

A LA RECHERCHE ET L'EXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES

UNE SCIENCE : L'HYDROGEOLOGIE

Conférence de Gilles Bresson

L'EAU : un liquide hors normes

LES NAPPES D'EAUX SOUTERRAINES

- L'eau dans le sous sol
- Les nappes libres, les nappes captives
- Le Gradient hydraulique
- La Perméabilité – la Porosité ou Coefficient d'emménagement
- La Transmissivité

L'ALIMENTATION DES EAUX SOUTERRAINES

- La Réserve Facilement Utilisable (R.F.U.) par les plantes
- La pluie efficace

LA PROSPECTION DES EAUX SOUTERRAINES

- Pas de moyens directs de prospection : exit la baguette ou le pendule !
- Des moyens indirects : la Géologie, la Géophysique

LE FORAGE

- Seul moyen d'explorer les nappes d'eaux souterraines

LE POMPAGE D'ESSAI

- Pour la détermination de la productivité d'un forage
- Pour la détermination des paramètres aquifères : Transmissivité et coefficient d'emménagement
- Détermination des limites aquifères et des phénomènes liés au pompage

LES SOURCES

- Différents types d'émergence des nappes d'eau souterraines

LES EAUX SOUTERRAINES EN VENDEE

- Plaine de Luçon-Fontenay
- Bassin de Chantonnay
- Marais Breton et île de Noirmoutier
- Nappes des granites et des Schistes

CONCLUSIONS

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

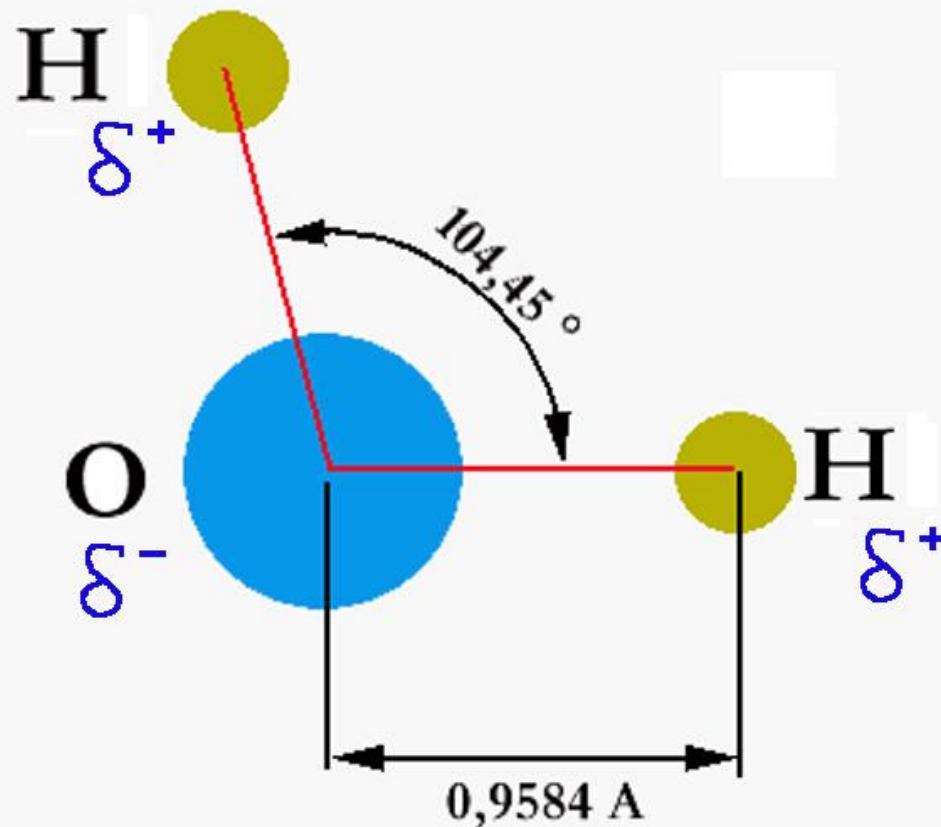
- Les techniques de forage

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

^1H = le protium, le plus répandu avec 99,98 %

^2H = le deutérium, entre 0,026 et 0,0184 %

^3H = tritium, isotope radioactif teneur très faible variable

avec 3 isotopes de l'oxygène

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

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

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

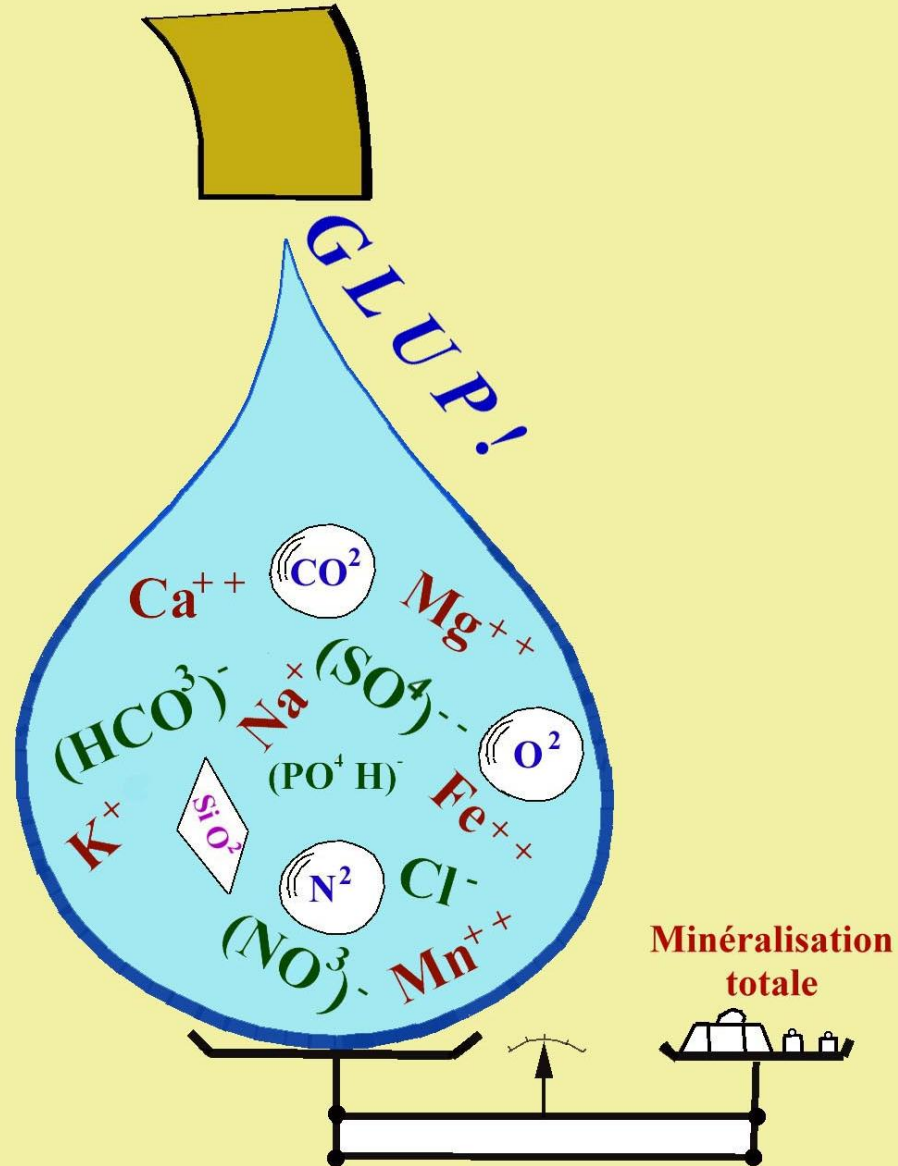
Une des propriétés majeures de l'EAU : son grand pouvoir dissolvant

**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 Cl^- et en cations Na^+**

L'eau minéralisée



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

Mesures physiques :

pH à 20°C ;

Conductivité à 20°C ;

Turbidité

Résidu sec à 180 °C en mg/l

Analyse chimique :

Dureté totale en ° F

Matières organiques en mg/O²

Titre alcalimétrique complet (TAC) en °F

Ammoniaque (NH⁴ en mg/l)

Nitrite (NO² en mg/l)

Aluminium (Al en mg/l)

Fer (Fe en mg/l)

Manganèse (Mn en mg/l)

Phosphates (PO⁴ en mg/l)

Fluor (F en mg/l)

Bilan ionique

ANIONS

Nitrates (NO³ en mg/l)

Chlorures (Cl en mg/l)

Sulfates (SO⁴ en mg/l)

Hydrogéo carbonates (HCO³ en mg/l)

CATIONS

Calcium (Ca en mg/l)

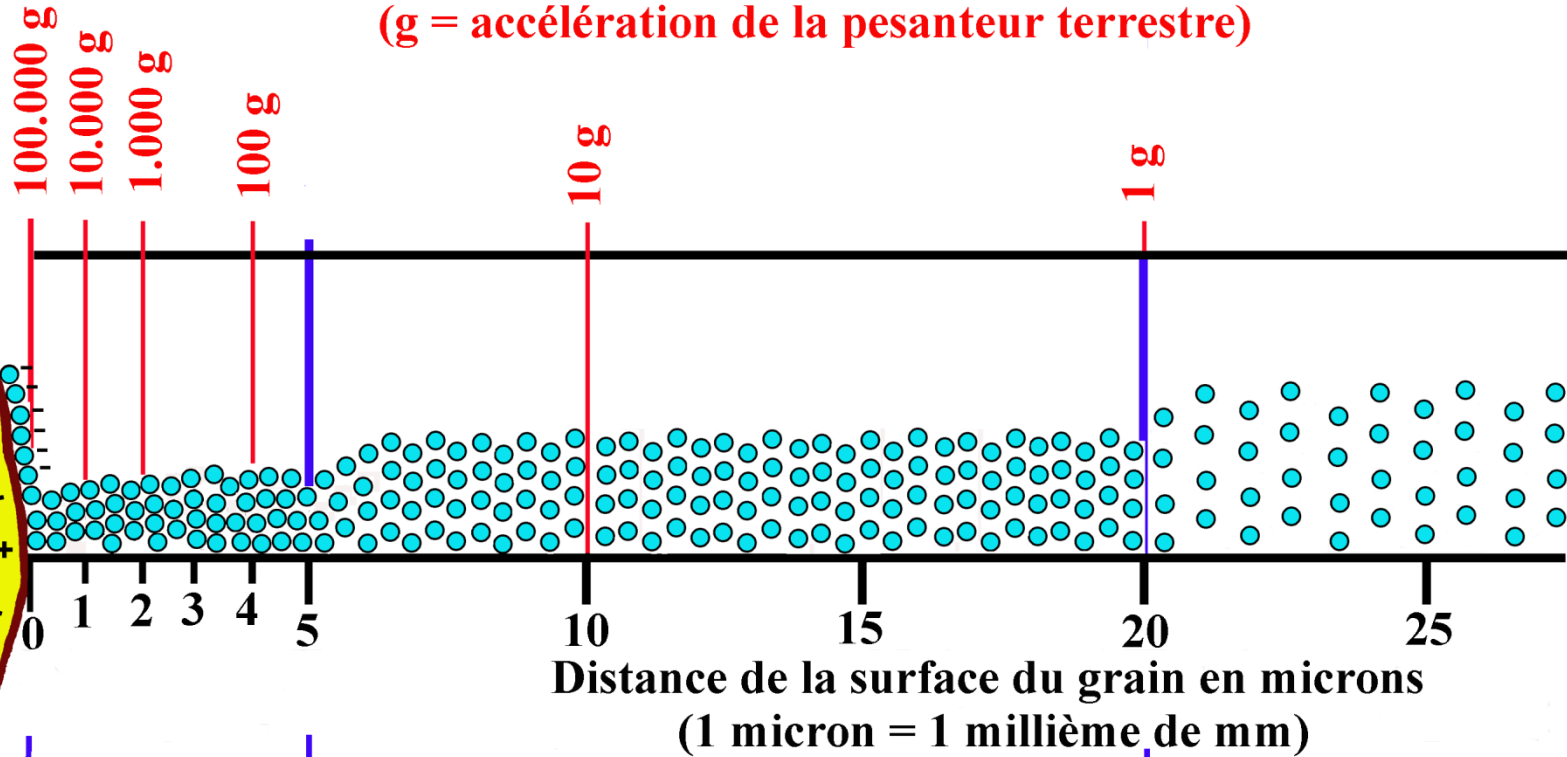
Magnésium (Mg en mg/l)

Sodium (Na 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

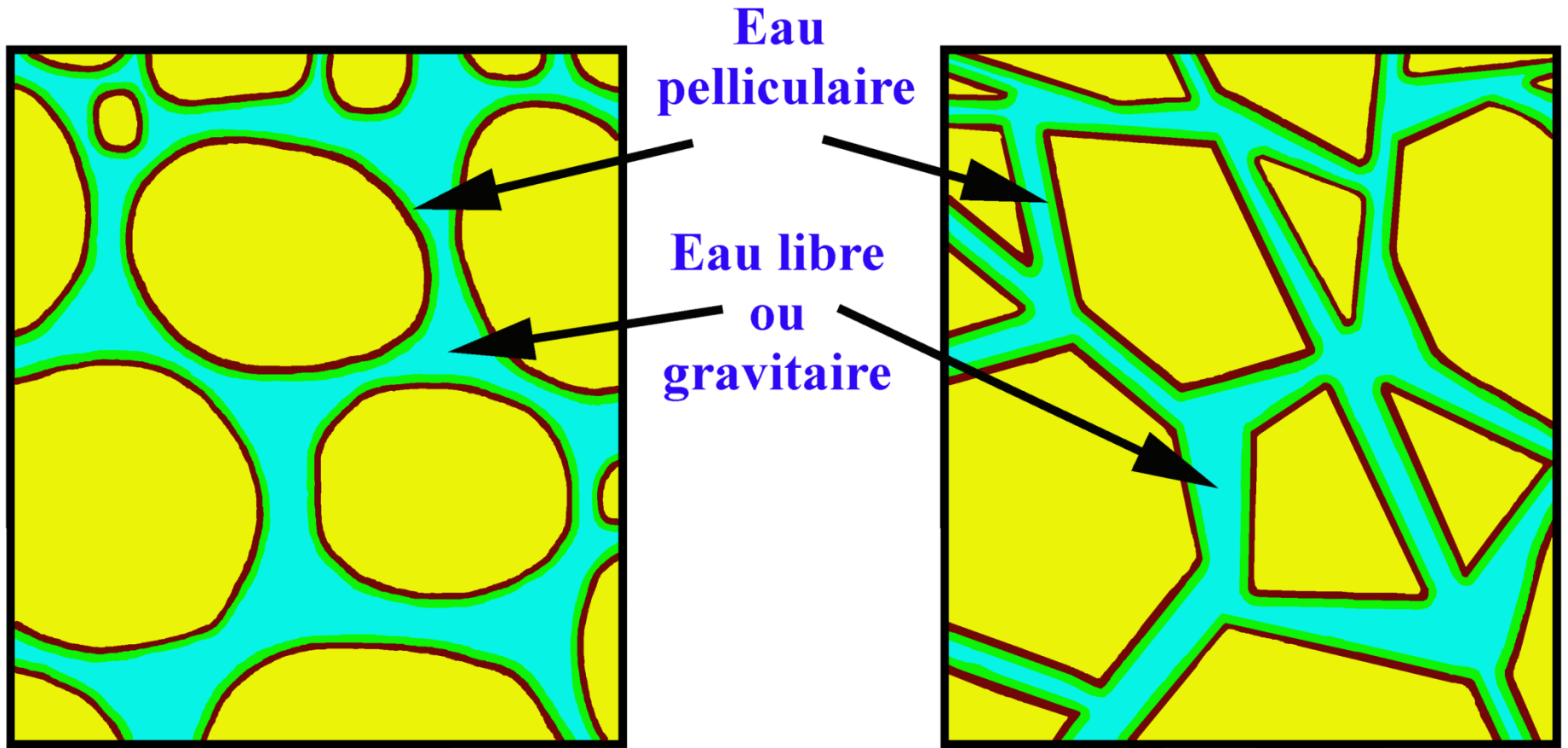
Eau libre ou gravitaire

Eau de rétention

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

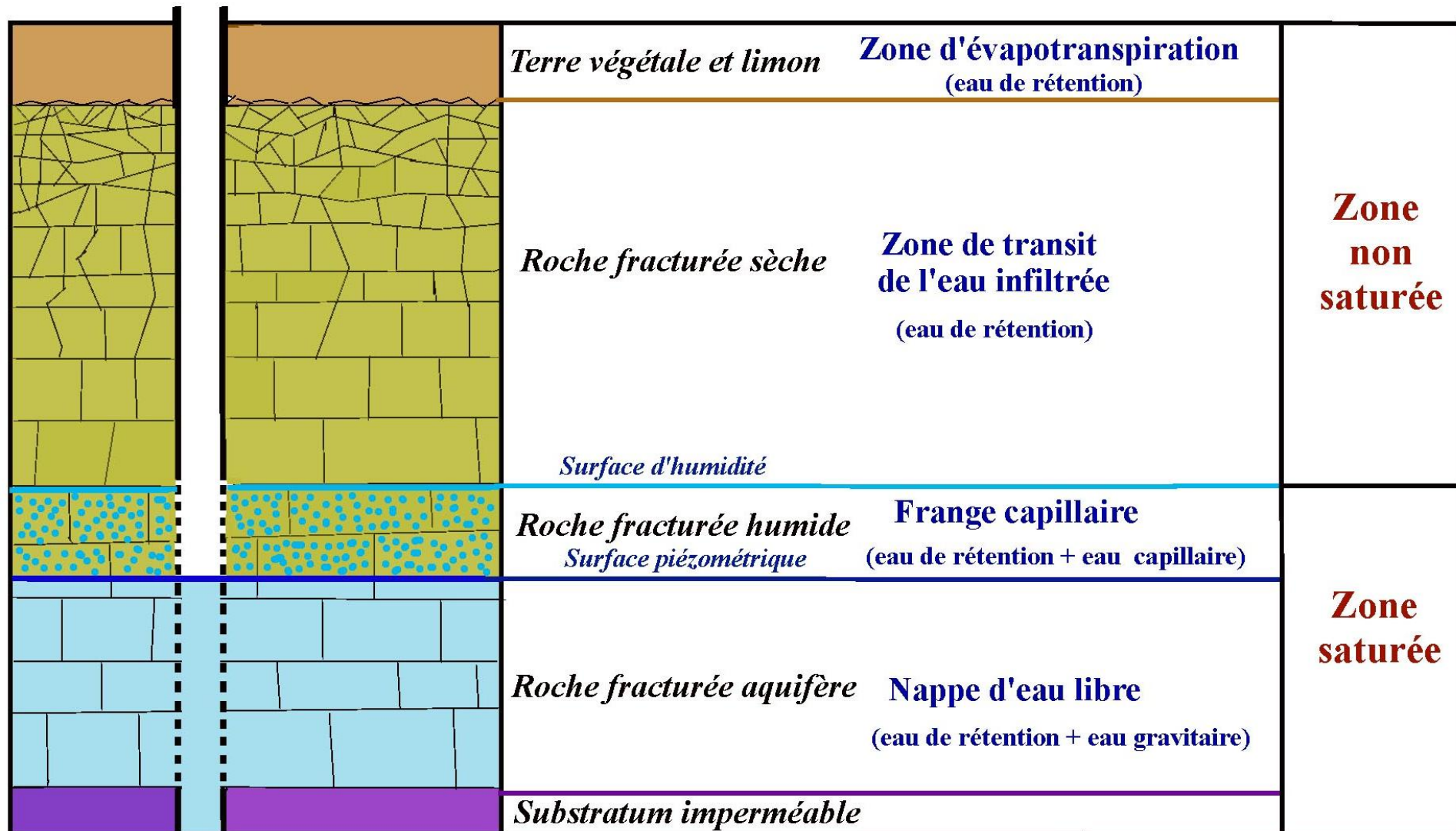


Roche aquifère grenue

Roche aquifère fissurée

Zonalité sol/eau souterraine

Piézomètre



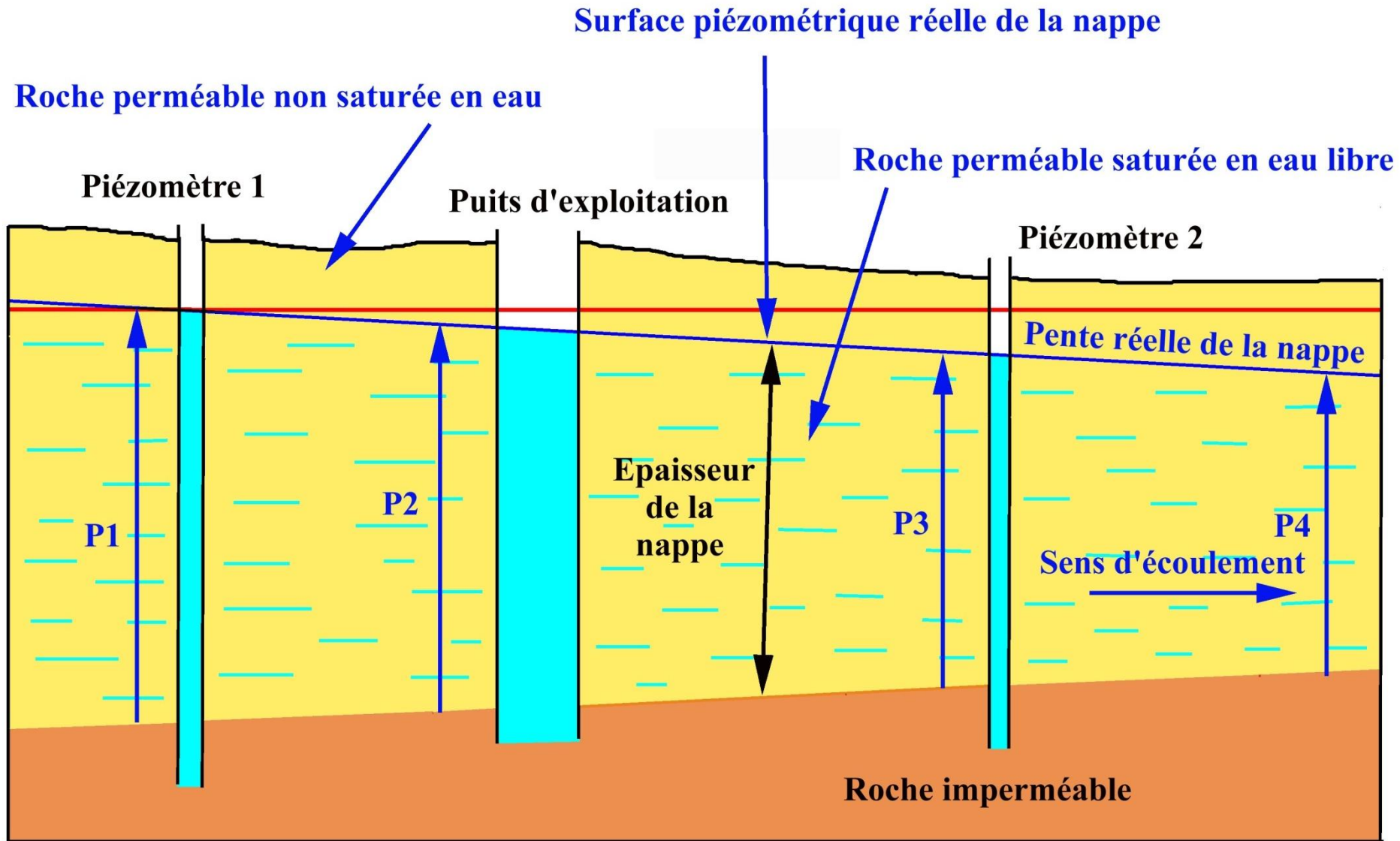
Deux grands types de nappes aquifères :

- Les nappes libres

- Les nappes captives

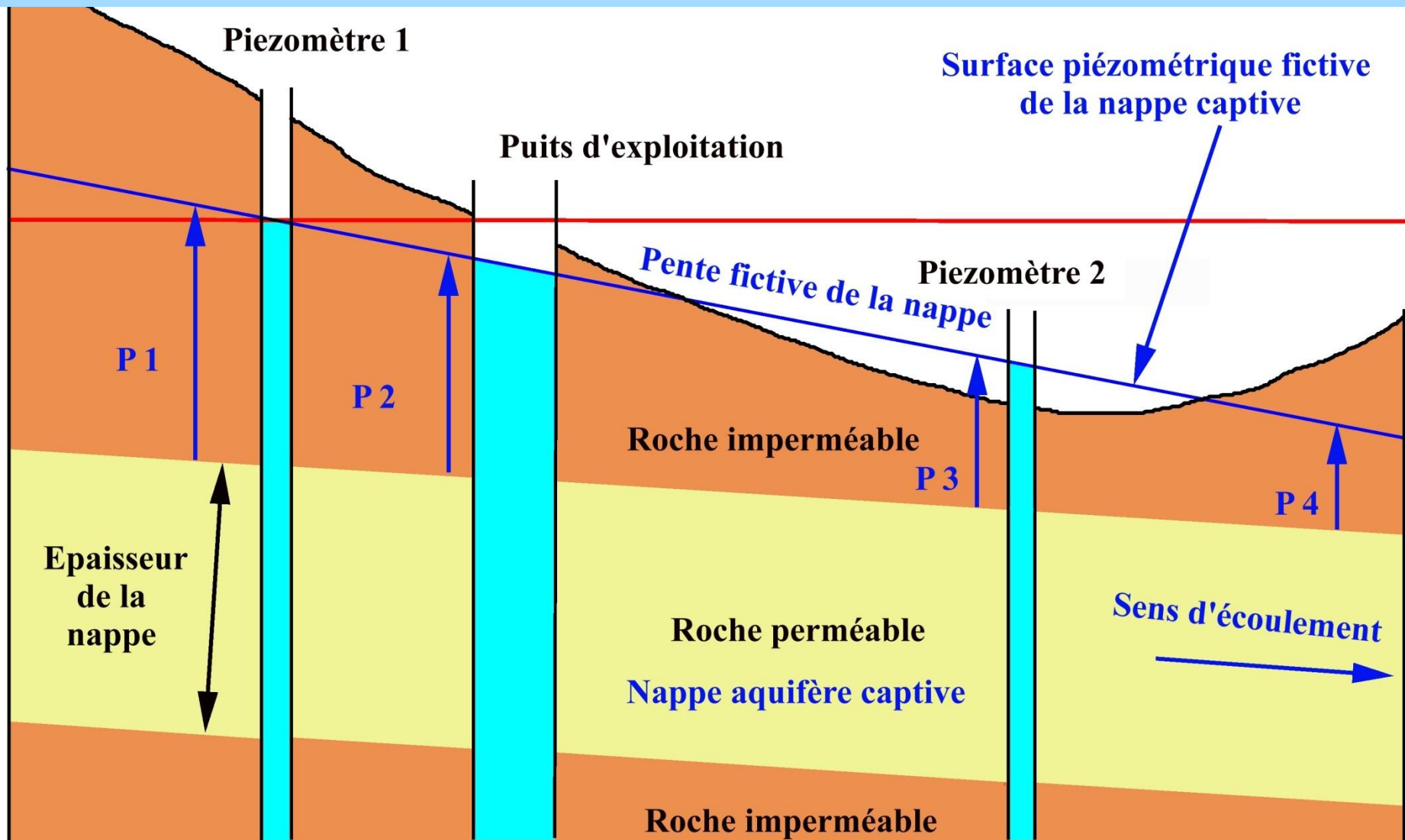
Nappe libre

La surface piézométrique est en contact direct avec l'atmosphère



Nappe captive

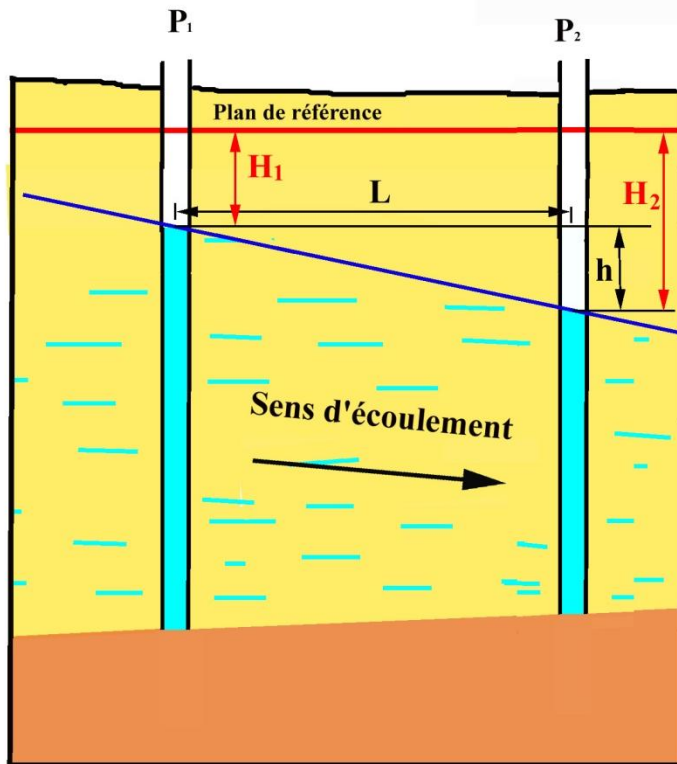
Sa surface piézométrique ne peut être mise en évidence que par des forages (puits d'exploitation ou piézomètres d'observation) traversant la couche imperméable



