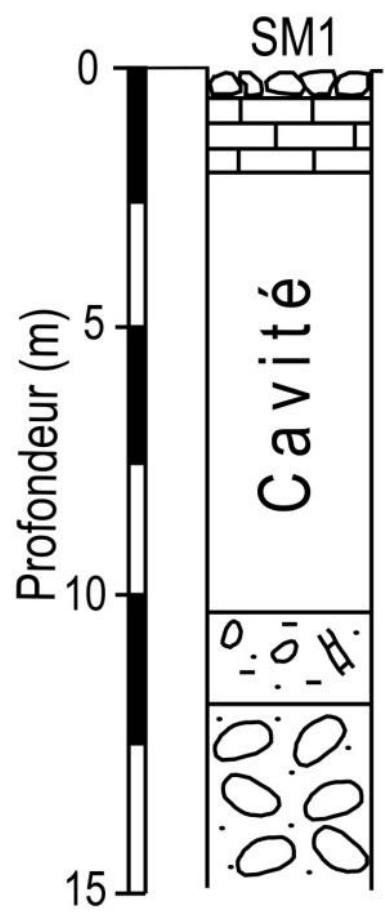


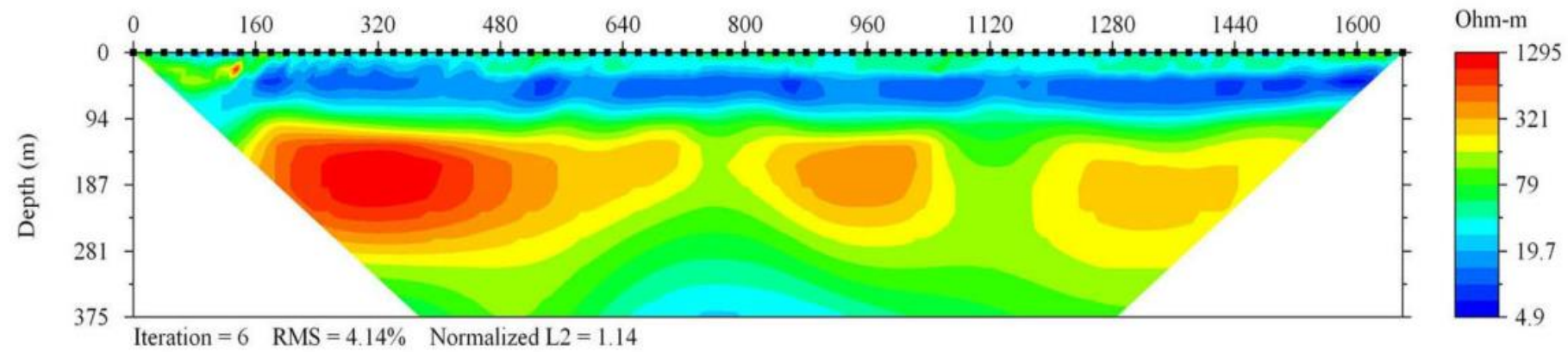
Sondages mécaniques

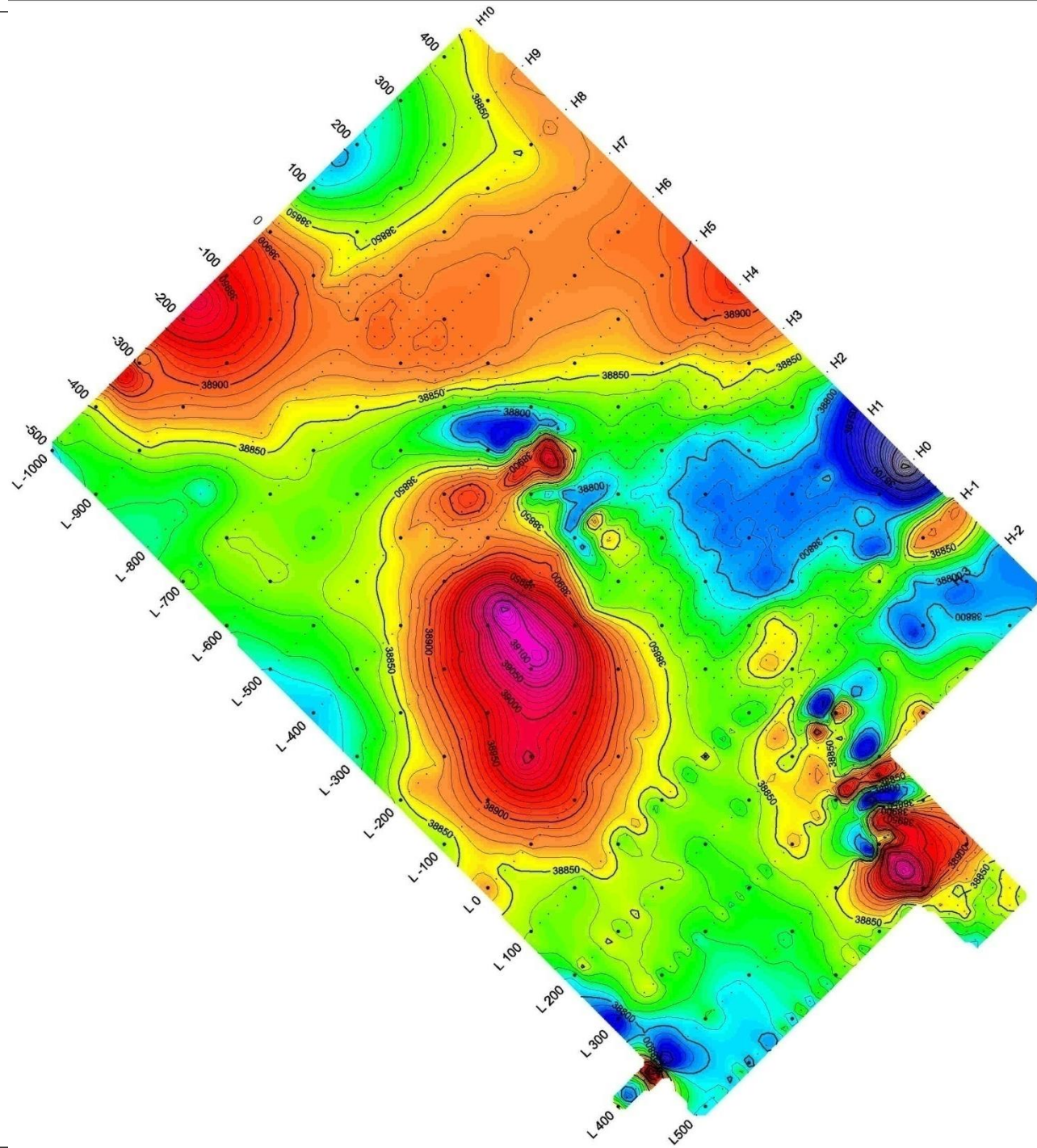
Géophysique appliquée











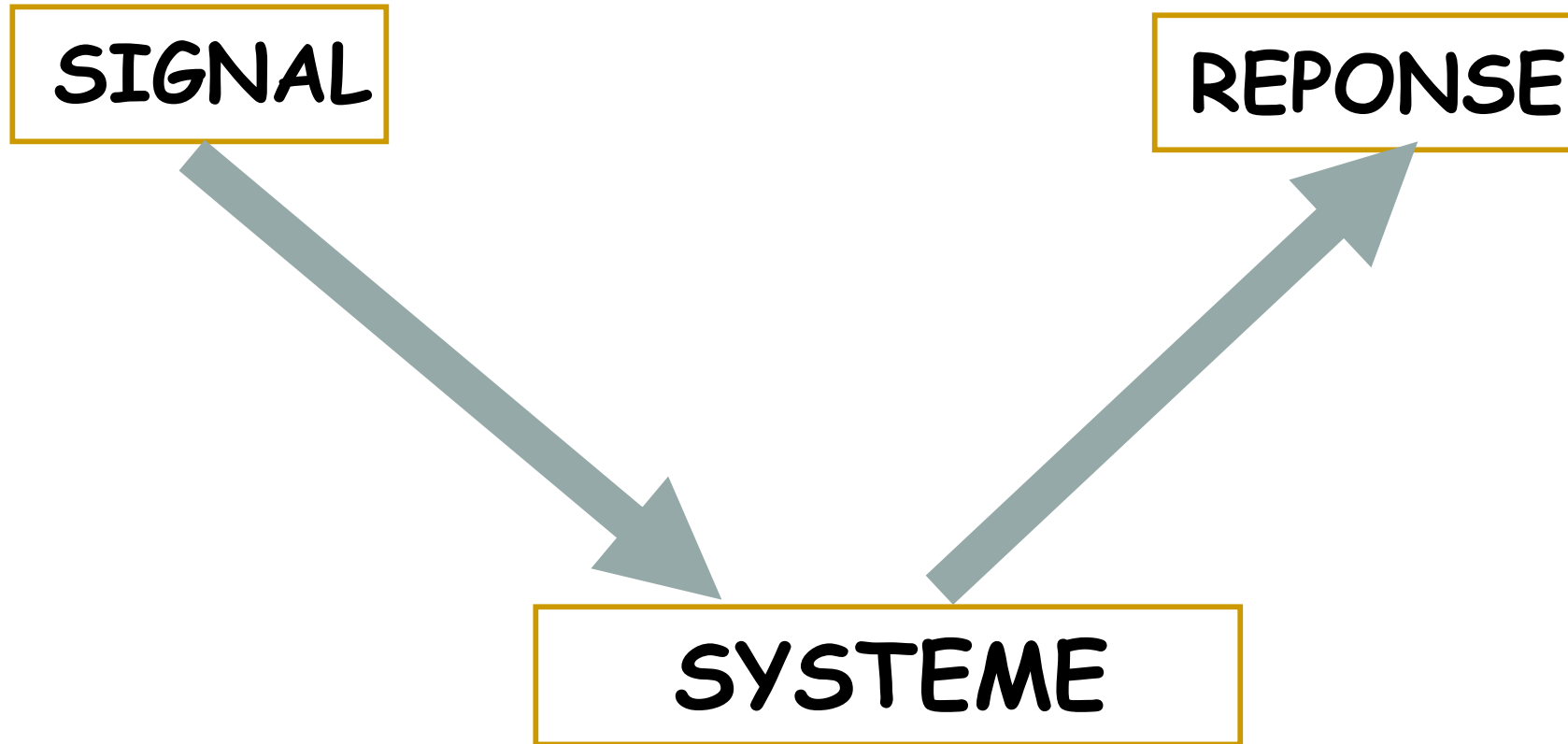
Avantages de l'imagerie géophysique

- Couverture en continu
- Investigation latérale et verticale
- Suivi des différentes structures
- Très bonne résolution
- Bon rendement (temps et coût)

Imagerie géophysique / sondages mécaniques

Imagerie géophysique	Sondages mécaniques
<ul style="list-style-type: none">- Reconnaissance non destructive- Informations en continu- Durée de mise en œuvre courte- Coût faible	<ul style="list-style-type: none">- Reconnaissance destructive- Informations ponctuelles- Durée de mise en œuvre relativement longue- Coût élevé

Principe de l'imagerie géophysique



SIGNAL

Électrique

Électromagnétique

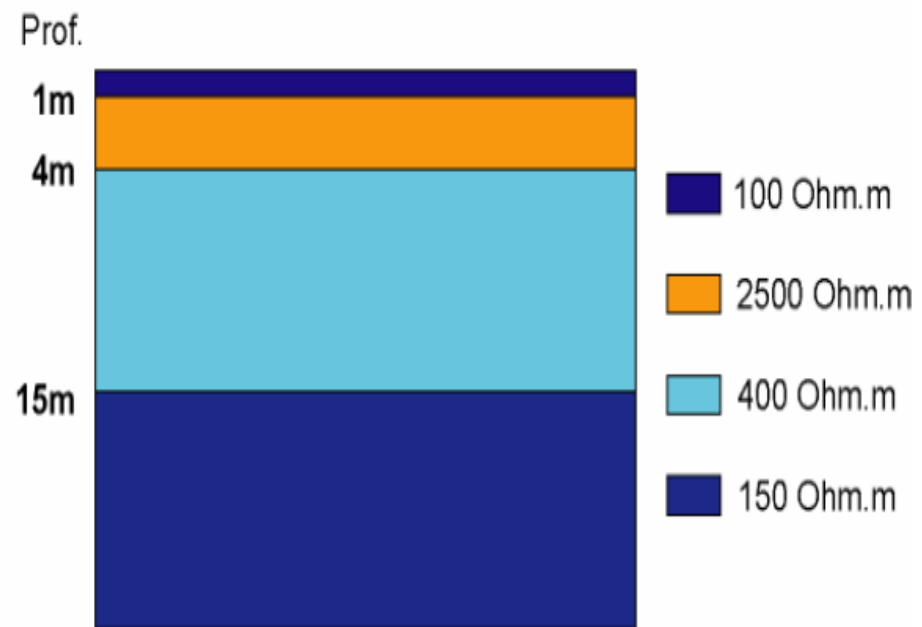
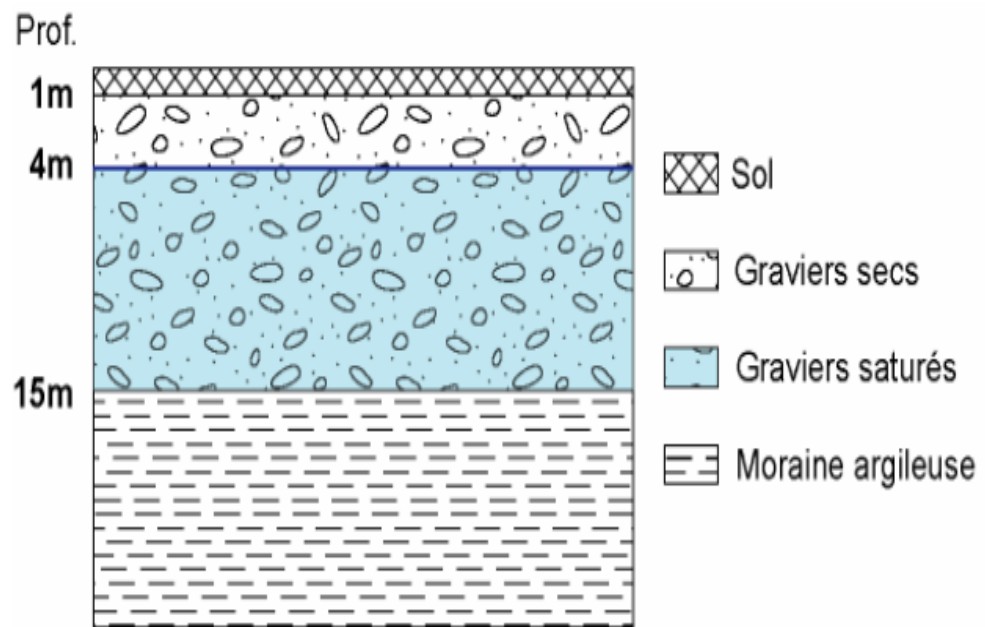
Sismique

