

Plan du cours Géodynamique externe

S2

Partie II

Les eaux souterraines

Chapitre I: Les eaux souterraines, milieu naturel, description et fonctionnement

Les nappes: types et circulations

I- Définitions

II- Cycle de l'eau

III- Bassin versant

1-Définition

2- Délimitation d'un bassin versant

IV- Les Eaux souterraines

1- Les aquifères et les nappes

2- L'approvisionnement en eau

3- Types d'eau dans les aquifères

V- Caractéristiques hydrogéologiques du complexe eau/réservoir

1- La porosité

2- La porosité efficace

3- Coefficient de rétention spécifique

4- Notion de perméabilité

Chapitre II: Les eaux dans les roches karstiques

I- Définition

II- Morphologie karstique

1- Le réseau souterrain ou « endokarst »

2- Les formes aériennes ou « exokarst »

III- Altération chimique des formations carbonatées et formation de Karst

IV- Evolution des terrains karstiques

V- Circulation des eaux dans les terrains karstiques

1- Au niveau de l'exokarst

2- Au niveau de l'endokarst

3- Aquifère karstique

VI- Critères de reconnaissance de l'aquifère karstique

1- Reconnaissance directe de la structure de l'aquifère karstique

2- Reconnaissance de l'aquifère karstique par son fonctionnement

Chapitre III: Hydrothermalisme continental

I- Définition

II- Fonctionnement du système hydrothermal continental

- 1- Origine des eaux hydrothermales**
- 2- Température des eaux hydrothermales**
- 3- Classification des eaux hydrothermales**
- 4- Circulation des eaux hydrothermales**

III- Quelques manifestations de l'hydrothermalisme terrestre

IV- Les dépôts formés par les eaux hydrothermales

Fig 1: Cycle de l'eau

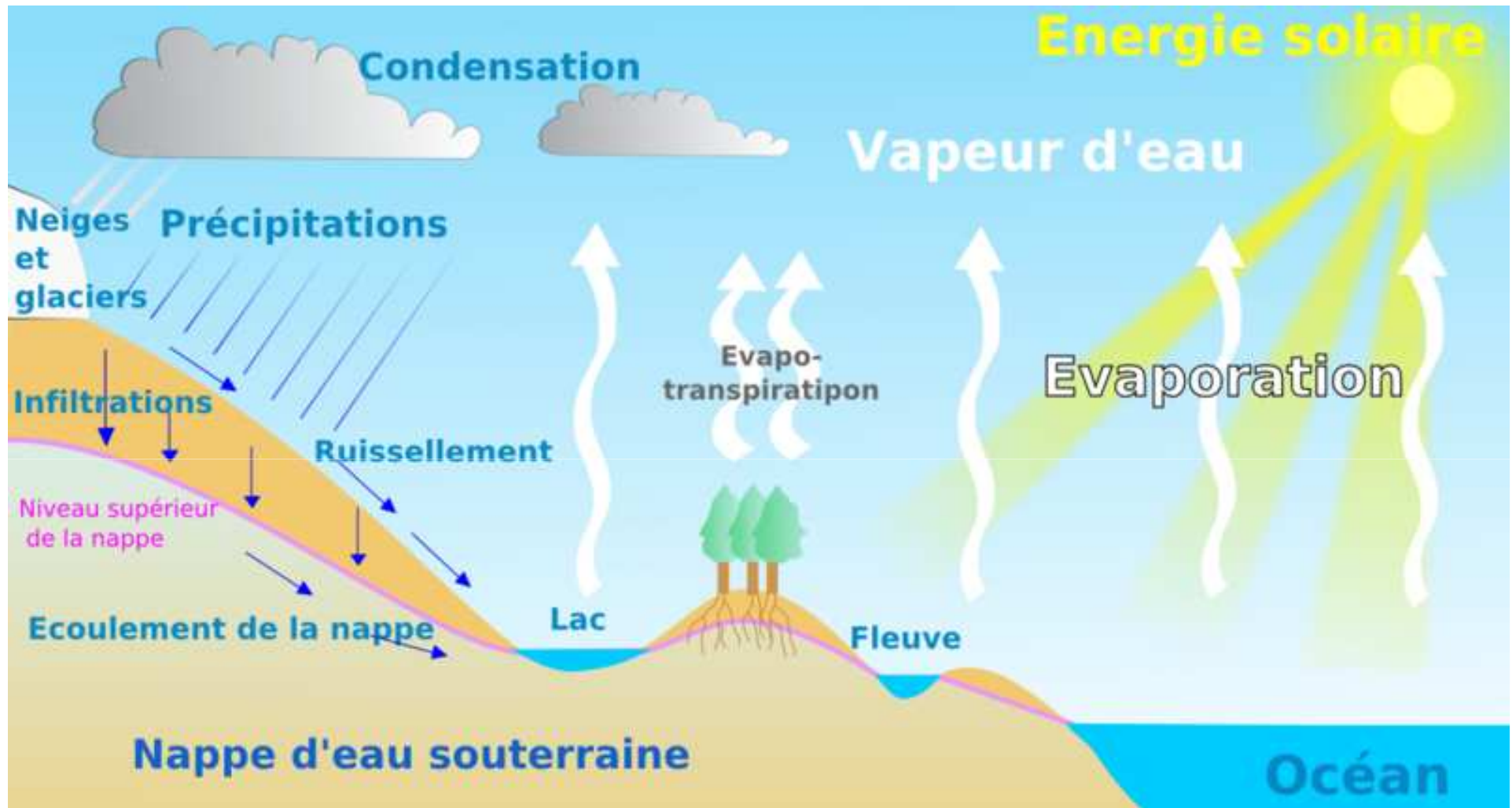


Fig 2: Cycle de l'eau

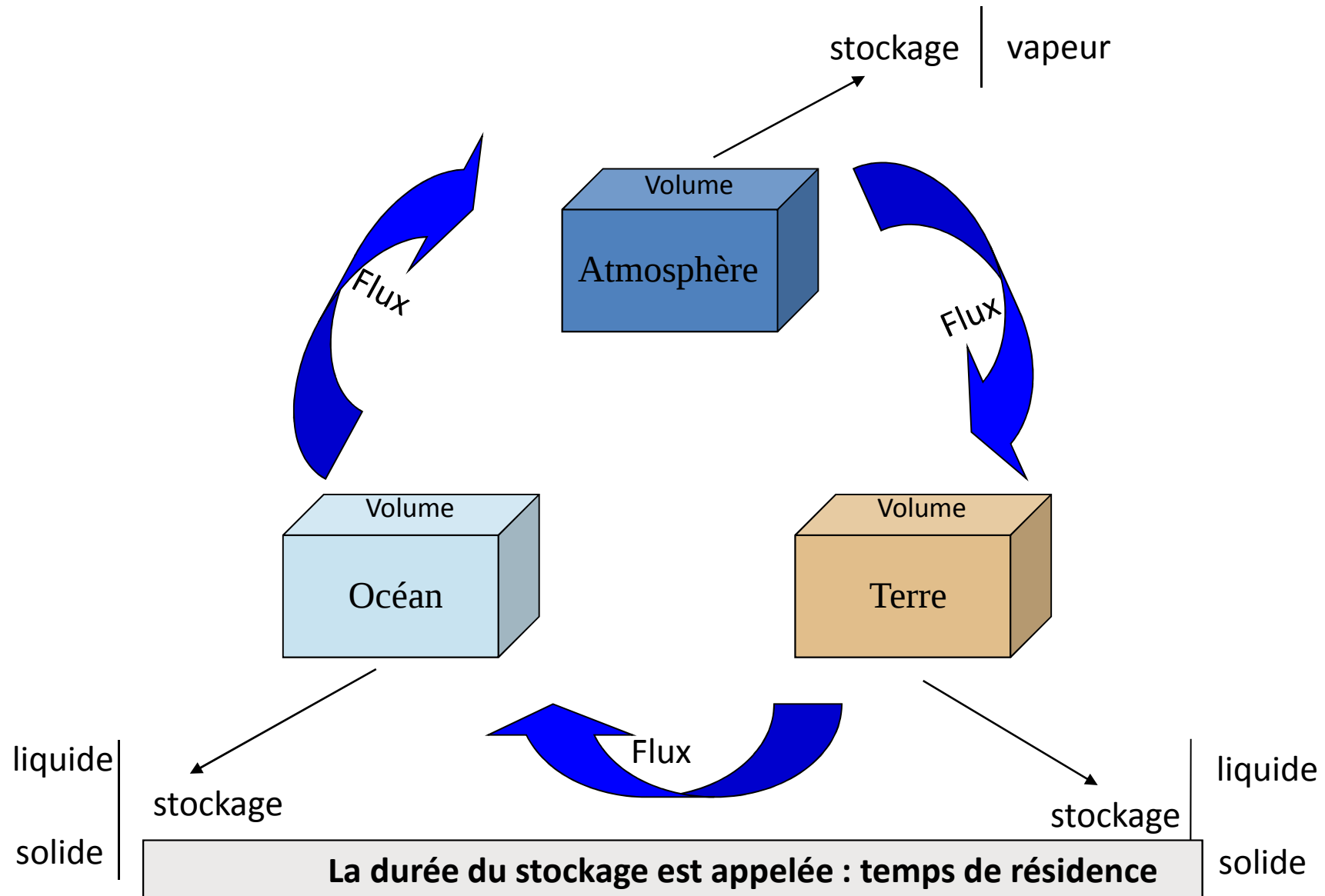


Fig3: Volumes d'eau disponible sur la Terre

	Volumes en km ³	Pourcentages	
Mers et Océans	1350 millions	Eau salée	97 ,2%
Glaciers	27,8 millions	Eau douce	2,8 %
Eaux souterraines	8 millions		
Atmosphère, Lacs, Rivières et Végétaux	0,2 millions		

(Riser, 1999)

Fig 4: Temps de résidence moyen

Atmosphère	8-10 jours
Océans et mers	4000 ans
Lacs	2 semaines
Rivières	2 semaines
Organismes	1 semaine
Sols	2 semaines-1an
Aquifères	Des jours -1000ans
Glace	10 ans à des milliers ans

En gl: le taux de renouvellement des eaux continentales est de l'ordre de quelques jours à un an. Pour les eaux souterraines, il est de l'ordre de 10 à 50000 ans.

