

L'exploitation des eaux souterraines, une très longue histoire

Eiskogelhöhle (Tennengebirge, Autriche) – Spéléologue au pied d'une cathédrale de glace

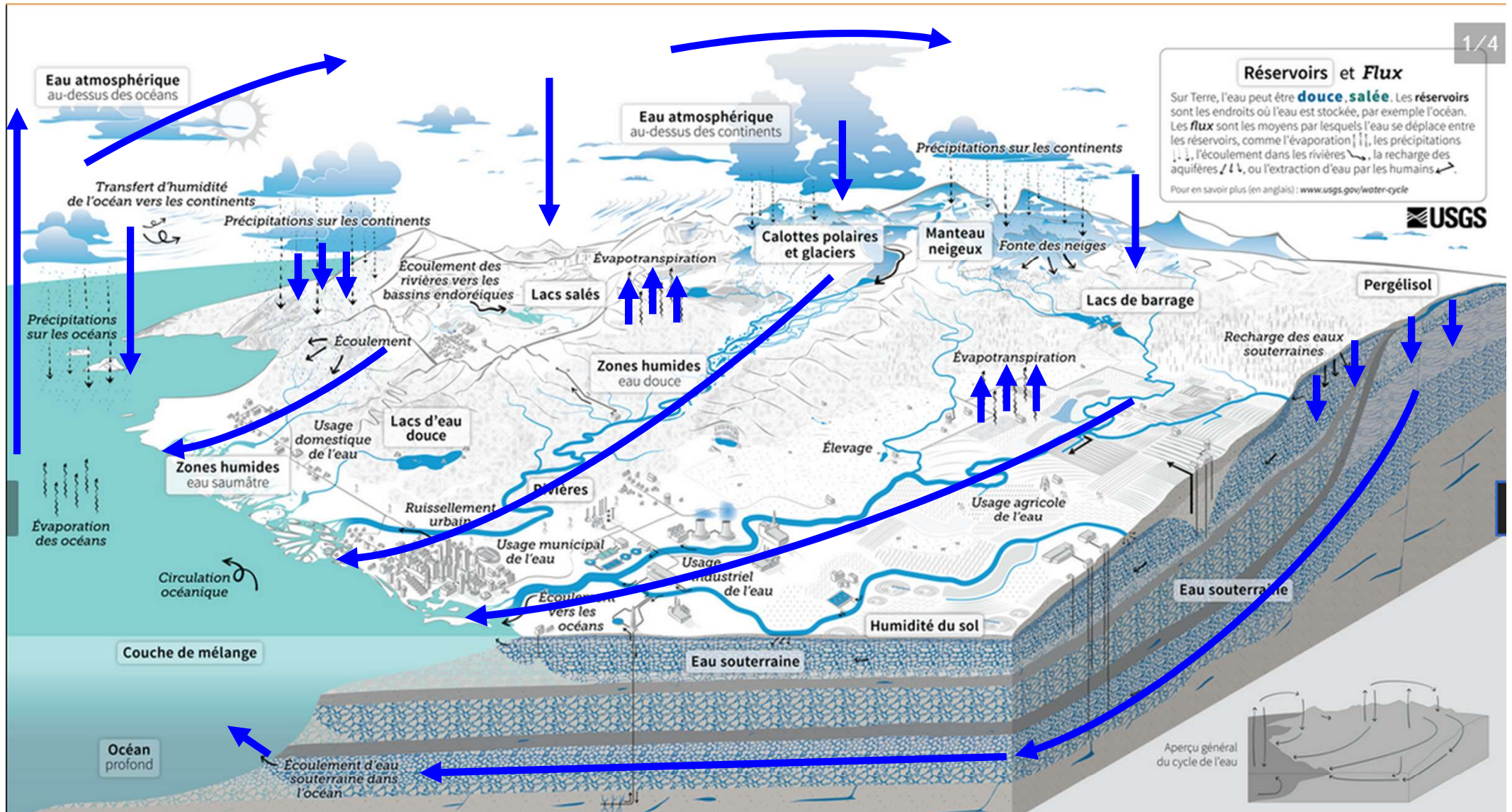


Photo : Philippe Crochet

Hydrogéologie

Domaine de la géologie couvrant les processus de **circulation de l'eau dans le sol et le sous-sol**, la **recherche des eaux souterraines**, ainsi que leur **captage**, leur **exploitation**, leur **protection** et leur **dépollution** éventuelle

- 1. Le cycle de l'eau**
2. Les réservoirs souterrains
3. Mécanismes hydrauliques
4. L'eau dans le milieu souterrain
5. Les ouvrages de captage : 9000 ans d'histoire



Le cycle de l'eau, dont le moteur est l'énergie solaire, obéit aux lois de la gravitation. Il régle la distribution de l'eau à la surface de la Terre et met en jeu des phénomènes :

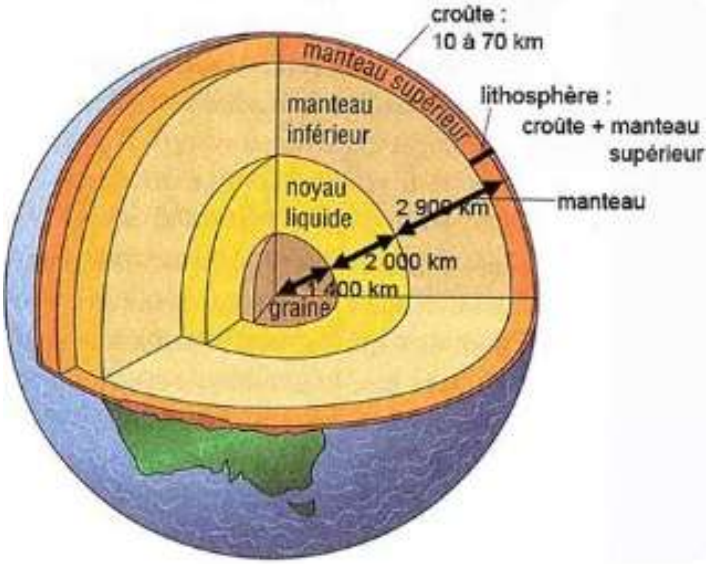
- ◆ **aériens** : évaporation, convection, condensation et précipitation
- ◆ **superficiels** : ruissellement, puis écoulement dans les cours d'eau
- ◆ **souterrains** : infiltration et écoulement dans les réservoirs souterrains, avec renouvellement et variation des stocks

Hydrogéologie

Domaine de la géologie couvrant les processus de **circulation de l'eau dans le sol et le sous-sol**, la recherche des eaux souterraines, ainsi que leur captage, leur exploitation, leur protection et leur dépollution éventuelle..

1. Le cycle de l'eau
- 2. Les réservoirs souterrains**
3. Mécanismes hydrauliques
4. L'eau dans le milieu souterrain
5. Les ouvrages de captage : 9000 ans d'histoire

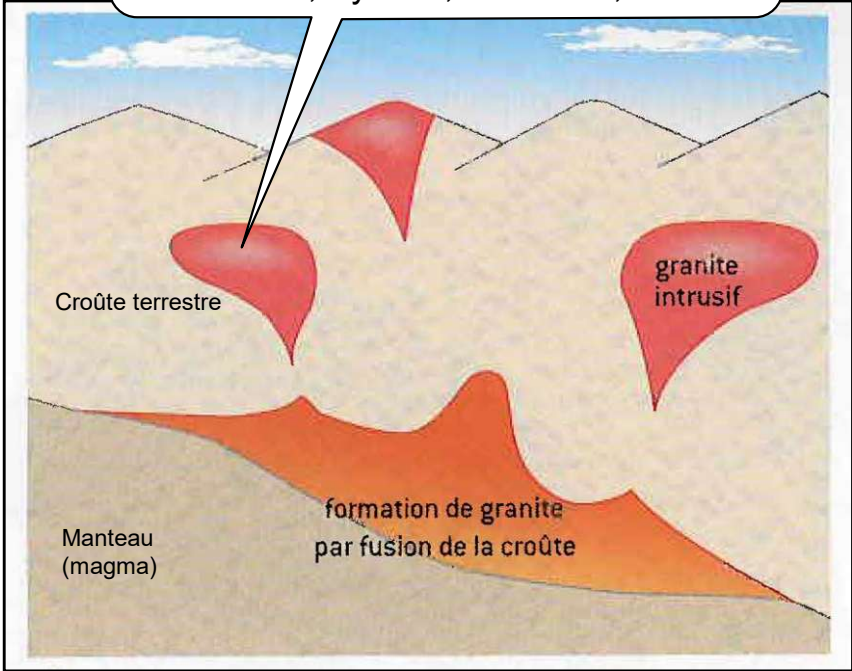
Les roches magmatiques



Refroidissement lent avec cristallisation (cristaux visibles à l'œil nu)

Roches plutoniques (intrusives)

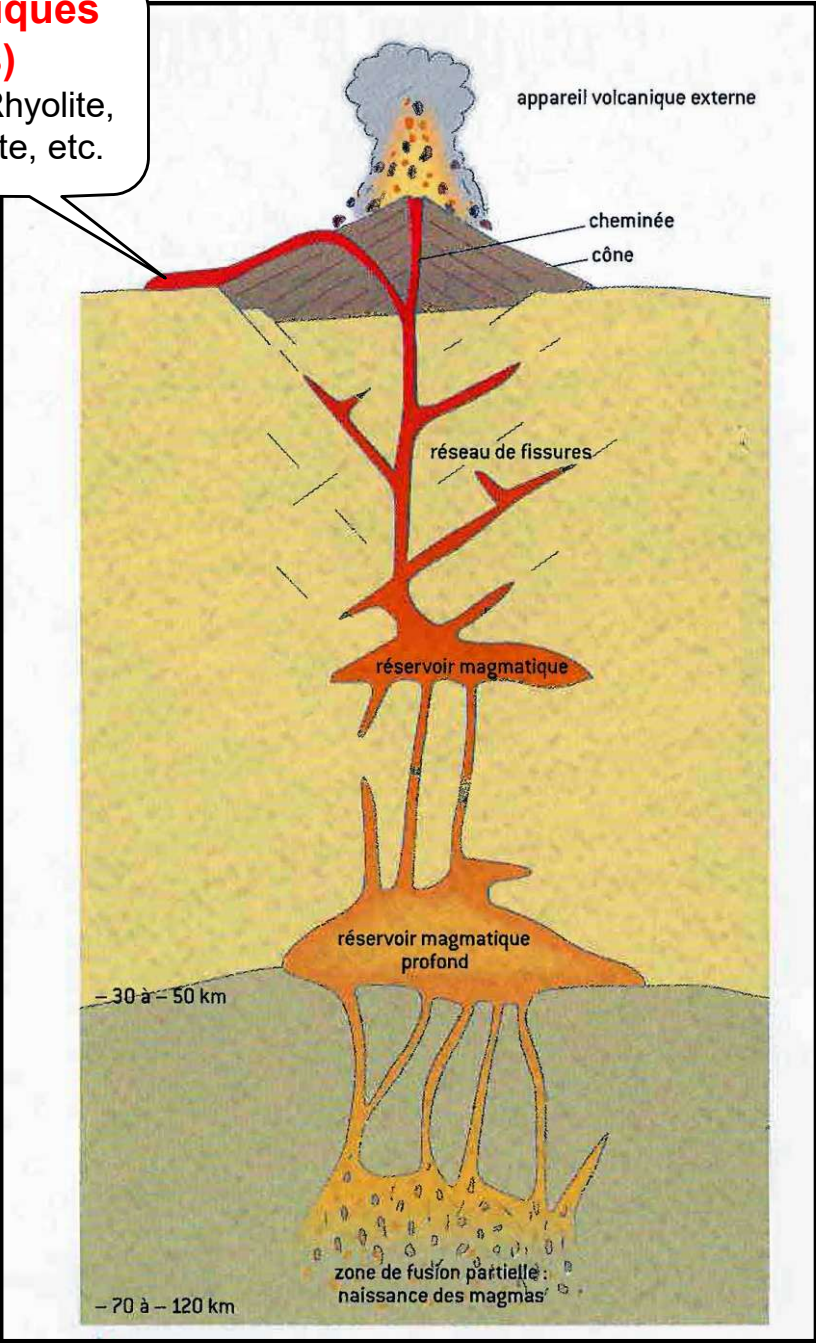
Granite, Granodiorite, Diorite, Gabbro, Syénite, Péridotite, etc.