Magnétique

Gravimétrique

Tellurique

Magnétotelluriques

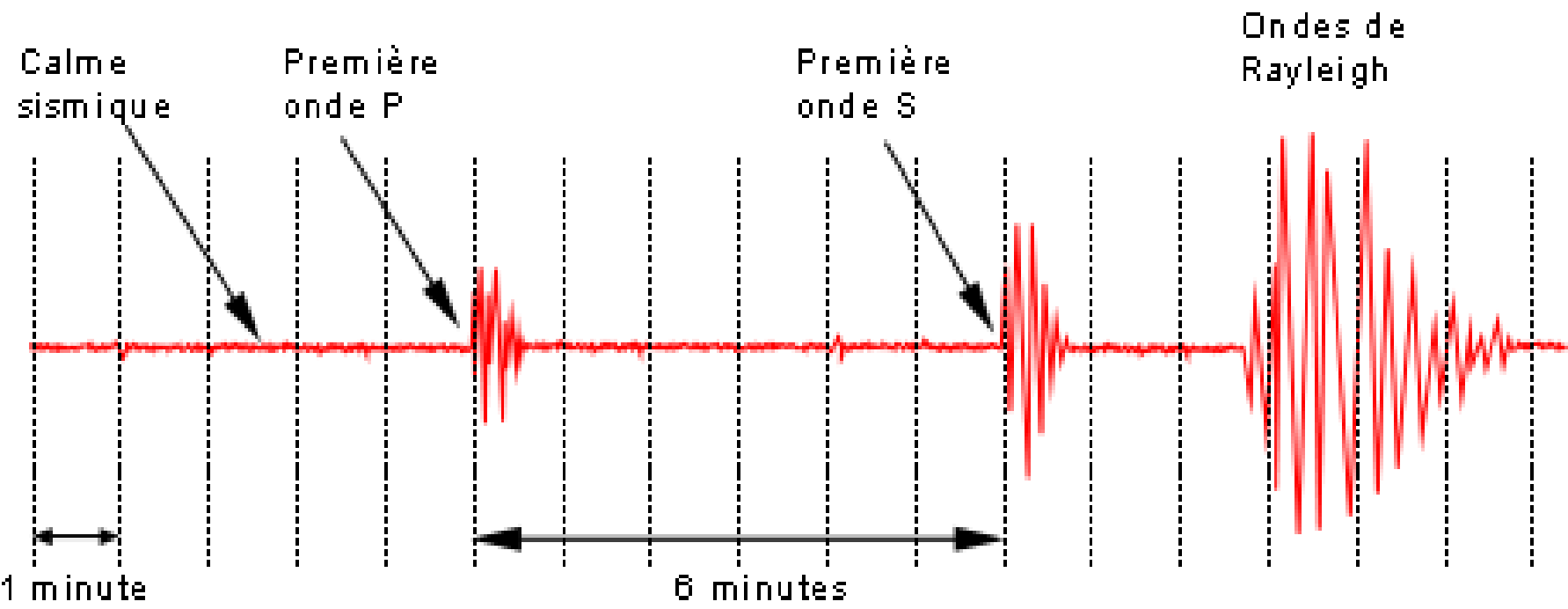


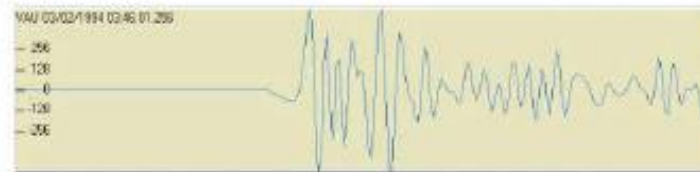
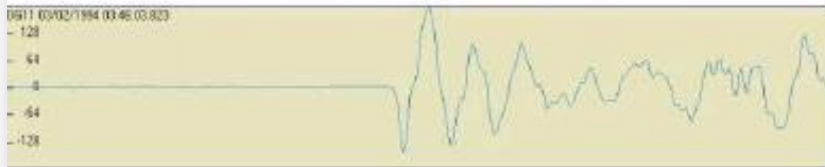
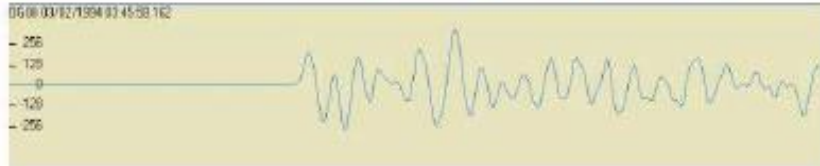
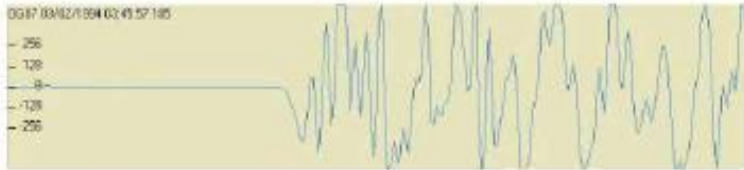
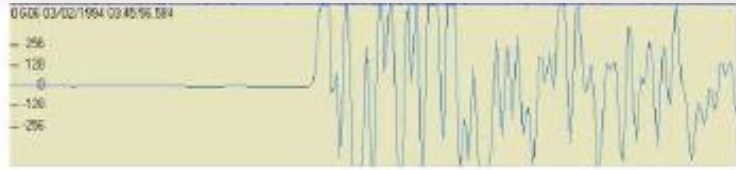
Groupe de méthodes	Paramètre physique étudié	Champ mesuré	Origine Naturelle (N) ou Provoquée (P)
Gravimétrie	Densité	Pesanteur	N
Sismique	Vitesse et/ou impédance acoustique des ondes mécaniques (vitesse * densité)	Temps de trajet et amplitude des signaux transmis	P
Electrique en courant continu	Résistivité	Différence de potentiel	P
Magnétisme	Susceptibilité magnétique	Champ magnétique terrestre	N
Electromagnétisme	Résistivité et/ou constante diélectrique	Champ magnétique Champ électrique	N ou P
Radioactivité	Radioactivité des roches	Nombre d'événements	N ou P

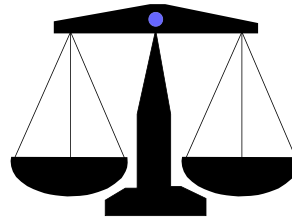
Mélange de plusieurs phénomènes physiques

$$R(t) = \mathbf{U}(t) + \mathbf{B}(t)$$

Partie utile + Partie « bruit »



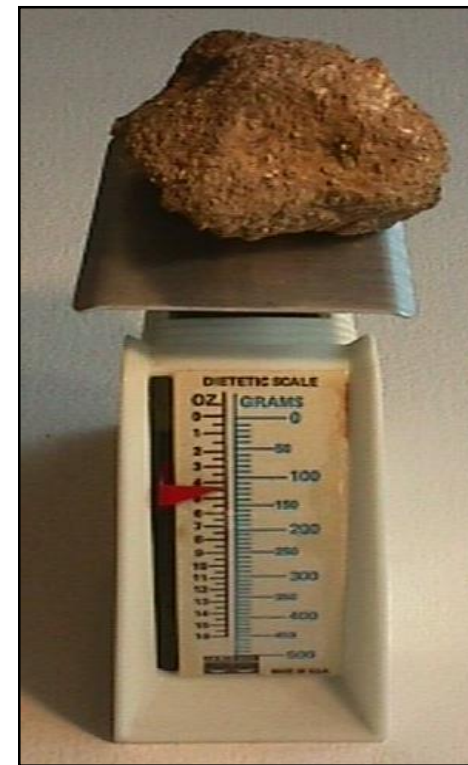




La pyrite est
une roche lourde

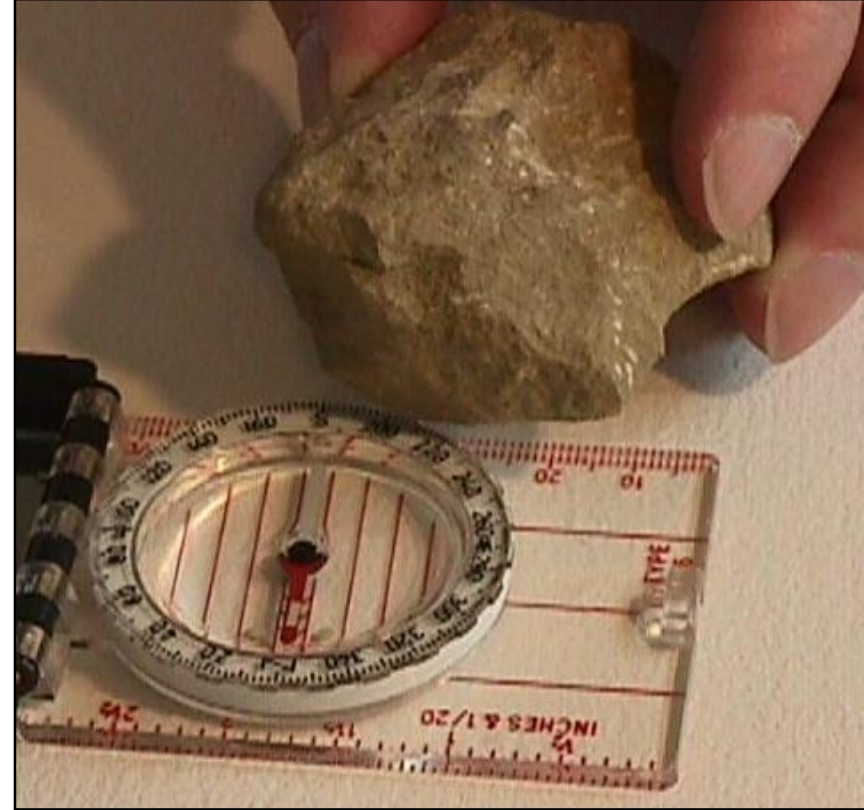


Le grès est
une roche légère

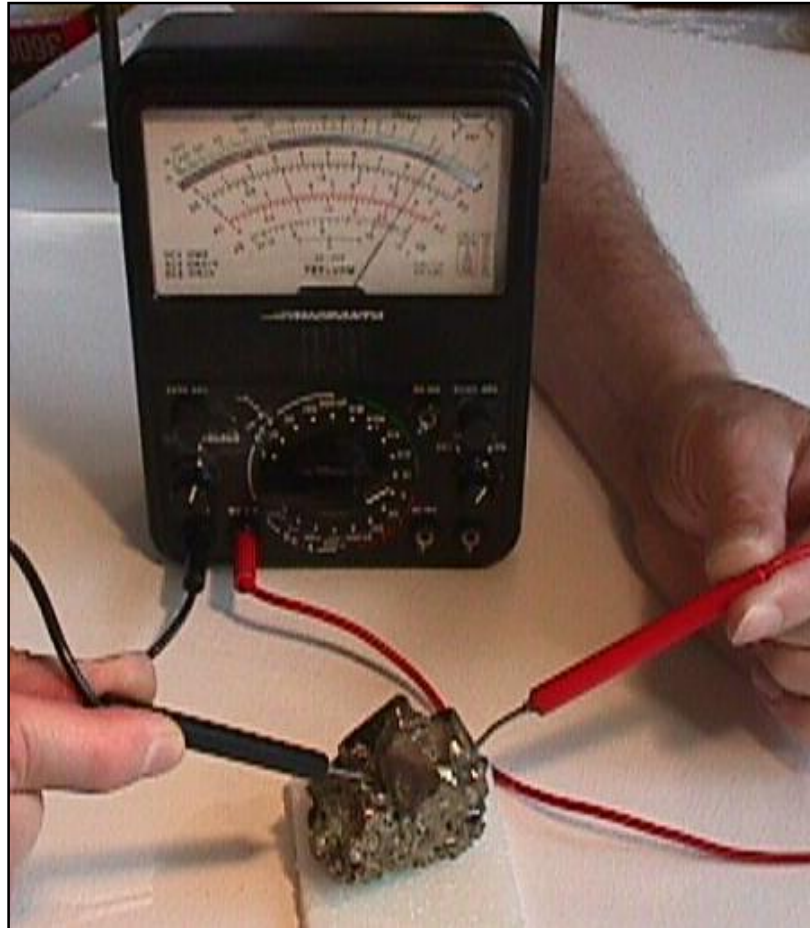




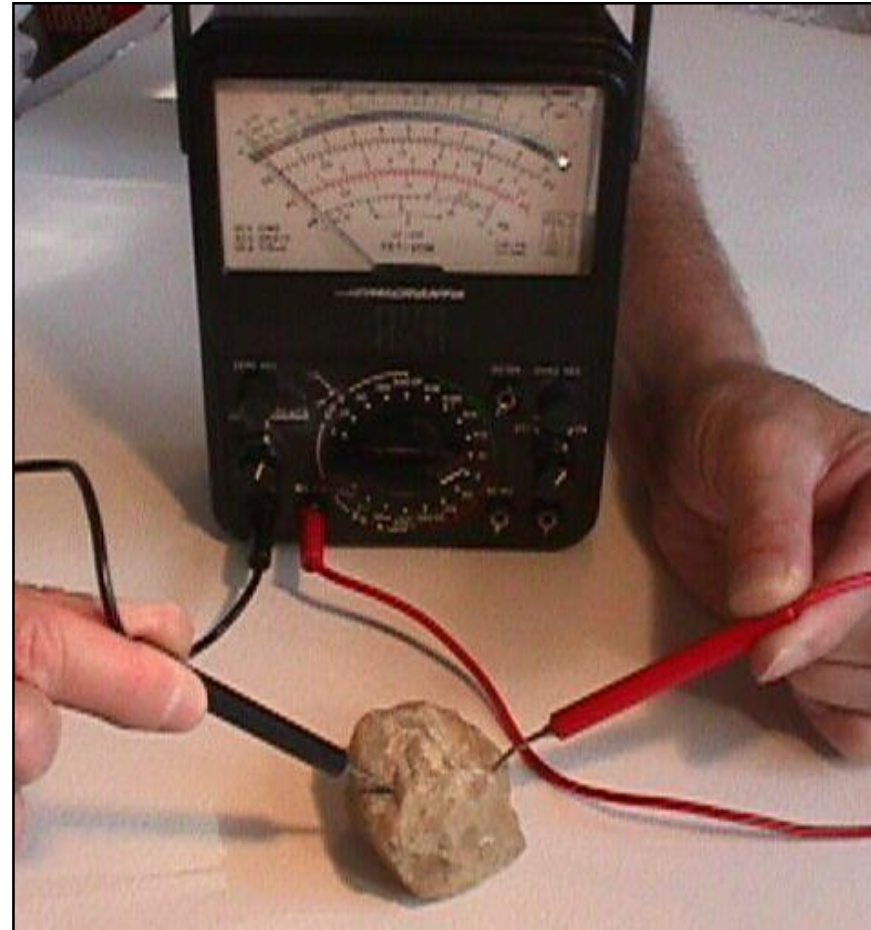
Magnétite



Grès



La pyrite a une faible résistance.
Elle conduit l'électricité
facilement.



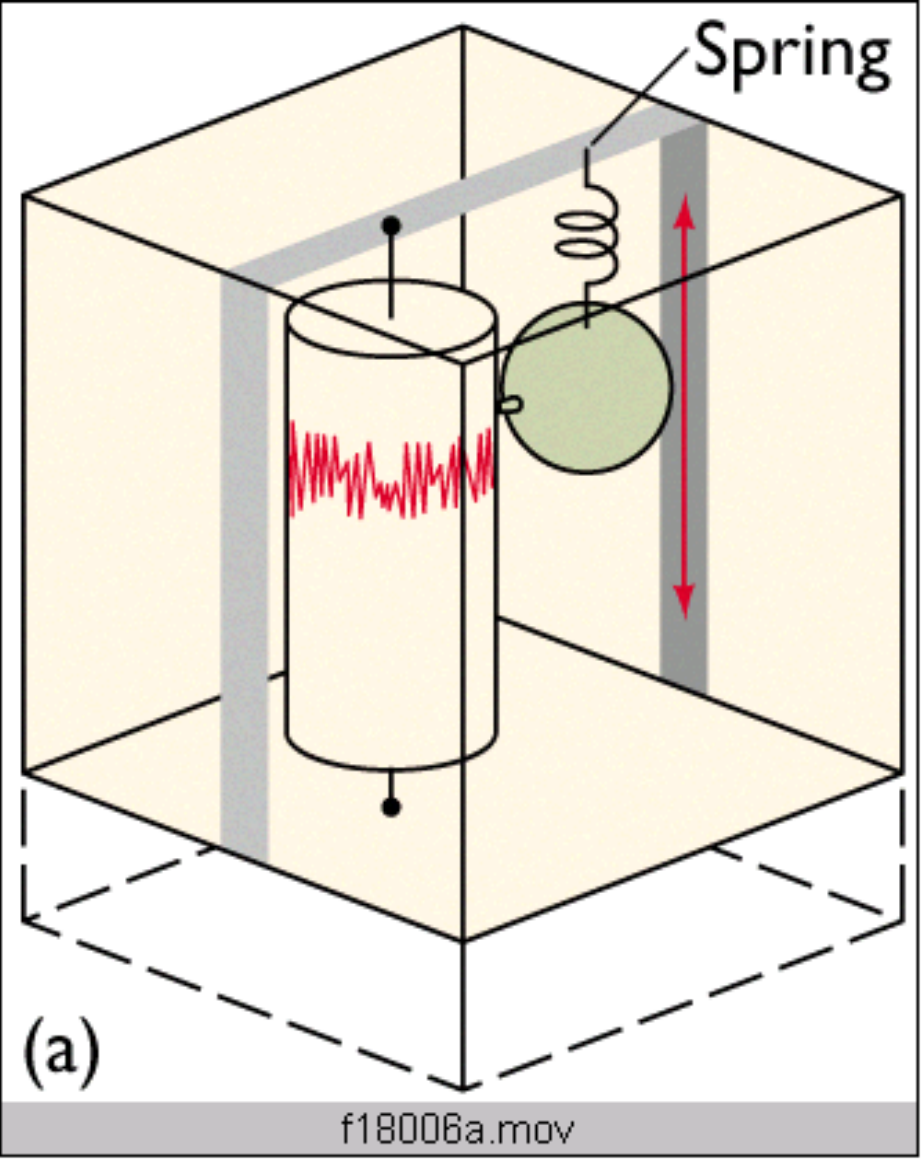
Un grès est très résistif.
Il ne conduit pas l'électricité
facilement.

En prospection **gravimétrique**, on mesure les très faibles variations de la force d'attraction par la Terre.

Différents types de roches ont des densités variées et les plus denses exercent une attraction gravimétrique plus forte.



Un "**gravimètre**" qui mesure l'attraction gravimétrique de la Terre





Dans la prospection **magnétique** on étudie les variations du champ magnétique terrestre. Le champ magnétique des roches sédimentaires est d'ordinaire bien plus faible que celui des roches éruptives ou métamorphiques.

Cela permet de mesurer l'épaisseur des couches sédimentaires surmontant le socle cristallin.

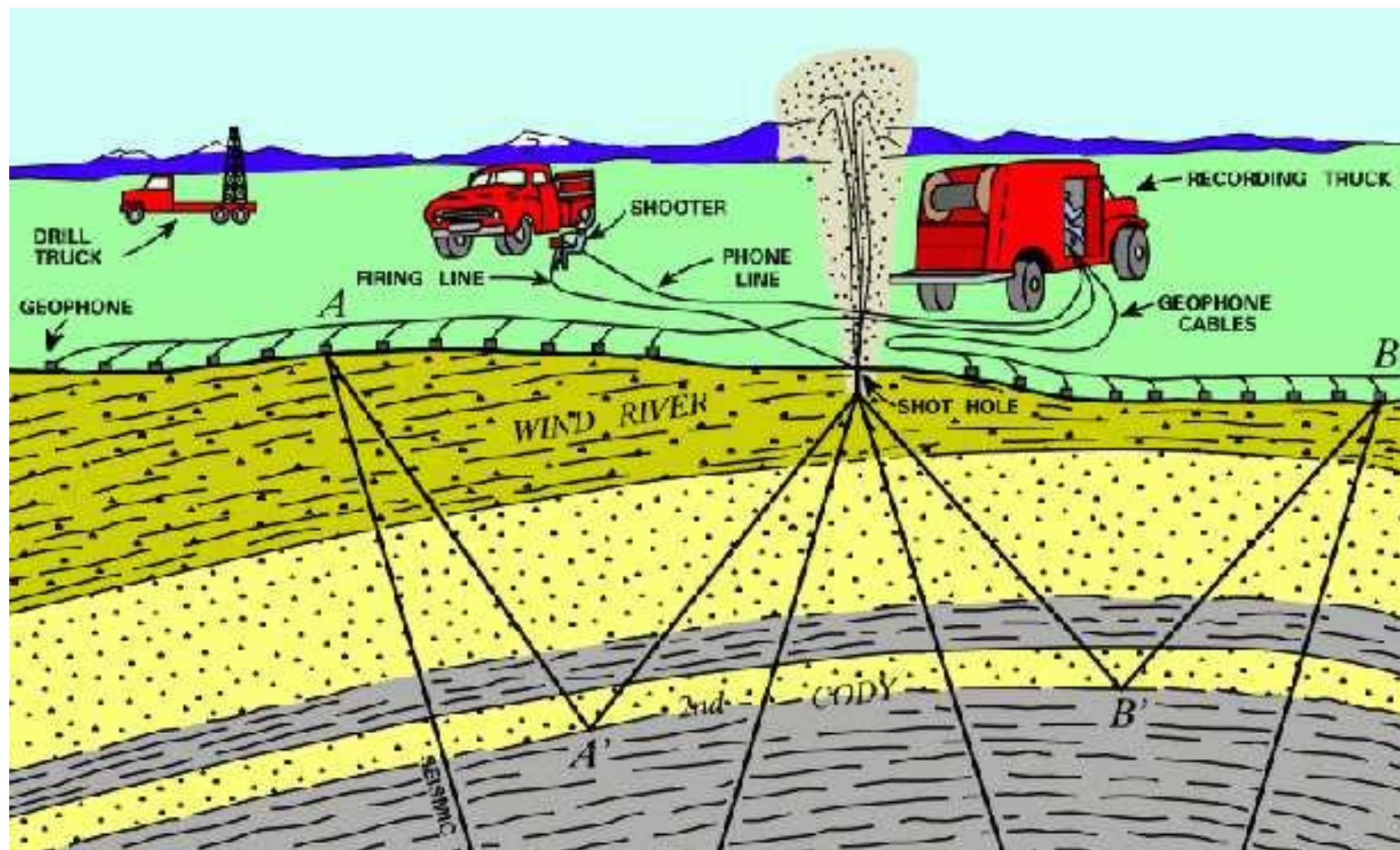
L'appareil à gauche est un "**magnétomètre**" qui permet de mesurer le champ magnétique terrestre.