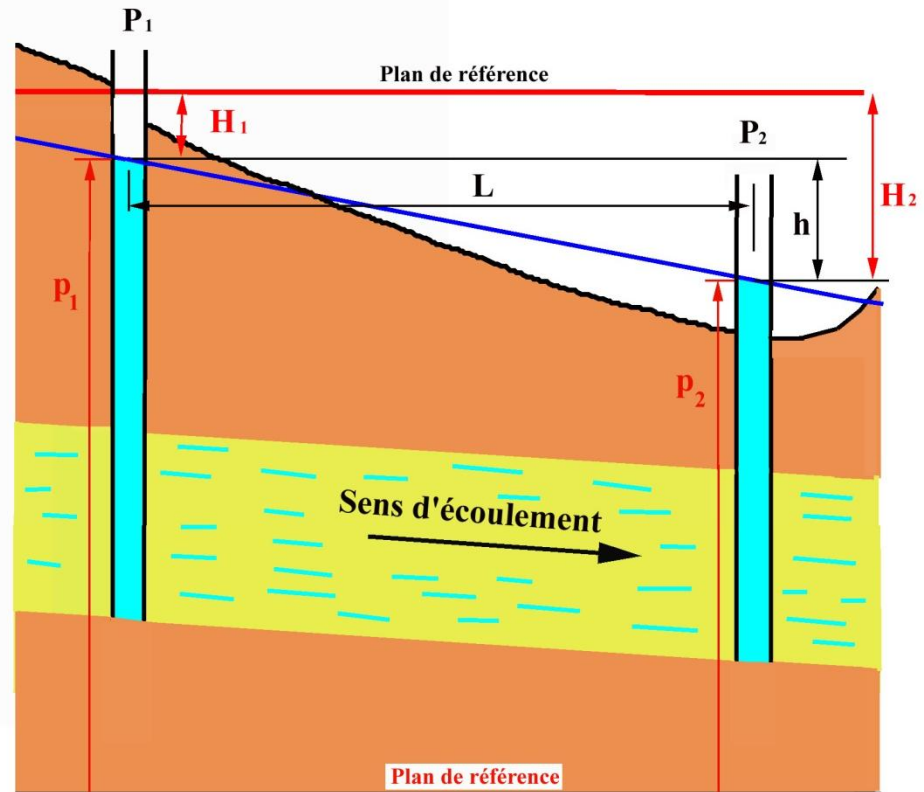
Gradient hydraulique d'une nappe

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
H₁, niveau d'eau dans le piézométrique P₁
H₂, niveau piézométrique dans le piézomètre P₂
par rapport au plan de référence
L, distance entre les piézomètres P₁ et P₂

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

P₁, pression de la nappe dans le piézomètre P₁
P₂, pression de la nappe dans le piézomètre P₂

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

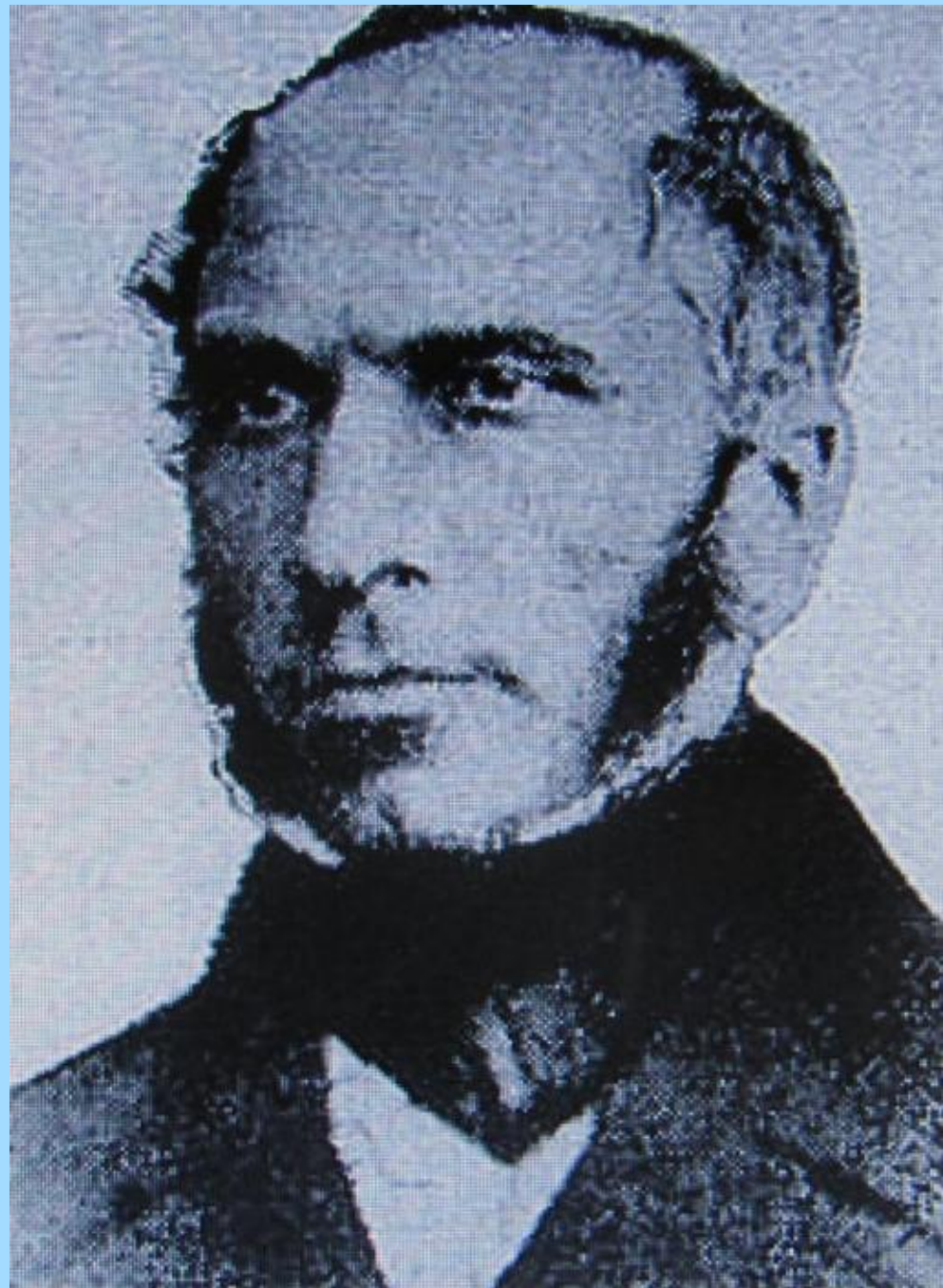
(1803-1858)

**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**

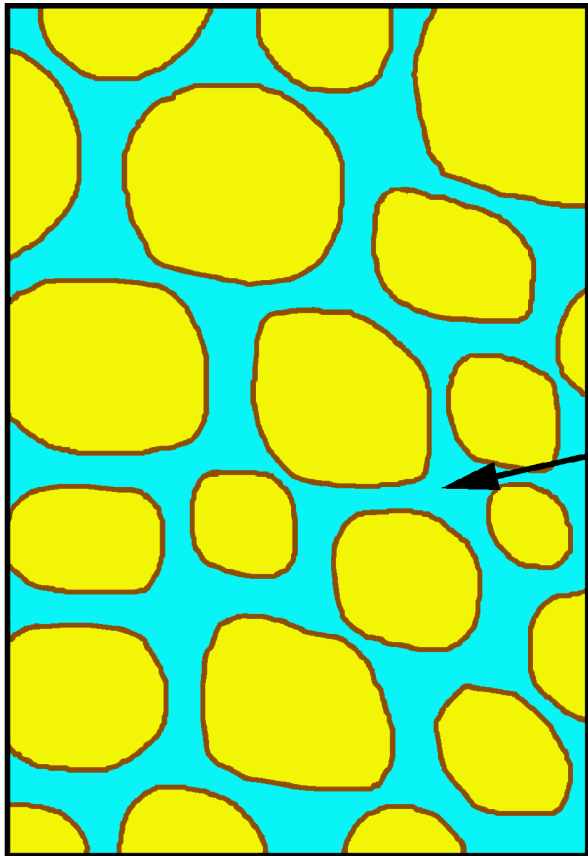
**Le darcy est l'unité de mesure
de la perméabilité**

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

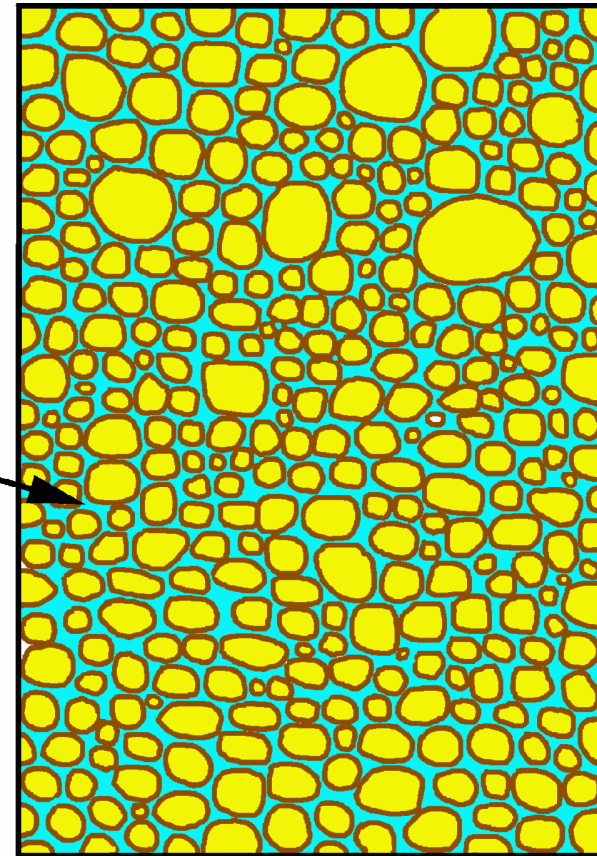


Porosité efficace

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



Forte porosité efficace



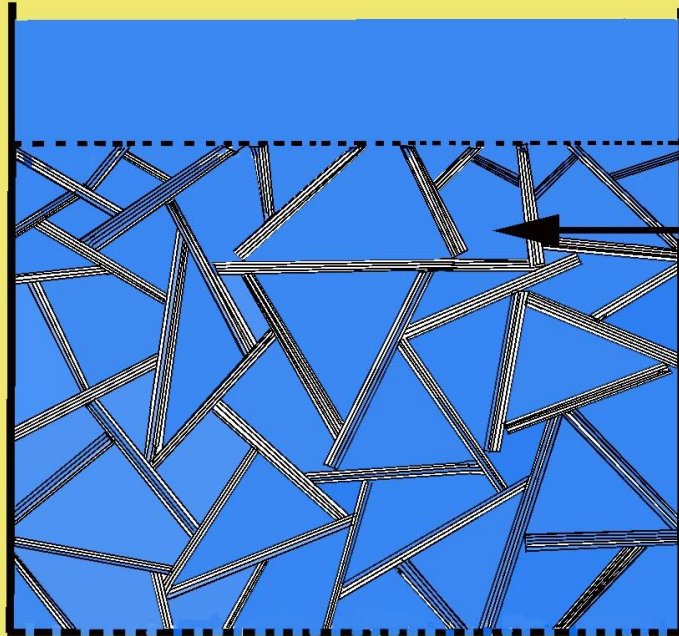
Faible porosité efficace

Eau libre
ou
gravitaire



Porosité- Perméabilité

Même charge en eau

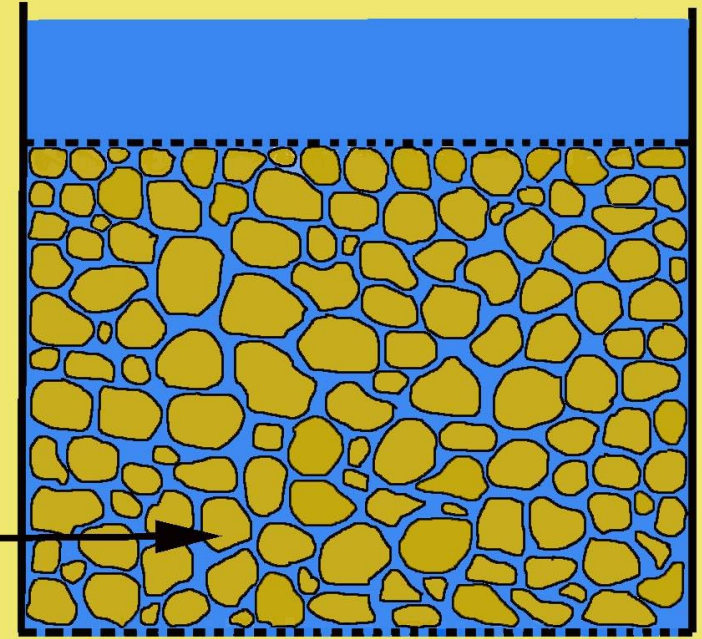


Argile
(Feuillets
microscopiques)

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

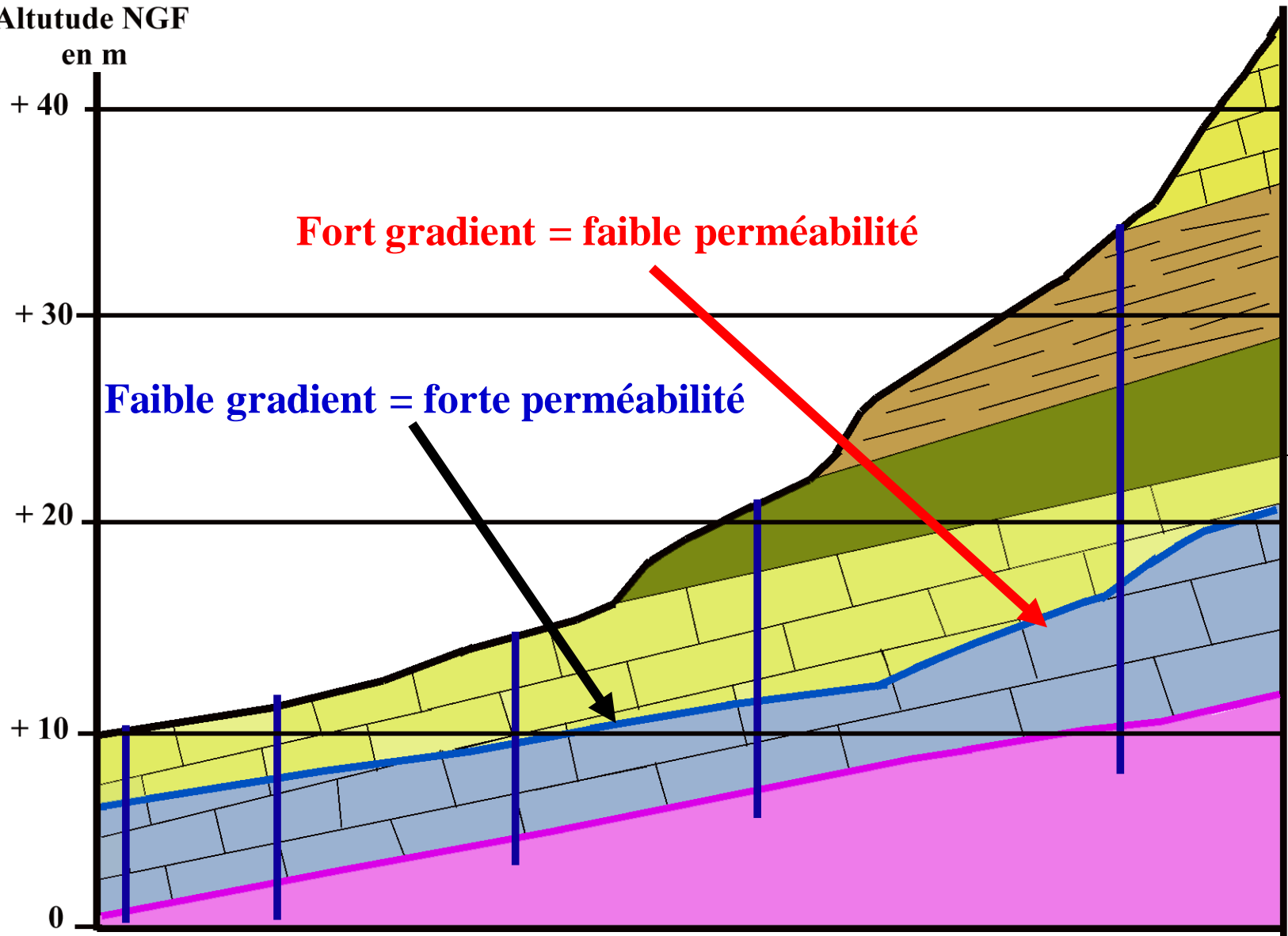
+ 20

+ 10

0

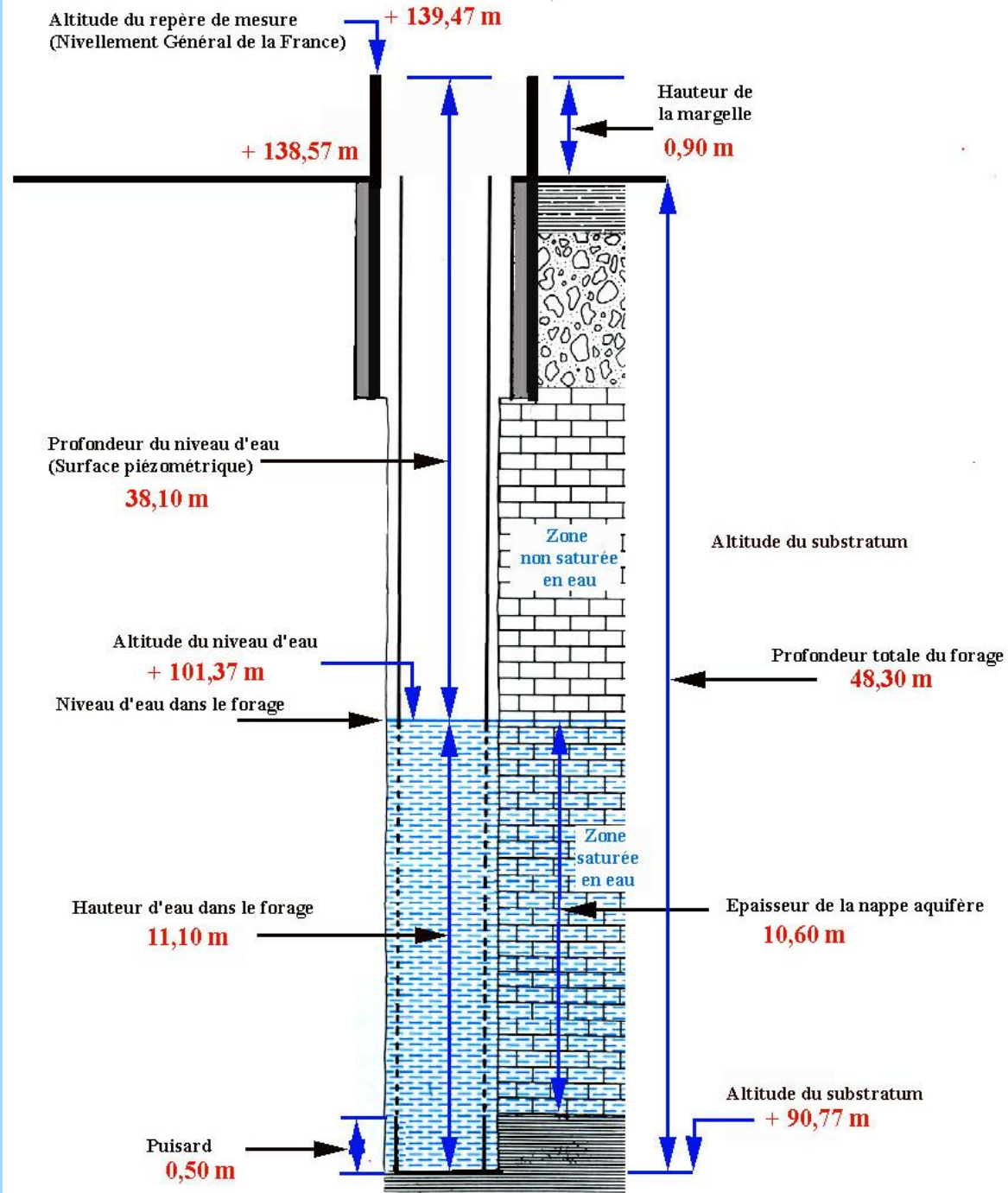
Fort gradient = faible perméabilité

Faible gradient = forte perméabilité

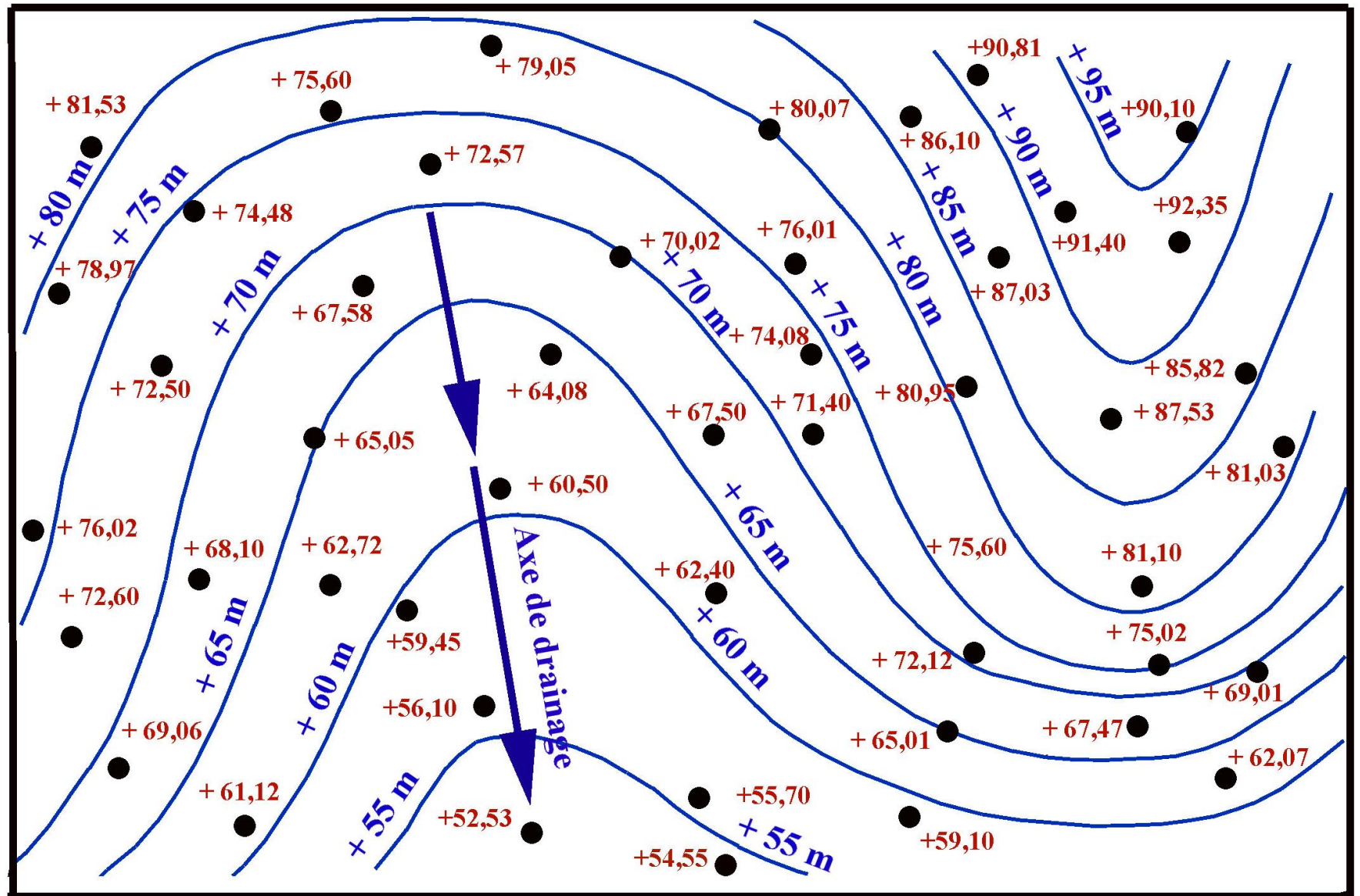


Mesure du niveau d'eau dans un piézomètre

(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.

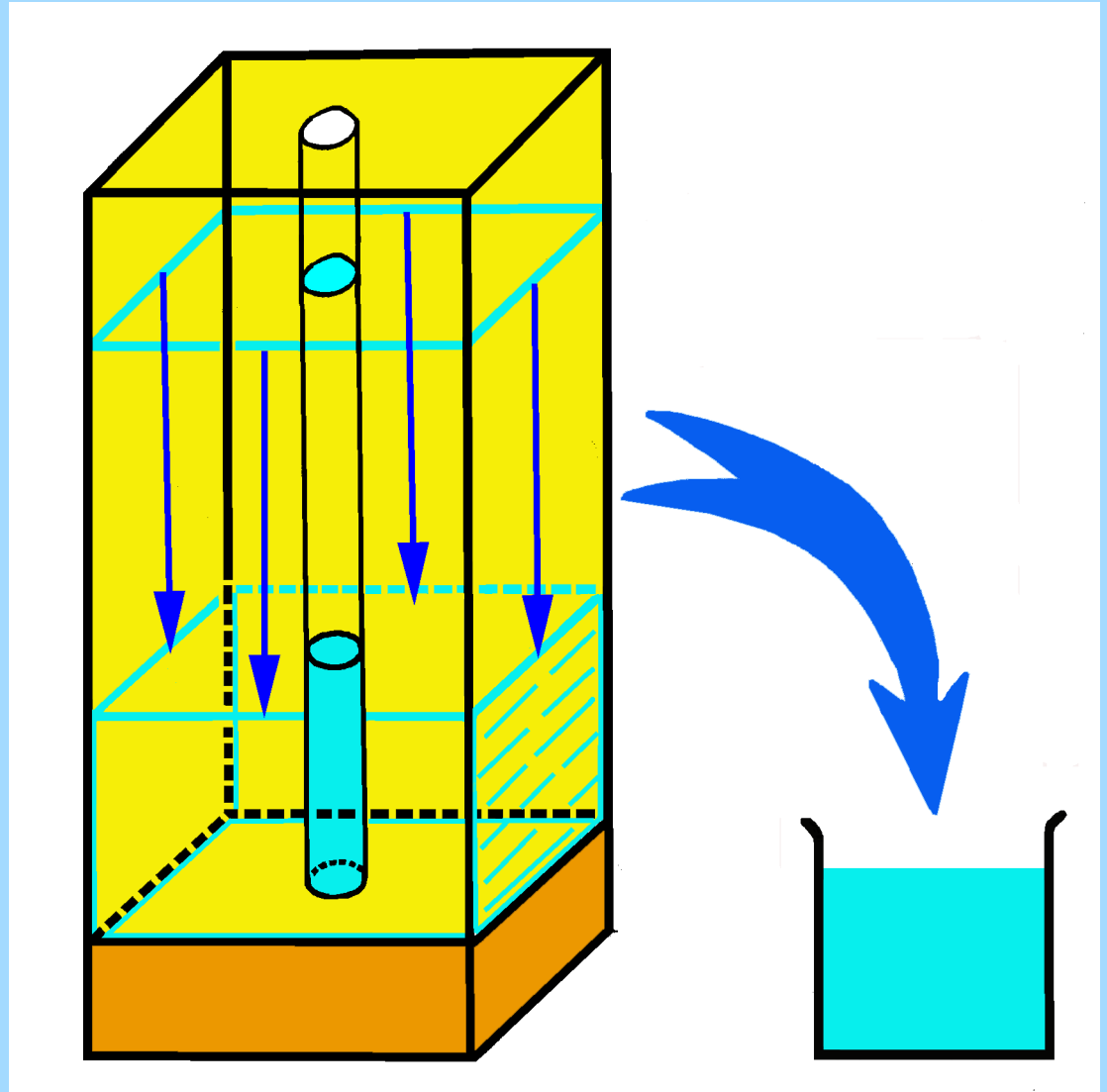
Coefficient d'emmagasinement : S

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

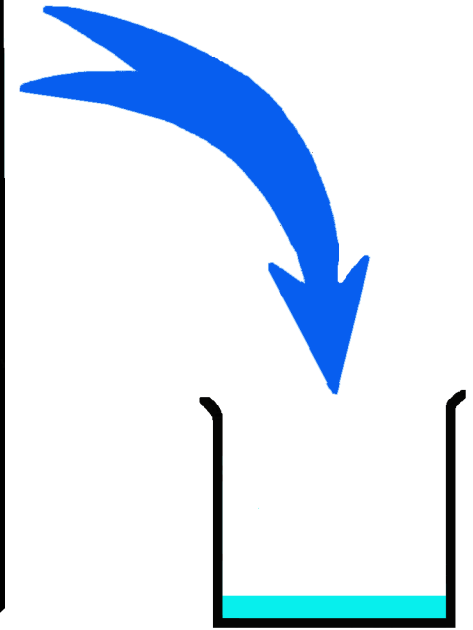
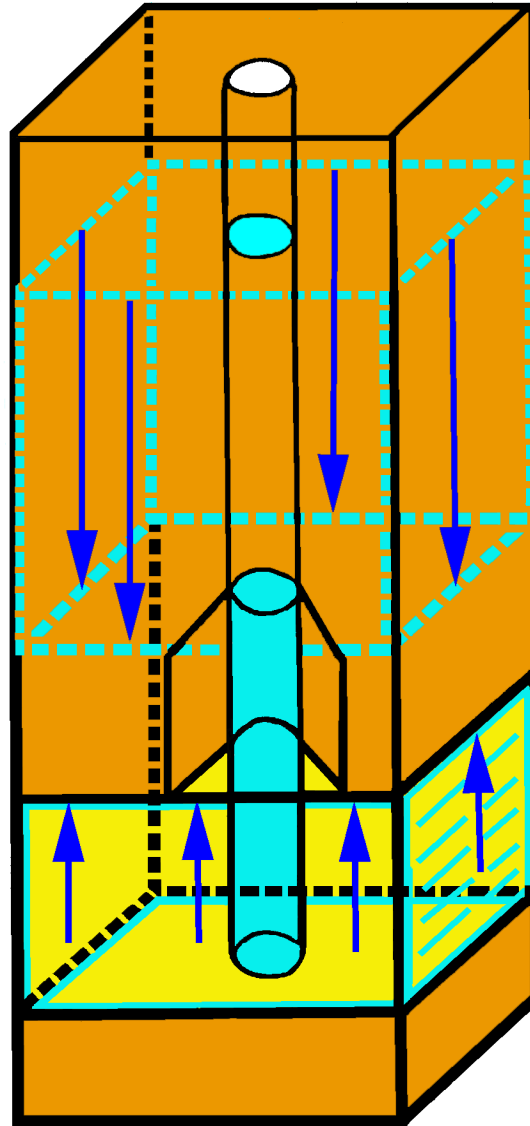
Coefficient d'emmagasinement d'une nappe libre : égal à la porosité efficace

