

Guider

Thomas Bertin

thomas.bertin@univ-tln.fr

Université de Toulon

Licence CiGALE

Hydrologie

I) L'eau sur Terre et les cycles de l'eau

II) Dynamique de l'eau en surface

III) Dynamique de l'eau souterraine

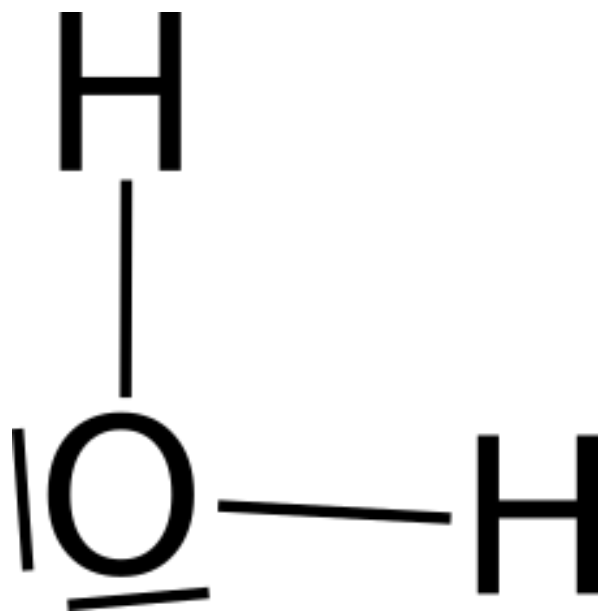
I) L'eau sur Terre et les cycles de l'eau

II) Dynamique de l'eau en surface

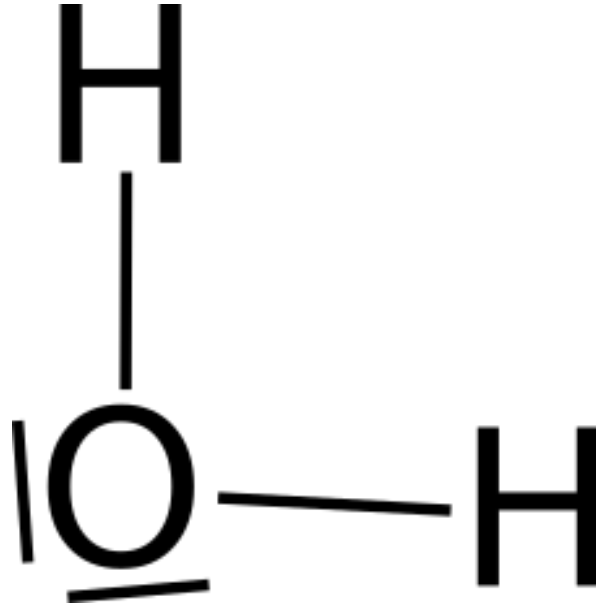
III) Dynamique de l'eau souterraine

Eau ?

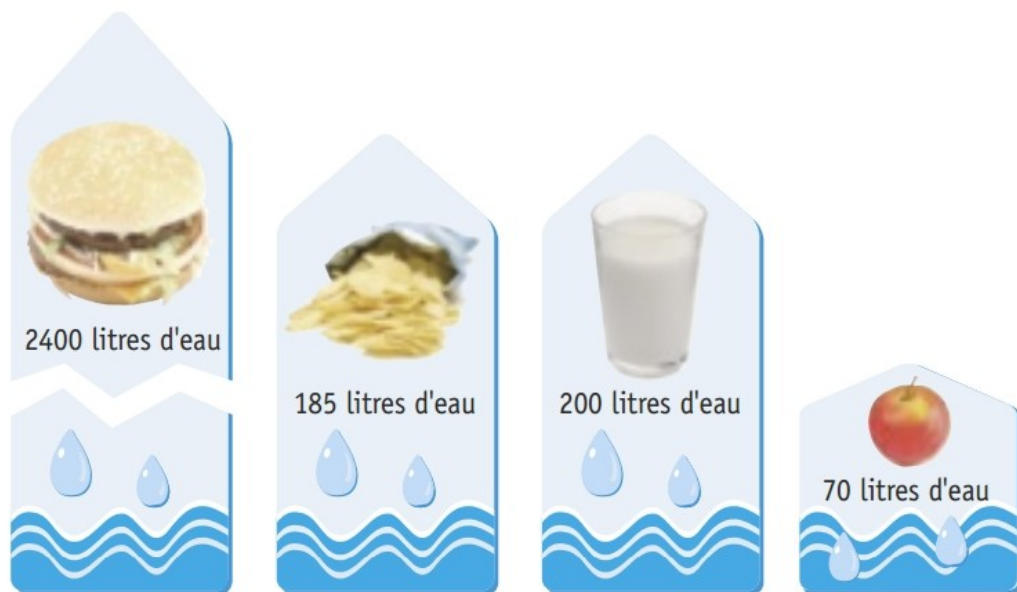
Eau ?