Toutes les roches conduisent plus ou moins l'électricité.
Leur résistance à un courant électrique s'appelle la "résistivité".
Cette résistance est mesurée à l'aide d'électrodes plantées dans le sol.
Les études de résistivité sont généralement utilisées
pour la recherche d'eau dans le sous-sol.



Un **géophone** enregistre
l'énergie **SISMIQUE**
tel un microphone enregistre la musique







Réalisez une expérience amusante !



Branchez un géophone sur un Voltmètre,
puis tapez légèrement
sur le géophone.

Observez-vous des oscillations
de l'aiguille du Voltmètre ?

Un **géophone** convertit les vibrations
en énergie **électrique**.

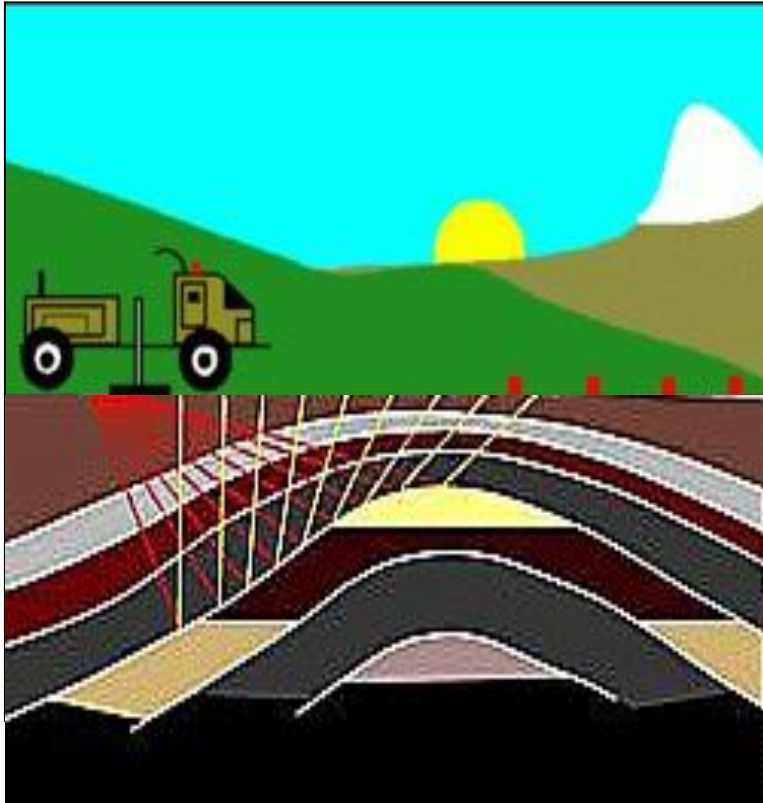


Photo d'après Industrial Vehicles



On peut aussi enregistrer des données sismiques sur les océans!

Lors des reconnaissances en mer, les capteurs sismiques sont installés dans de long tuyaux, les **flutes sismiques**, tirés par le navire. Les **canons à air** servent de source d'énergie.

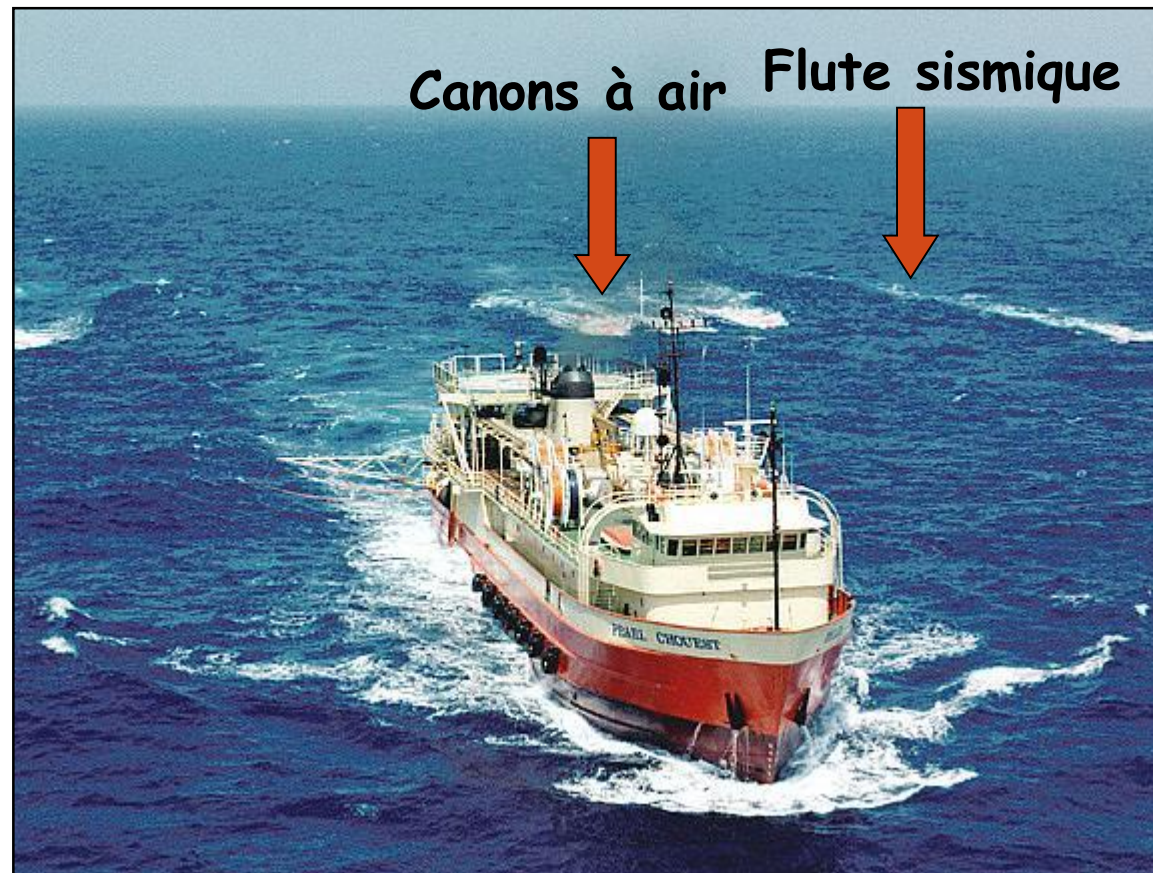
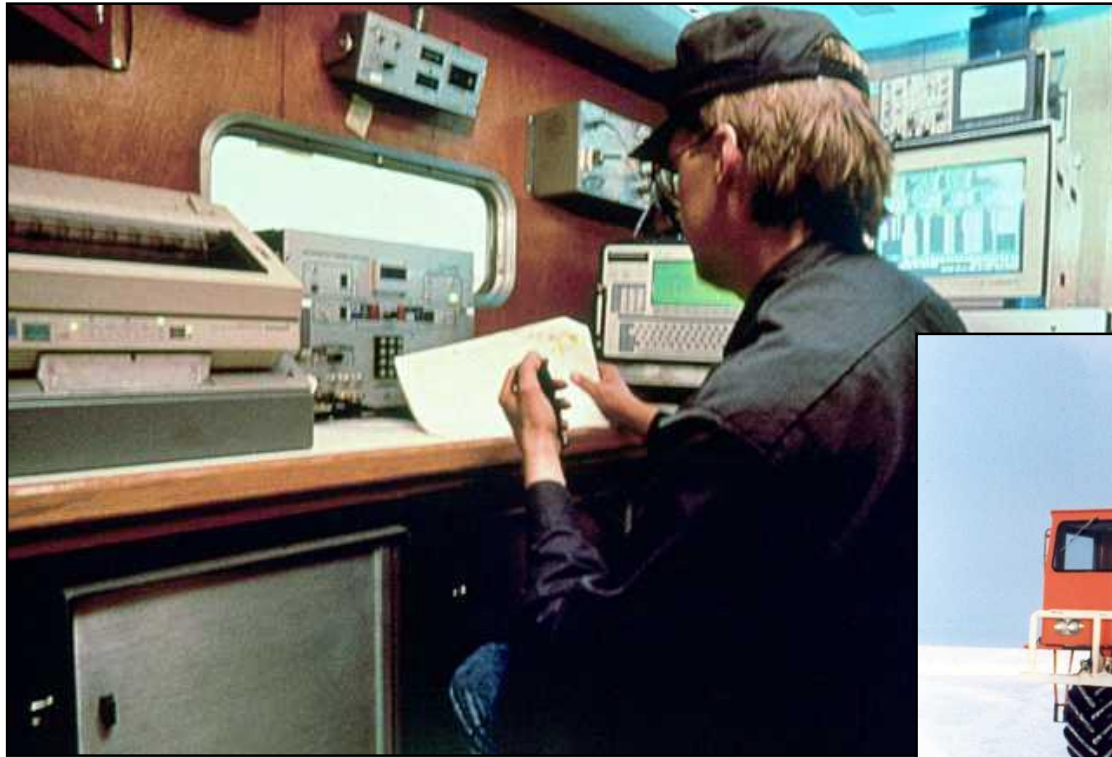
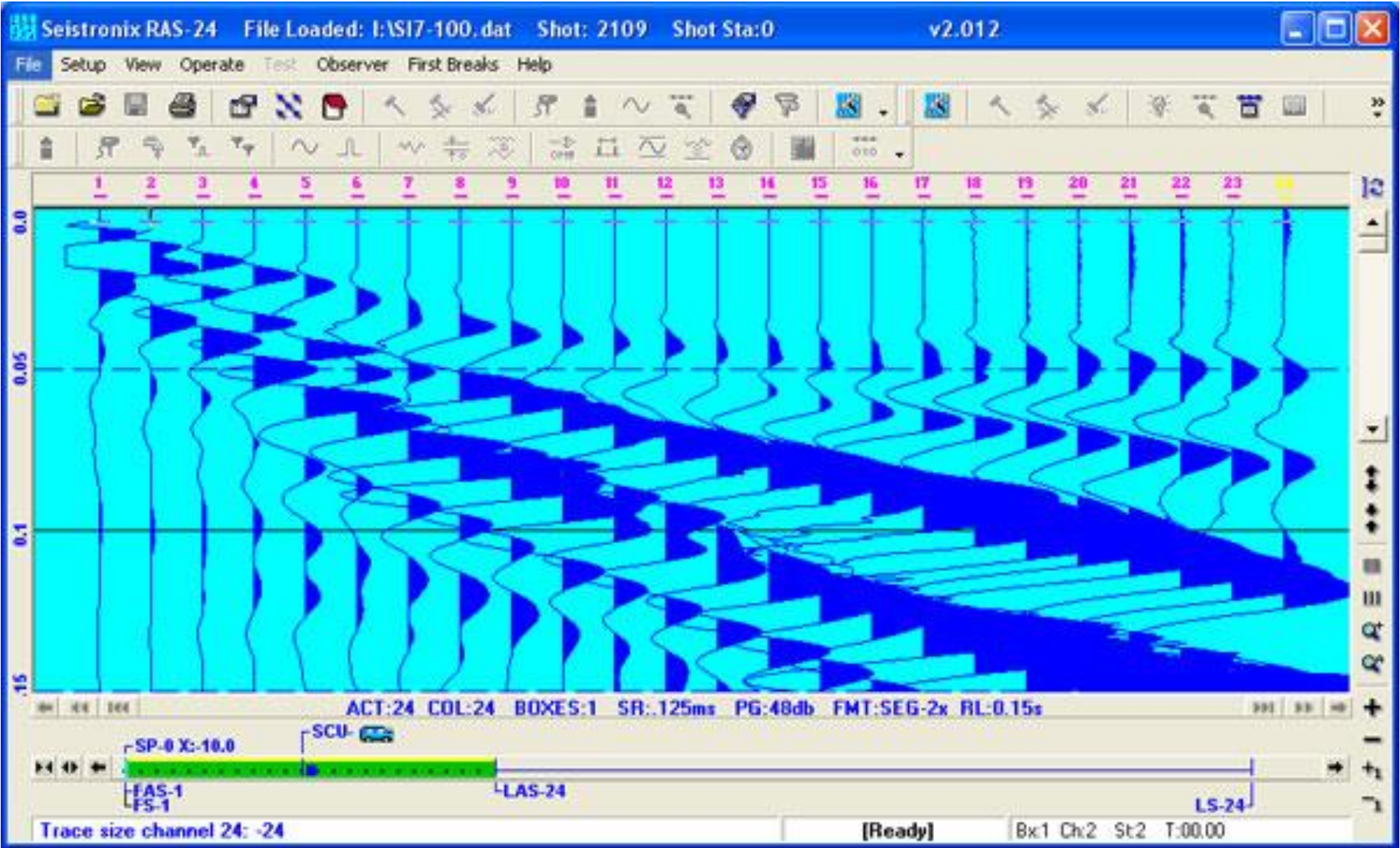


Photo d'après Veritas

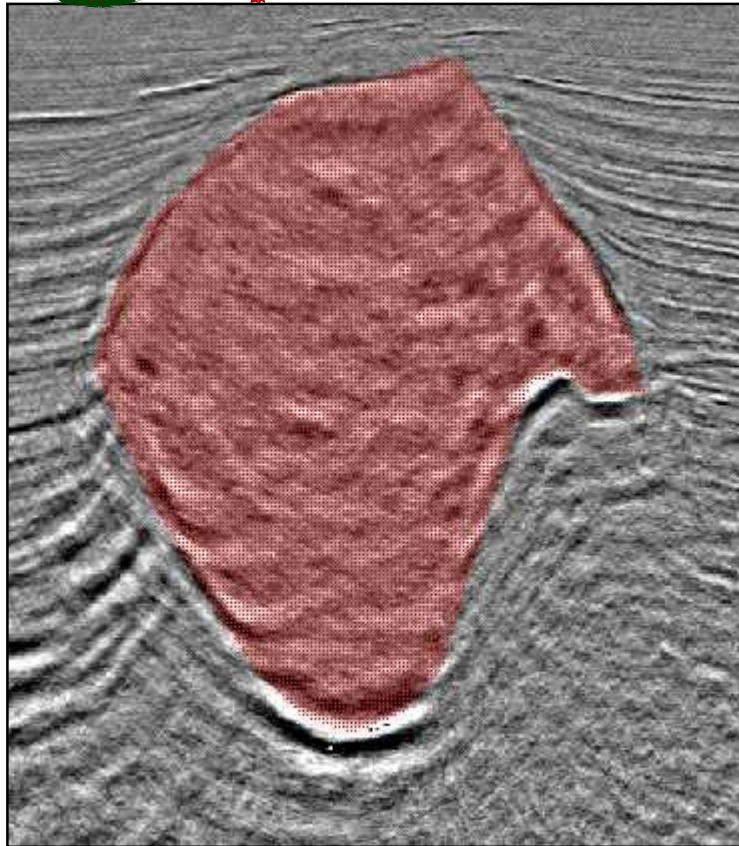
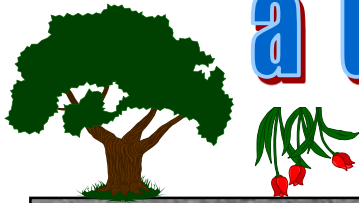
**Les signaux en provenance des géophones
vont à la cabine d'enregistrement
où ils sont sauvés sur des bandes magnétiques**