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 m^2/s , k en m/s et e en m

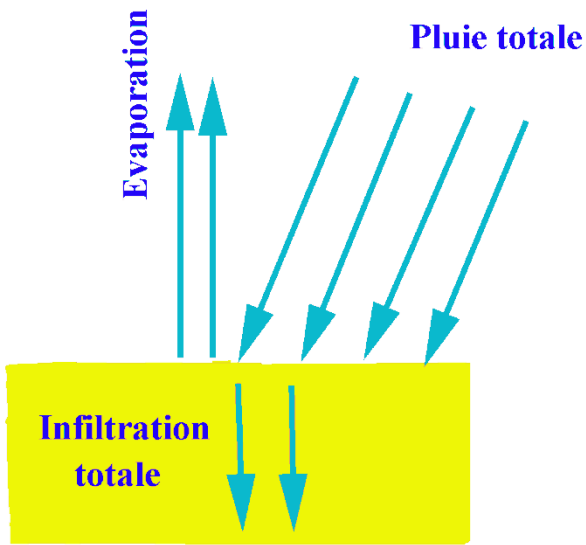
C'est un paramètre essentiel pour calculer la productivité d'un horizon aquifère

L'alimentation des eaux souterraines ou le ruissellement

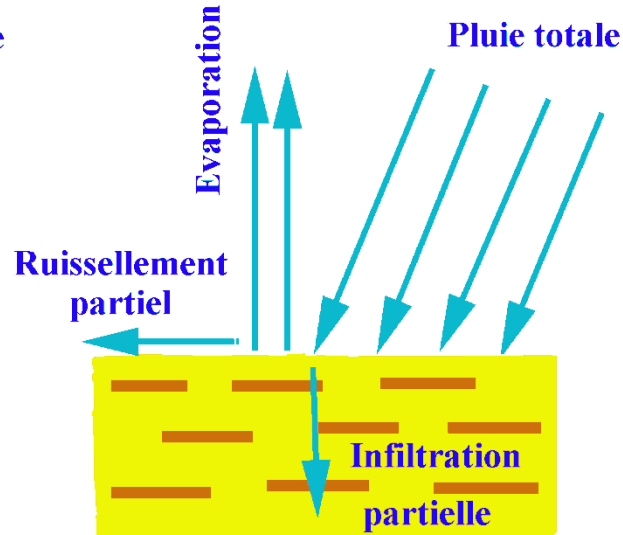
**Une partie des précipitations :
c'est la pluie efficace**

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

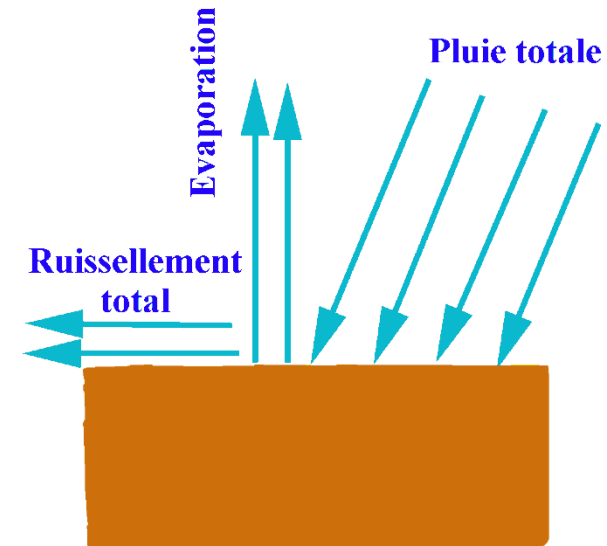
Infiltration, ruissellement



Roche perméable



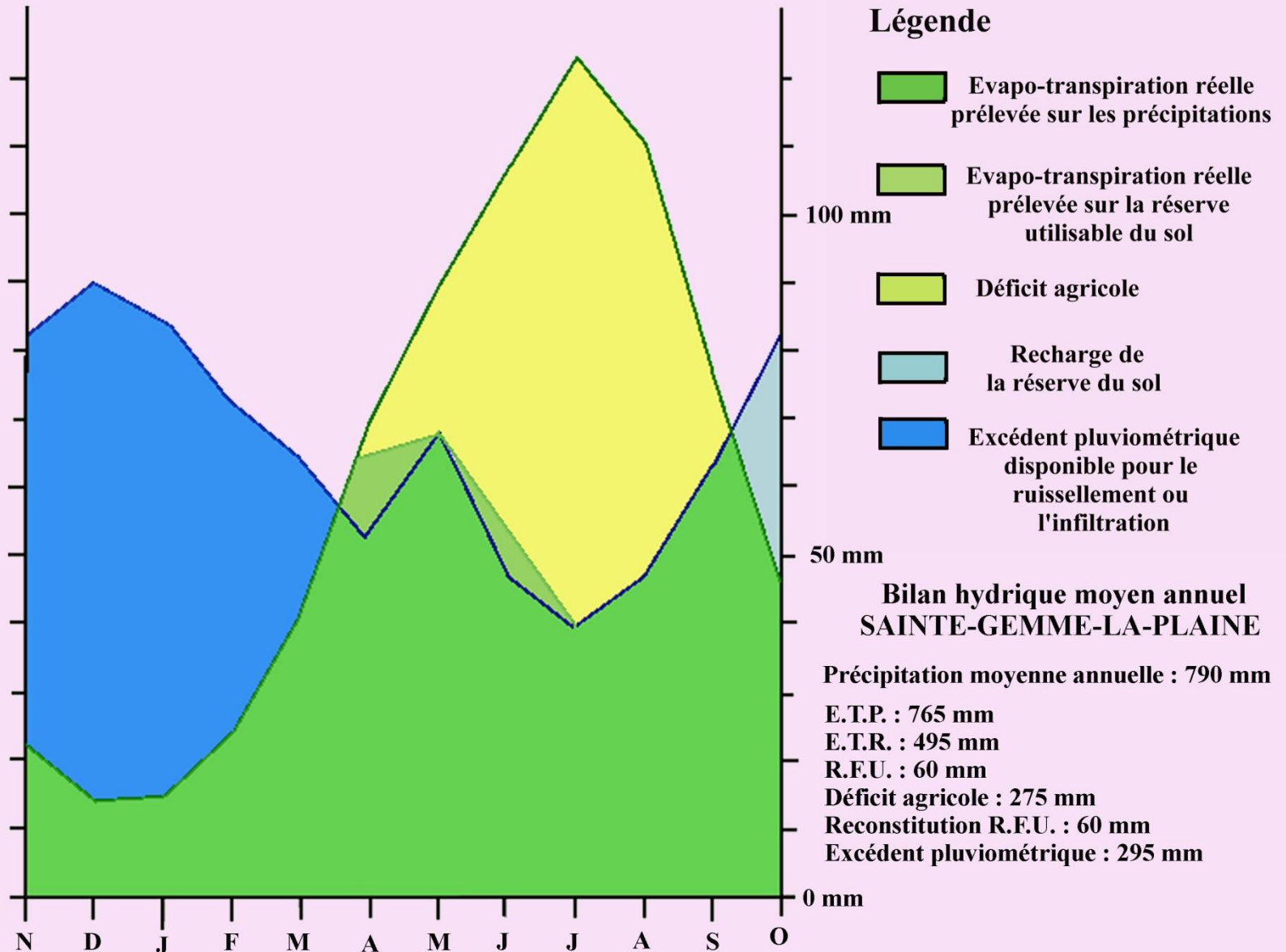
Roche semi-perméable



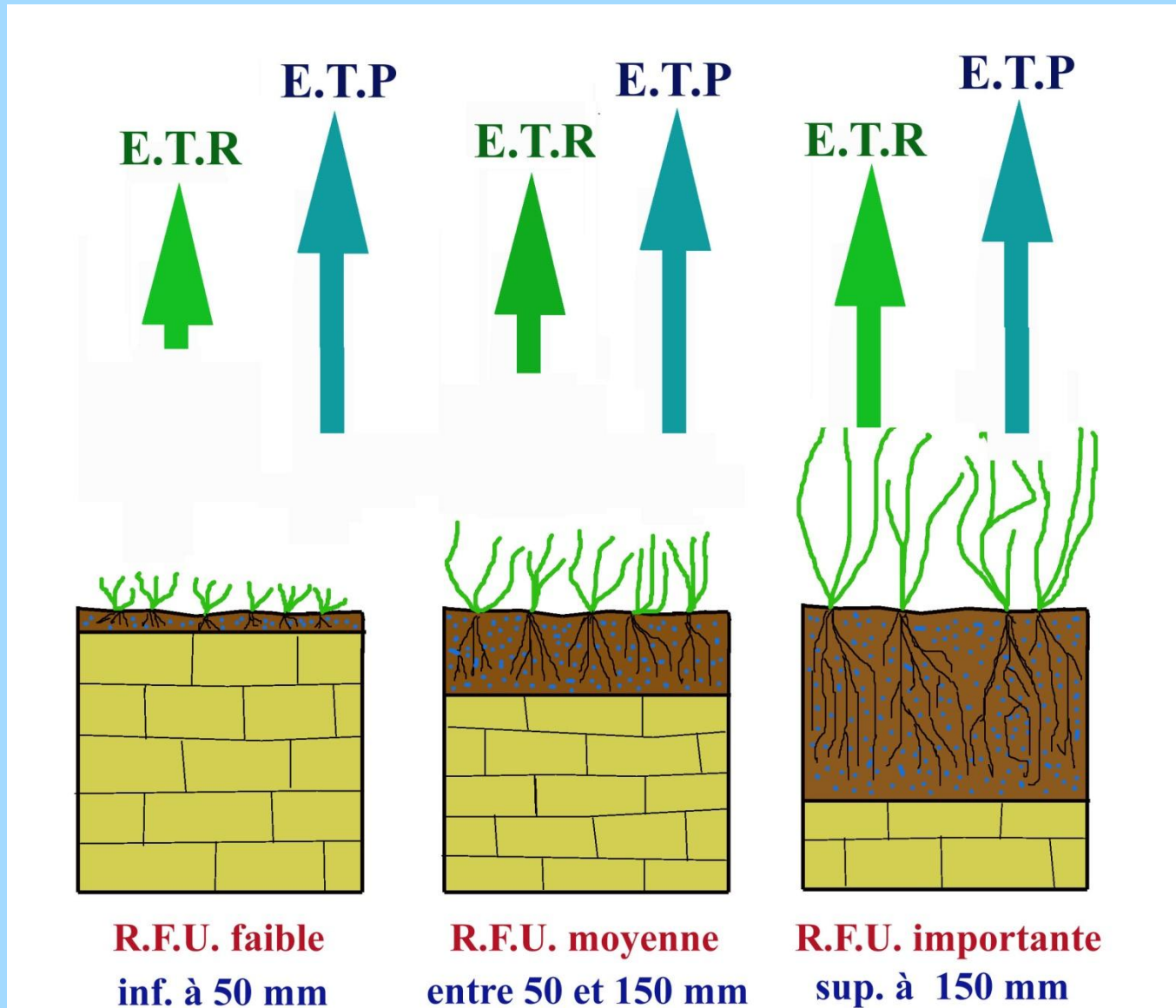
Roche imperméable

Réalimentation annuelle des nappes aquifères

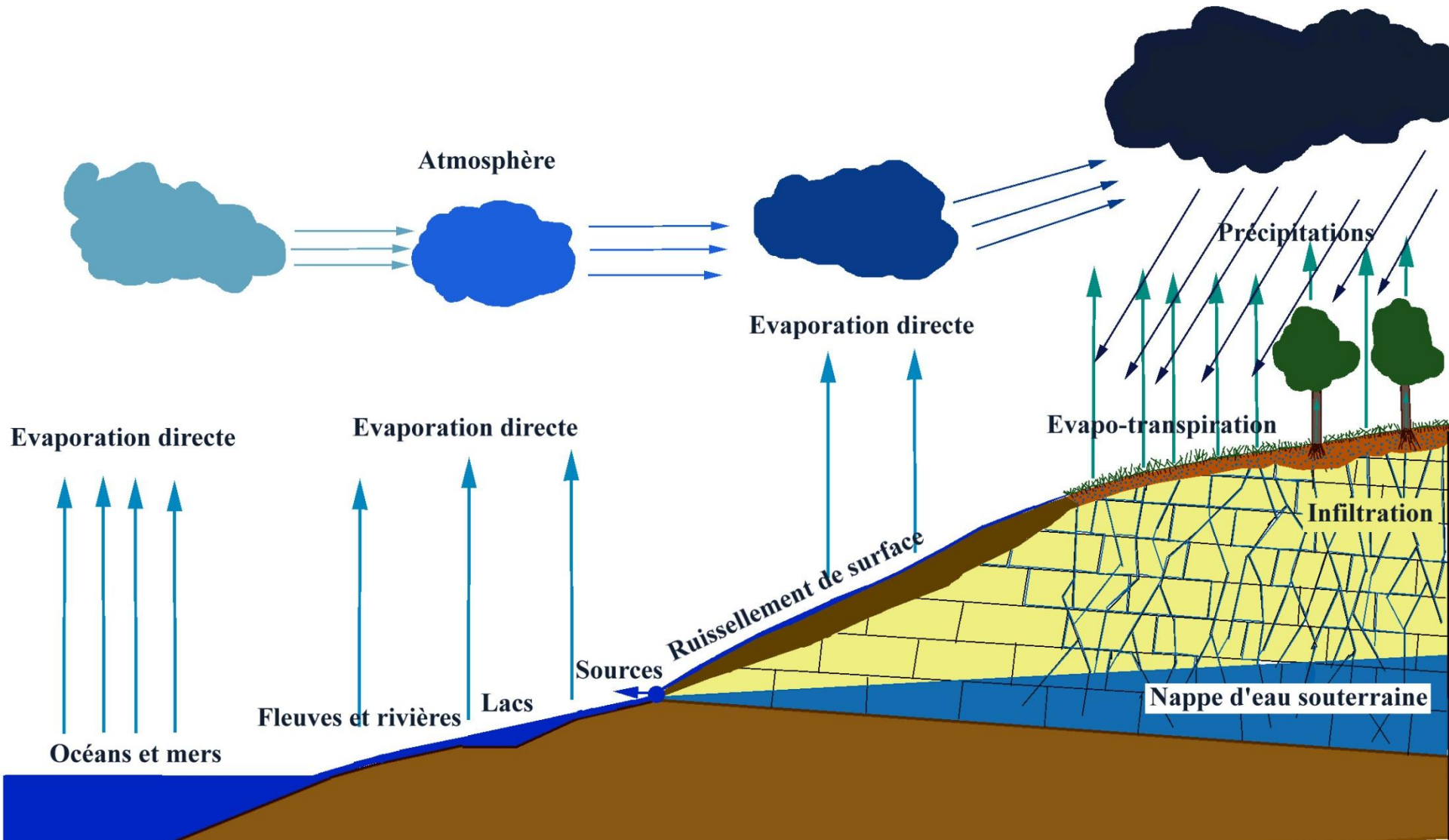
Le bilan hydrique



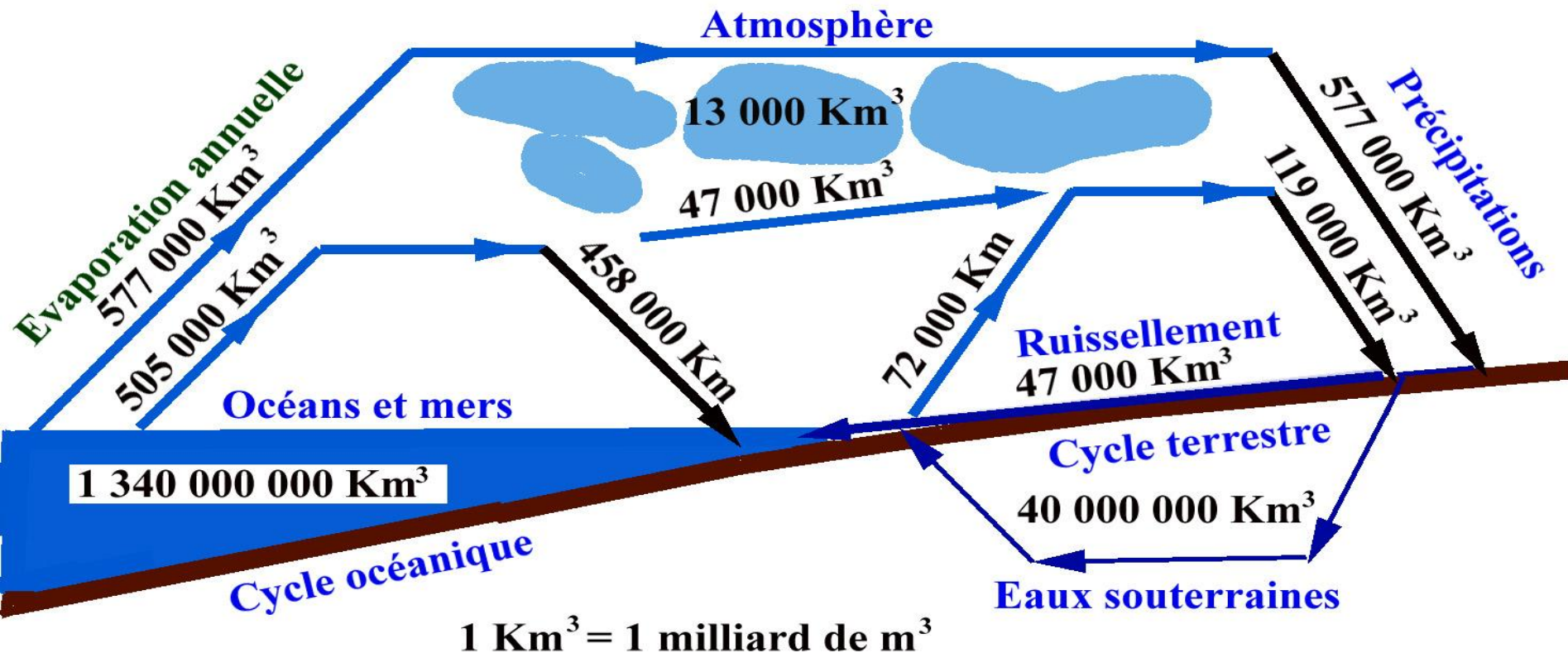
Variations de la Réserve Facilement Utilisable (R.F.U.) par les plantes suivant l'épaisseur des sols



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 Km³

E.S = eaux souterraines

P = E.T.R. + E = 440 Km³

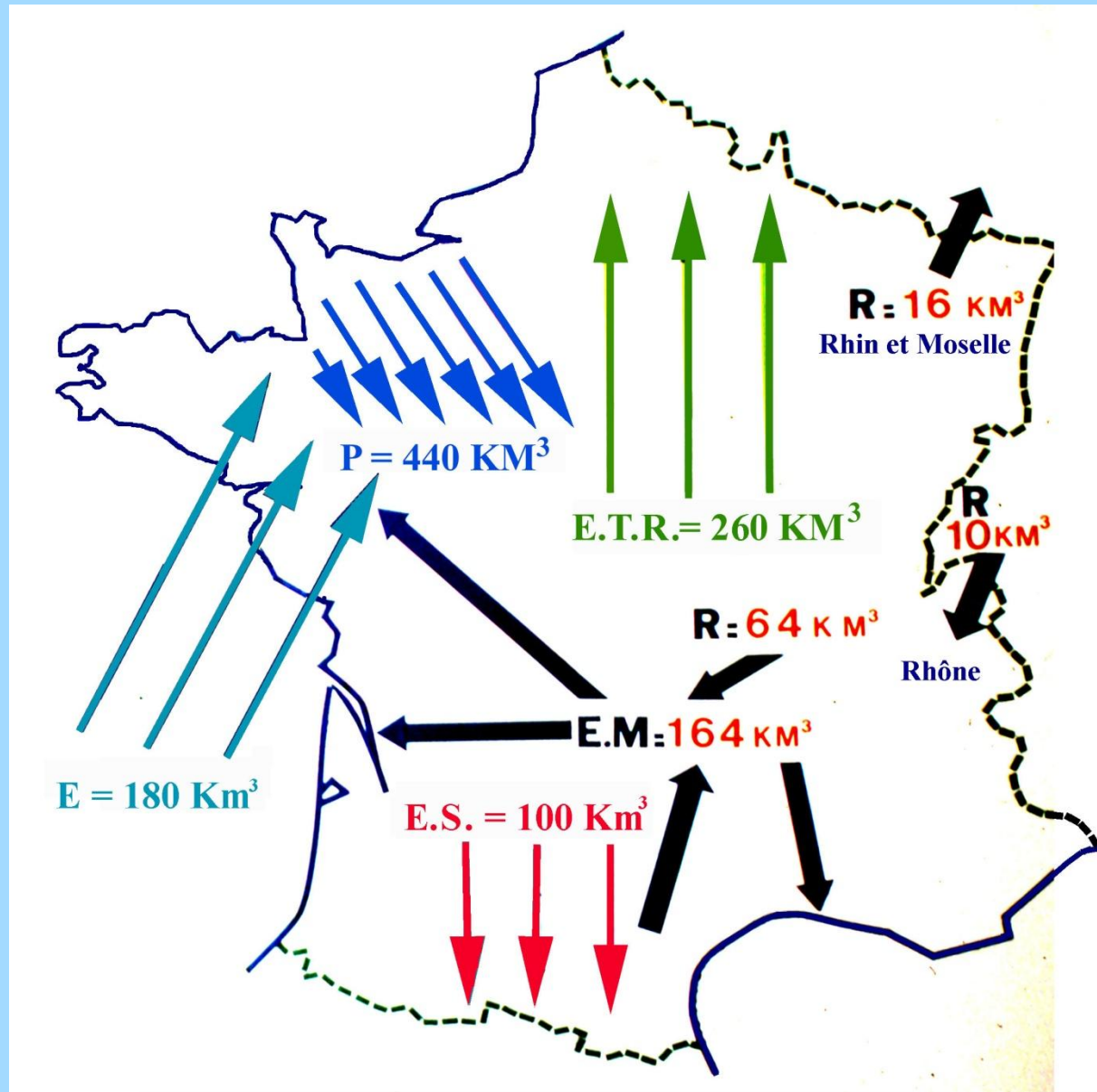
P - E.T.R. = 170 Km³

E.S + R = E.M. = 164 Km³

Exportation : 6 Km³

Total = 170 Km³

1 Km³ = 1 milliard de m³



HYDROSPHERE

GRANDS RESERVOIRS	Eau salée	Eau douce
	Volume en Km ³	Volume en Km ³
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
Total	1 348 086 400	40 122 740
%	97,2 %	2,8 %
Total de l'HYDROSPHERE	1 388 209 140 Km³	

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 .**

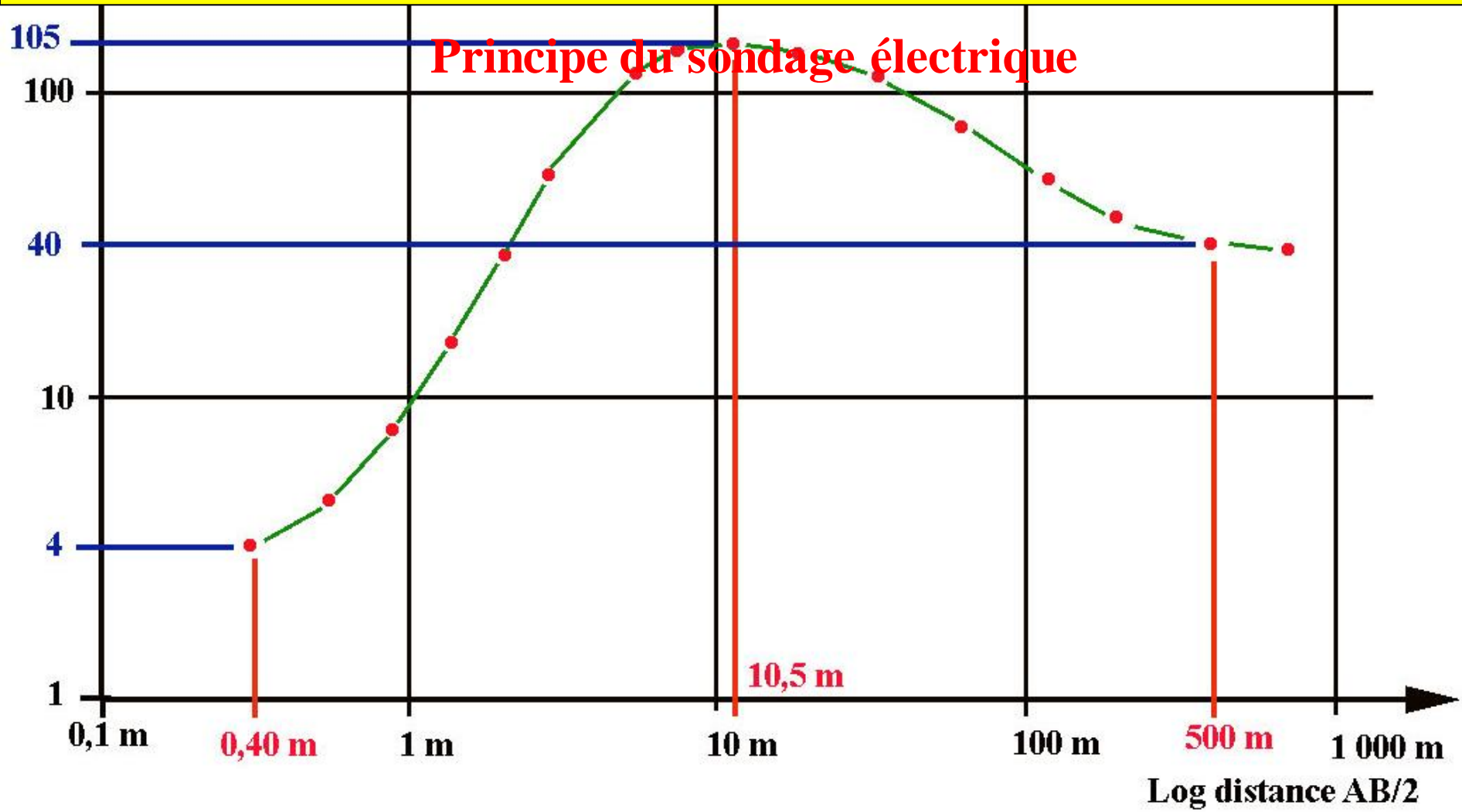
L'utilisation de la géophysique

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

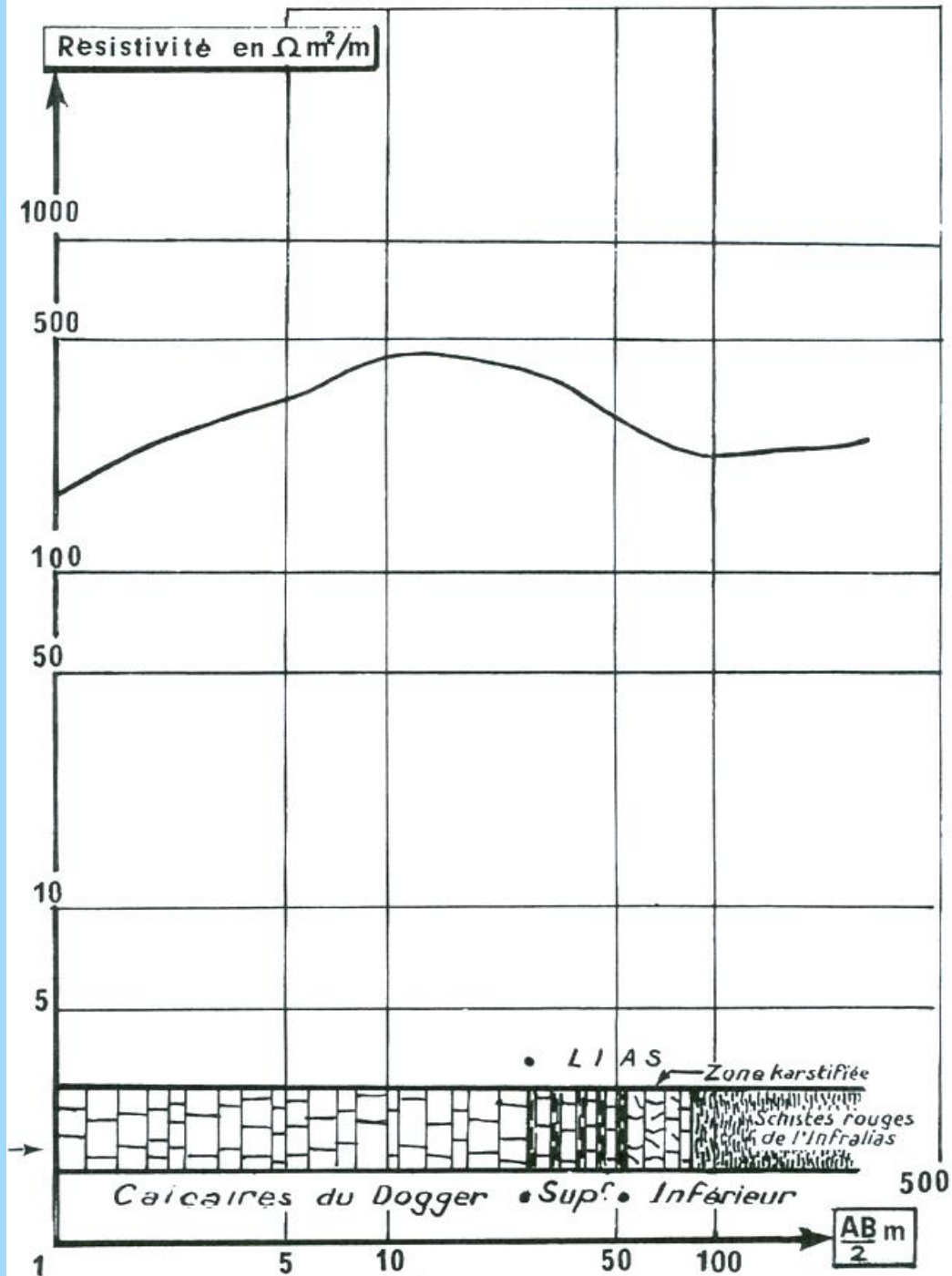
$$\text{Résistivité apparente} = \frac{\text{Tension en Volts}}{\text{Intensité en Ampères}}$$