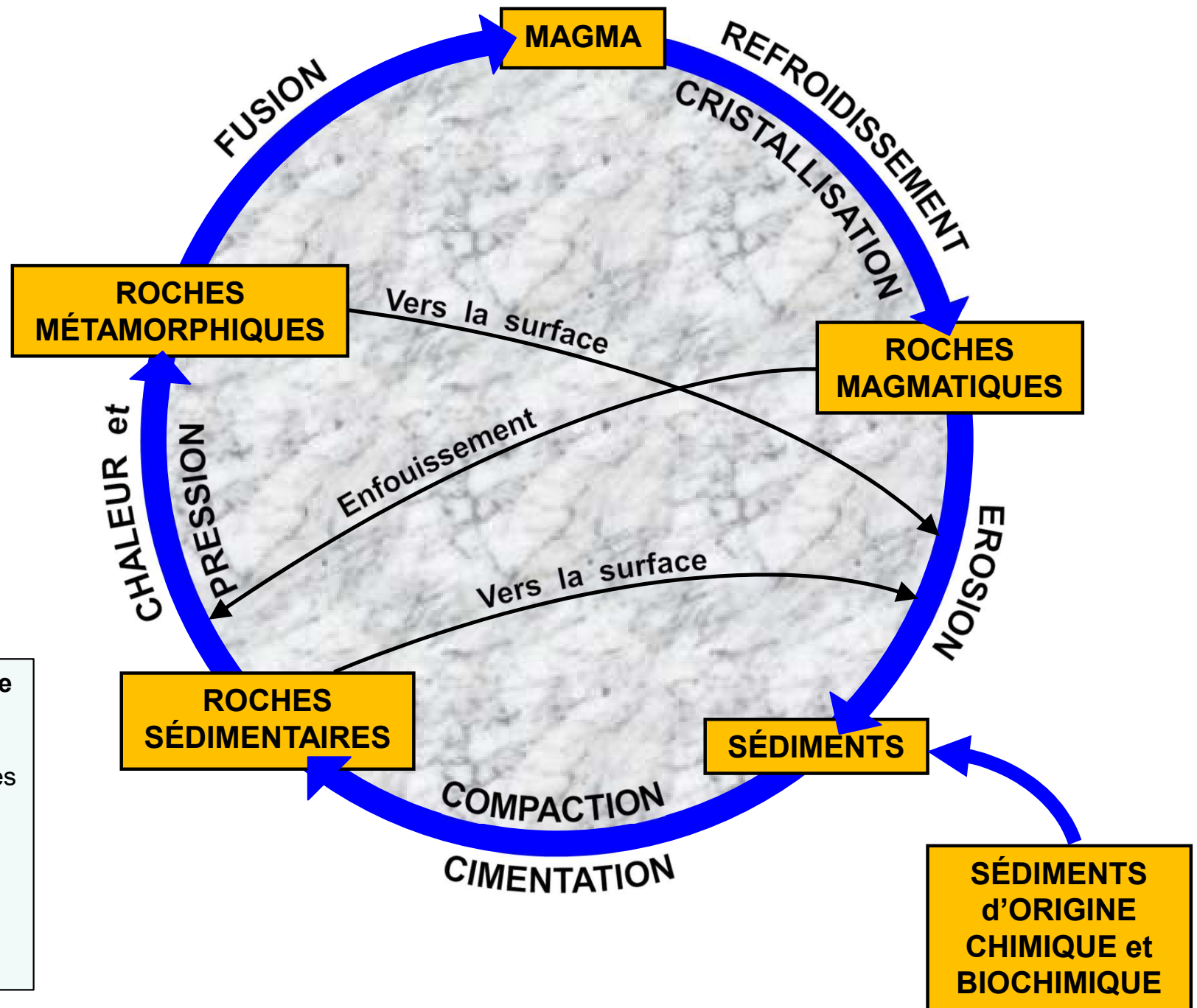
Refroidissement rapide

Roches volcaniques (extrusives)

Basalte, Andésite, Rhyolite, Rhyodacite, Trachyte, etc.

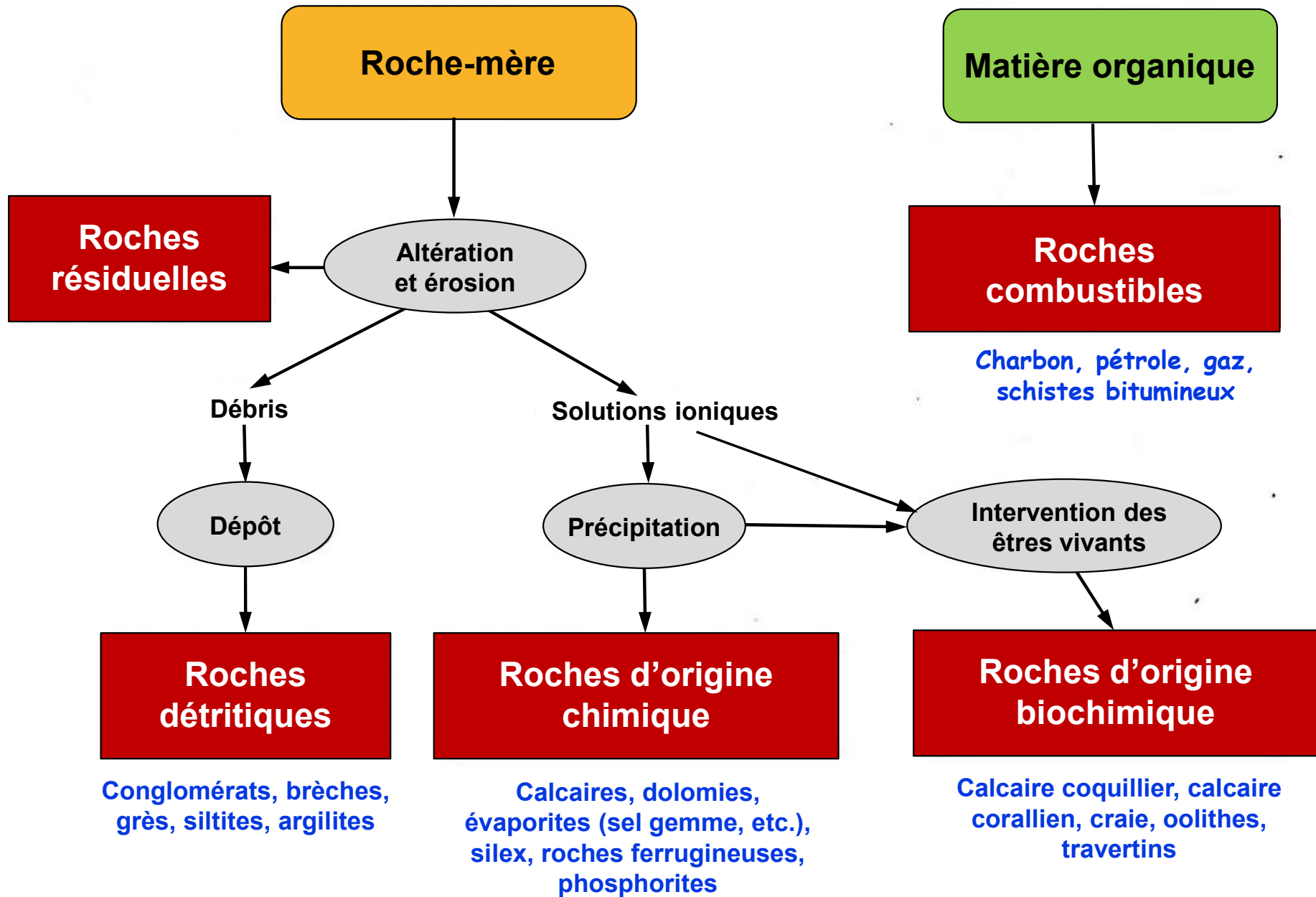


Le cycle des roches



Une **roche métamorphique** résulte de la lente transformation de roches sédimentaires, magmatiques ou métamorphiques provoquée par des modifications du milieu environnant (en particulier pression, température et teneur en eau).

Classification des roches sédimentaires



Formation des roches sédimentaires

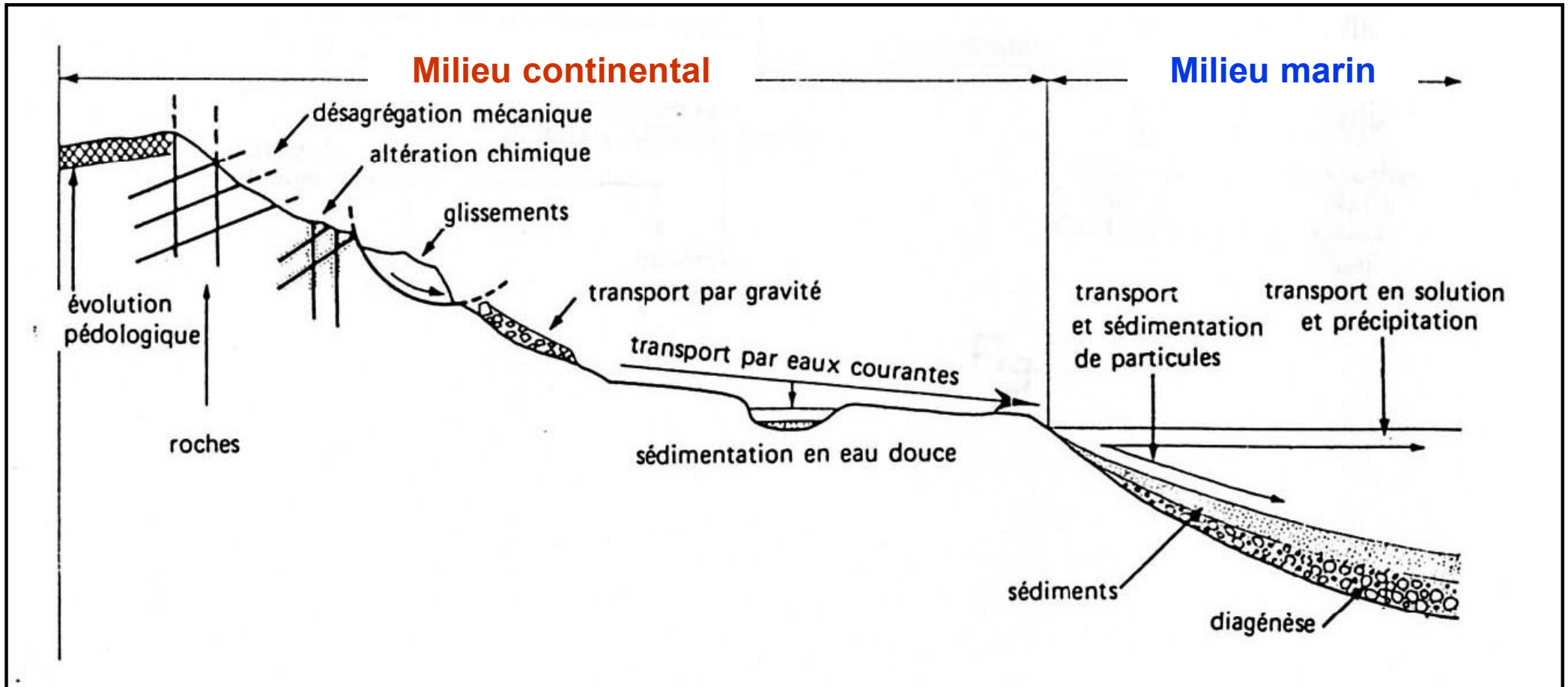
- (1) **Altération physique** (eau, gel ...),
chimique et biologique
- (2) **Transport** (gravité, eau, vent, glace ...)
- (3) **Sédimentation dans un bassin**
(continental ou marin)
- (4) **Diagenèse**

Diagenèse :

Transformation d'un dépôt sédimentaire en roche par :

- **compaction** avec perte d'eau (durcissement par dessiccation),
- **augmentation de température** par enfouissement,
- **dissolution et mobilisation de minéraux**,
- **cémentation** (précipitation de sels dissous provenant du dépôt sédimentaire ou de roches voisines).

Dans les premiers décimètres, les **êtres vivants** peuvent apporter CO₂ et produits sulfureux.