(Newson, 1994)

Fig 5: Diagramme de phase de l'eau

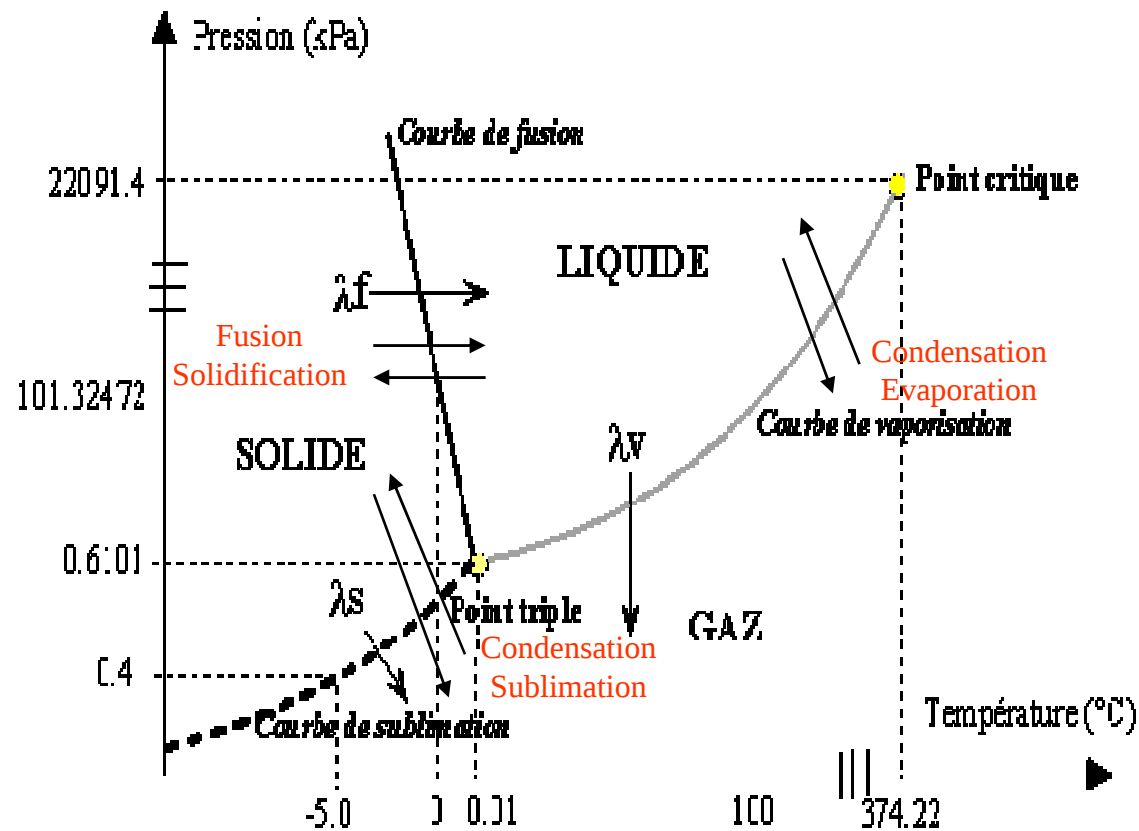


Fig 6: Le bassin-versant

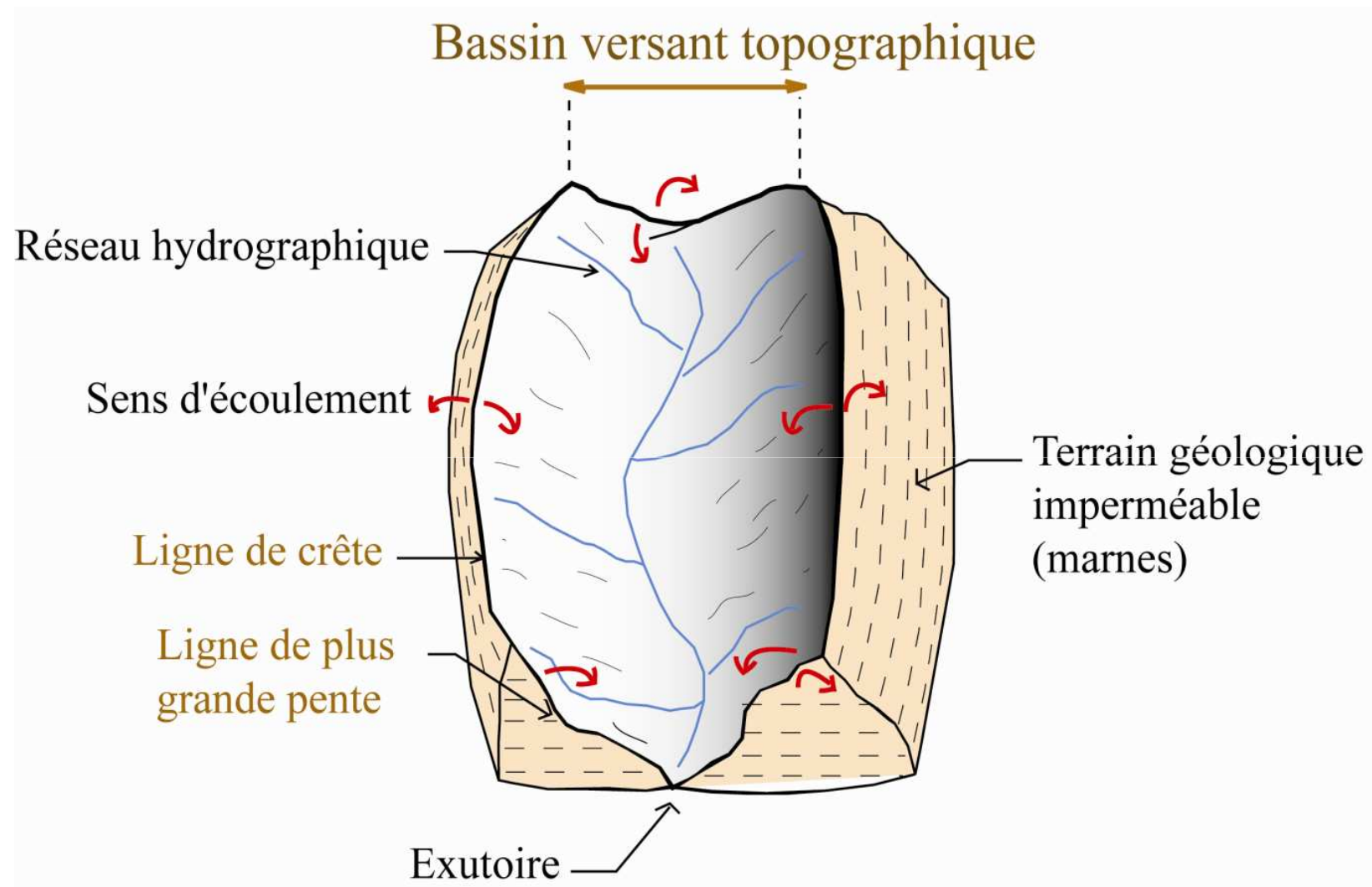


Fig 7: Les aquifères et les nappes



Graviers



Sable

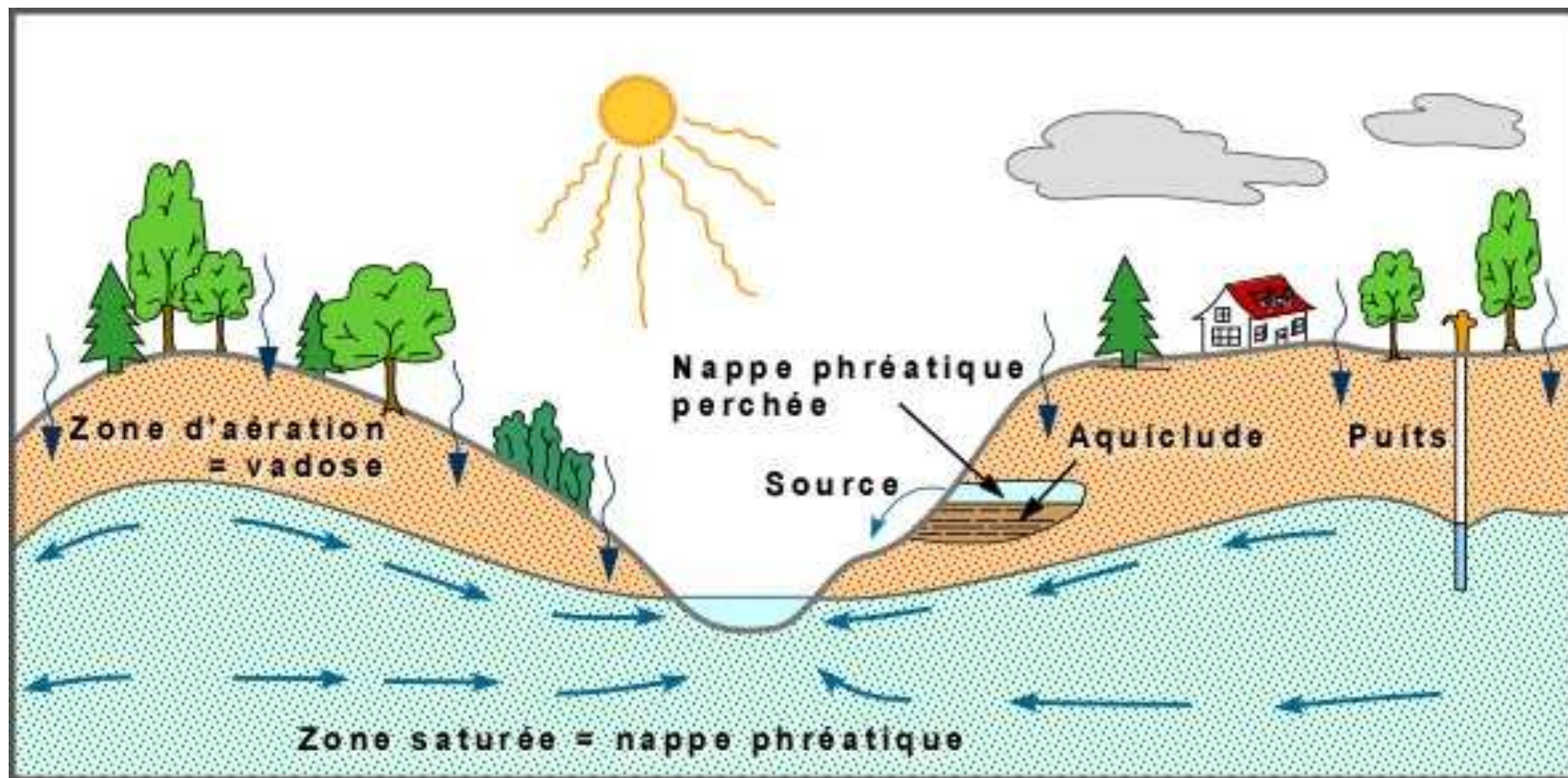


Fig 8: Les différents types d'aquifères