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

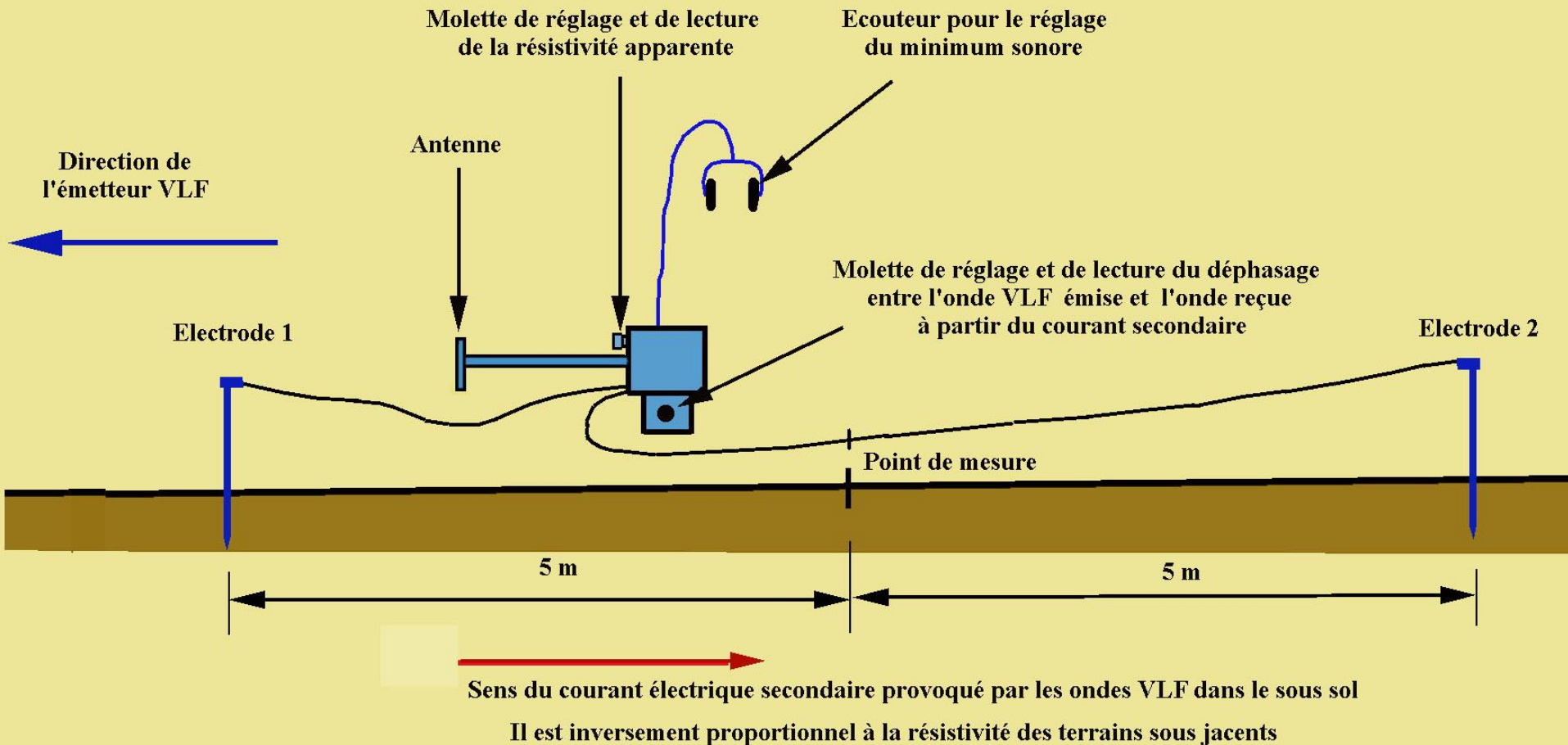
Coupe géologique interprétative



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

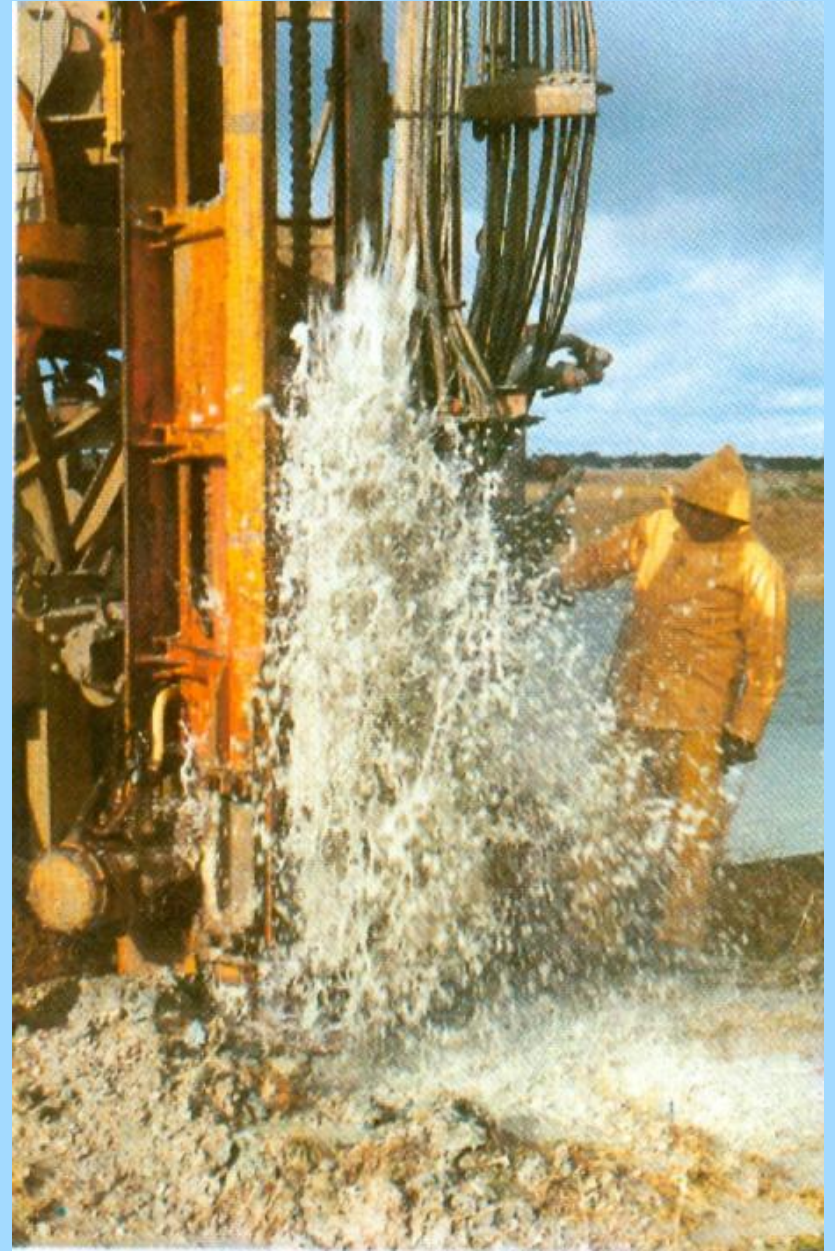


Le forage

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.

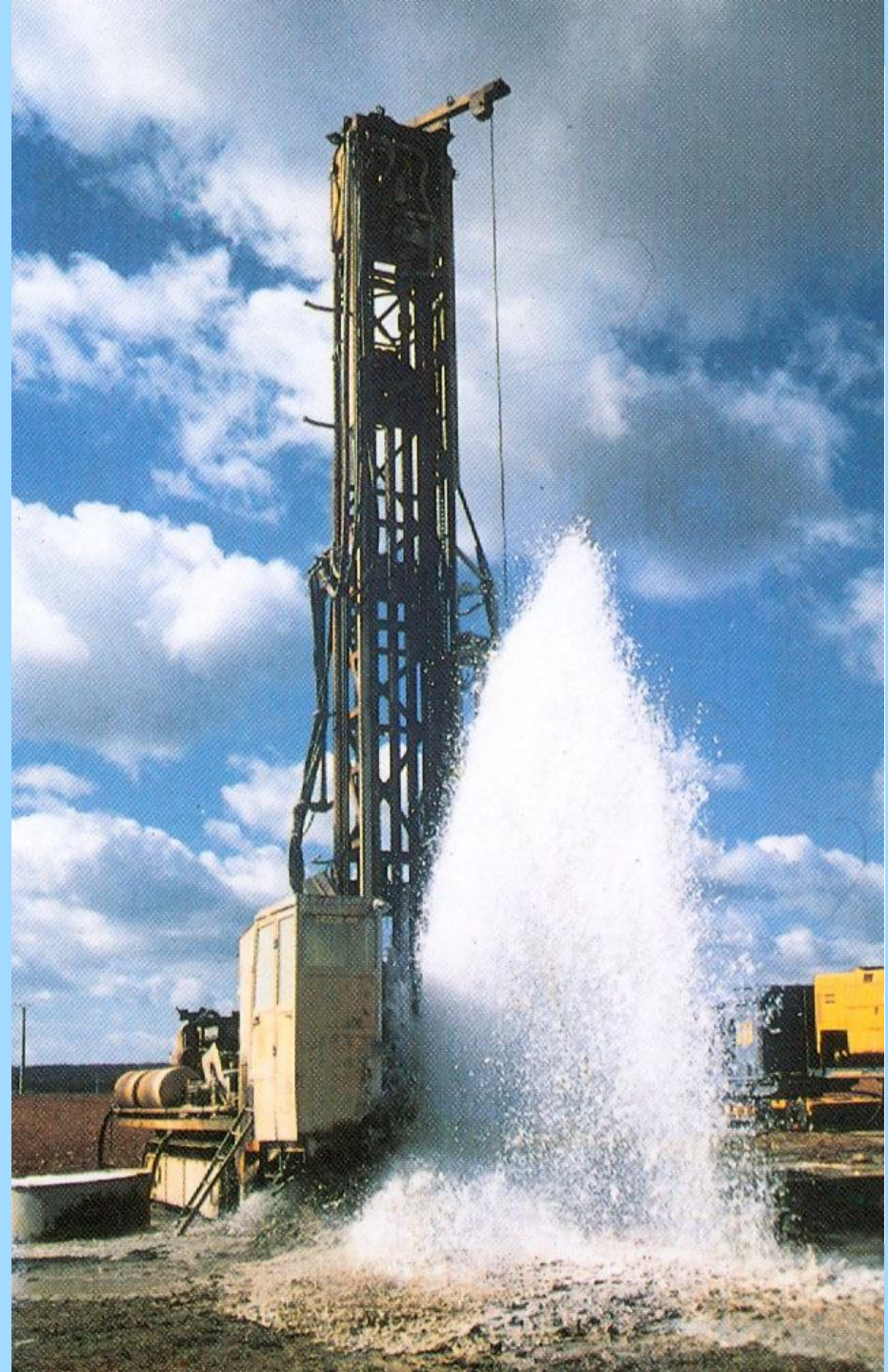
Le forage d'eau

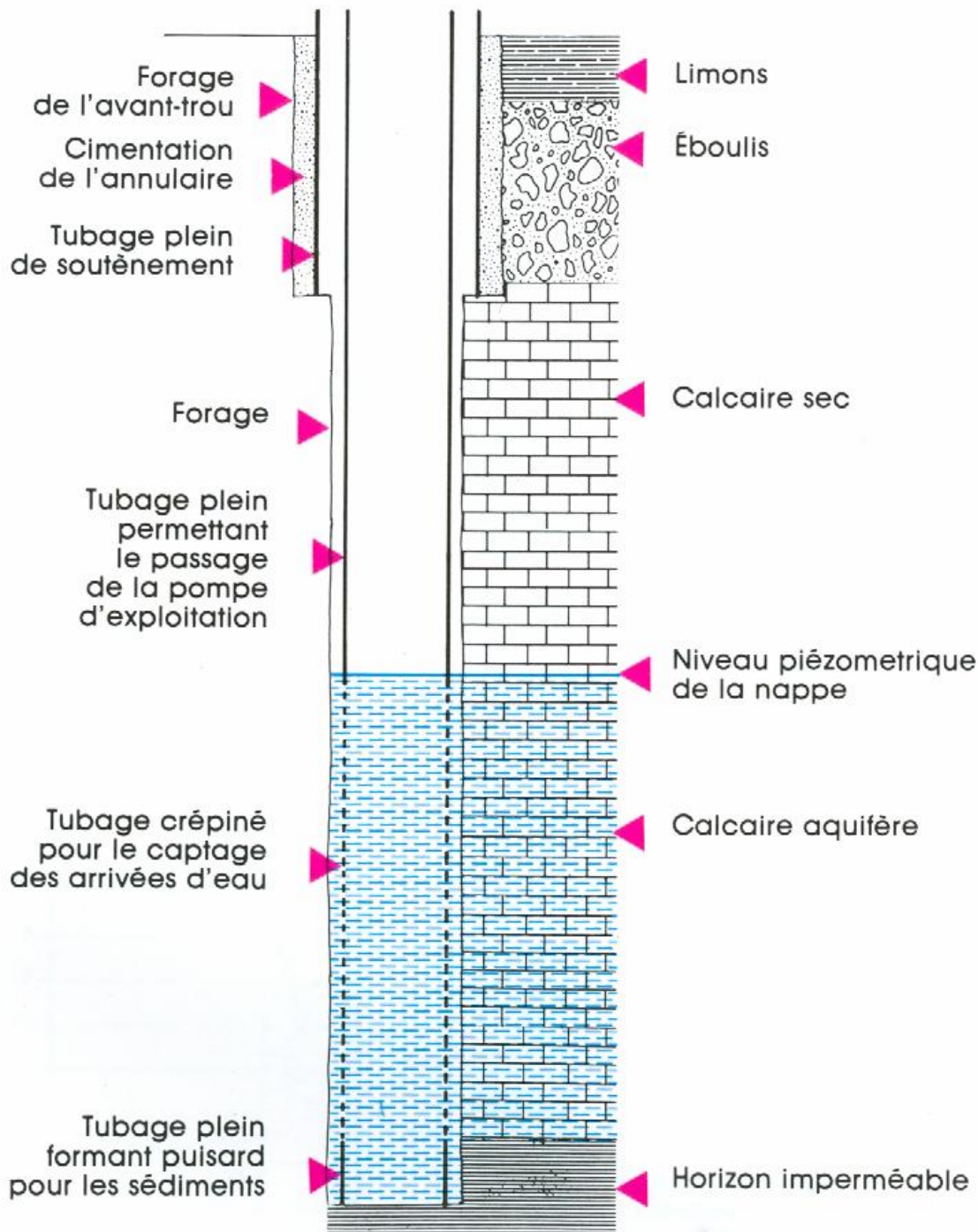


Le forage d'eau au marteau fond de trou

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.





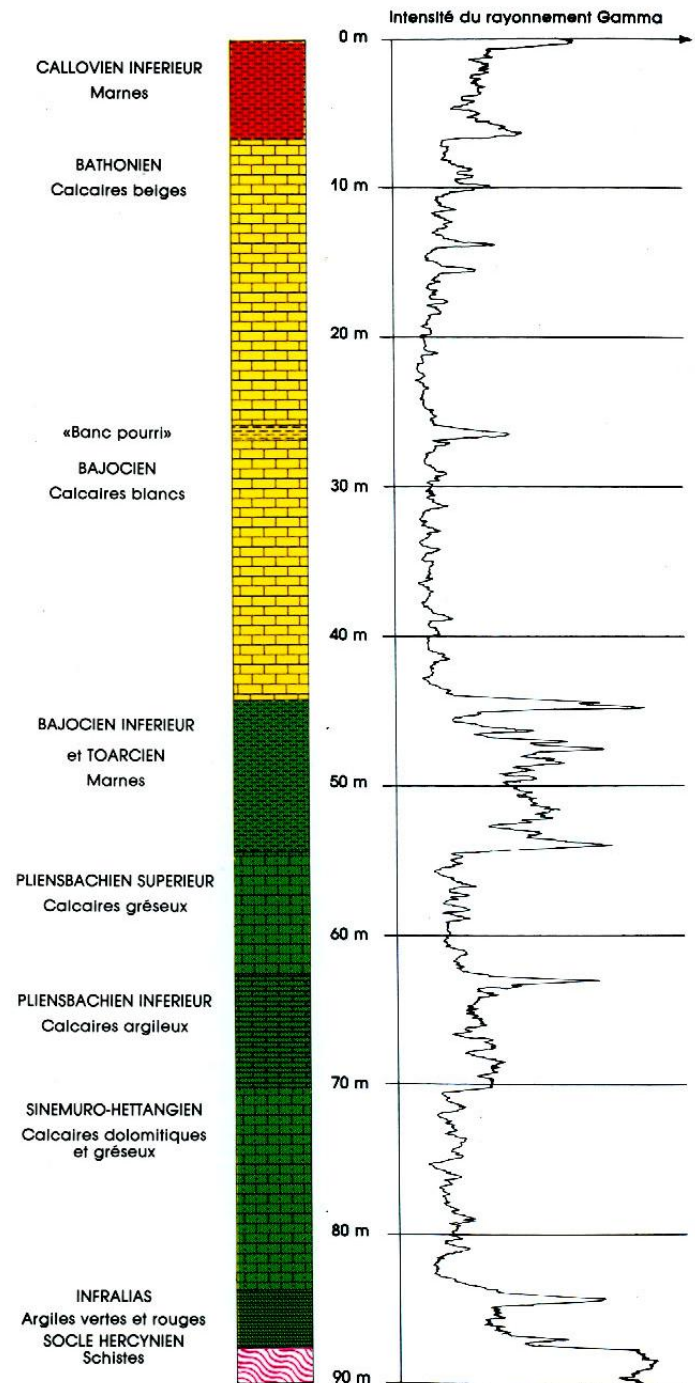
**Schéma
d'exécution d'un
forage d'eau
dans la nappe
du Dogger
dans le sud
de la Vendée**

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.

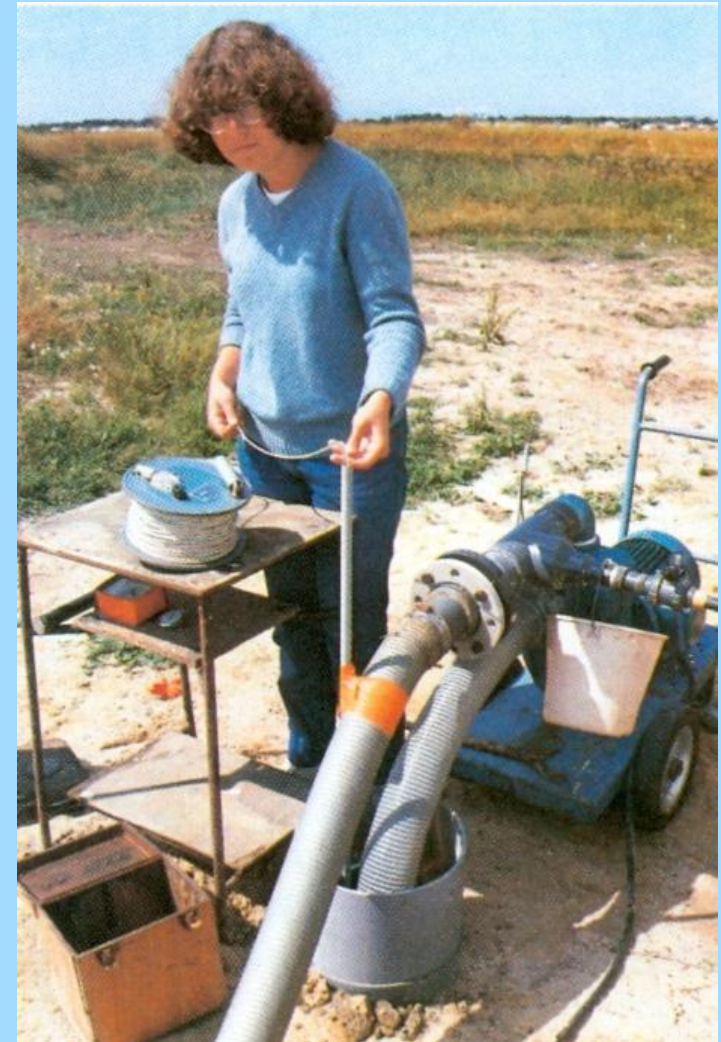
Exemple de diagraphie dans un forage de la Plaine de Luçon-Fontenay



Le pompage d'essai

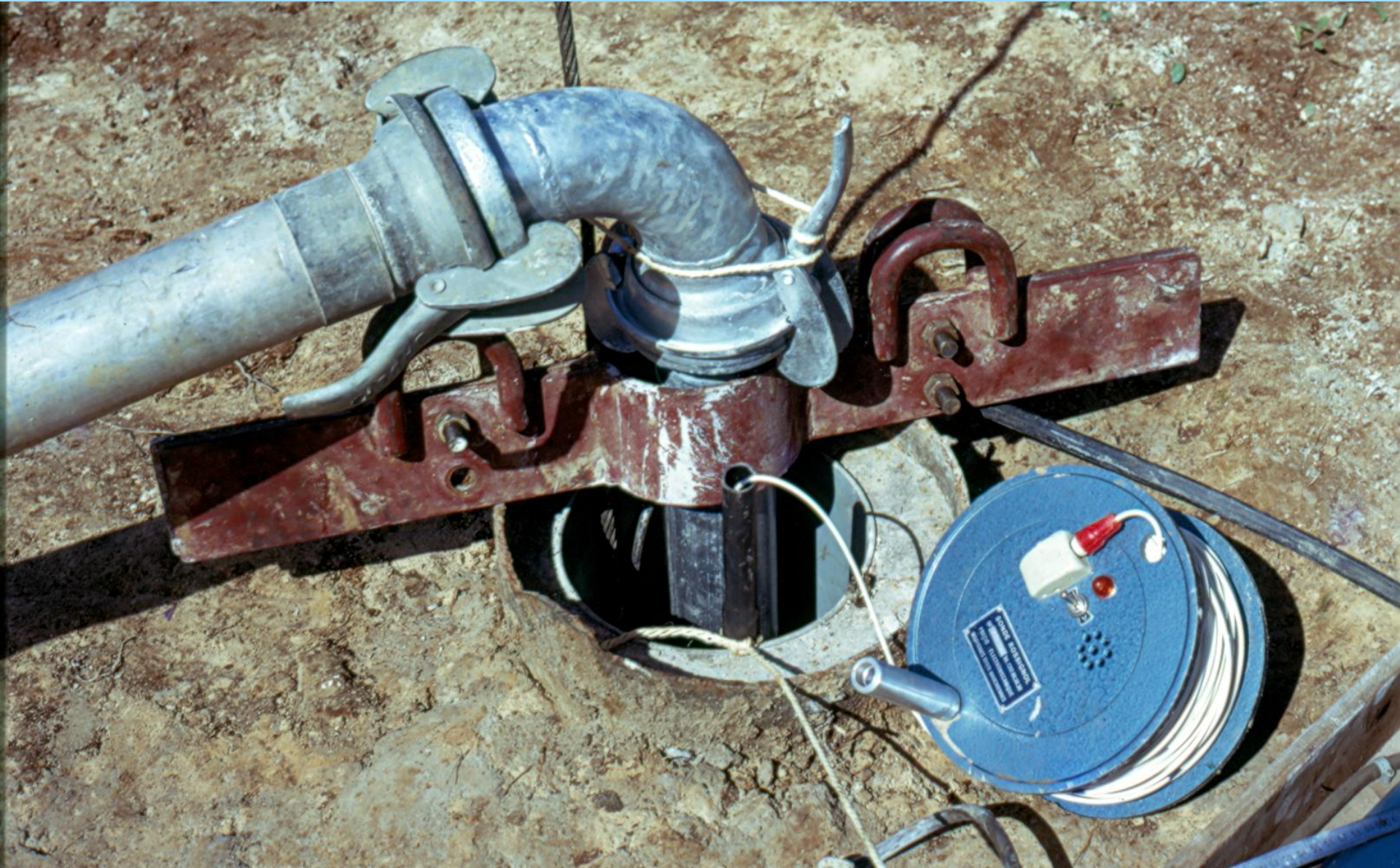
Seule méthode pour tester la productivité réelle de la nappe aquifère