Les Mourres (concrétions calcaires)

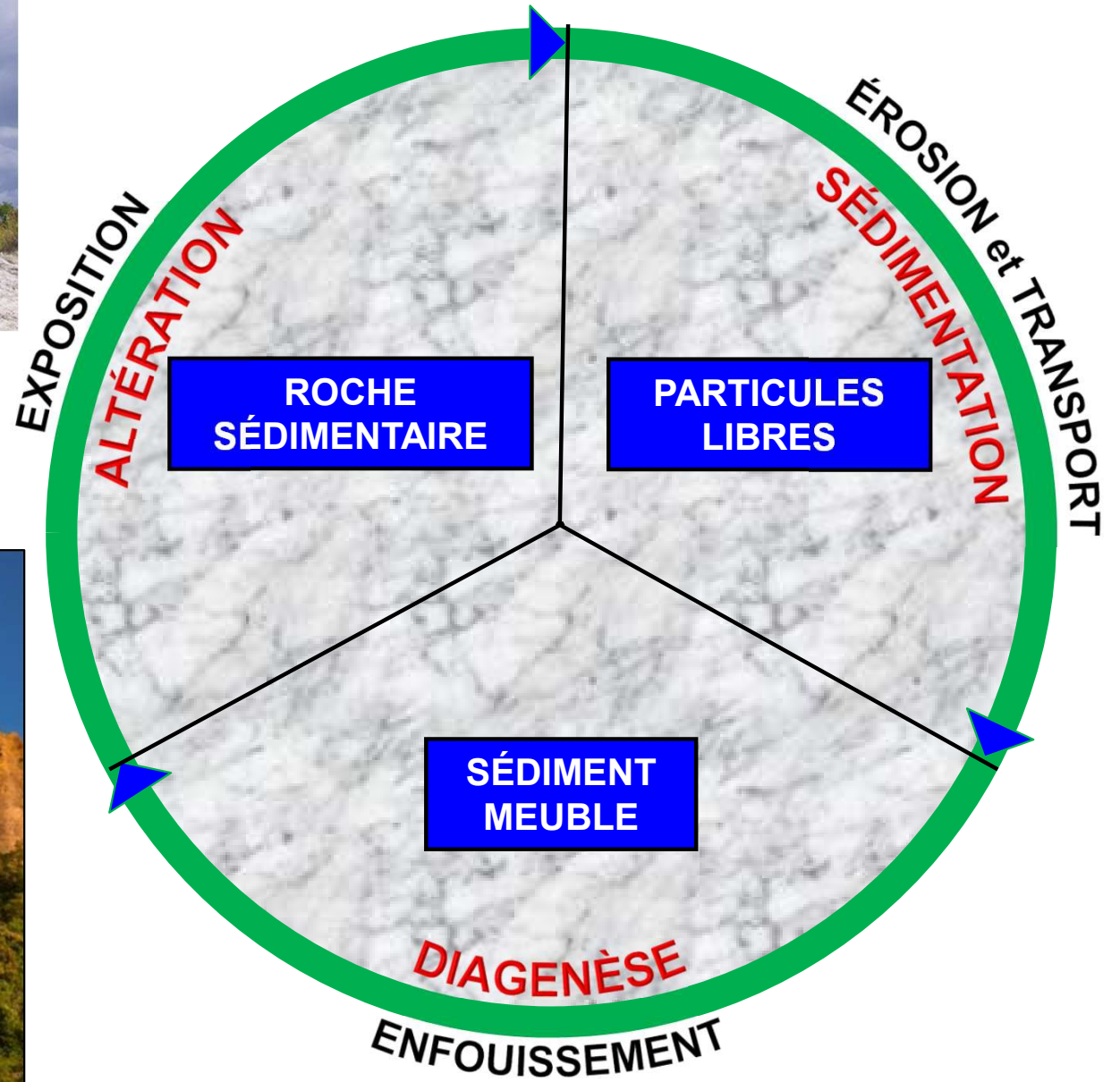


Pénitents des Mées (poudingue)

Cycle des roches sédimentaires

Sédiment :
Accumulation non-consolidée de particules d'origine minérale, organique ou chimique

Roche sédimentaire :
Sédiment consolidé



Paria Canyon, Coyote Butte (Utah, USA)

Grès striés

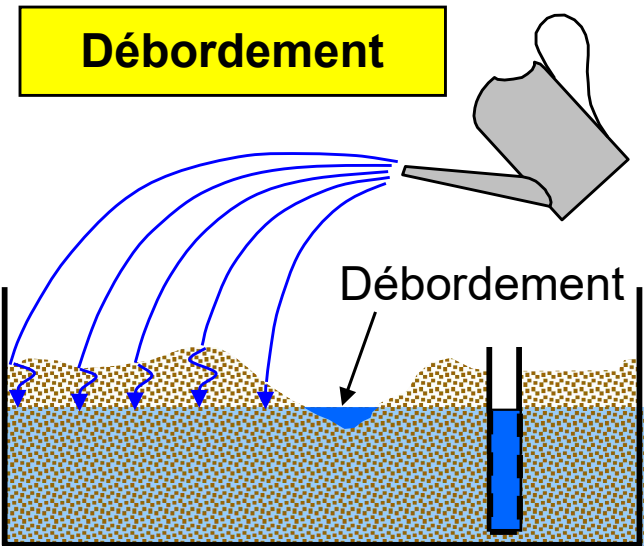
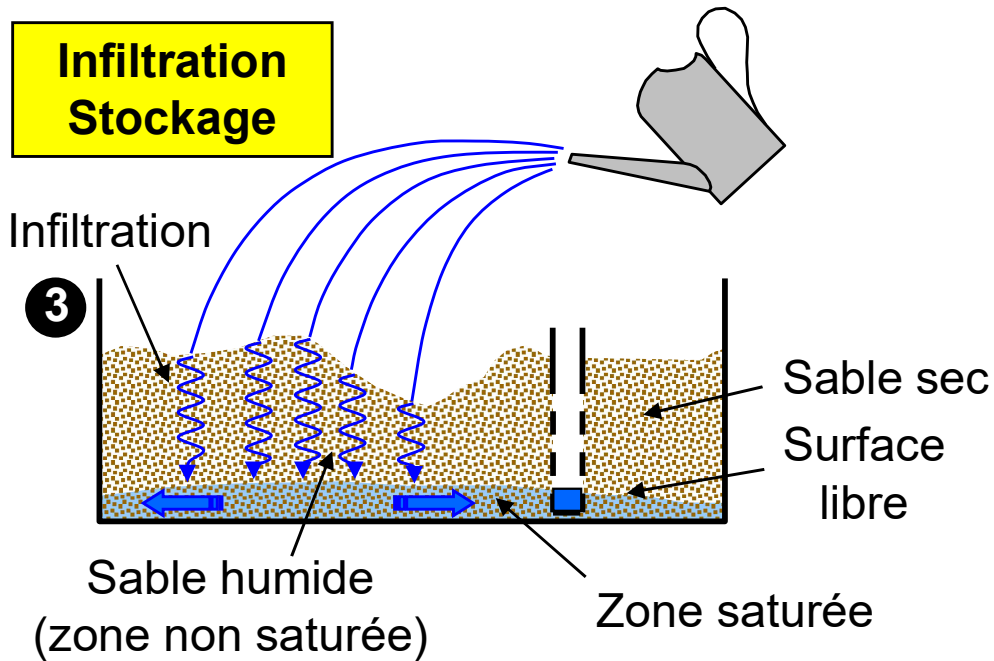
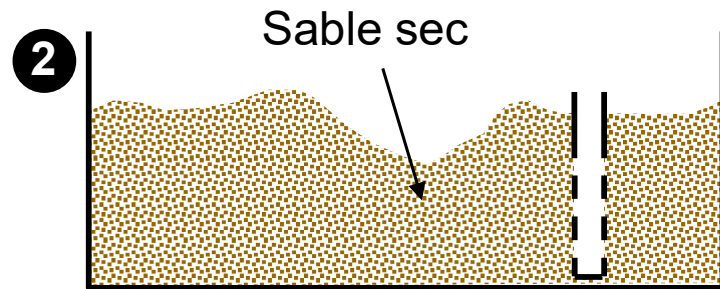


Hydrogéologie

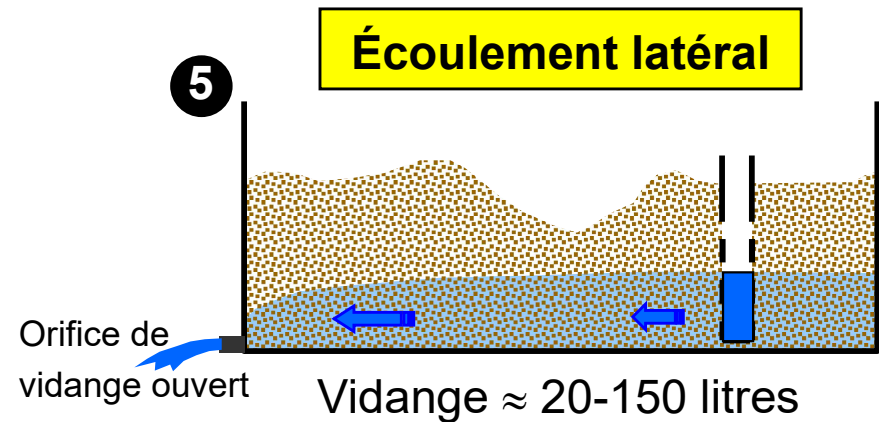
Domaine de la géologie couvrant les processus de **circulation de l'eau dans le sol et le sous-sol**, la recherche des eaux souterraines, ainsi que leur captage, leur exploitation, leur protection et leur dépollution éventuelle..

1. Le cycle de l'eau
2. Les réservoirs souterrains
- 3. Mécanismes hydrauliques**
4. L'eau dans le milieu souterrain
5. Les ouvrages de captage : 9000 ans d'histoire

Hydrogéologie expérimentale (1/2)