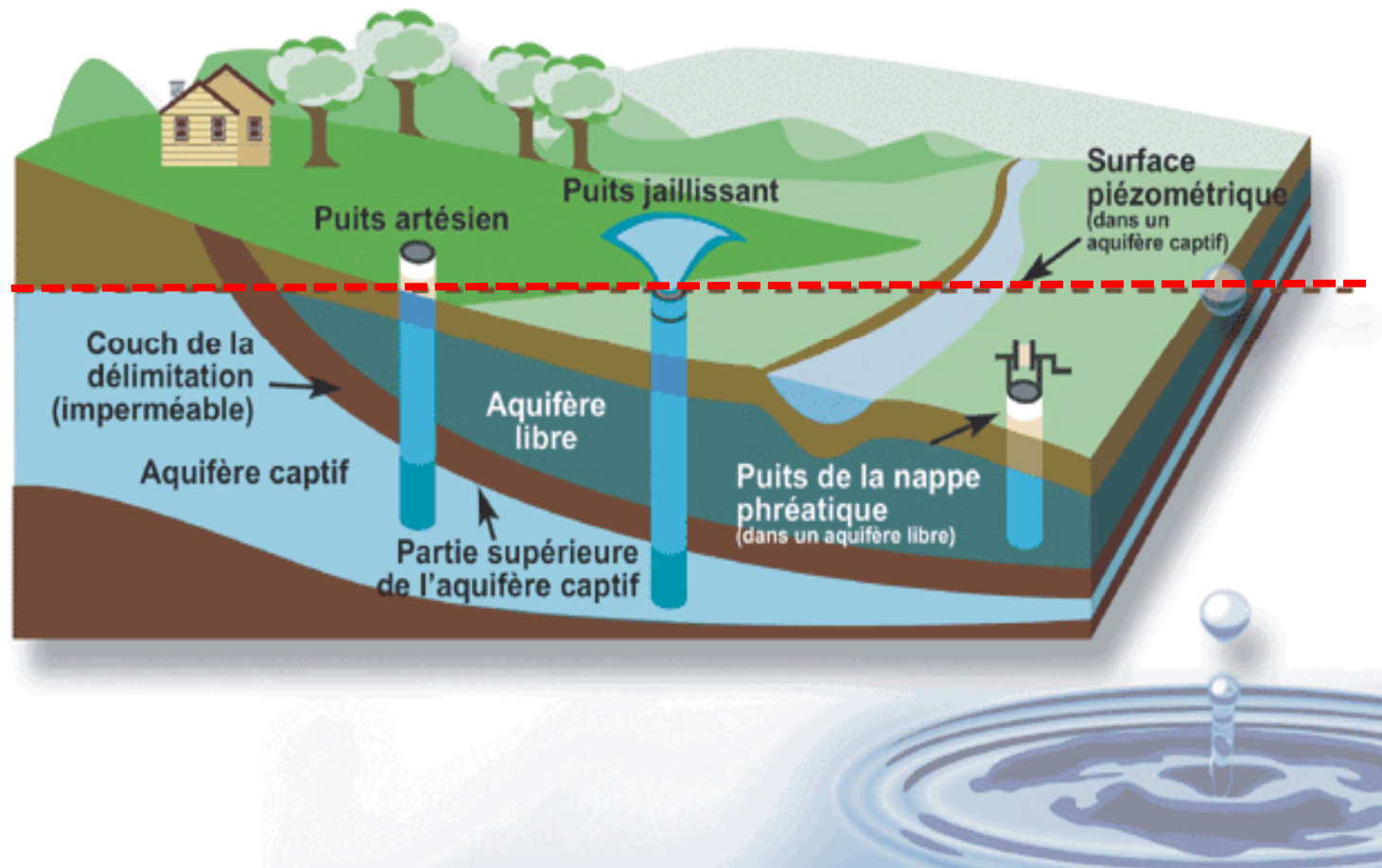
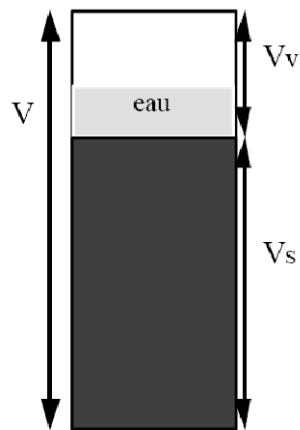


Fig 9: Sol et saturation en eau



Volume total = V solide + V Vide
Volume vide = air + eau (humidité)

Volume total = V solide + V vide
Volume vide = eau gravitaire

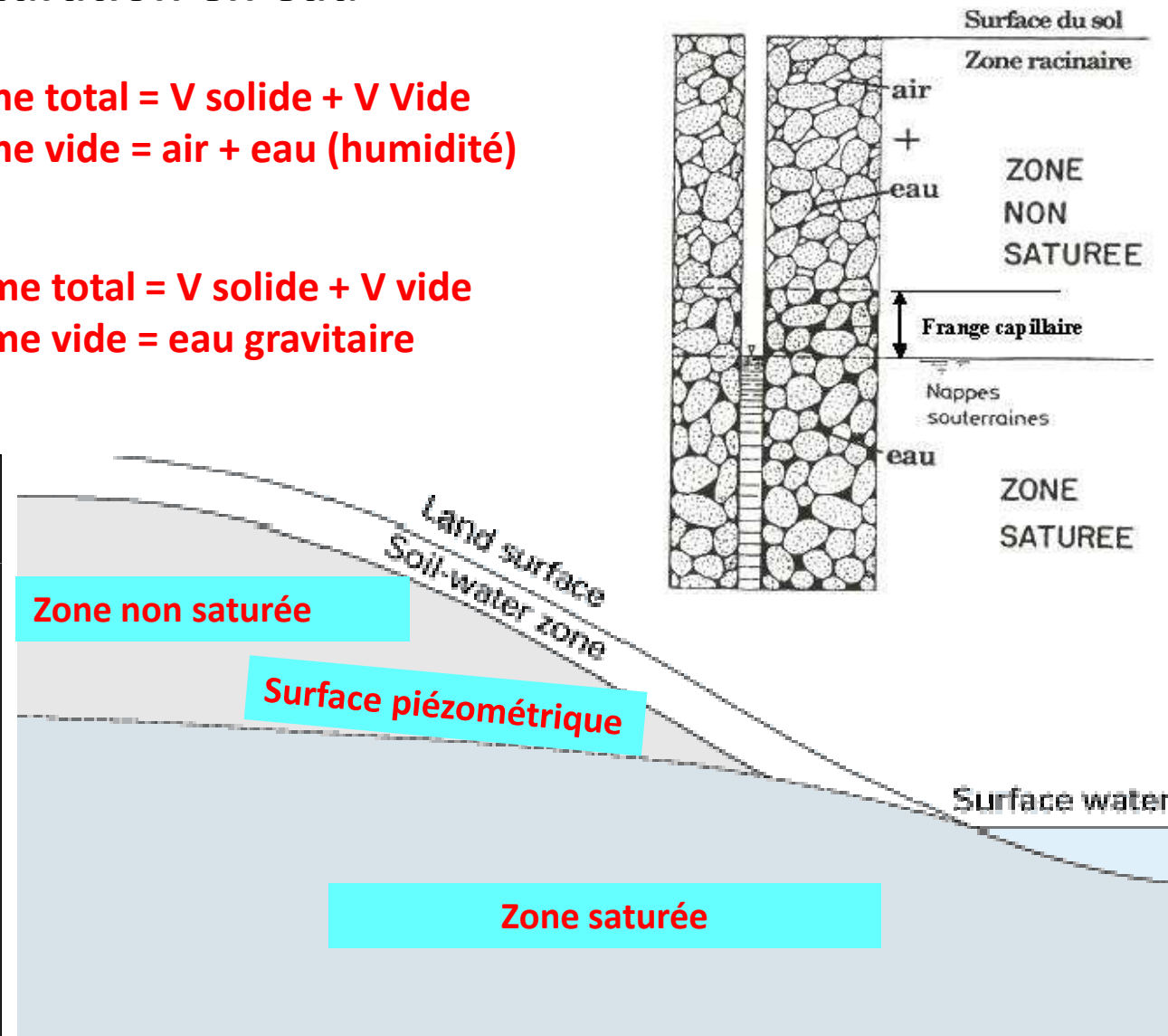
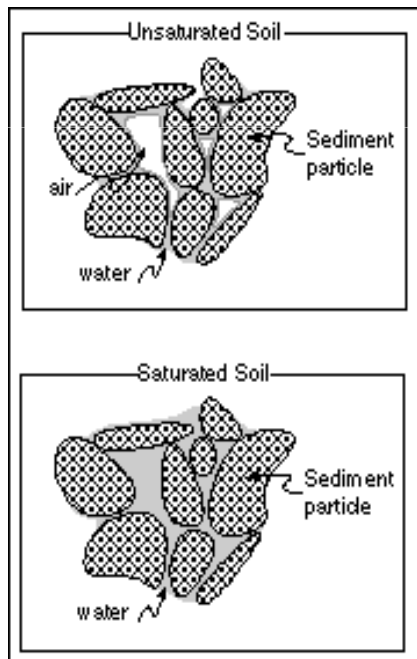


