

# **L'EAU SOUTERRAINE**

**cette inconnue ...**

**Réalisation : Gilles BRESSON, Hydrogéologue**

**Eau si mystérieuse pour  
l'homme qu'elle reste et  
restera pour lui l'objet de bien  
des légendes...**

**et surtout des fausses idées reçues...**

**La recherche et à l'exploitation  
des eaux souterraines**

**Une science :**

**L'HYDROGEOLOGIE**

# Un génial précurseur

## L'abbé Jean-Baptiste PARAMELLE

1790 - 1875

Dans son ouvrage « *L'ART de découvrir les sources* » paru en 1856, il décrit en détail les recherches qu'il effectua pendant 25 ans dans les terrains sédimentaires de 40 départements en utilisant l'observation pour localiser des captages d'eau souterraine.



Cet « Hydroscope » est considéré comme le fondateur de l'hydrogéologie moderne

**Elle associe en fait deux autres sciences :**

- L'HYDRAULIQUE ou mécanique des fluides**
- La GEOLOGIE ou science de la Terre**

**En fait, la recherche et l'exploitation des eaux souterraines nécessitent la connaissance d'autres disciplines scientifiques et techniques telles que :**

**- L'hydrologie et la climatologie**

**-La géophysique**

**- L'hydrochimie**

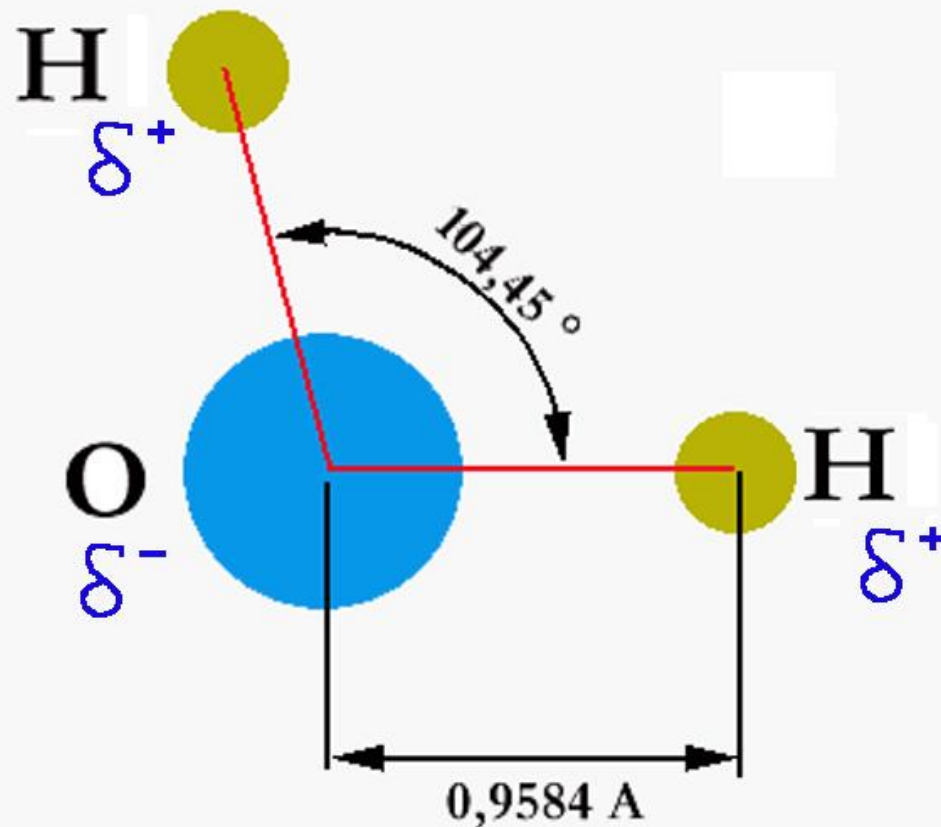
**- Les techniques de forage**

**L'eau :**

**un liquide hors normes !**

# La molécule d'eau

La molécule d'eau



Elle agit comme un dipôle électrique



# L'eau pure, un mélange de 18 corps avec la combinaison dans la molécule de 3 isotopes de l'hydrogène

$^1\text{H}$  = le protium, le plus répandu avec 99,98 %

$^2\text{H}$  = le deutérium, entre 0,026 et 0,0184 %

$^3\text{H}$  = tritium, isotope radioactif teneur très faible variable

## avec 3 isotopes de l'oxygène

$^{16}\text{O}$  = le plus répandu avec 99,762 %

$^{17}\text{O}$  = isotope stable, avec 0,038%

$^{18}\text{O}$  = isotope stable, avec 0,2%

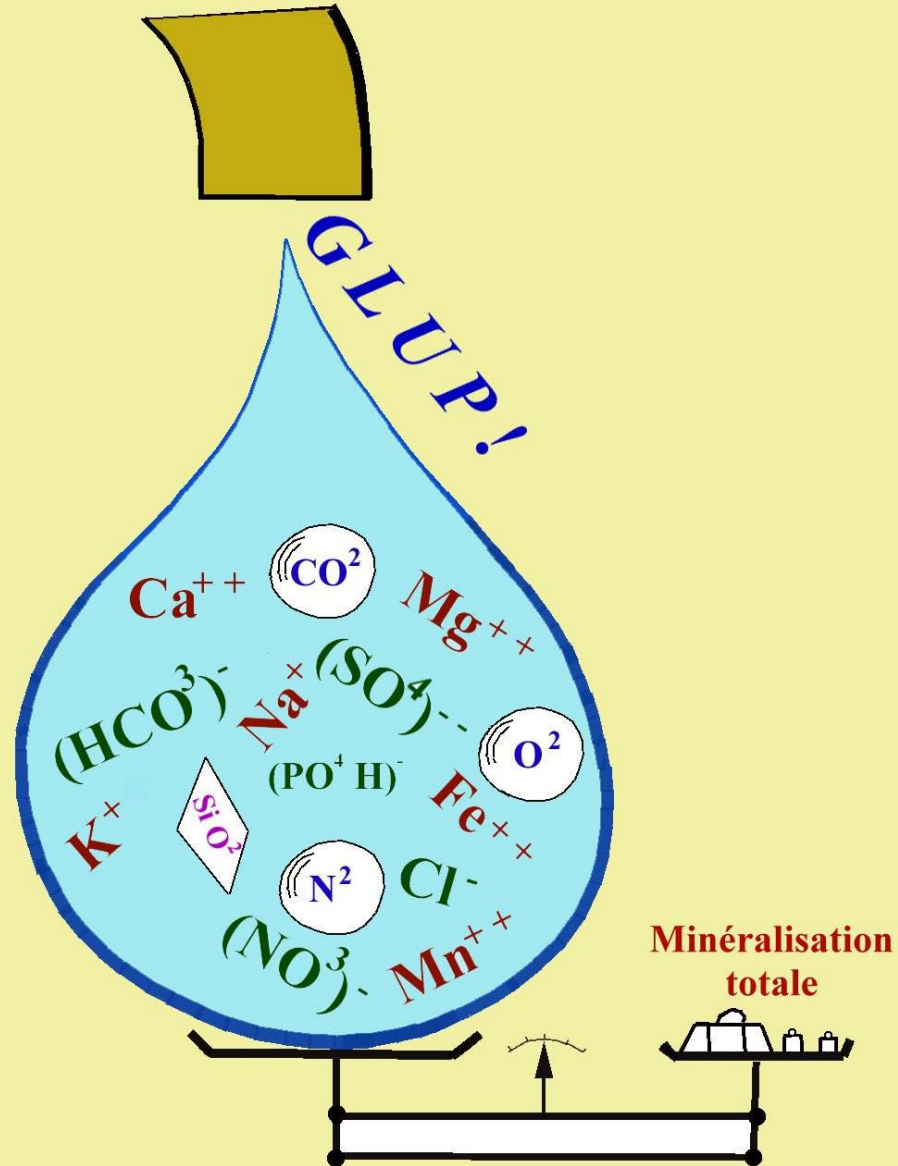
# **Une des propriétés majeures de l'EAU : son grand pouvoir dissolvant**

**Elle a la propriété de rompre les liaisons qui maintiennent à distance  
les anions et les cations de certains cristaux :**

**- la dissociation électrolytique**

**EXEMPLE : la dissociation du sel gemme ou  
chlorure de sodium en anions  $\text{Cl}^-$  et en cations  $\text{Na}^+$**

# L'eau minéralisée



# L'analyse physico-chimique de l'eau: l'HYDROCHIMIE

## Mesures physiques :

pH à 20°C ;

Turbidité

Conductivité à 20°C ;

Résidu sec à 180 °C en mg/l

## Analyse chimique :

Dureté totale en ° F

Aluminium (Al en mg/l)

Matières organiques en mg/O<sup>2</sup>

Fer (Fe en mg/l)

Titre alcalimétrique complet (TAC) en °F

Manganèse (Mn en mg/l)

Ammoniaque (NH<sup>4</sup> en mg/l)

Phosphates (PO<sup>4</sup> en mg/l)

Nitrite (NO<sup>2</sup> en mg/l)

Fluor (F en mg/l)

## Bilan ionique

### ***ANIONS***

### ***CATIONS***

Nitrates (NO<sup>3</sup> en mg/l)

Calcium (Ca en mg/l)

Chlorures (Cl en mg/l)

Magnésium (Mg en mg/l)

Sulfates (SO<sup>4</sup> en mg/l)

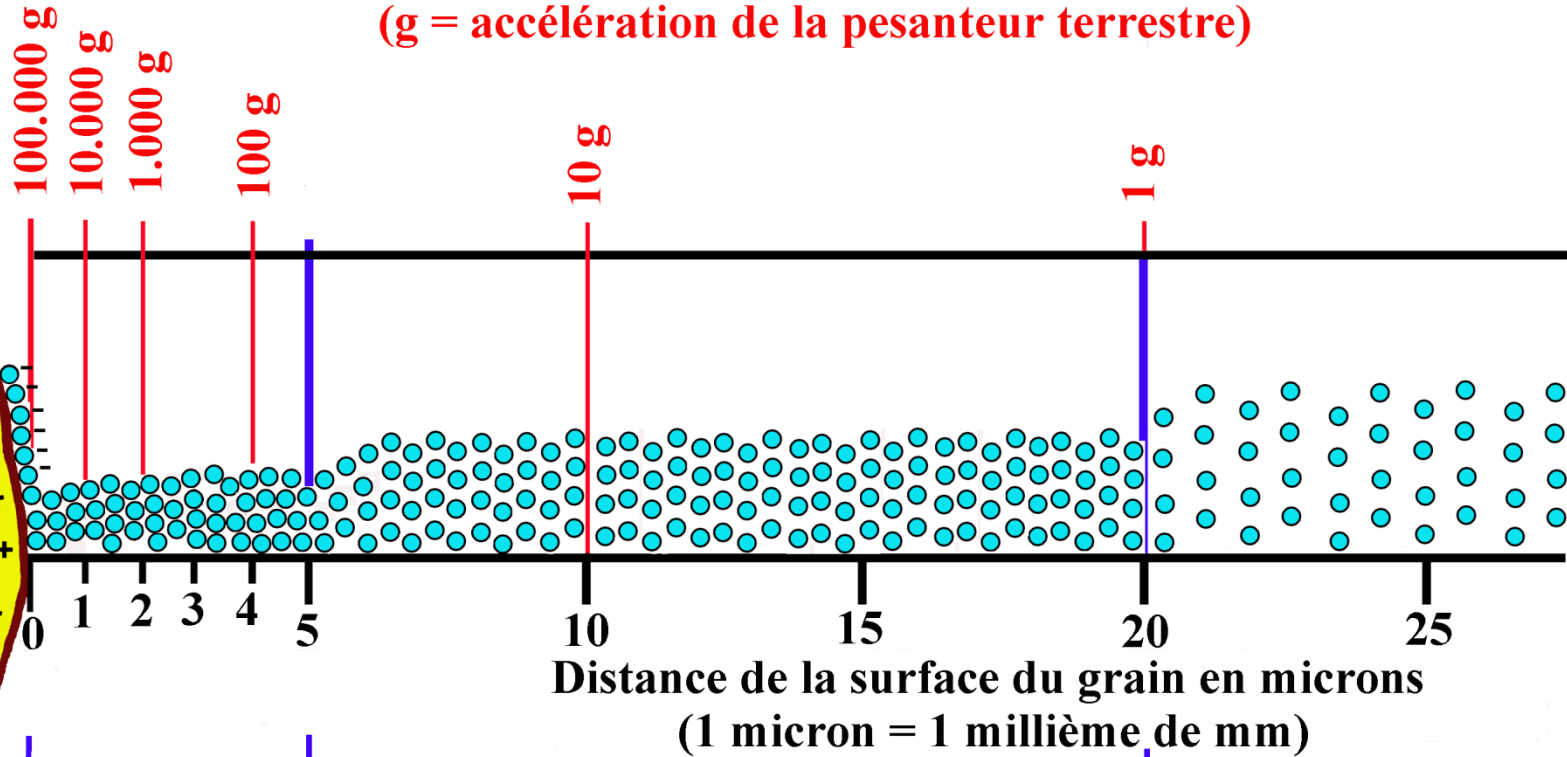
Sodium (Na en mg/l)

Hydrogéo carbonates (HCO<sup>3</sup> en mg/l)

Potassium (K en mg/l)

# Interaction entre les molécules d'eau et les roches

Force d'attraction des molécules d'eau sur la surface du grain en g  
(g = accélération de la pesanteur terrestre)



Grain de sable

Eau adsorbée

Eau pelliculaire

Eau libre ou gravitaire

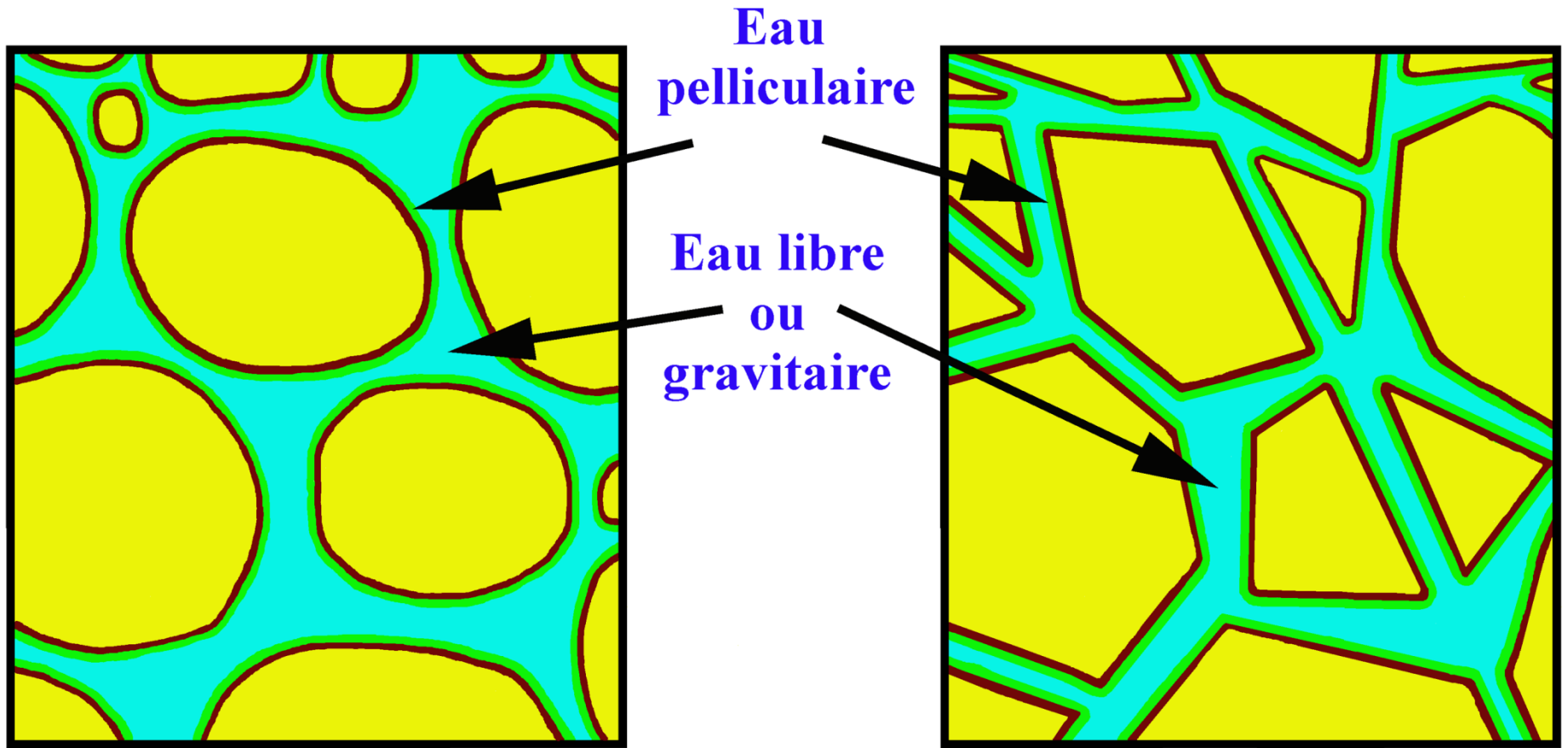
Eau de rétention

Distance de la surface du grain en microns  
(1 micron = 1 millième de mm)

# **Les nappes aquifères**

**Elles résultent de l'accumulation dans les vides d'eau libre au sein d'horizons géologiques**

# L'eau dans le sous-sol

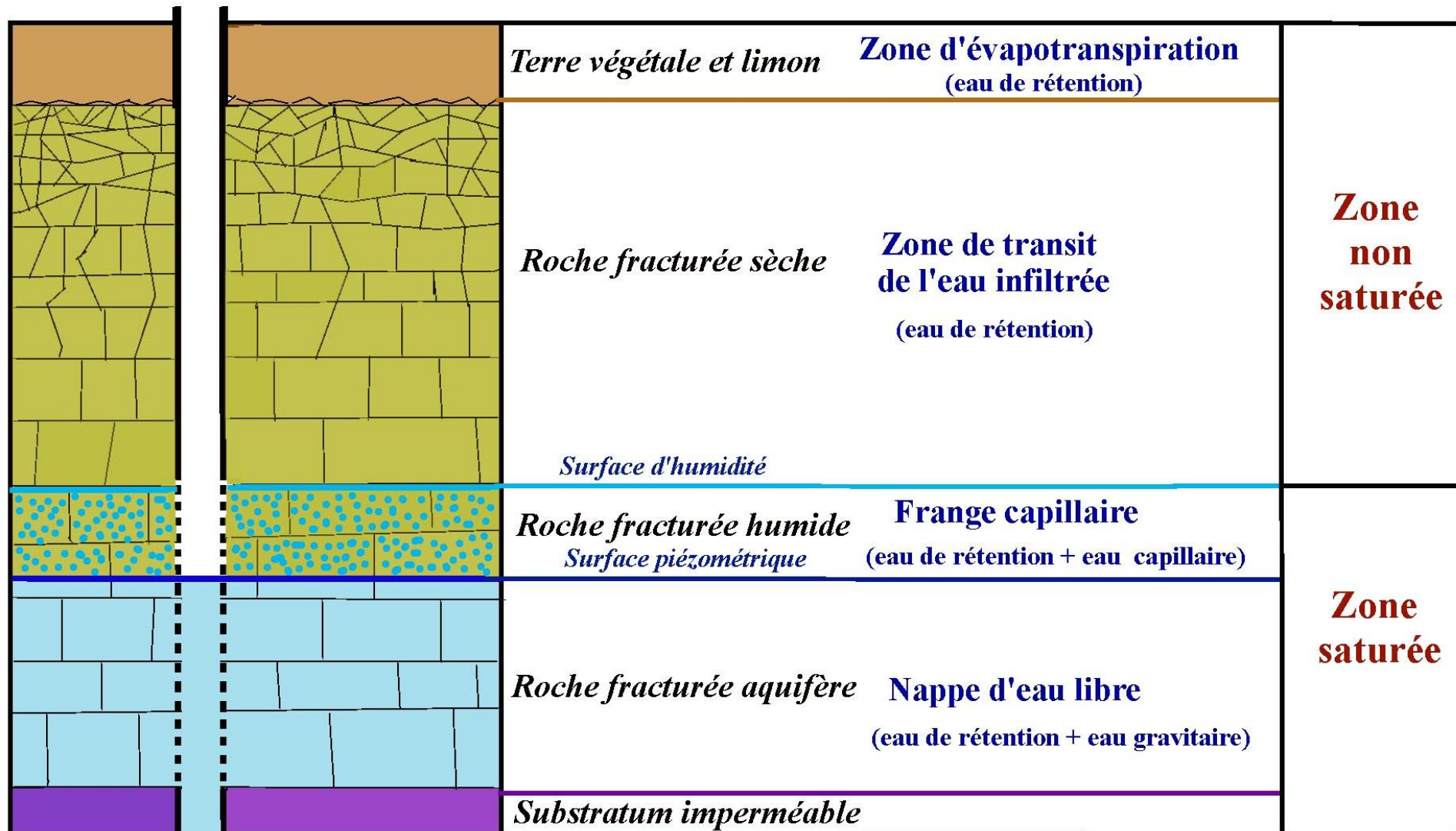


**Roche aquifère grenue**

**Roche aquifère fissurée**

# Zonalité sol/eau souterraine

Piézomètre





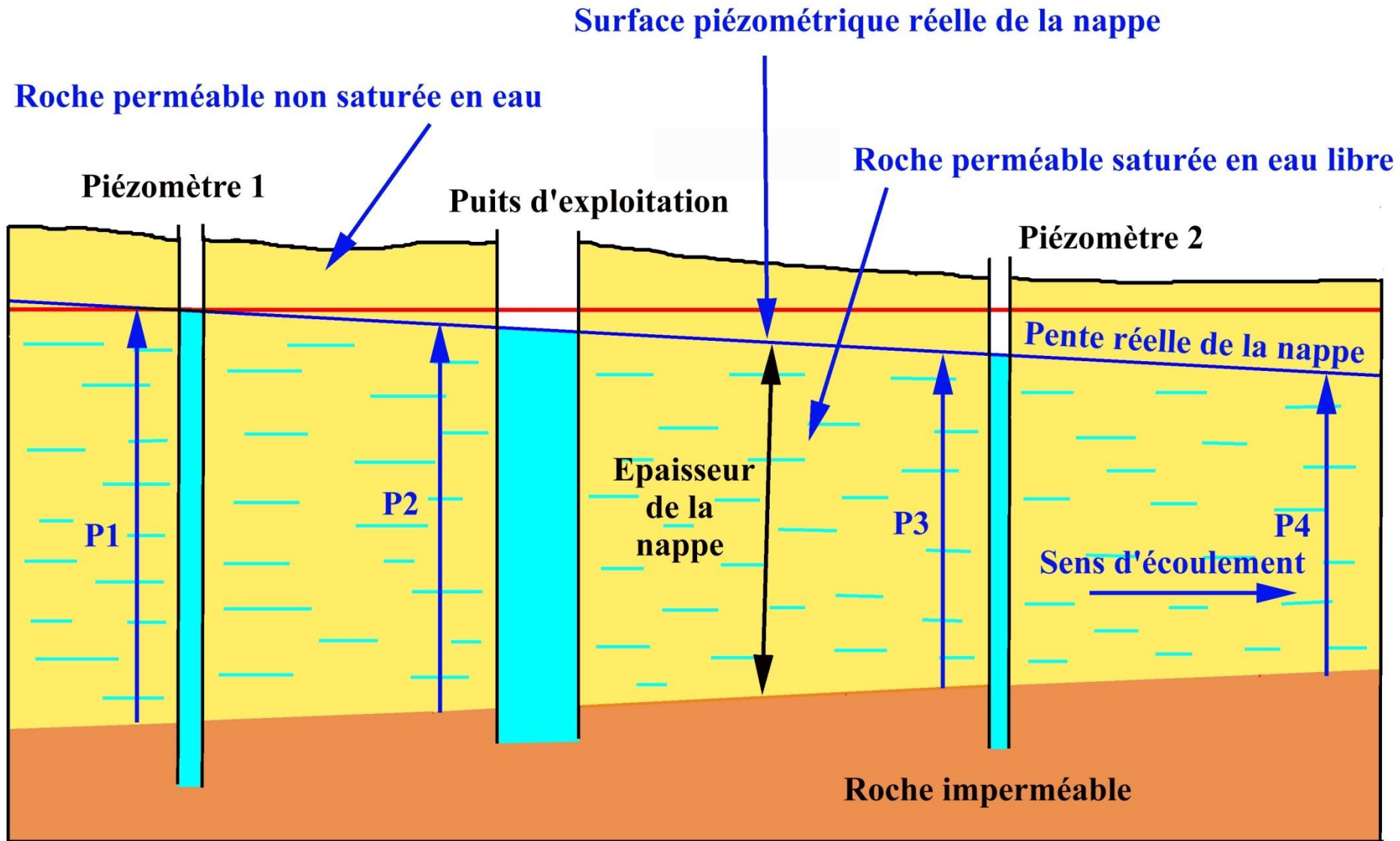
**Deux grands types de nappes aquifères :**

**- Les nappes libres**

**- Les nappes captives**

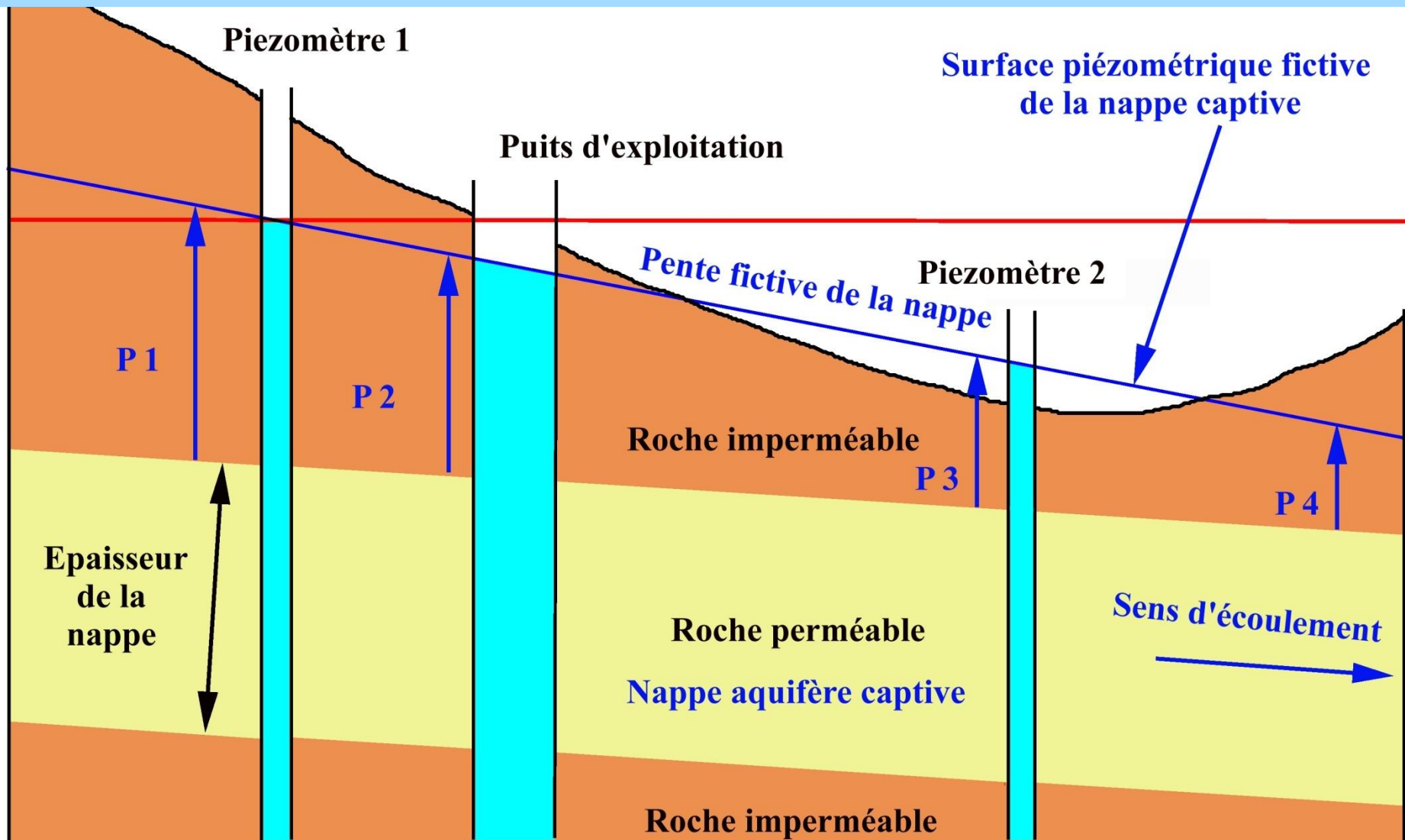
# Nappe libre

La surface piézométrique est en contact direct avec l'atmosphère



# Nappe captive

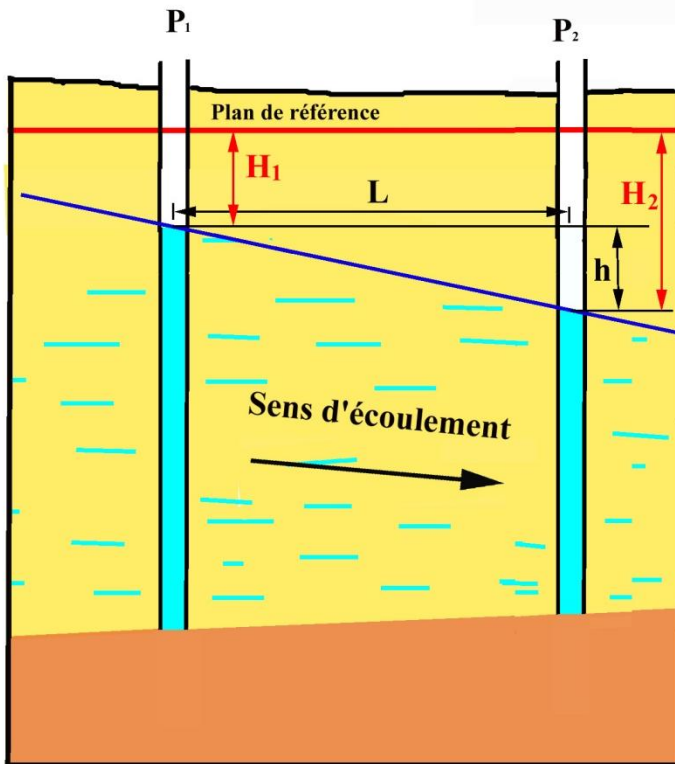
Sa surface piézométrique ne peut être mise en évidence que par des forages (puits d'exploitation ou piézomètres d'observation) traversant la couche imperméable



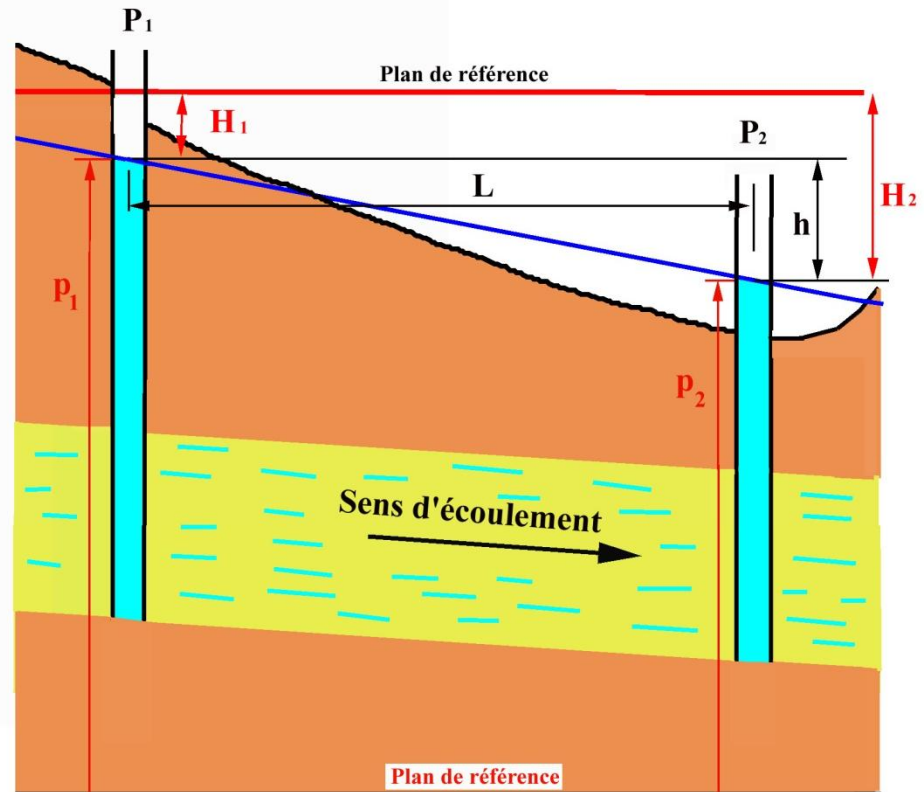
# Gradient hydraulique d'une nappe

C'est la perte de charge (ou de pression) par unité de longueur ou pente de la nappe, nombre sans dimension

## Nappe libre



## Nappe captive



$$i = \frac{H_2 - H_1}{L} = \frac{h}{L}$$

**i**, gradient hydraulique ou pente de la nappe  
**H<sub>1</sub>**, niveau d'eau dans le piézométrique P<sub>1</sub>  
**H<sub>2</sub>**, niveau piézométrique dans le piézomètre P<sub>2</sub>  
par rapport au plan de référence  
**L**, distance entre les piézomètres P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub>

$$i = \frac{H_2 - H_1}{L} = \frac{h}{L} = \frac{P_1 - P_2}{L} = \frac{\Delta p}{L}$$

**P<sub>1</sub>**, pression de la nappe dans le piézomètre P<sub>1</sub>  
**P<sub>2</sub>**, pression de la nappe dans le piézomètre P<sub>2</sub>

# La Perméabilité

C'est un paramètre qui a la dimension d'une vitesse, longueur par unité de temps, qui caractérise un matériau aquifère à transmettre l'eau sous pression.