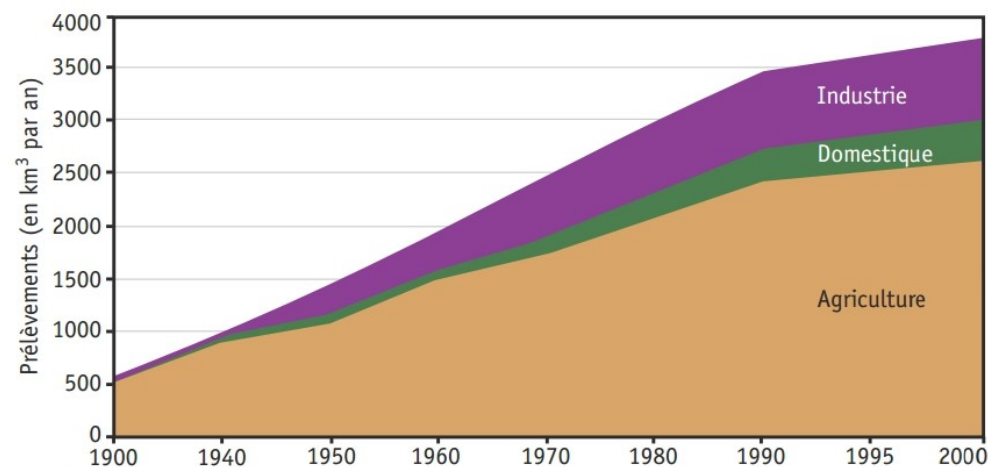
Eau ?



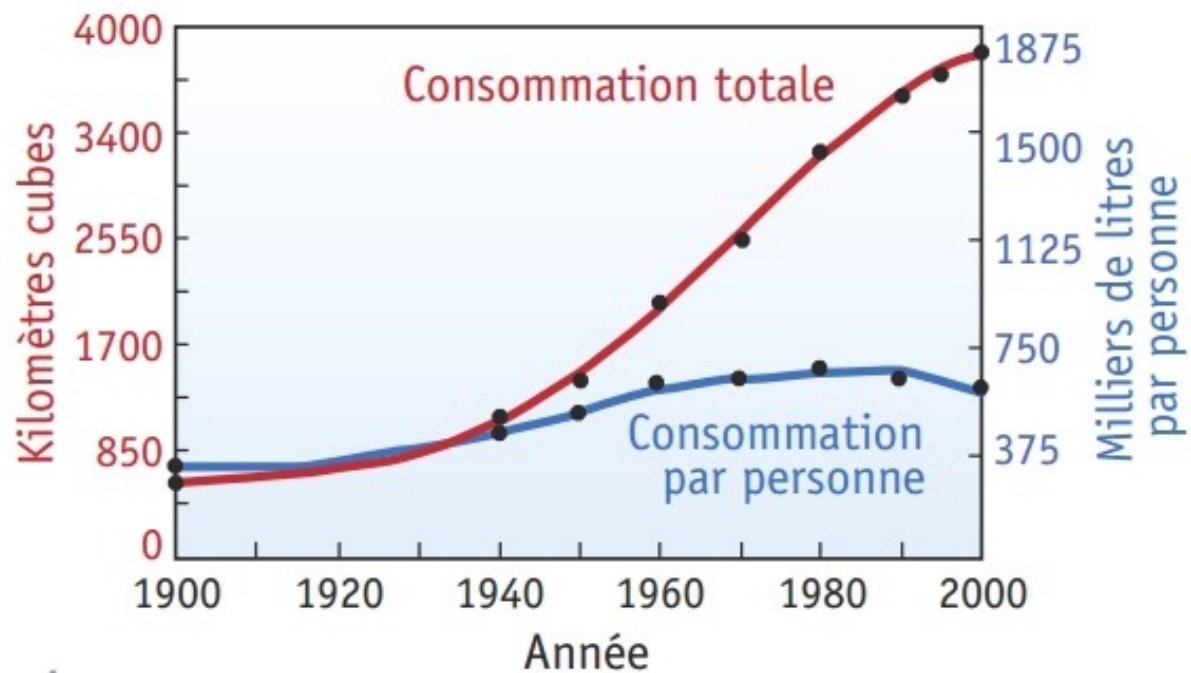
Molécule indispensable à l'immense majorité des processus biologique sur Terre
Solvant permettant l'immense majorité des réactions chimiques