Fig 10: Types d'eau dans les aquifères

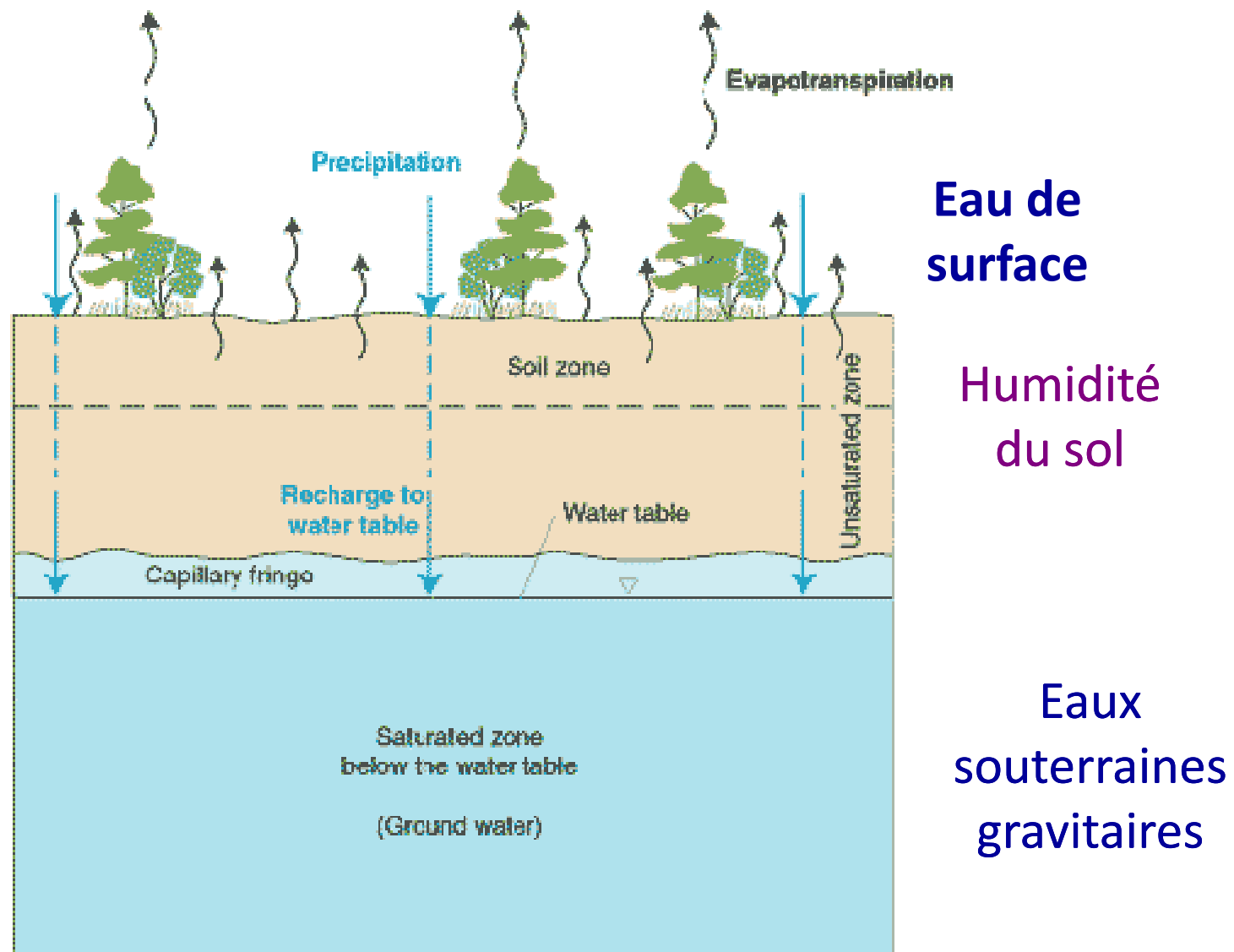
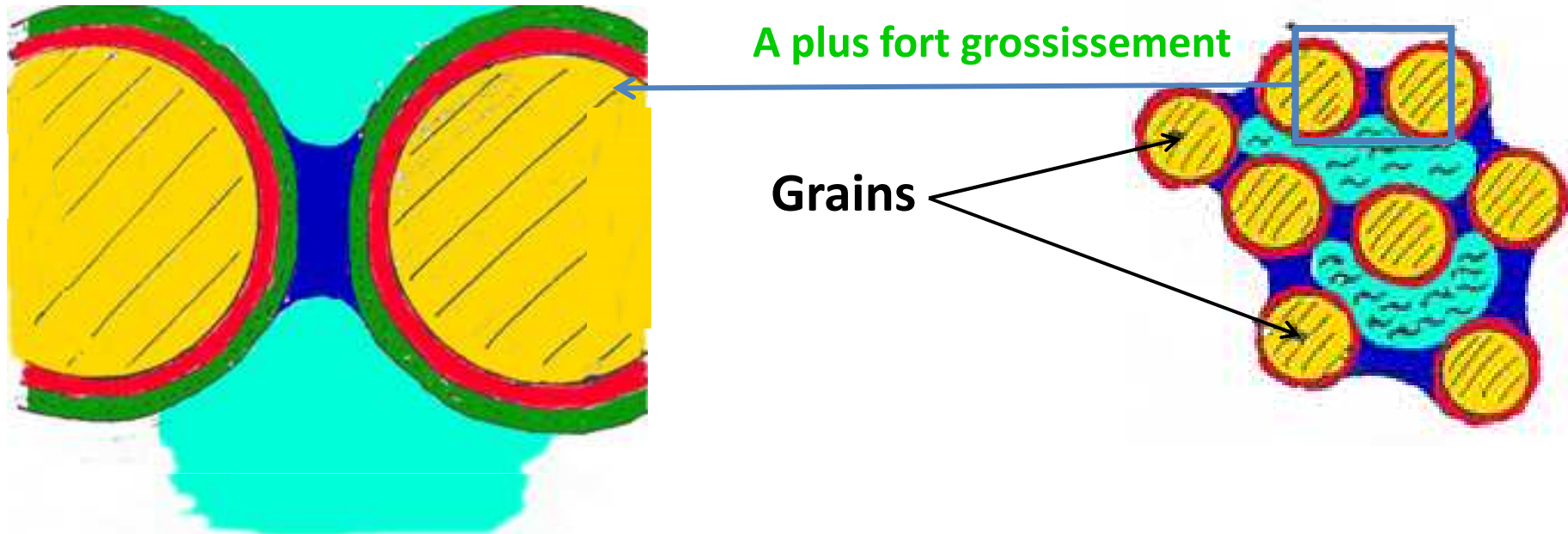
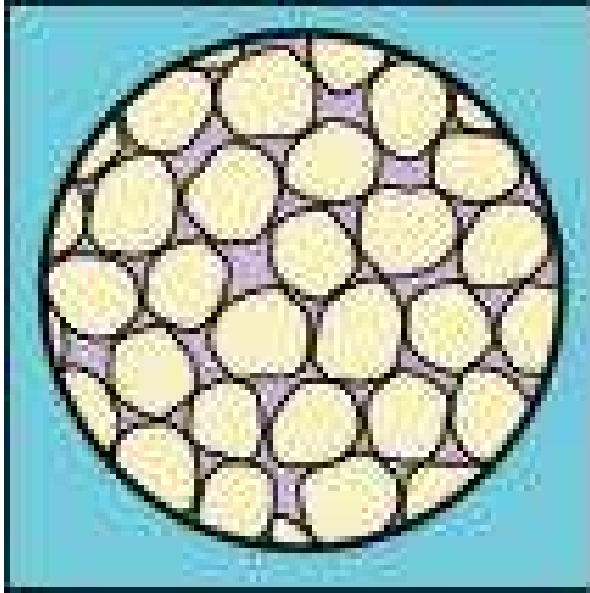


Fig 11: Les types d'eau dans un aquifère

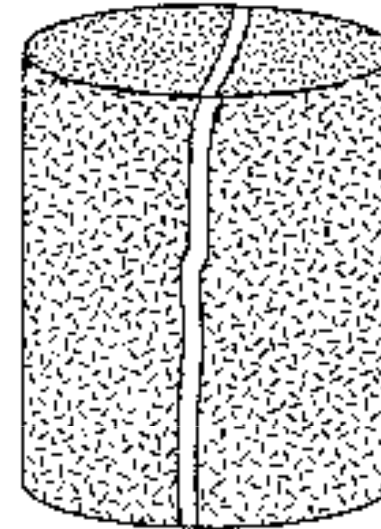


-  **Eau hygroscopique:** molécules d'eau fortement attirées par les forces électriques
-  **Eau pelliculaire:** attraction moins forte des molécules d'eau
-  **Eau capillaire:** eau retenue par les forces de tension superficielle
-  **Eau gravifique:** eau libérée par l'action de la force de gravité.