Cet important coefficient a été découvert et mesuré en 1850 par Henri DARCY, ingénieur des eaux de la ville de  
Dijon

Elle s'exprime par la formule :  $v = k.i$

Avec :  $v$  , la vitesse de l'eau en m/s ;

$k$ , le coefficient de perméabilité en m/s;

$i$ , le gradient hydraulique ou pente de la nappe est un nombre sans dimension

# Henri DARCY

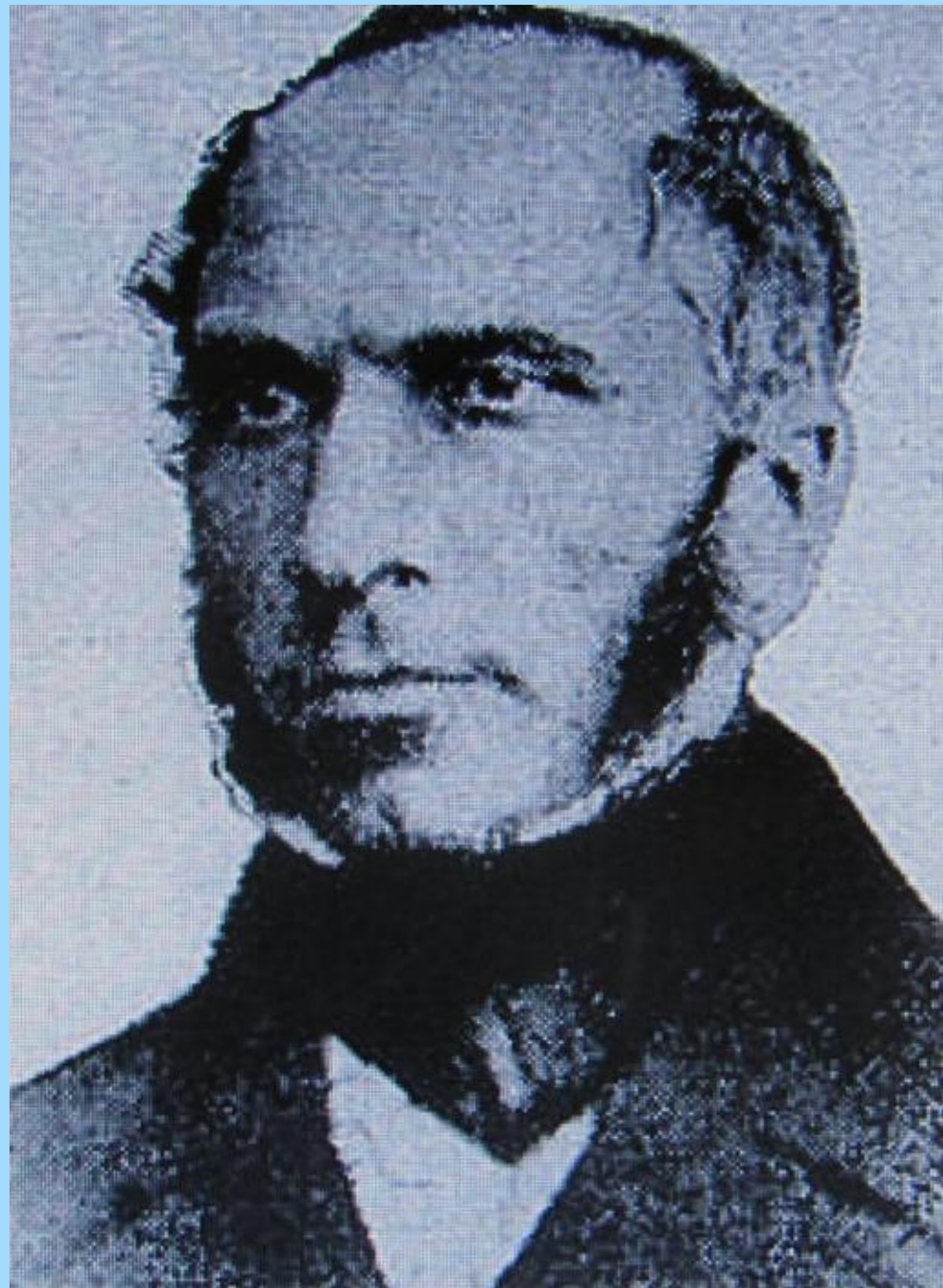
(1803-1858)

**Polytechnicien et ingénieur  
des Ponts et Chaussées**

**Afin de résoudre expérimentalement la  
mécanique des fluides dans un milieu  
poreux, il réalisa un dispositif de  
mesure de la vitesse de l'eau à travers  
des colonnes contenant différents  
sables**

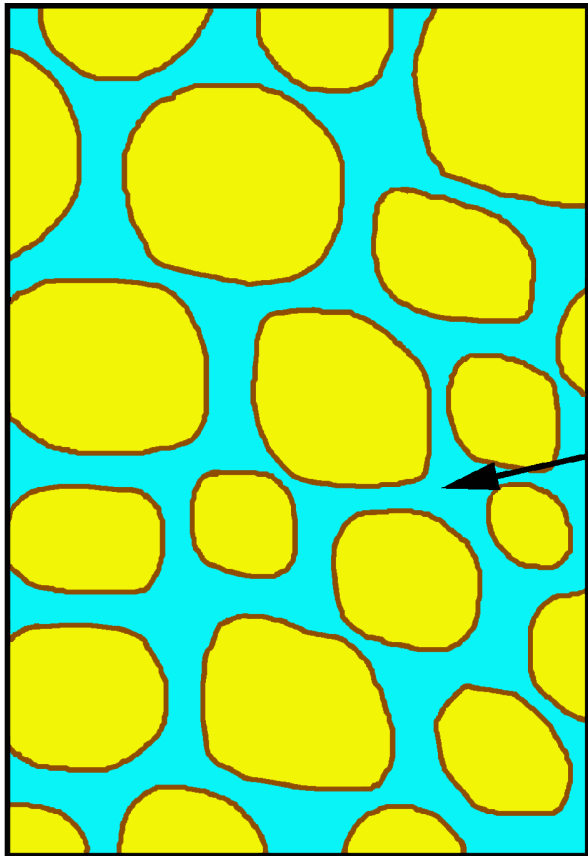
**Le darcy est l'unité de mesure  
de la perméabilité**

**1 darcy =  $1 \cdot 10^{-3}$  cm/s**

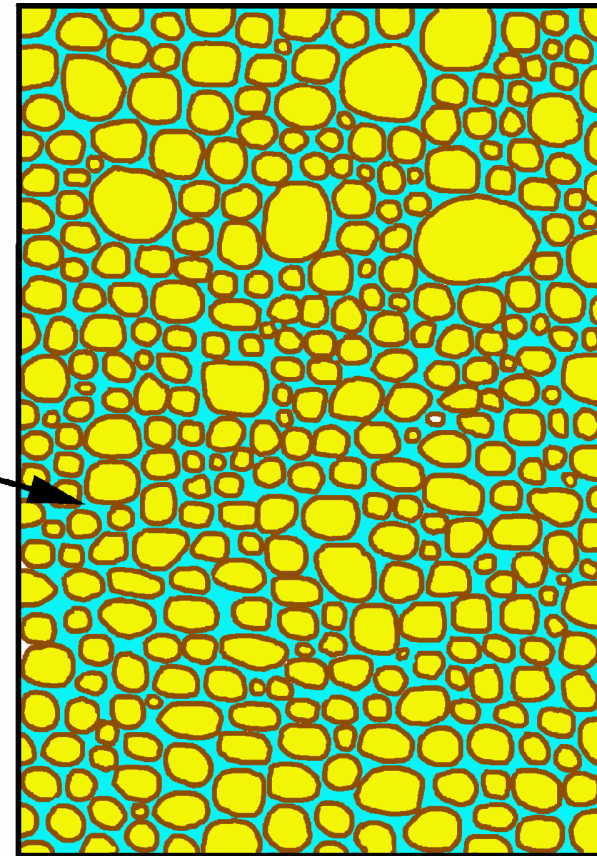


# Porosité efficace

Pourcentage de vide dans la roche occupé par de l'eau libre ou gravitaire



Forte porosité efficace



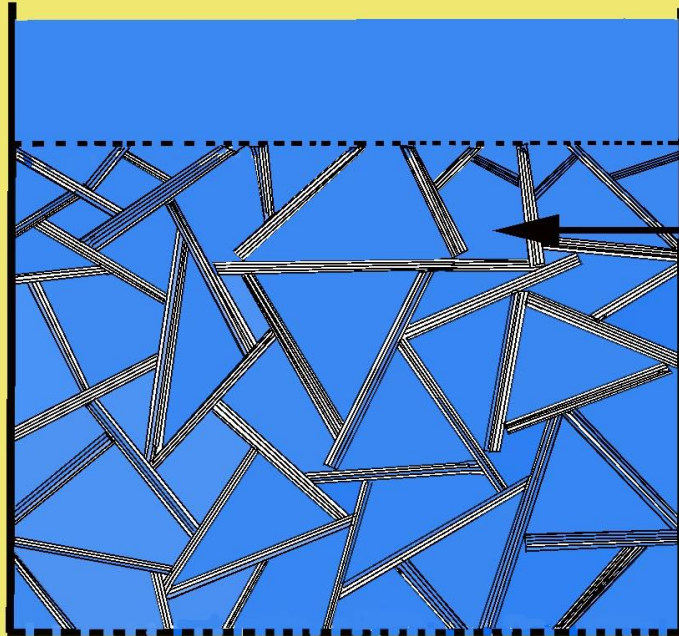
Faible porosité efficace

Eau libre  
ou  
gravitaire



# Porosité- Perméabilité

Même charge en eau

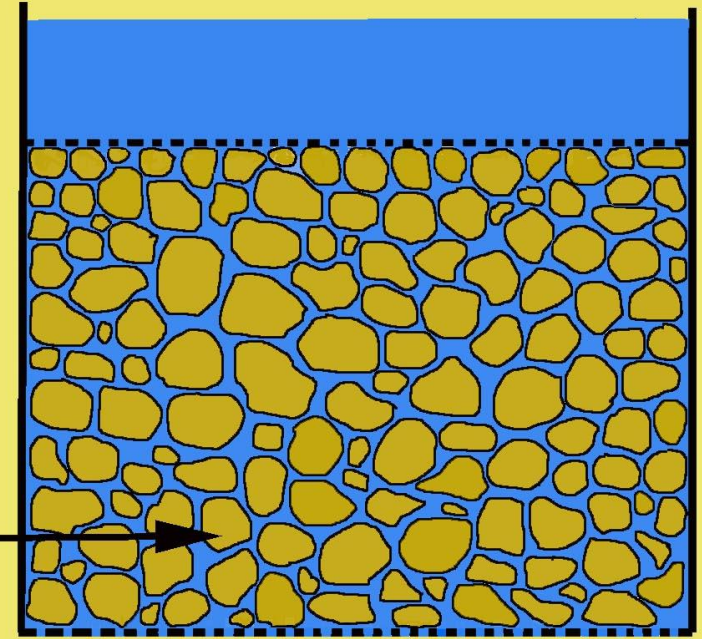


Argile  
(Feuillets  
microscopiques)

Porosité  
40 à 50%

Sable fin

Porosité  
10 à 20%



Perméabilité : 0,00001 mm /h

Perméabilité : 1 à 2 m/h



# Profil hydrogéologique

Altitude NGF  
en m

+ 40

+ 30

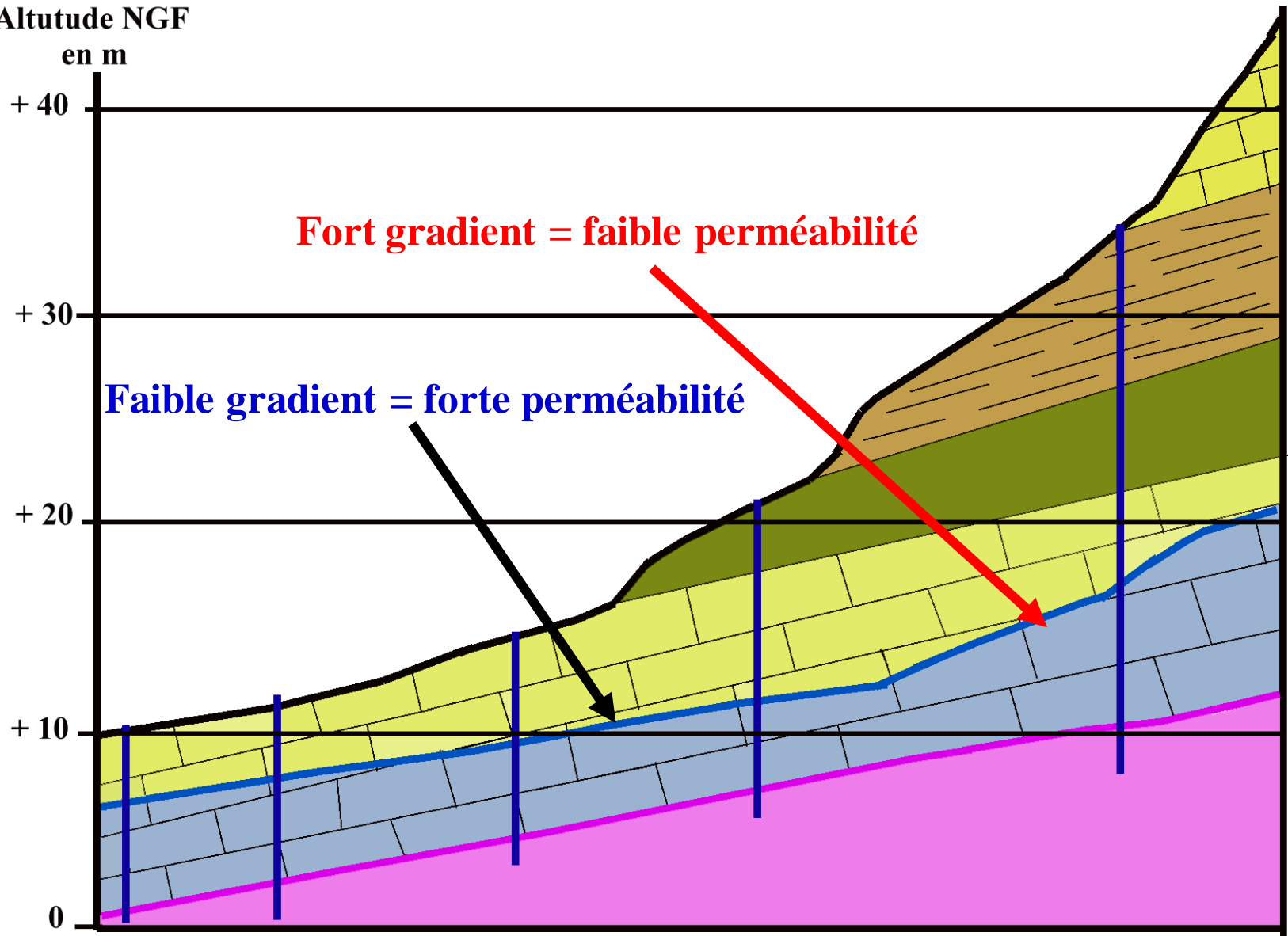
+ 20

+ 10

0

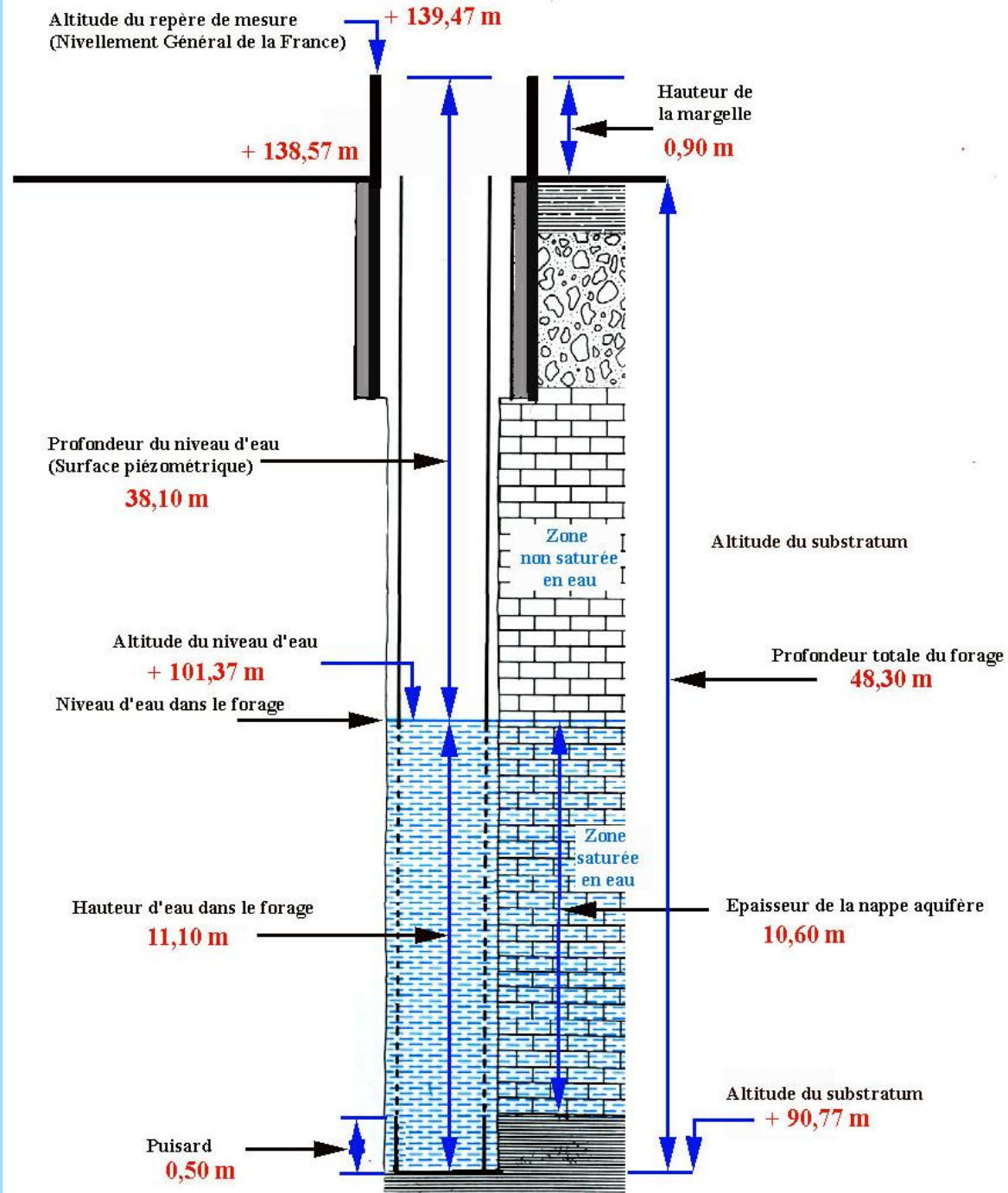
**Fort gradient = faible perméabilité**

**Faible gradient = forte perméabilité**

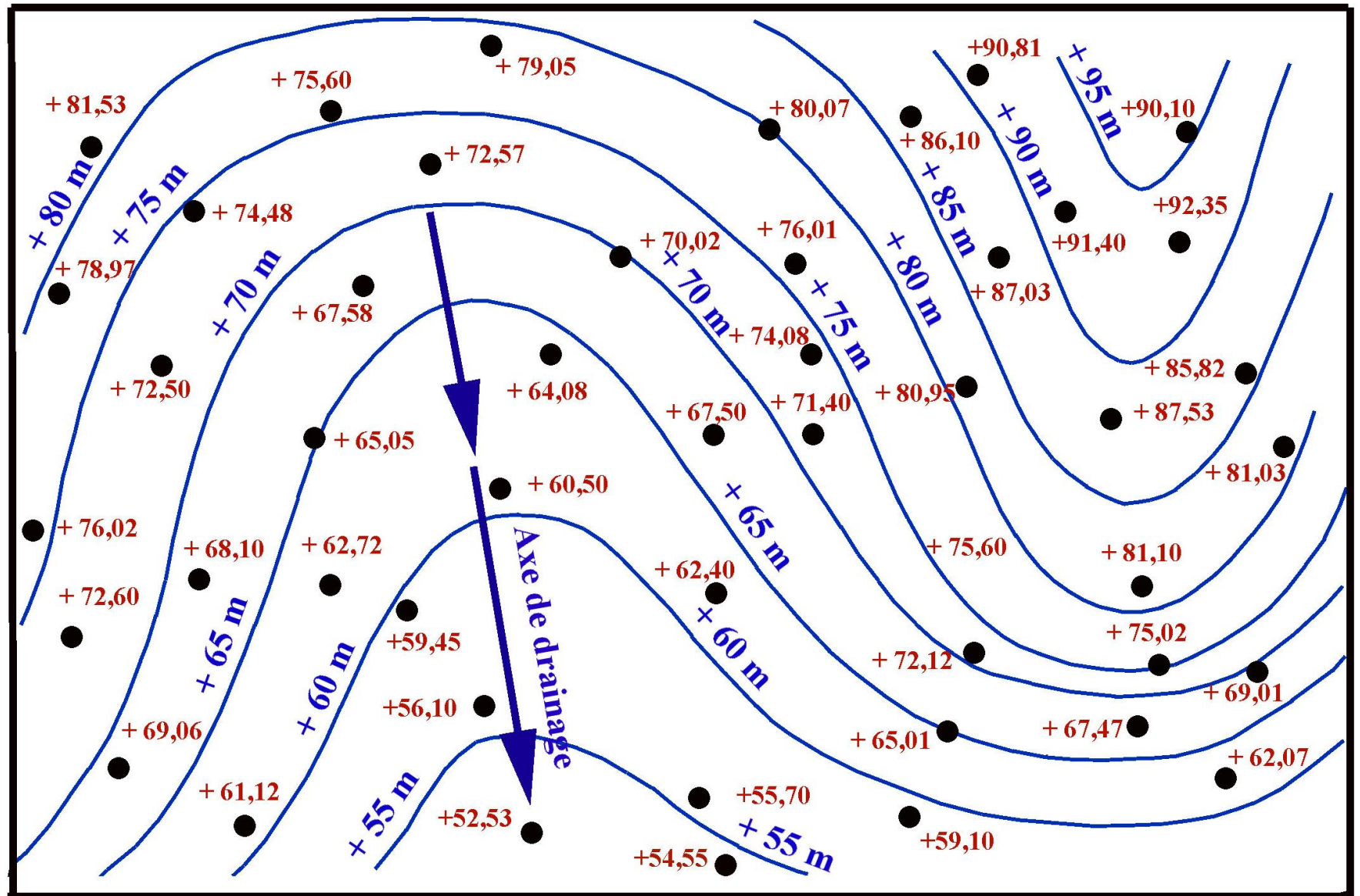


# Mesure du niveau d'eau dans un piézomètre

(Petit forage de reconnaissance creusé dans la nappe et servant à l'observation du niveau d'eau)



# Carte iso-piézométrique



Légende : ● +72,57 Piézomètre avec altitude du niveau d'eau (Cote N.G.F.)      +65 m Courbe isopièze avec cote N.G.F.

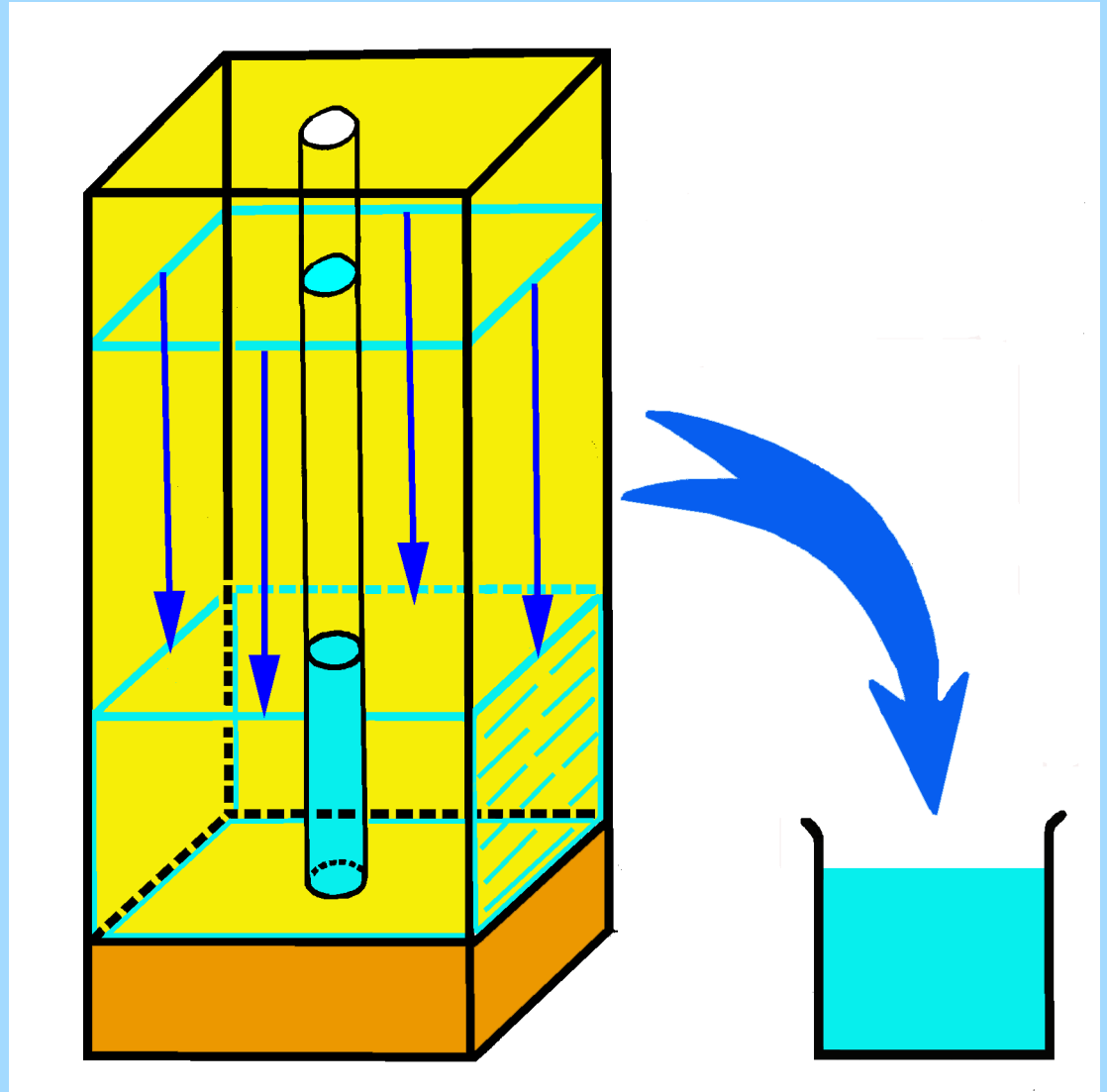
# Coefficient d'emmagasinement : $S$

C'est le pourcentage d'eau libéré par unité de volume de roche aquifère pour une baisse de pression unitaire.

Ce pourcentage est différent selon qu'il s'agit d'une nappe libre ou d'une nappe captive

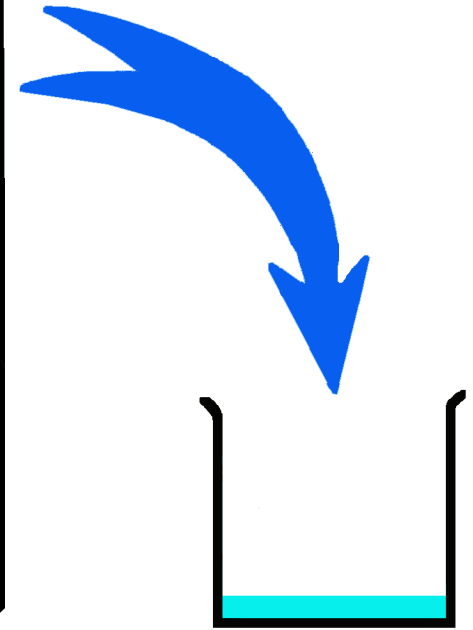
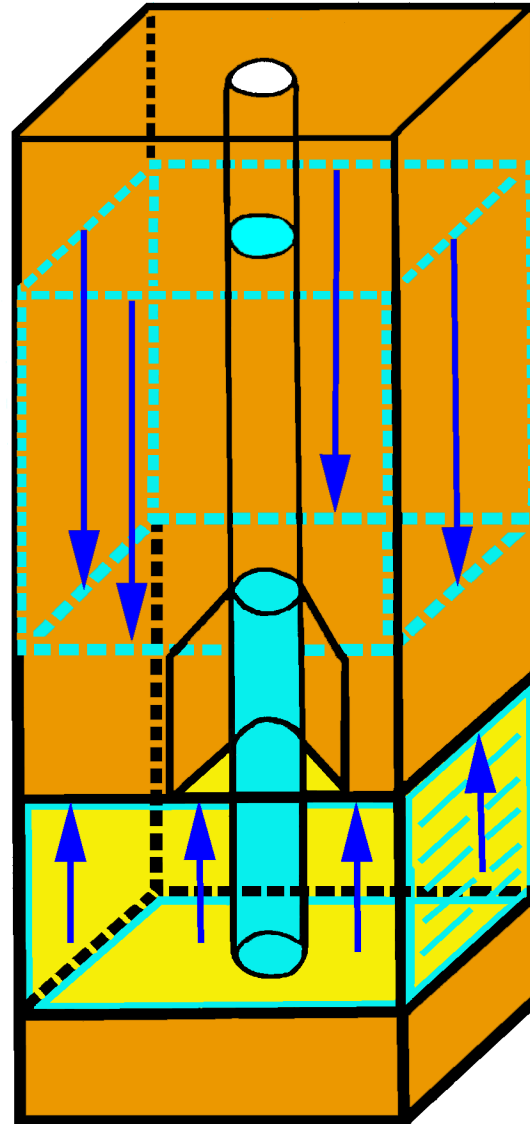
# Coefficient d'emmagasinement d'une nappe libre : égal à la porosité efficace

Il correspond au  
pourcentage d'eau  
obtenue par dénoyage  
gravitaire d'un volume  
unitaire de roche  
aquifère.