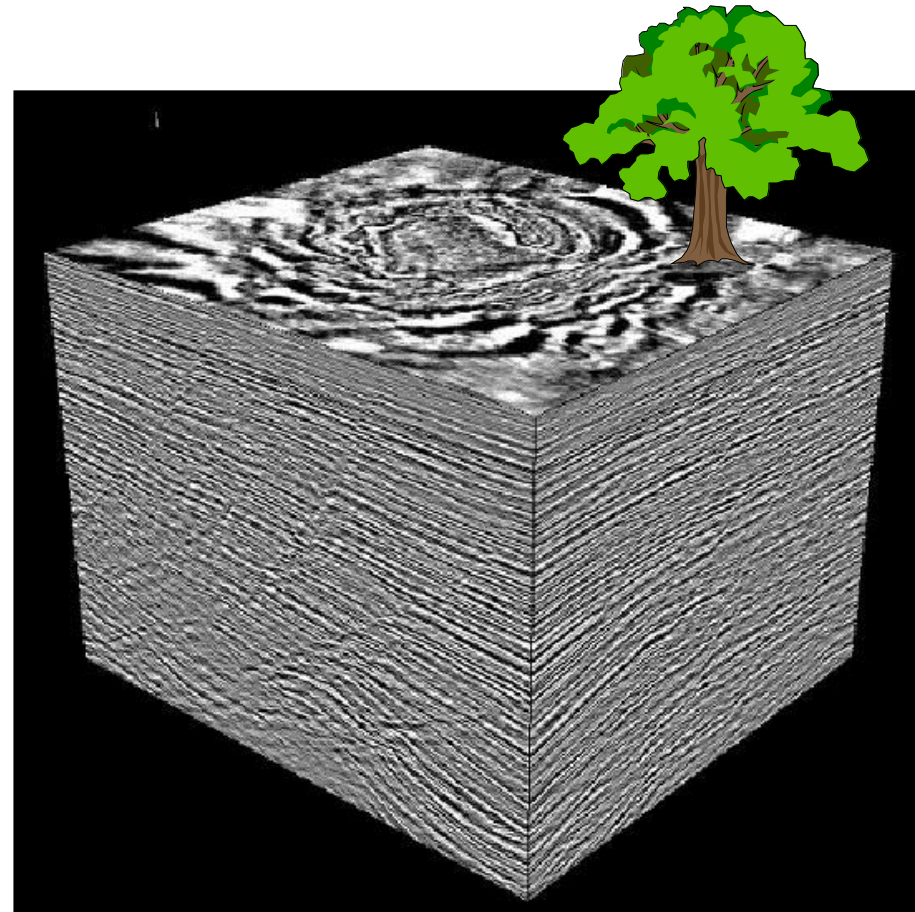
Photos d'après Brian Russell



Les données sismiques ressemblent à une radiographie du sous-sol

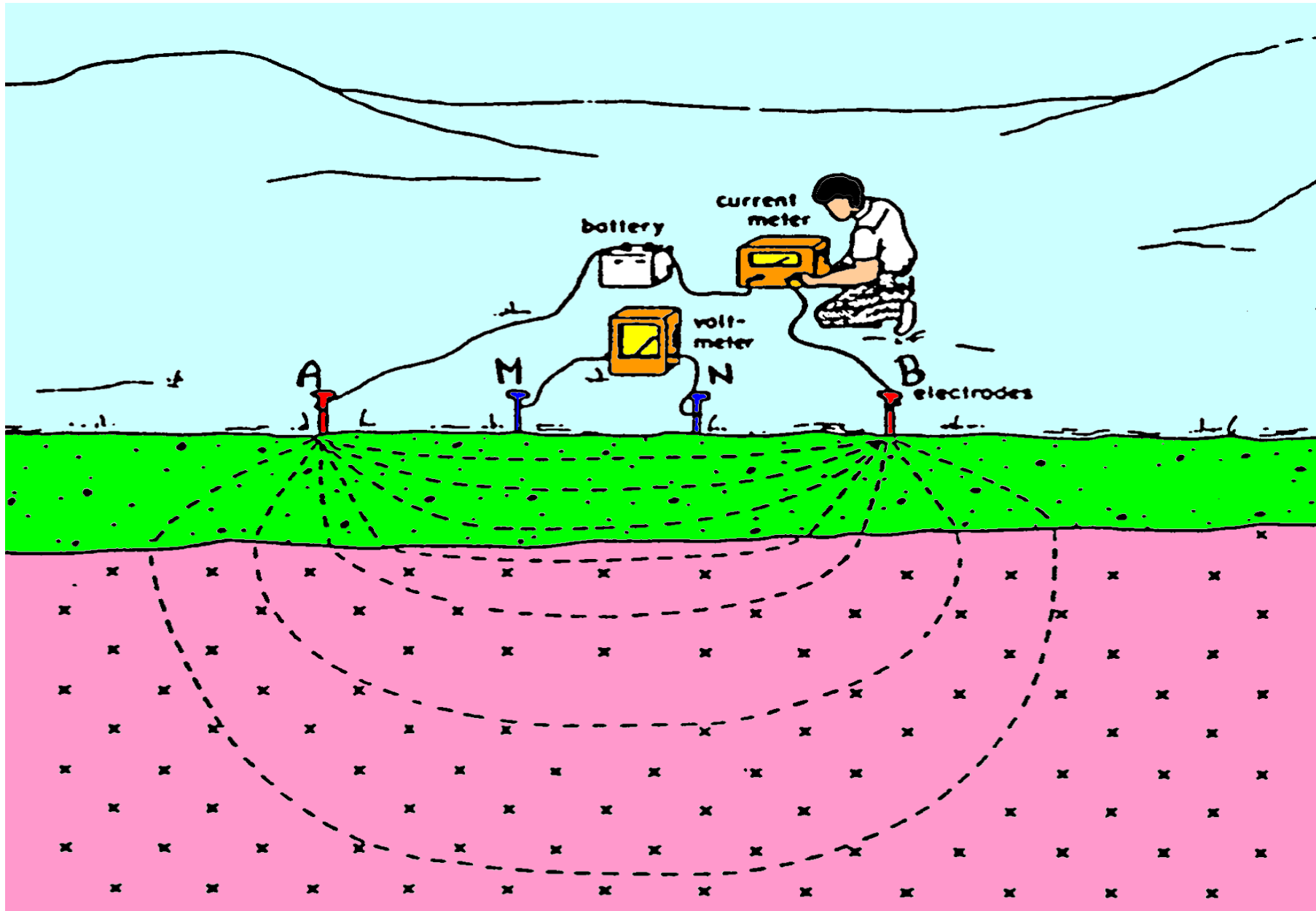


Section de sismique 2D



Cube de sismique 3D

Figures d'après Phillips Petroleum Co.



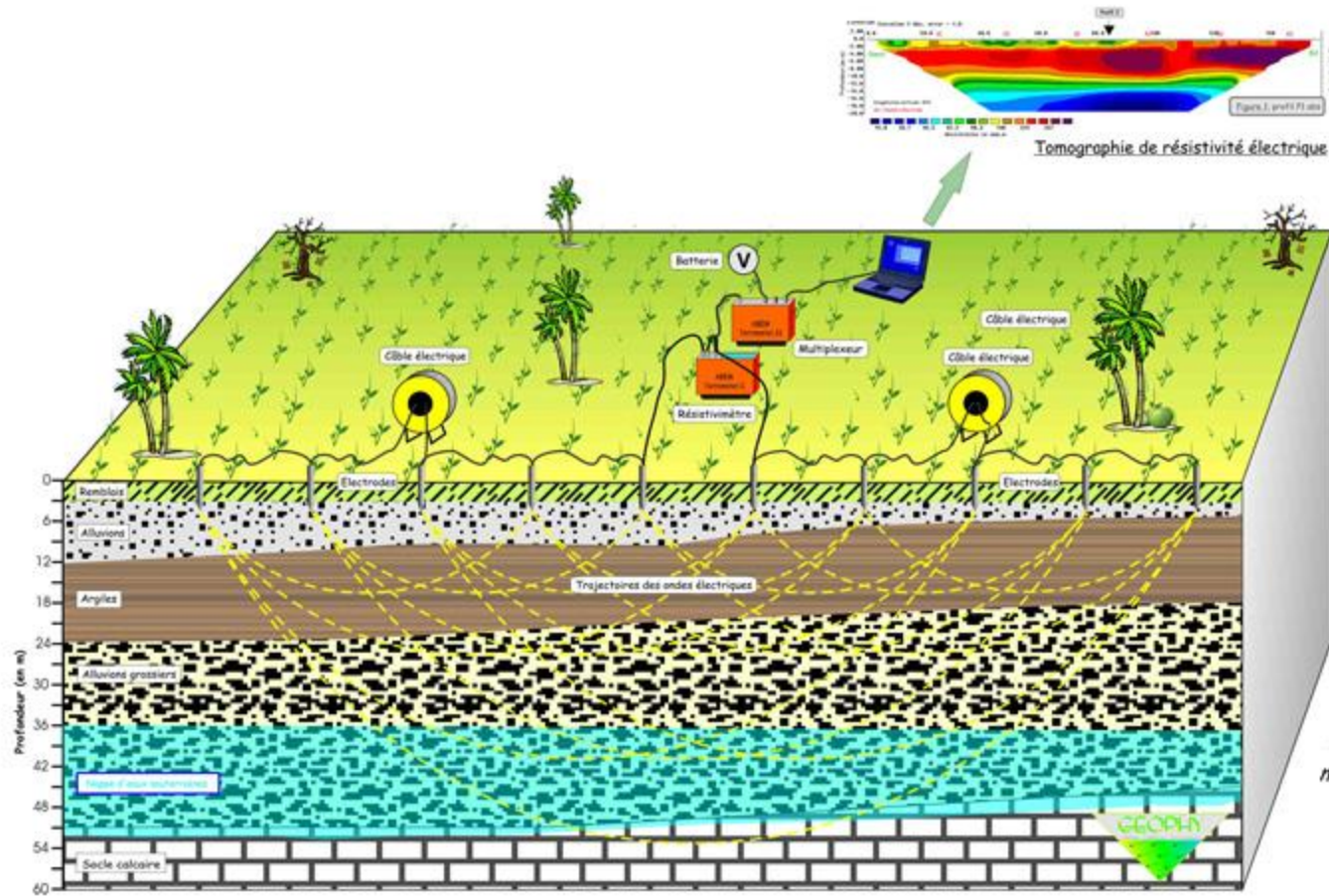


Schéma de principe d'acquisition des mesures de résistivité électrique et de chargeabilité.