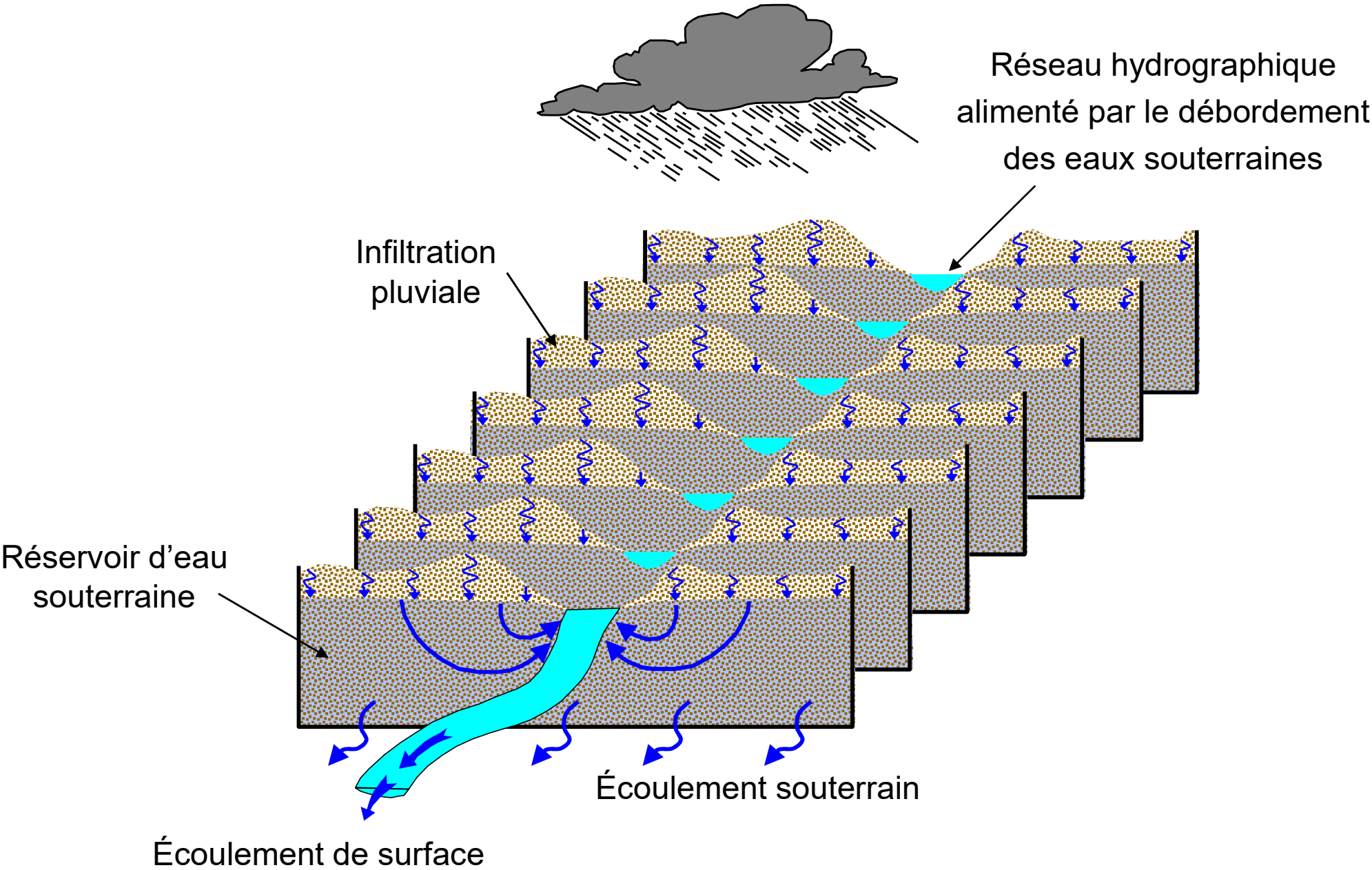


Volume sable = 1 m³
Volume d'eau ≈ 50-200 litres



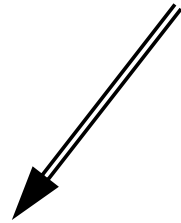
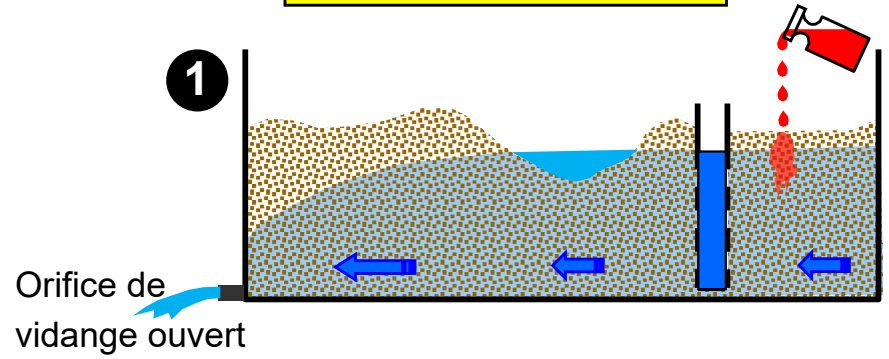
Frottements sur les grains de sable (pertes de charge)
=> réduction du débit de vidange et inclinaison de la surface libre

Hydrogéologie de terrain (1/2)

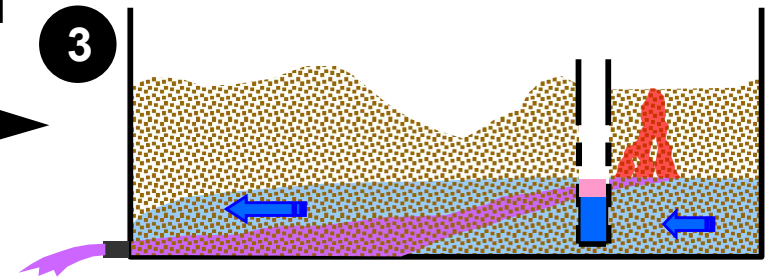
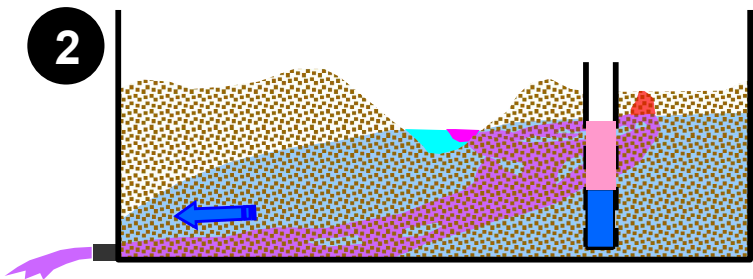


Hydrogéologie expérimentale (2/2)

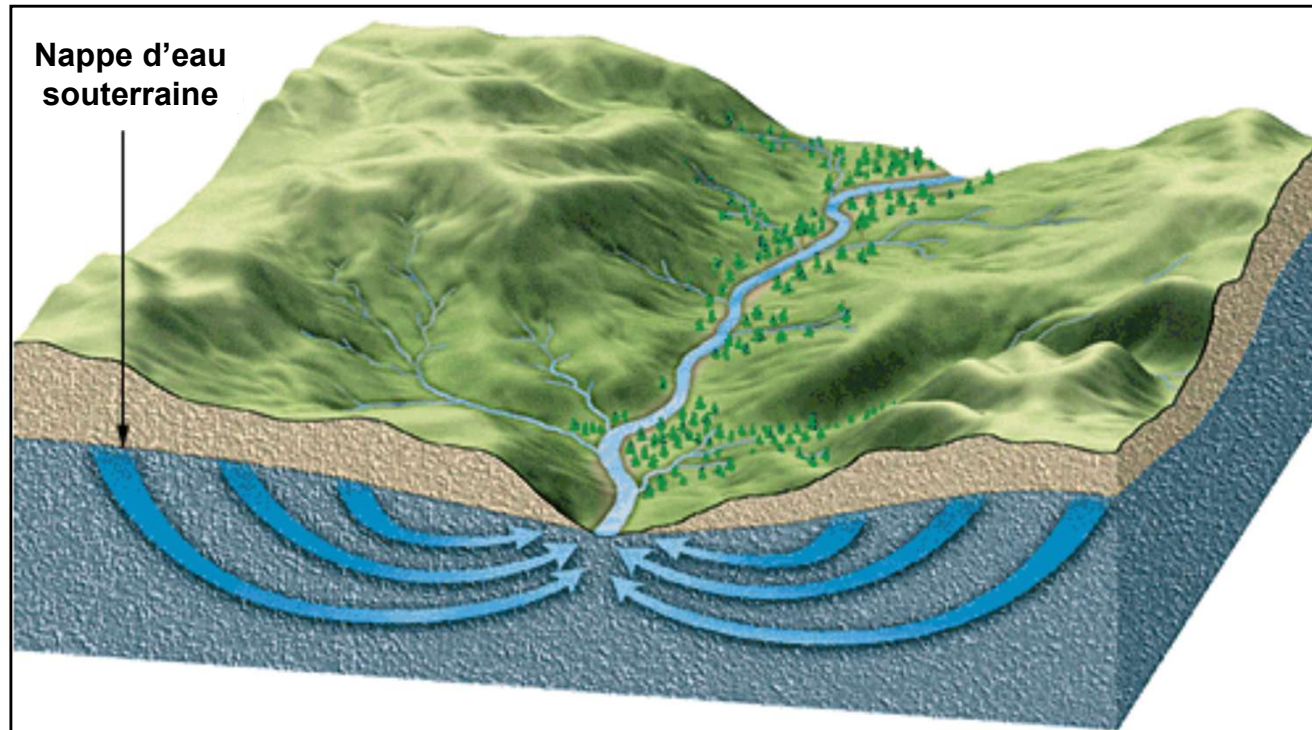
Infiltration d'un colorant liquide



Migration latérale



Les écoulements souterrains



Écoulements

- Phénomène dynamique
- Transferts hydrauliques
- Transport d'éventuelles pollutions

Souterrains

- Invisibles
- Mal connus / mal compris / mystérieux
- Difficiles à mesurer
- Délicats à exploiter

Hydrogéologie

Domaine de la géologie couvrant les processus de **circulation de l'eau dans le sol et le sous-sol**, la recherche des eaux souterraines, ainsi que leur captage, leur exploitation, leur protection et leur dépollution éventuelle..

1. Le cycle de l'eau
2. Les réservoirs souterrains
3. Mécanismes hydrauliques
- 4. L'eau dans le milieu souterrain**
5. Les ouvrages de captage : 9000 ans d'histoire

Témoignages de la présence d'eau souterraine

Source



Puits fermier



Grotte, Aven, Gouffre (de Padirac)



Puits artésien de Grenelle (1841)



Geyser



Plage



Gravière



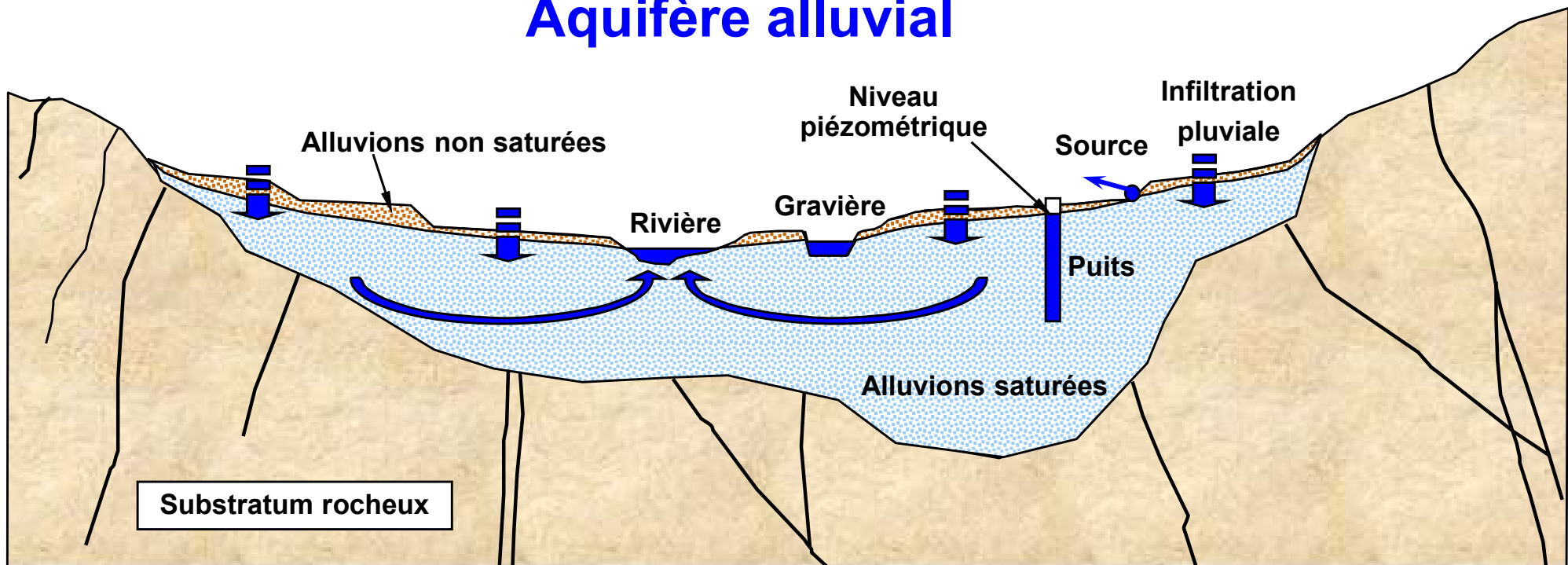
Aquifères et nappes

Un aquifère et un massif, une couche ou un ensemble de couches géologiques :