# Coefficient d'emmagasinement d'une nappe captive

Il correspond au pourcentage d'eau libérée par la baisse pression unitaire dans la nappe



# La Transmissivité $T$

C'est le produit de la perméabilité  $k$  par l'épaisseur  $e$  de la tranche aquifère

$$T = k \cdot e$$

Avec  $T$  en  $\text{m}^2/\text{s}$ ,  $k$  en  $\text{m}/\text{s}$  et  $e$  en  $\text{m}$

C'est un paramètre essentiel pour calculer la productivité d'un horizon aquifère

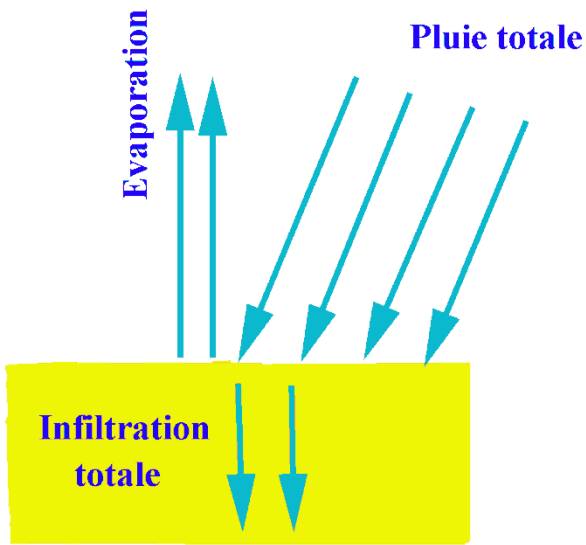
# **L'alimentation des eaux souterraines ou le ruissellement**

**Une partie des précipitations :  
c'est la pluie efficace**

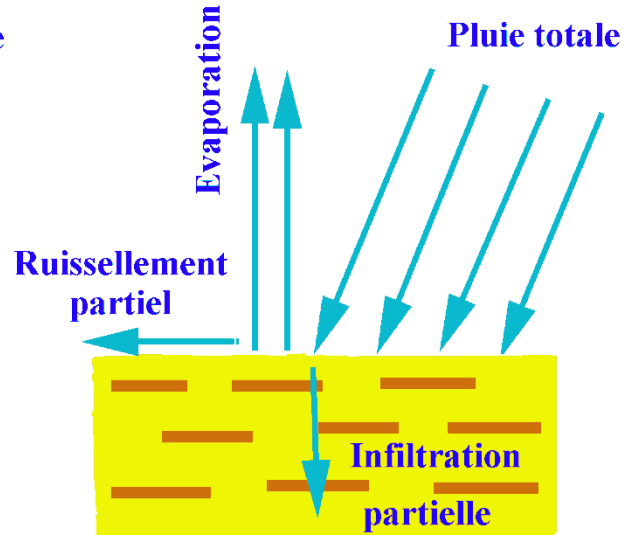
**En Vendée la pluie efficace annuelle représente  
**1/3** des précipitations totales**



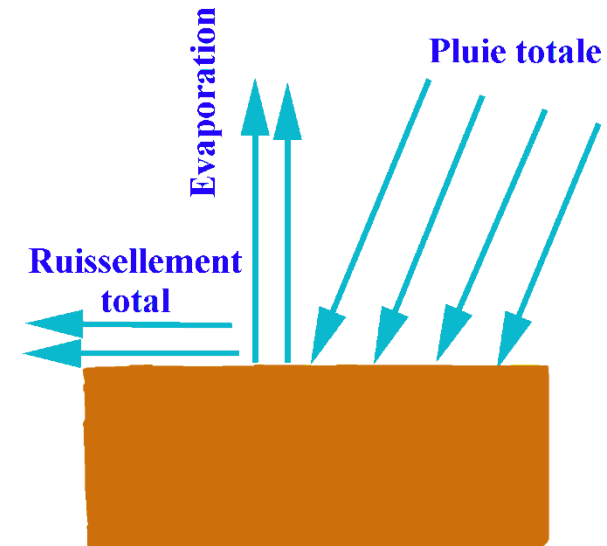
# Infiltration, ruissellement



Roche perméable



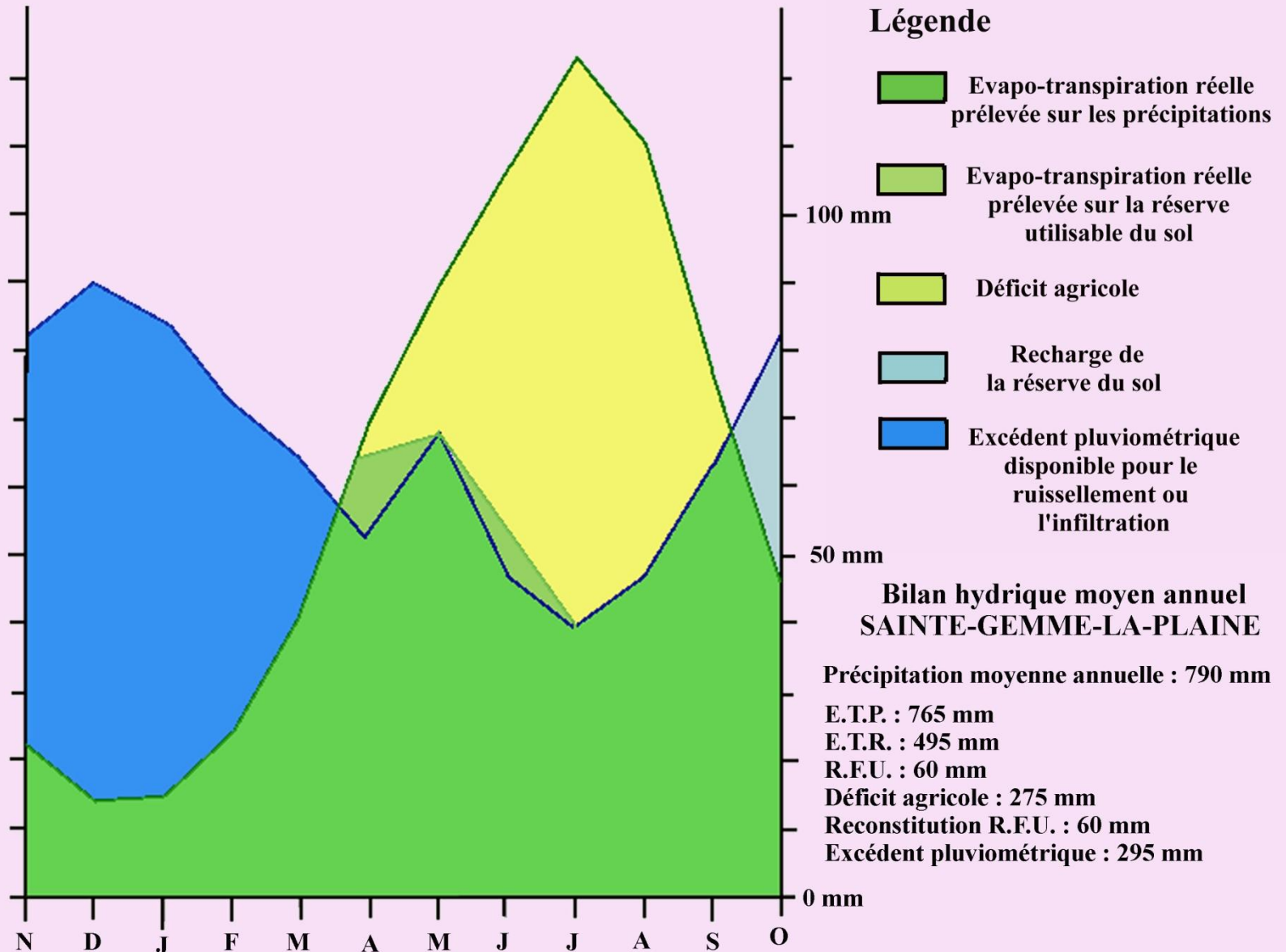
Roche semi-perméable



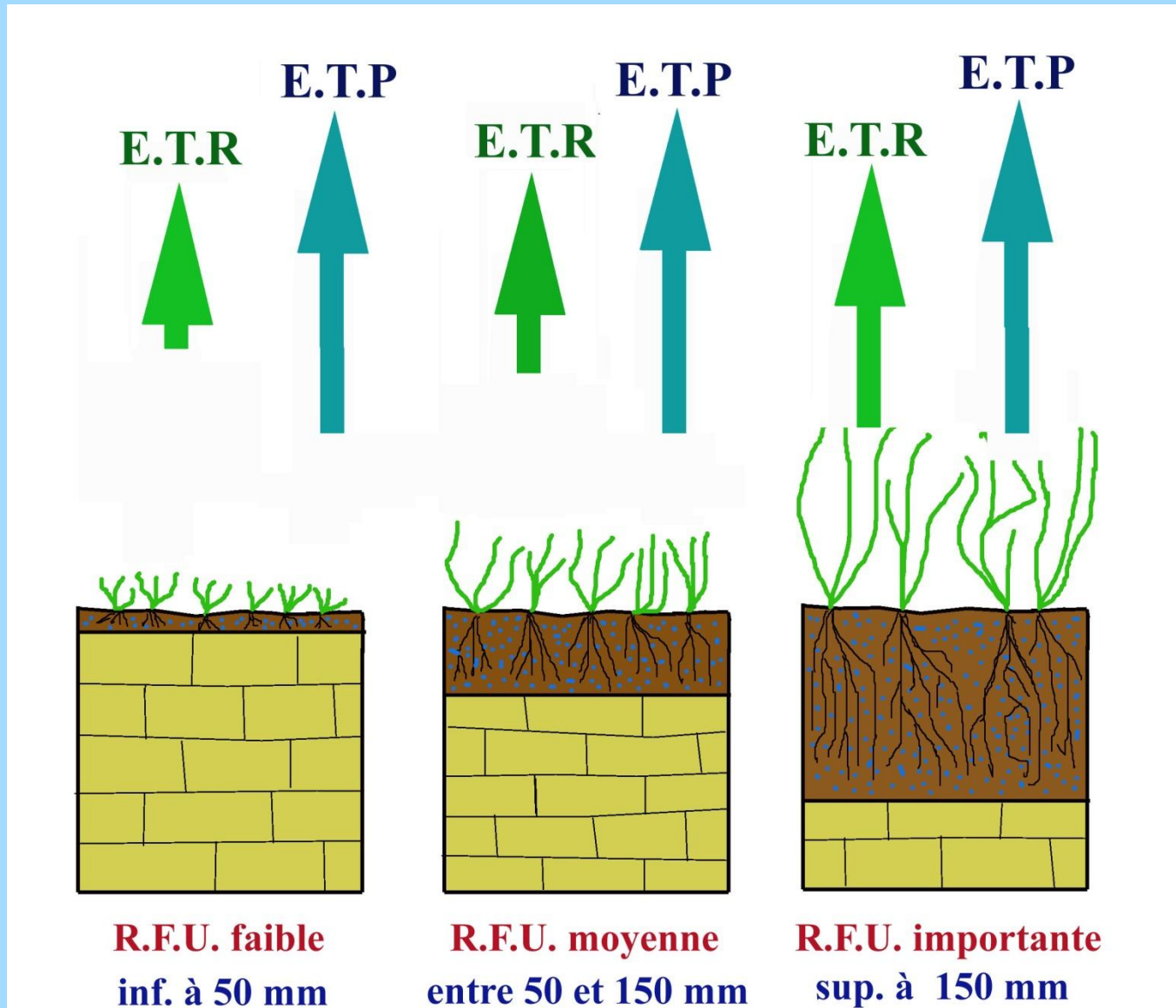
Roche imperméable

# Réalimentation annuelle des nappes aquifères

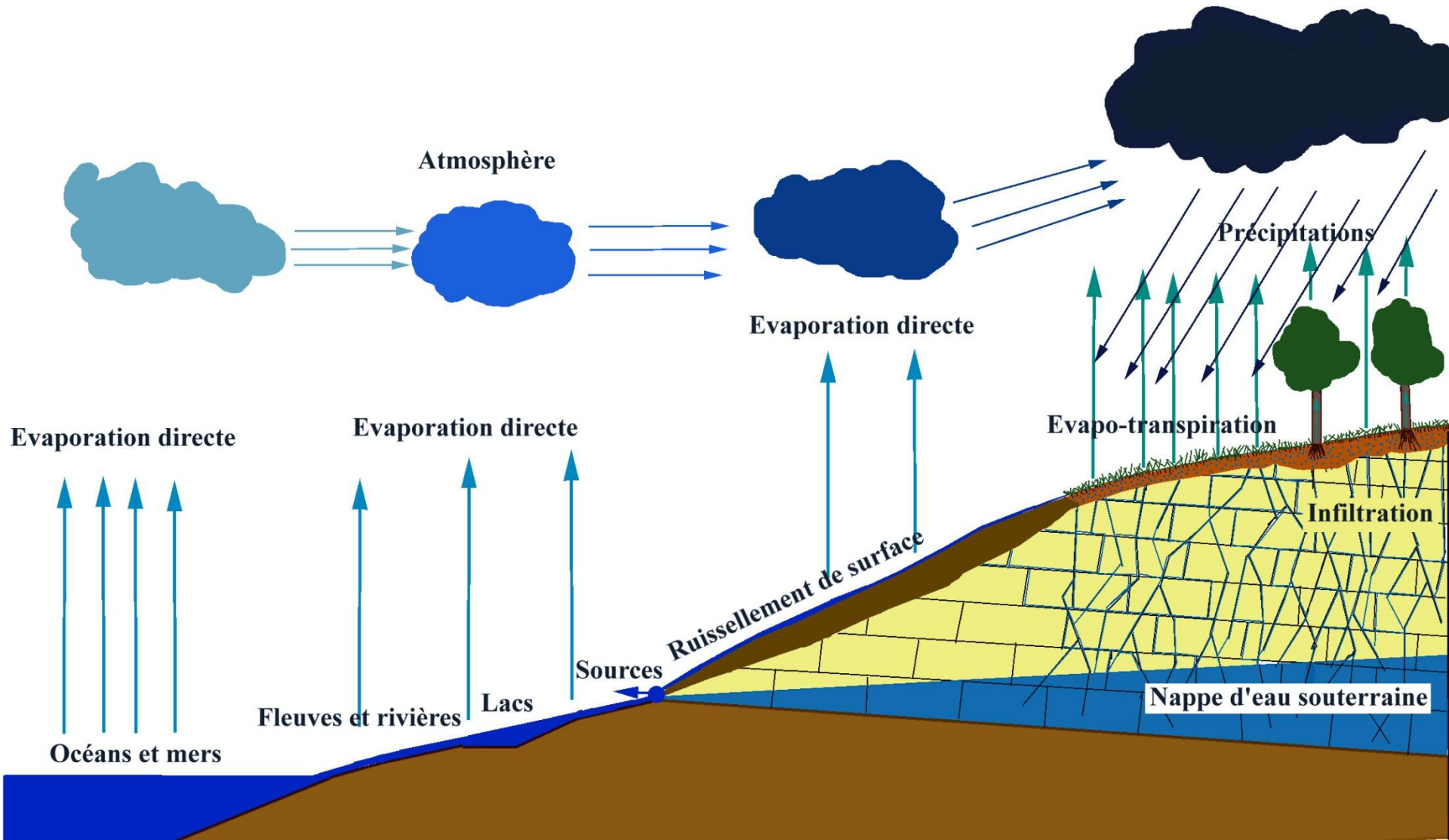
## Le bilan hydrique



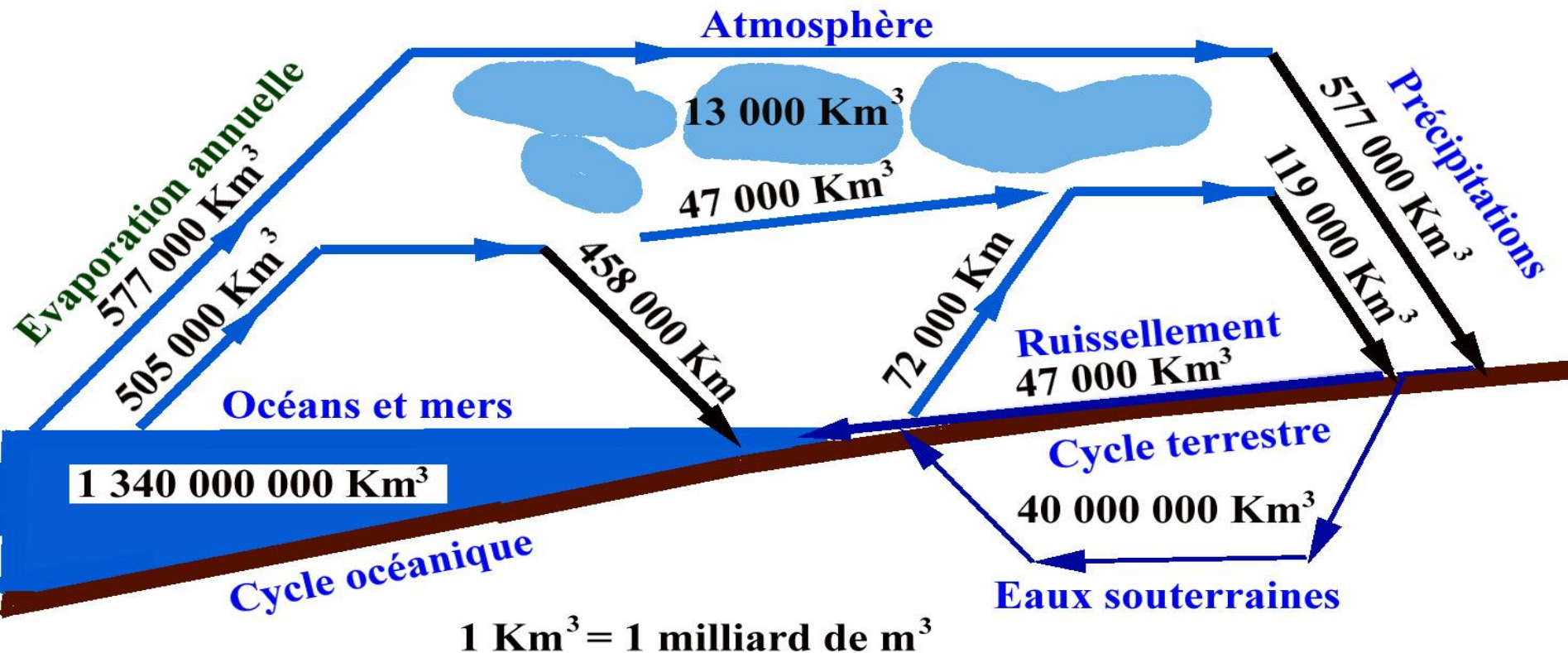
# Variations de la Réserve Facilement Utilisable (R.F.U.) par les plantes suivant l'épaisseur des sols



# Le cycle de l'eau



# Le cycle de l'eau en chiffres...



# Bilan hydrique de la France

**E.T.R.** = évapotranspiration réelle de la France

**E** : évaporation venant de la mer

**P** : apport pluviométrique

**R** = ruissellement

**E.M.** = écoulement vers la mer = 164 Km<sup>3</sup>

**E.S** = eaux souterraines

**P = E.T.R. + E = 440 Km<sup>3</sup>**

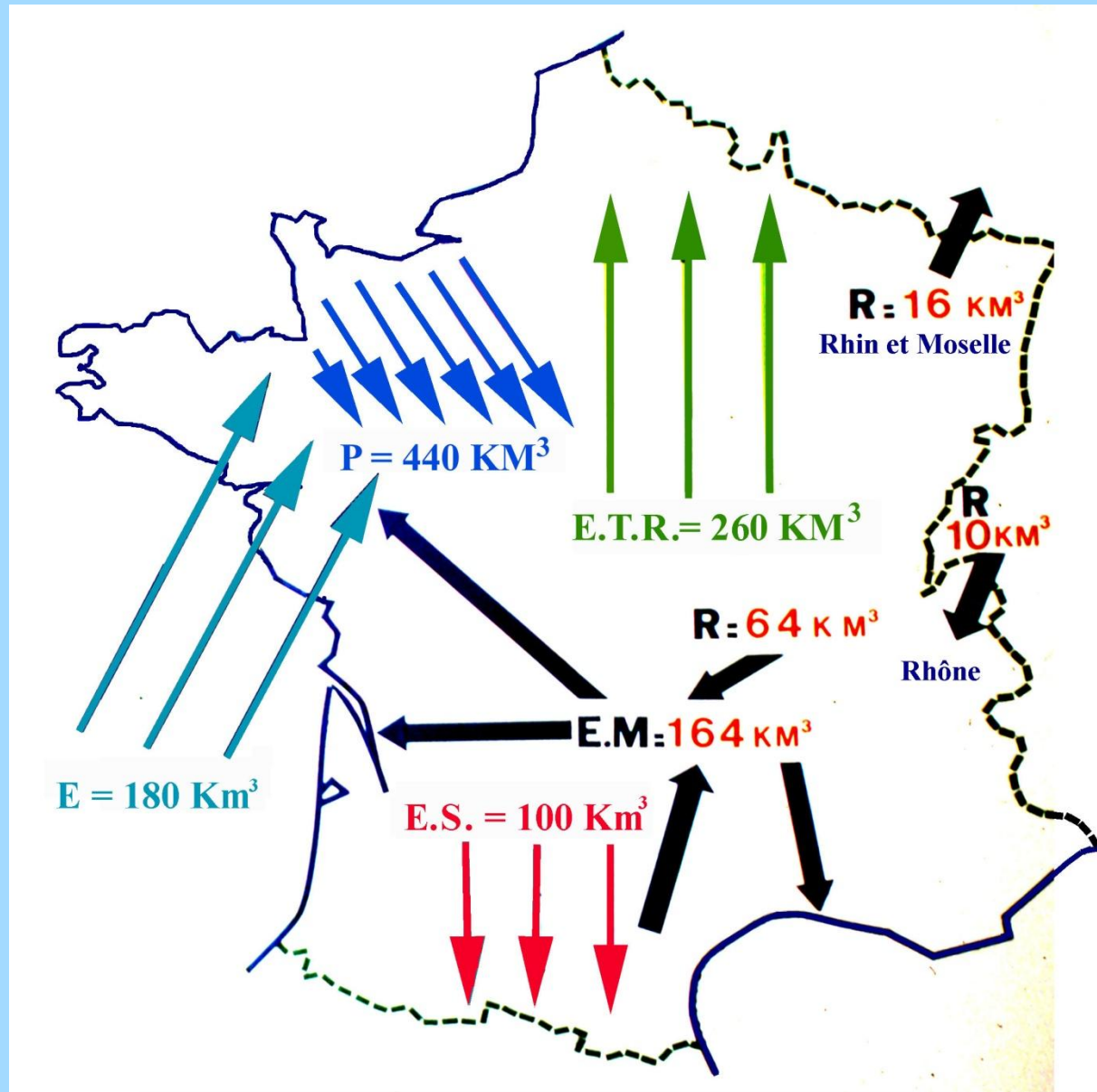
**P - E.T.R. = 170 Km<sup>3</sup>**

**E.S + R = E.M. = 164 Km<sup>3</sup>**

**Exportation : 6 Km<sup>3</sup>**

**Total = 170 Km<sup>3</sup>**

**1 Km<sup>3</sup> = 1 milliard de m<sup>3</sup>**



# HYDROSPHERE

GRANDS RESERVOIRS	Eau salée	Eau douce
	Volume en Km <sup>3</sup>	Volume en Km <sup>3</sup>
Océans et mers	1 340 000 000	
Glaces		24 000 000
Eaux souterraines	8 000 000	16 000 000
Eaux des sols		16 500
Eaux de surface	86 400	90 000
Lacs		
Fleuves et rivières		2 120
Atmosphère		13 000
Eau biologique		1 120
<b>Total</b>	<b>1 348 086 400</b>	<b>40 122 740</b>
<b>%</b>	<b>97,2 %</b>	<b>2,8 %</b>
<b>Total de l'HYDROSPHERE</b>	<b>1 388 209 140 Km<sup>3</sup></b>	

**La prospection des eaux souterraines**

**IMPORTANT DE SAVOIR**

**Il n'existe aujourd'hui aucun appareil  
susceptible de détecter en surface la  
présence d'eau souterraine exploitable  
dans le sous sol**

**La baguette du sourcier ou le pendule sont à ranger  
au vestiaire des charlatans !**



**En effet la vitesse de circulation des eaux souterraines dans le sous sol étant très faible, soit de 10 cm/j à 1 m/j, le choc des molécules d'eau dans le milieu rocheux ne peut pas entraîner de courants électriques mesurables avec les moyens électroniques actuels et encore moins d'effets magnétiques comme osent le prétendre les sourciers.**

**Un « bacillogire » en  
pleine action !**



# **Les prospection des eaux souterraines ne peut être qu'indirecte , avec:**

- La carte géologique pour la localisation des roches perméables et imperméables, susceptibles pour les premières d'être des réservoirs potentiels, pour les secondes de constituer des écrans à la bonne circulation des eaux souterraines**
- La localisation des points d'eaux existants : sources, puits, mares naturelles, etc, pour dresser une esquisse de carte hydrogéologique et déterminer ainsi les zones de faible gradient hydraulique dans les réservoirs potentiels .**

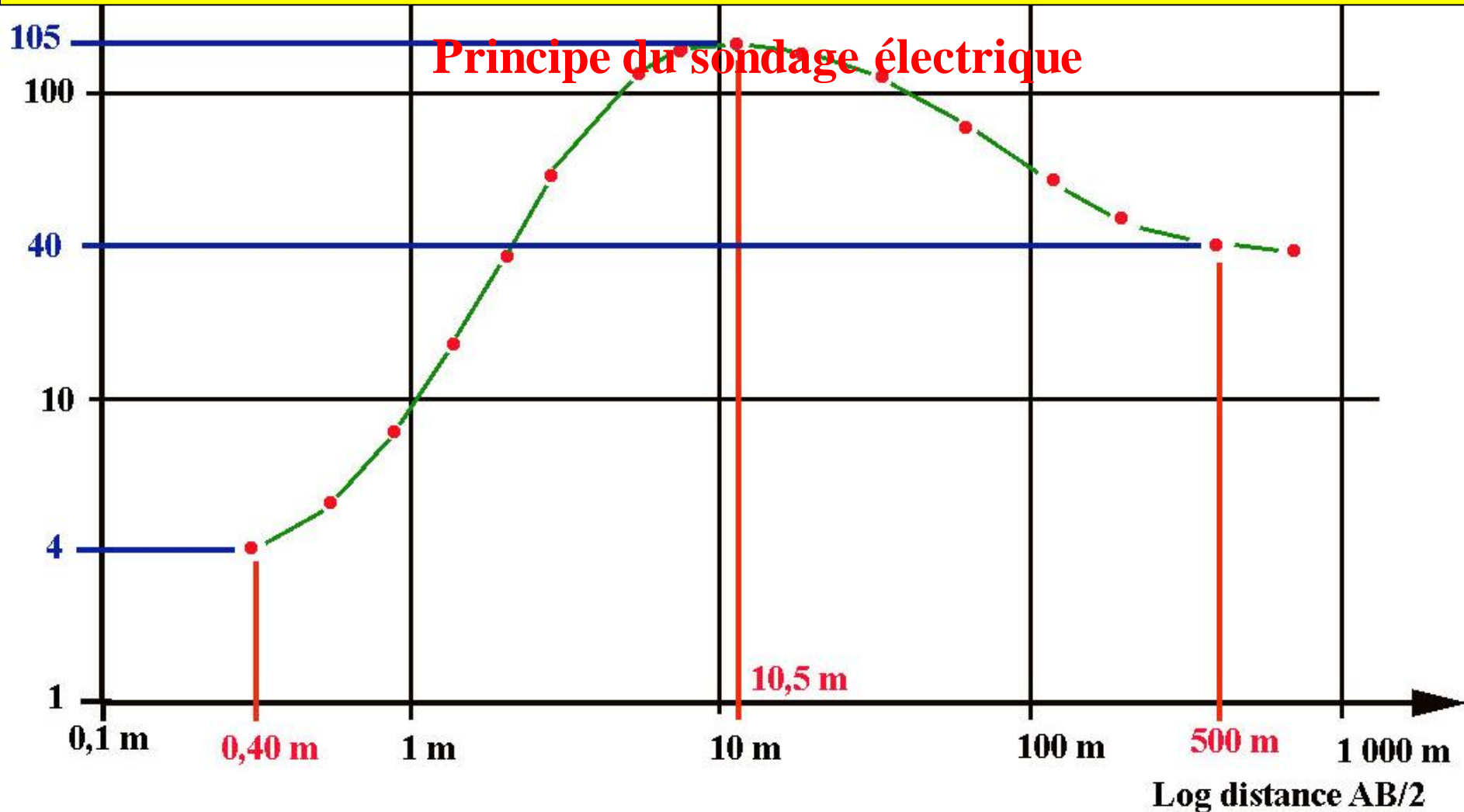
# **L'utilisation de la géophysique**

**Certaines méthodes géophysiques : électriques, électromagnétiques, radar, gravimétriques et sismiques ne sont en réalité que des moyens indirects pour connaître la profondeur d'un écran imperméable, l'épaisseur d'un milieu perméable ou le degré de fracturation d'une roche susceptible d'être le siège d'une circulation préférentielle des eaux souterraines**