RESISTIVITE ELECTRIQUE

La lithologie

Nature de la roche

Taux de fissuration

Degré de compactage

Porosité

La Teneur en eau

Degré de saturation

Salinité de l'eau

Capillarité

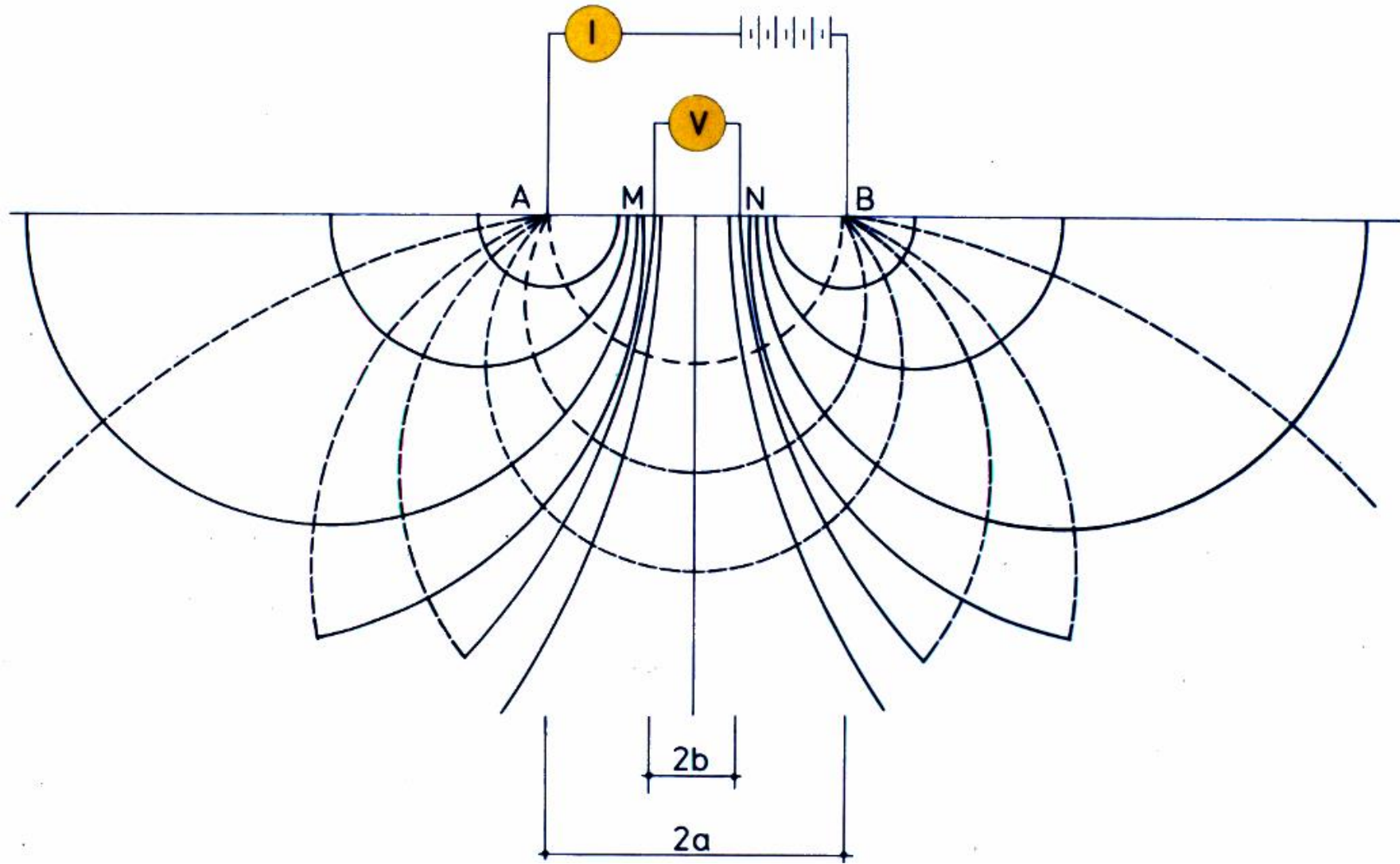
Degré d'étanchiété en surface

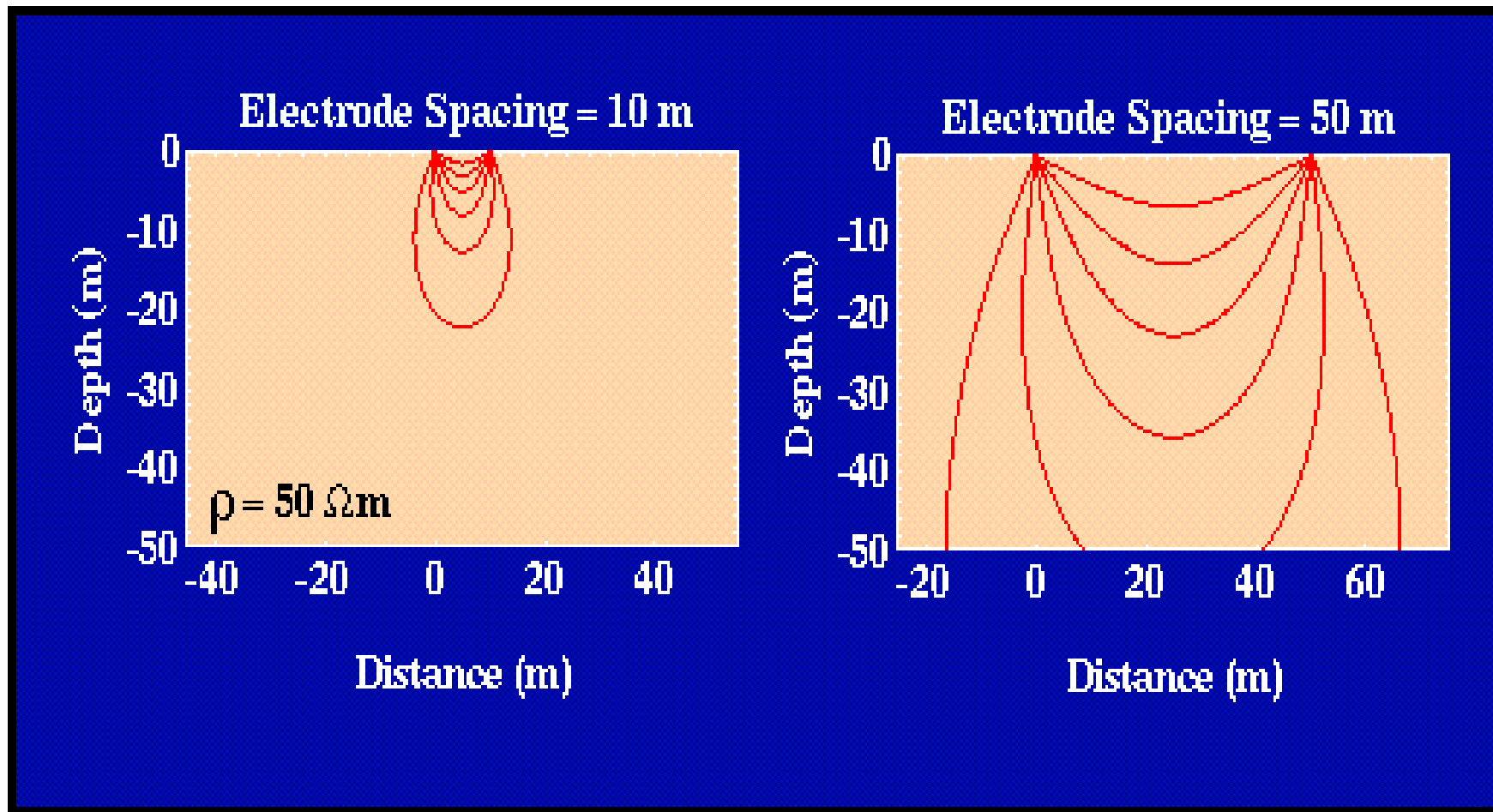
La Teneur en argile

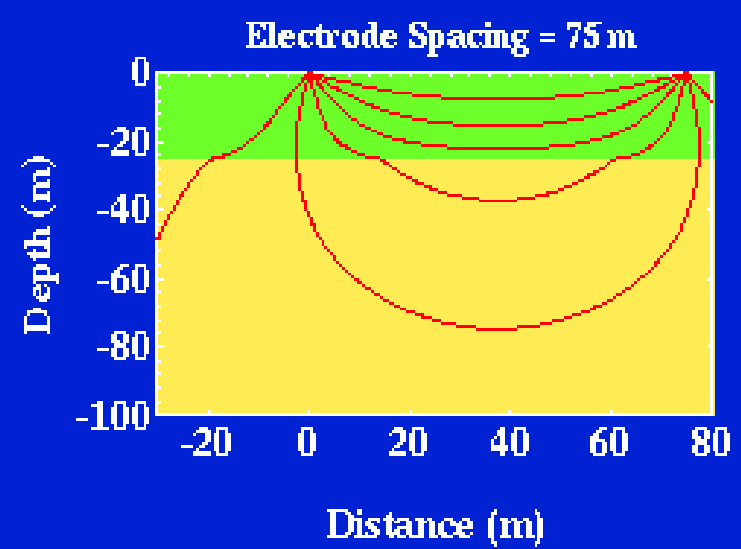
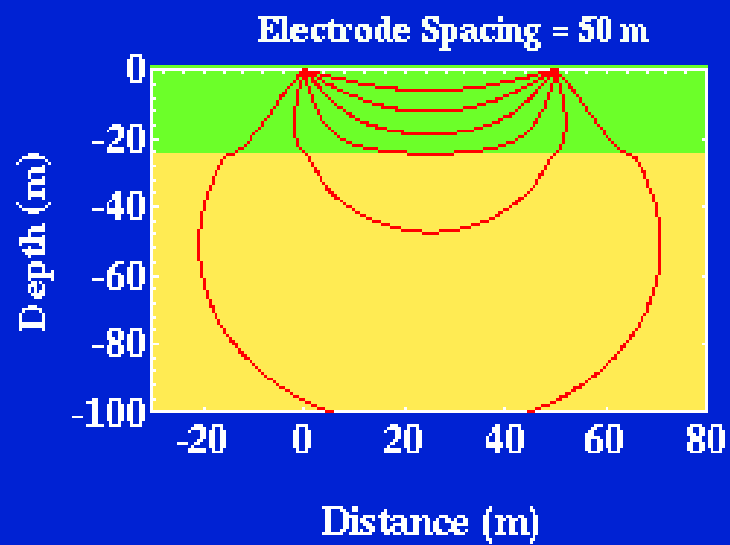
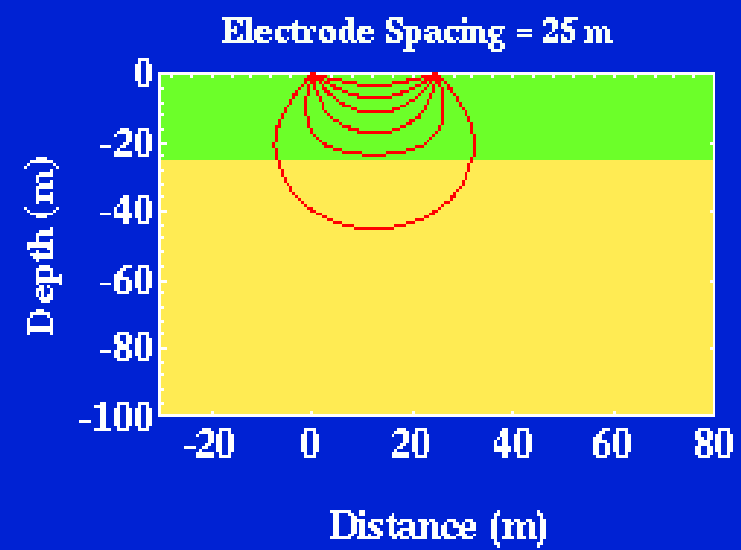
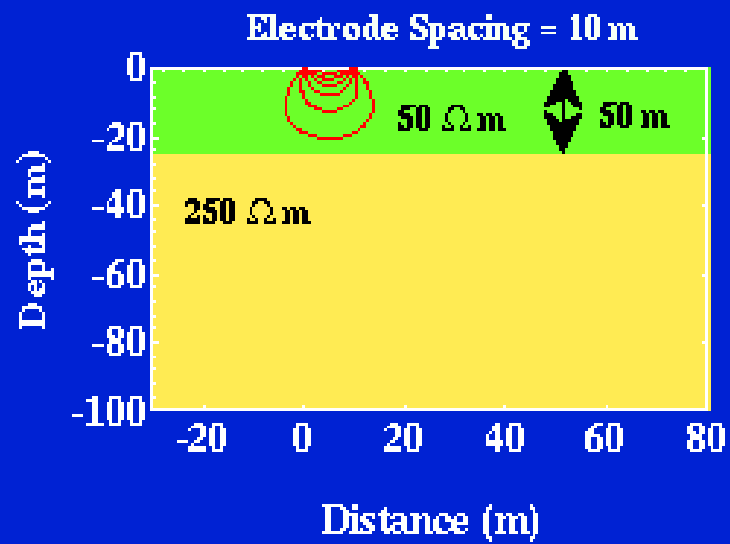
Les facteurs externes

Courants vagabonds

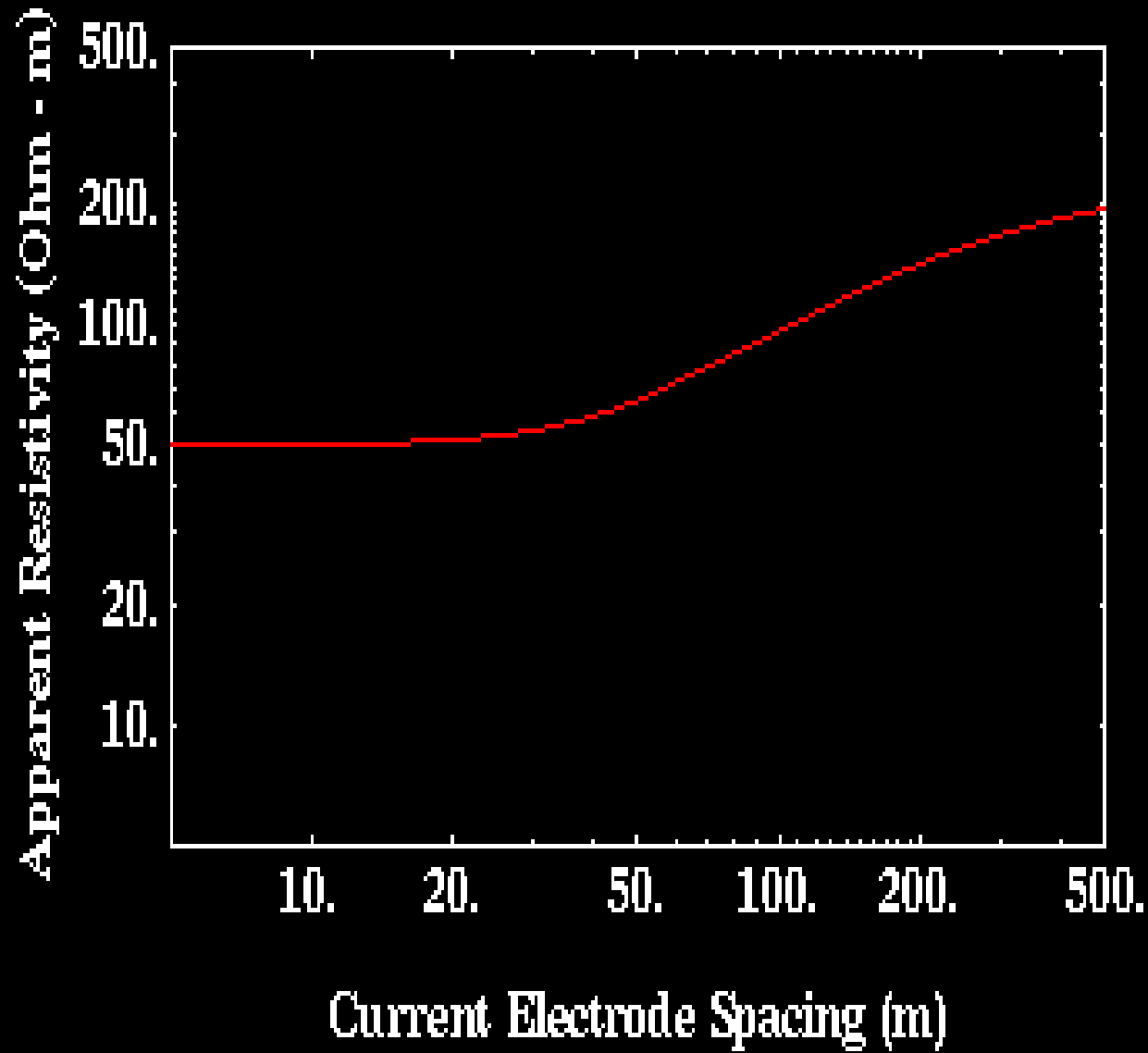
Phénomènes
électrochimiques

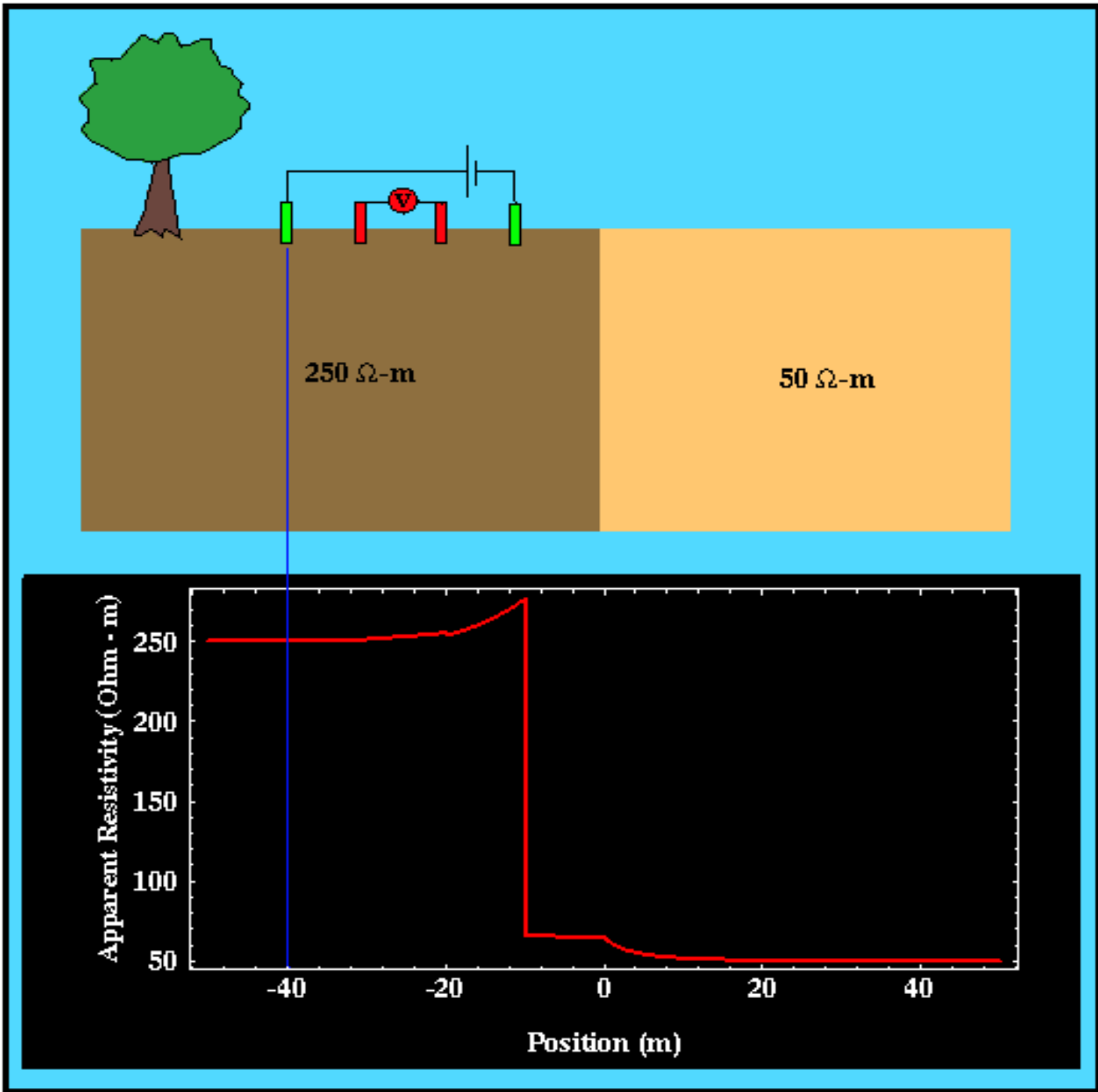


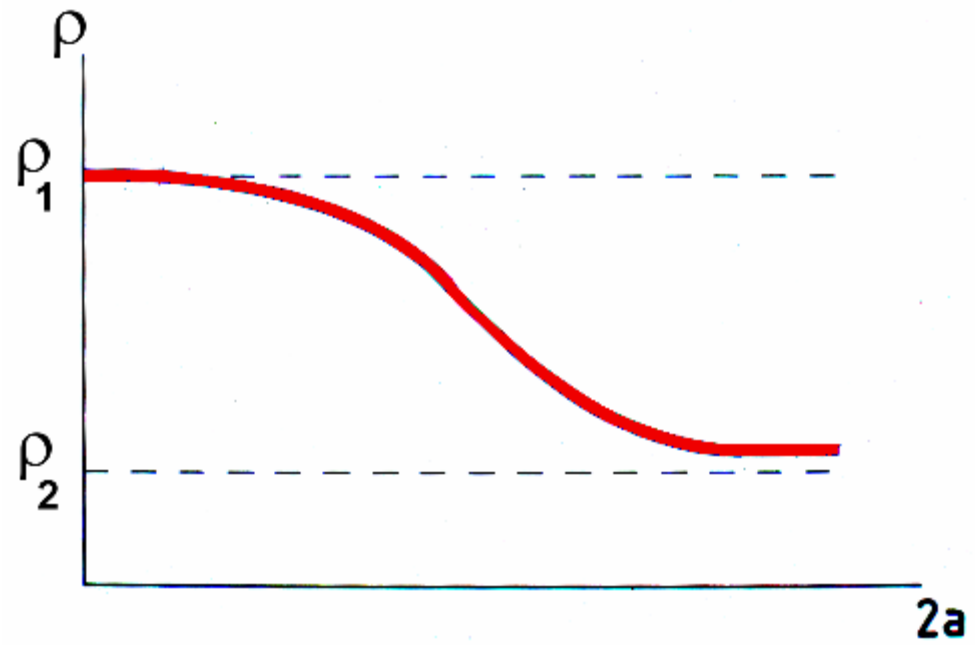
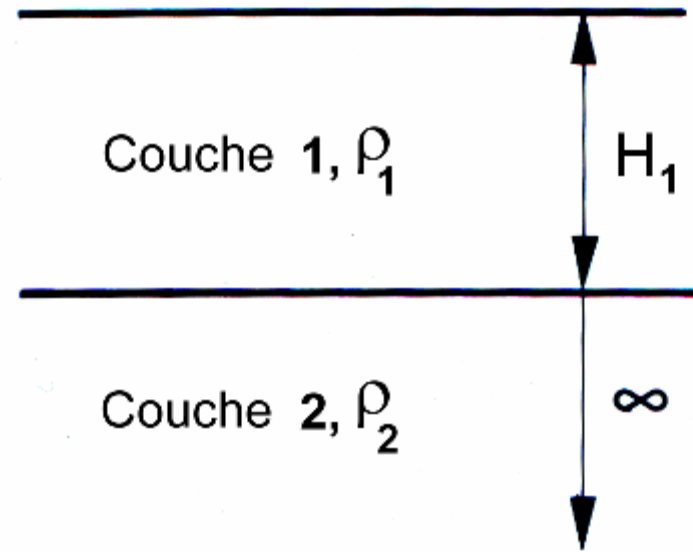


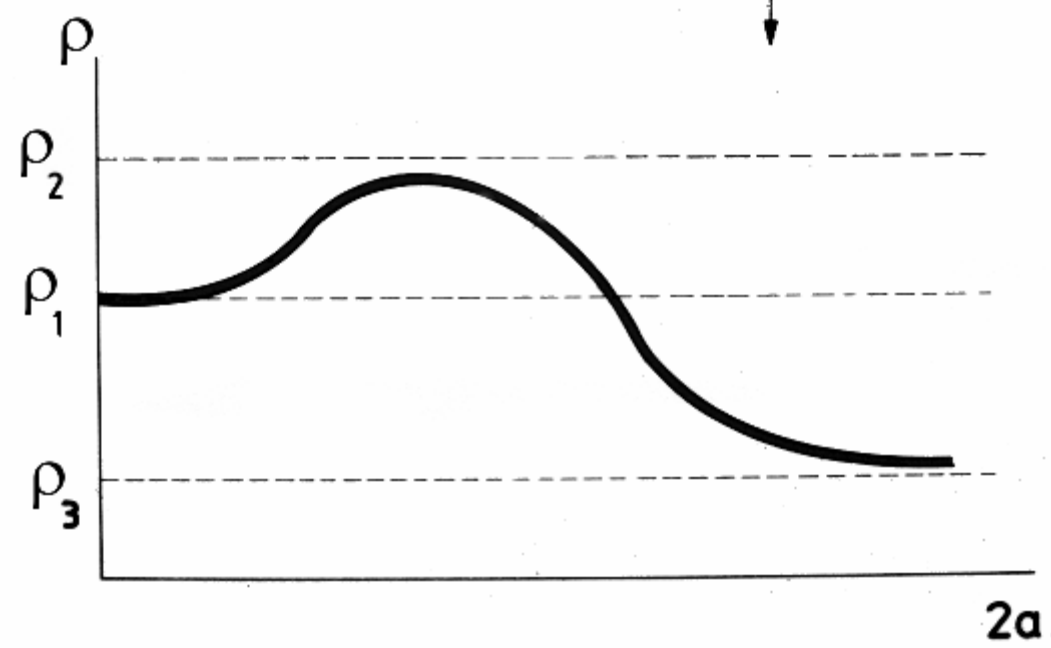
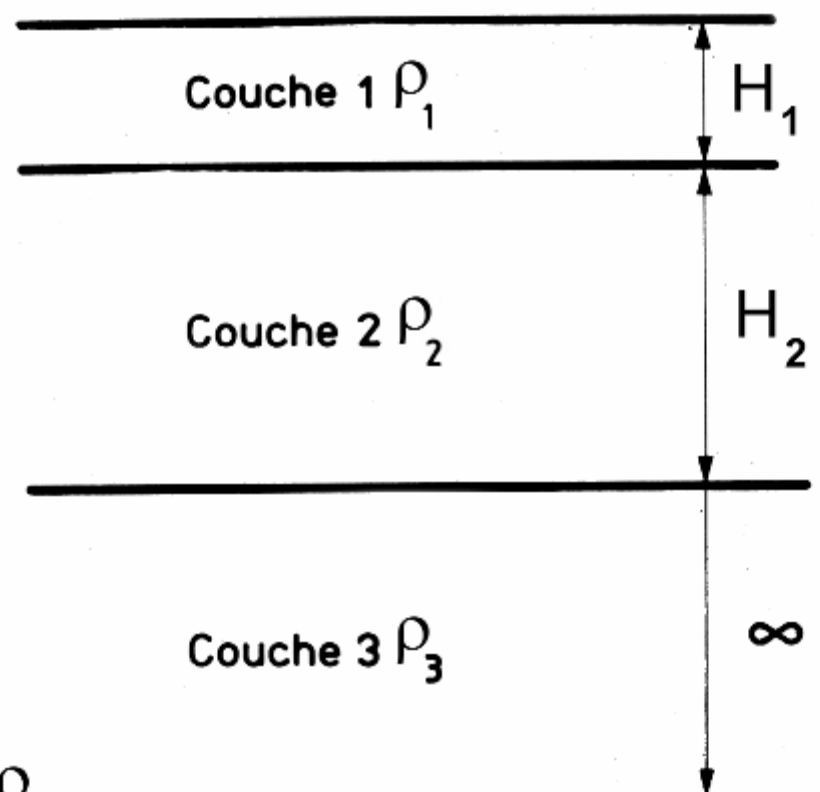