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

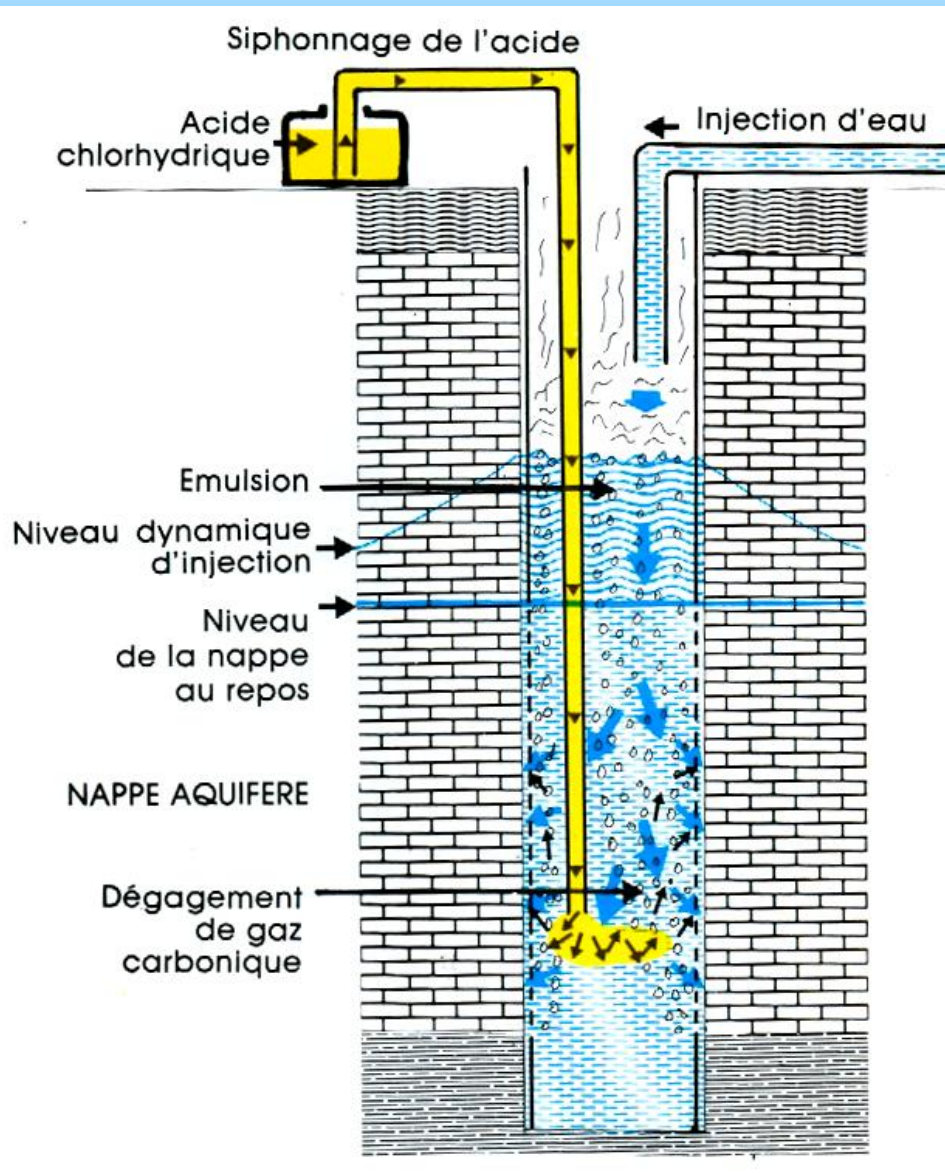


Niveau dynamique – niveau initial de la nappe = rabattement

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

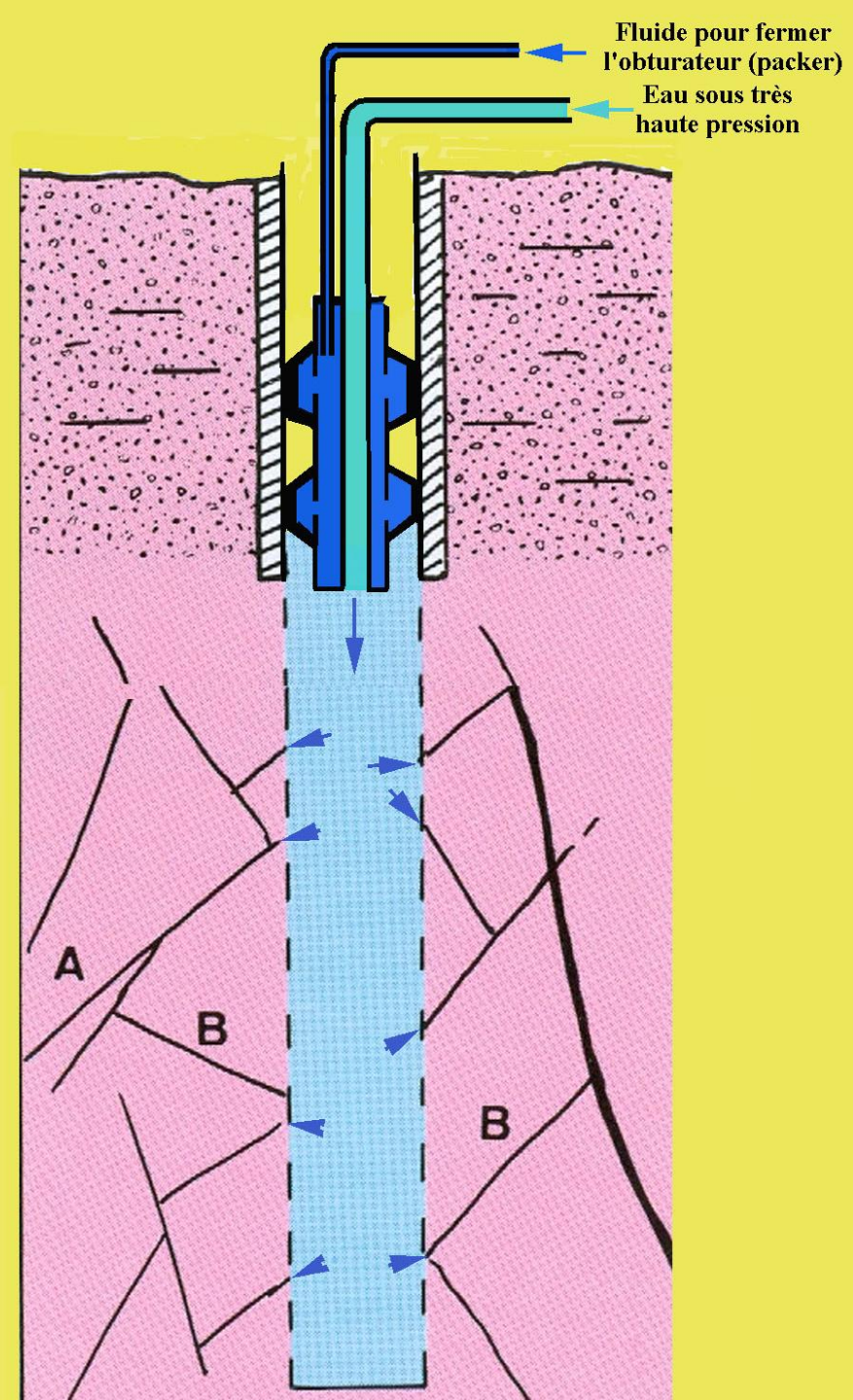


Le pompage de nettoyage d'un forage



La fracturation hydraulique

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



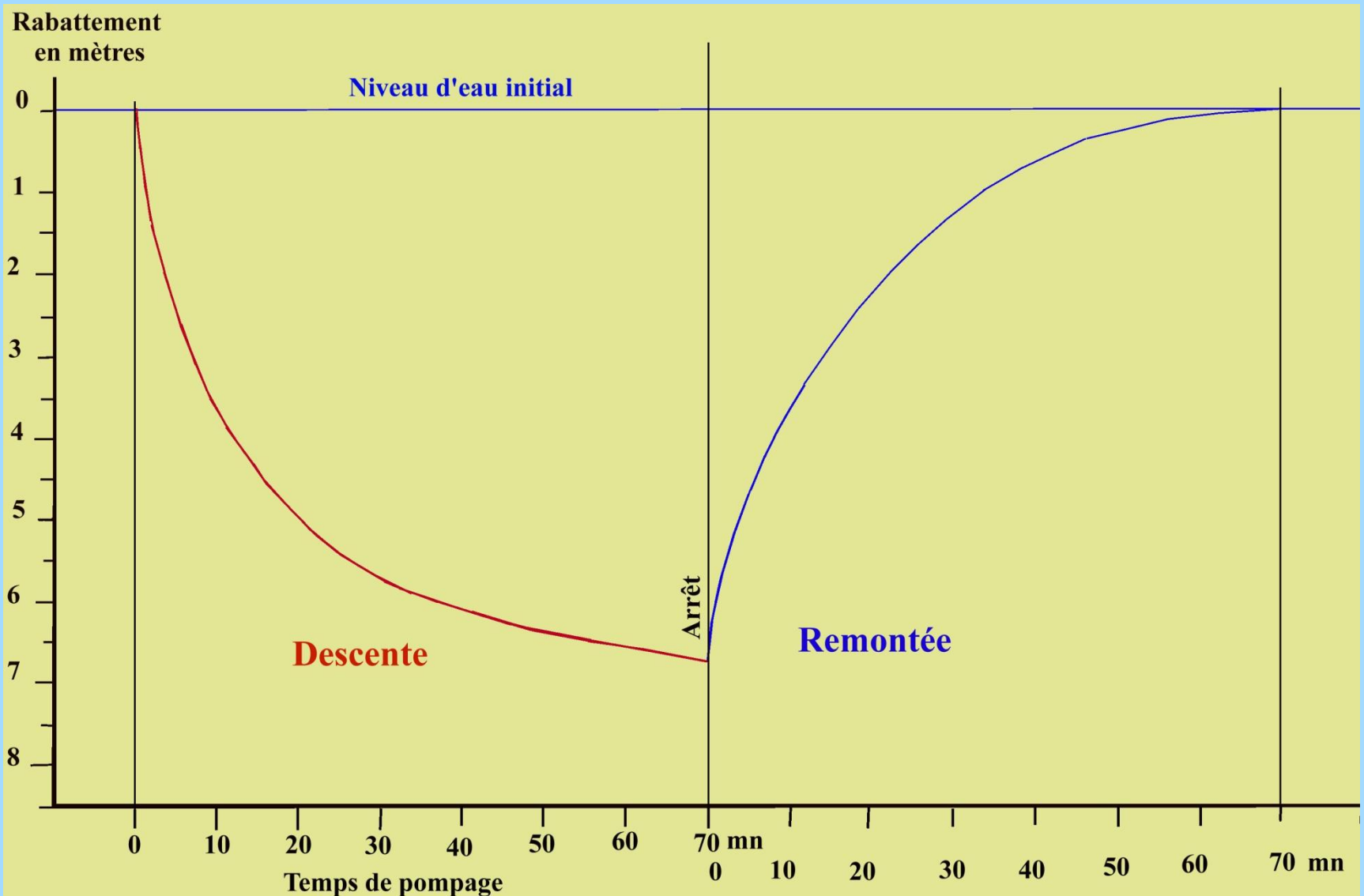
Surveillance en continu des nappes aquifères



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

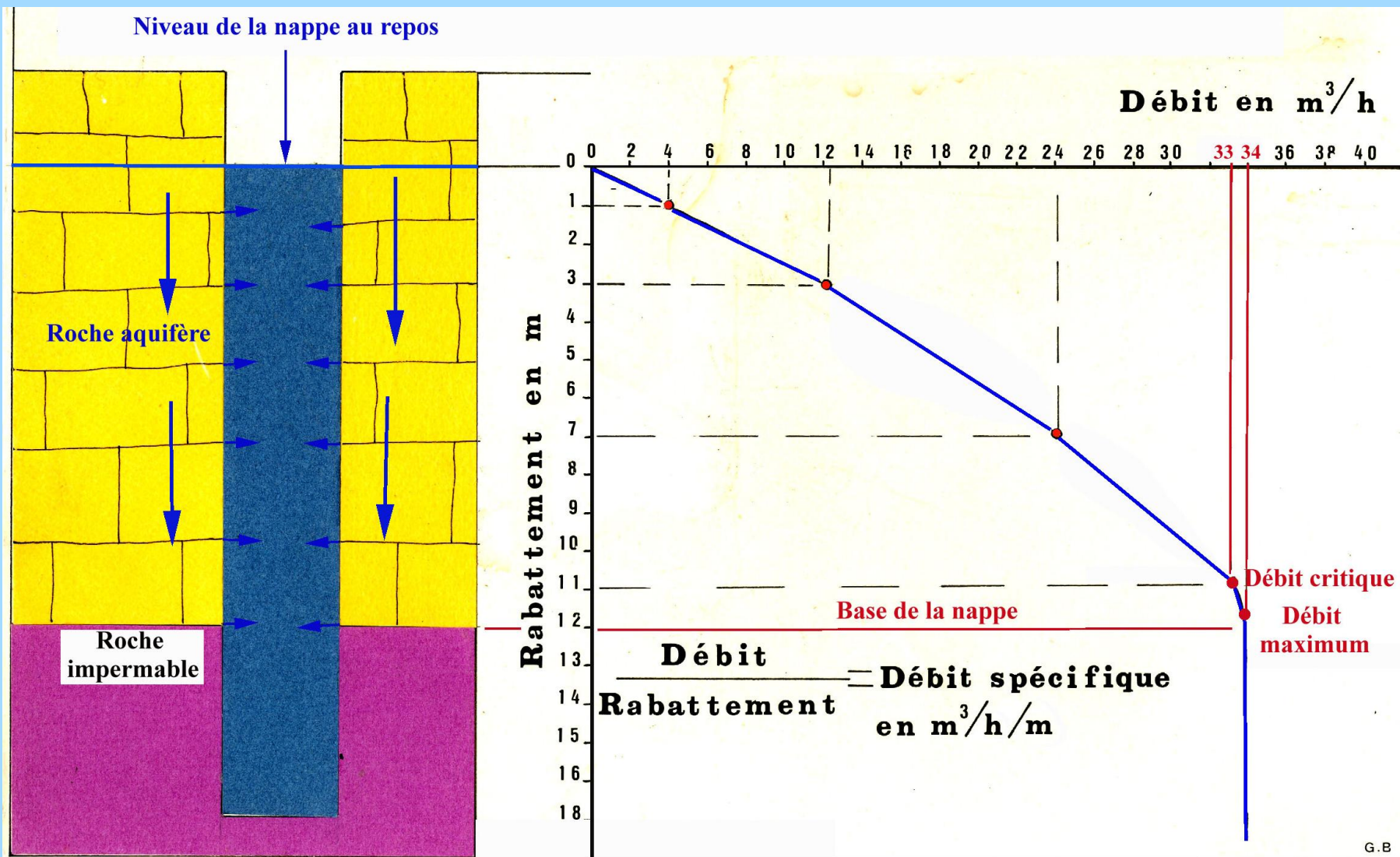
Pompage à débit constant

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

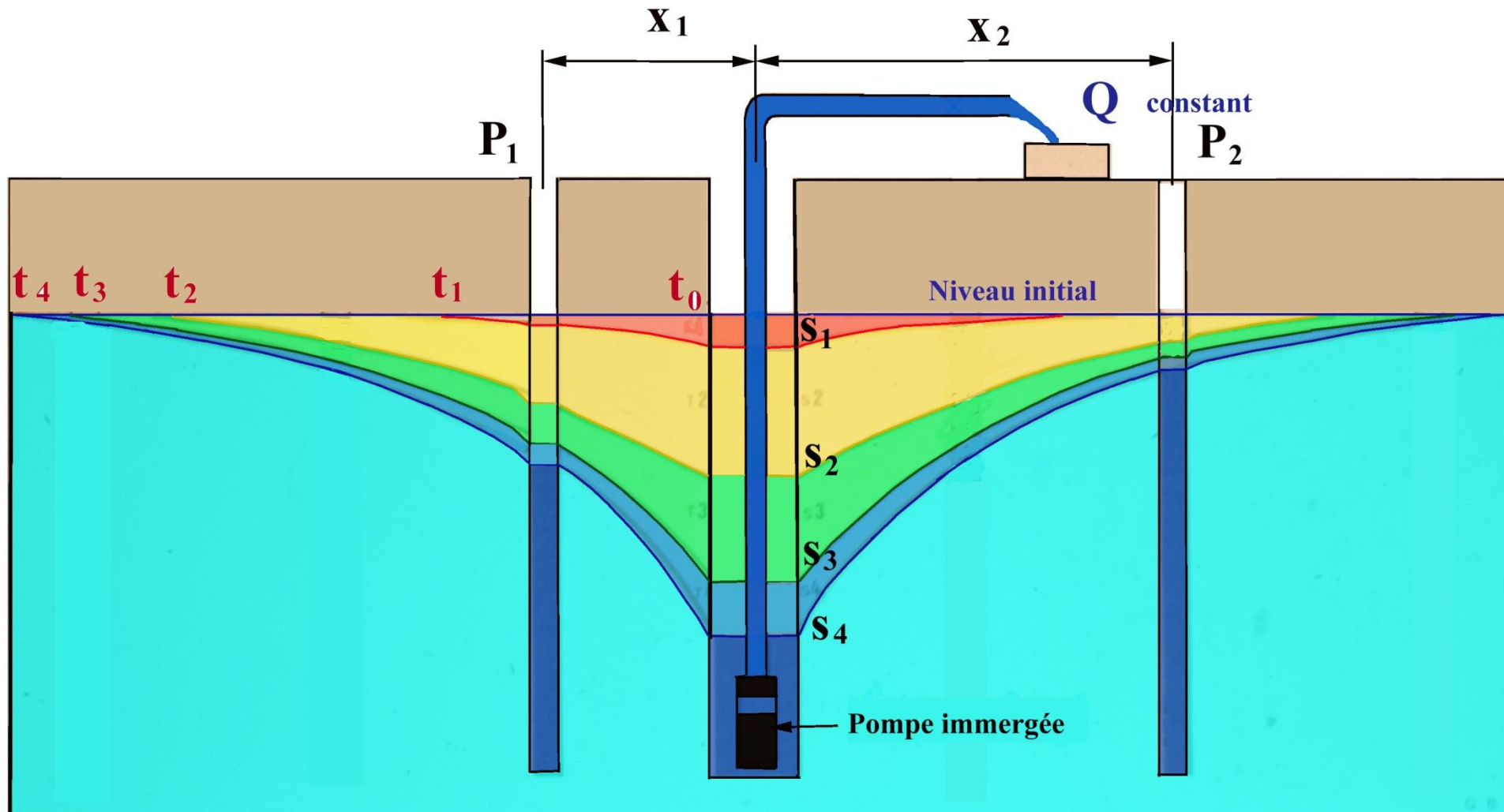
Pour le calcul de la **Transmissivité** et du **Coefficient d'emmagasinement** de la nappe aquifère

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

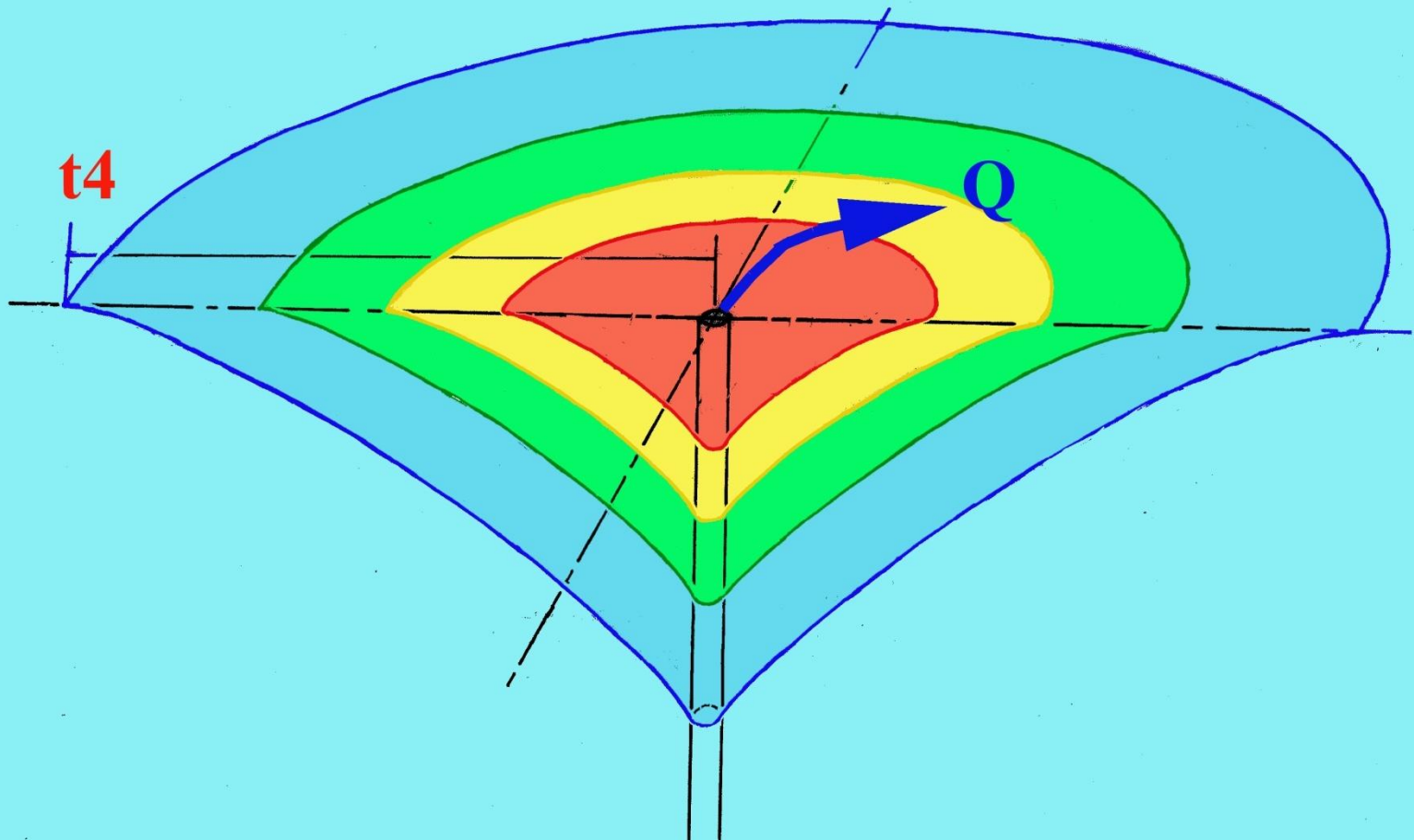
Pour le calcul du **Coefficient d'emmagasinement**, mesure des niveaux dynamiques dans un ou plusieurs piézomètres d'observation situés à quelque distance du puits de pompage.

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:

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

Avec :

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

Q : le débit en m³/h

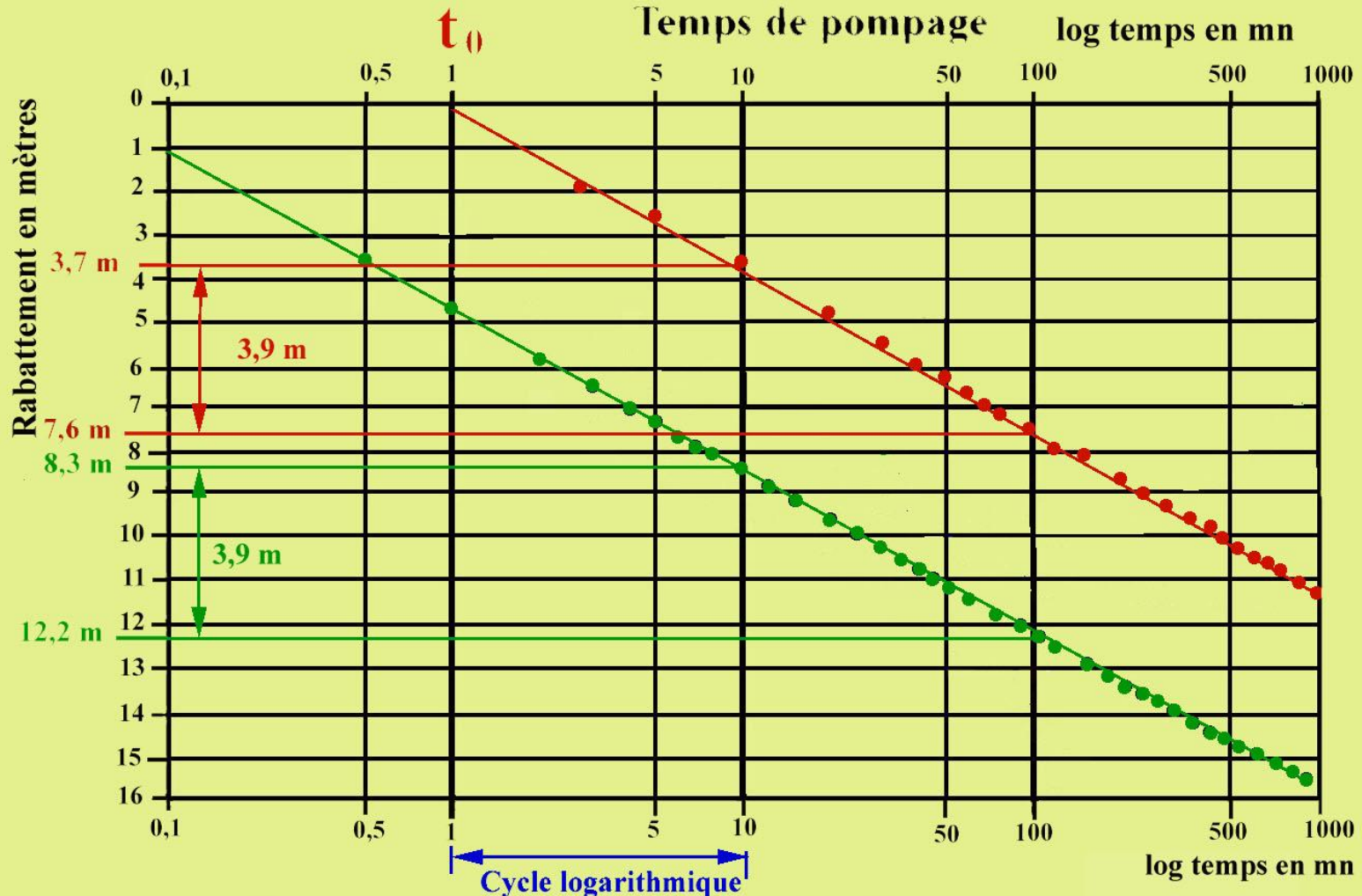
T : la transmissivité en m²/h

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

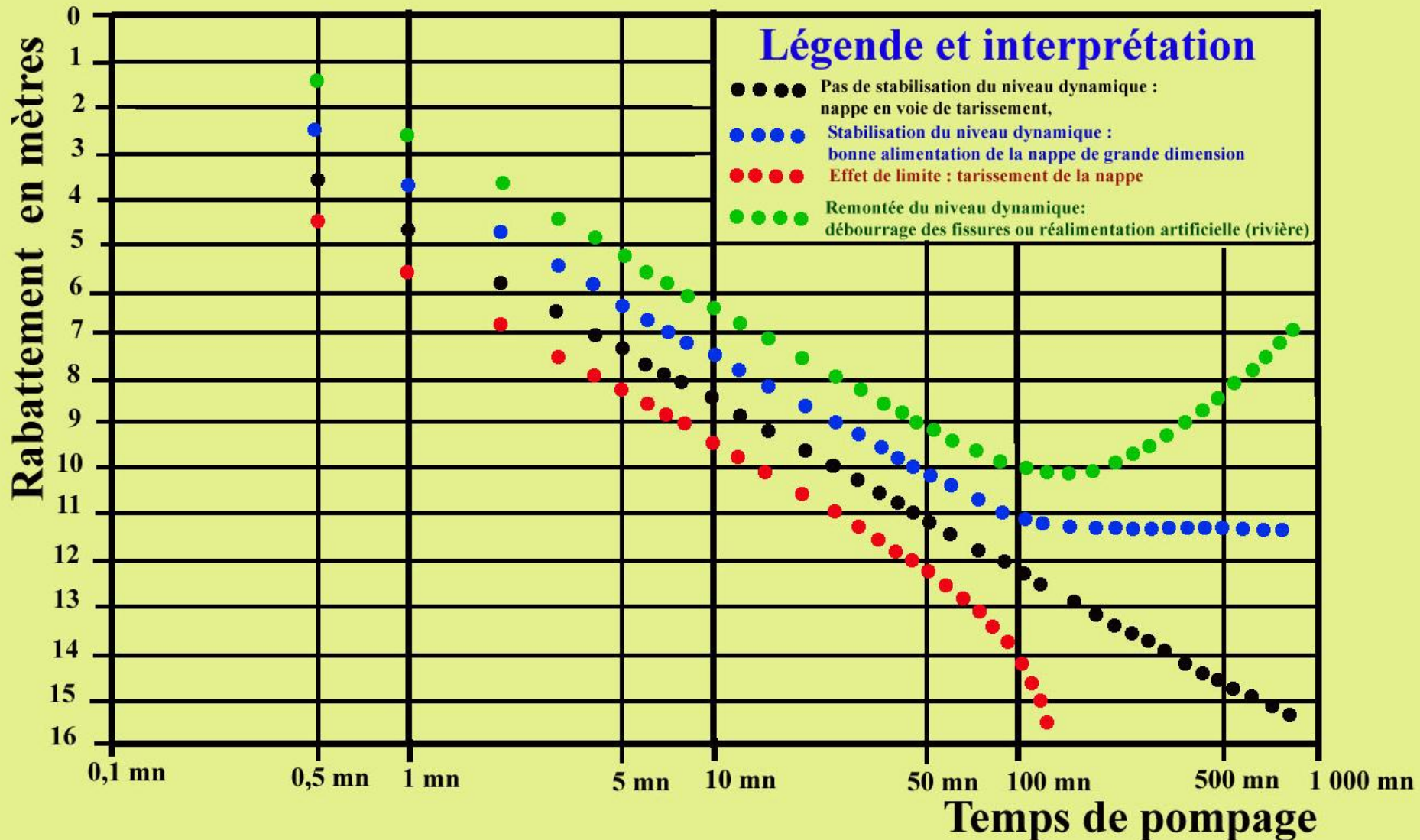


$Q = 2 \text{ m}^3/\text{mn}$
 $c = 3,9 \text{ m}$
 $x = 10 \text{ m}$
 $t_0 = 1 \text{ mn}$

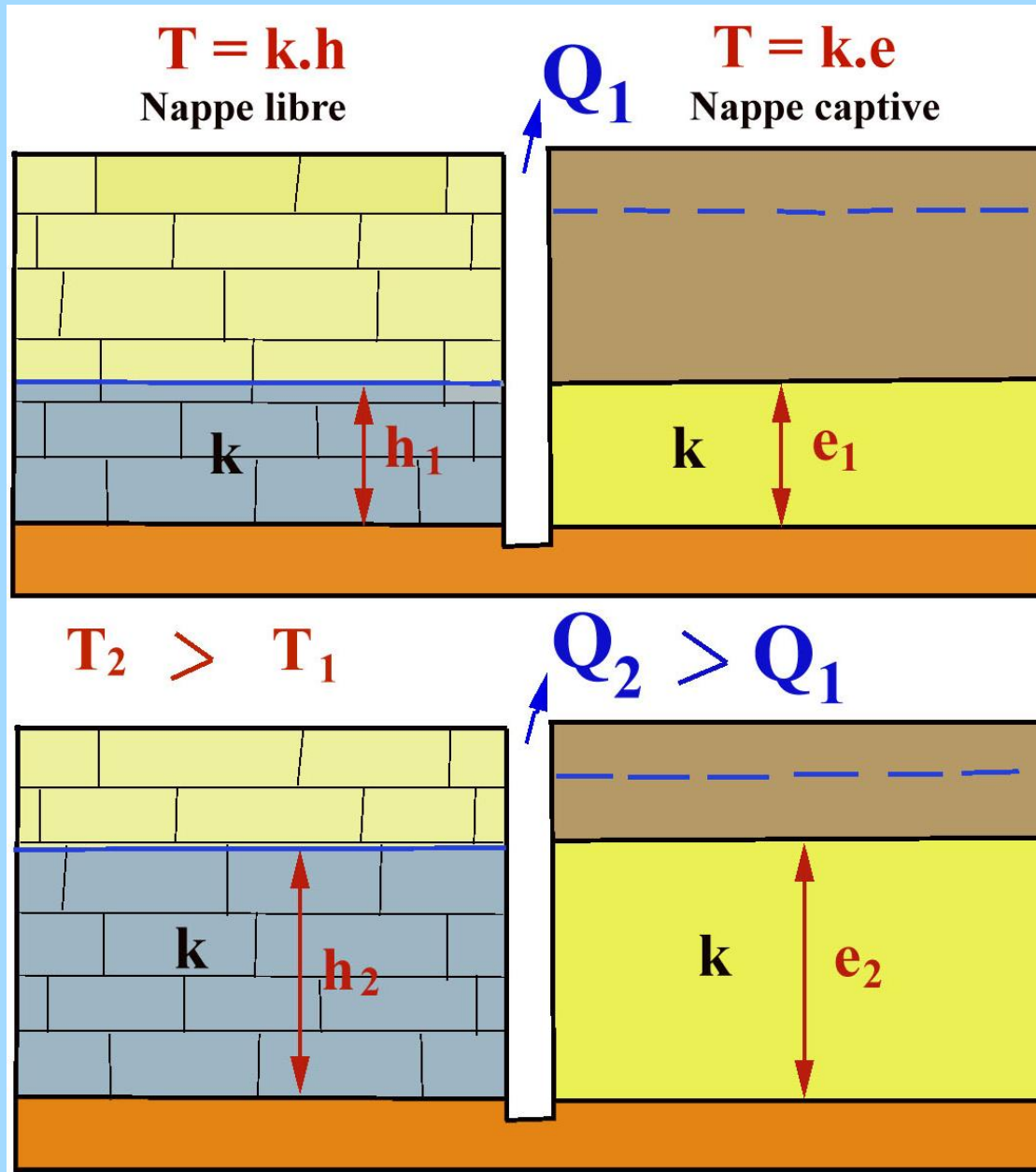
$$T = \frac{0,183 Q}{c} = \frac{0,183 \cdot 2 \text{ m}^3/\text{mn}}{3,9 \text{ m}} = 0,038 \text{ m}^2/\text{mn} = 5,63 \text{ m}^2/\text{h}$$