Fig 12: Classification de la porosité



Porosité Primaire



Porosité Secondaire

Fig 13: La porosité et la porosité efficace

Porosité efficace

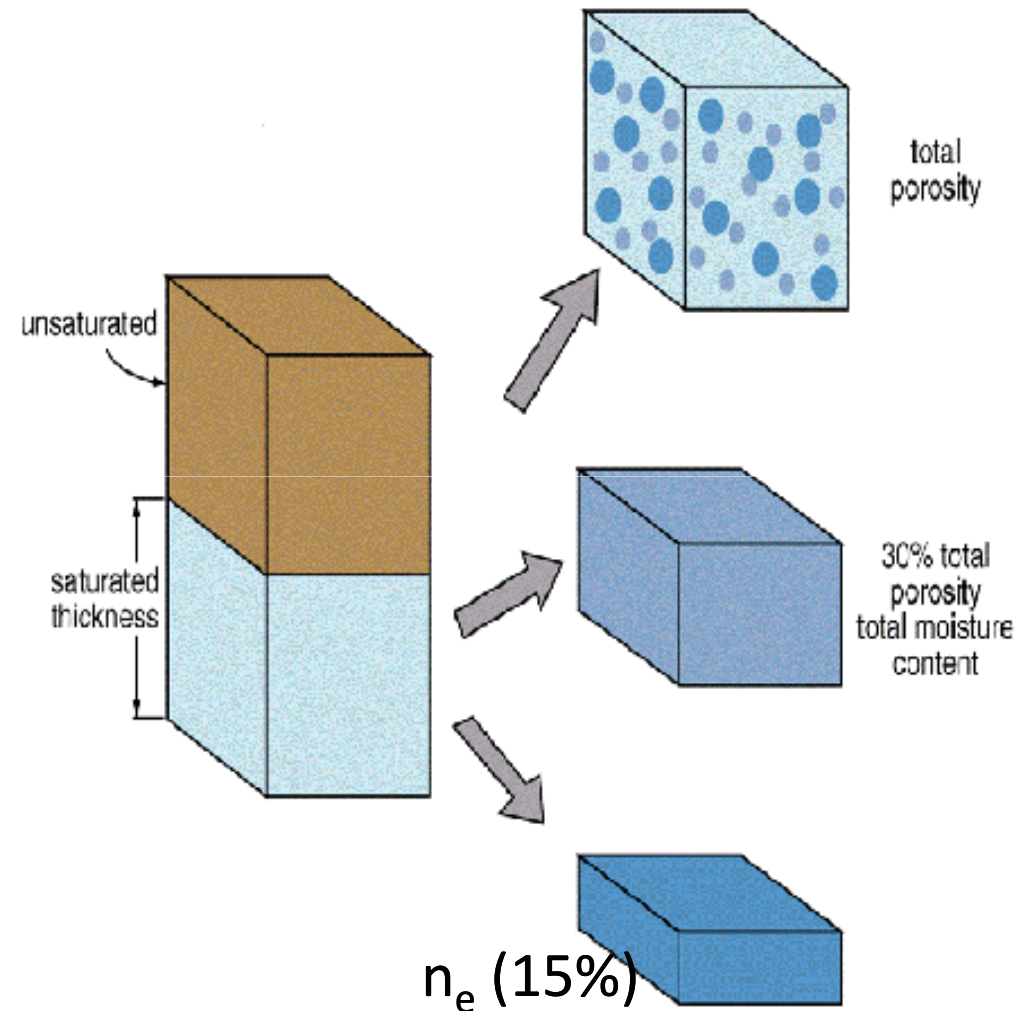


Fig 14: Ordre de grandeur de la porosité

Types de sédiments	Porosité (n)%	Porosité efficace (n_e)%
Gravier moyen	45	40
Sable gros	38	34
Sable moyen	40	30
Sable fin	40	28
Sable très fin	40	24
Sable silteux	32	5
Silt	36	3
Silt argileux	38	≈0
Argile	47	≈0

Fig 15: Ordre de grandeur de la porosité efficace

Types de réservoirs	Porosité efficace %	Types de réservoirs	Porosité efficace %
Gravier gros	30	Sable gros + silt	5
Gravier moyen	25	Silt	2
Gravier fin	20	Vases	0.1
Gravier + sable	15 à 25	Calcaire fissuré	2 à 10
Alluvions	8 à 10	Craie	2 à 5
Sable gros	20	Grès fissuré	2 à 15
Sable moyen	15	Granite fissuré	0.1 à 2
Sable fin	10	Basalte fissuré	8 à 10
Sable très fin	5	schistes	0.1 à 2

Fig 16: Relation :Sédiments/Porosités

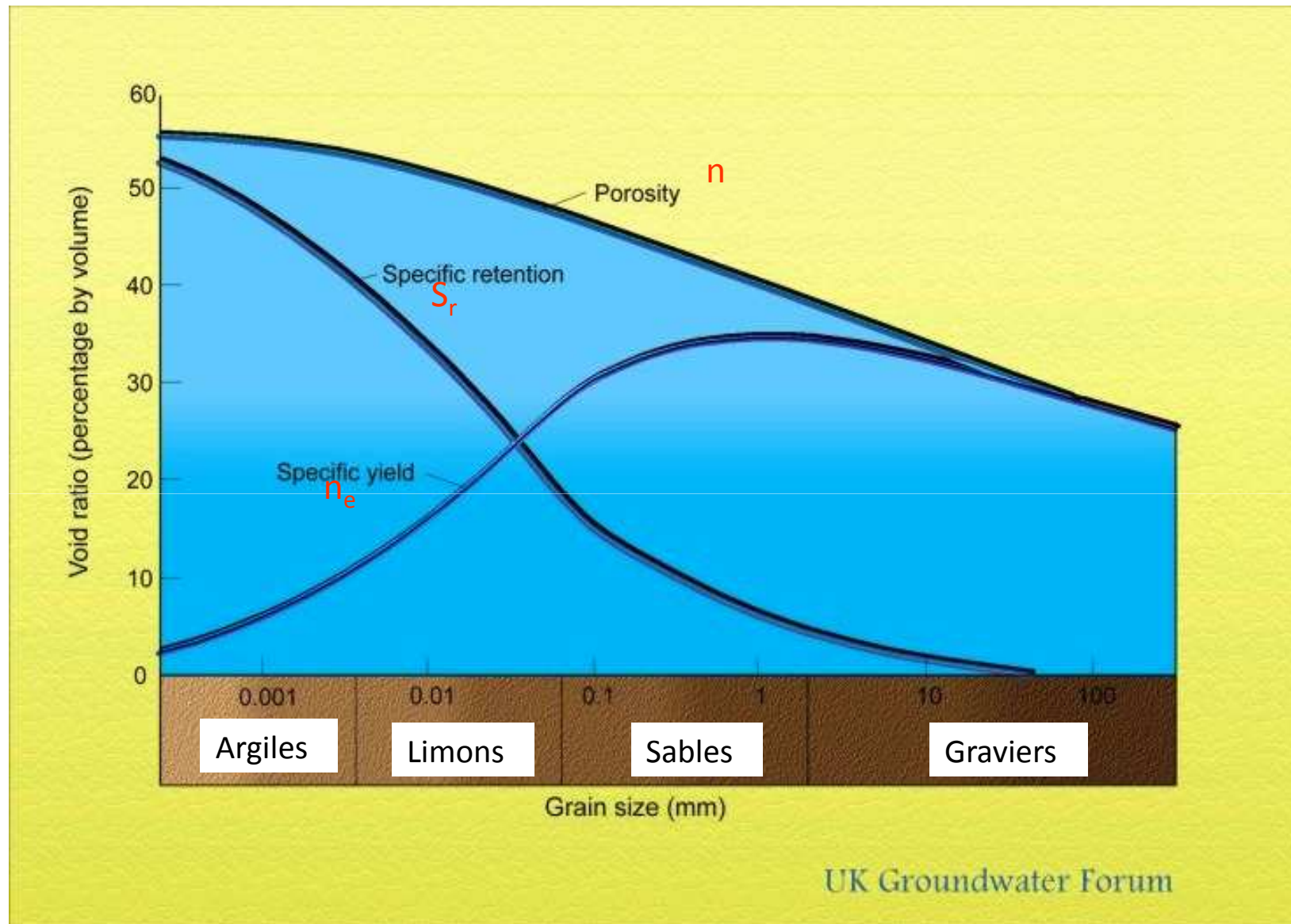


Fig 17: Ordre de grandeur de la perméabilité

Types de sédiments	Porosité (n)	Porosité efficace (n_e)	Coefficient de perméabilité K
Gravier moyen	45	40	$3 \cdot 10^{-1}$
Sable gros	38	34	$2 \cdot 10^{-3}$
Sable moyen	40	30	$6 \cdot 10^{-4}$
Sable fin	40	28	$7 \cdot 10^{-4}$
Sable très fin	40	24	$2 \cdot 10^{-5}$
Sable silteux	32	5	$1 \cdot 10^{-9}$
Silt	36	3	$3 \cdot 10^{-8}$
Silt argileux	38	≈ 0	$1 \cdot 10^{-9}$
Argile	47	≈ 0	$5 \cdot 10^{-10}$