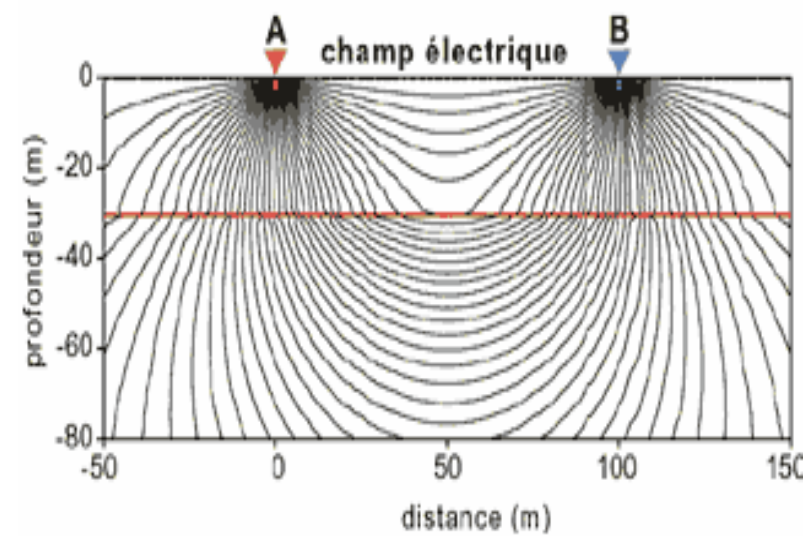
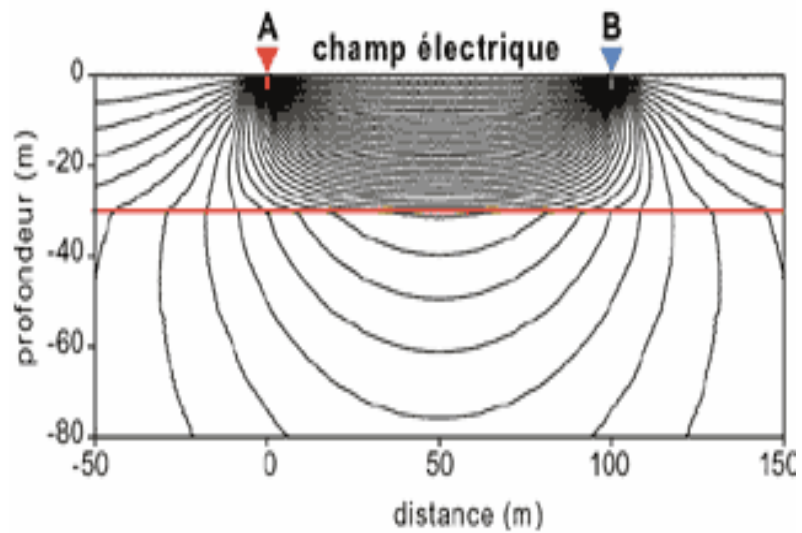
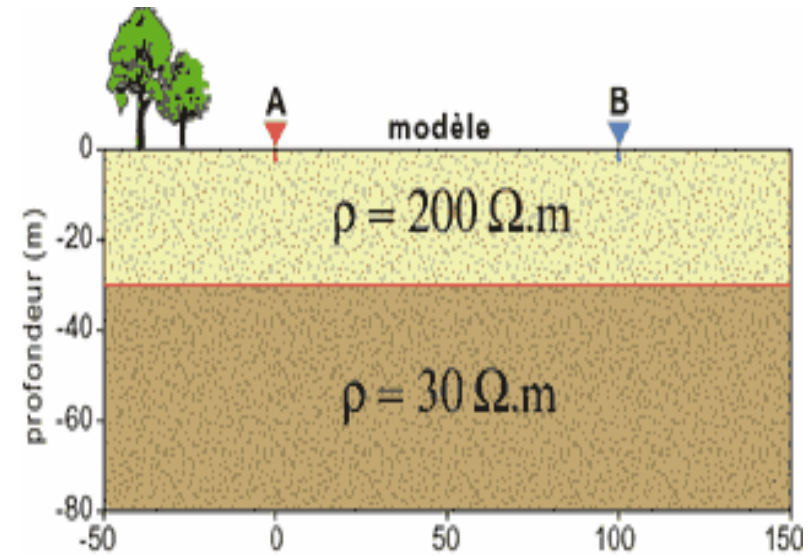
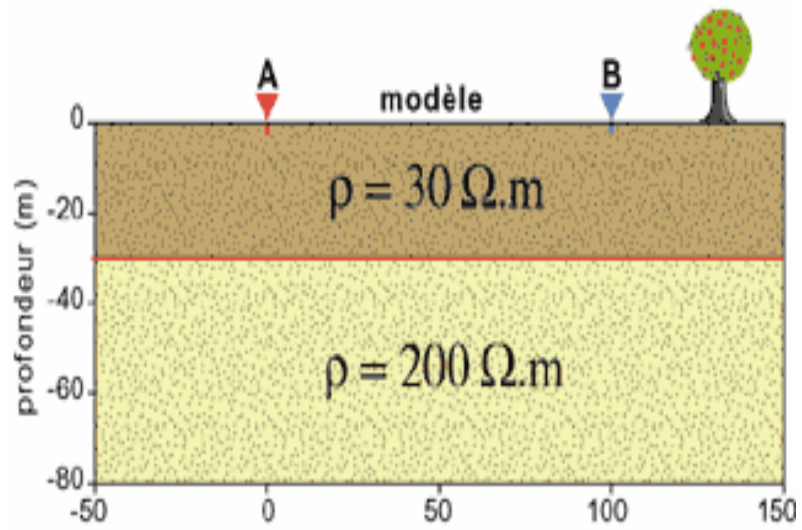
Low Resistivity Layer

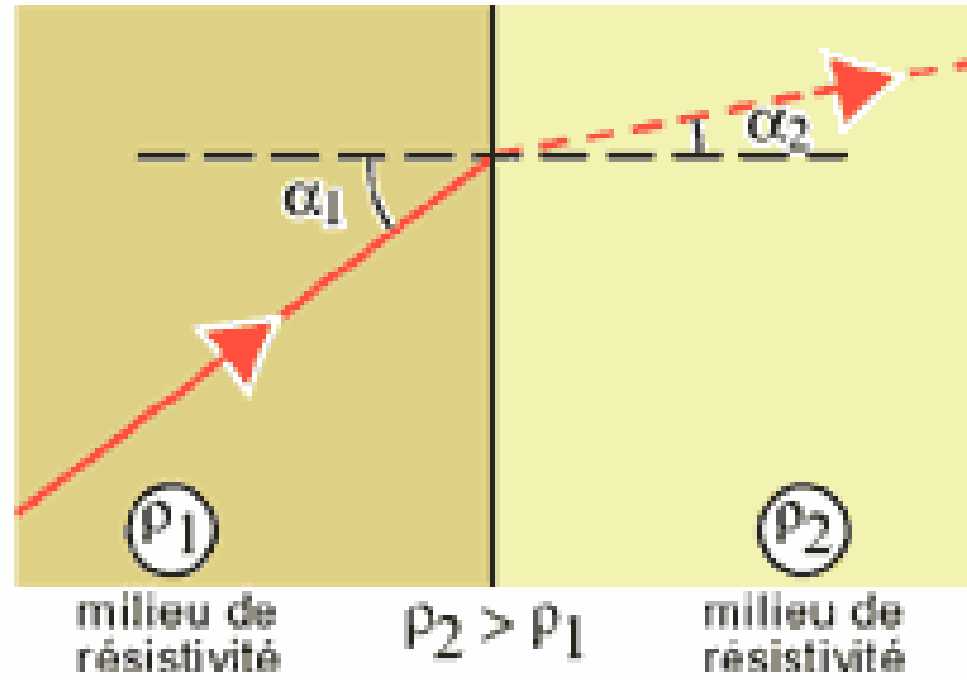






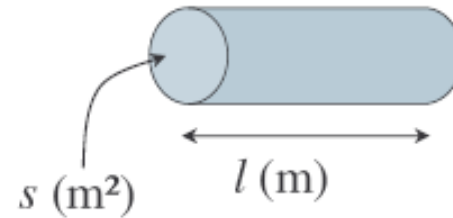






I.1 Rappel - Définitions

- 1. Loi d'Ohm: $U = R.I$
 - ✓ Avec : U différence de potentiel en V, R Résistance en Ω , et I intensité en A.
- 2. Résistivité électrique
 - ✓ La résistivité ρ d'un milieu est la propriété physique qui détermine la capacité de ce milieu à laisser passer le courant électrique
 - ✓ $R = \rho \frac{l}{s}$
 - ✓ Avec ρ la résistivité en $\Omega.m$
- 3. Conductivité: $\sigma = \frac{1}{\rho}$
 - ✓ Avec σ la conductivité en S/m



I.2 Loi d'Archie

- 1. Conduction électrolytique $\rho_r = \rho_w \cdot a \cdot \phi^{-m} \cdot S^{-n}$

- ✓ ρ_r la résistivité de la roche
- ✓ ρ_w la résistivité du fluide
- ✓ ϕ la porosité de la roche (en %)
- ✓ S le degré de saturation
- ✓ a , m et n des constantes

a	m	n
<i>Fct° de la lithologie</i>	<i>Fct° de la cimentation</i>	-
0.6 à 2 (~ ↑ si ϕ ↓)	1.3 à 2.2 (↑ avec cimentation)	~ 2

➤ Facteur de formation

$$F = a \cdot \phi^{-m} \Rightarrow \rho_r = \rho_w \cdot F \cdot S^{-n}$$

- ✓ Sables, grès $\rightarrow F = 0.62 \cdot \phi^{-2.15}$
- ✓ Roches bien cimentées $\rightarrow F = 1 \cdot \phi^{-2}$

I.3 Matériaux anisotropes



- Anisotropie des matériaux

- ✓ Propriétés des matériaux selon les différentes directions considérées

- ✓ Cas des terrains sédimentaires

- Conductivité transversale = perp. à la stratification (σ_t)

- Conductivité longitudinale = paral. à la stratification (σ_l)

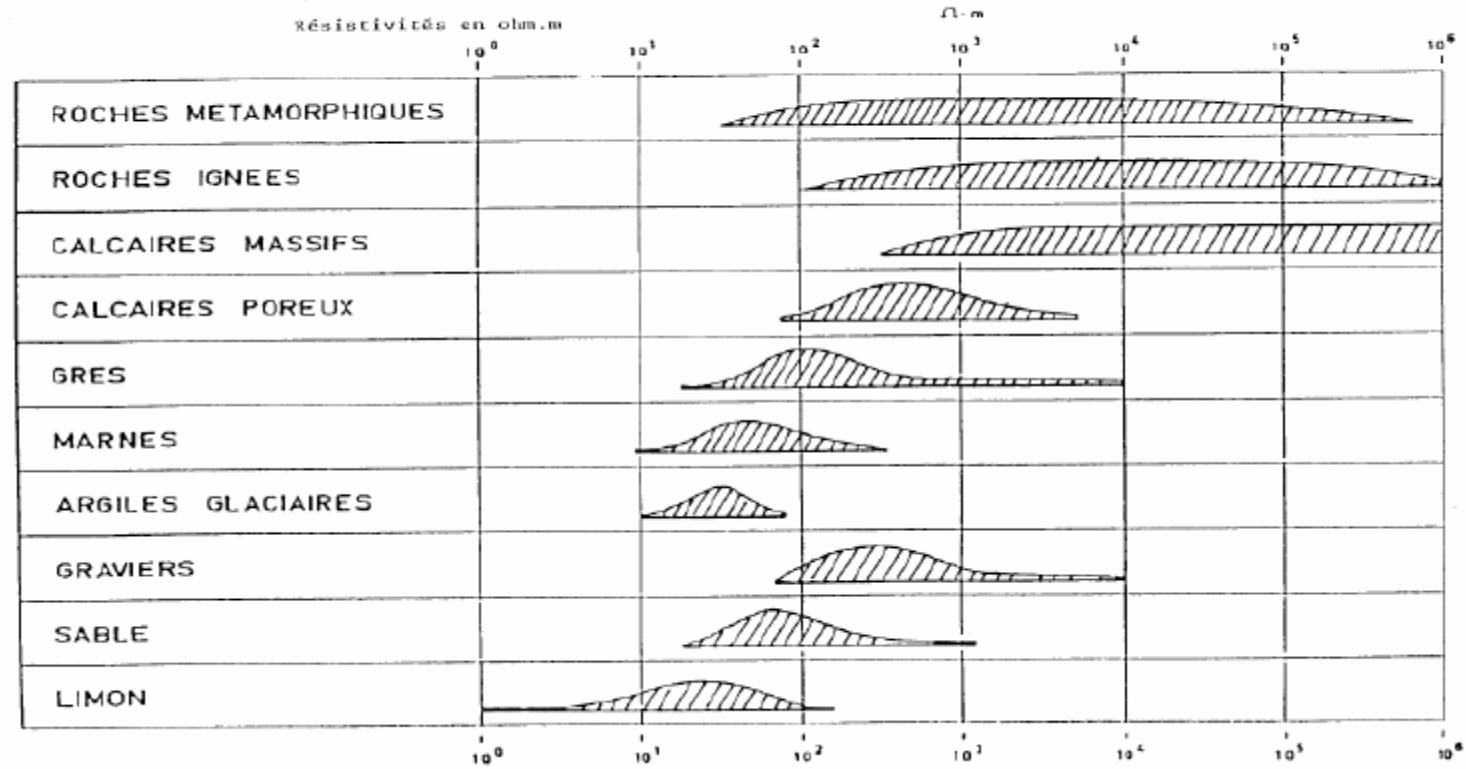
→ En général $\sigma_l > \sigma_t$

- ✓ Les grandeurs liées:

- Coefficient d'anisotropie: $A = \sqrt{\frac{\sigma_t}{\sigma_l}}$

- Conductivité moyenne: $\sigma = \sqrt{\sigma_t \cdot \sigma_l}$

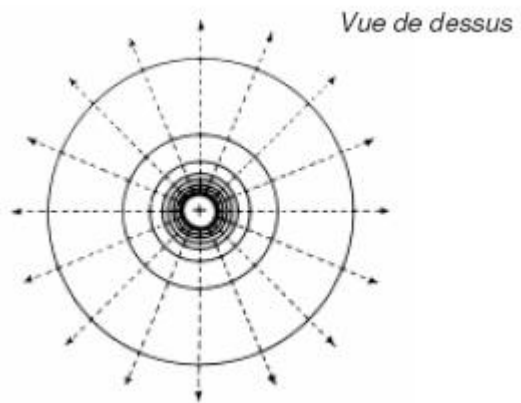
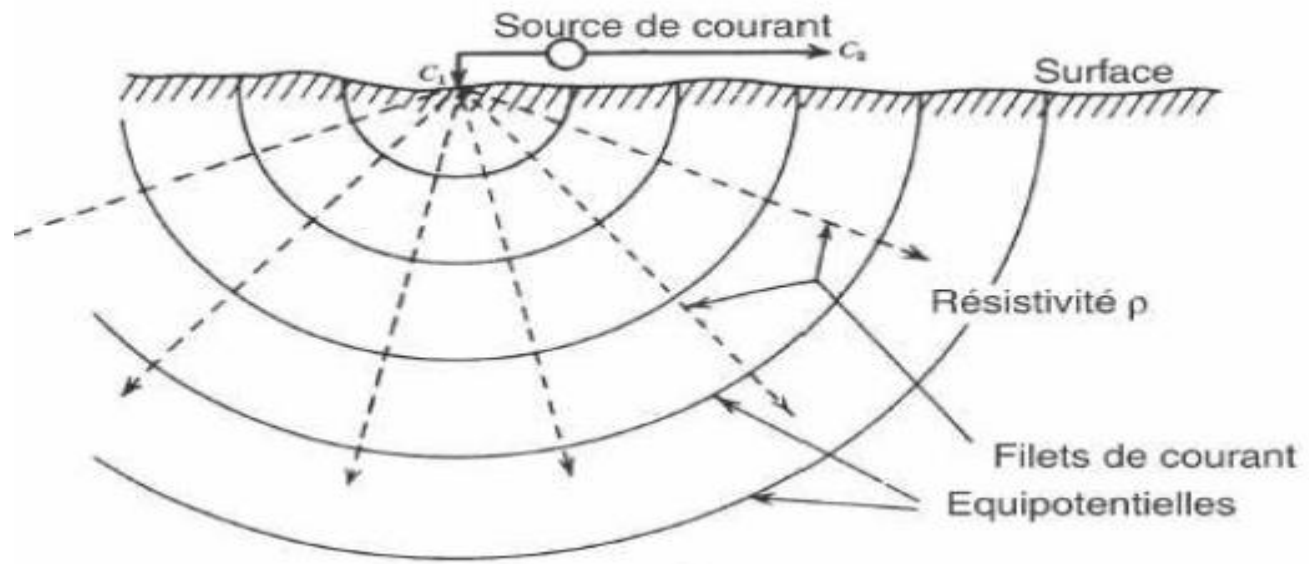
- Gamme des résistivités de matériaux naturels



- Gamme des résistivités de matériaux naturels

<i>Type de fluide</i>	<i>Résistivité ($\Omega.m$)</i>
Eau potable	12
Eau non potable	2.8
Eau du robinet	18
Eau de mer	0.2
Eau de pluie	30 → X1000 ^{er}
Fleuve Rhône	80
Fleuve Niger	100
Jus de décharge	5
Hydrocarbure	Infini

<i>Type de roche</i>	<i>Résistivité ($\Omega.m$)</i>
Alluvions - Sables	10 – 800
Grès	30 – 800
Argiles	1 – 100
Argilites	70 – 200
Marnes	3 – 100
Craies	30 – 300
Calcaires	200 – 10 000
Dolomites	200 – 10 000
Métaschistes	300 – 800
Gneiss	1000 – 20 000
Quartzites	1000 – 10 000
Granites	1000 – 15000
Gabbro	6000 – 10 000
Basalte	800 – 15 000
Tufs volcaniques	20 - 300

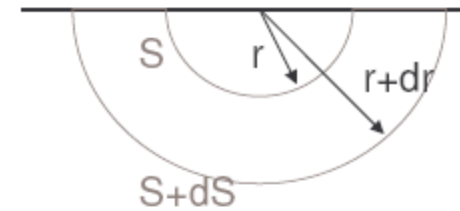


- 2. Détermination du potentiel sur site

- ✓ Milieu semi infini, isotrope, homogène

- ✓ La chute de potentiel engendrée par le passage du courant dans le tronc de cône délimité par les deux $\frac{1}{2}$ sphères:

$$dV = \rho I \frac{dl}{dS}$$



⇒ Pour toute la $\frac{1}{2}$ sphère:
$$dV = -\frac{\rho I}{2\pi \cdot r^2} \cdot dr$$

⇒ En intégrant sur le rayon r:
$$V = \frac{\rho I}{2\pi \cdot r} + Cste$$

- 3. Principe de superposition

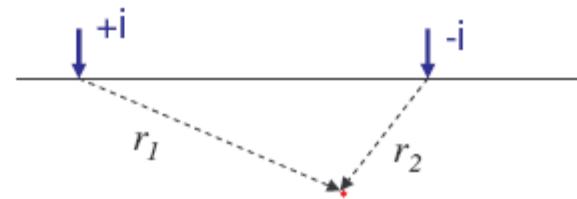
- ✓ Dans le cas de plusieurs injections simultanées:

Le potentiel mesuré en un point peut être considéré comme la somme de chacun des potentiels dus à chaque injection.