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

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

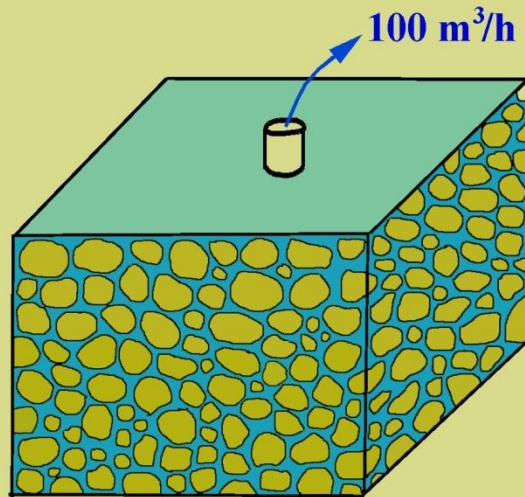


Influence de la Transmissivité sur le débit exploitable

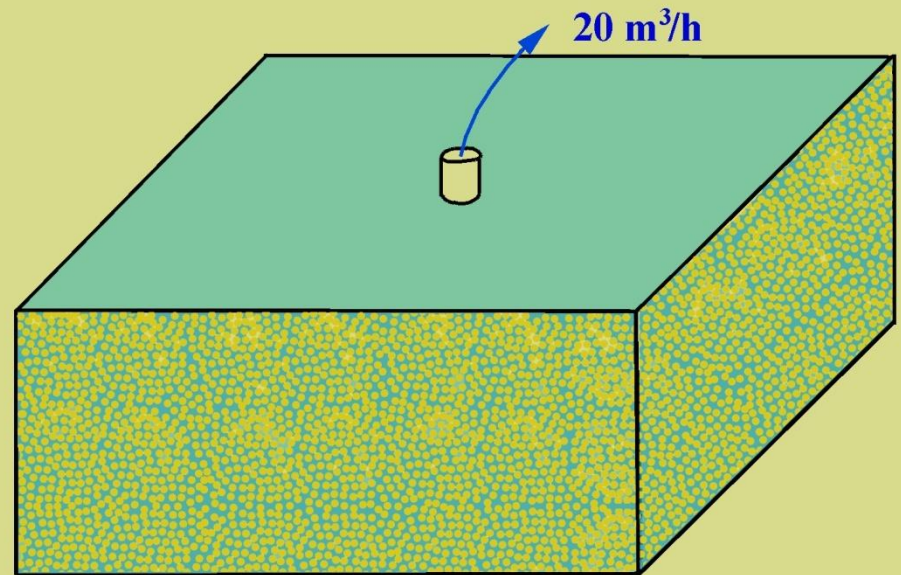


Débit exploitable par forage

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%

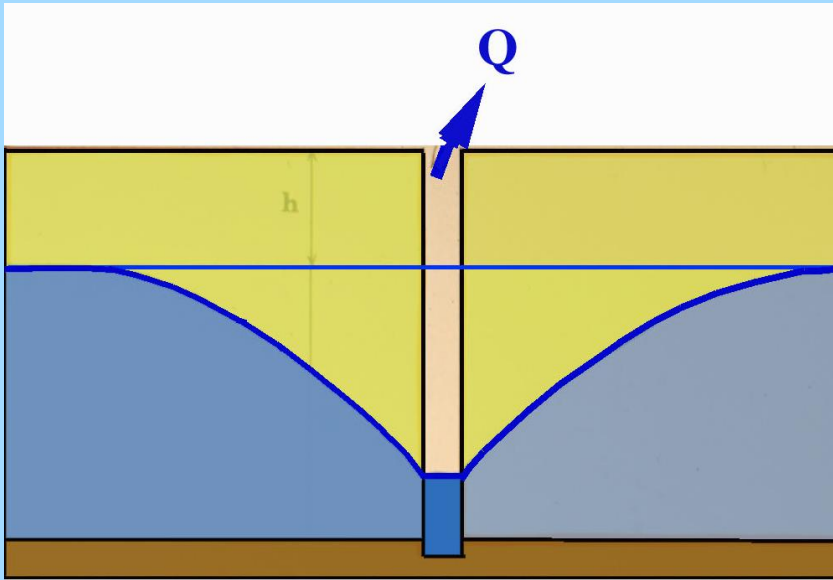
$100\,000\text{ m}^3$

T_2

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

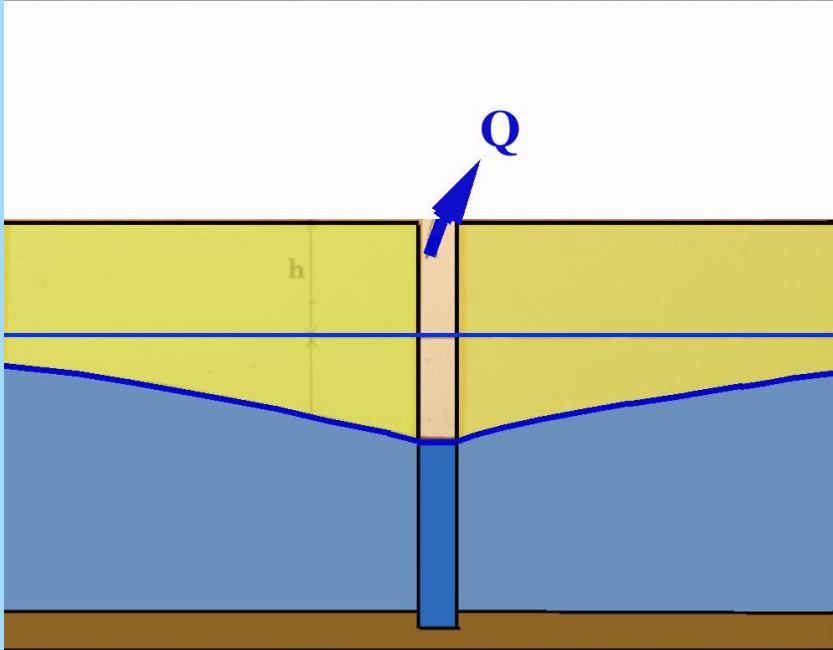
$$T_1 = 5 T_2$$

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



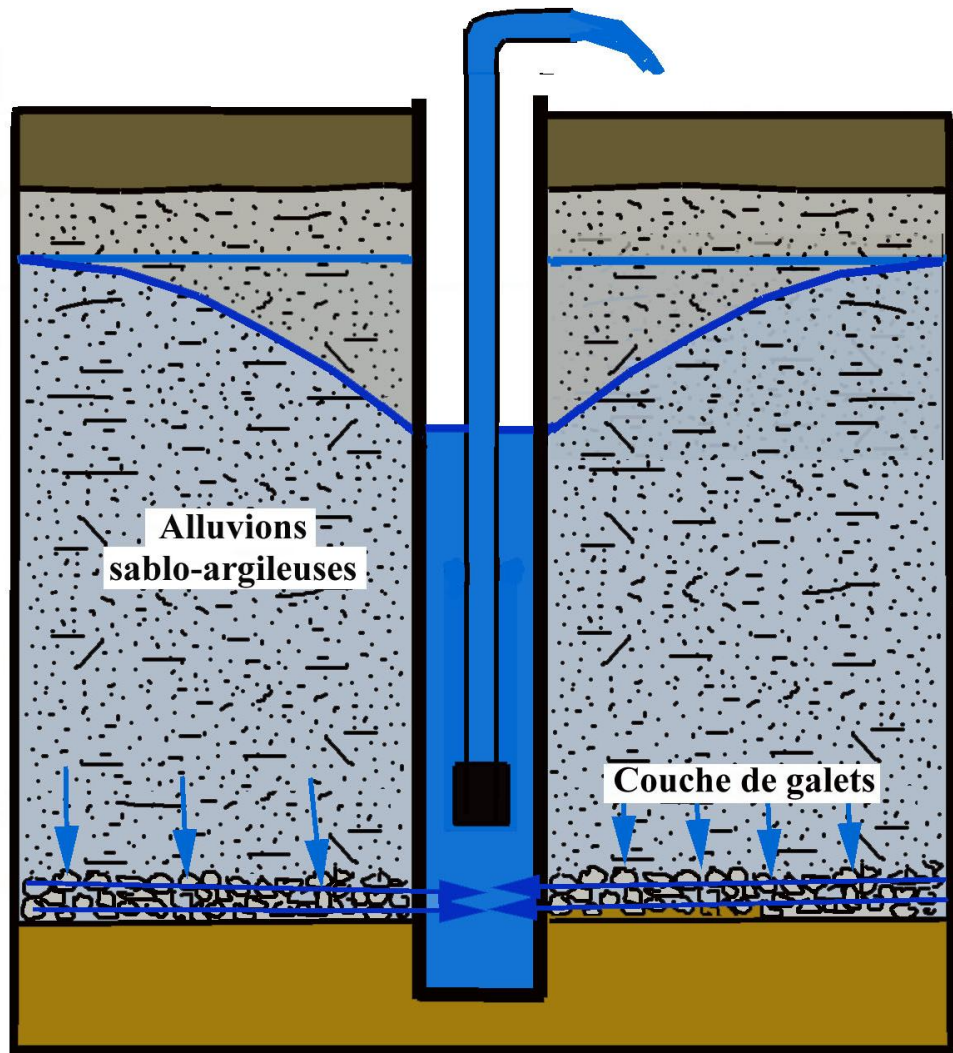
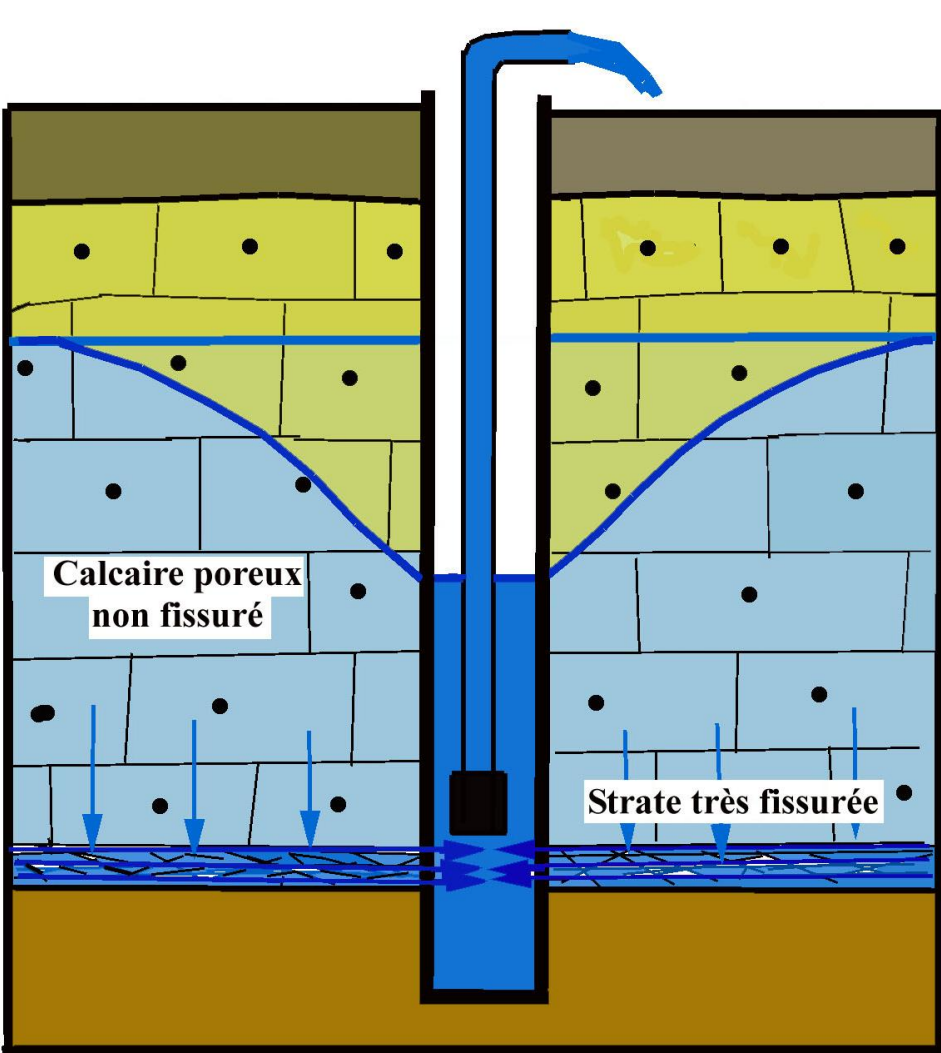
Transmissivité élevée
Coefficient
d'emménagement faible

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

Strate conductrice

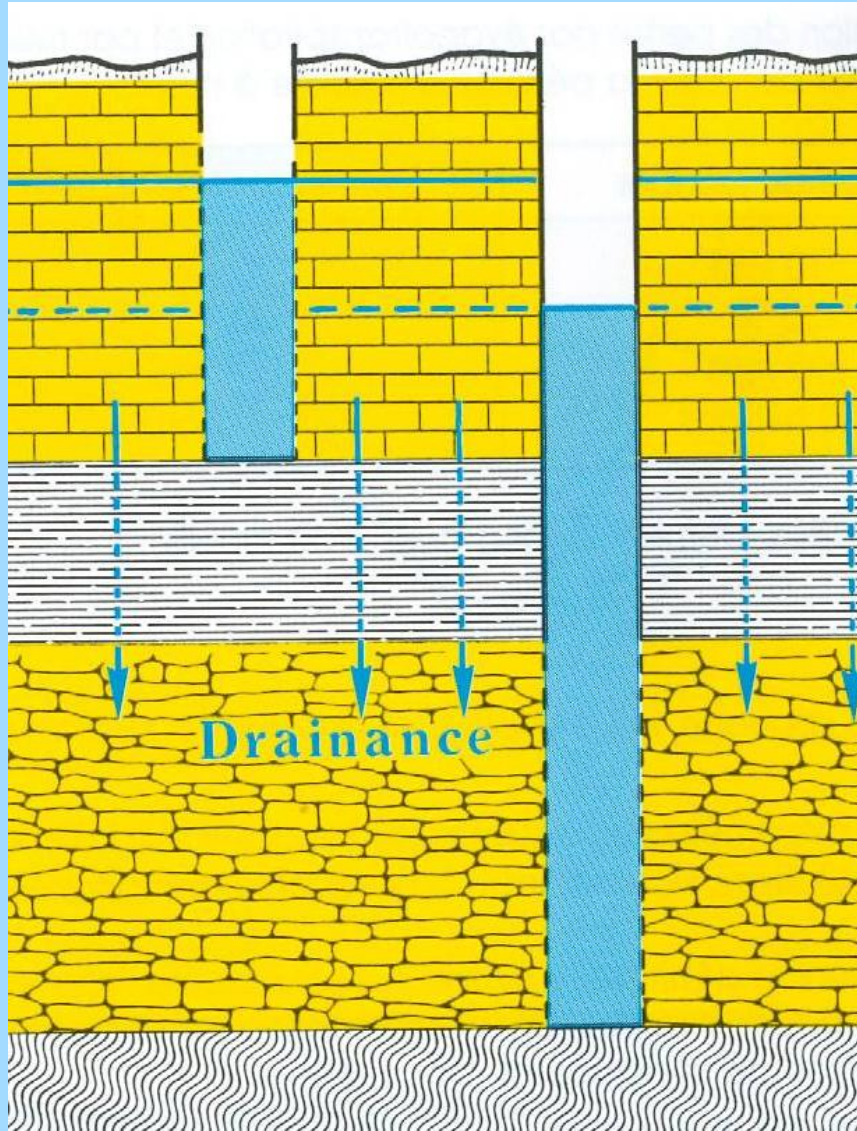
Milieu rocheux

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

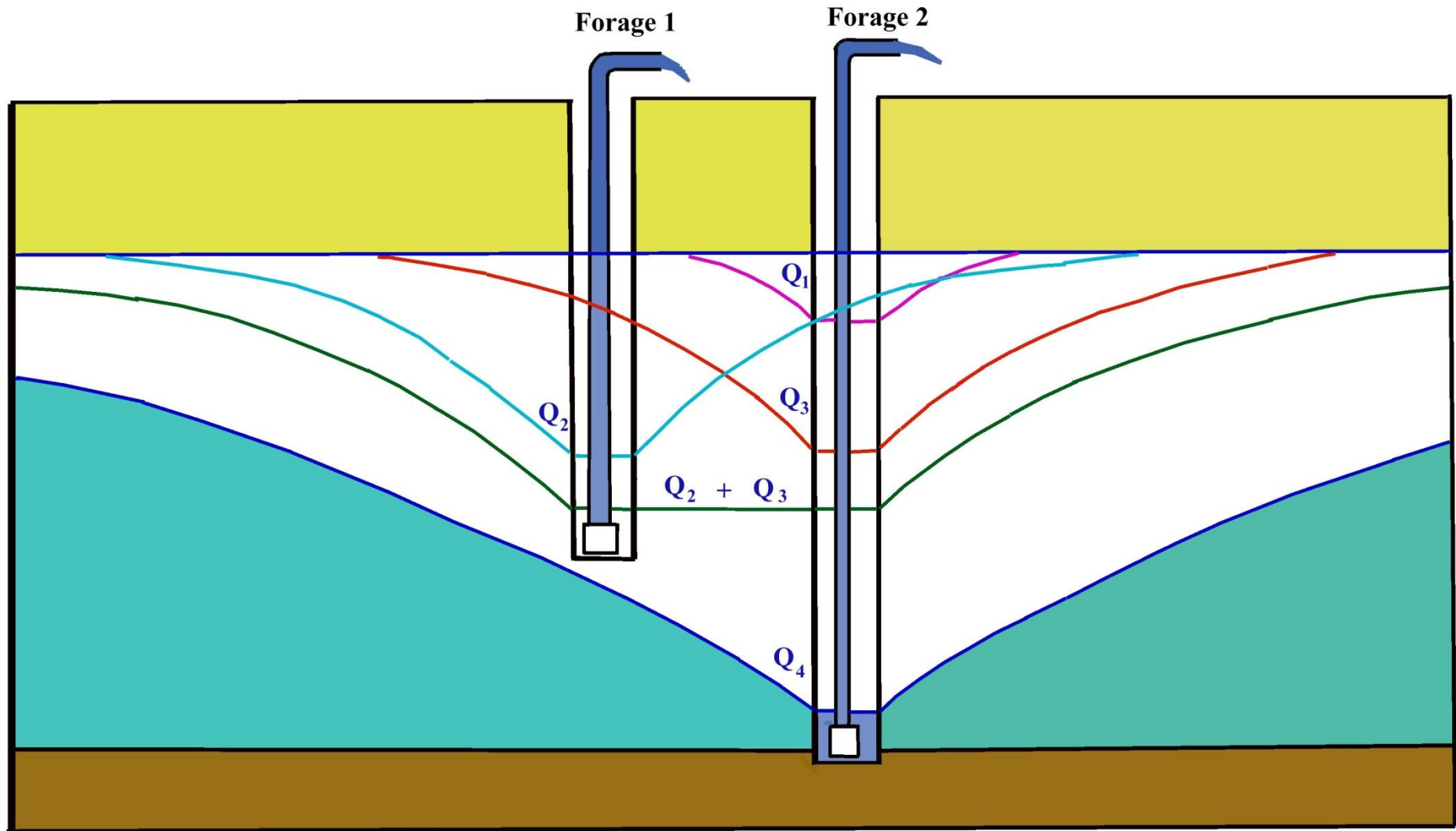
Horizon semi-perméable

Nappe captive

Substratum

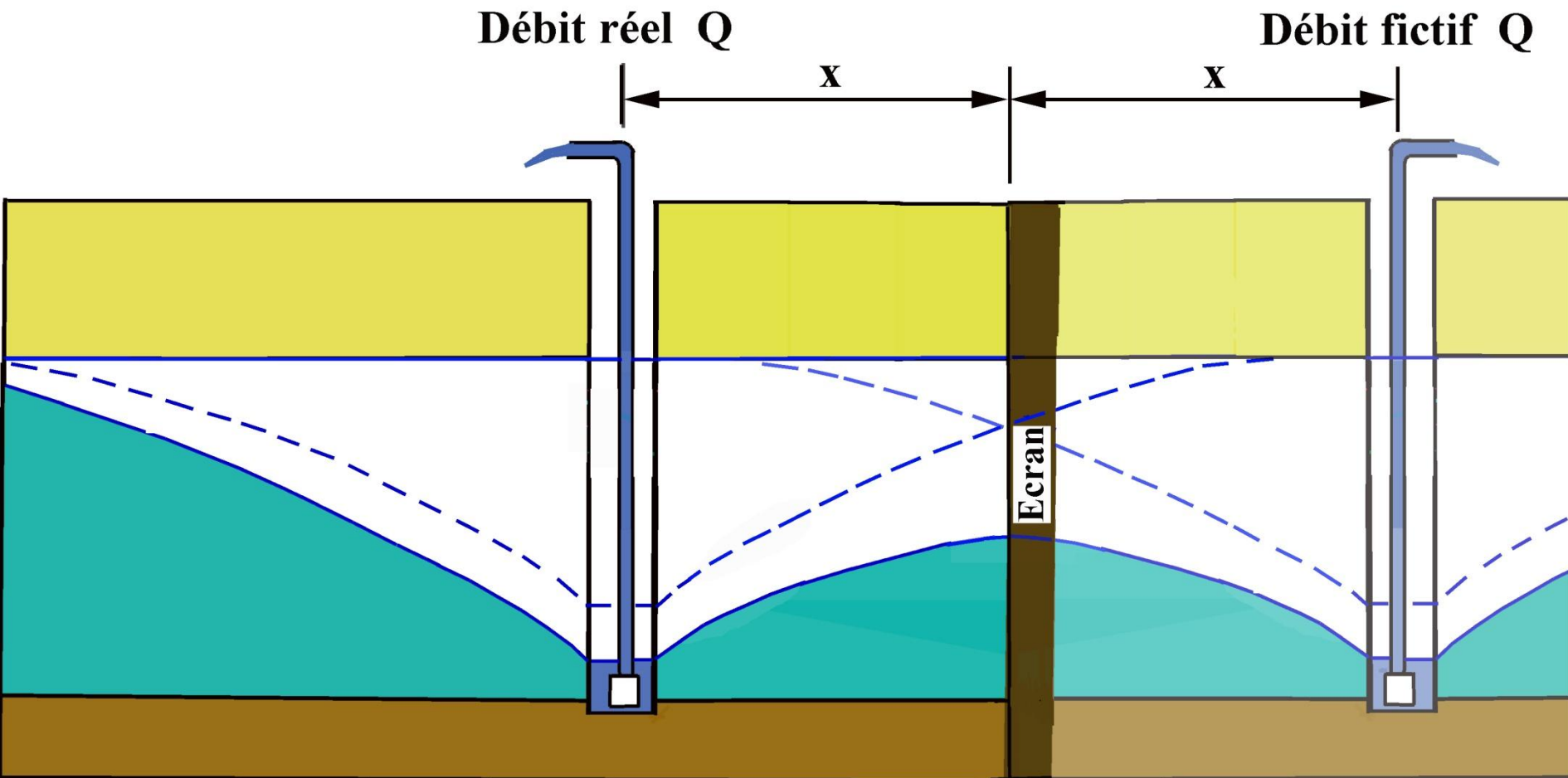
Une nappe captive surmontée d'une couche semi-perméable de 20 m d'épaisseur ayant une perméabilité de $1 \cdot 10^{-6}$ m/s recevra un débit de $180 \text{ m}^3/\text{h}$ par km^2 si la différence de niveau est de seulement 1 m

Interférence entre deux forage exploités

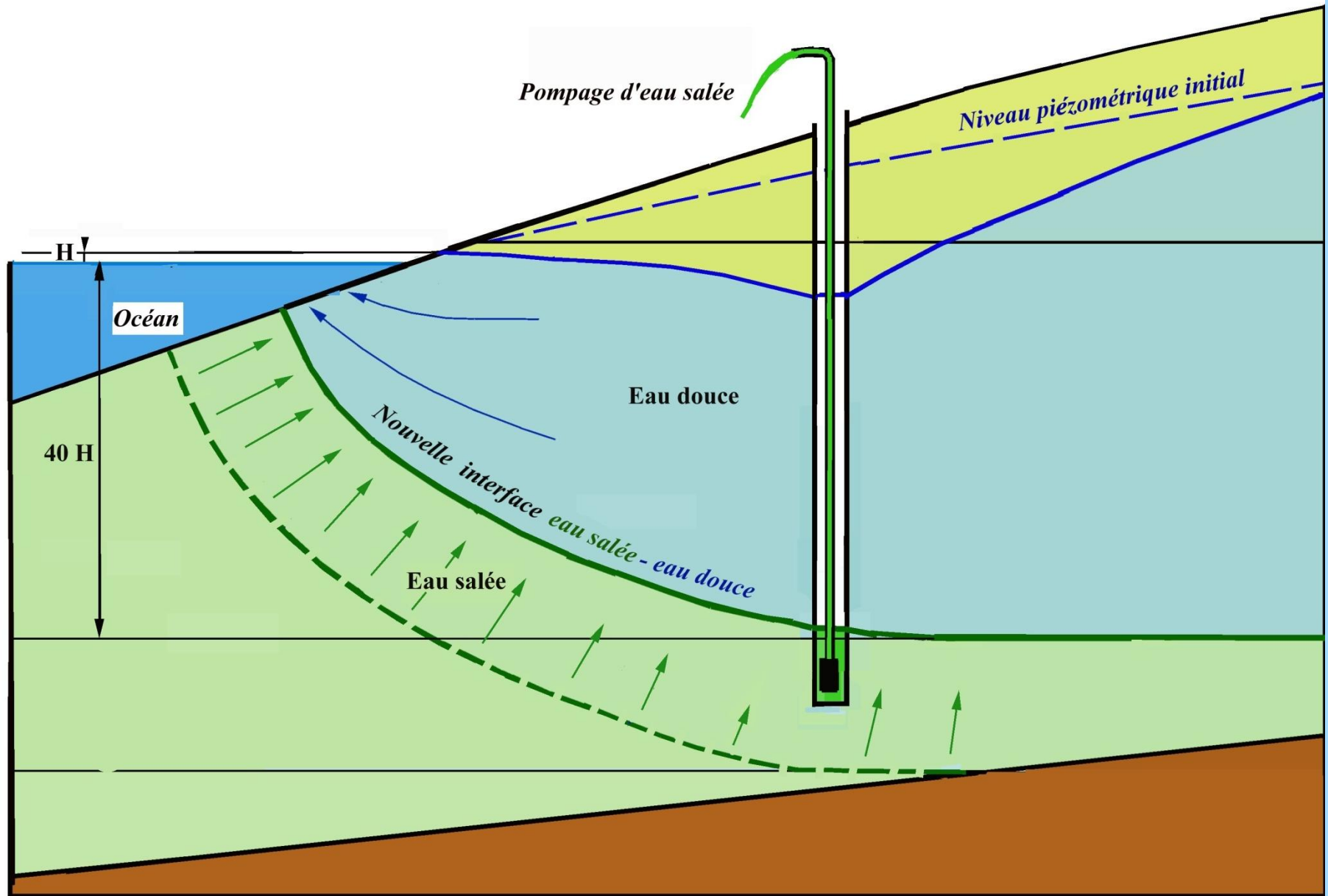


Effet d'écran en cours de pompage

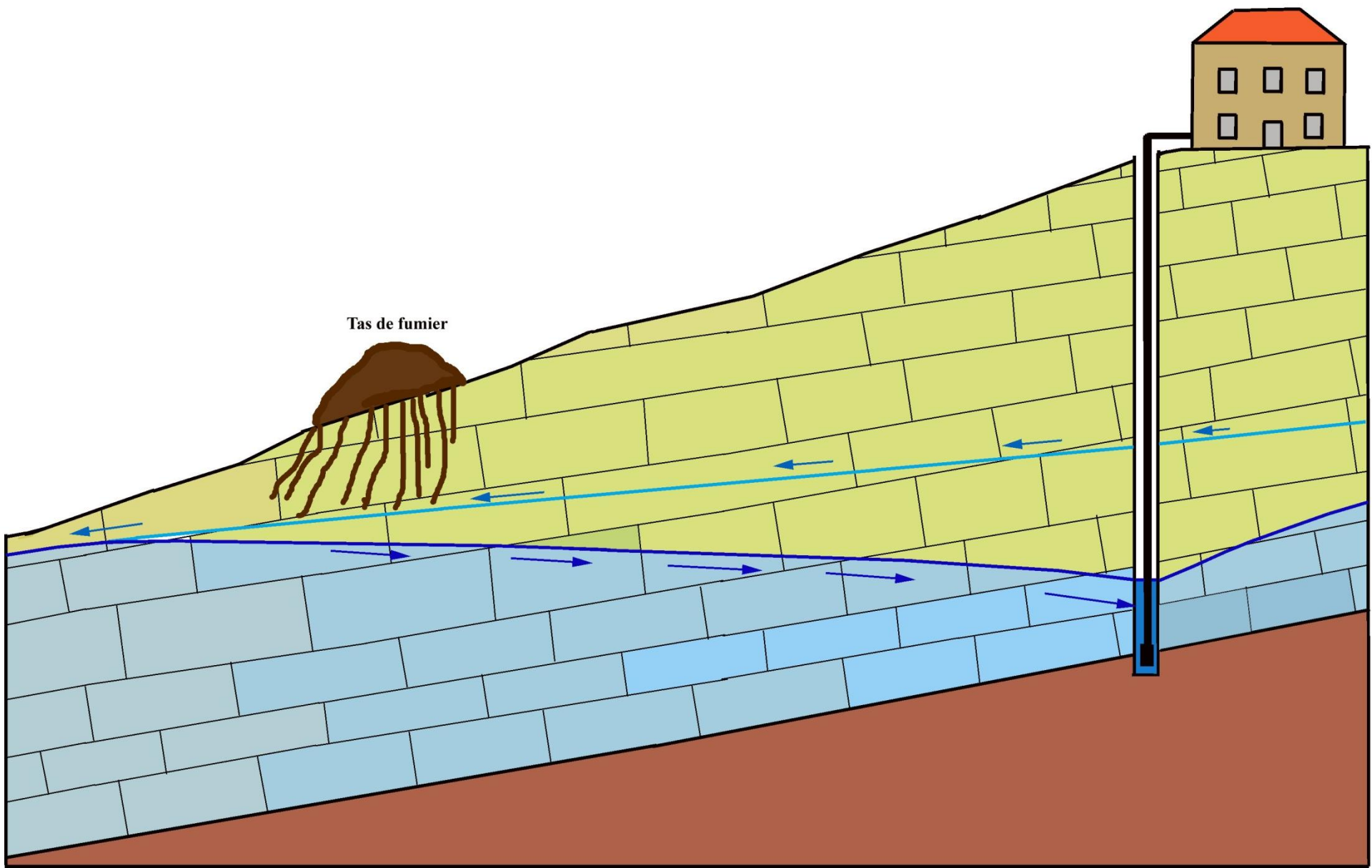
Assimilable à la mise en route d'un forage fictif symétrique à l'écran