Fig 18: Éléments géomorphologiques d'un paysage karstique

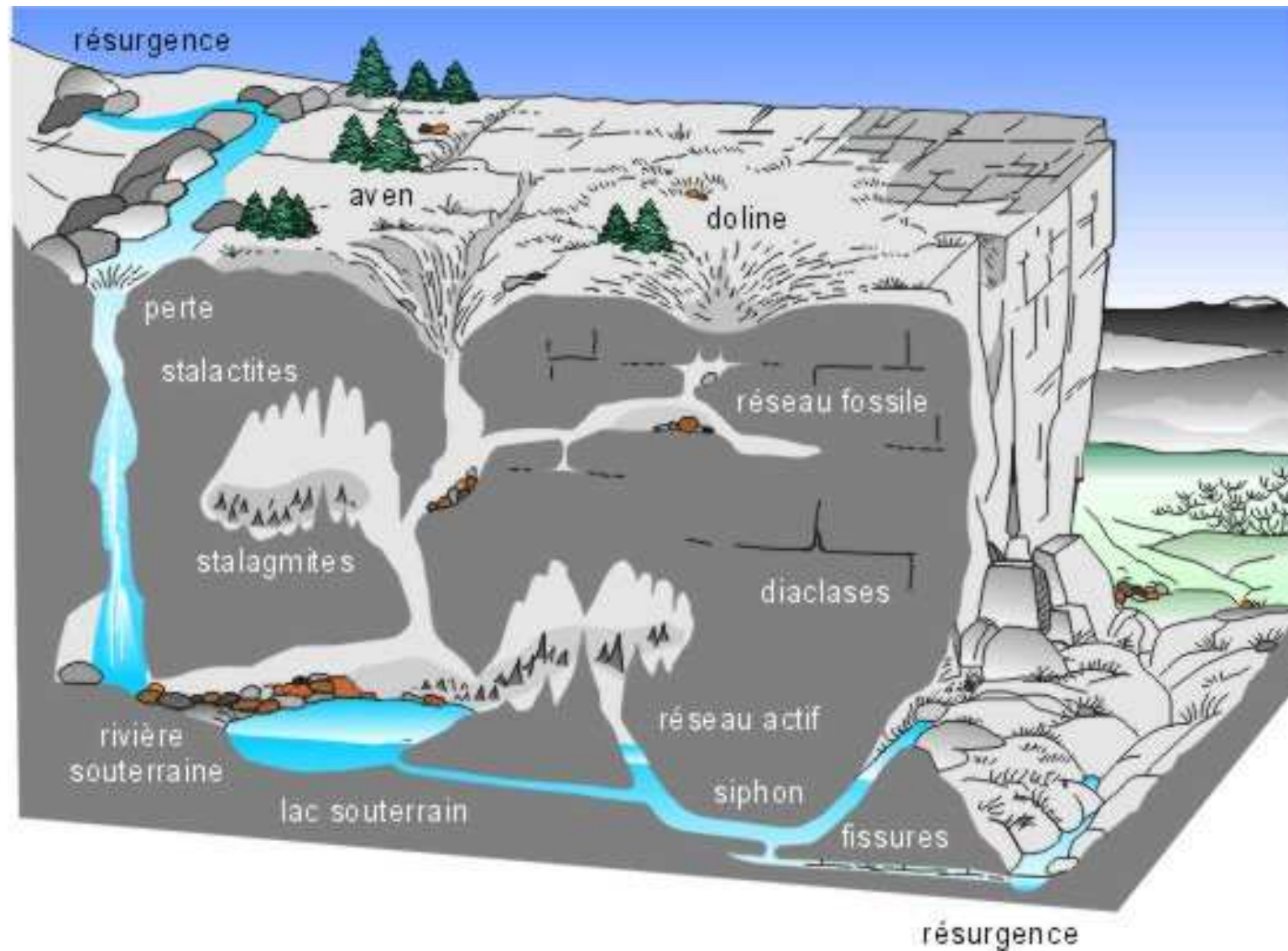


Fig 19: Les spéléothèmes

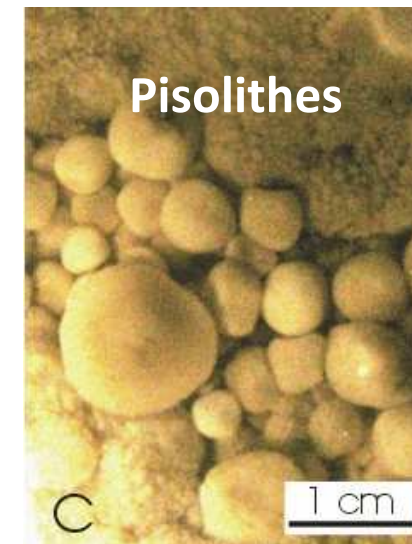
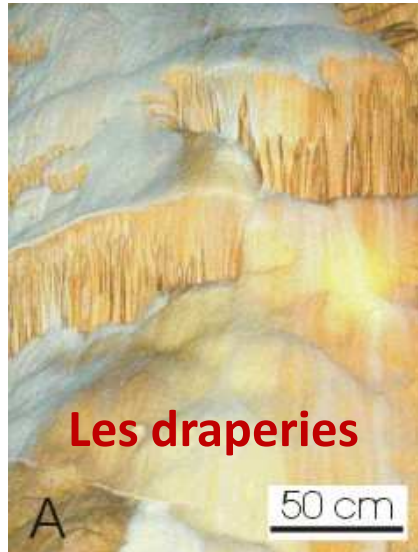