3. L'EAU VIRTUELLE désigne la quantité d'eau nécessaire à la production de certains biens de consommation, par exemple alimentaires. On donne ici une idée de la quantité d'eau, en litres, nécessaire à la production d'un hamburger (pour faire pousser les céréales du pain, pour nourrir les animaux dont on consomme la viande, pour la salade, etc.), d'un paquet de 200 grammes de chips de pomme de terre, d'un verre de lait et d'une pomme.



4. ÉVOLUTION DES PRÉLÈVEMENTS D'EAU sur le cycle naturel depuis un siècle. La plus grande part des prélèvements revient à l'agriculture, avec 70 pour cent d'entre eux, contre 20 pour cent à l'industrie et 10 pour cent aux usages domestiques.



Augmentation démographique :
→ Consommation en eau en constante augmentation

Nécessité de bien comprendre et gérer les ressources en eau

Eau sous combien de formes sur Terre ?

Eau sous combien de formes sur Terre ?



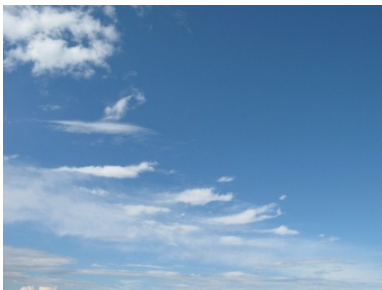
Glace



Amphibole
 $[\text{NaCa}_2\text{Mg}_5(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH})_2]$

Minéraux hydratés

Eau présente sous 4 formes sur Terre



Vapeur d'eau



Eau liquide

L'eau se trouve sous plusieurs formes au sein de nombreux compartiments de la Terre



Océan



Glacier



Nuages



Biosphère



Lac



Cours d'eaux



Air



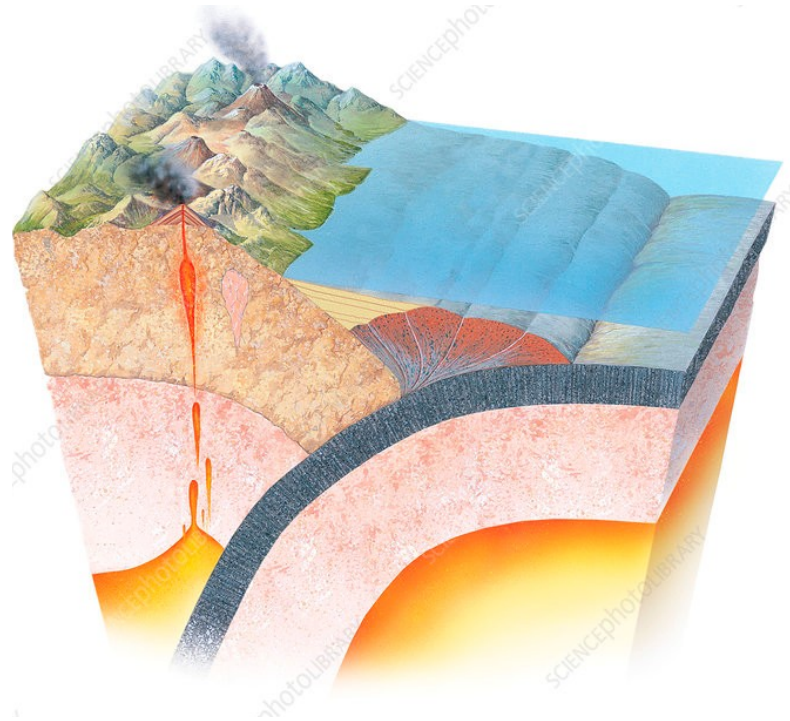
Croûte océanique

Tous ces compartiments échangent en permanence : flux de matière
→ **Cycles de l'eau**