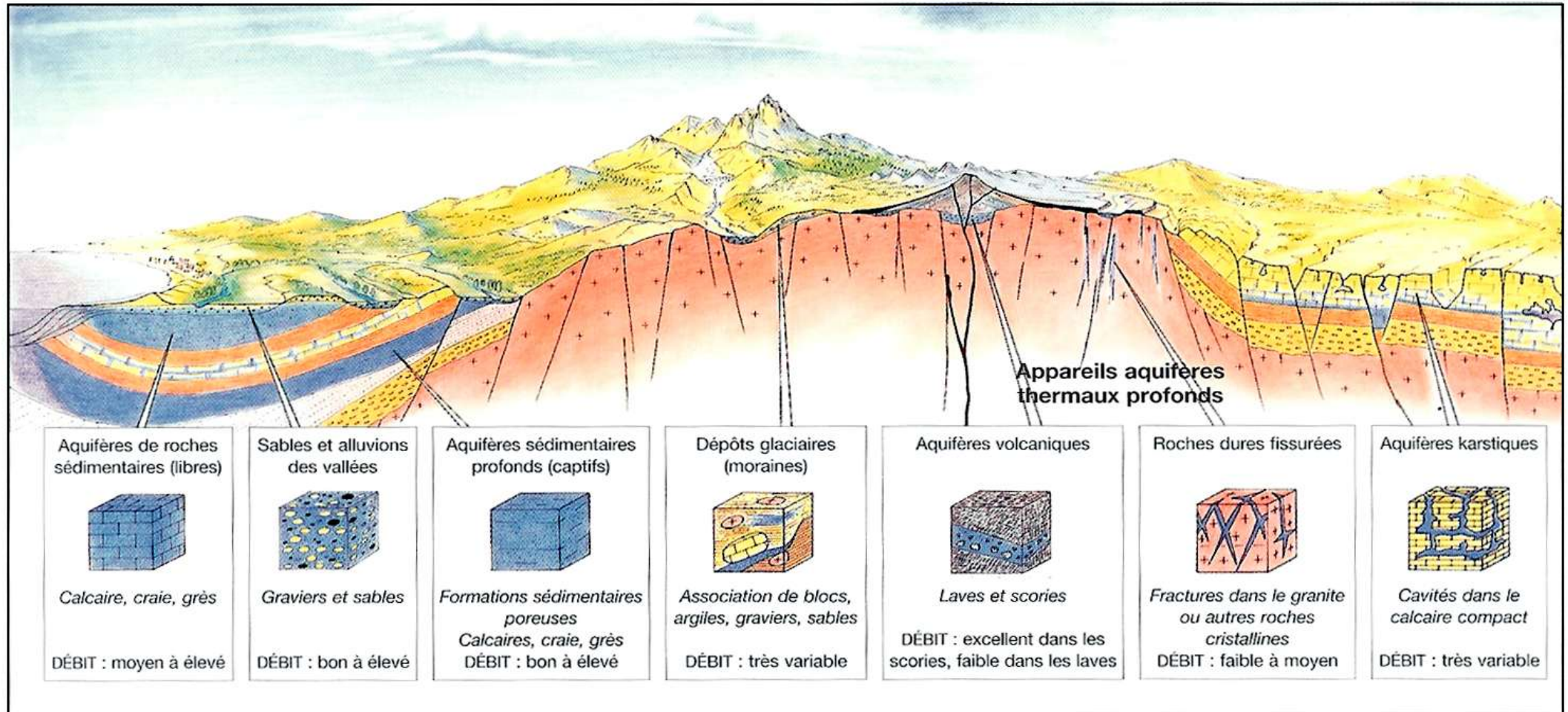
- Contenant des **roches perméables à l'eau**
- **Ensemble géométriquement délimité** reposant sur un substratum de roches moins perméables
- Comportant une **zone saturée** où l'eau occupe complètement les « vides » de la roche (pores ou fissures)
- Conduisant suffisamment l'eau pour permettre :
 - l'**écoulement significatif d'une nappe d'eau souterraine**
 - le **captage de quantités d'eau appréciables**

L'aquifère est l'ensemble du milieu solide et de l'eau souterraine (la nappe)

Aquifère alluvial



Grande diversité des contextes aquifères

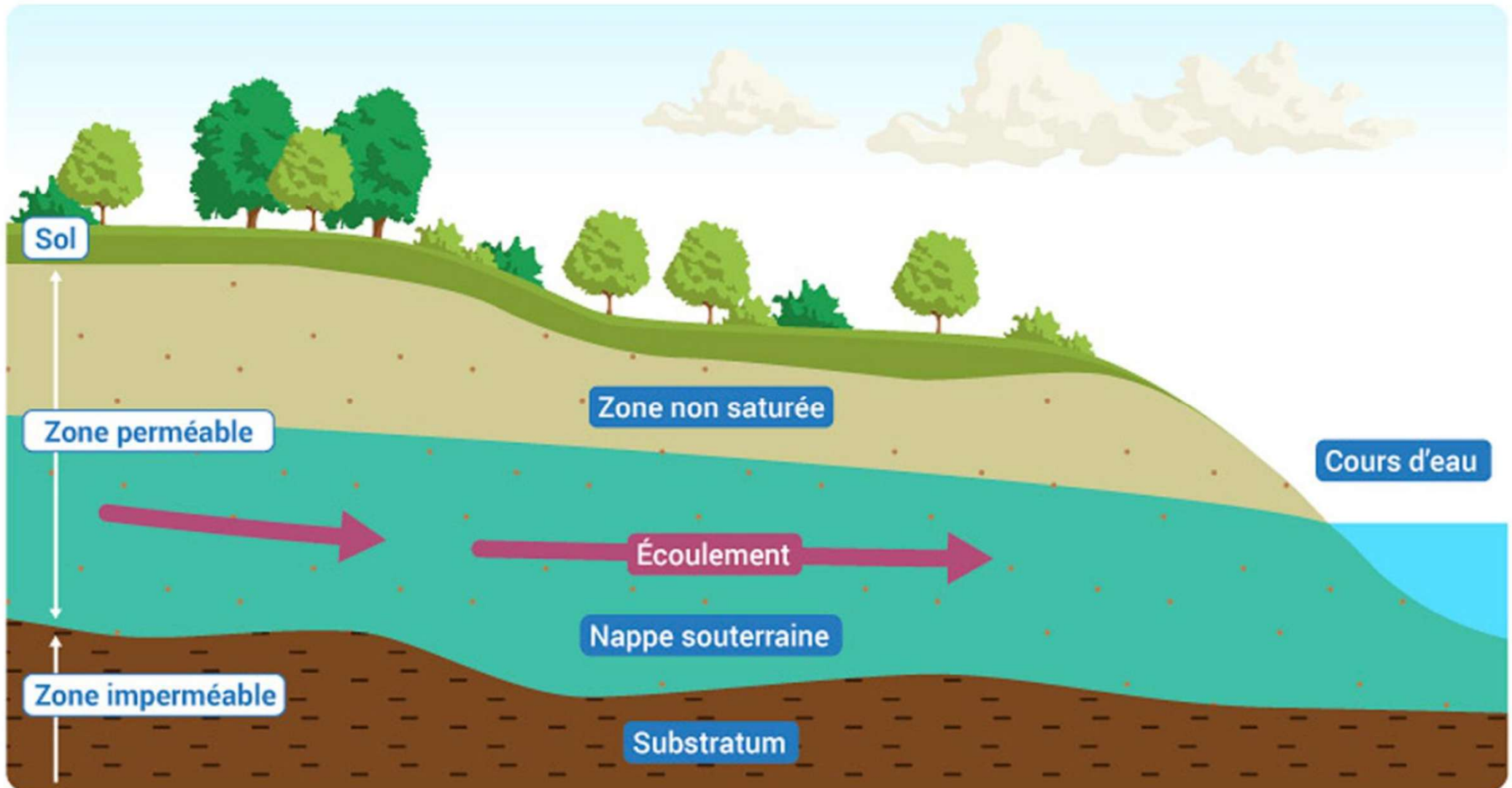


Trois grands types d'aquifères :

- ❑ **continu : milieu poreux**
- ❑ **discontinu fissurés : milieu fissuré**
- ❑ **discontinu karstiques (massifs calcaires)**

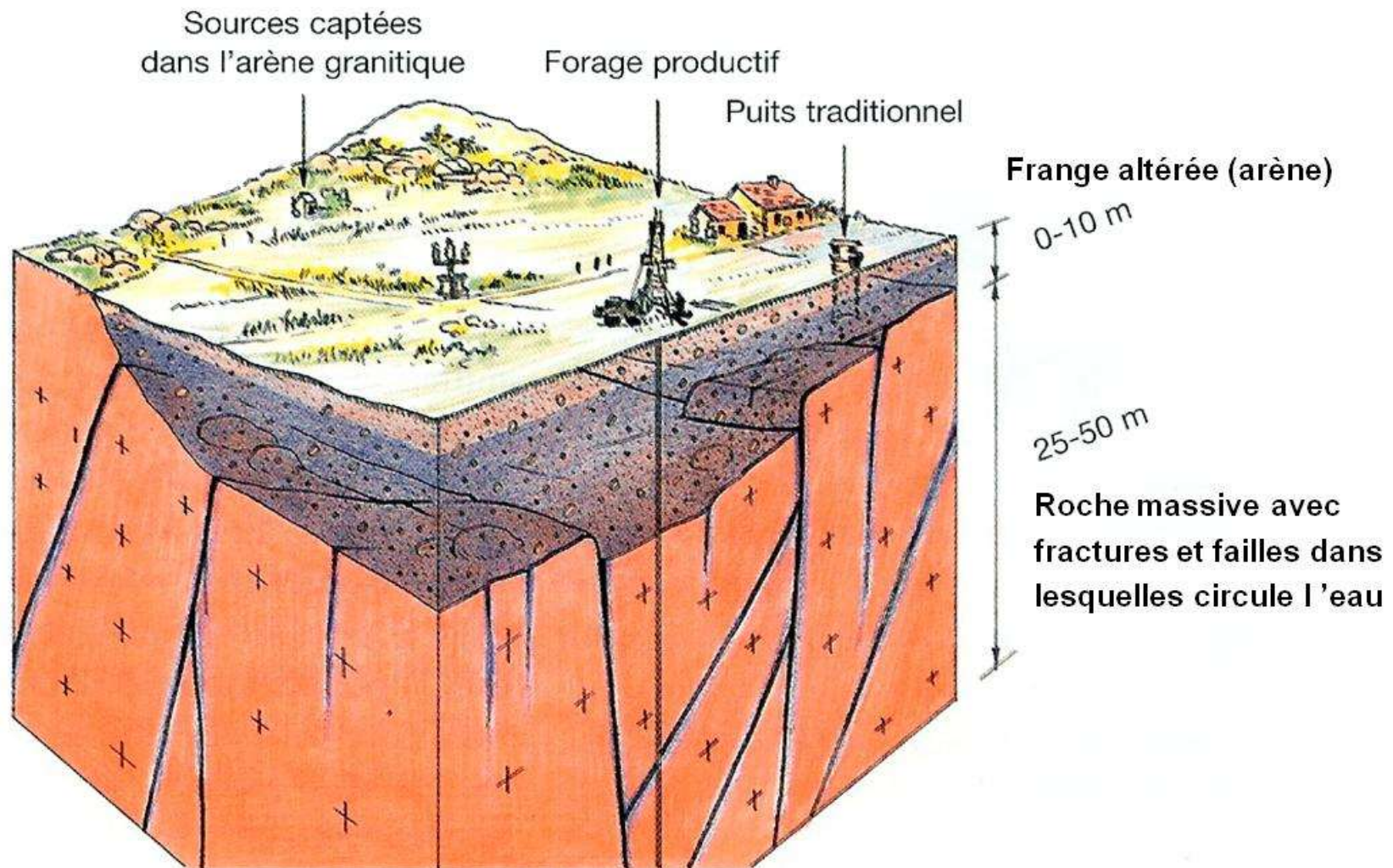
Aquifères continus

La matrice rocheuse présente une porosité relativement homogène à l'échelle macroscopique (sédiments meubles des alluvions sablo-graveleuses) ou est compacte mais densément fissurée (calcaires, craie, grès)