Fig 20: Altération chimique des formations carbonatées et formation de Karst

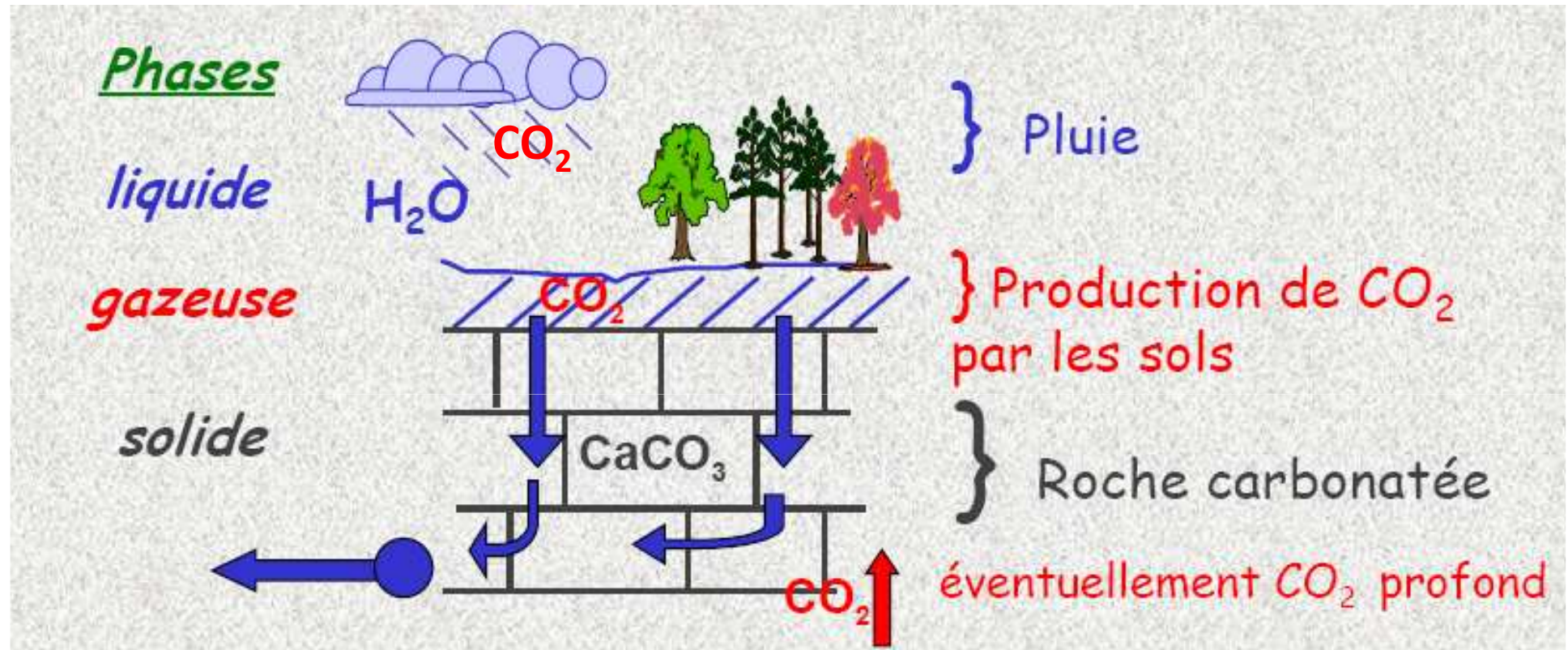


Fig 21: Evolution des terrains karstiques

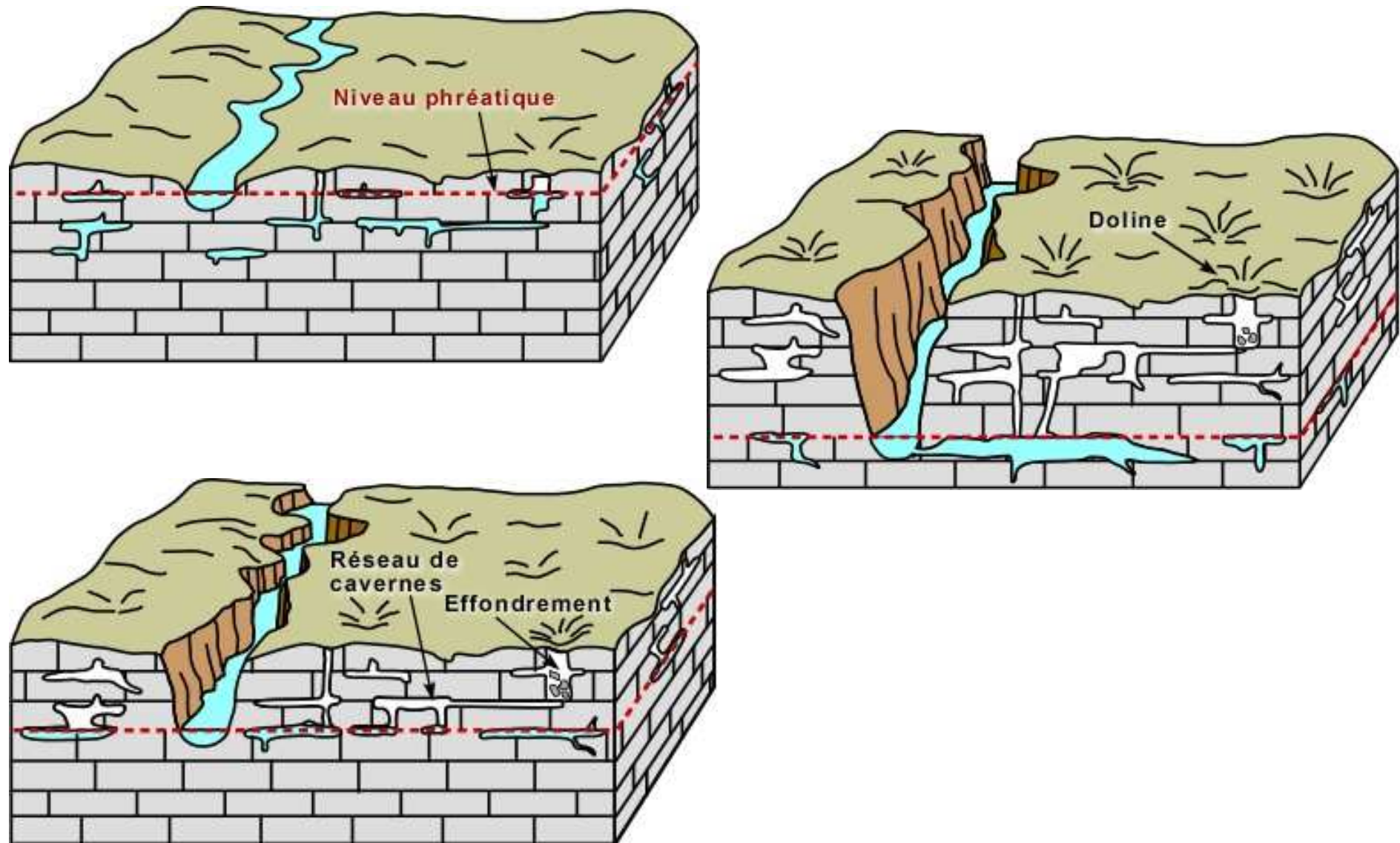


Fig 22: Circulation des eaux dans un système karstique

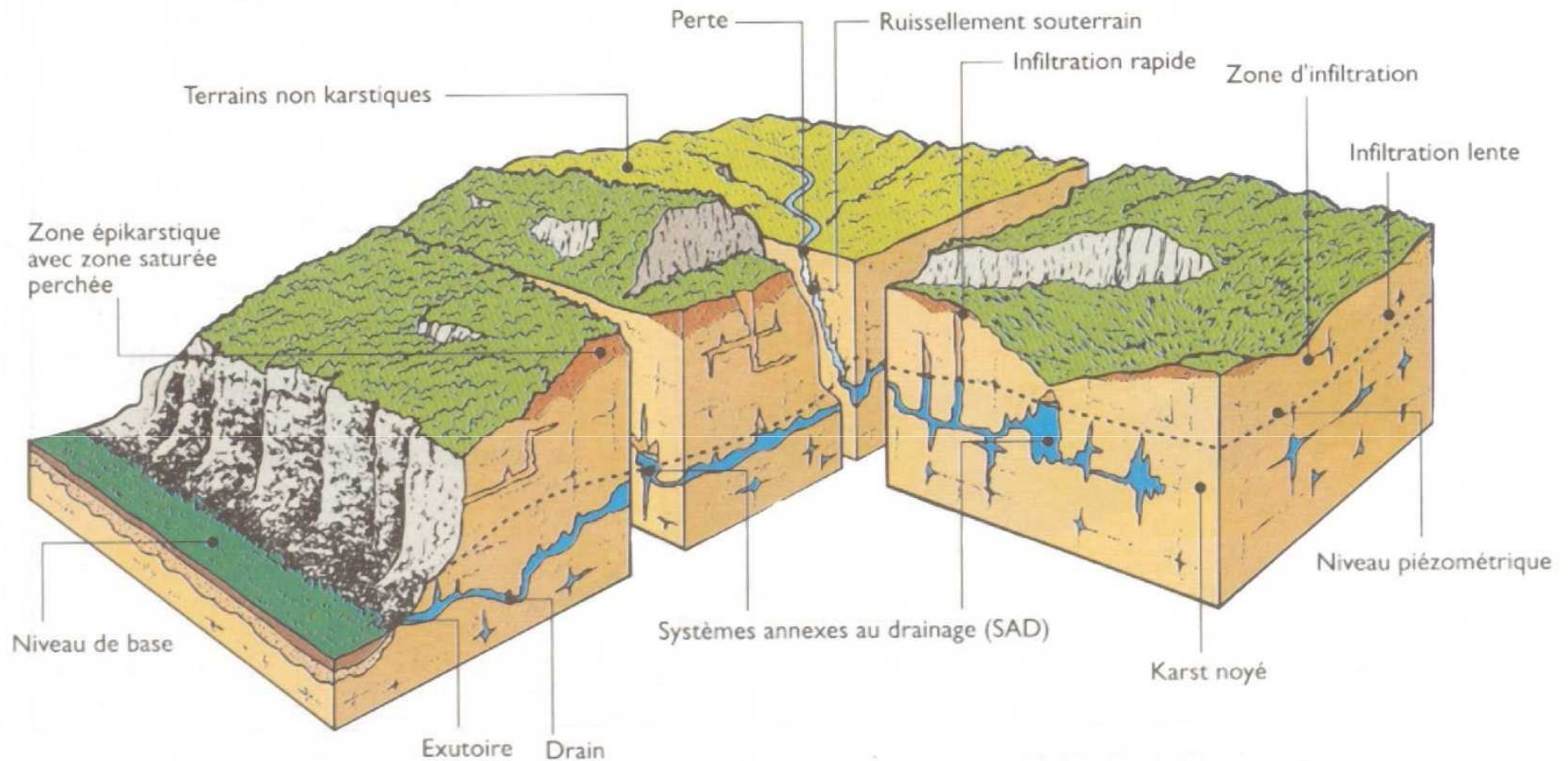


Fig 23: Système hydrothermal

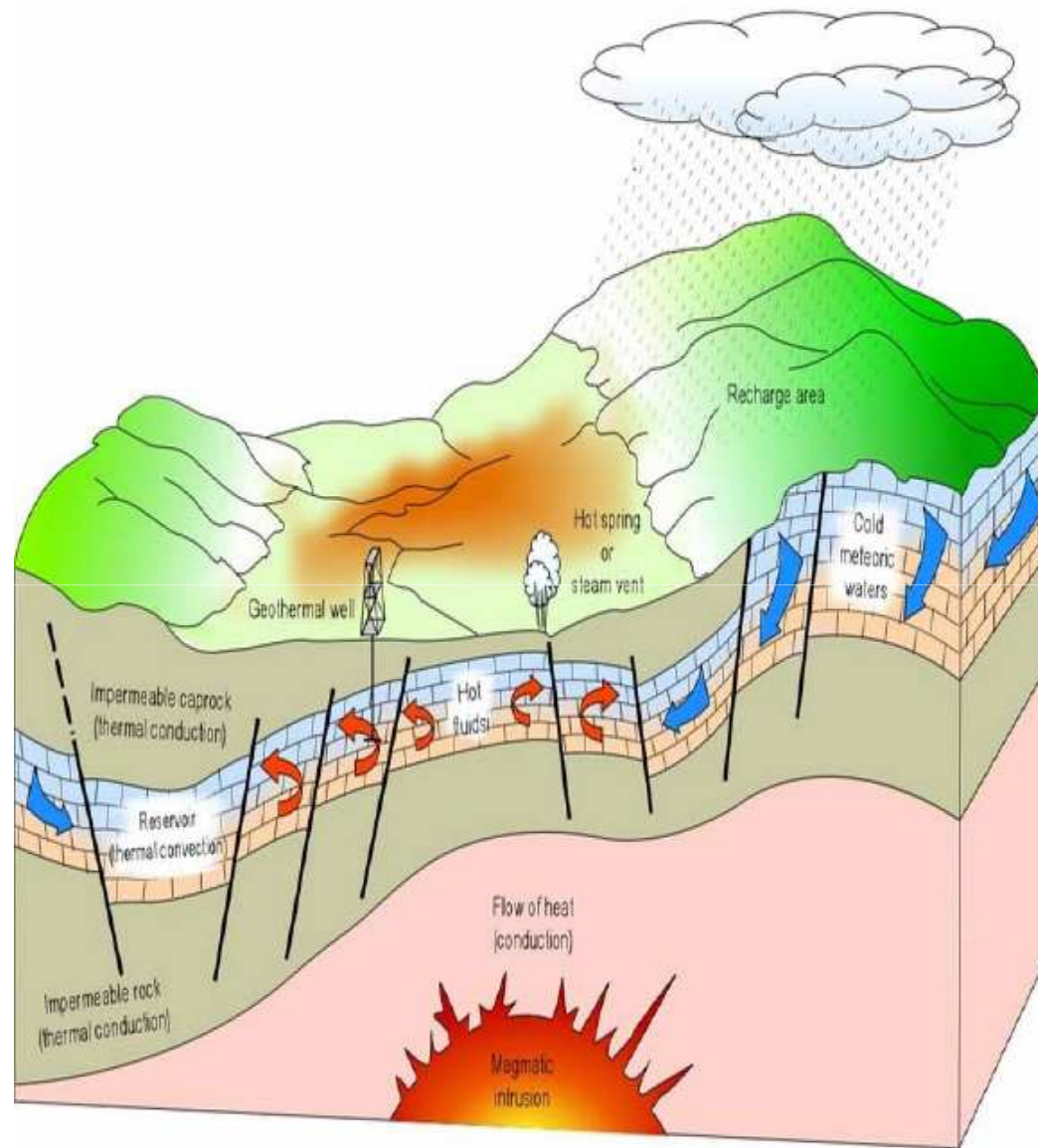


Fig 24- Classification des eaux hydrothermales

Sources	Température en °C
Sources hyperthermales	$50 < T < 100$
Sources mésothermales	$35 < T < 50$
Sources hypothermales	$20 < T < 35$
Sources froides	$T < 20$