En d'autres termes on va additionner les effets de chacune des injections de courant pour déterminer le potentiel en chaque point du sol.

- ✓ En pratique on injecte le courant par deux électrodes (+I et -I).
Ainsi le potentiel en un point sera :

$$V = \frac{\rho I}{2\pi} \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

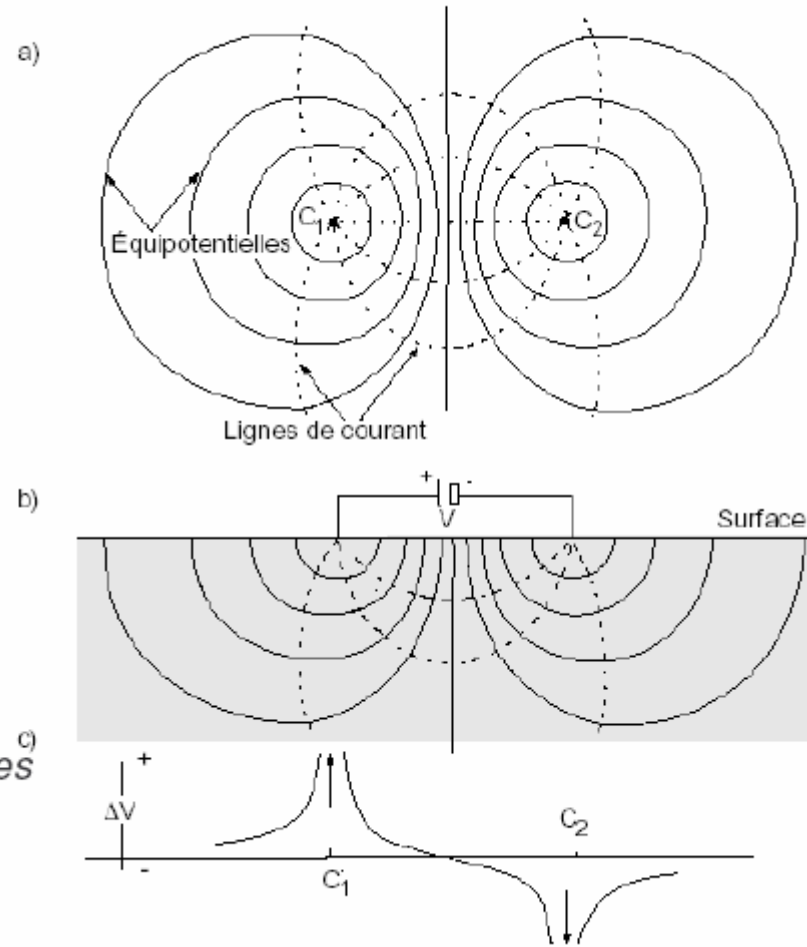


- 4. Variation du potentiel dans le sol

On observe que l'essentiel de la variation de potentiel est située au voisinage immédiat des électrodes.

Cela signifie que l'essentiel de la résistance du terrain provient du voisinage des électrodes A et B.

=> d'où l'intérêt de travailler avec des dispositifs 4 électrodes (2 électrodes de mesures distinctes des électrodes d'injection) pour limiter les effets de contact sur les résultats mesurés



- 5. Principe de réciprocité

- ✓ Le potentiel créé en M par un courant injecté en A est égal à celui mesuré en A si on injecte le courant en M

En pratique, lorsqu'on travaille avec des dispositifs à 4 électrodes
Le courant est injecté entre A et B,
et on mesure la différence de potentiel entre M et N.

- ✓ Les principes de superposition et de réciprocité indiquent qu'en injectant le courant entre M et N on mesure entre A et B la même différence de potentiel que le cas de référence.

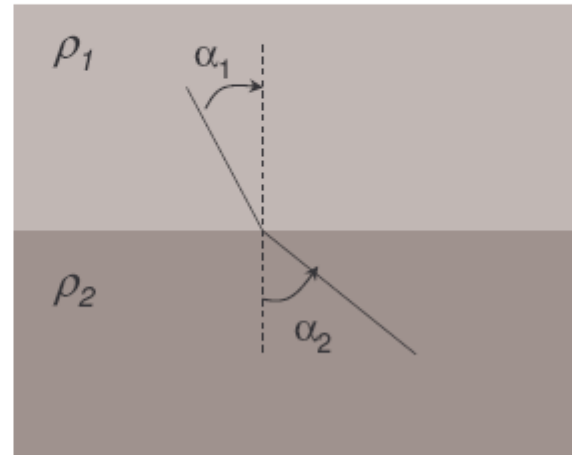


- 3. Réfraction aux interfaces

- ✓ Au passage d'une interface les lignes de courant sont réfractées

- ✓ Loi des tangentes:

$$\rho_1 \cdot \tan(\alpha_1) = \rho_2 \cdot \tan(\alpha_2)$$



II.3 Les méthodes des résistivités

- 1. Principe

- ✓ Injection d'un courant électrique entre deux électrodes
- ✓ Mesure de la DDP entre deux autres électrodes

- ✓ Différentes géométries (configurations)

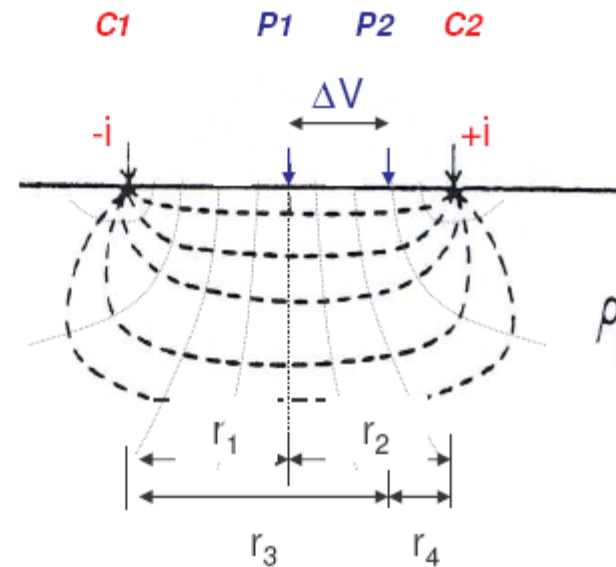
- 2. Le facteur géométrique : k

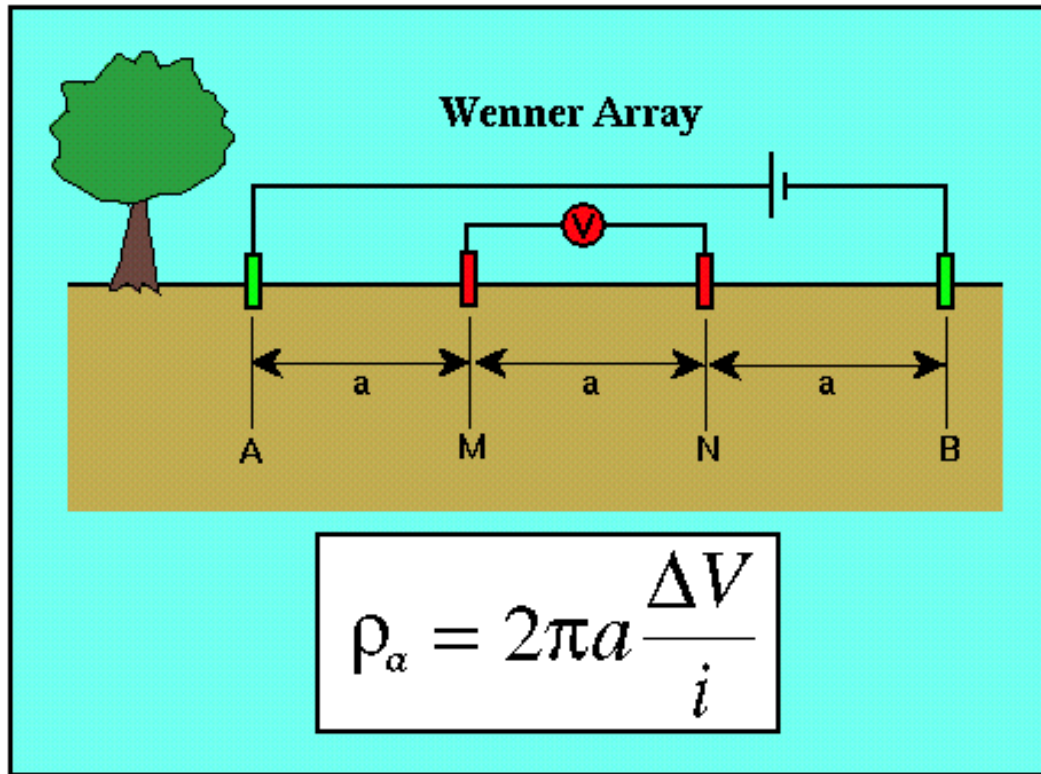
Dimension d'une longueur

$$k = \frac{2 \cdot \pi}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right)}$$

- ✓ La résistivité apparente est alors:

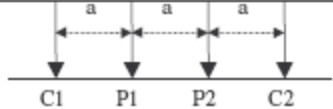
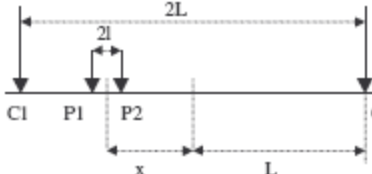
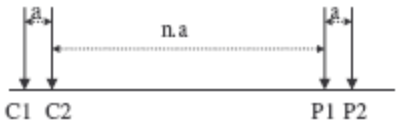
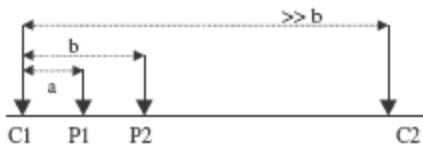
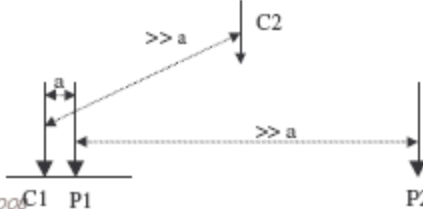
$$\rho_a = k \cdot \frac{\Delta V}{I}$$





II.4 Les méthodes des résistivités

- 3. Les dispositifs

Configurations	Fact. Géom. (k)	Prof. D'invest.	Remarques - commentaires
Wenner 	$2 \cdot \pi \cdot a$	0.11 x 3a	Dispositif classique de trainé Sensible aux structures horizontales et verticales.
Schlumberger 	$\frac{\pi \cdot (L^2 - l^2)}{2 \cdot l}$	0.125 x 2L	Dispositif pour le SEV (en pratique classiquement x=0, et on doit vérifier que L > 5.l)
Dipôle dipôle 	$\pi \cdot an(n+1)(n+2)$	0.195 x (n+2)a	Bonne résolution, 'faible' profondeur d'investigation, sensible aux bruits de mesure
Pôle-dipôle 	$\frac{2 \cdot \pi \cdot ab}{b - a}$		Intermédiaire aux pôle-pôle et dipôle-dipôle
Pôle-pôle 	$2 \cdot \pi \cdot a$	0.35 x a	Résolution 'moyenne', bonne profondeur d'investigation.

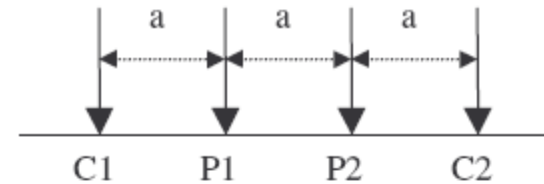
III. Trainé électrique

« Exploration horizontale »

- Prospection à profondeur constante (*)

- Dispositif Wenner

- ✓ Prof. d'invest # 0.125 largeur du dipôle d'injection



- Taille dispo / pas de mesure

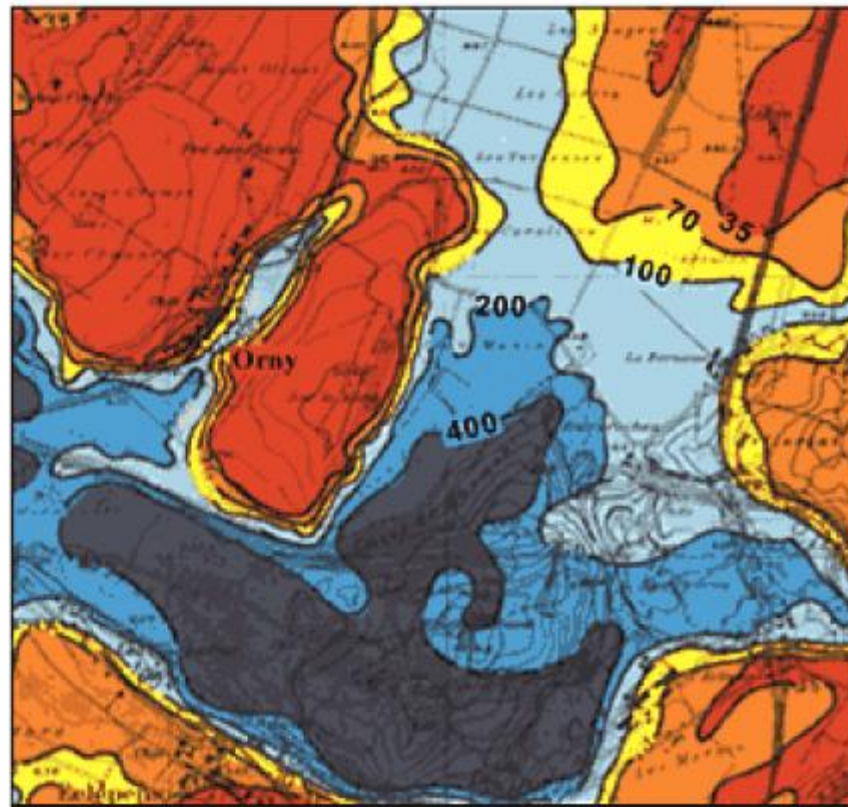
- Résolution / vitesse

- Variations latérales de résistivités apparentes

- ✓ Interfaces des formations, variations des épaisseurs, ...