Log résistivité en ohms/m

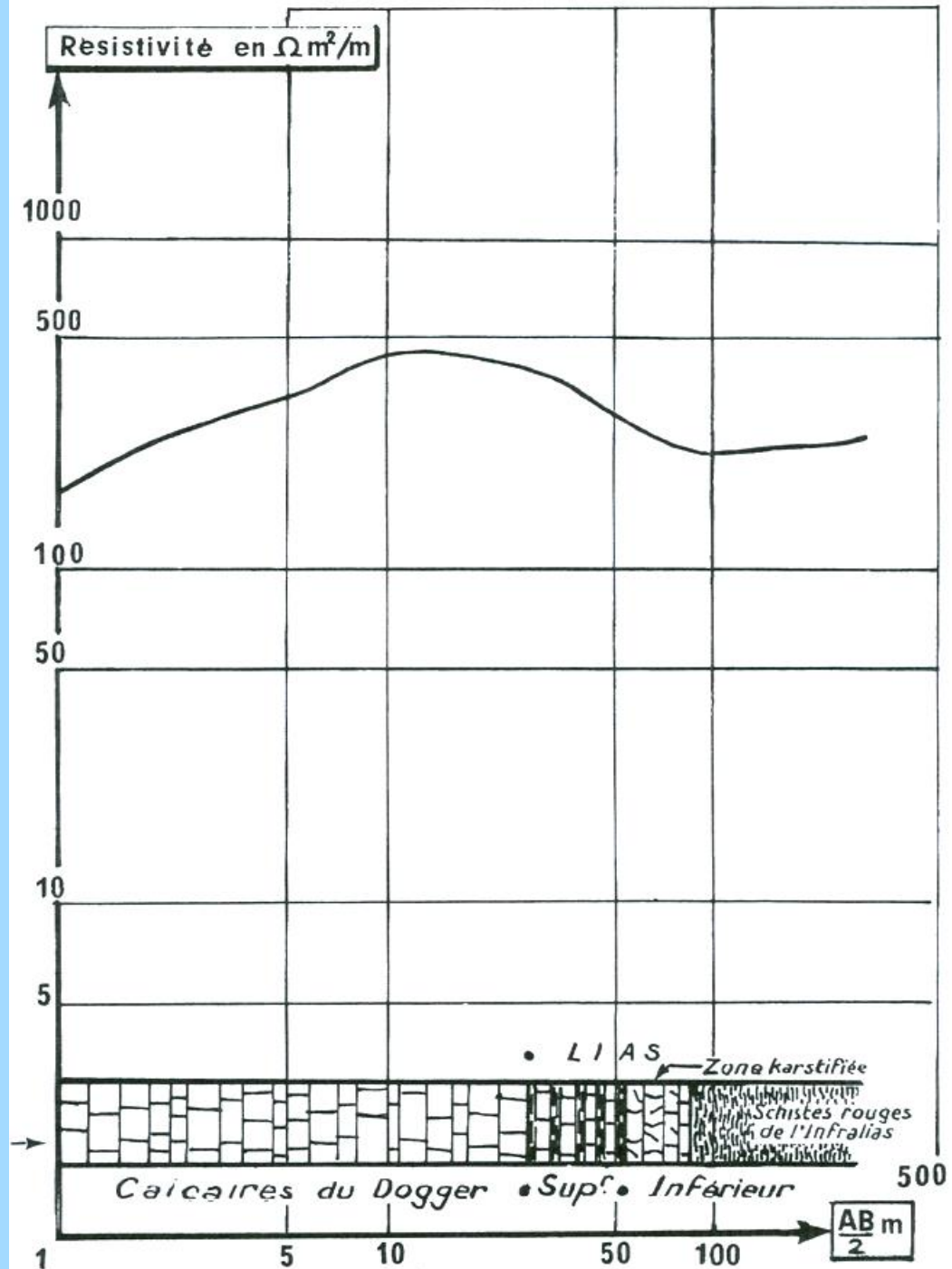
$$\text{Résistivité apparente} = \frac{\text{Tension en Volts}}{\text{Intensité en Ampères}}$$

La détermination de l'épaisseur des couches  $e_1$  et  $e_2$  se fera à l'aide de courbes pré-calculées (abaques) ou par ordinateur avec un algorithme complexe



# Exemple de sondage électrique réalisé dans la Plaine de Luçon-Fontenay

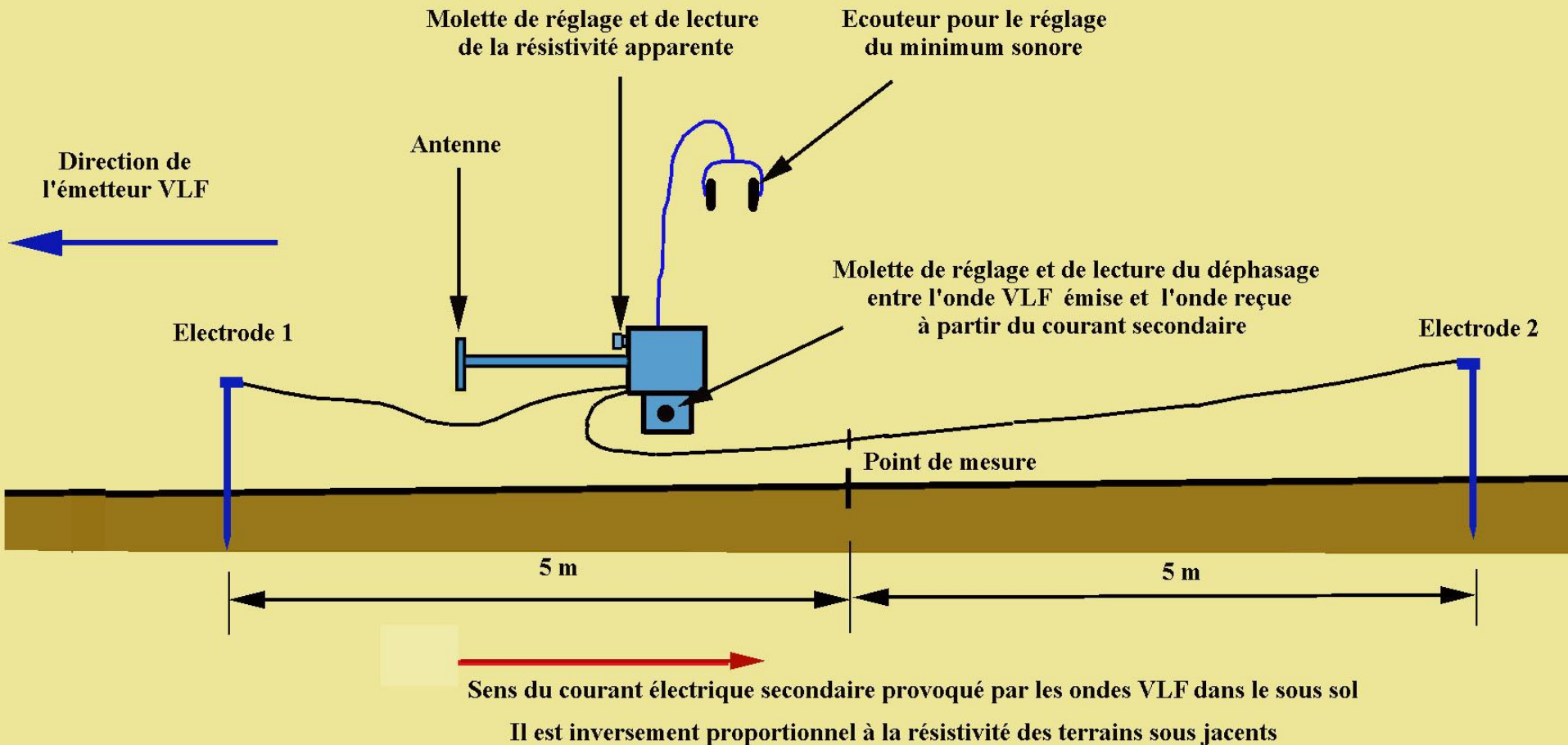
## Coupe géologique interprétative



# Les méthodes électromagnétiques

Celles utilisant les ondes à très basse fréquence pour localiser les zones fracturées dans les terrains de socle ancien (granite, schistes)

## Principe de fonctionnement sur le terrain



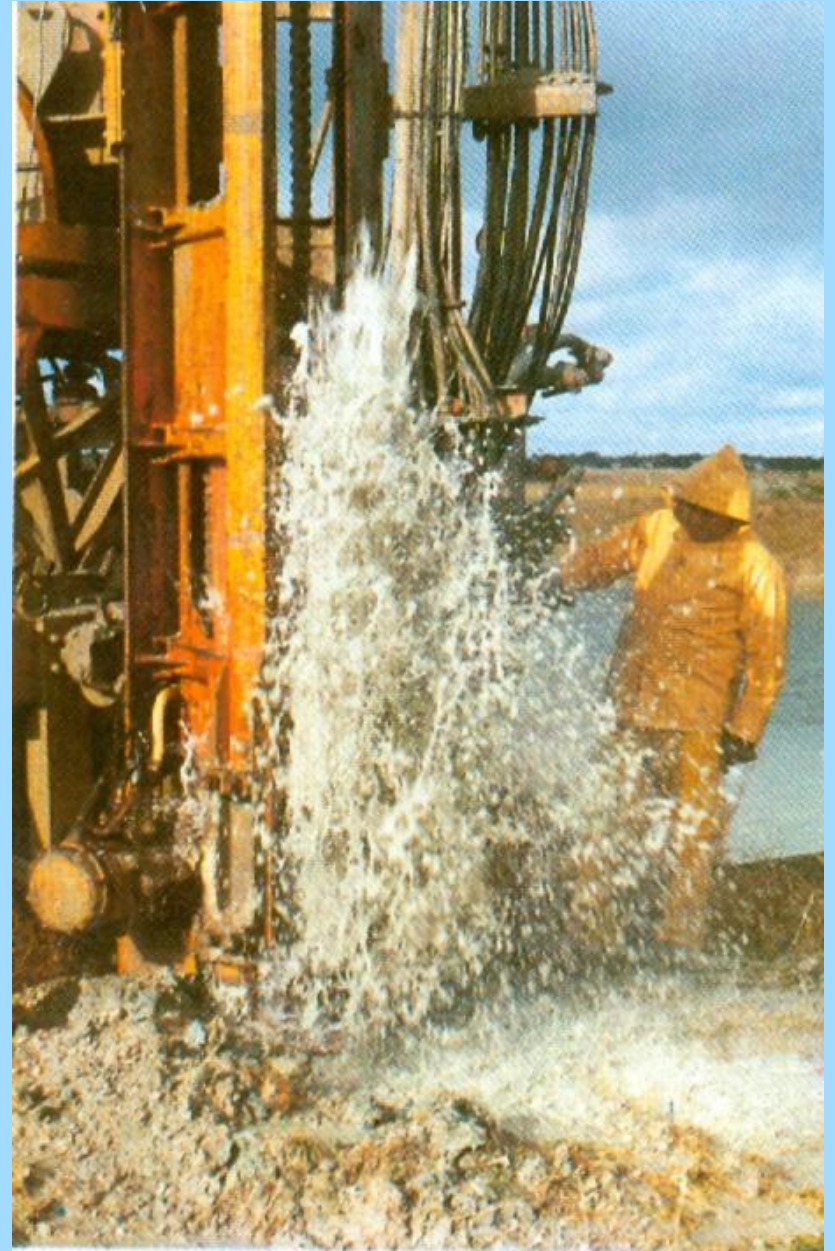
# Le forage

C'est en effet la seule méthode d'investigation qui permet de déterminer avec exactitude la structure géologique du réservoir aquifère, ses limites et sa productivité réelle

Toutefois, étant donné son coût, la réalisation d'un forage de reconnaissance hydrogéologique doit être précédé d'investigations géologiques et géophysiques préalables pour augmenter les chances de réussite d'un tel ouvrage avec une implantation judicieuse sur le terrain.



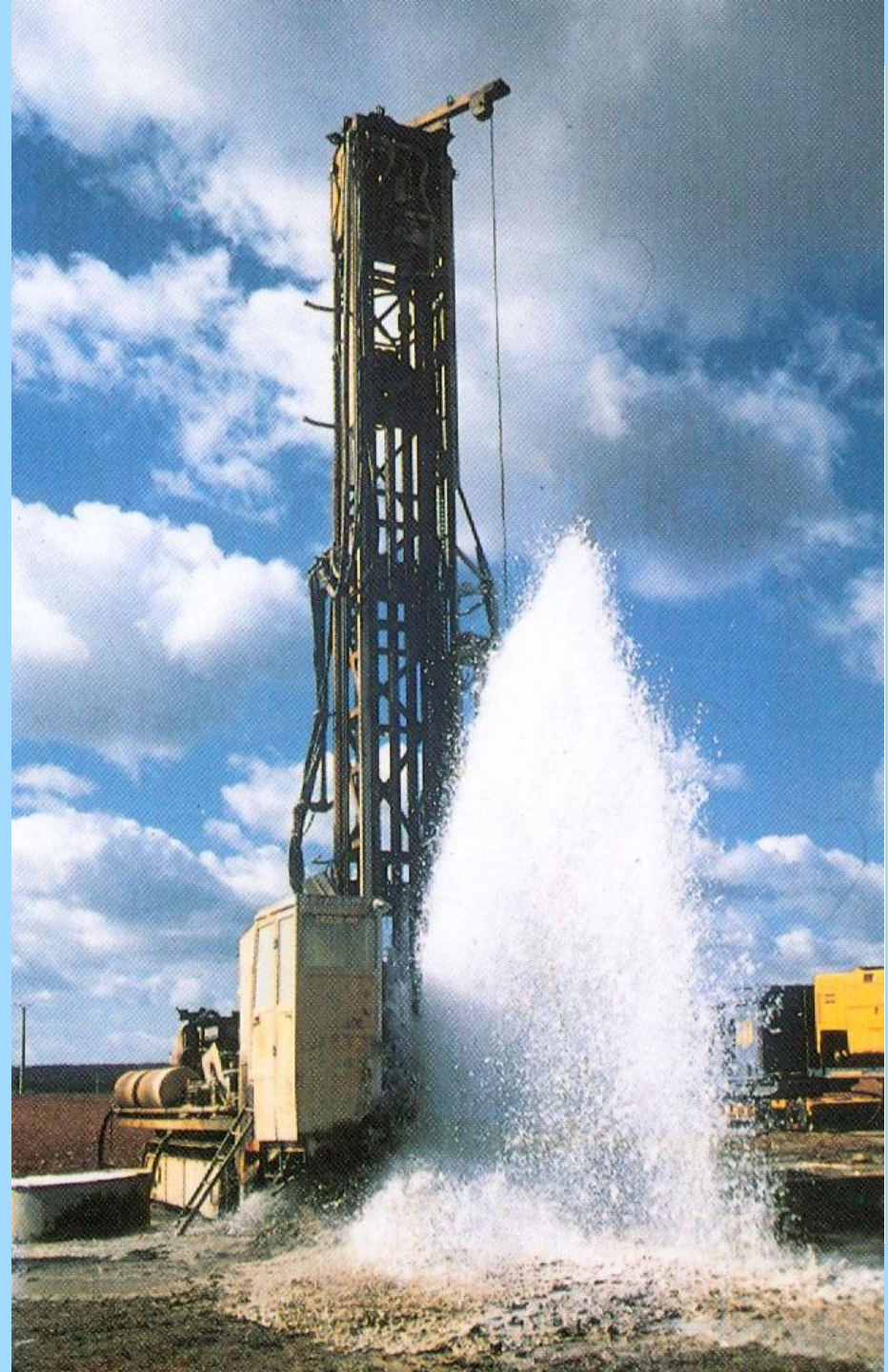
# Le forage d'eau

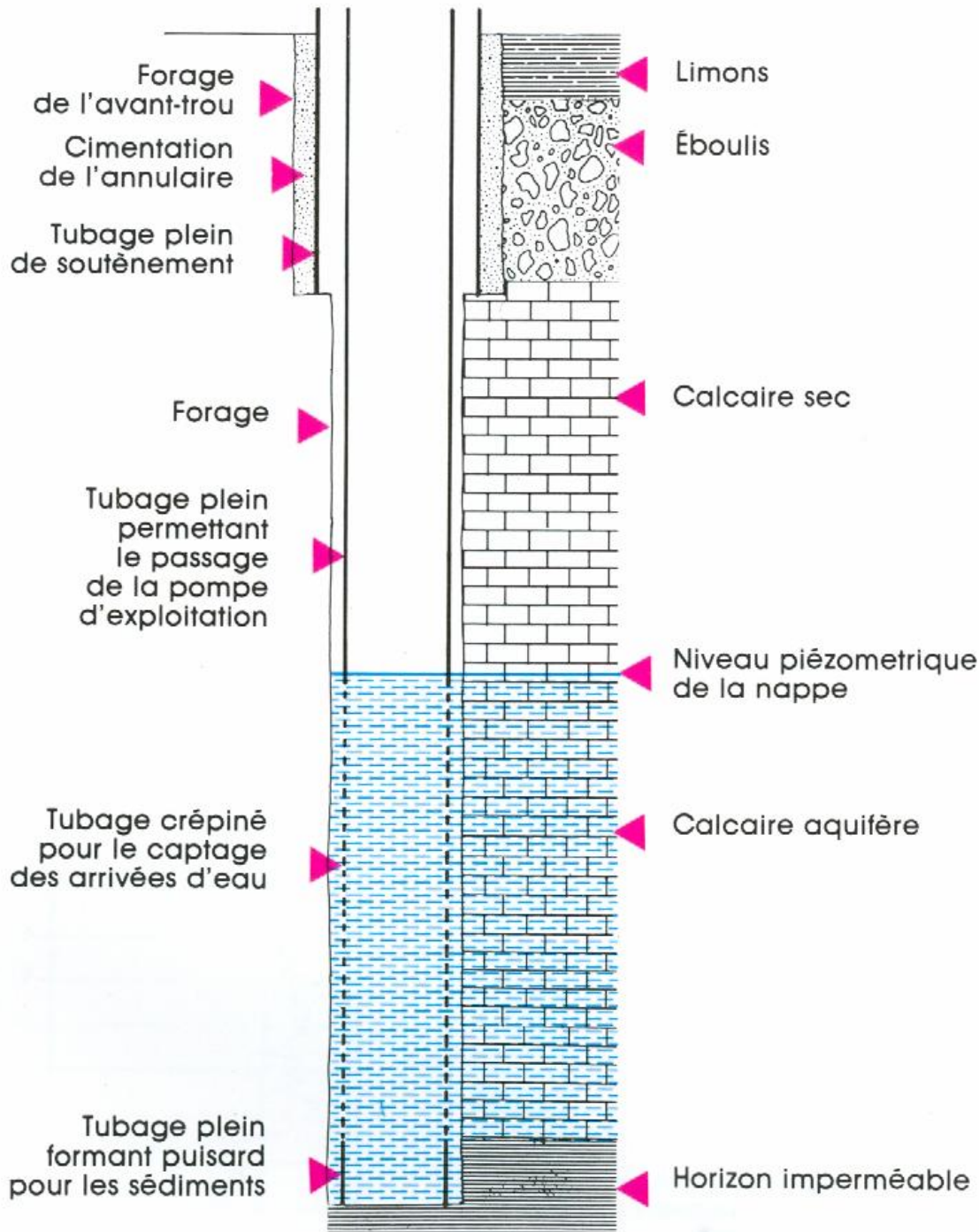


# **Le forage d'eau au marteau fond de trou**

**Une technique innovante et bien adaptée à la recherche et à l'exploitation des eaux souterraines dans les milieux rocheux**

**Lorsque le taillant entre dans la nappe aquifère, le souffle de l'air comprimé fait jaillir l'eau en surface avec les déblais. On peut alors estimer sommairement la productivité du forage en jaugeant le débit écoulé.**





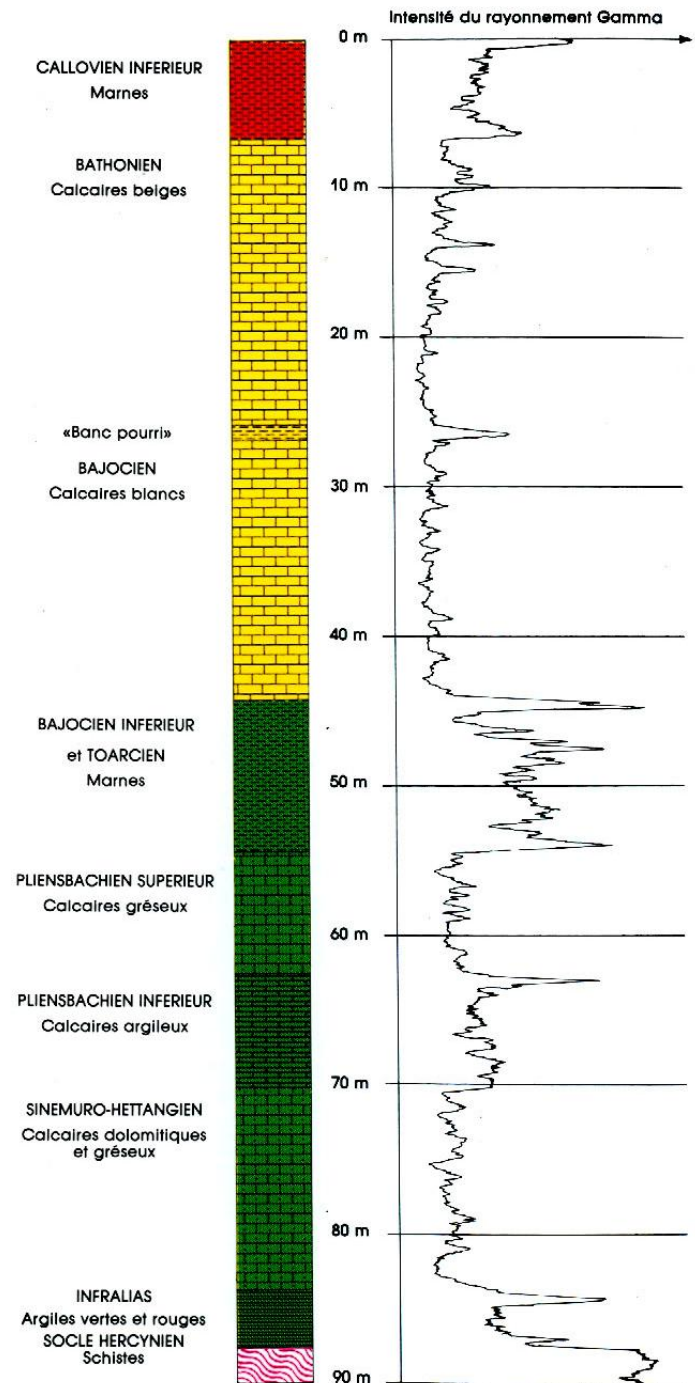
**Schéma  
d'exécution d'un  
forage d'eau  
dans la nappe  
du Dogger  
dans le sud  
de la Vendée**

# La Diagraphie gamma-ray

La descente dans un forage d'une sonde sensible au rayonnement gamma (présence naturelle de phosphates radioactifs dans les roches sédimentaires et le socle ancien).

L'enregistrement en continu du rayonnement gamma permet de reconstituer les différentes couches géologiques après étalonnage.

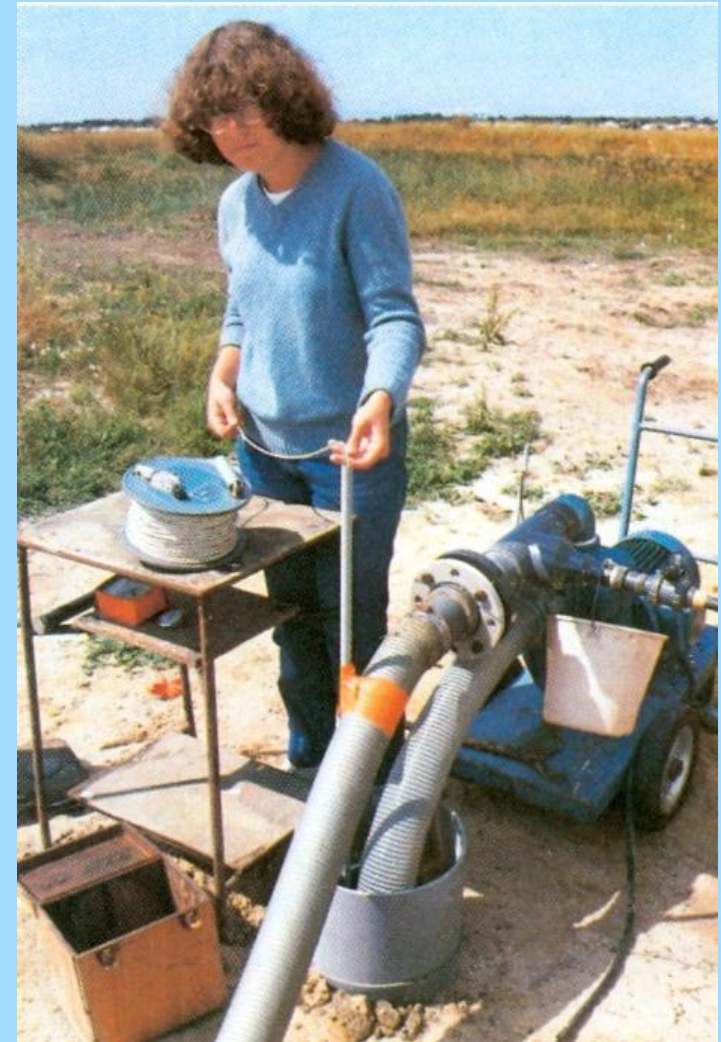
Exemple de diagraphie dans un forage de la Plaine de Luçon-Fontenay



# Le pompage d'essai

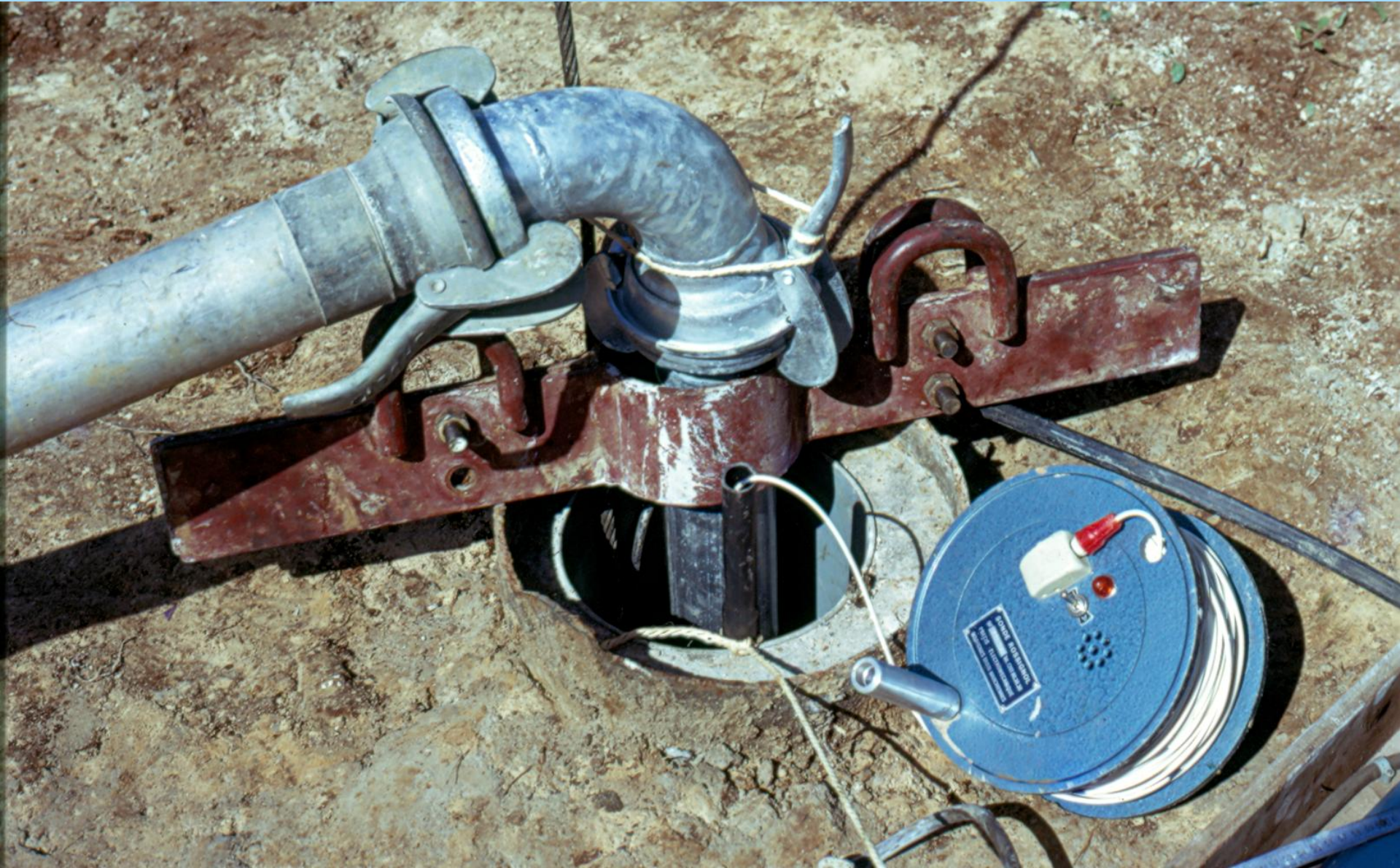
Seule méthode pour tester la productivité réelle de la nappe aquifère

Mesure simultanée du niveau d'eau dans le forage (niveau dynamique) et du débit

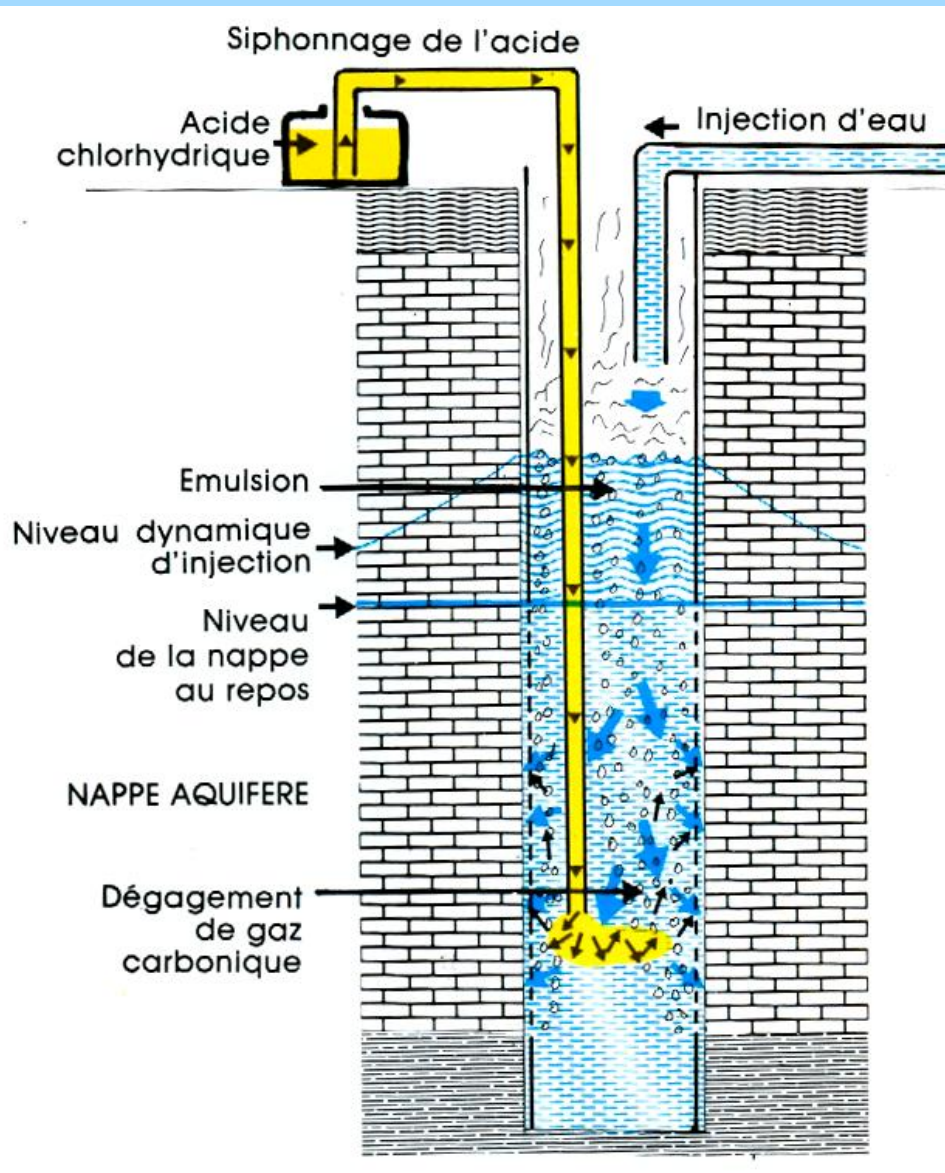


Niveau dynamique – niveau initial de la nappe = rabattement

# La mesure du niveau d'eau dans un forage avec une sonde électrique



# Acidification d'un forage dans une nappe aquifère en milieu calcaire



Pour nettoyer et agrandir les fissures aquifères de la roche



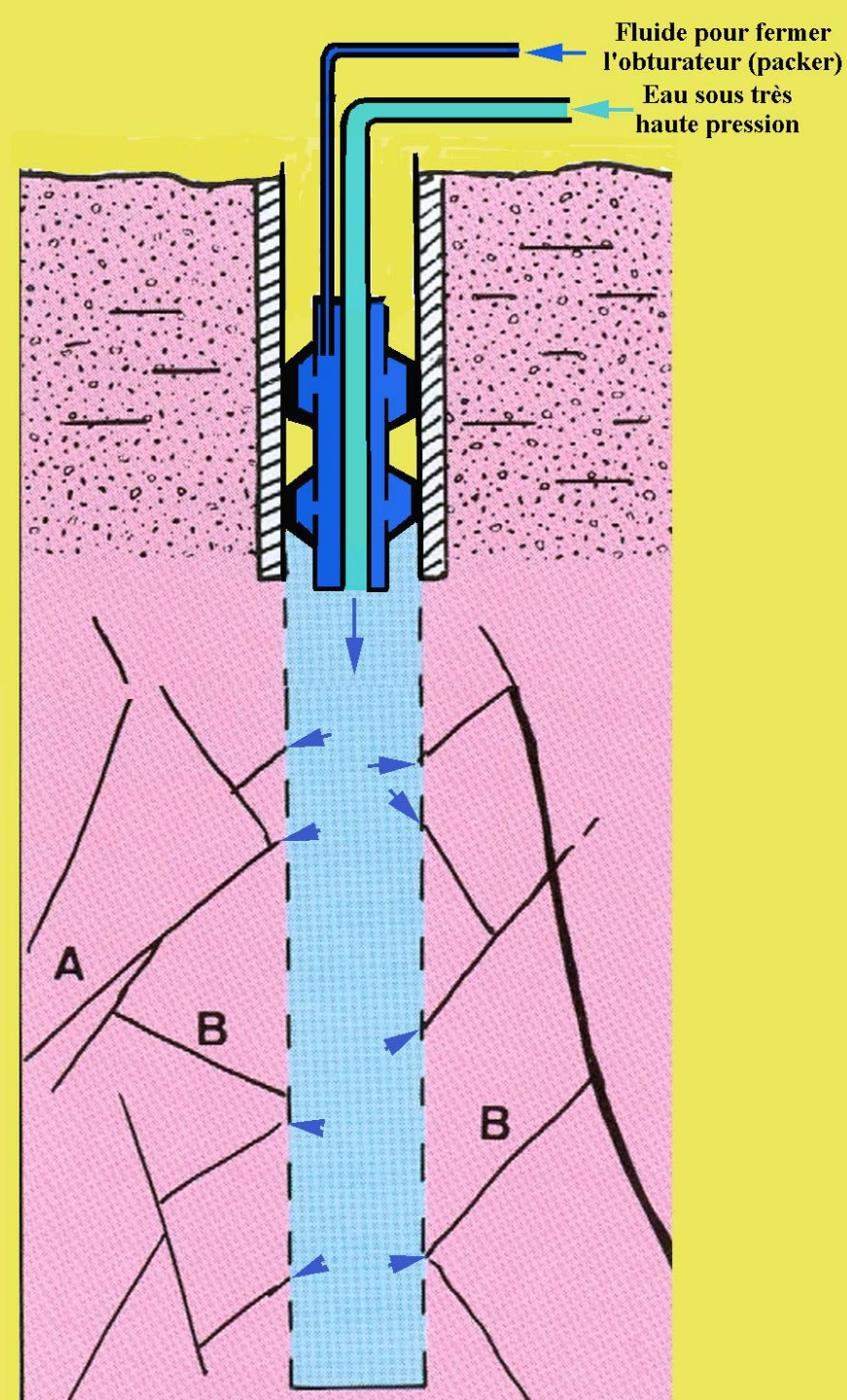
# Le pompage de nettoyage d'un forage





# La fracturation hydraulique

Dans les terrains de socle ancien (granites, schistes) ne réagissant pas à l'acide chlorhydrique pour agrandir les fissures aquifères