Fig 25: Circulation des eaux hydrothermales

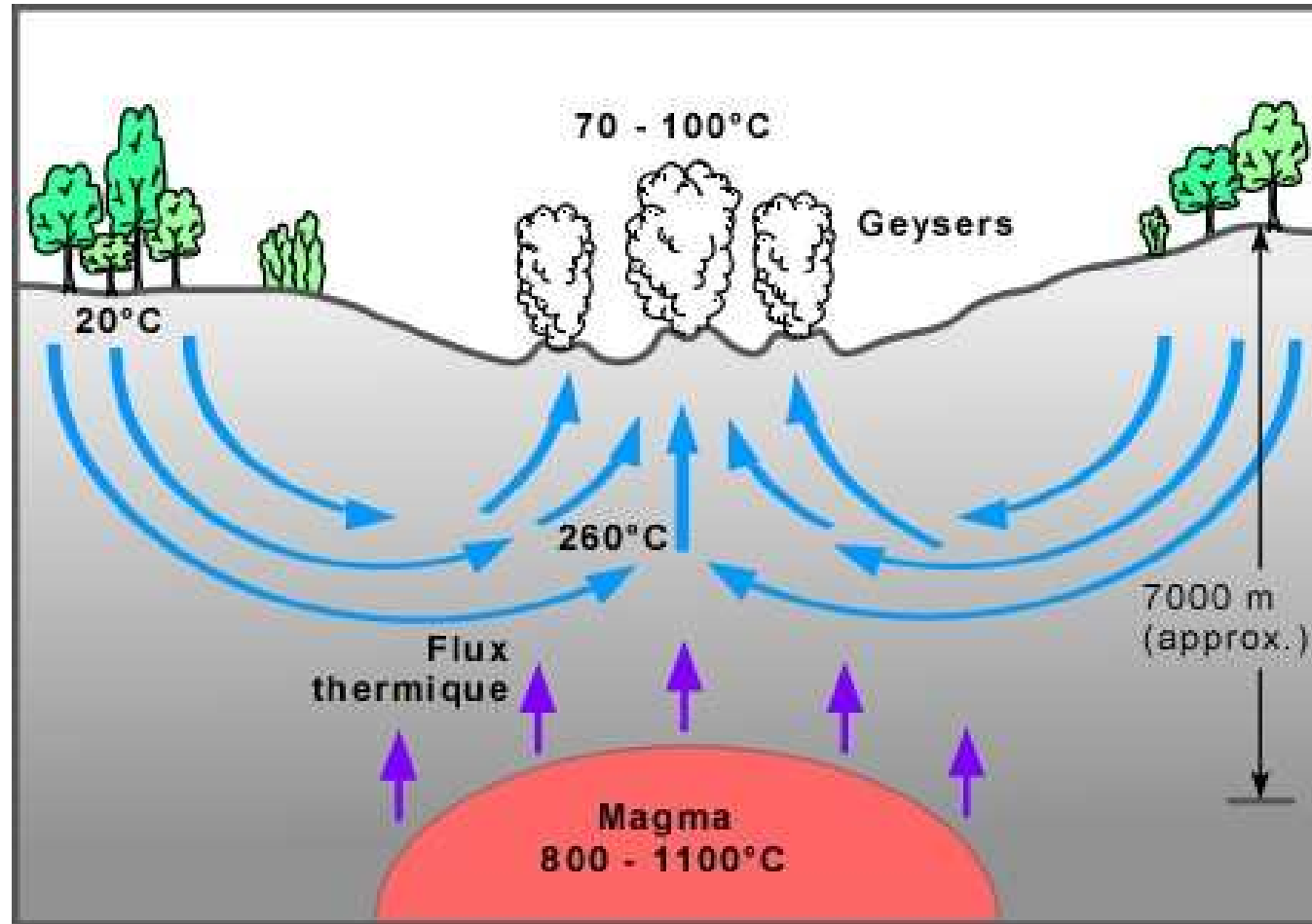
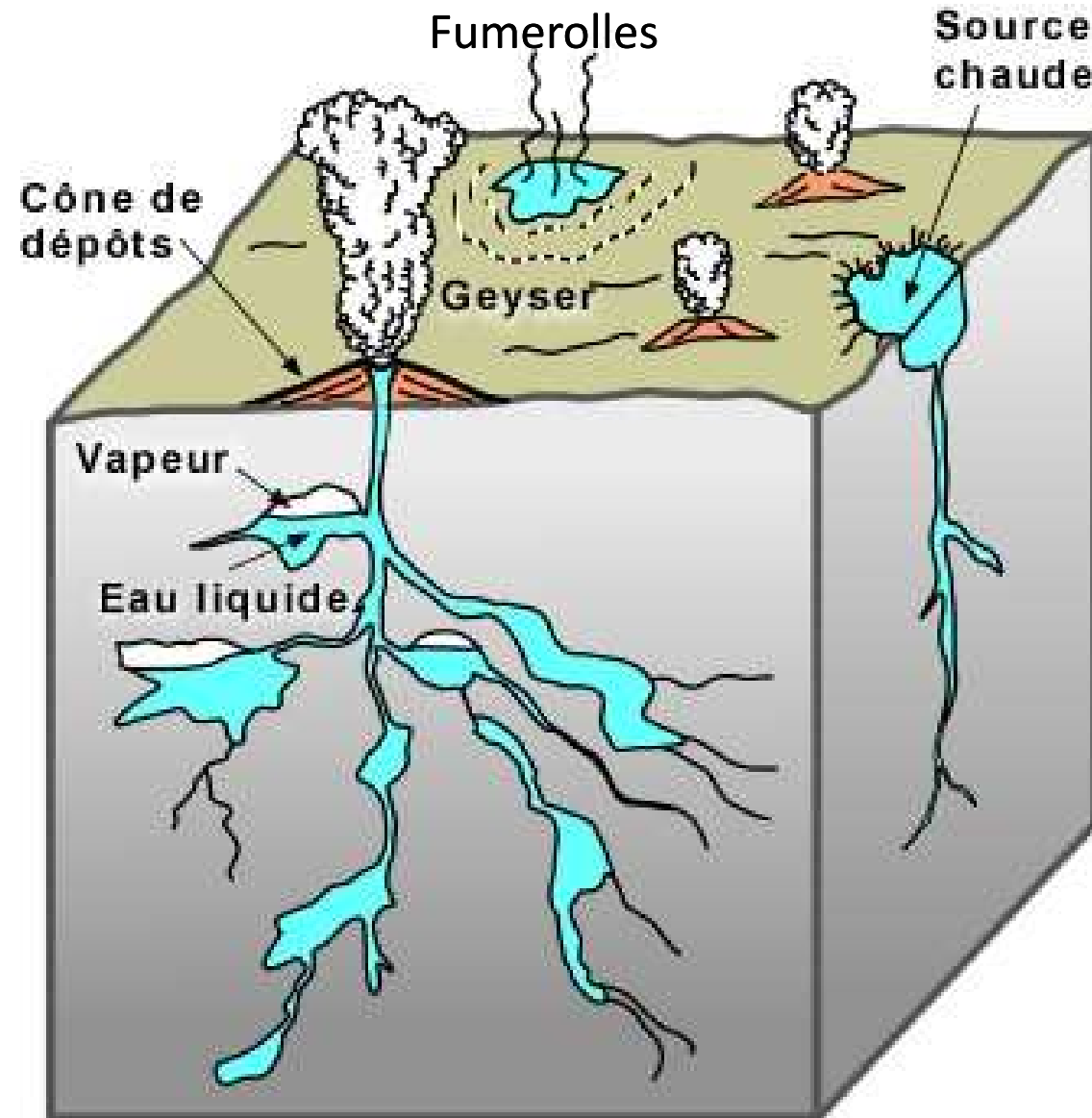


Fig 26: Quelques manifestations de l'hydrothermalisme continental



Bibliographie:

- Allen, P.A. 1997. **Earth Surface Processes**. Blackwell Science, Oxford. 404 p. ISBN 0-632-03507-2.
- **Bakalowicz M., Mangin, A. (1980). L'aquifère karstique. Sa définition, ses caractéristiques et son identification. Mém. h.série Soc. géol. France, 11, p.71-79.**
- **Bakalowicz M. (2002). Hydrogéologie karstique. Caractéristiques et concepts. Méthodes d'exploration, d'exploitation et de gestion active, Cours DEA H.H.G.G. Université Paris-6.**
- **Bourque P.A. , 2006, Planète terre, Département de Géologie et de Génie Géologique de l'Université de Laval , [ttp://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/intro.pt/planete_terre.html](http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/intro.pt/planete_terre.html)**
- **Castany G. (1967). Traité pratique des eaux souterraines. Dunod, Paris.**
- **Marsily G. (1986). Quantitative Hydrogeology , Groundwater for engineer,**
- **<http://www.cig.ensmp.fr/~hhgg/hydr/marsily/gdm-hydrogeologie.pdf>**
- **Site de la Commission du karst de l'Association Internationale des Hydrogéologues (AIH) : <http://www.karst-hydrogeology.de>**
- **Site de l'Agence de l'Eau RMC pour télécharger la note technique « karst » au format PDF: <http://rdb.eaurmc.fr>**
- **Site de la Commission d'hydrogéologie karstique de l'Union Internationale de Spéléologie (UIS) avec liens vers différents sites « karstiques »: <http://uis-karst.kiev.ua>**
- **Cours Hydrologie Générale (Prof. André Musy) <http://hydram.epfl.ch/e-drologie/general/index.html>**
- **Keller, E.A. 1999. Introduction to environmental geology. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 383 p. ISBN 0-02-363290-9.**
- **Mackenzie, F.T. 1998. Our Changing Planet: an Introduction to Earth System Science and Global Environmental Change. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2^e édition, 486 p. ISBN 0-13-271321-7.**