CARTE DES ÉQUIRÉSISTIVITÉS ÉLECTRIQUES APPARENTES

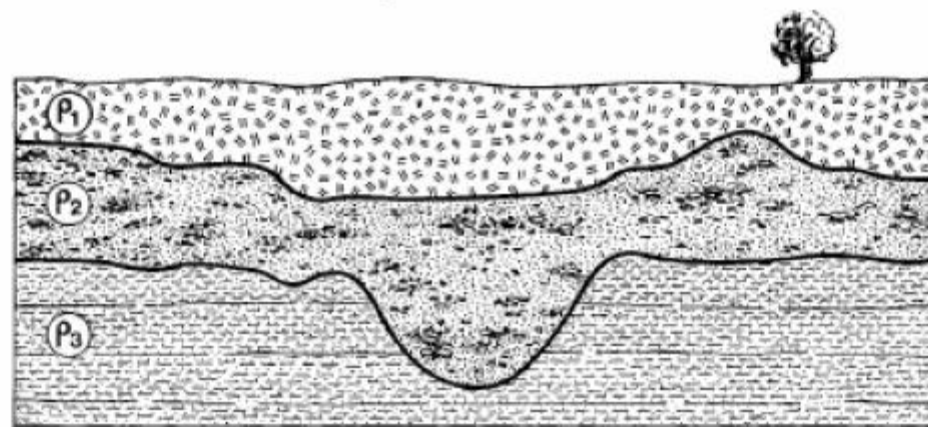
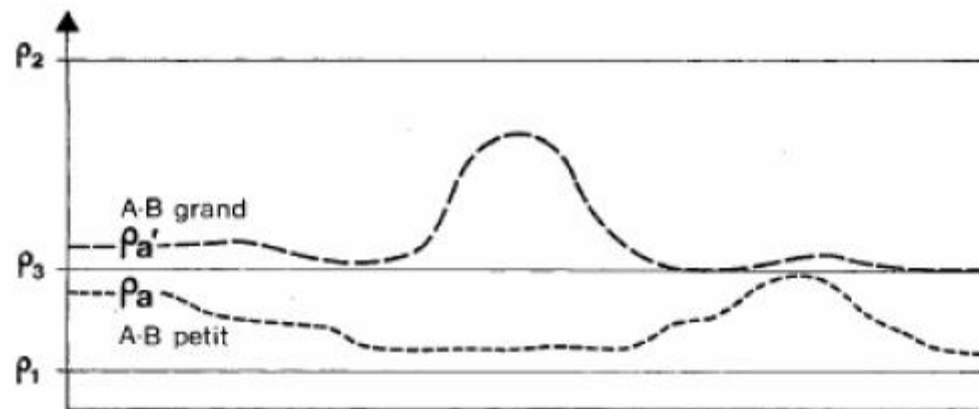
TRAINÉ A-B = 100m

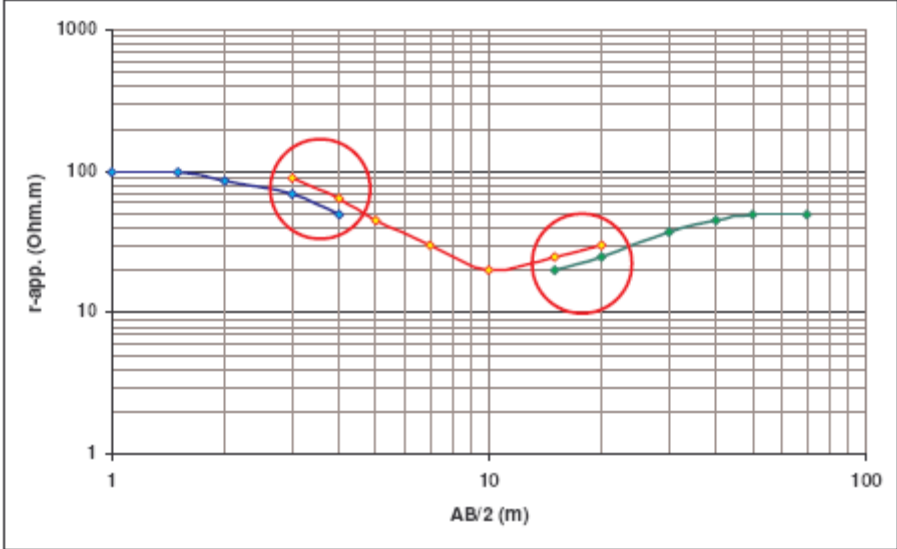


En ohms-m

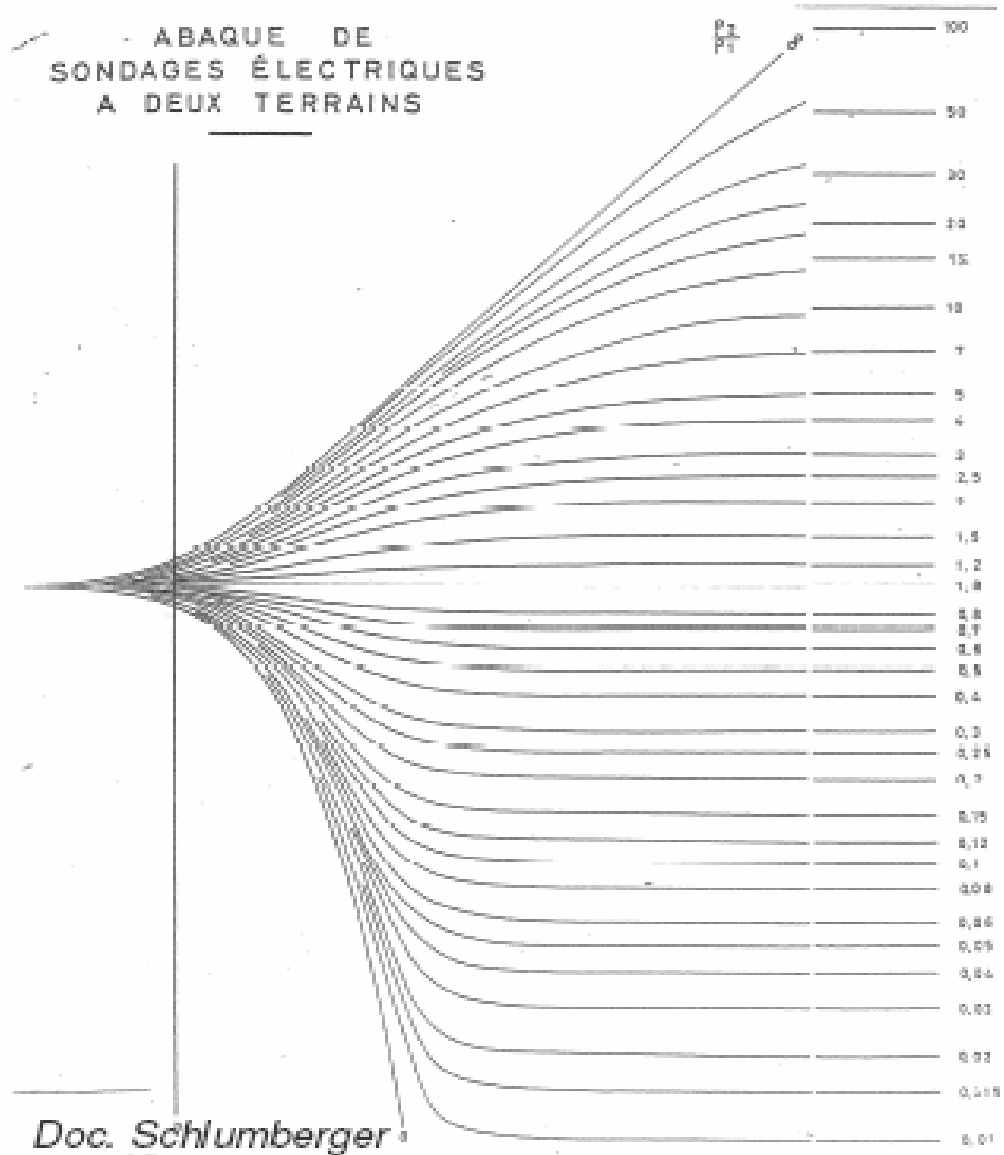
-  Moins de 35
-  De 35 à 70
-  De 70 à 100
-  De 100 à 200
-  De 200 à 400
-  Plus de 400

1 km





ABAQUE DE
SONDAGES ÉLECTRIQUES
A DEUX TERRAINS

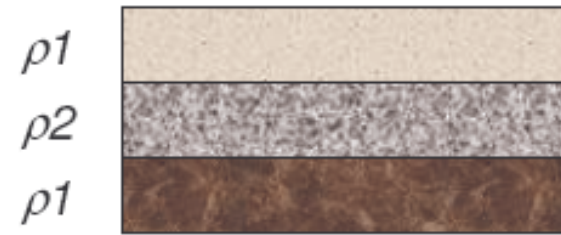


- Principe de suppression

- Concerne les couches dont les résistivités sont intermédiaires au niveaux encaissants



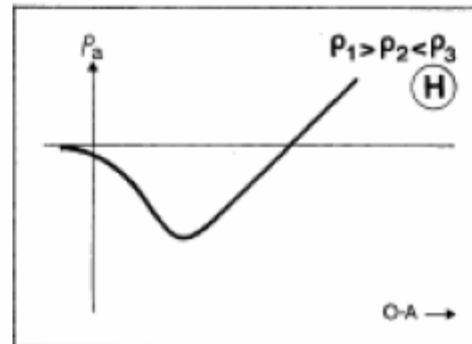
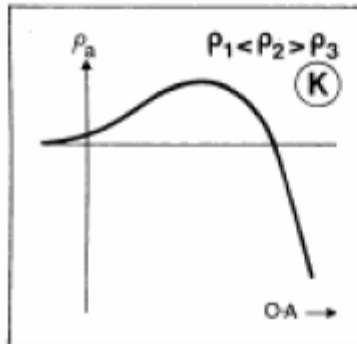
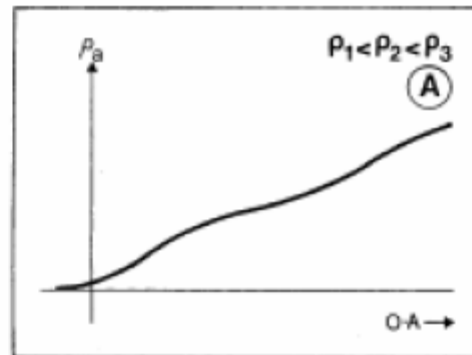
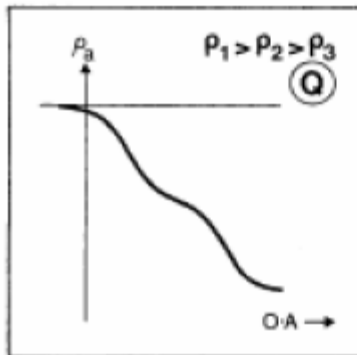
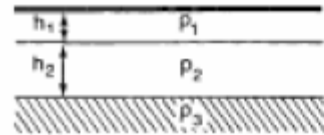
$$\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$$



$$\rho_3 > \rho_2 > \rho_1$$

- La couche intermédiaire n'a pratiquement pas d'importance tant que son épaisseur n'est pas très importante
- C'est le cas :
 - ✓ Alluvions sèches – Alluvions saturée – substrat argileux
=> Difficulté pour déterminer la position de la nappe
 - ✓ Limons – sables et graviers – substrat calcaire
=> Difficulté pour déterminer la profondeur du substrat

- Terrains à 3 couches



- Type Q : décroissante par palier (escalier descendant)
- Type A : croissante par palier (escalier montant)
- Type K : résistant entre deux conducteurs (en cloche)
- Type H conducteur entre deux résistants (en fond de bateau)

- Principe d'équivalence

- Résistant entre conducteurs

Le résistante se manifeste essentiellement par sa résistance transversale (R_T ou T)

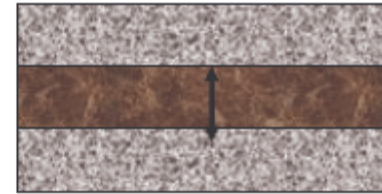
$$R_T = h \cdot \rho = h / \sigma \quad \text{en Ohm.m}^2$$

Tous les couples $h\rho$ ont un effet comparables sur le calcul direct tant que R_T reste constant
(sous réserve de conserver les résistivités électriques bien contrastées)

ρ_1

ρ_2

ρ_1



$\rho_2 > \rho_1$ et ρ_3

- Conducteur entre résistants

Le conducteur se manifeste essentiellement par sa conductance longitudinale (C_L ou S)

$$C_L = h / \rho = h \cdot \sigma \quad \text{en S}$$

Tous les couples $h\rho$ ont un effet comparables sur le calcul direct tant que C_L reste constant
(sous réserve de conserver les résistivités électriques bien contrastées)

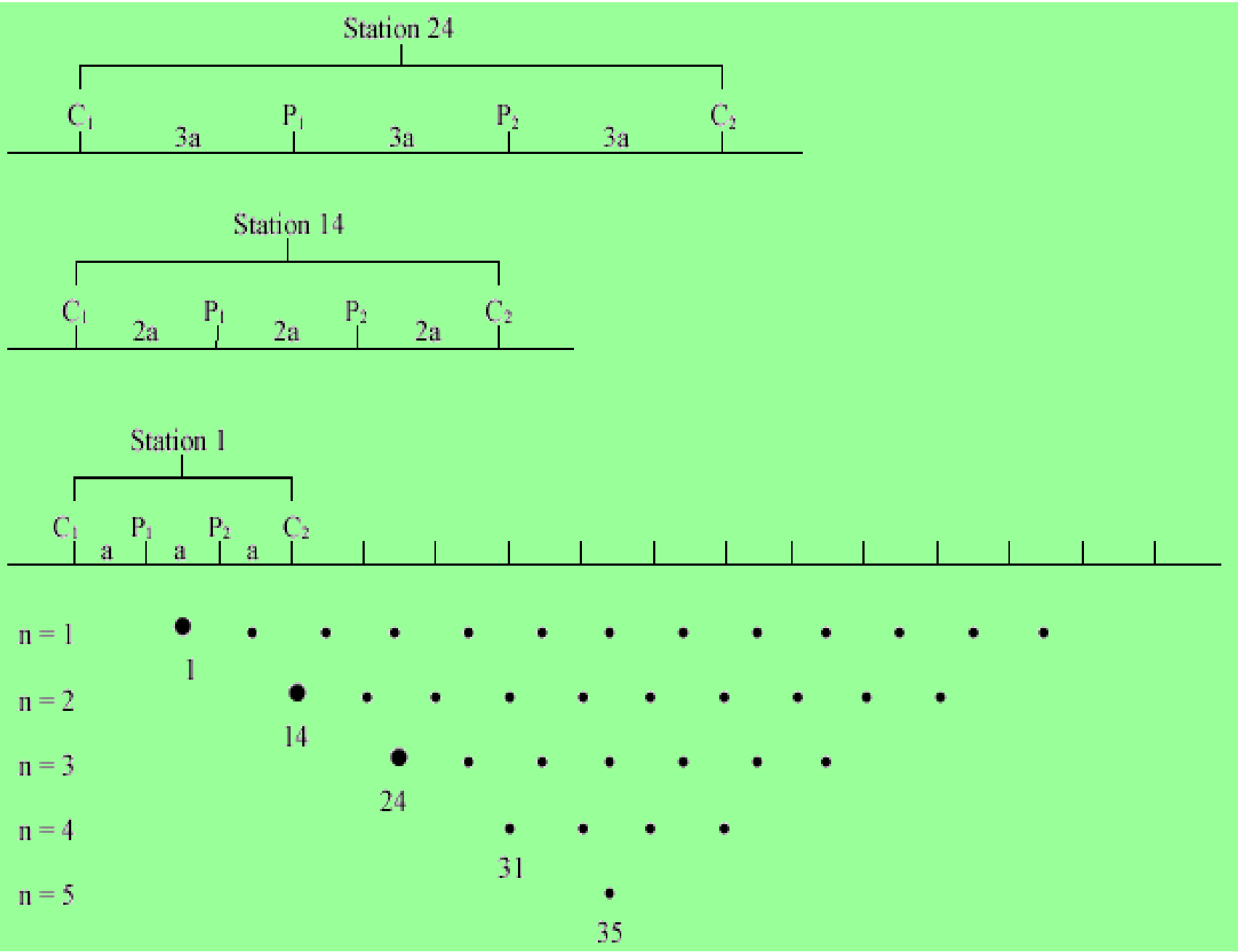
ρ_1

ρ_2

ρ_1



$\rho_2 < \rho_1$ et ρ_3



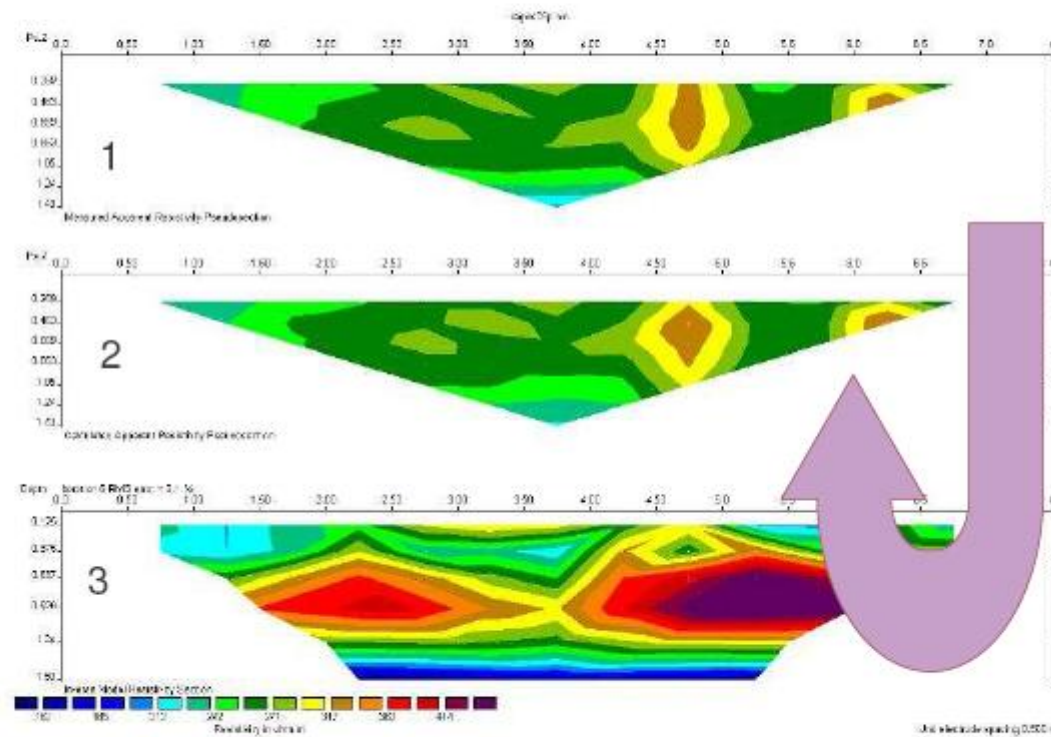
V.4 T.R.E.

- INVERSION

Pseudo-section (1):
Résistivité mesurée =
Résistivité apparente
($\rho_a = f(z_{\text{estimate}})$)

Pseudo-section (2):
résistivité calculée (ρ_a
calculée) et comparée aux
résistivités mesurées (ρ_a) RMS

**Inversion des pseudo
sections (3)**
= fournir un **modèle de
résistivité** (ρ_{vrai}) de terrain
réaliste en terme de géométrie des
formations en comparant ρ_a
mesurée et ρ_a calculée



VI. CONCLUSION

Les techniques de mesure des résistivités électriques

- Adaptées à la description de la géologie
 - Gamme des résistivités étendue qui permet de discriminer les matériaux
- Sensible aux paramètres porosité, saturation, nature des roches
- Pas cher et rapide
- ATTENTION
 - interprétation non Univoque !!
 - difficulté de passer de l'interprétation physique (résistivité) à l'interprétation géol.