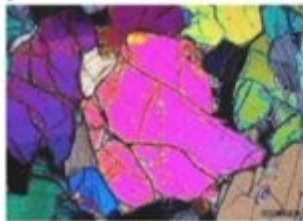
Le cycle interne de l'eau : Cycle de l'eau dans la géosphère

→ L'entrée d'eau se fait majoritairement par la subduction de croûte océanique

→ La sortie d'eau se fait via le volcanisme (dorsales, zone de subduction, points chauds, ...)



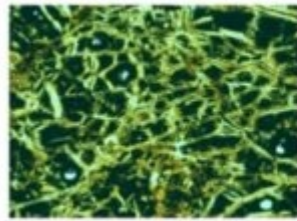
péridotite



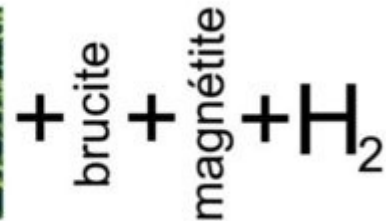
≈ 0,2 mm



serpentine



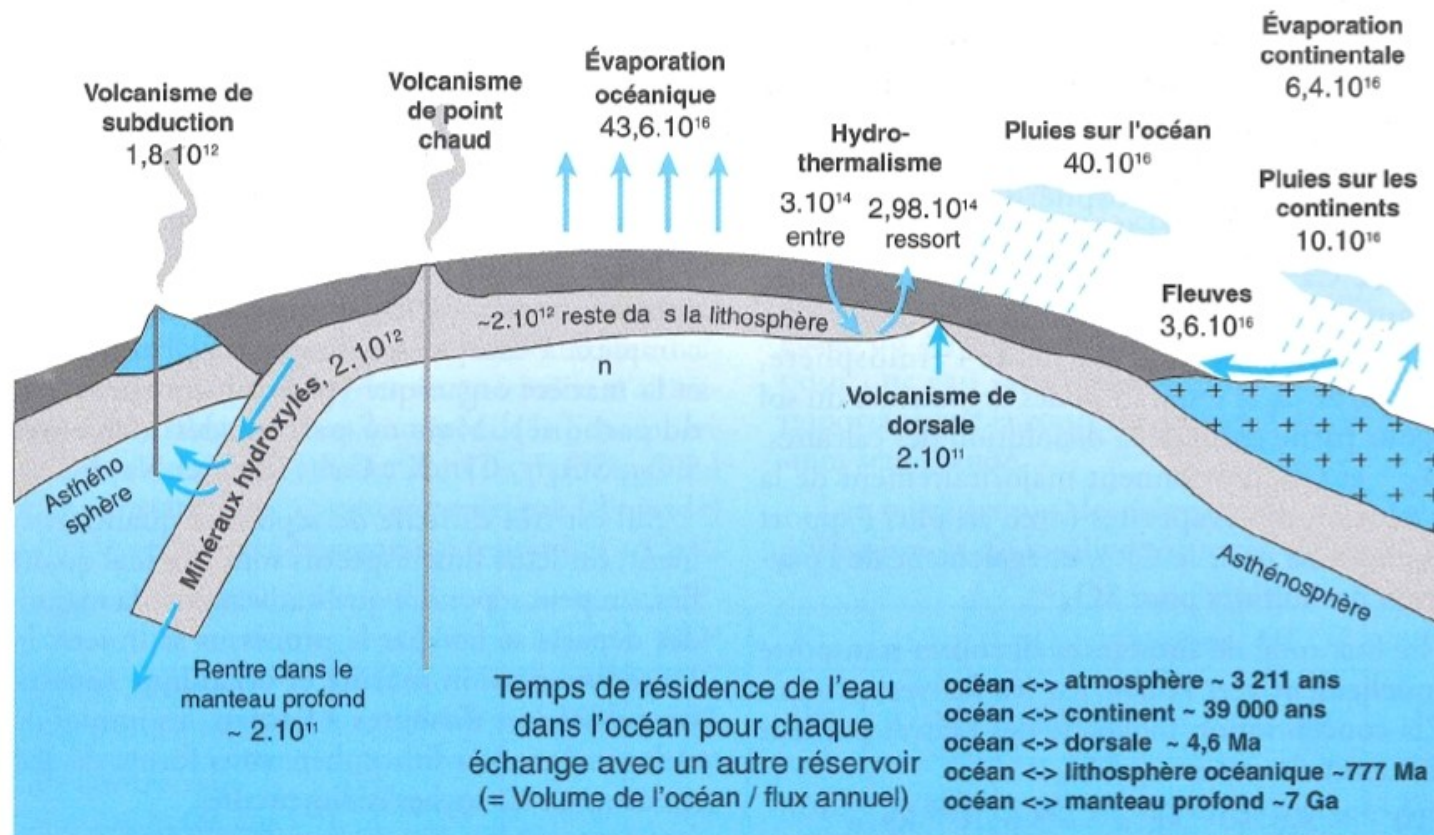
≈ 0,2 mm



Serpentinisation (©Ifremer)

Le cycle interne de l'eau : Cycle de l'eau dans la géosphère