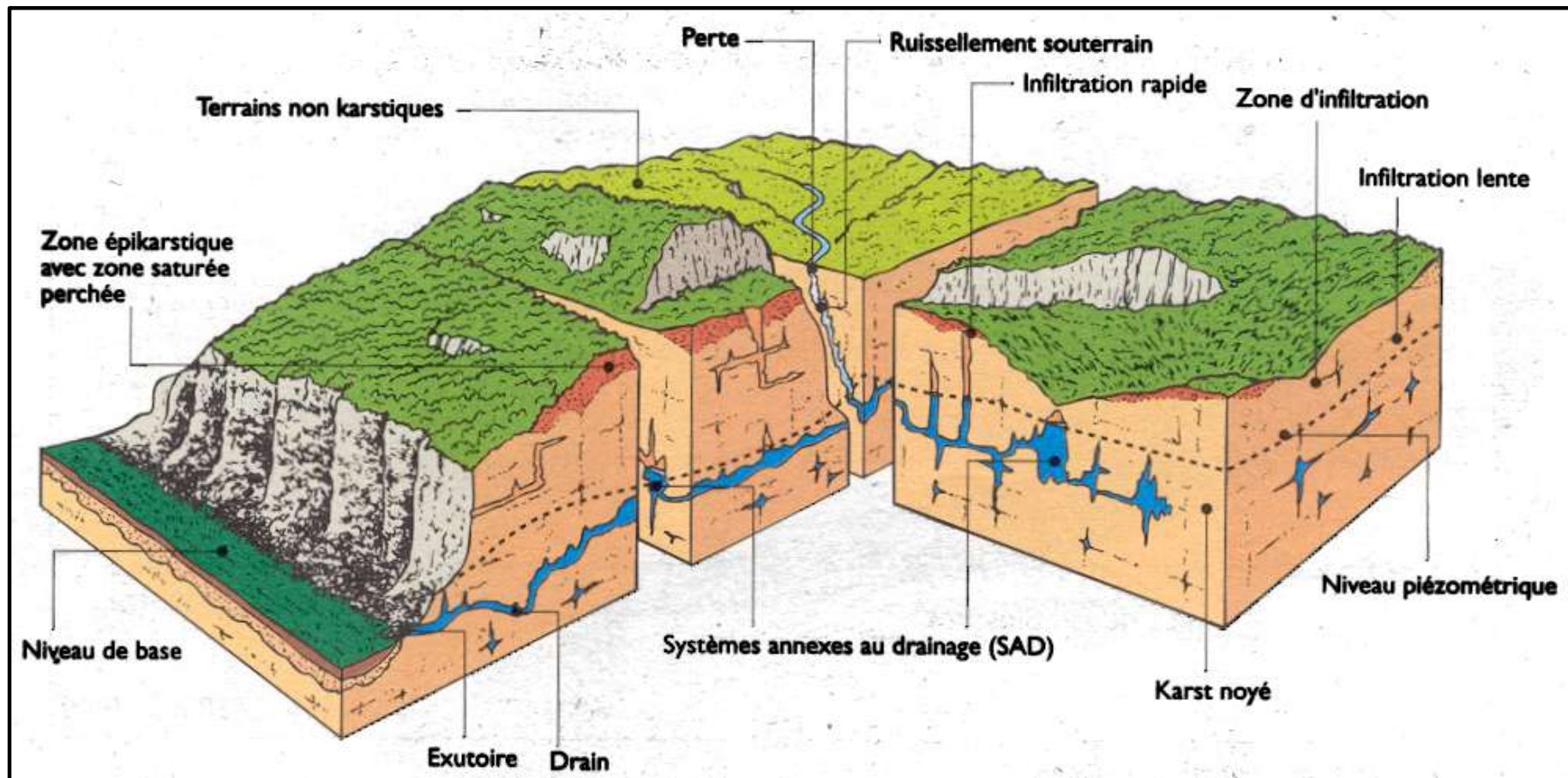
Aquifères (discontinus) fissurés

La roche elle-même est très peu perméable
=> l'eau circule dans les fractures



Aquifères (discontinus) karstiques

La roche elle-même est peu perméable => l'eau circule dans les fissures, fractures, chenaux et rivières résultant de la dissolution des calcaires



Processus de karstification

Érosion physico-chimique par dissolution des calcaires sous l'action de l'acide carbonique (H_2CO_3) formé lorsque l'eau de pluie absorbe le CO_2 de l'atmosphère et du sol.
=> Modification profonde du massif calcaire et de ses propriétés aquifères.

- Ouvertures des fissures préexistantes, formation de chenaux, rivières, vasques, concrétions, etc.
- Concentration des écoulements vers un nombre limité d'exutoires à fort débit
- Importantes variations saisonnières des débits
- Aquifères parfois pénétrables et visitables par l'homme
- Dissociation des fonctions transmissives et capacitives

Lac d'Oum el Ma, Erg Oubari (Libye)
Champ de dunes et lac salé



Lac d'Oum el Ma, Erg Oubari (Libye)
Champ de dunes (Silice SiO_2)



Photo : Jörgen Bûttner

La Mer Morte, salinité à saturation (= 275 g/L)



Rôle des nappes dans le cycle de l'eau

Les nappes jouent un rôle important dans le cycle de l'eau :

- **Stockage** dans le sous-sol d'une partie des eaux pluviales
- **Transferts hydrauliques souterrains**, invisibles et lents
- **Filtration et interactions physico-chimiques** avec le milieu géologique
- **Restitution différée** aux cours d'eau ou à la mer, plusieurs années, dizaines d'années ou siècles plus tard, selon les dimensions de l'aquifère

Les eaux souterraines transportent les pollutions qui s'y sont infiltrées, et **les pollutions finissent toujours par atteindre et contaminer un exutoire** hydraulique (cours d'eau, source, puits, forage ou mer)

D'où l'importance des réglementations destinées à prévenir les pollutions agricoles et industrielles, et à intervenir rapidement en cas de pollution accidentelle.

La qualité de l'eau que nous consommons

En France, la majorité de l'eau distribuée aux particuliers provient des eaux souterraines, captées sur le territoire de la commune ou à proximité. Nous sommes donc directement concernés par la qualité des nappes de notre territoire.

À titre individuel, nous disposons d'au moins trois leviers efficaces pour préserver la qualité de l'eau que nous consommons :

- **Ne jeter aucun produit chimique dans la nature**
- **Renoncer aux traitements phytosanitaires pour l'entretien des jardins**
- **Opter pour une alimentation bio et locale.**

Hydrogéologie

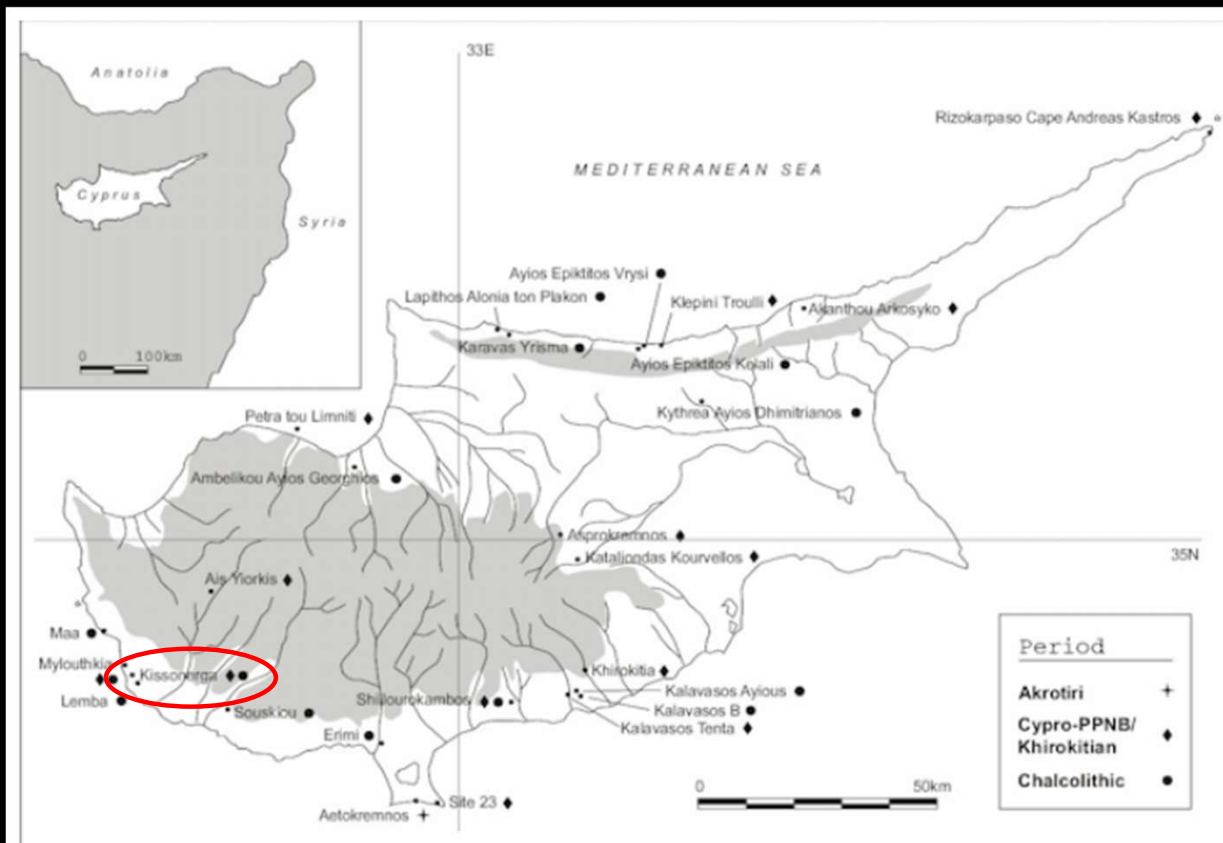
Domaine de la géologie couvrant les processus de **circulation de l'eau dans le sol et le sous-sol**, la recherche des eaux souterraines, ainsi que leur captage, leur exploitation, leur protection et leur dépollution éventuelle..

1. Le cycle de l'eau
2. Les réservoirs souterrains
3. Mécanismes hydrauliques
4. L'eau dans le milieu souterrain
- 5. Les ouvrages de captage : 9000 ans d'histoire**

Puits traditionnels

Les plus anciens puits archéologiques datent de 9000 ans av. J.-C. (site sous-marin d'Atlit Yam, Israël) à 7000 ans av. J.-C. (site de Kissonerga, Chypre).

Leur apparition coïncide avec la révolution agricole du Néolithique, la sédentarisation des populations et le besoin croissant en eau pour l'agriculture, l'élevage et la vie quotidienne.



Map of Cyprus showing main Neolithic and Chalcolithic sites



Puits traditionnels (jusqu'à 100 m de profondeur en Afrique du Nord)

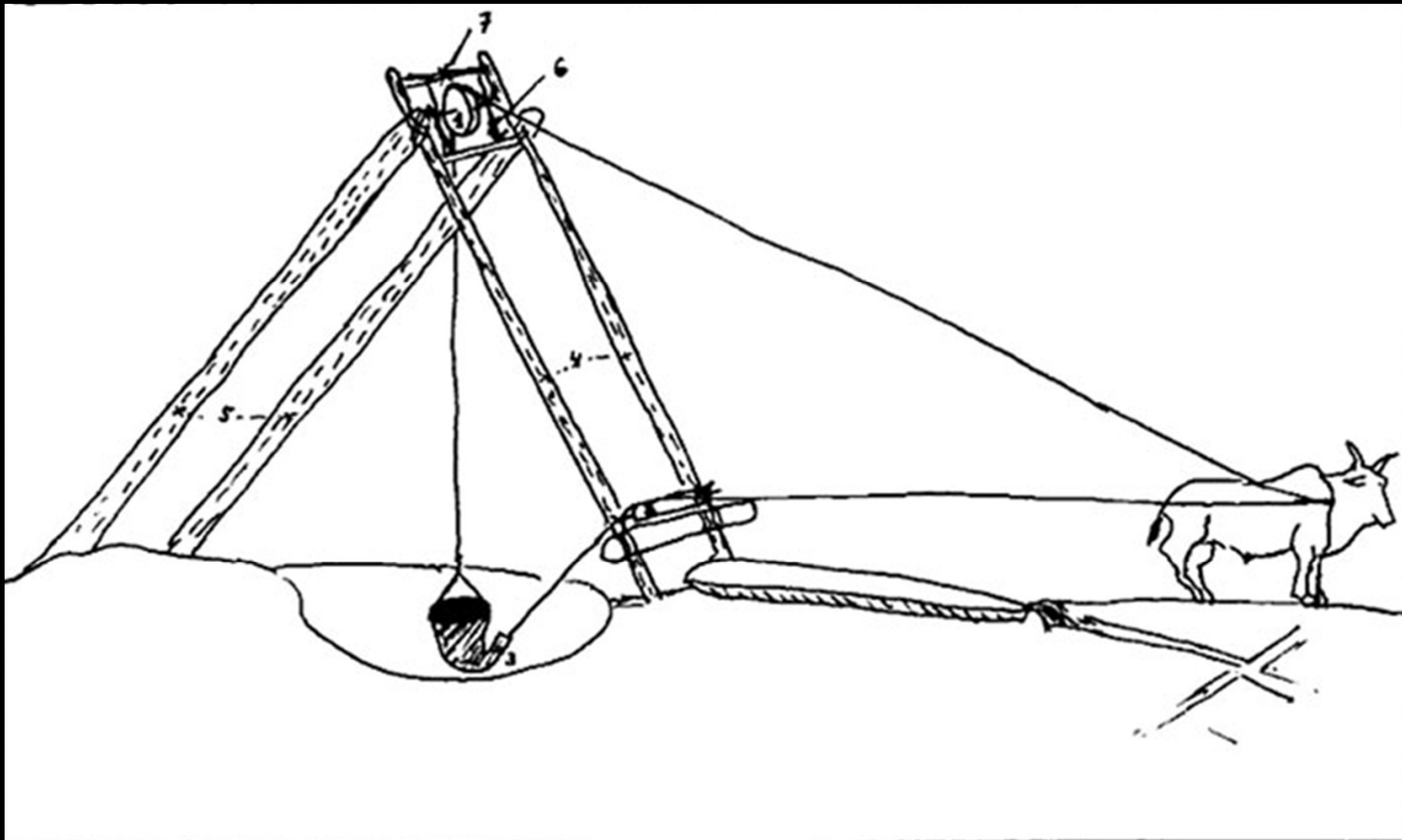
Puisage manuel ou animal



Puits d'irrigation (M'zab, Province de Ghardaïa, Algérie) .