Influence du rabattement sur le biseau salé



Influence du rabattement sur la pollution



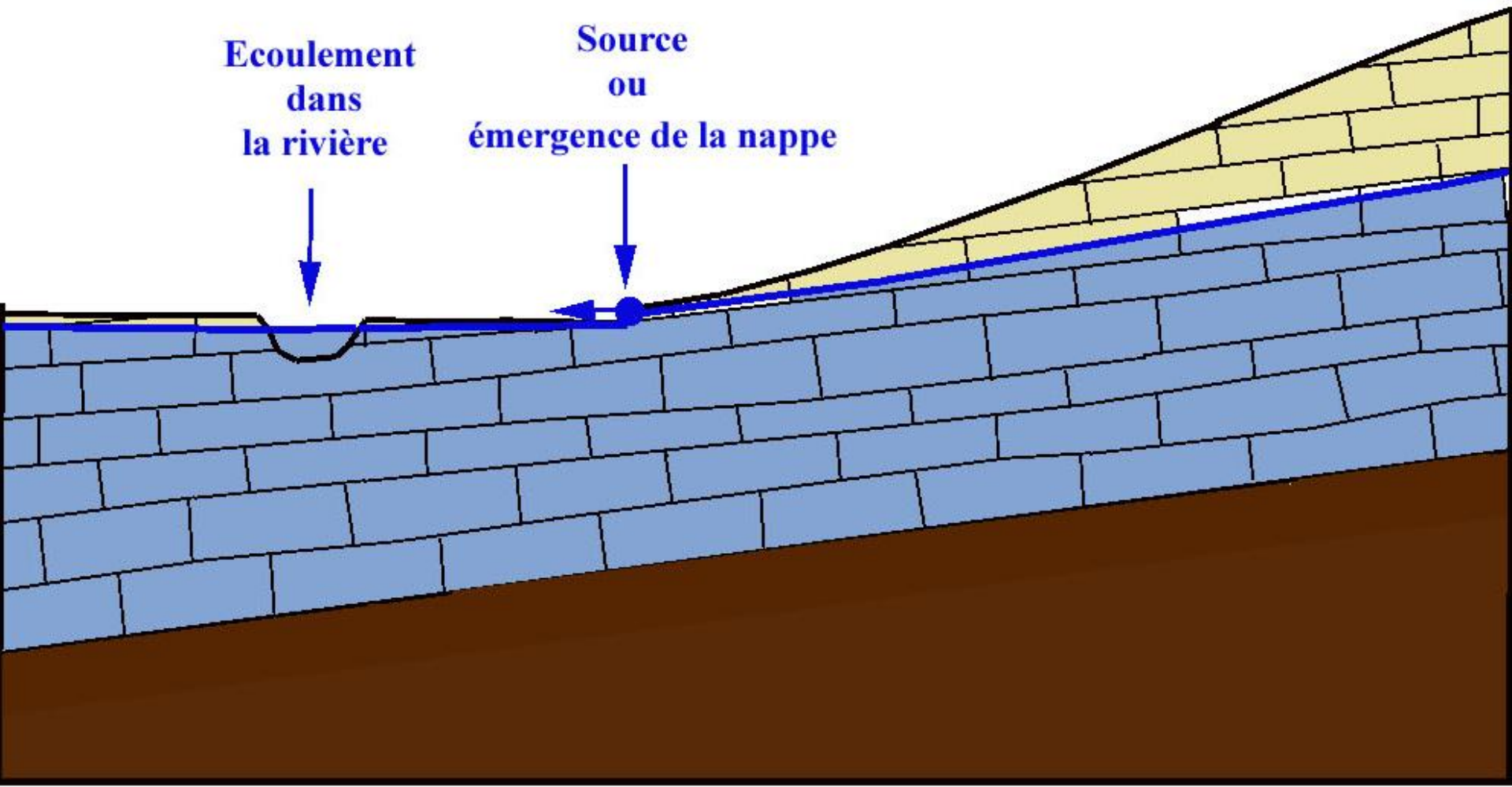
Les sources

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

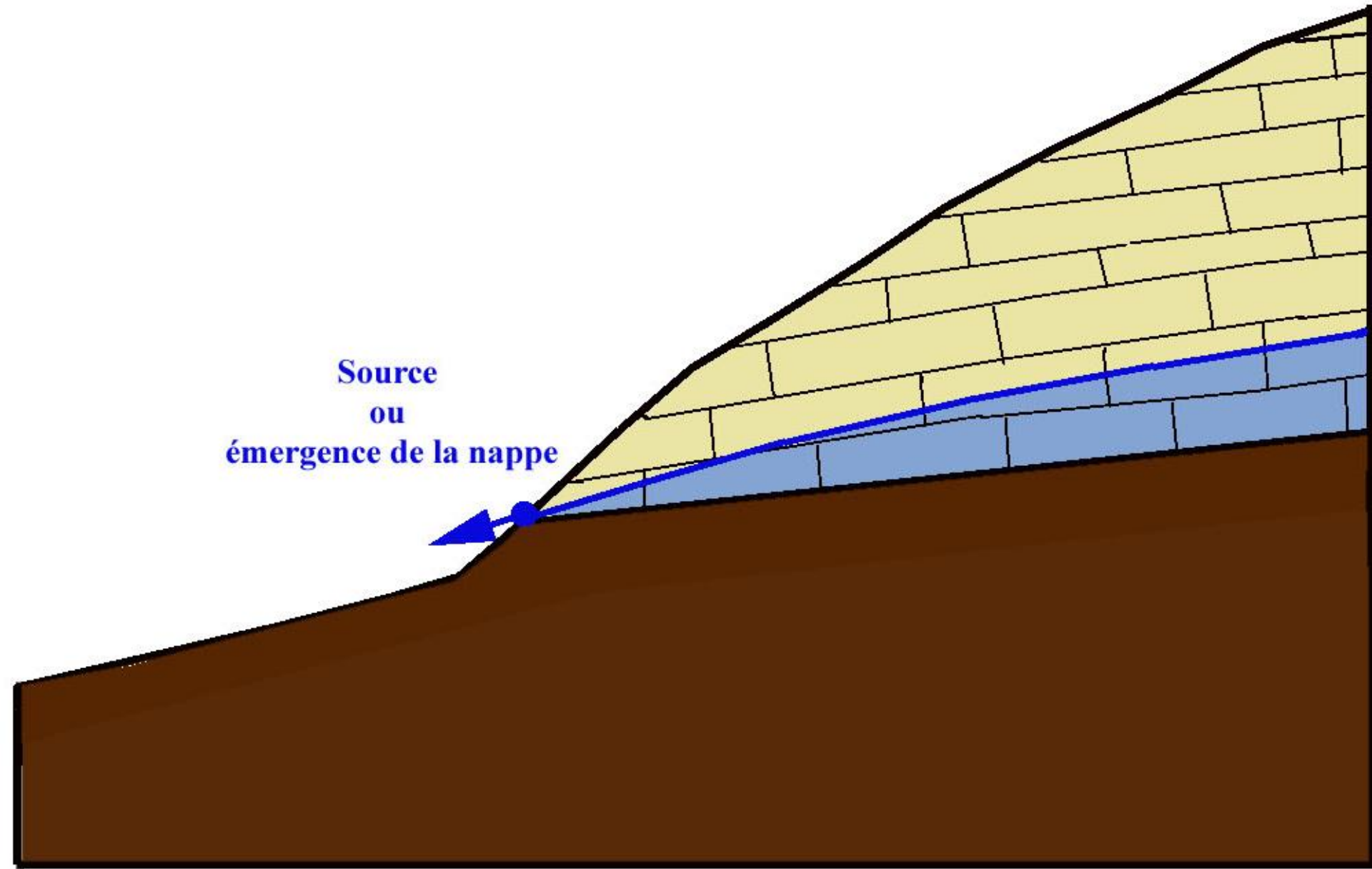
Les sources temporaires

Période de hautes eaux
hiver - printemps

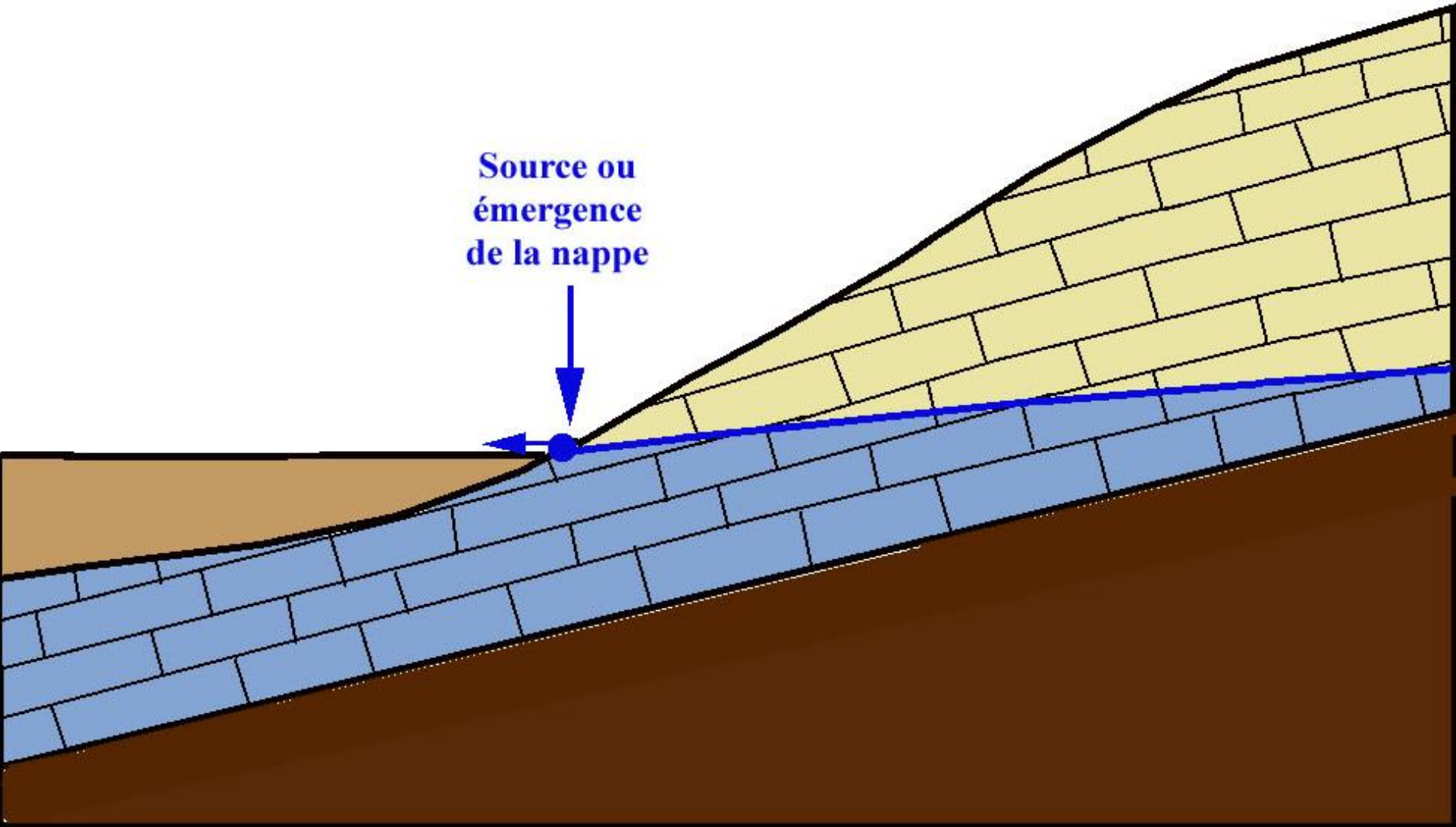


Les sources de déversement

Source
ou
émergence de la nappe



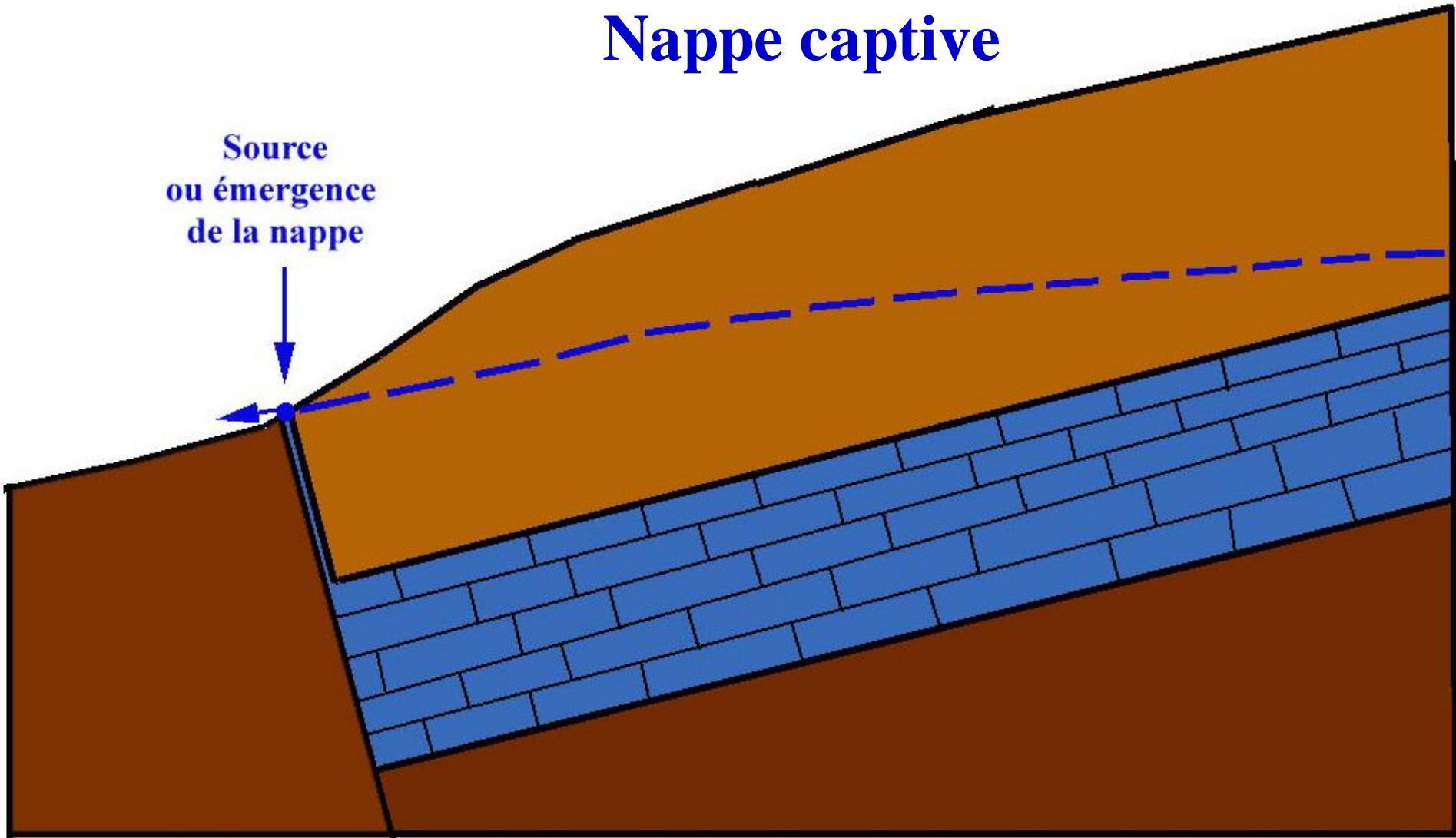
Les sources de trop-plein



Les sources de failles

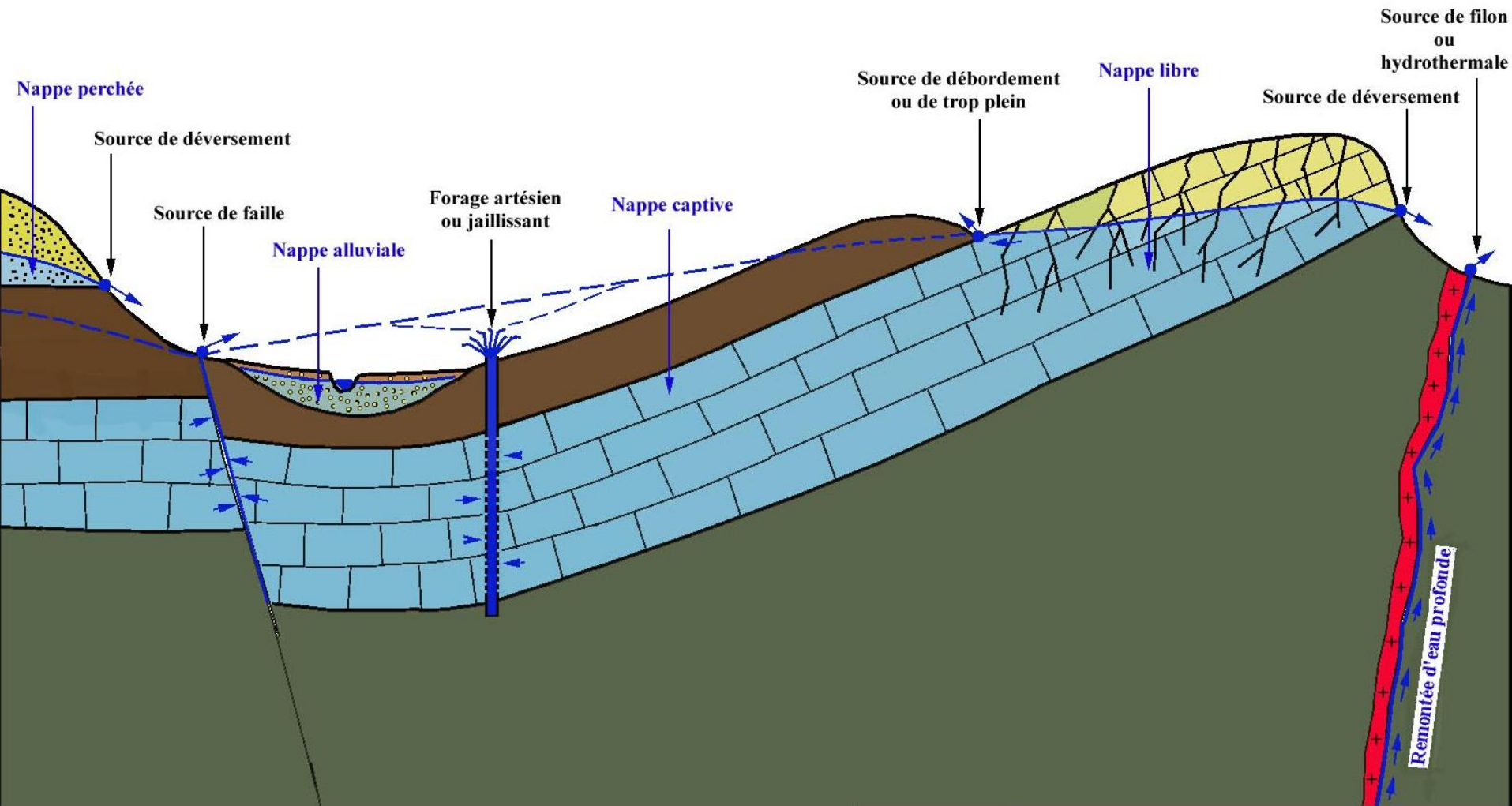
Nappe captive

Source
ou émergence
de la nappe

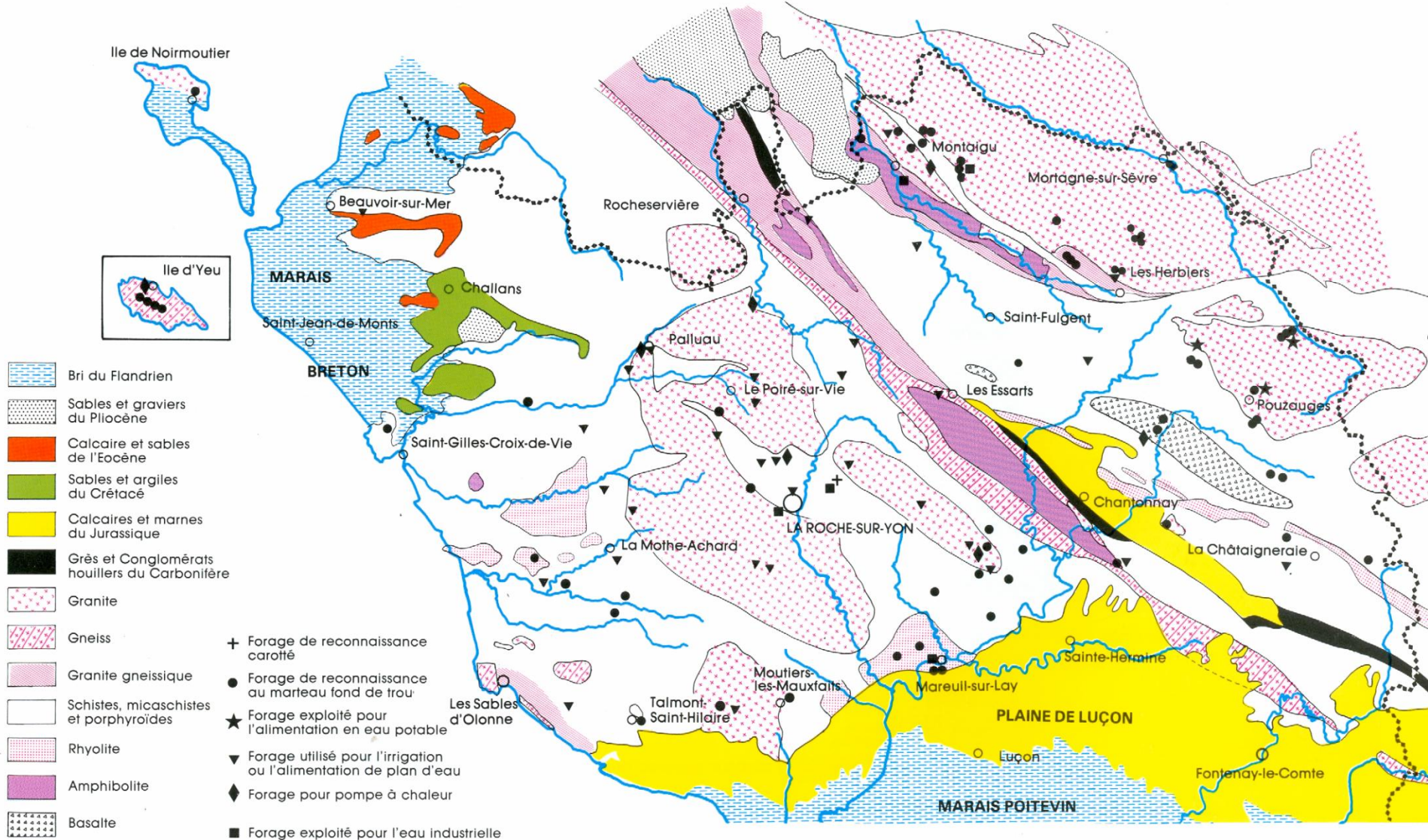


Nappes aquifères et sources

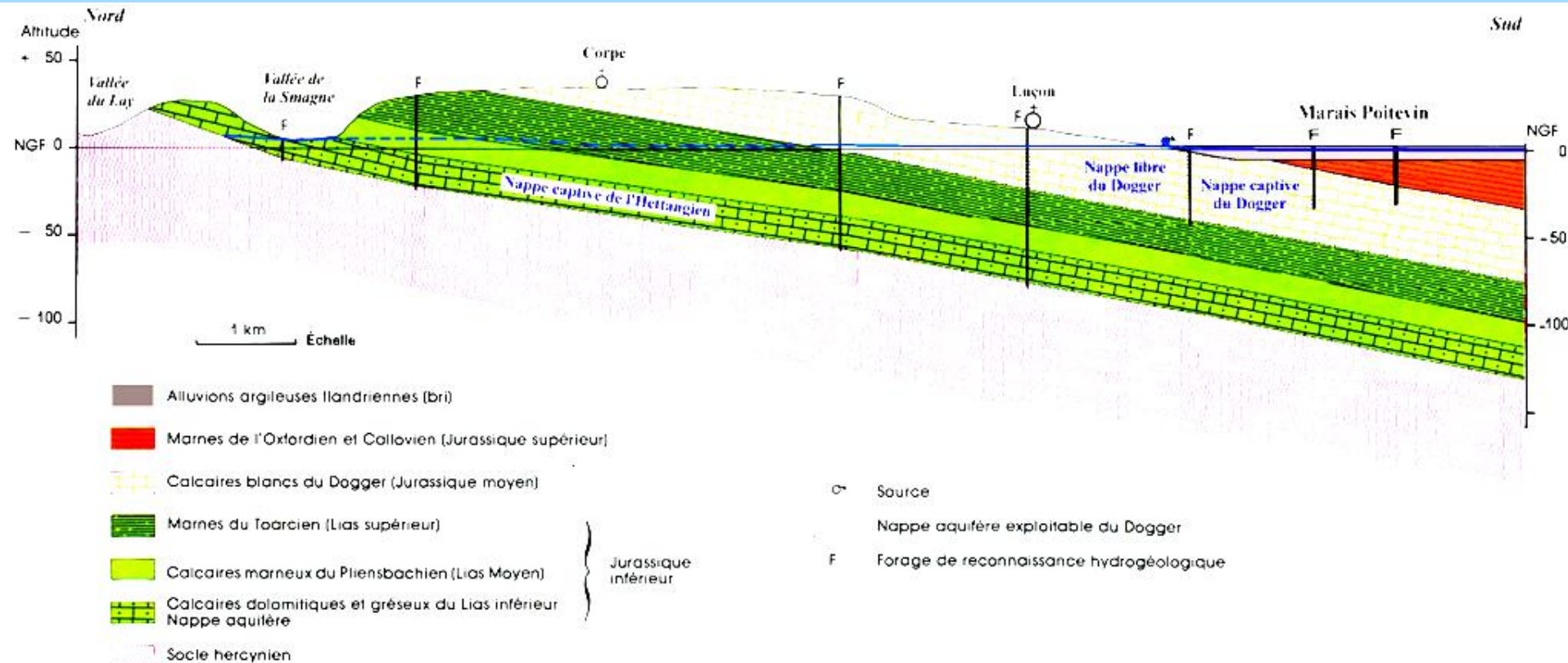
La géologie régionale offre souvent plusieurs types de nappes aquifères



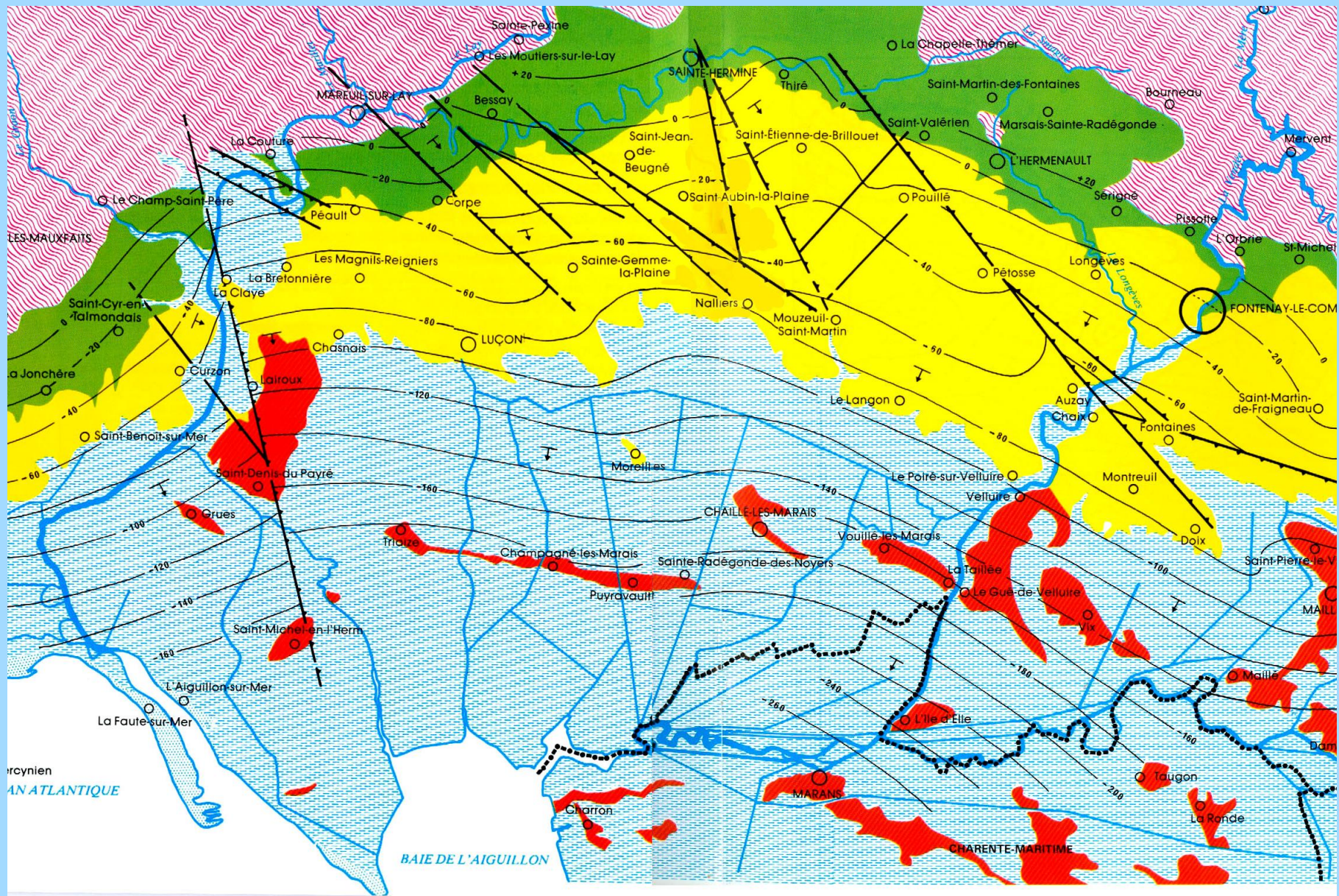
Les eaux souterraines en Vendée



Les nappes aquifères de la plaine de Luçon - Fontenay



Carte géologique et structurale du Sud-Vendée



QUATÉNAIRE :
Bri flandrien et sables dunaires

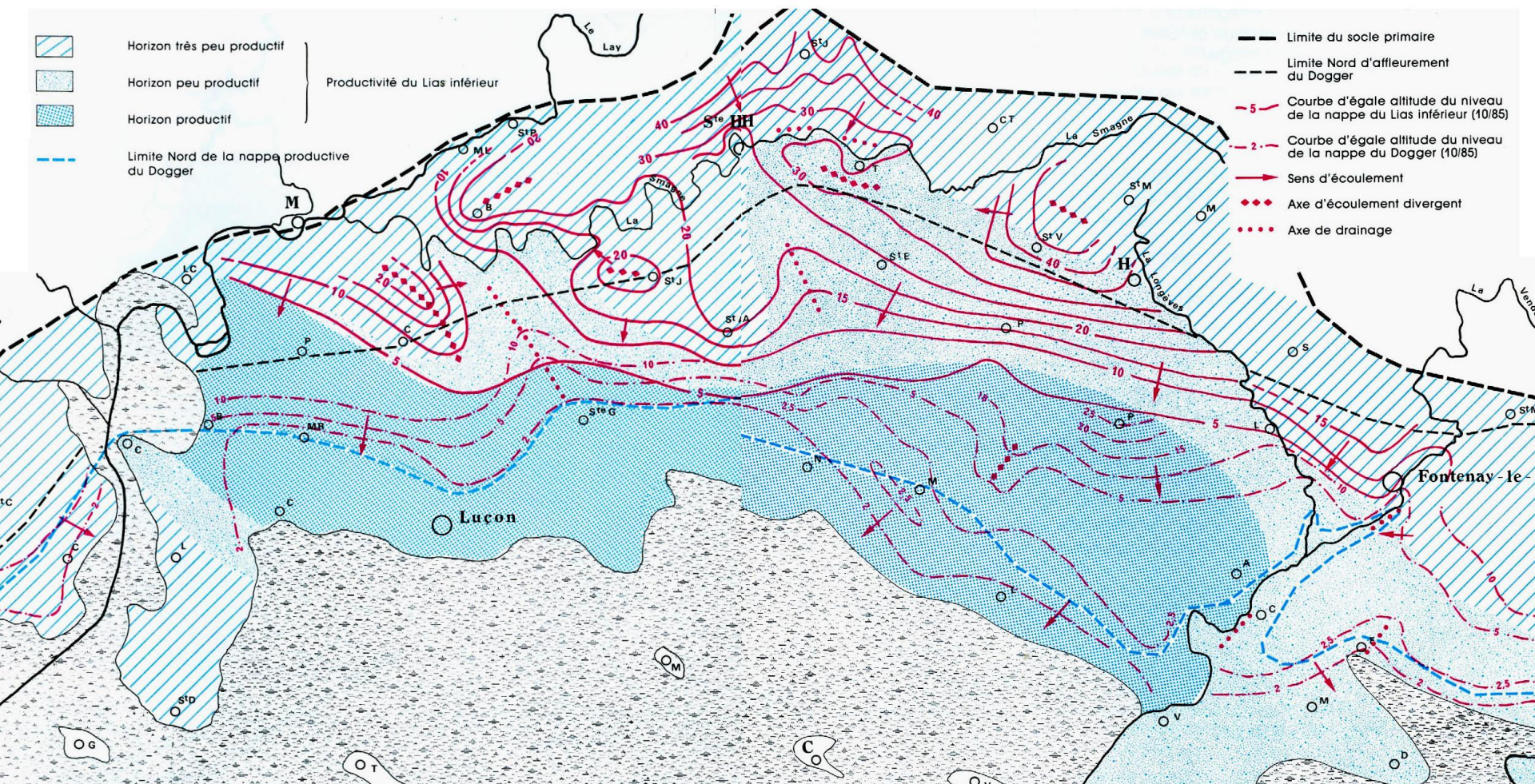
SECONDAIRE :
JURASSIQUE SUPÉRIEUR : calcaires et marnes
JURASSIQUE MOYEN : Callovien marneux