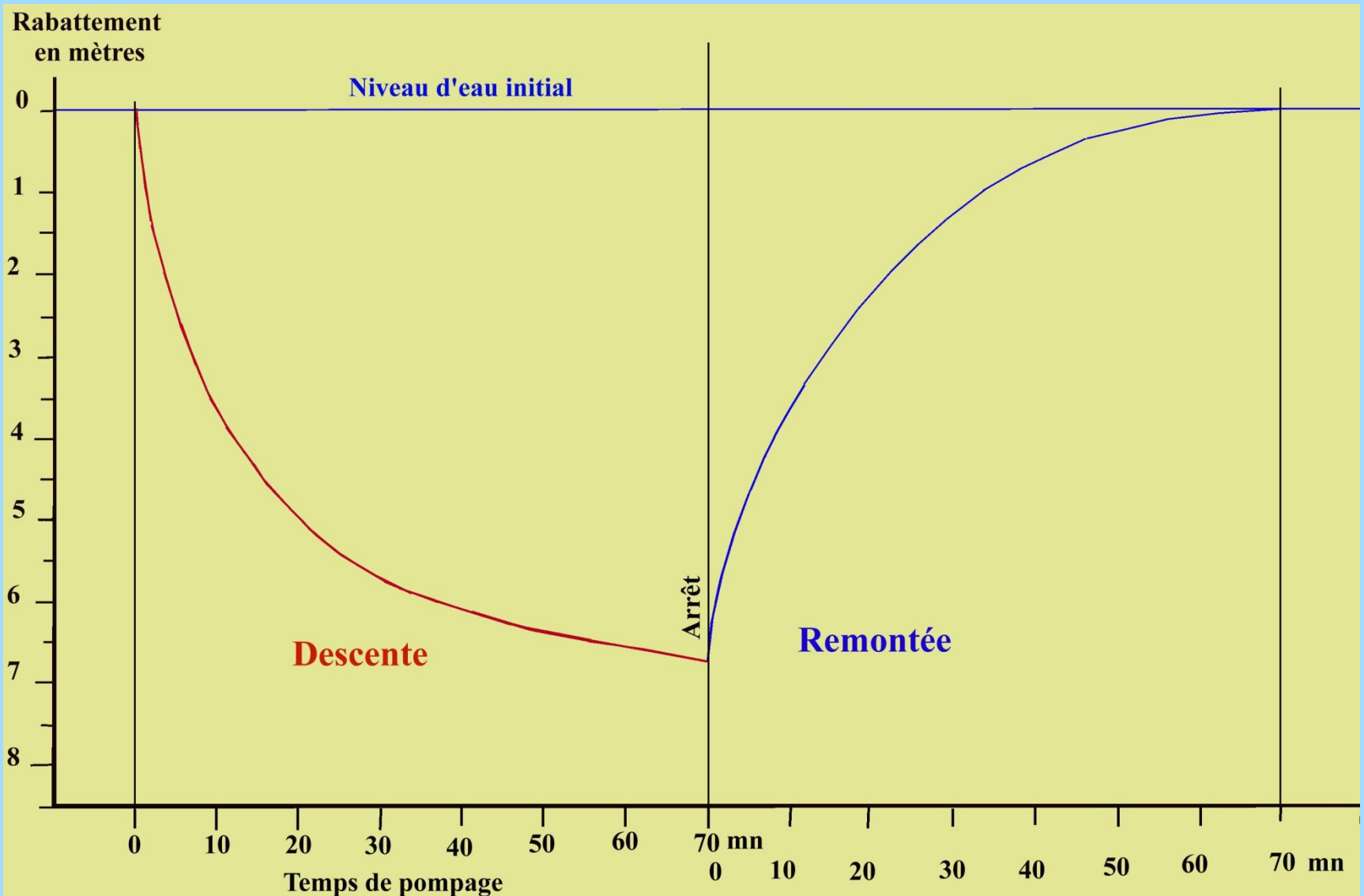
# Surveillance en continu des nappes aquifères



**Le LIMNIGRAPHE**  
est un enregistreur du  
niveau d'eau dans un  
forage d'observation  
de la nappe  
(piézomètre)

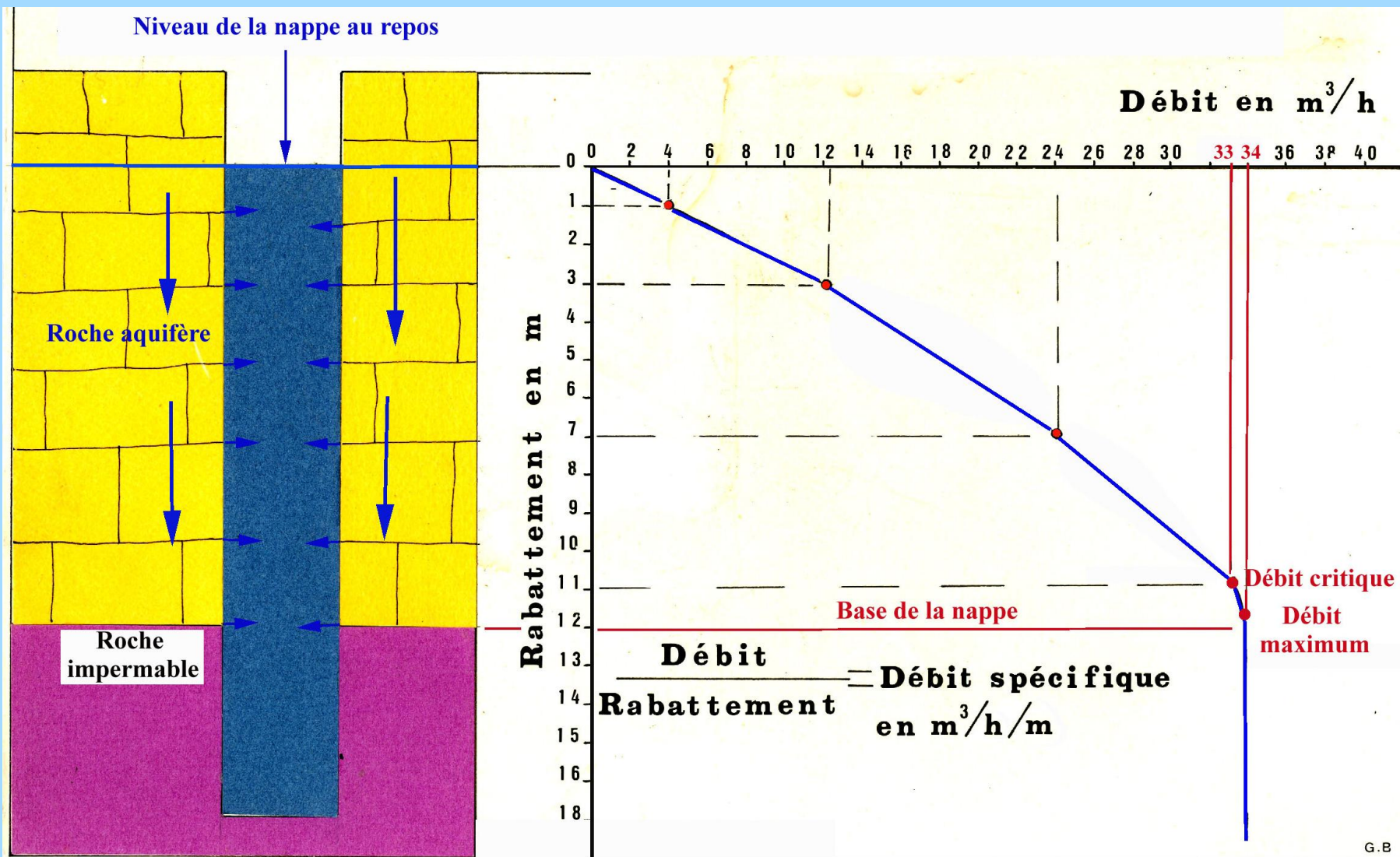
# Pompage à débit constant

## Courbes de descente et de remontée du niveau d'eau



# Pompage d'essai à paliers de débit

## Courbe caractéristique et débit spécifique d'un forage



# Pompage en régime transitoire

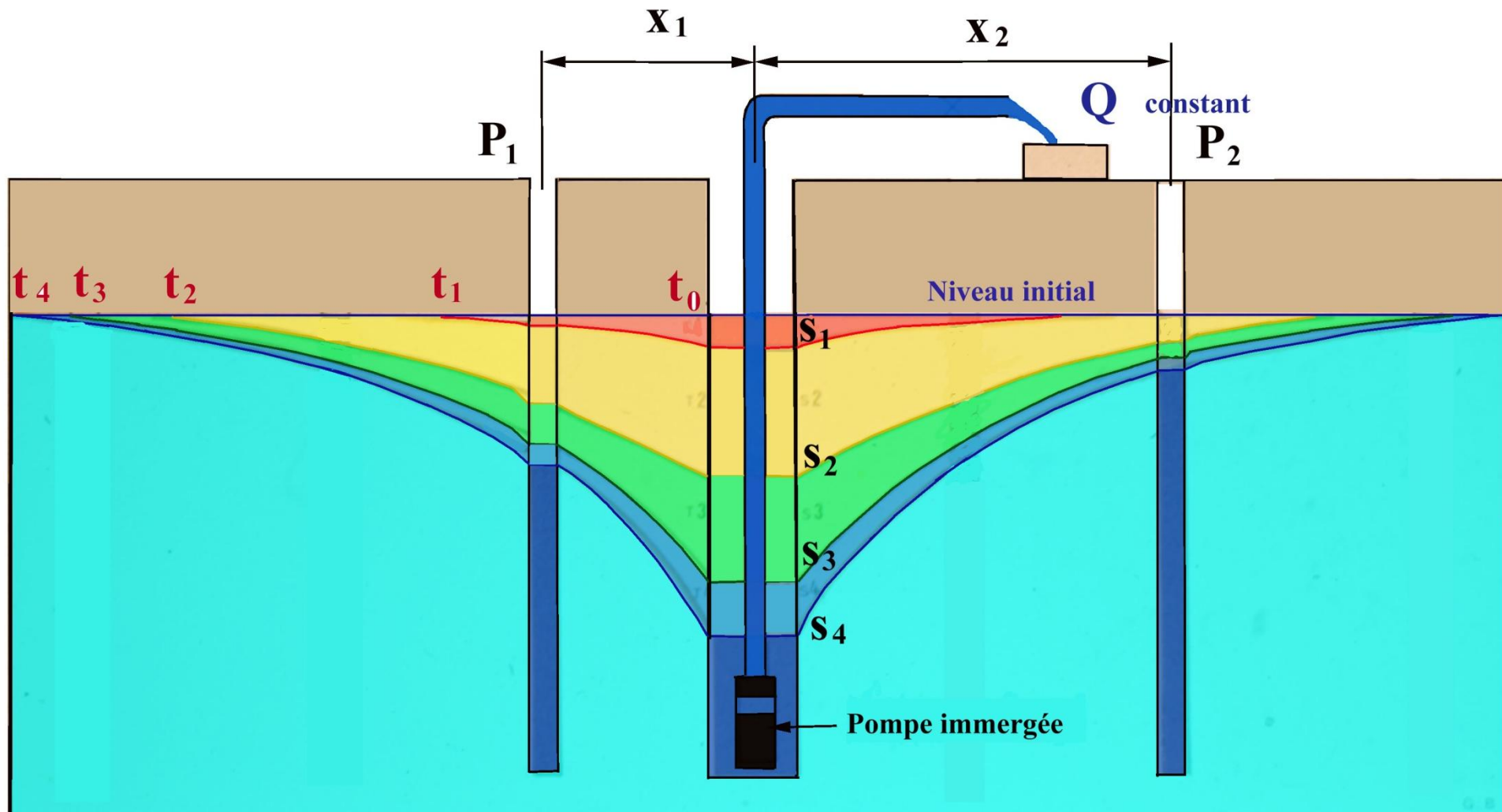
Pour le calcul de la **Transmissivité** et du **Coefficient d'emmagasinement** de la nappe aquifère

Pour le calcul de la **Transmissivité**, pompage à débit constant avec mesure des niveaux dynamiques suivant une progression logarithmique du temps

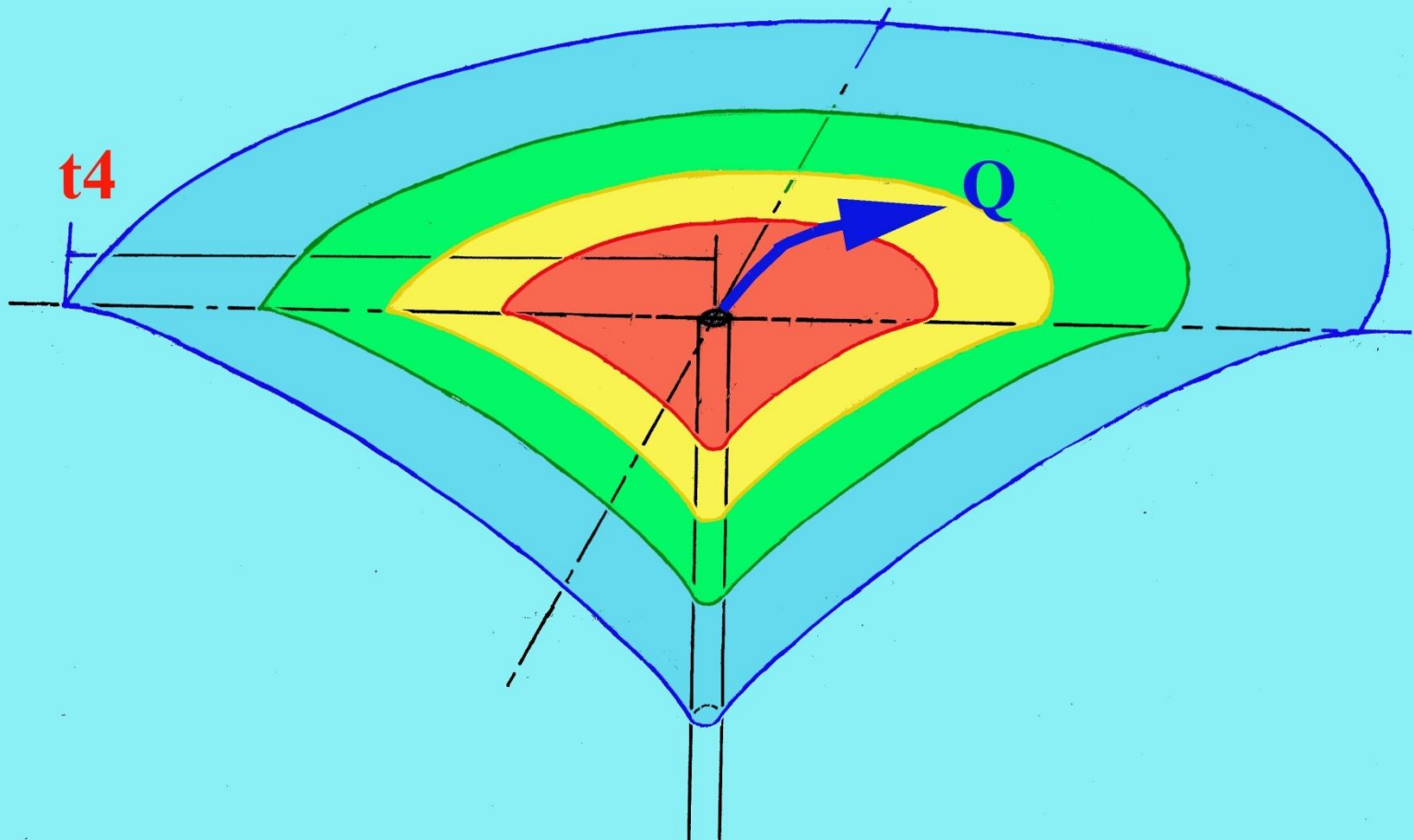
Pour le calcul du **Coefficient d'emmagasinement**, mesure des niveaux dynamiques dans un ou plusieurs piézomètres d'observation situés à quelque distance du puits de pompage.

# Pompage en régime transitoire

Méthode dite de « non équilibre »



Pour un débit constant  $Q$ , évolution du cône de rabattement en fonction du temps  $t$



# Calcul des paramètres aquifères :

## Transmissivité, Coefficient d'emmagasinement

Par la méthode graphique d'approximation logarithmique

À partir de la formule de Jacob:

$$s = \frac{0,183 Q}{T} \log \left( \frac{2,25 T.t}{x^2 \cdot S} \right)$$

Avec :

s : le rabattement en m dans le piézomètre d'observation

Q : le débit en m<sup>3</sup>/h

T : la transmissivité en m<sup>2</sup>/h

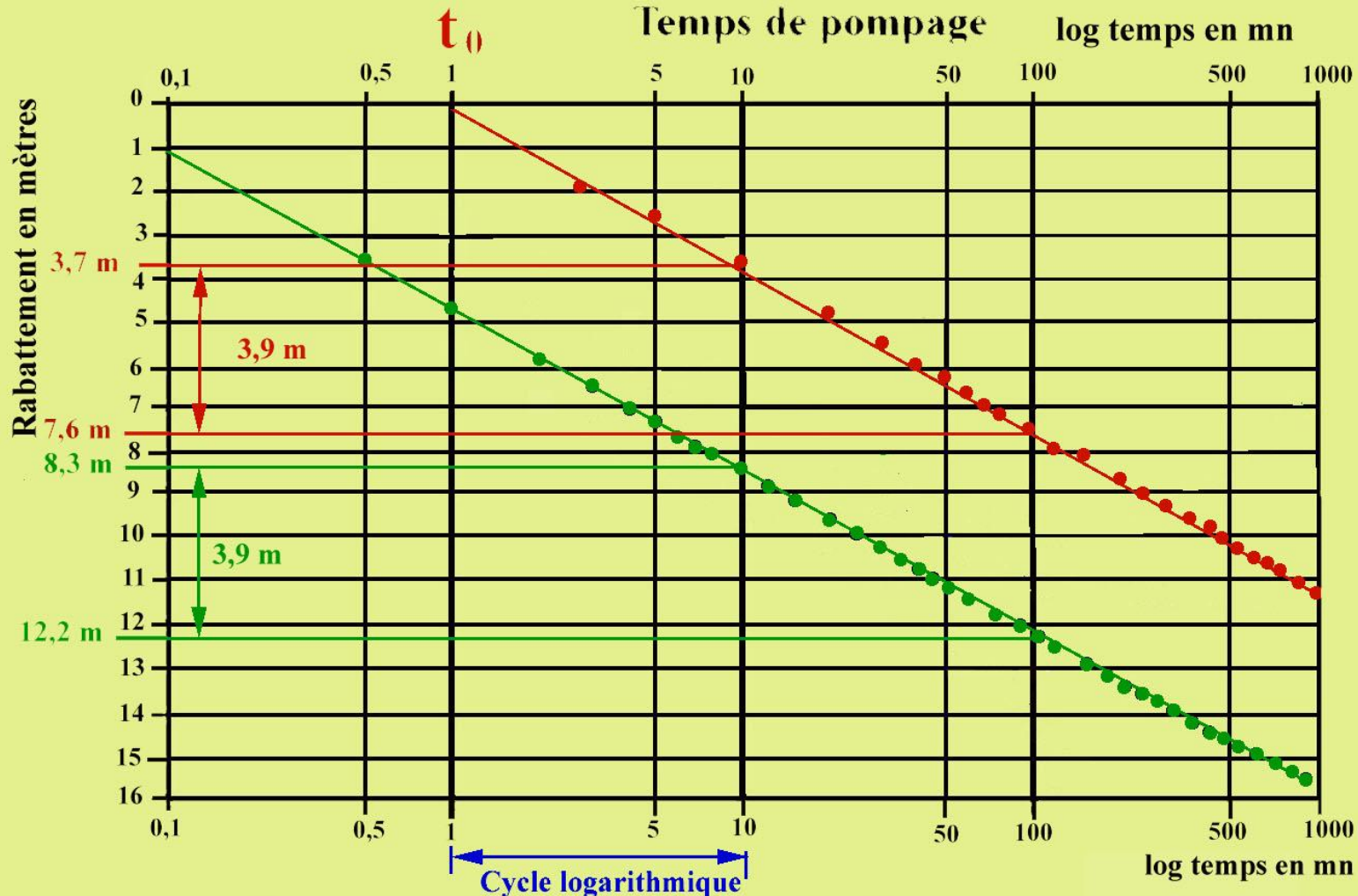
t : le temps de pompage en h

S : le coefficient d'emmagasinement

x : la distance en m du piézomètre au puits de pompage



# Résolution graphique de T et S



$$Q = 2 \text{ m}^3/\text{mn}$$

$$c = 3,9 \text{ m}$$

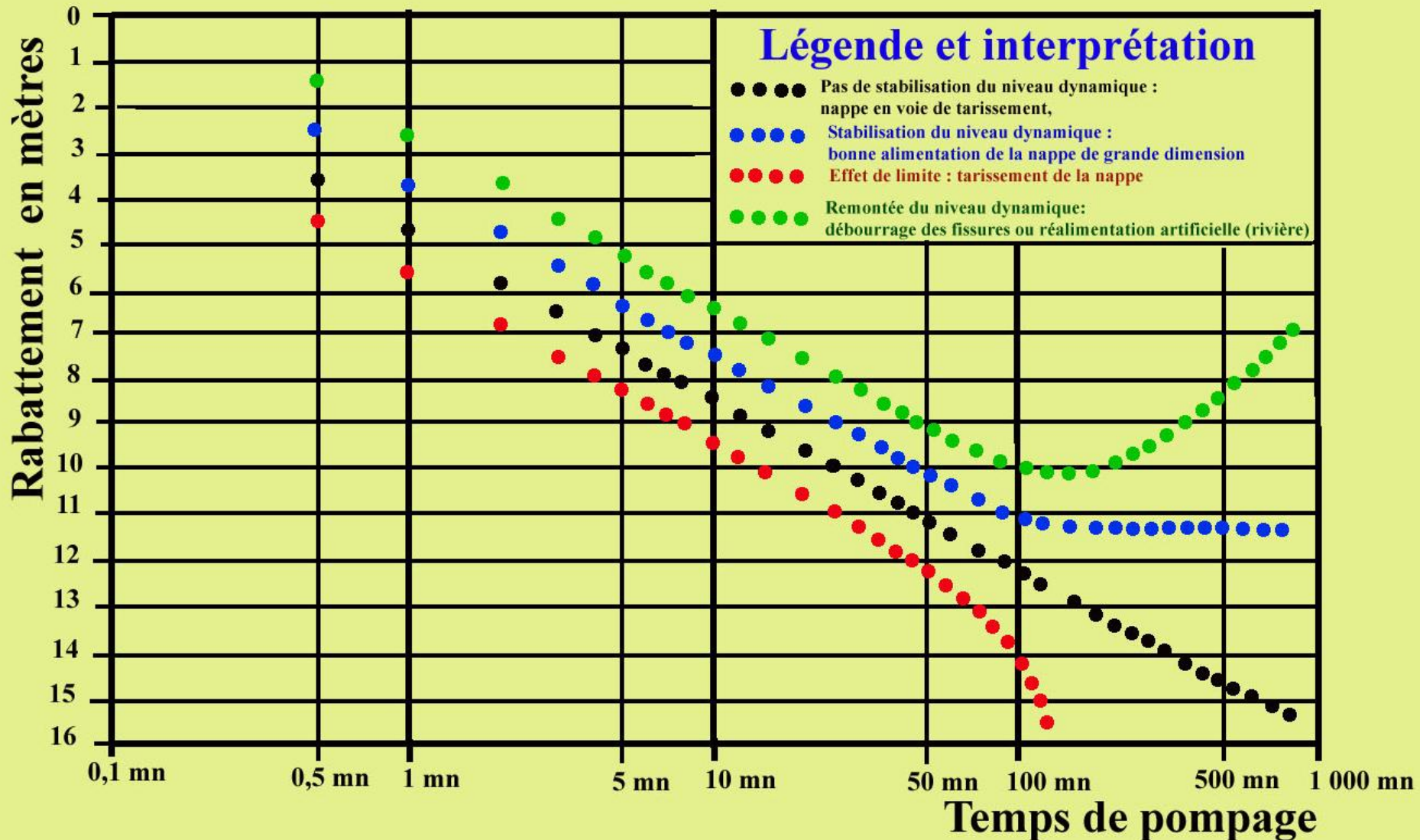
$$x = 10 \text{ m}$$

$$t_0 = 1 \text{ mn}$$

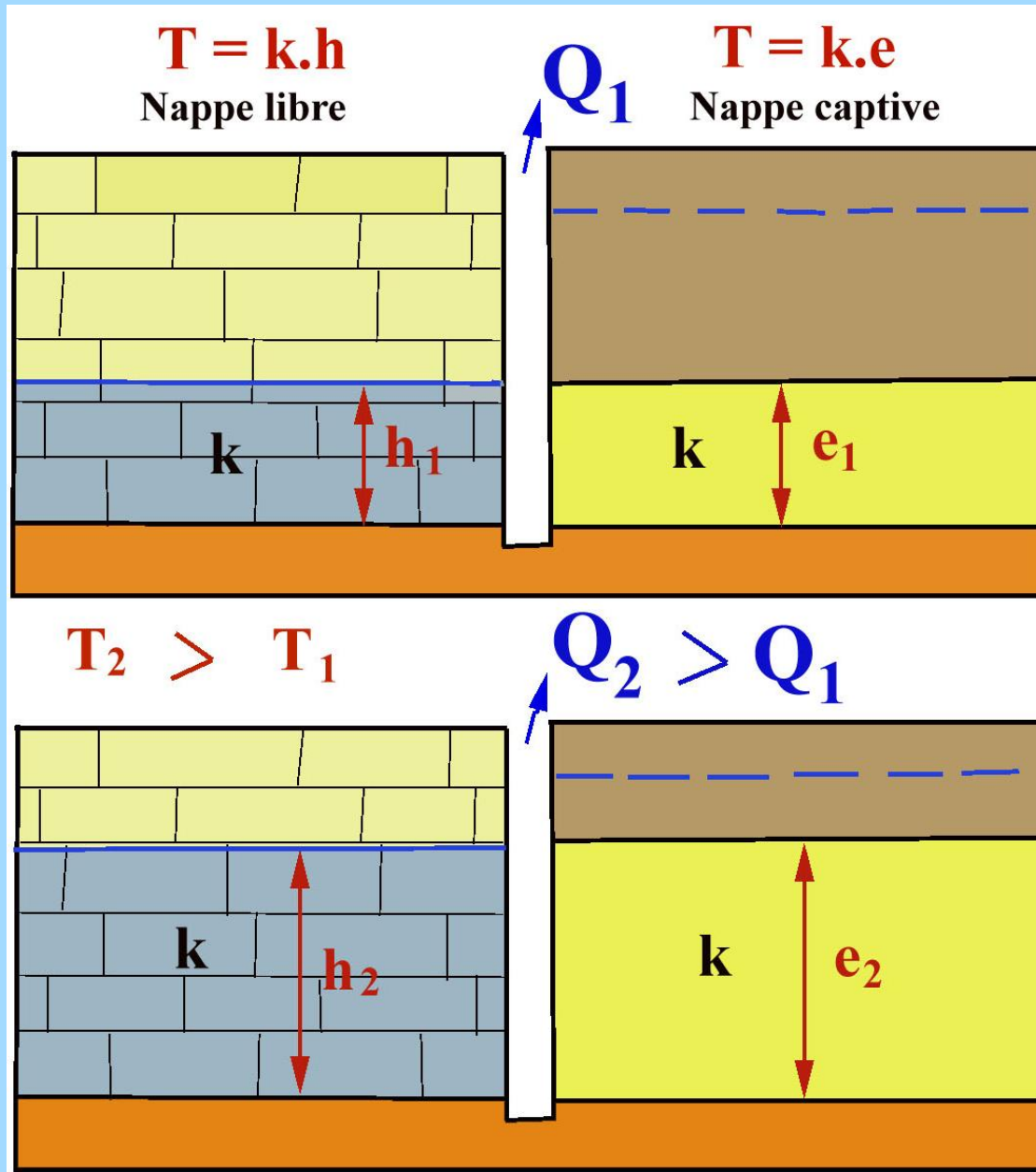
$$T = \frac{0,183 Q}{c} = \frac{0,183 \cdot 2 \text{ m}^3/\text{mn}}{3,9 \text{ m}} = 0,038 \text{ m}^2/\text{mn} = 5,63 \text{ m}^2/\text{h}$$

$$S = \frac{2,25 T \cdot t_0}{x^2} = \frac{2,25 \cdot 0,038 \text{ m}^2/\text{mn} \cdot 1 \text{ mn}}{100 \text{ m}^2} = 0,085 \%$$