Puits à traction animale



Puits à balancier, ou puits cigogne, ou chadouf (shadouf)

Le chadouf apparaît en Mésopotamie dès le III^e millénaire avant notre ère.

Il est employé en Égypte à partir du Nouvel Empire, vers 1500 av. J.-C.

après un changement climatique à la fin de l'Ancien Empire (baisse des crues et raréfaction des pluies)



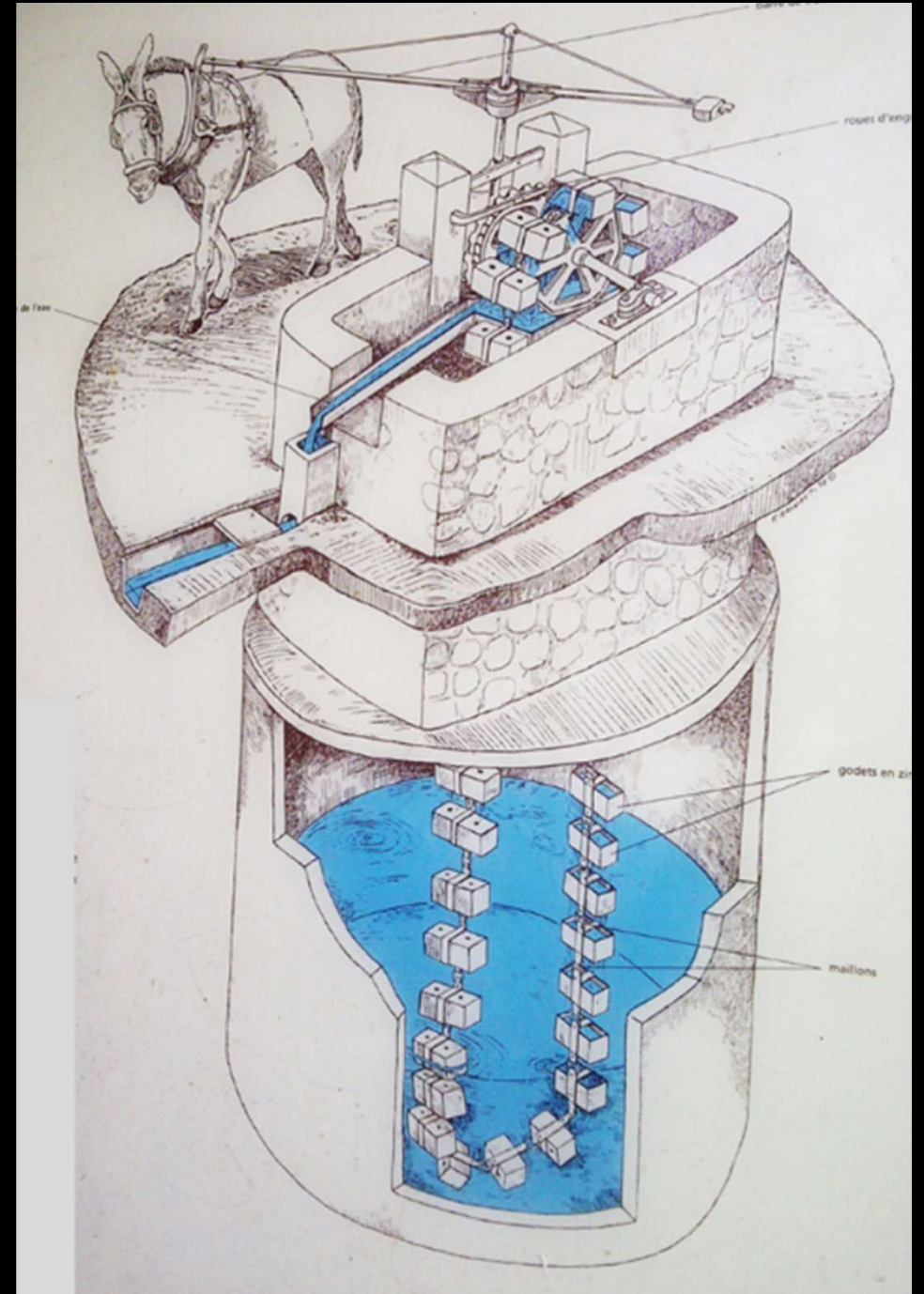
Shadouf, système à bascule servant à puiser l'eau d'un cours d'eau (fac-similé, Égypte ancienne).

Puits à roue élévatrice (« sakieh », noria) et godets de terre (Chypre)

La « sakieh » apparaît en Égypte hellénistique autour du III^e siècle av. J.-C.

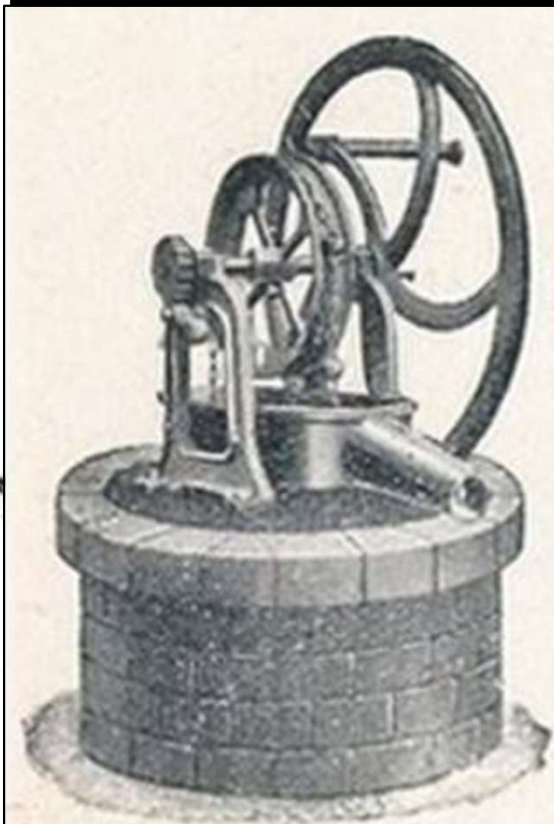
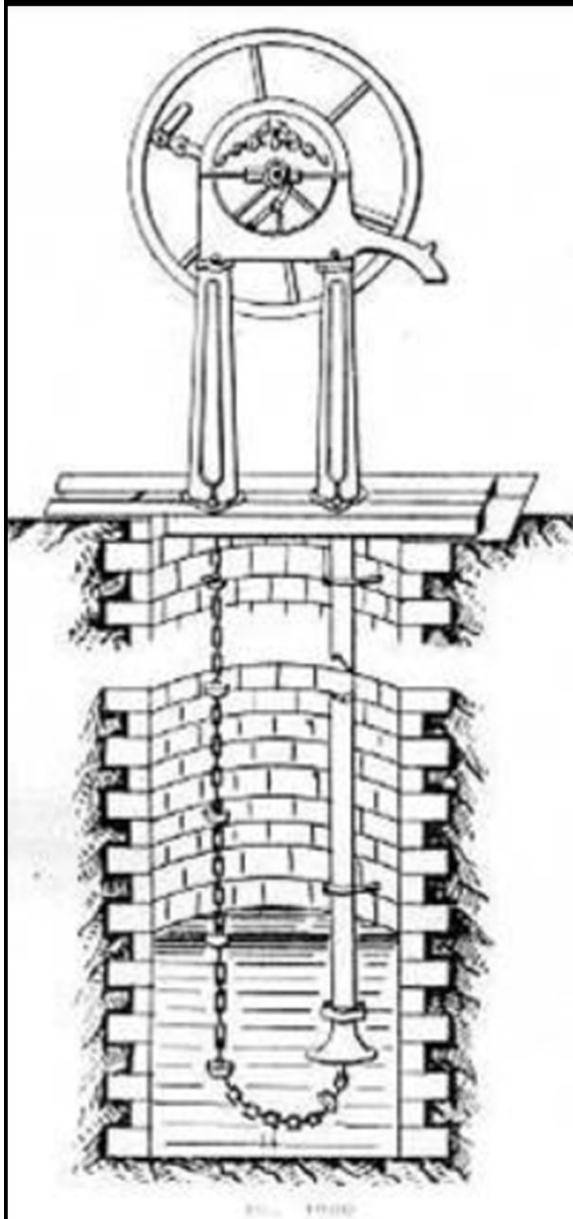


Kition-Bamboula (Chypre), puits à roue élévatrice du III^e s. ap. J.-C.

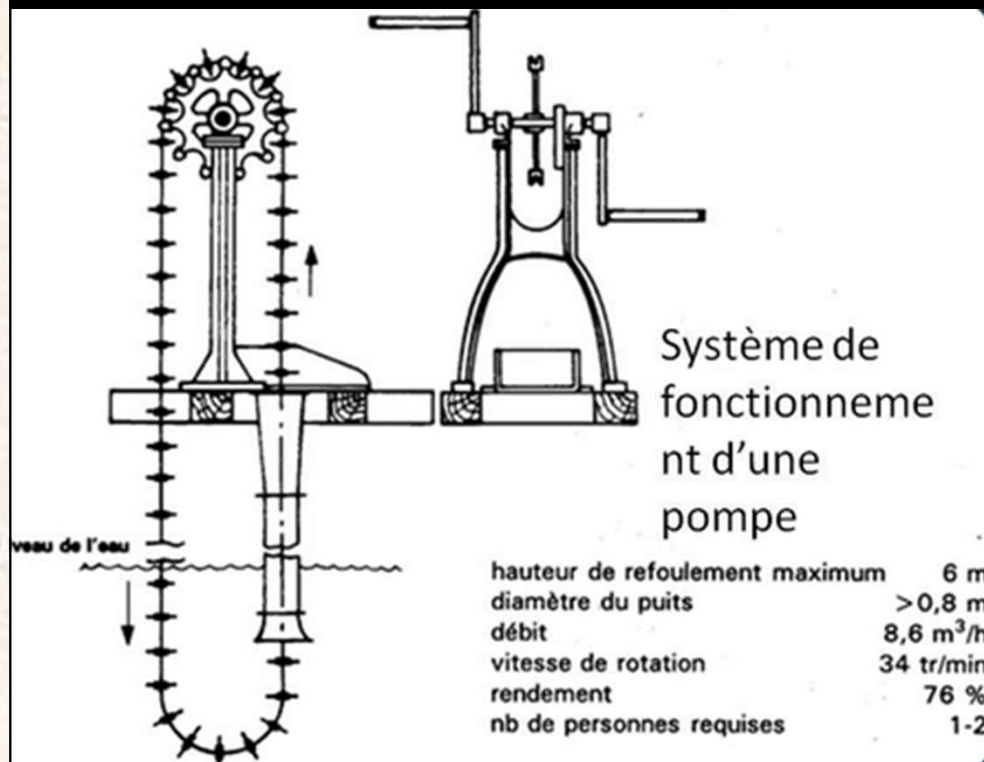


La roue élévatrice au XIXe siècle : Pompe à chaîne ou à chapelet

Débit 4000 L/h avec tuyau de 40 mm de diamètre



Art. R-19
Pompe ouverte
pouvant être montée
sur margelle



Les puits à degrés

Vastes excavations pyramidales creusées jusqu'à la nappe, où une série de gradins et d'escaliers permettent de descendre puiser l'eau dans des bassins alimentés par la nappe.

Puits à degrés des temples d'Abydos, dédiés à Sethi I et à Ramsès II (XIXe dynastie, 1294-1213 av. J.-C.).
Y étaient célébrés les mystères de la résurrection d'Osiris, tué et démembré par son frère Seth, mais ramené à la vie par son épouse Isis après qu'elle ait rassemblé les 14 morceaux de son corps éparpillés dans toute l'Égypte.