SECONDAIRE :
JURASSIQUE MOYEN : DOGGER
Calcaires du Bathonien Bajocien

SECONDAIRE :
JURASSIQUE INFÉRIEUR : LIAS
Marnes et calcaires

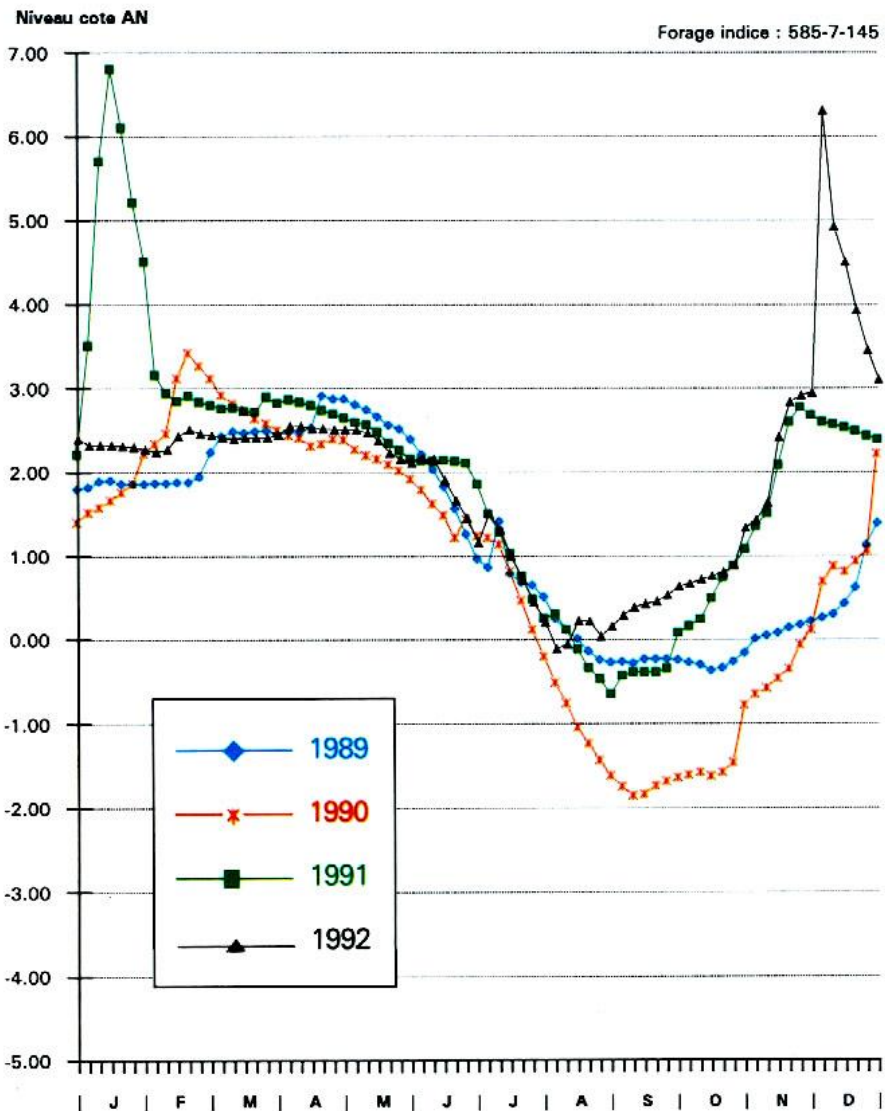
SOCLE HERCYNIEN
Schistes et granites

Carte piézométrique des nappes de la Plaine de Luçon-Fontenay

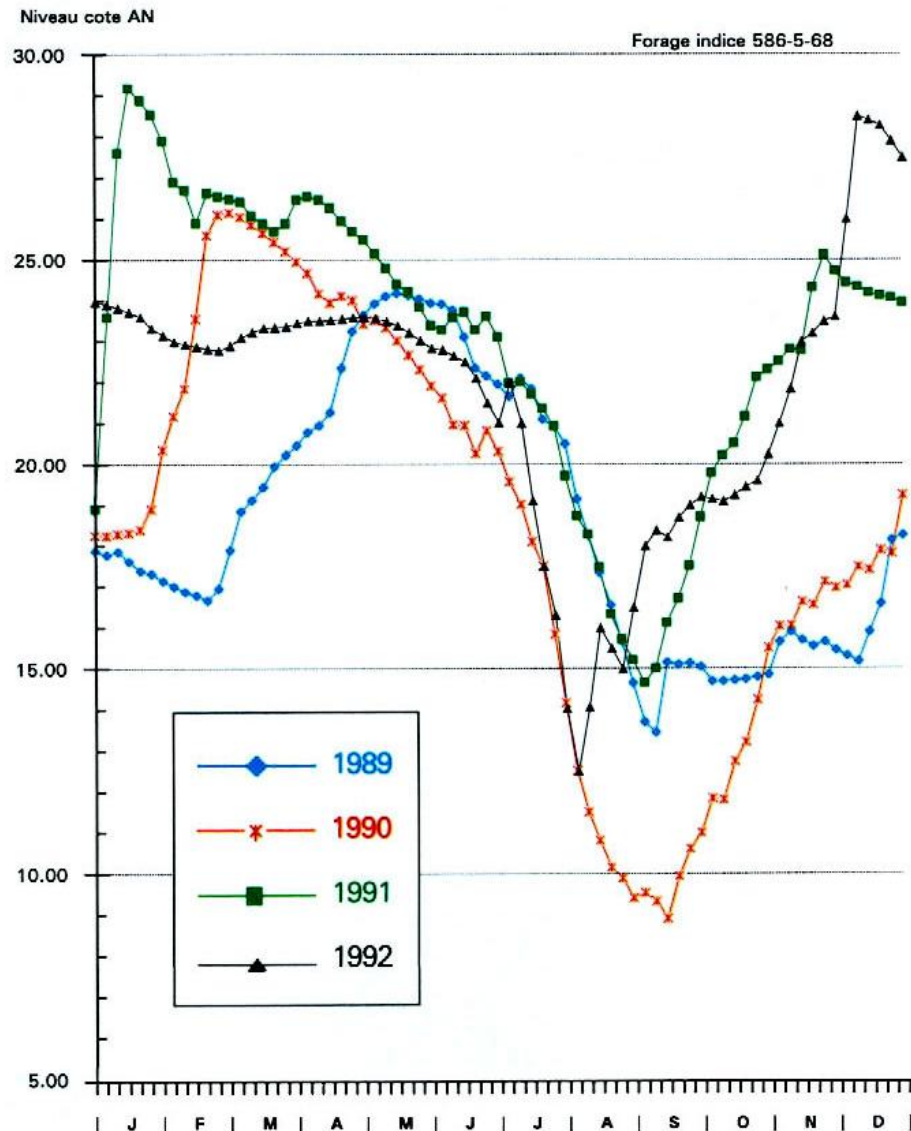


Variations piézométriques des nappes aquifères du Sud Vendée

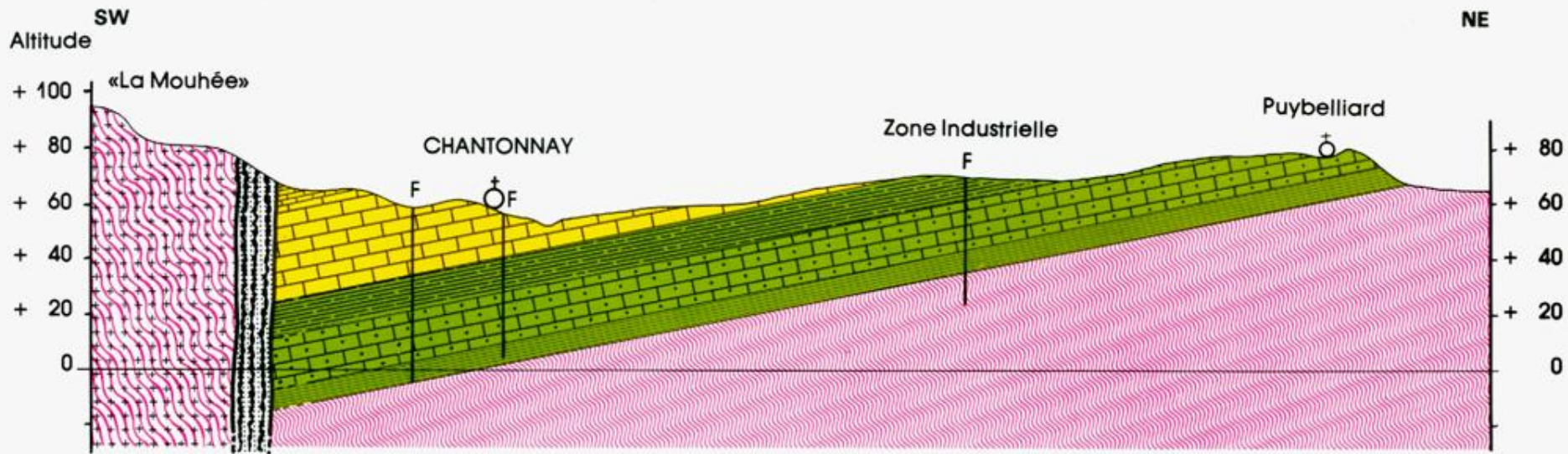
Nappe du Dogger à Luçon




Nappe du Lias à St Etienne-de-Brillouet




Les nappes aquifères du bassin de Chantonnay




 CALLOVIEN
Marne et calcaire marneux

 BAJOCIEN - BATHONIEN
Calcaire blanc

 TOARCIEN
Marne grise

 PLIENSBACHIEN - HETTANGIEN
Calcaire marneux et calcaire dolomitique

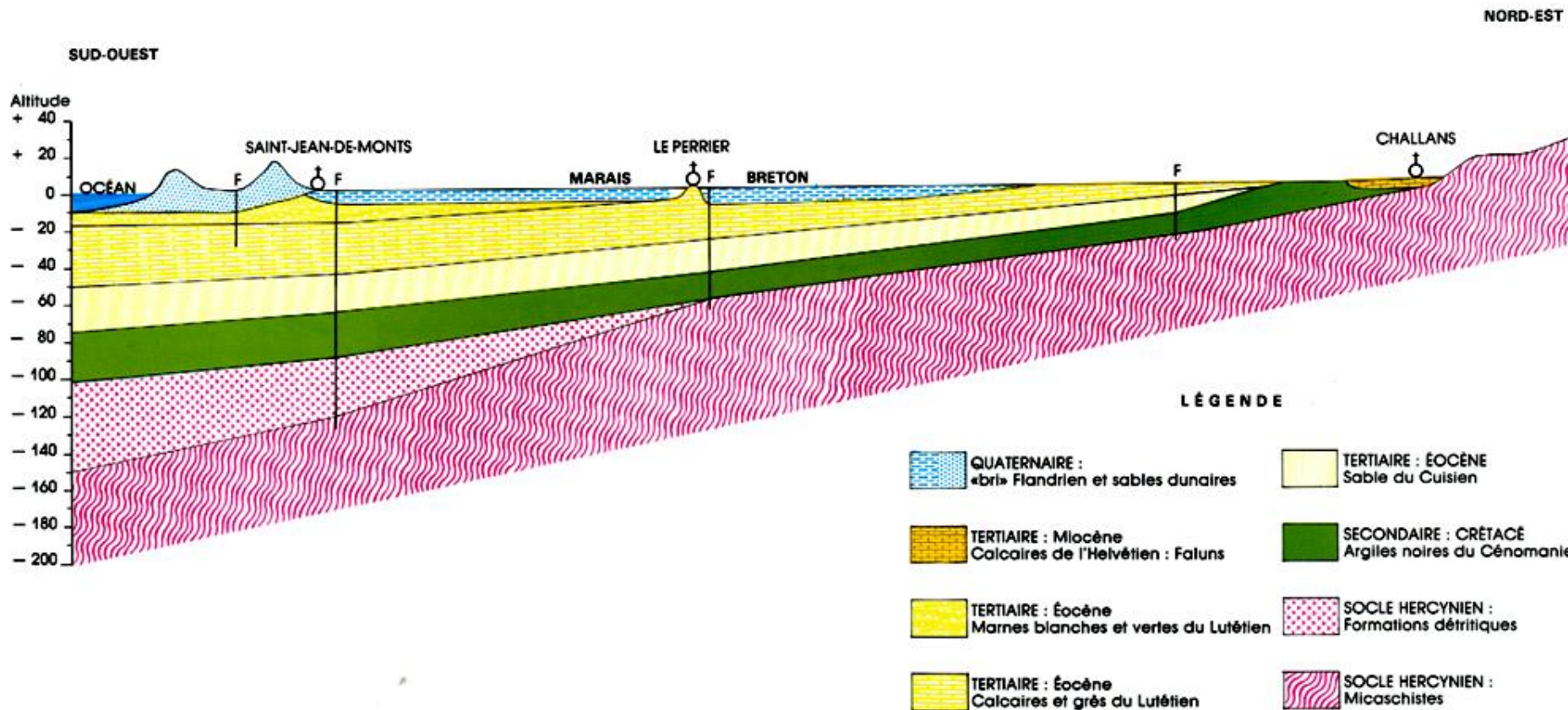
 INFRAIAS
Argiles vertes et rouges

 CARBONIFÈRE
Grès houiller

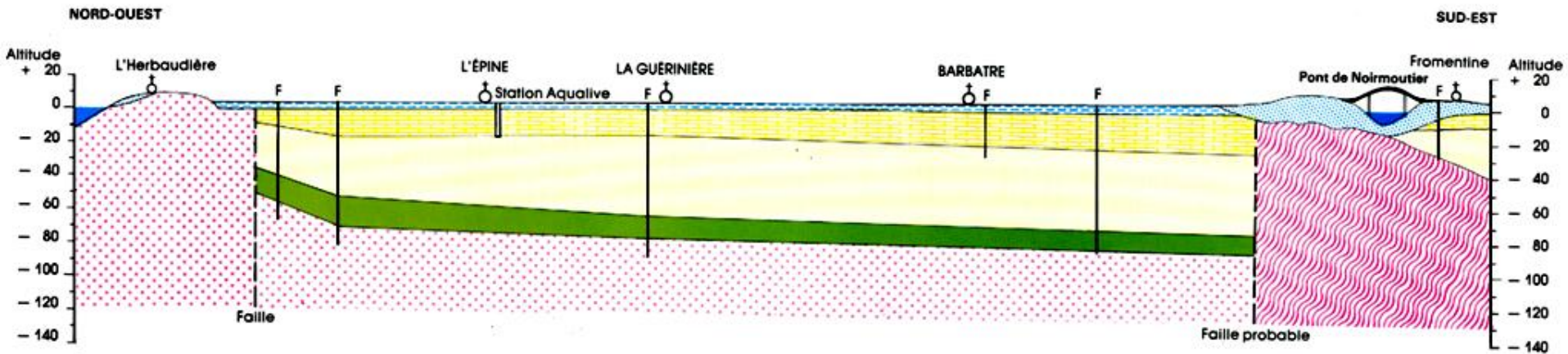
 SOCLE HERCYNIEN
Gneiss

 SOCLE HERCYNIEN
Schistes

Les nappes aquifères du Marais Breton



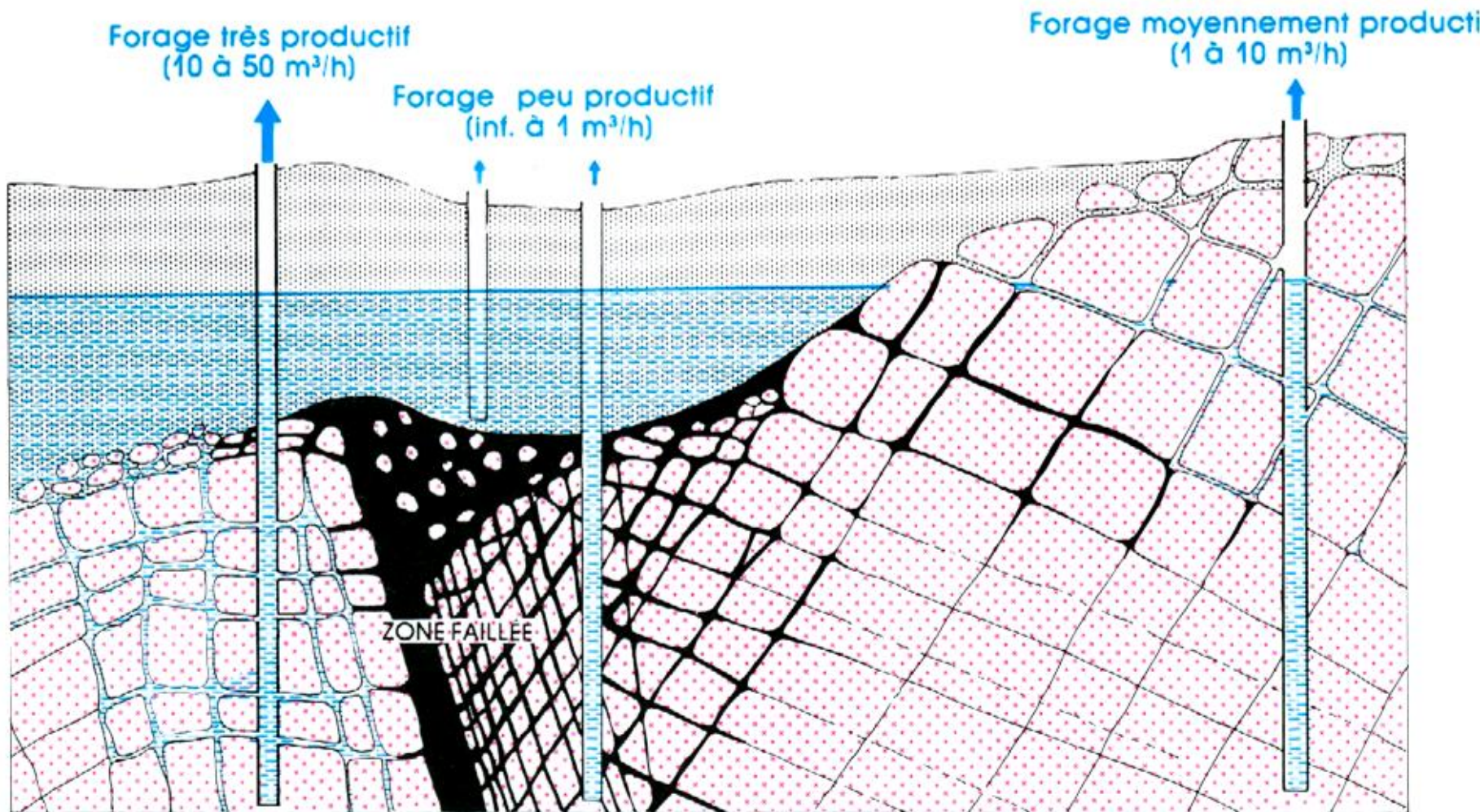
Les nappes aquifères de l'Île de Noirmoutier



LÉGENDE

 QUATERNAIRE : «br» Flandrien et sables dunaires	 SECONDAIRE : CRÉTACÉ Argiles noires du Cénomanién
 TERTIAIRE : ÉOCÈNE Calcaires et grès du Lutélién	 SOCLE HERCYNINIEN Granite
 TERTIAIRE : ÉOCÈNE Sables du Cuisién	 SOCLE HERCYNINIEN Micaschistes

L'eau souterraine dans les granites



Arène granitique



Granite massif

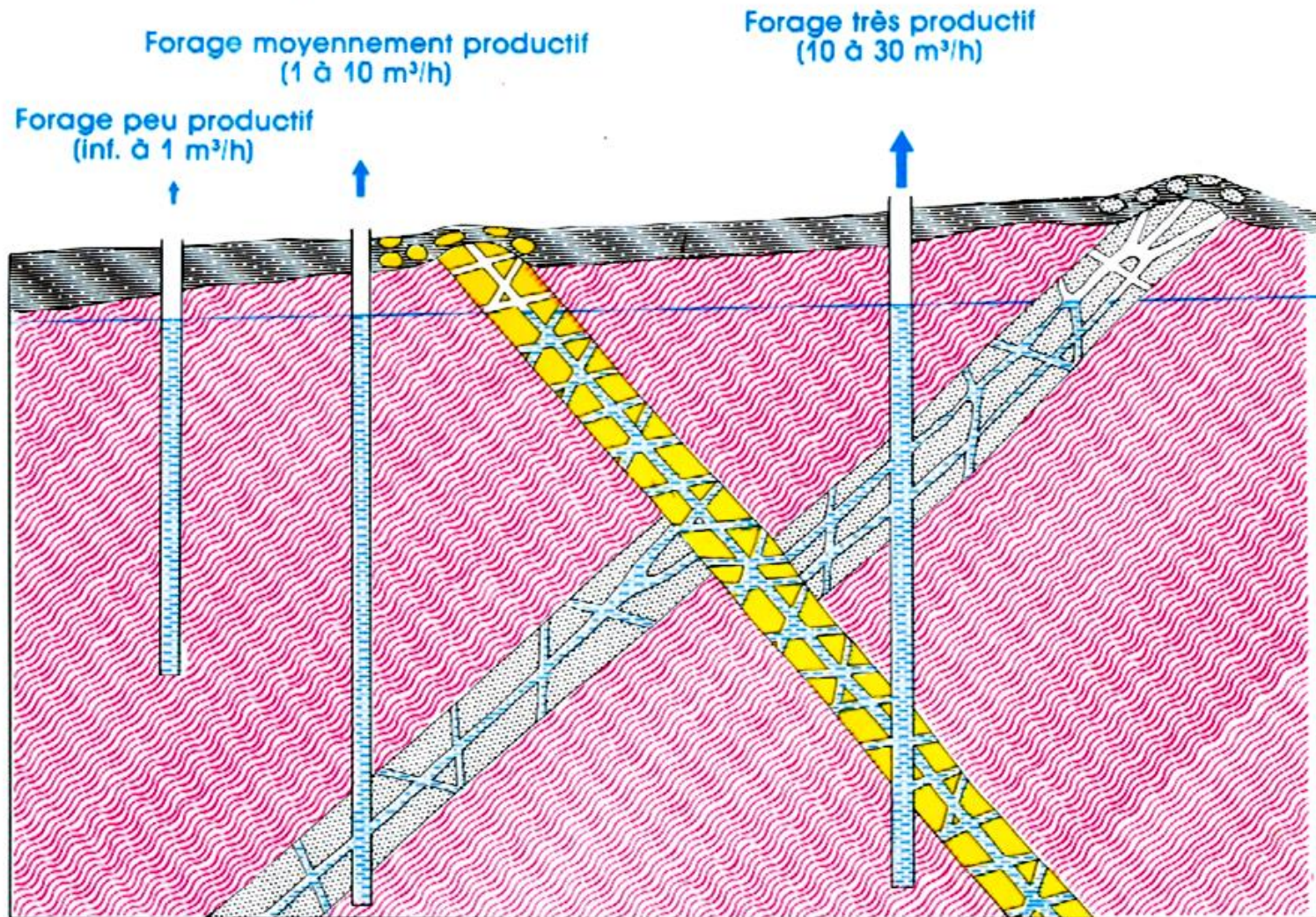


Granite à fissures colmatées par de l'argile



Granite à fissures aquifères

L'eau souterraine dans les schistes



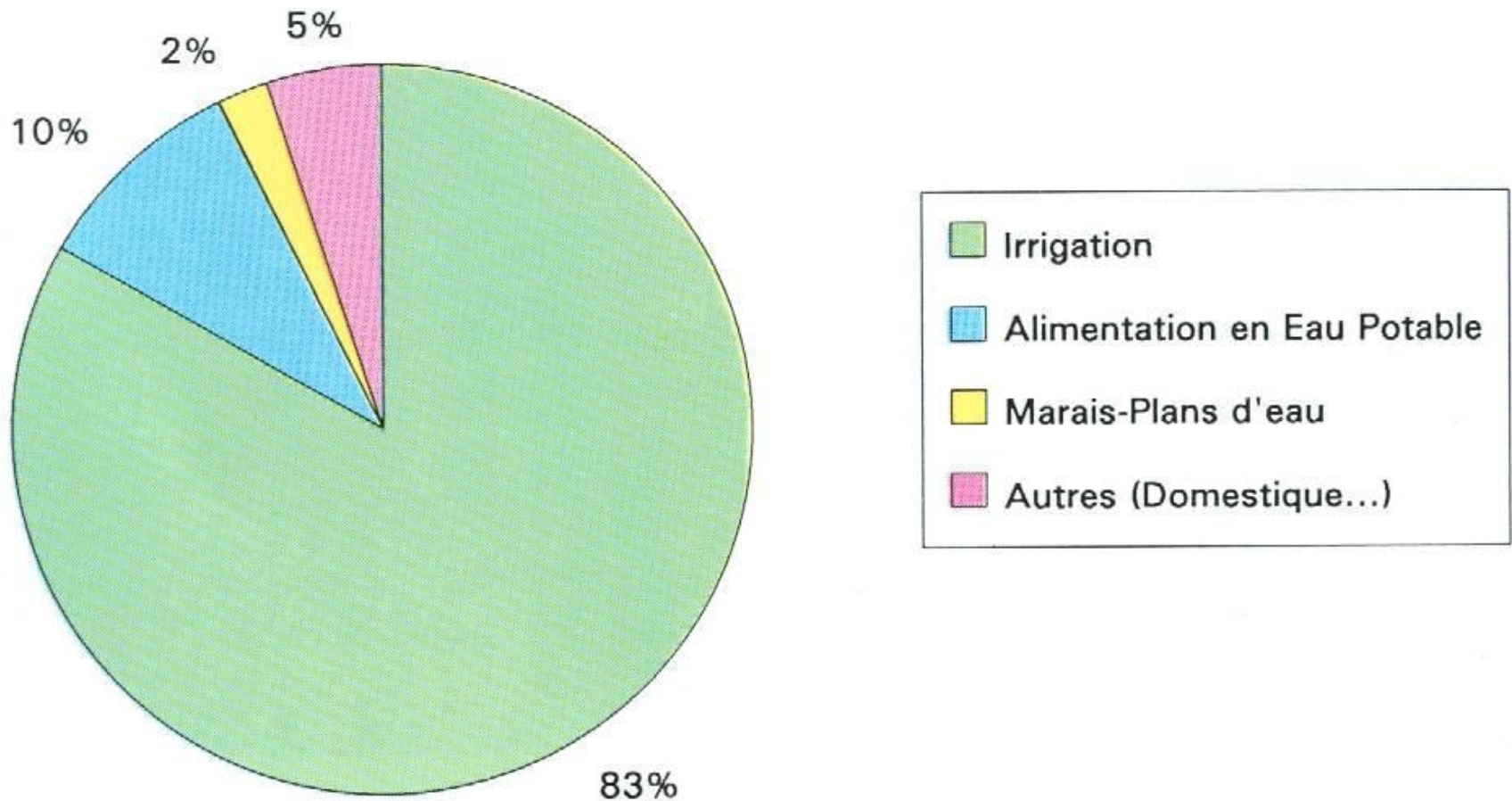
Argile d'altération des schistes

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 m³

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 m³ par hectare pendant 70 jours, soit un volume total d'environ 2.800 m³ 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 m³/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 m³/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**