# Interprétation de la courbe de descente du niveau dynamique au cours du pompage d'essai

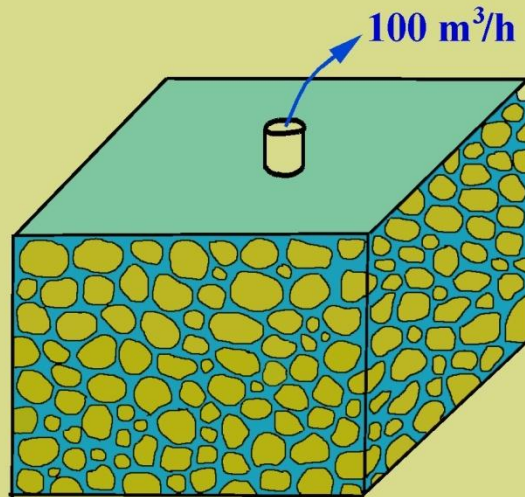


# Influence de la Transmissivité sur le débit exploitable

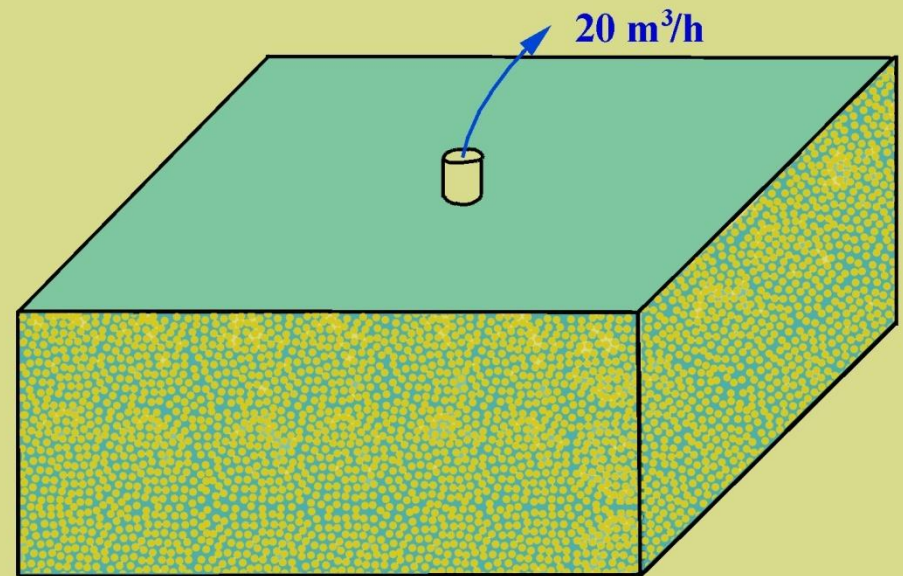


# Débit exploitable par forage

Il dépend essentiellement de la transmissivité de l'aquifère et non du volume d'eau disponible dans la nappe



Nappe n° 1



Nappe n° 2

Volume de la roche aquifère :  $250\,000\text{ m}^3$

Porosité efficace : 4%

Volume d'eau libre :  $10\,000\text{ m}^3$

Transmissivité :  $T_1$

Débit exploitable par forage :  $100\text{ m}^3/\text{h}$

$10\,000\,000\text{ m}^3$

1%

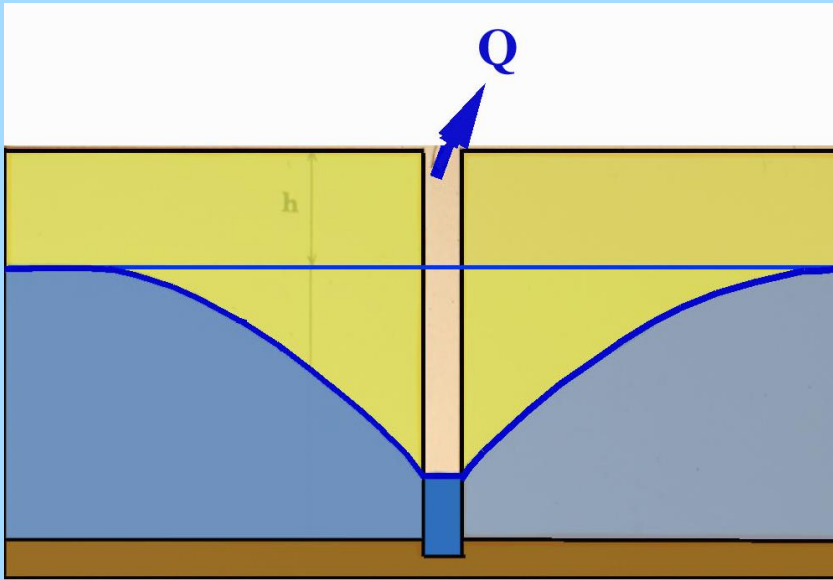
$100\,000\text{ m}^3$

$T_2$

$20\text{ m}^3/\text{h}$

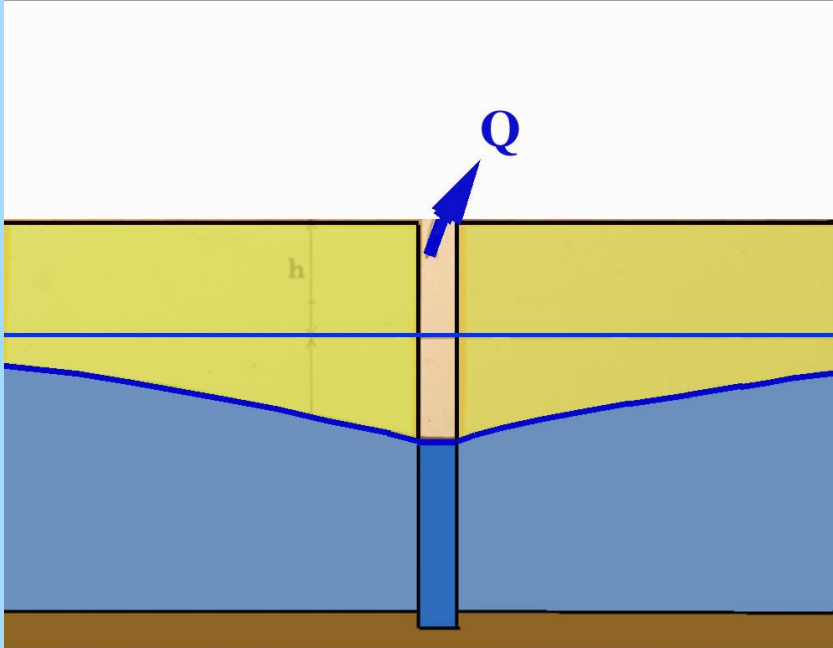
$$T_1 = 5 T_2$$

# Influence respective de la transmissivité et du coefficient d'emménagement sur le cône de rabattement



**Transmissivité faible**  
**Coefficient**  
**d'emménagement élevé**

A l'instant  $t$  pour le débit  $Q$ , le cône de rabattement dans la nappe est restreint



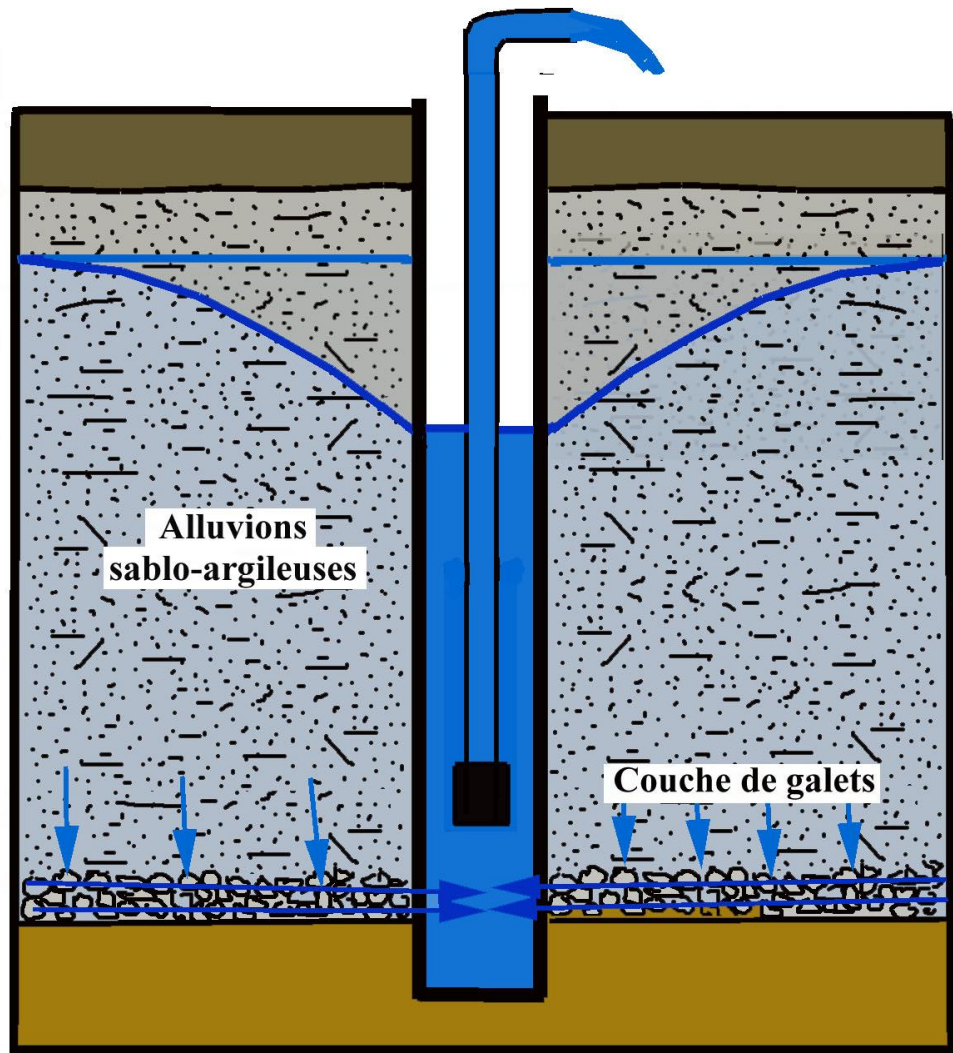
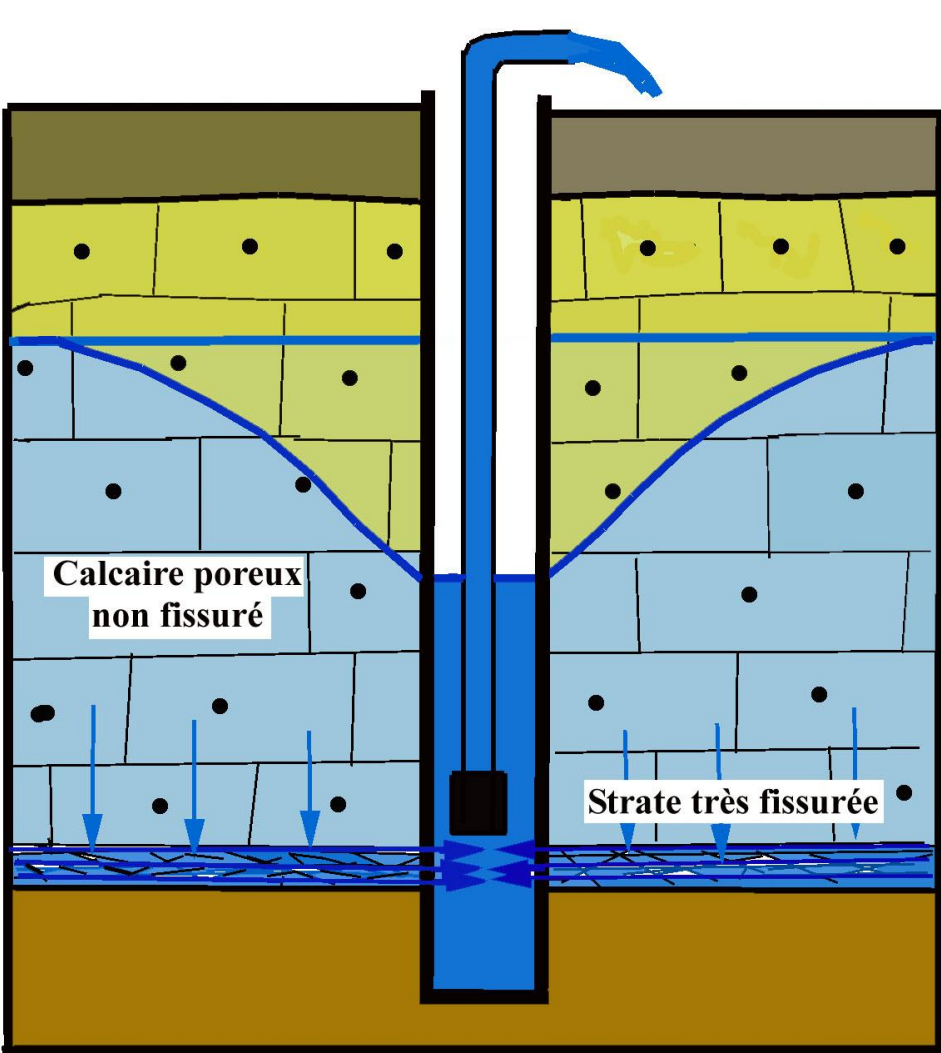
**Transmissivité élevée**  
**Coefficient**  
**d'emménagement faible**

Au même instant  $t$  pour le même débit  $Q$ , le cône de rabattement dans la nappe est très étendu

# Strate conductrice

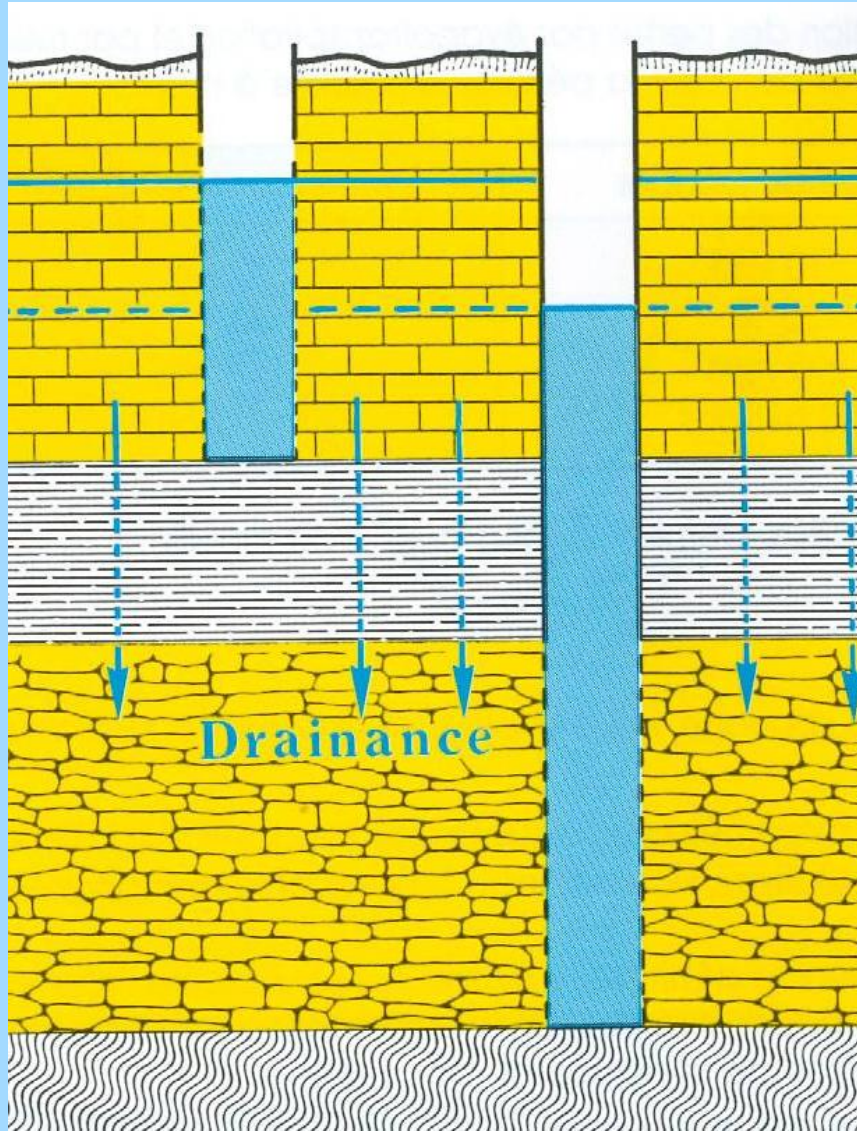
Milieu rocheux

Milieu alluvionnaire



# La drainance aquifère

La nappe captive sous jacente peut drainer une partie de l'eau de la nappe libre si son niveau piézométrique est inférieur et vice versa



Nappe libre

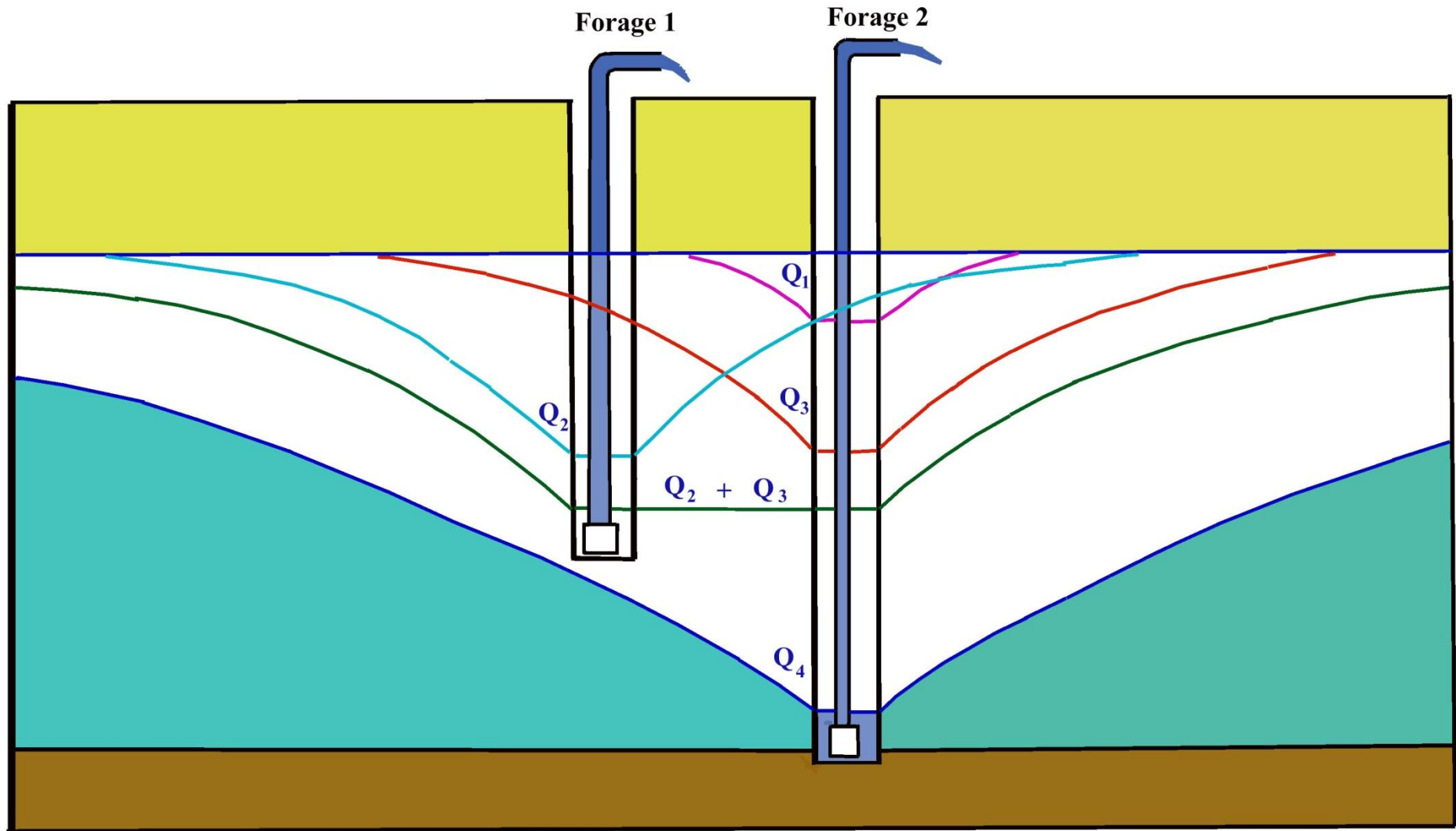
Horizon semi-perméable

Nappe captive

Substratum

Une nappe captive surmontée d'une couche semi-perméable de 20 m d'épaisseur ayant une perméabilité de  $1 \cdot 10^{-6}$  m/s recevra un débit de  $180 \text{ m}^3/\text{h}$  par  $\text{km}^2$  si la différence de niveau est de seulement 1 m

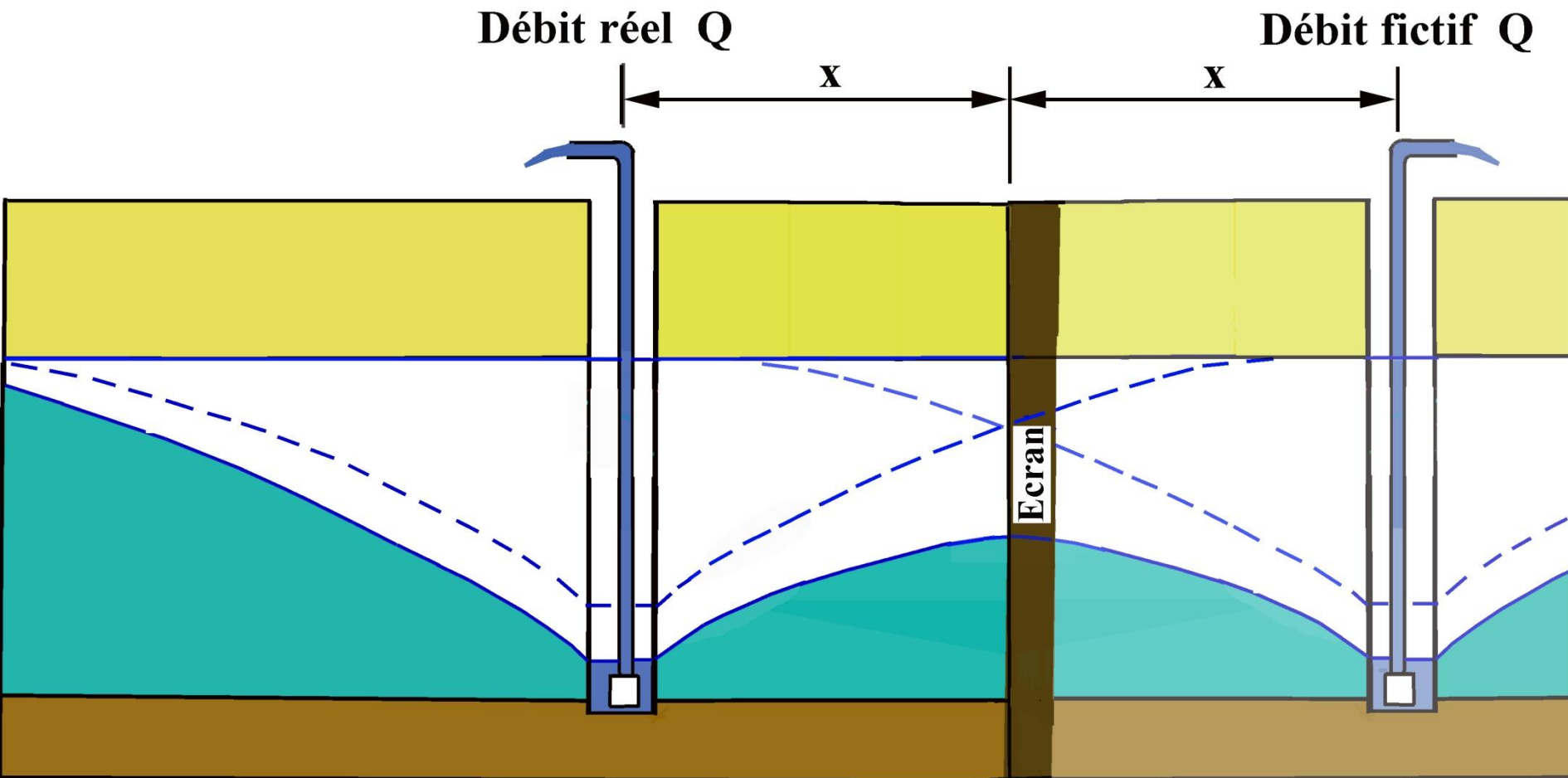
# Interférence entre deux forage exploités



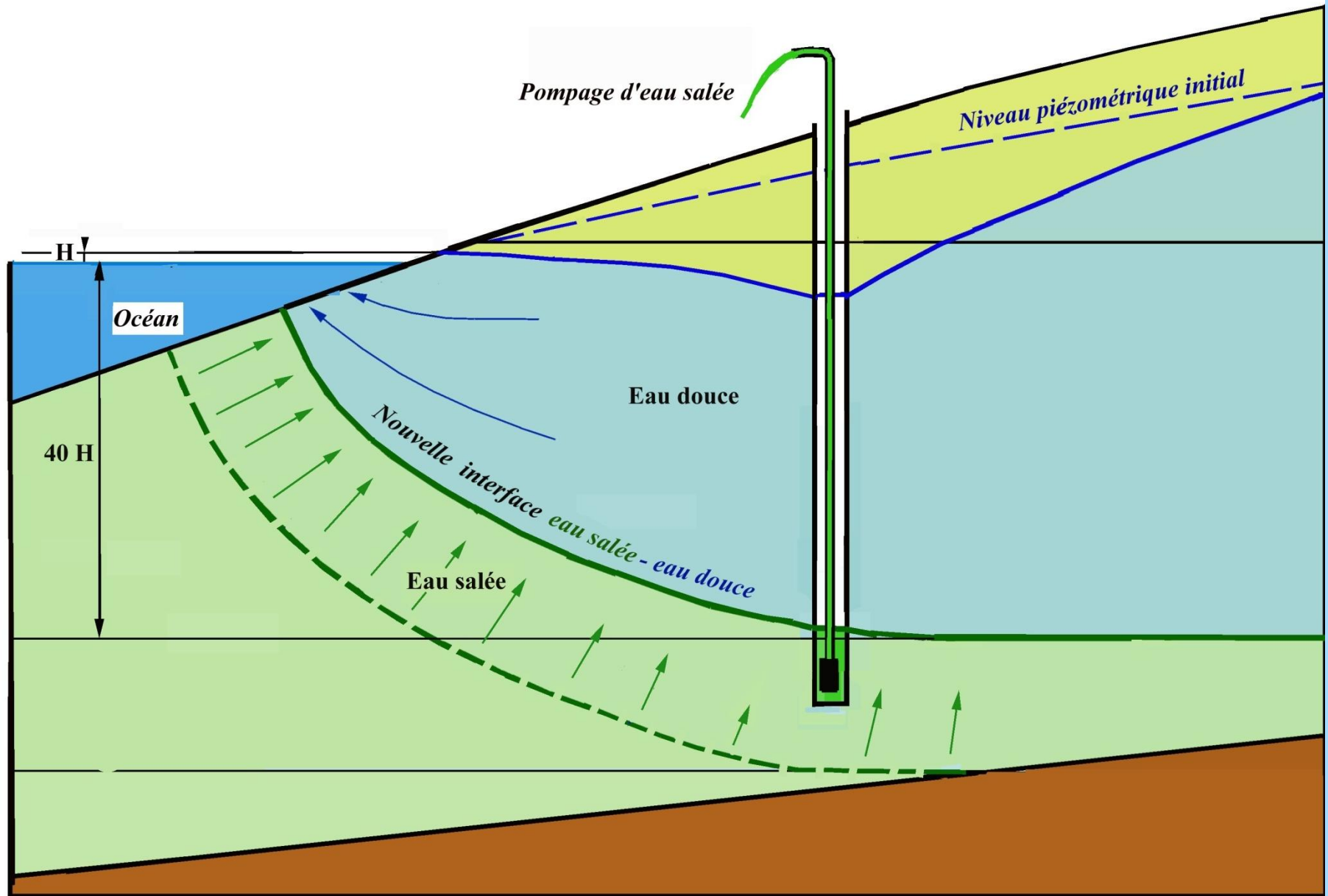


# Effet d'écran en cours de pompage

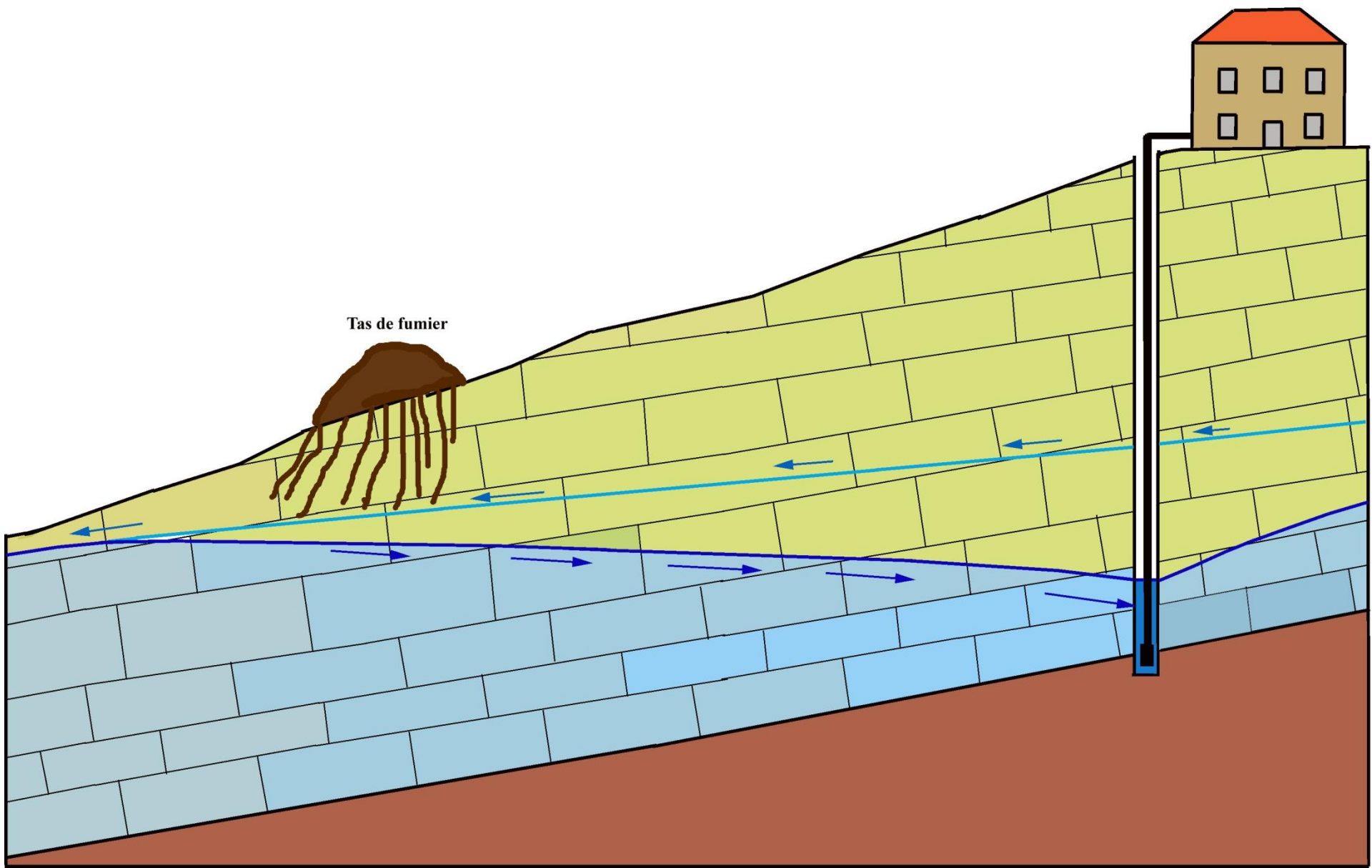
Assimilable à la mise en route d'un forage fictif symétrique à l'écran