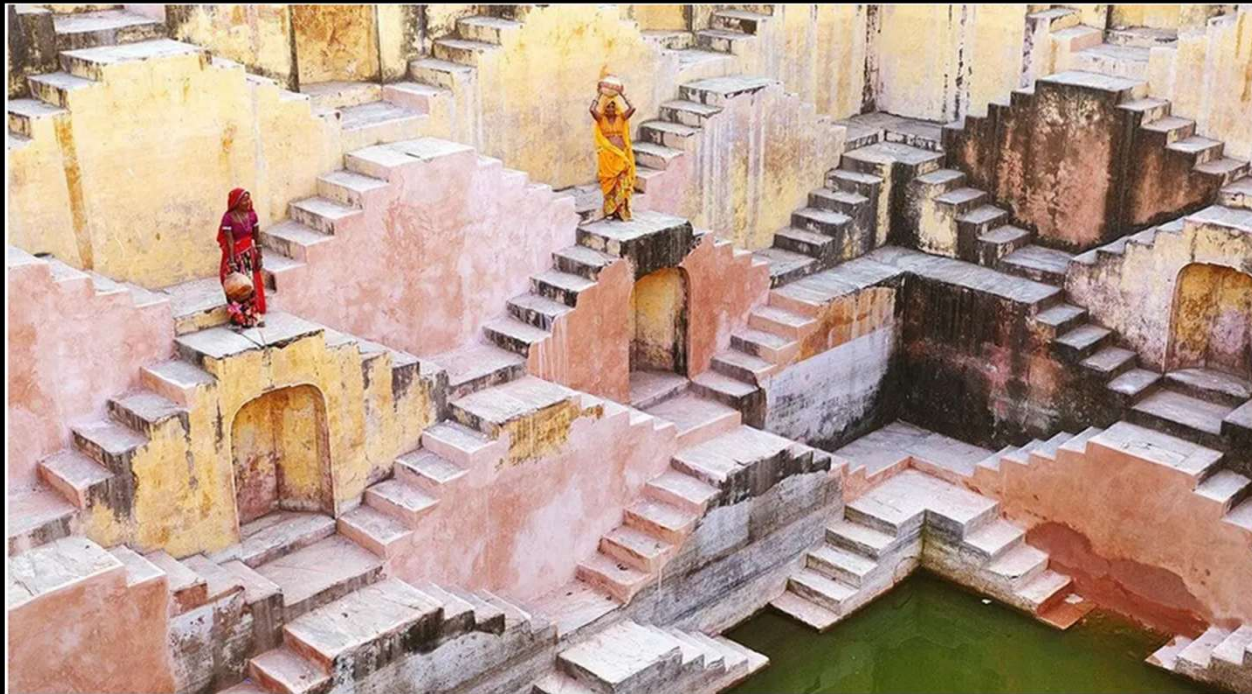


Puits à degrés du Rajasthan et du Gujarat (Inde)









Les galeries drainantes des zones arides

Des milliers de qanâts sont encore exploités en Iran, au Yémen, en Oman, en Afrique du Nord (foggaras, khetaras). Captage et transport gravitaire de l'eau sur des centaines de mètres, voire des kilomètres, à l'abri de l'évaporation et des vents de sable. Les eaux captées sont acheminées jusqu'à la surface du sol pour irriguer des palmeraies isolées en plein désert.



Puits principal

Source d'eau principale pour le qanat



Puits d'accès verticaux

Utilisés pour la construction et l'entretien du canal



Canal

Transporte l'eau jusqu'aux champs



Sortie



Distribution

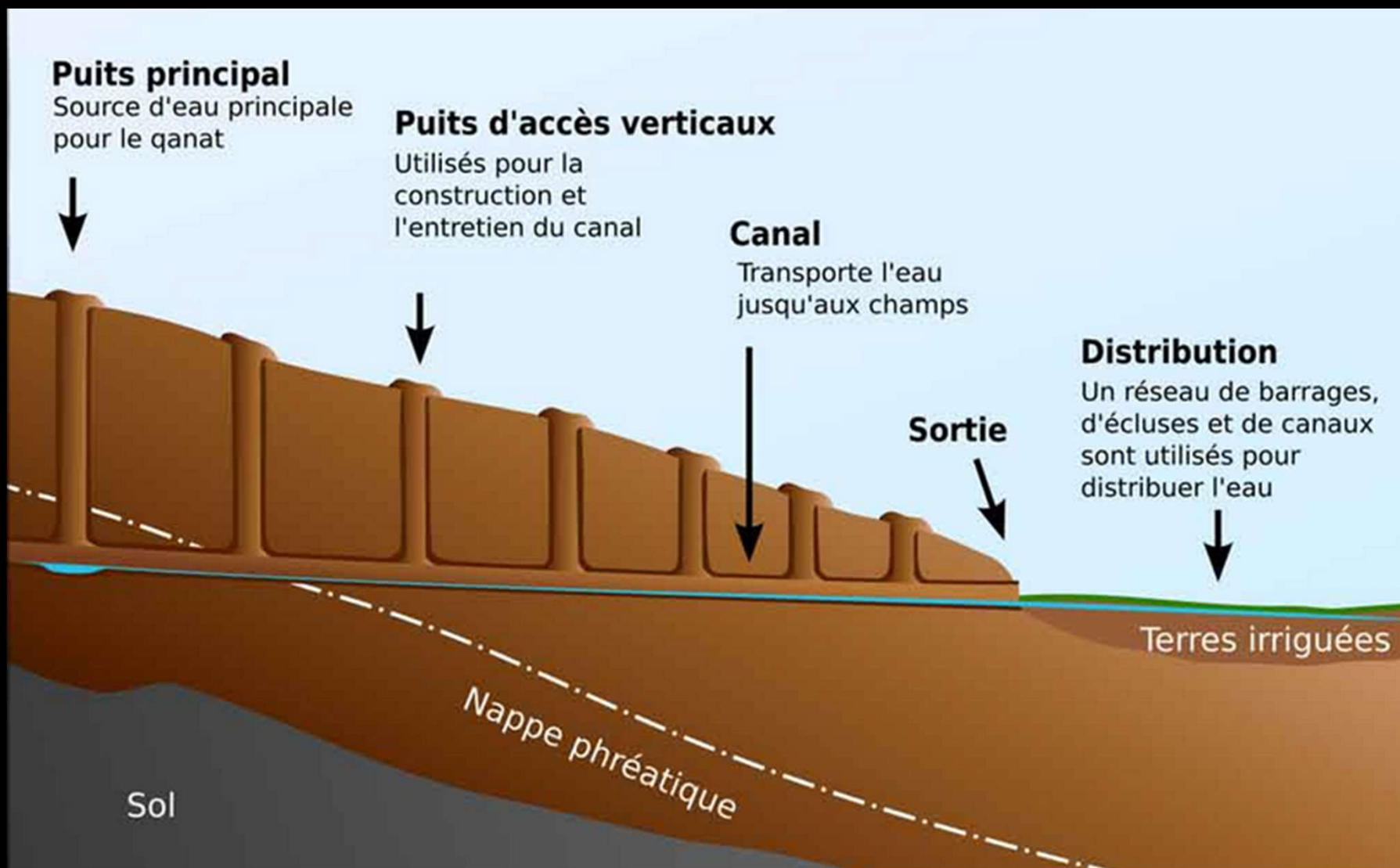
Un réseau de barrages, d'écluses et de canaux sont utilisés pour distribuer l'eau



Terres irriguées

Nappe phréatique

Sol







Apparues au III^e millénaire avant notre ère, les oasis sont des espaces artificiels entièrement façonnés par l'homme (AlUla, Arabie saoudite).

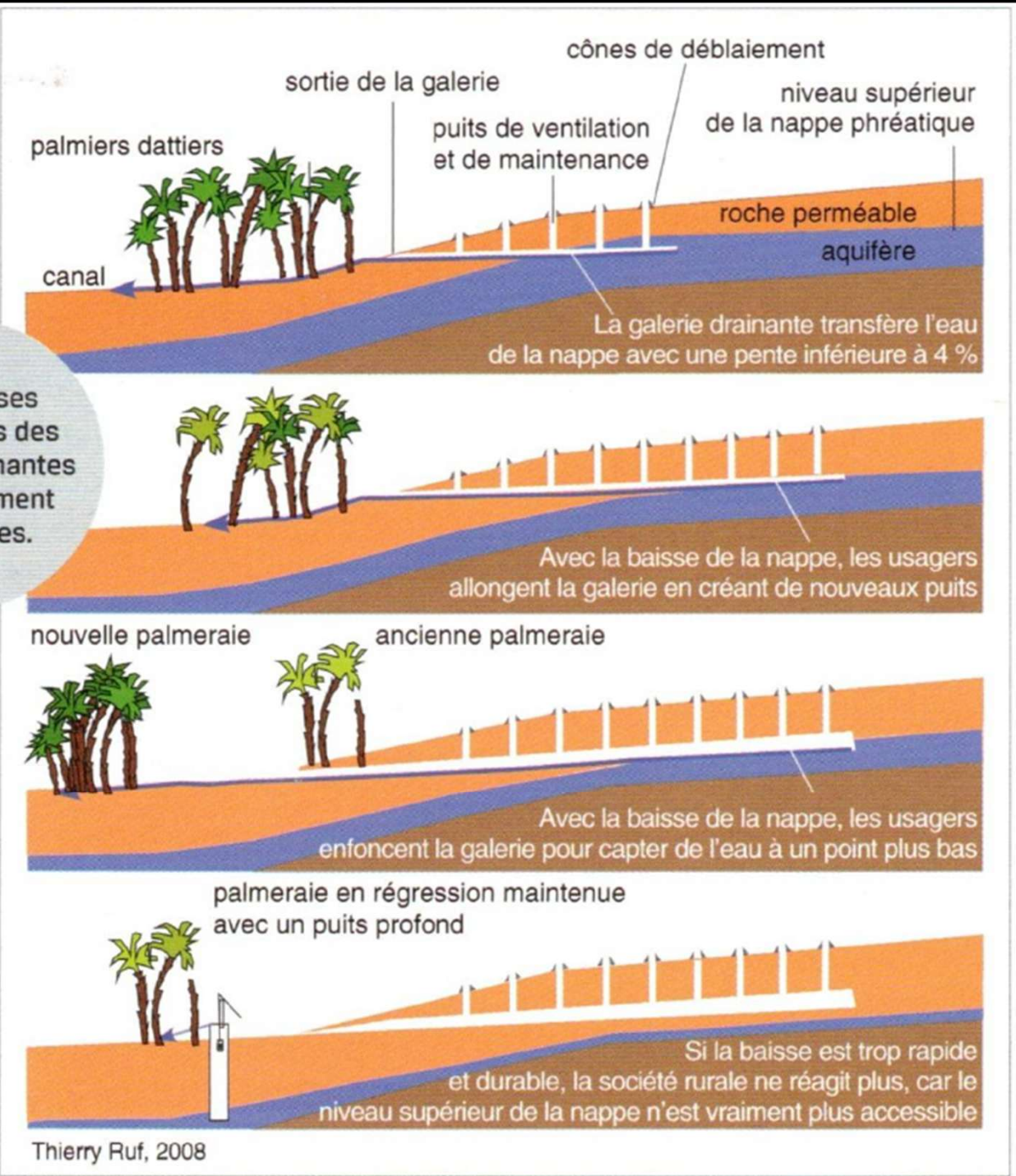
Palmeraie de Douz (Tunisie)

3 étages de végétation :

- Palmiers dattiers – protection contre le vent, filtration du soleil, création d'un micro-climat
- Arbres fruitiers (grenadiers, figuiers, amandiers, citronniers) et arbustes (argousier, myrte)
- Céréales, maraîchage, plantes fourragères : fixation d'azote (légumineuses) et lutte contre l'érosion

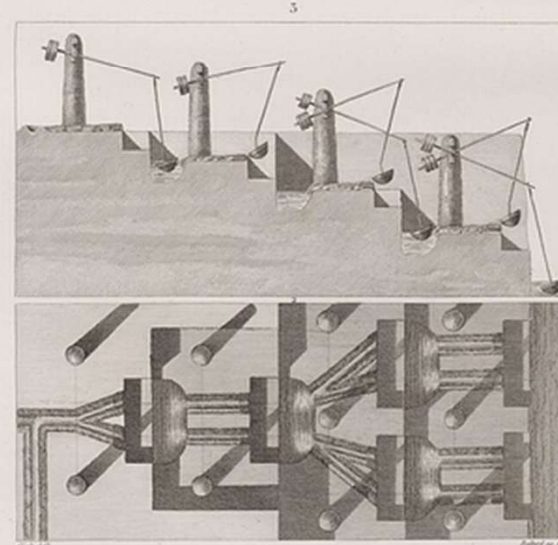


Les réponses
des usagers des
galeries drainantes
à l'abaissement
des nappes.



Vue et détails de deux machines à arroser, appelées Châdouf et Mentâl

Extrait de la « Description de l'Égypte »,
encyclopédie illustrée publiée en 1809 après le
retour de l'expédition scientifique ayant
accompagné la campagne d'Égypte de Napoléon
(1798-1801) : architecture, agriculture, langues,
musique, costume, sociologie, médecine, histoire
naturelle, cartographie détaillée



VUES ET DÉTAILS DE DEUX MACHINES À ARROSER, APPELLÉES CHÂDOUF ET MENTÂL.