# Influence du rabattement sur le biseau salé



# Influence du rabattement sur la pollution



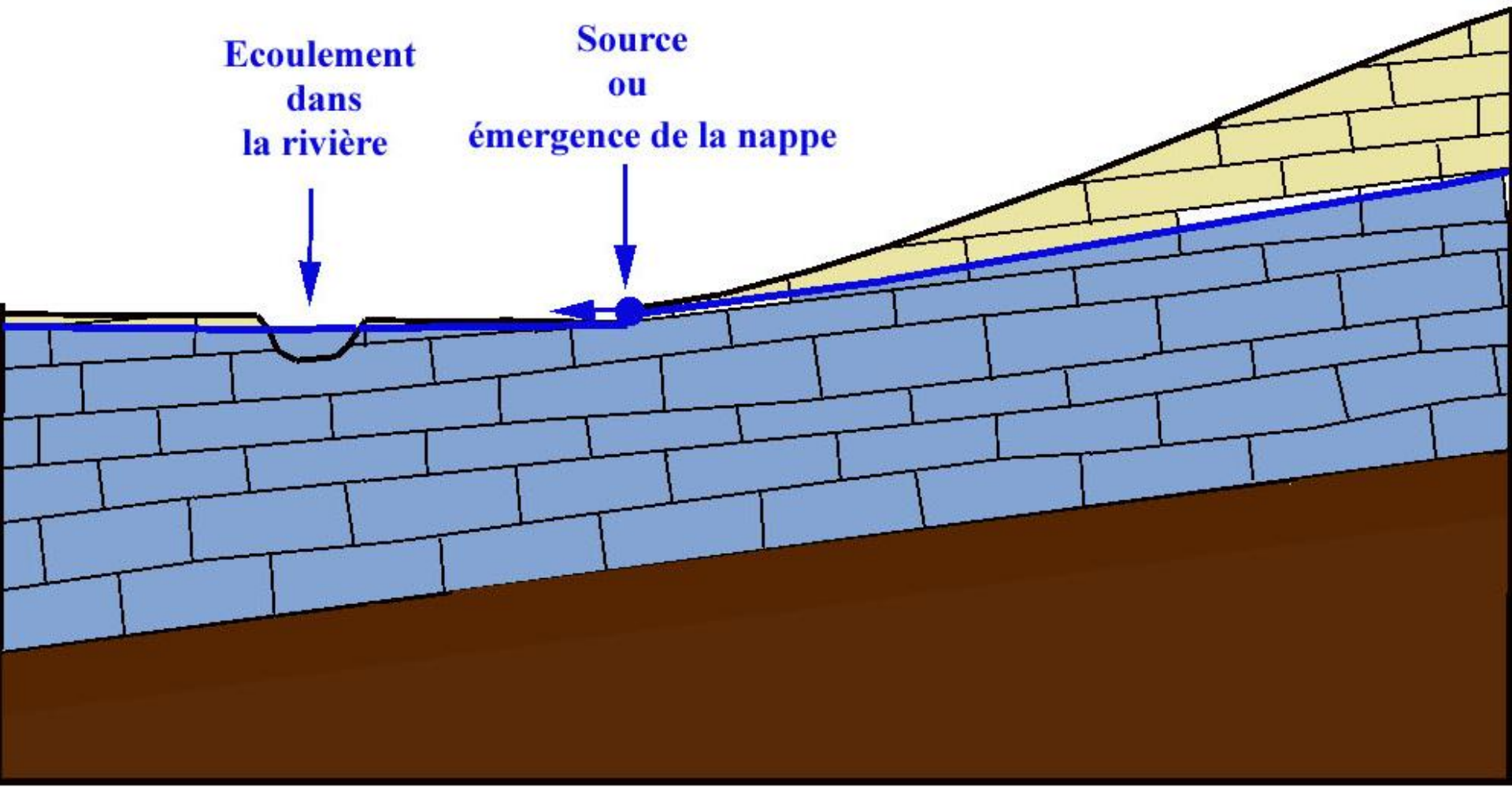
# Les sources

Ce sont les émergences à l'air libre d'eaux souterraines lorsque la surface piézométrique de la nappe coïncide avec la surface du sol

Plusieurs types de sources

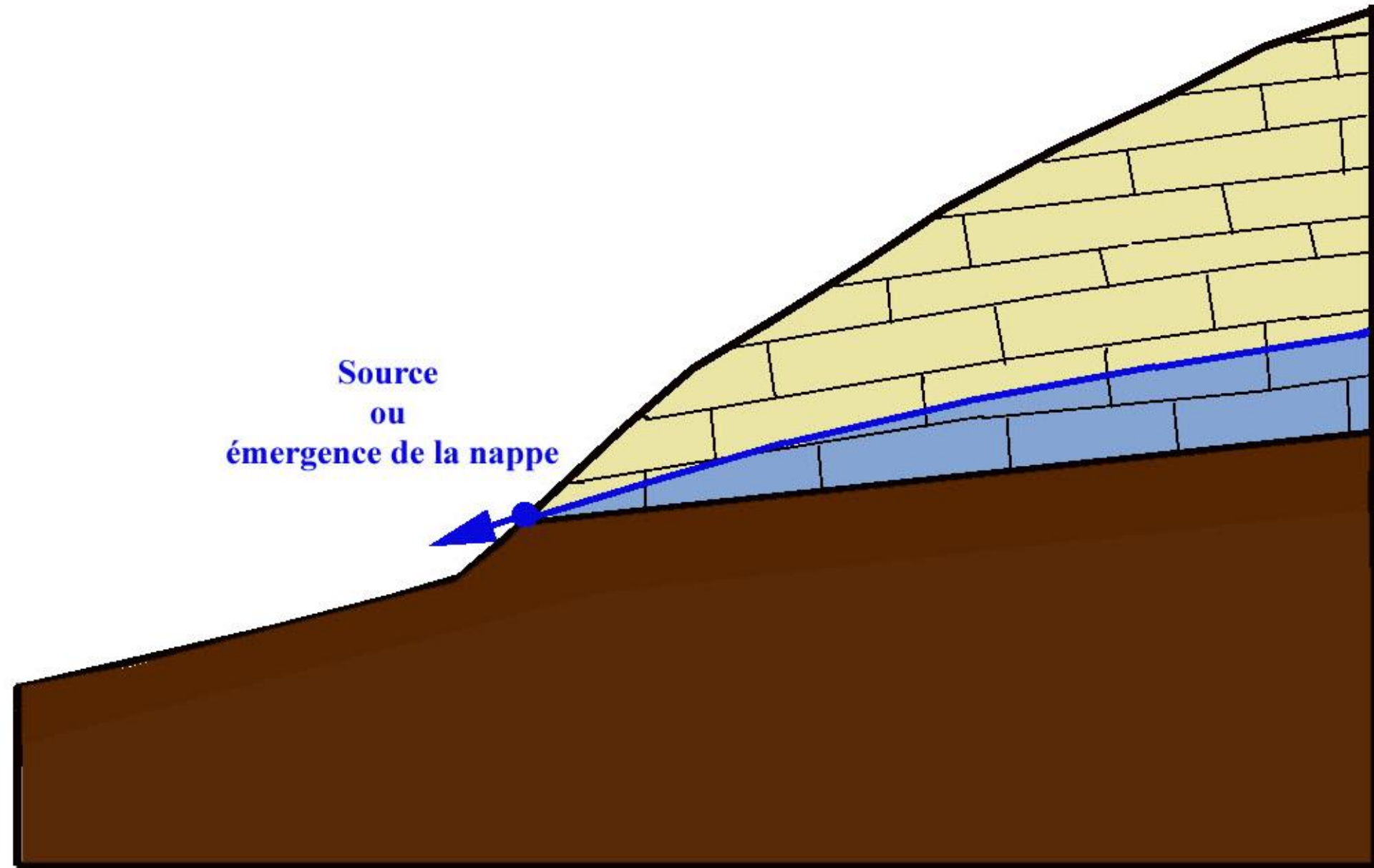
# Les sources temporaires

Période de hautes eaux  
hiver - printemps

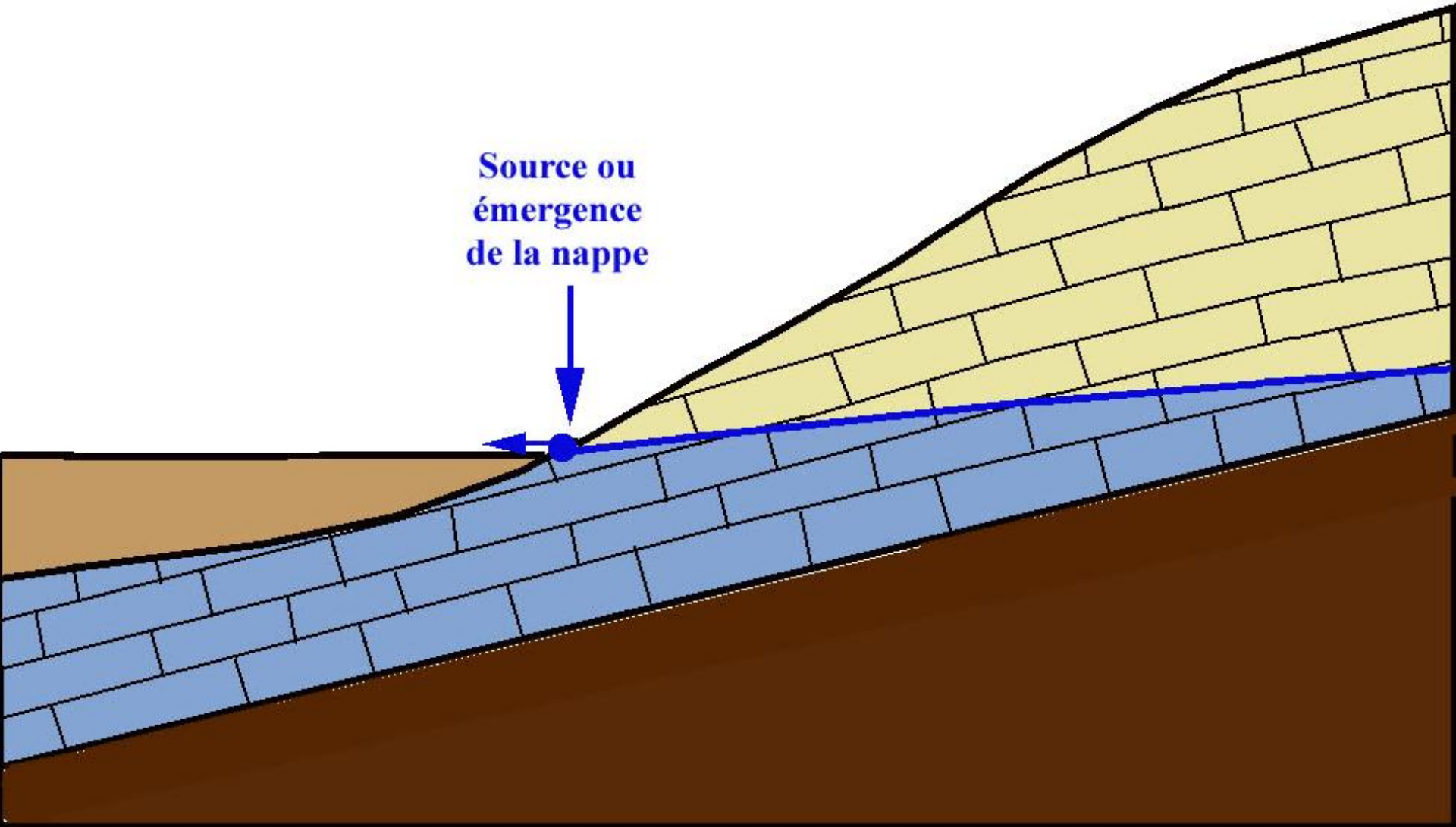


# Les sources de déversement

Source  
ou  
émergence de la nappe



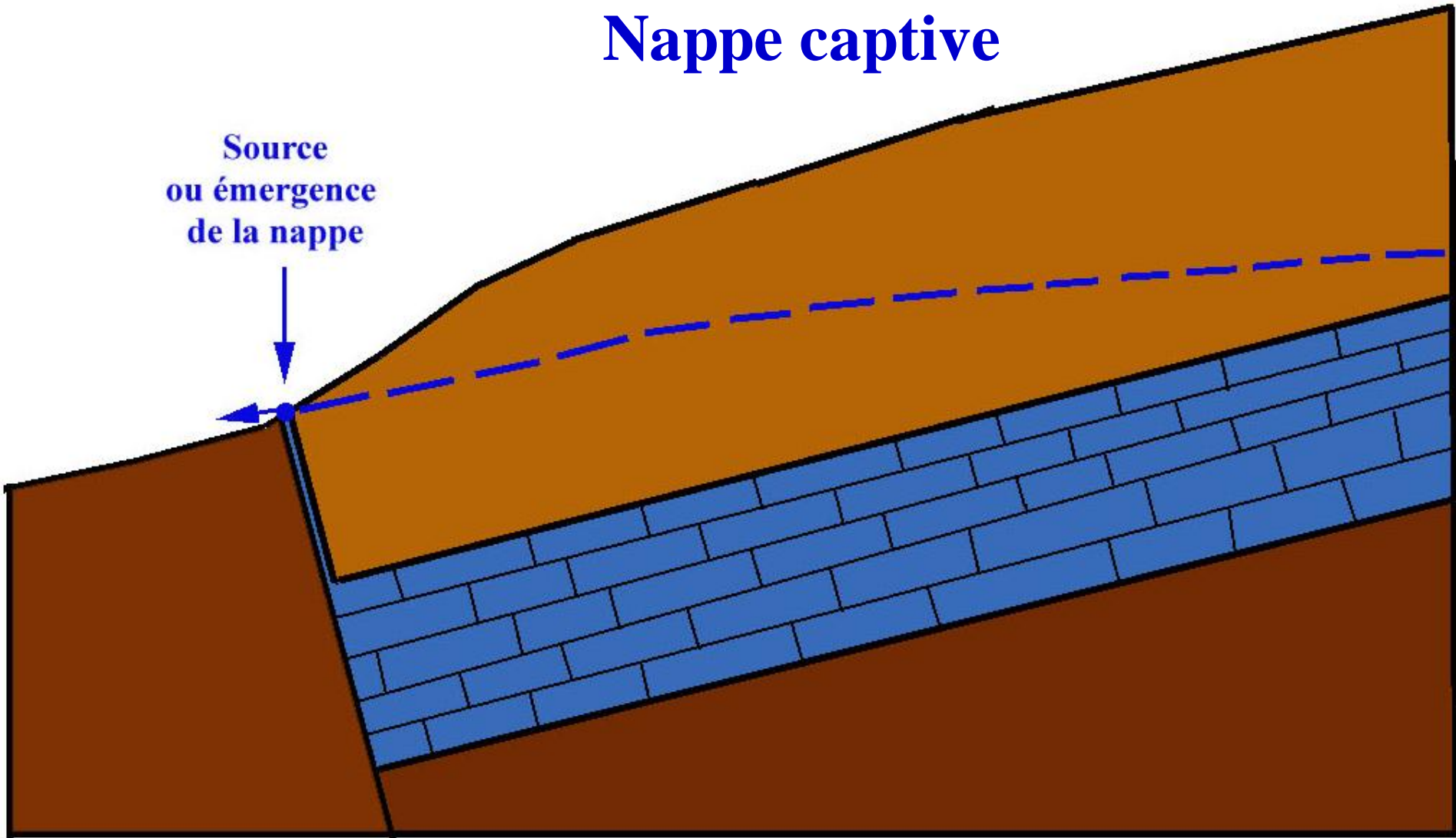
# Les sources de trop-plein



# Les sources de failles

Nappe captive

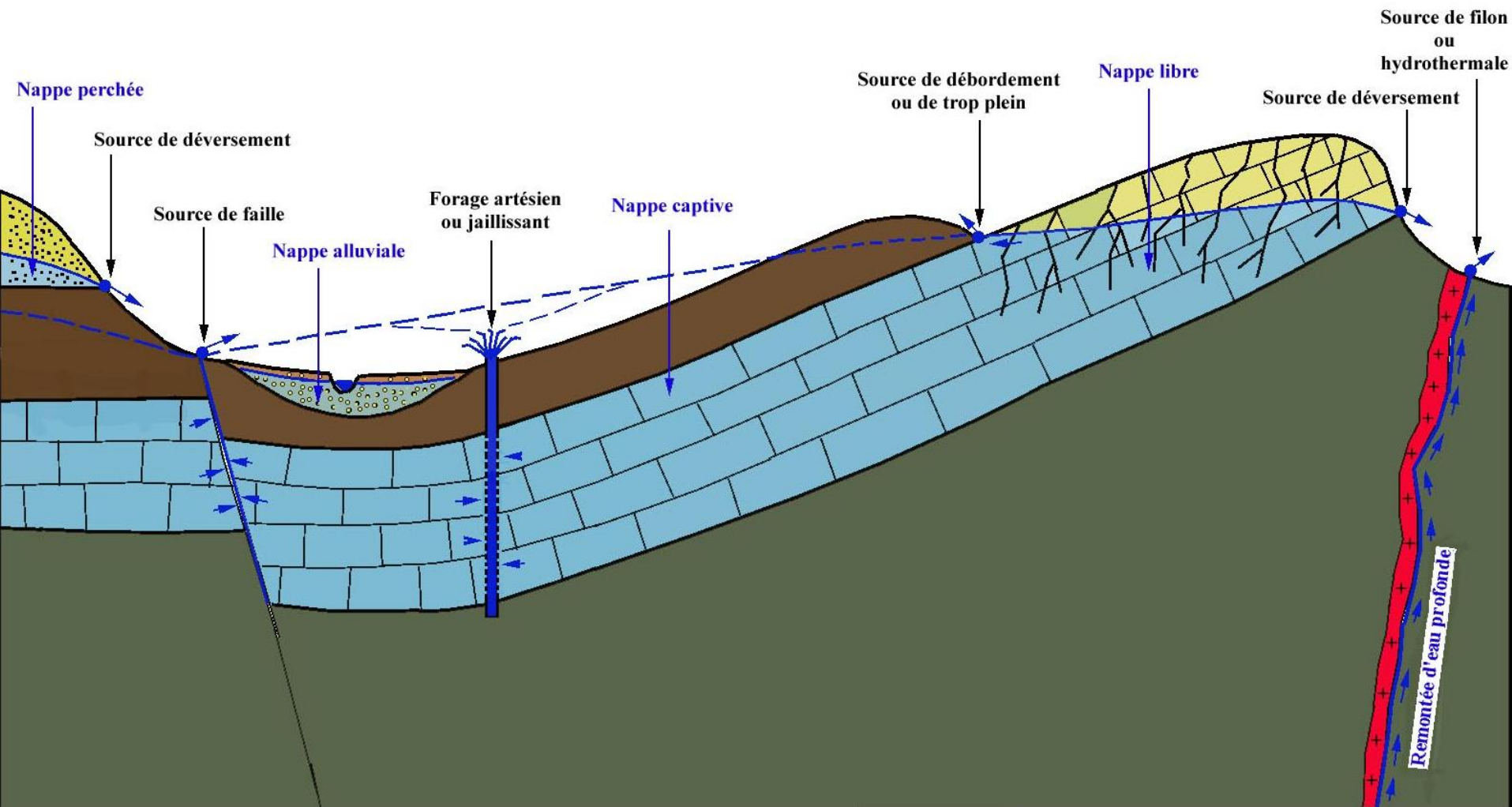
Source  
ou émergence  
de la nappe



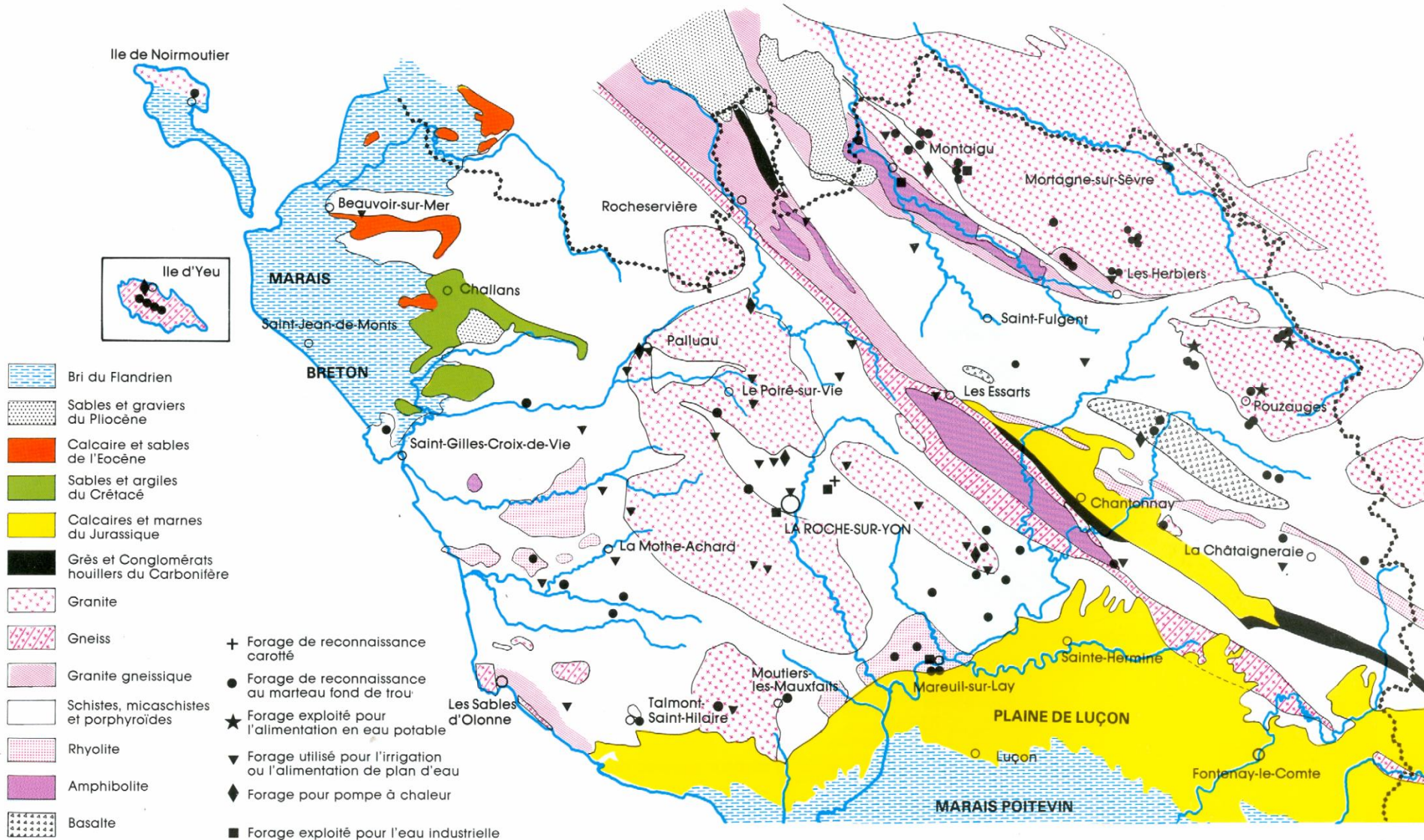


# Nappes aquifères et sources

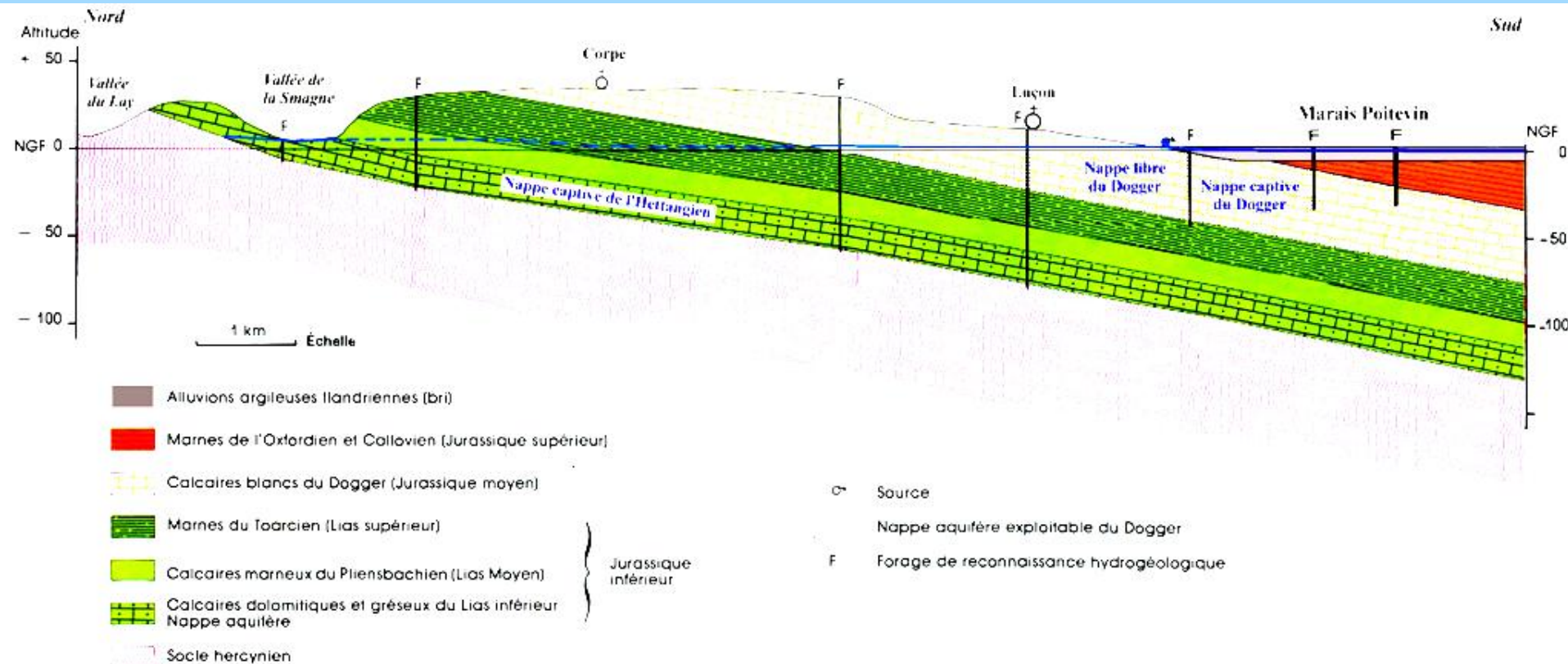
La géologie régionale offre souvent plusieurs types de nappes aquifères



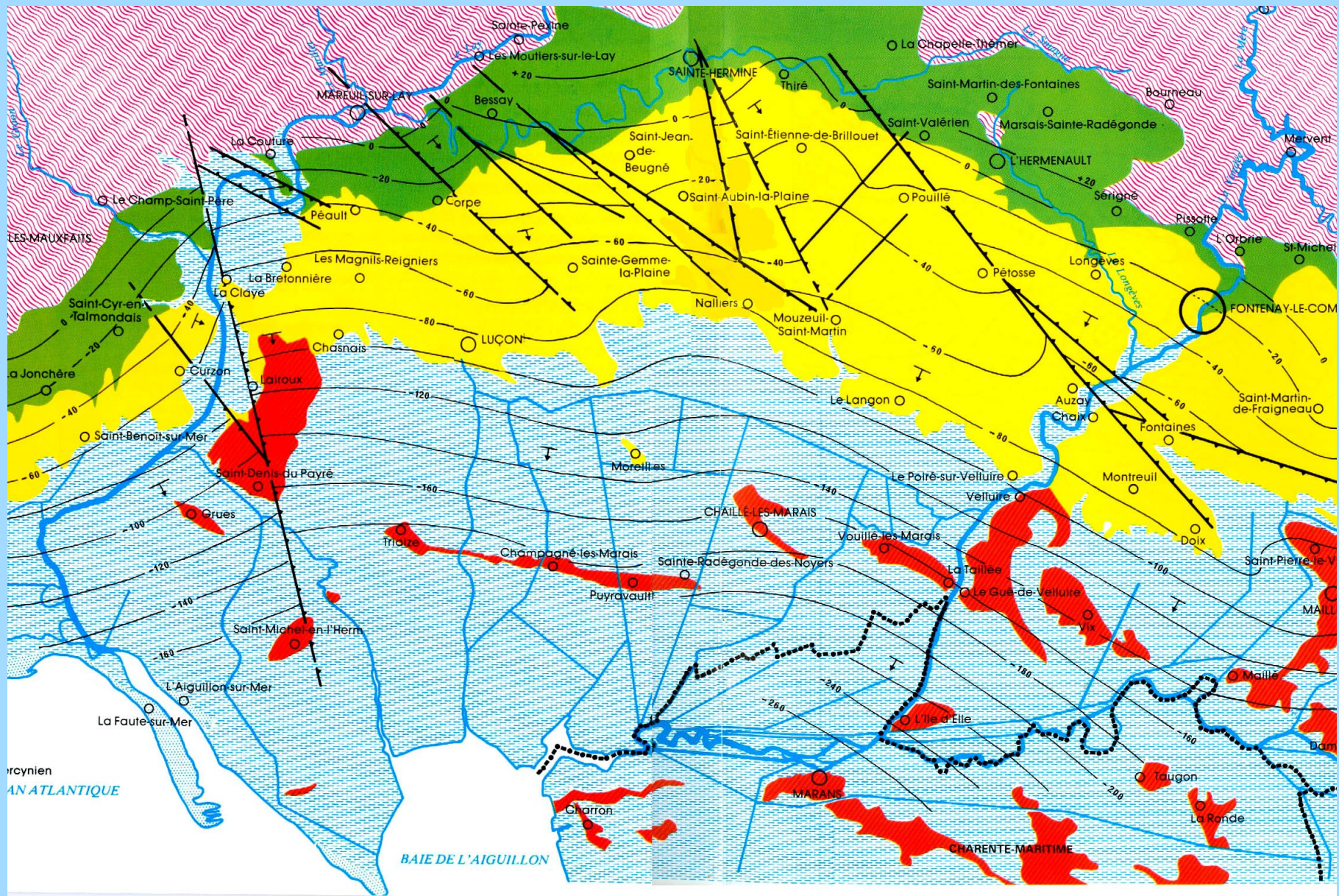
# Les eaux souterraines en Vendée



# Les nappes aquifères de la plaine de Luçon - Fontenay



# Carte géologique et structurale du Sud-Vendée



QUATÉNAIRE :  
Bri flandrien et sables dunaires

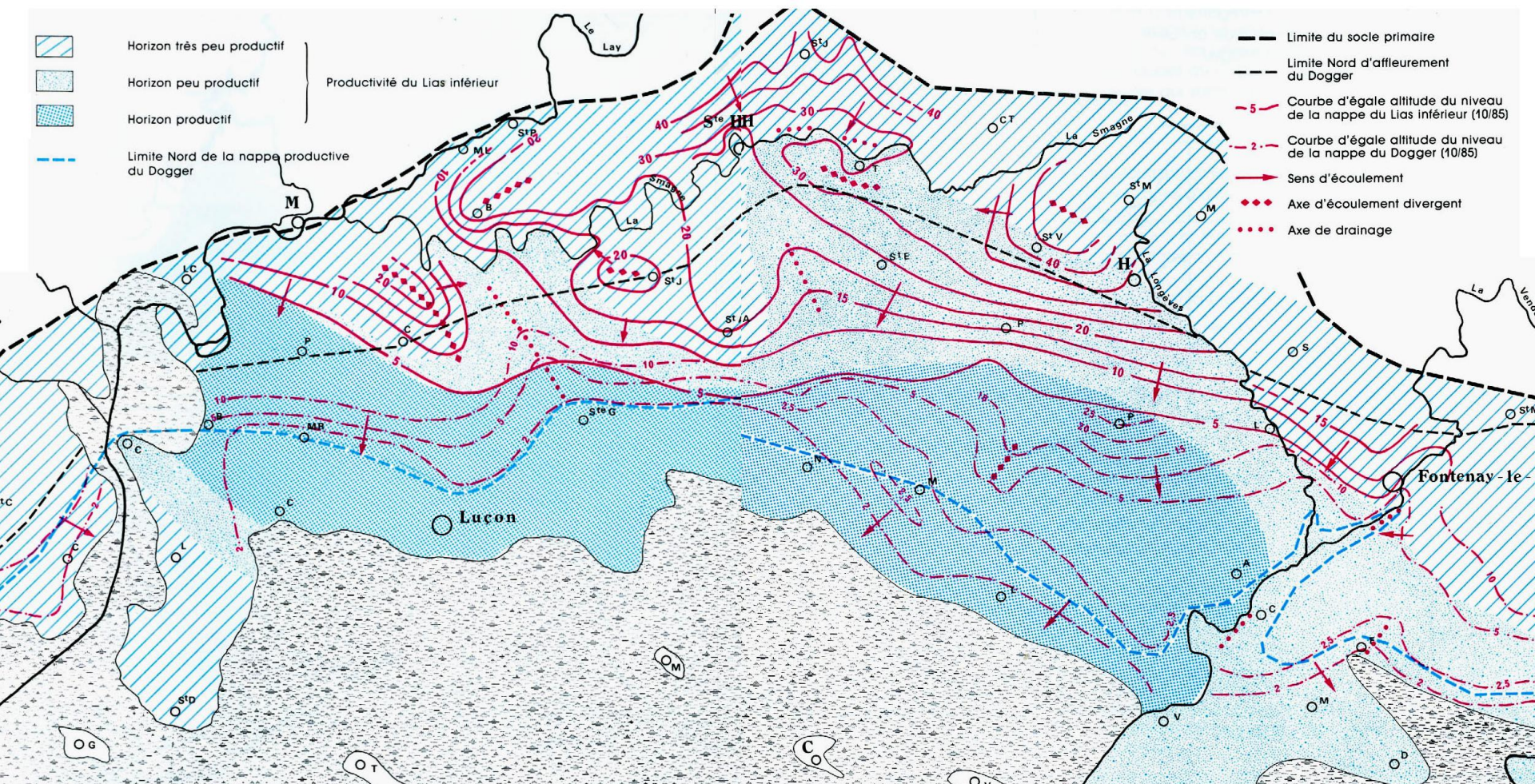
SECONDAIRE :  
JURASSIQUE SUPÉRIEUR : calcaires et marnes  
JURASSIQUE MOYEN : Callovien marneux

SECONDAIRE :  
JURASSIQUE MOYEN : DOGGER  
Calcaires du Bathonien Bajocien

SECONDAIRE :  
JURASSIQUE INFÉRIEUR : LIAS  
Marnes et calcaires

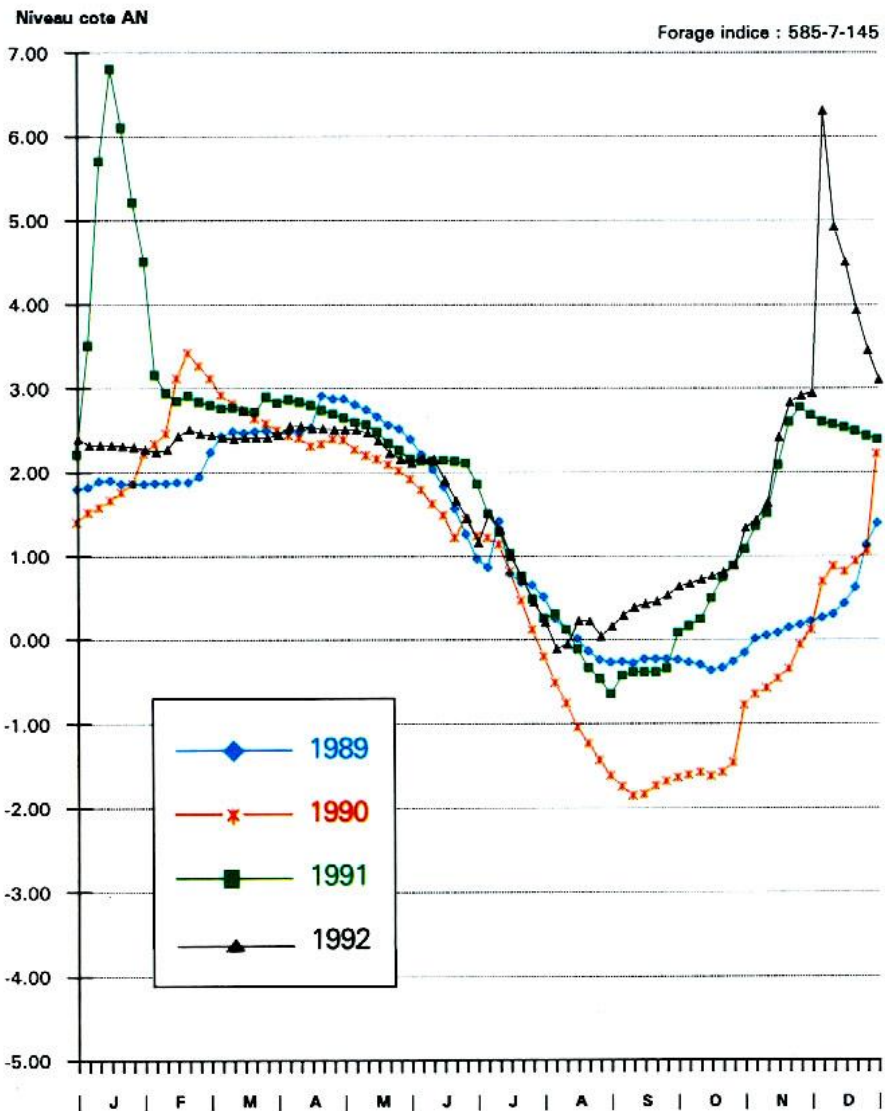
SOCLE HERCYNIEN  
Schistes et granites

# Carte piézométrique des nappes de la Plaine de Luçon-Fontenay

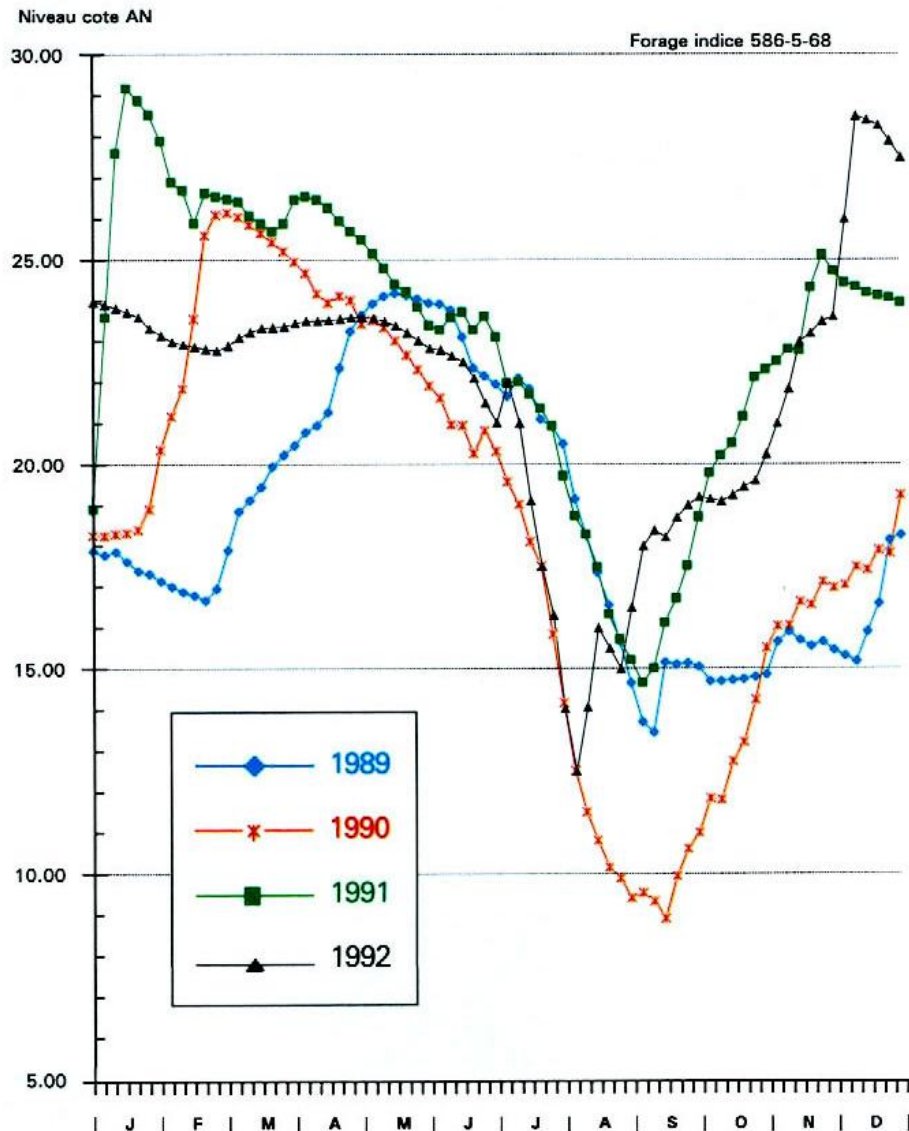


# Variations piézométriques des nappes aquifères du Sud Vendée

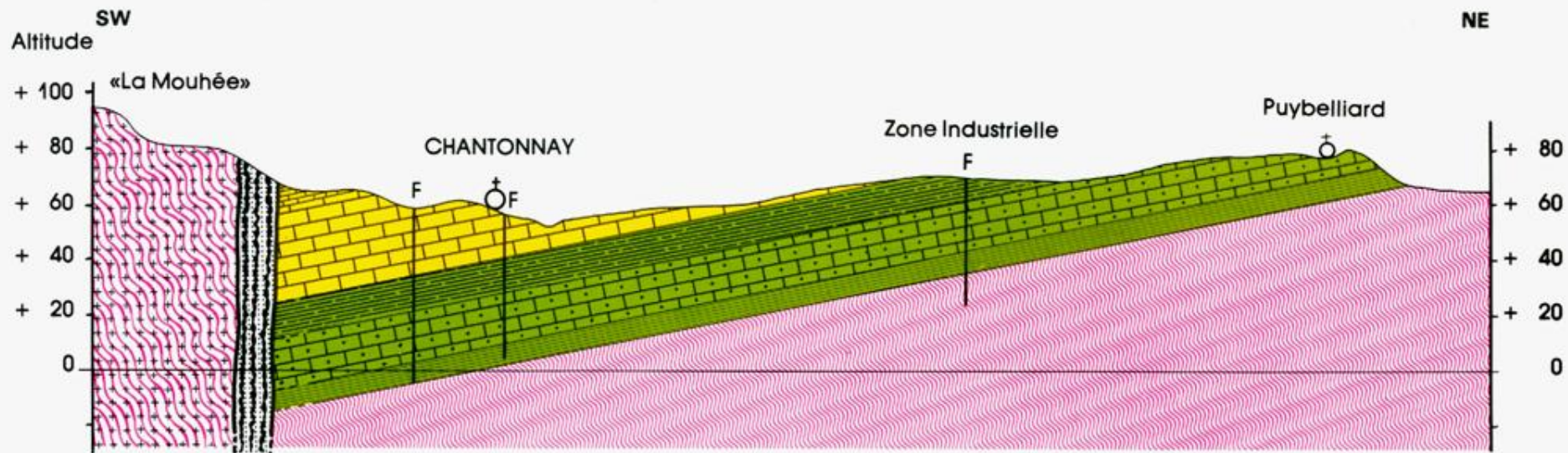
## Nappe du Dogger à Luçon



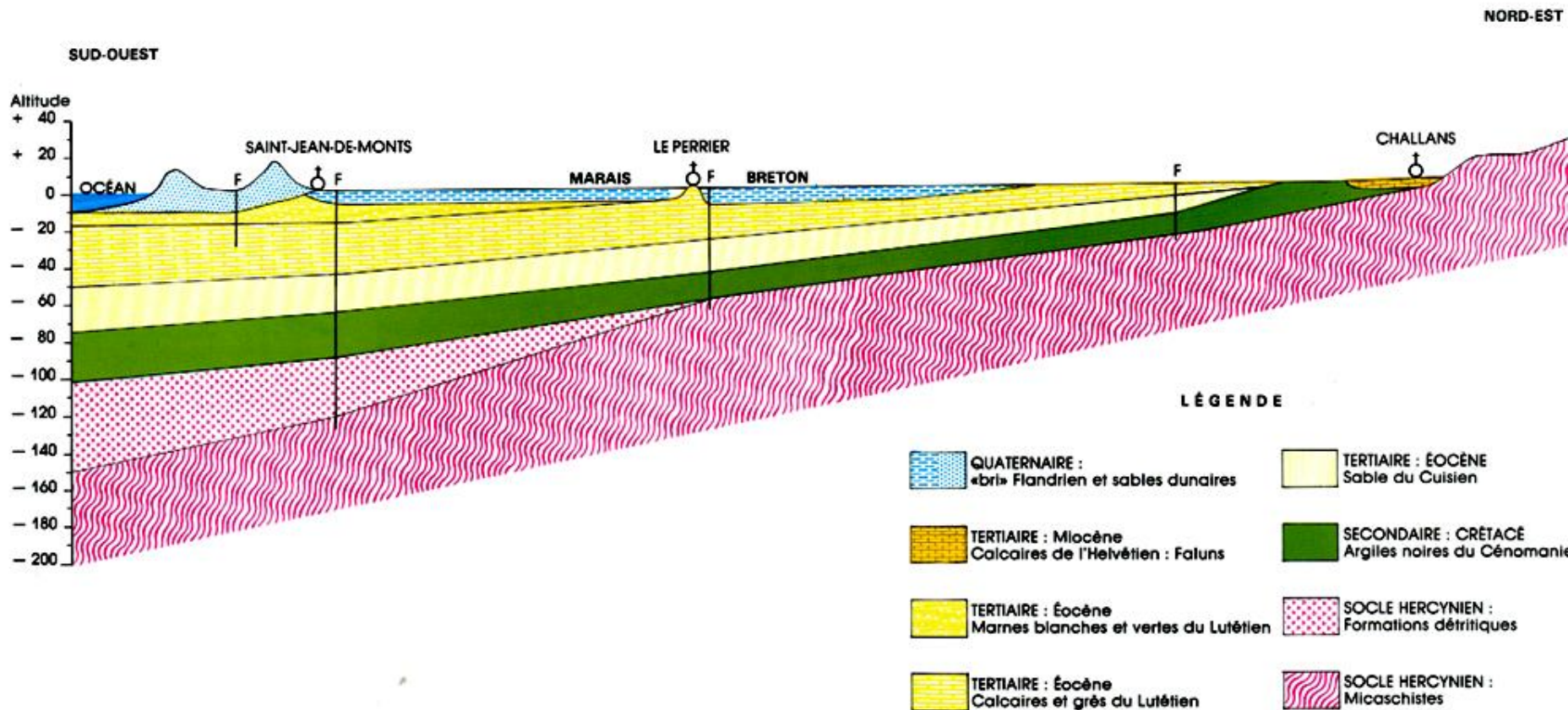
## Nappe du Lias à St Etienne-de-Brillouet



# Les nappes aquifères du bassin de Chantonnay

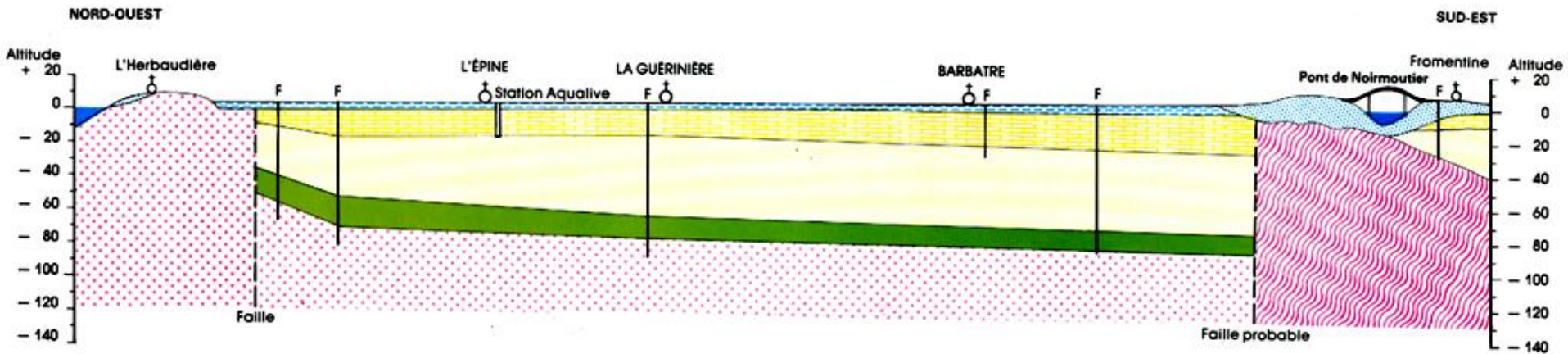


# Les nappes aquifères du Marais Breton





# Les nappes aquifères de l'Île de Noirmoutier



## LÉGENDE

 QUATERNAIRE : «br» Flandrien et sables dunaires

 TERTIAIRE : ÉOCÈNE Calcaires et grès du Lutétien

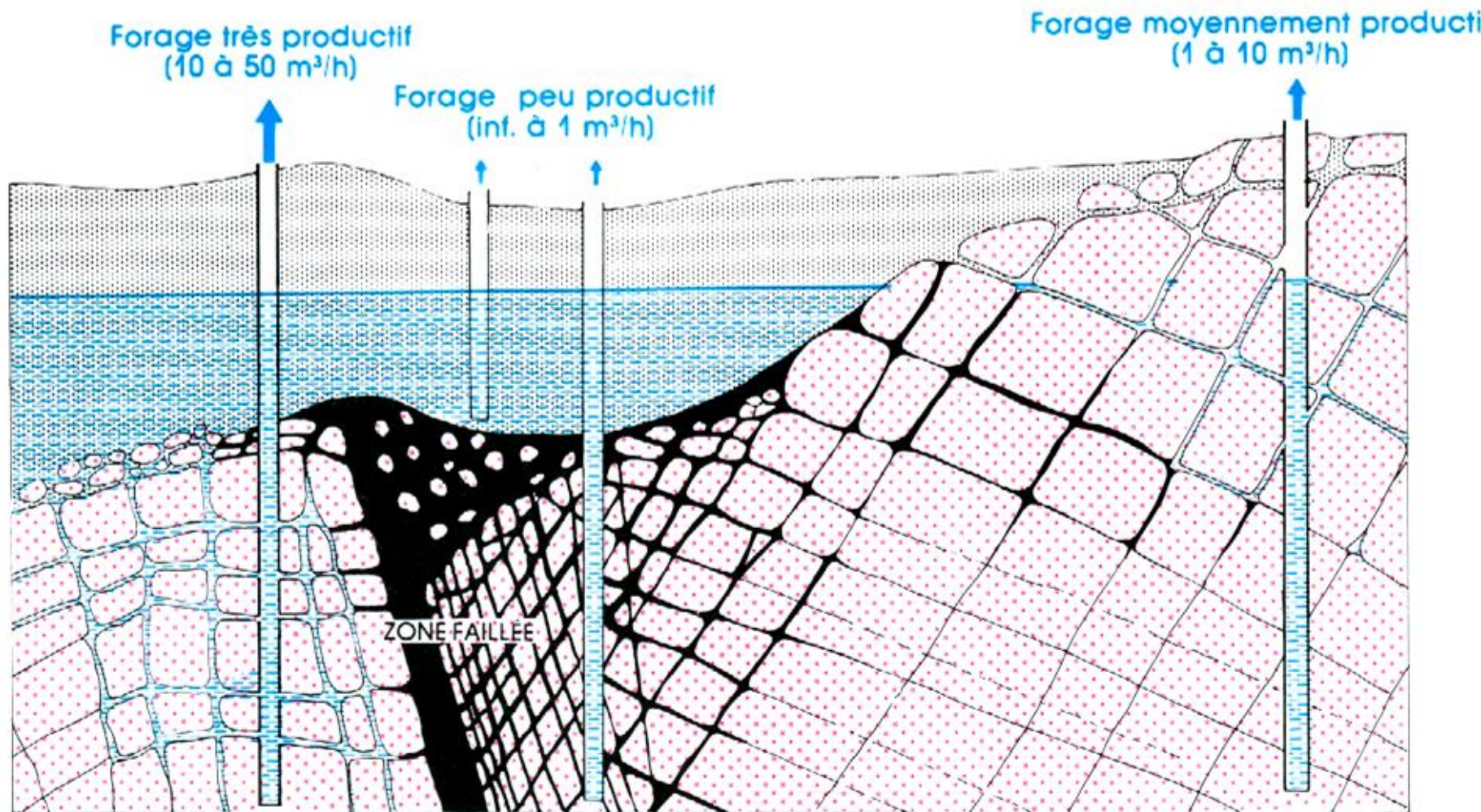
 TERTIAIRE : ÉOCÈNE Sables du Cuisien

 SECONDAIRE : CRÉTACÉ Argiles noires du Cénomaniens

 SOCLE HERCYNIEN Granite

 SOCLE HERCYNIEN Micaschistes

# L'eau souterraine dans les granites



Arène granitique



Granite massif

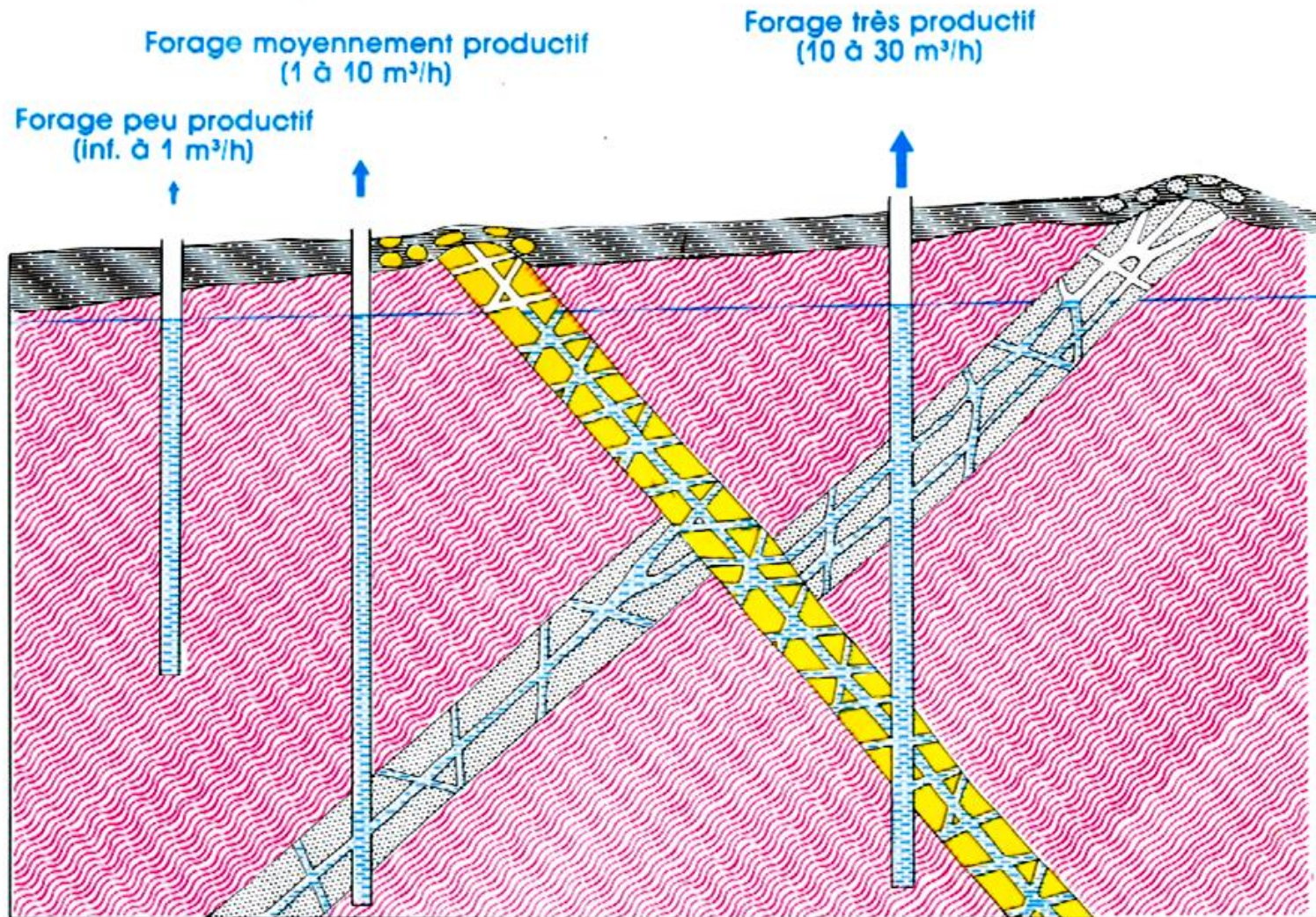


Granite à fissures colmatées par de l'argile



Granite à fissures aquifères

# L'eau souterraine dans les schistes



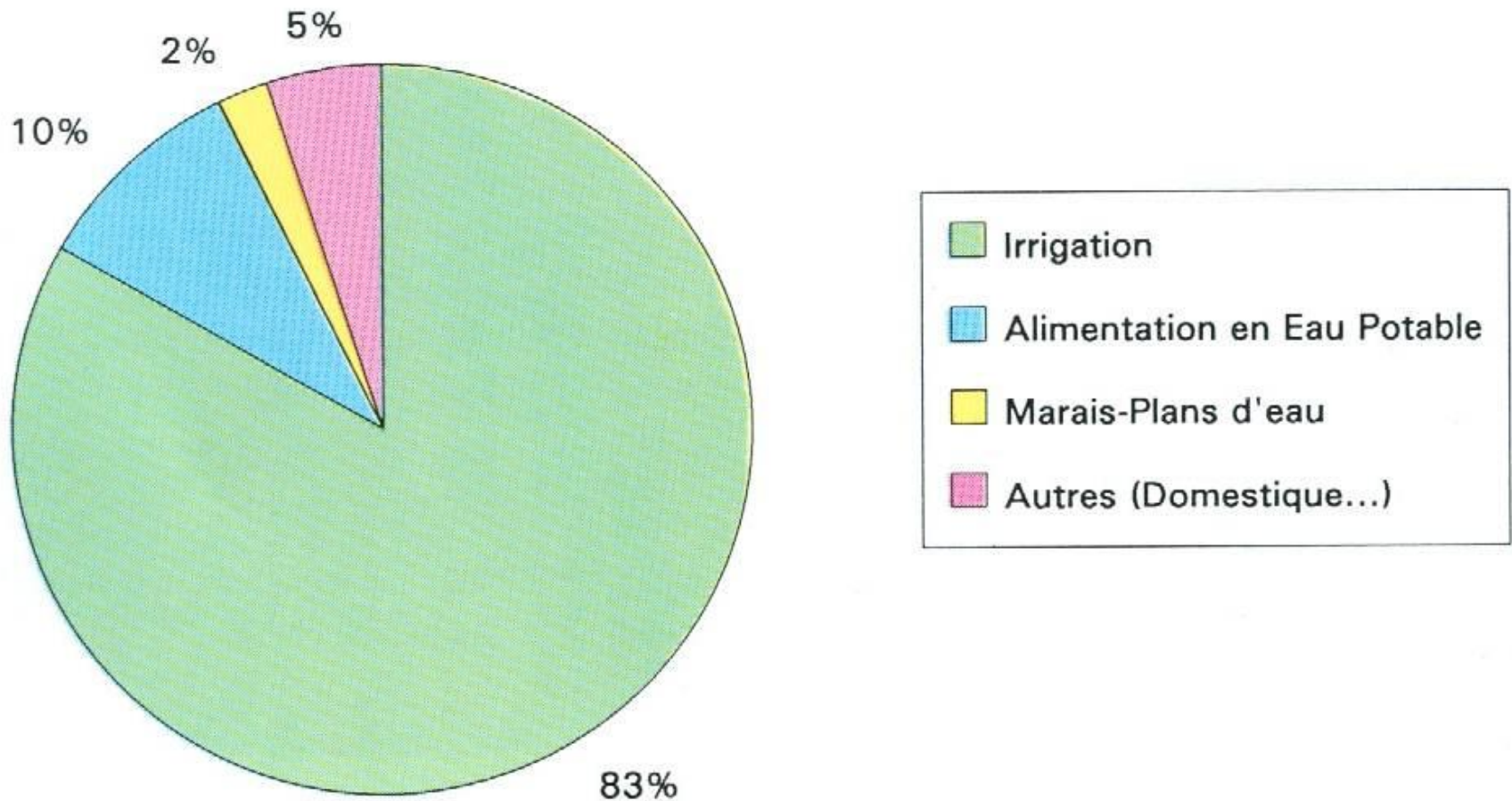
Argile d'altération  
des schistes

Formation  
schisteuse

Filon de grès  
avec fissures  
aquifères

Filon de quartz  
avec fissures  
aquifères

## RÉPARTITION DES UTILISATIONS DES EAUX SOUTERRAINES DE LA PLAINE SUD-VENDEENNE



**L'irrigation dans la plaine de Luçon-Fontenay représente un prélèvement annuel d'eau souterraine compris entre 28 et 35 millions de m<sup>3</sup>**

# L'irrigation dans le sud Vendée



# **Une culture du maïs dans la plaine de Luçon-Fontenay gourmande en eau souterraine**

**Pour une réserve utilisable du sol ne dépassant pas les 100 mm**

**L'irrigation du maïs nécessite un apport journalier de 40 m<sup>3</sup> par hectare pendant 70 jours, soit un volume total d'environ 2.800 m<sup>3</sup> par hectare.**

**En tablant sur une durée moyenne de 20 heures d'irrigation par jour, un forage réalisé dans la plaine de Luçon-Fontenay doit être en mesure de fournir un débit de 2 m<sup>3</sup>/h par hectare de maïs irrigué**

**La moyenne des surfaces irriguées étant comprises entre 25 et 30 hectares, il a été nécessaire de trouver des débits exploitables de 50 à 60 m<sup>3</sup>/h par forage**

# AQUACULTURE



**Utilisation des eaux  
souterraines salées pour la  
production de phytoplancton  
dans le marais Breton et dans  
l'île de Noirmoutier**

**Grâce à la présence dans ces  
eaux de matières nutritives  
(azote, phosphate, silice) et  
l'absence de tout élément  
vivant (bactéries, algues, etc)  
on peut y développer une  
seule algue « fourrage »  
*Skélétonema costatum* dans  
des bassins aérés sous serre  
pour nourrir les coquillages :  
huîtres et palourdes en  
particulier.**

# De l'eau pour boire

Aujourd'hui...





**Je vous remercie  
de votre attention**