- L'entrée d'eau se fait majoritairement par la subduction de croûte océanique
- La sortie d'eau se fait via le volcanisme (dorsales, zone de subduction, points chauds, ...)



Eau dans manteau, lithosphère océanique et continentale :
Eau inaccessible

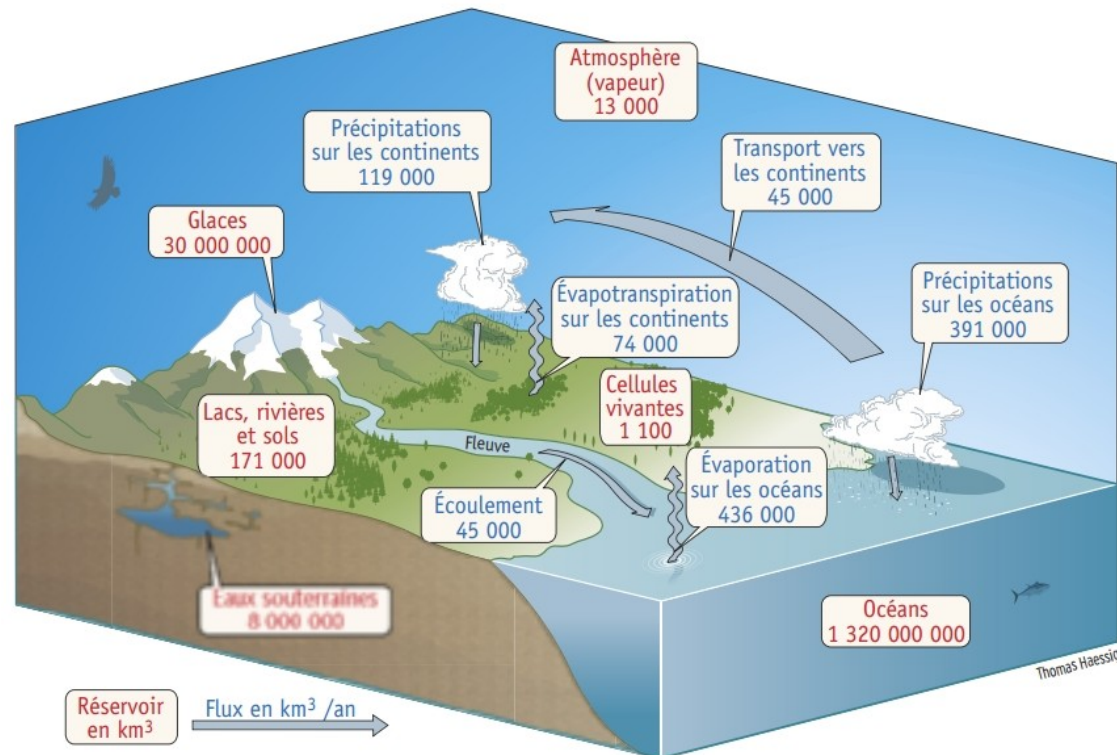
Cycle externe de l'eau : cycle de l'eau au niveau des enveloppes fluides :

Atmosphère, Hydrosphère, Biosphère

Enveloppe gazeuse autour de la Terre

Ensemble de la vie sur Terre

Ensemble de l'eau sur Terre



Eau contenue sous différents états dans différents réservoirs en interaction

Exemple de cycle de l'eau

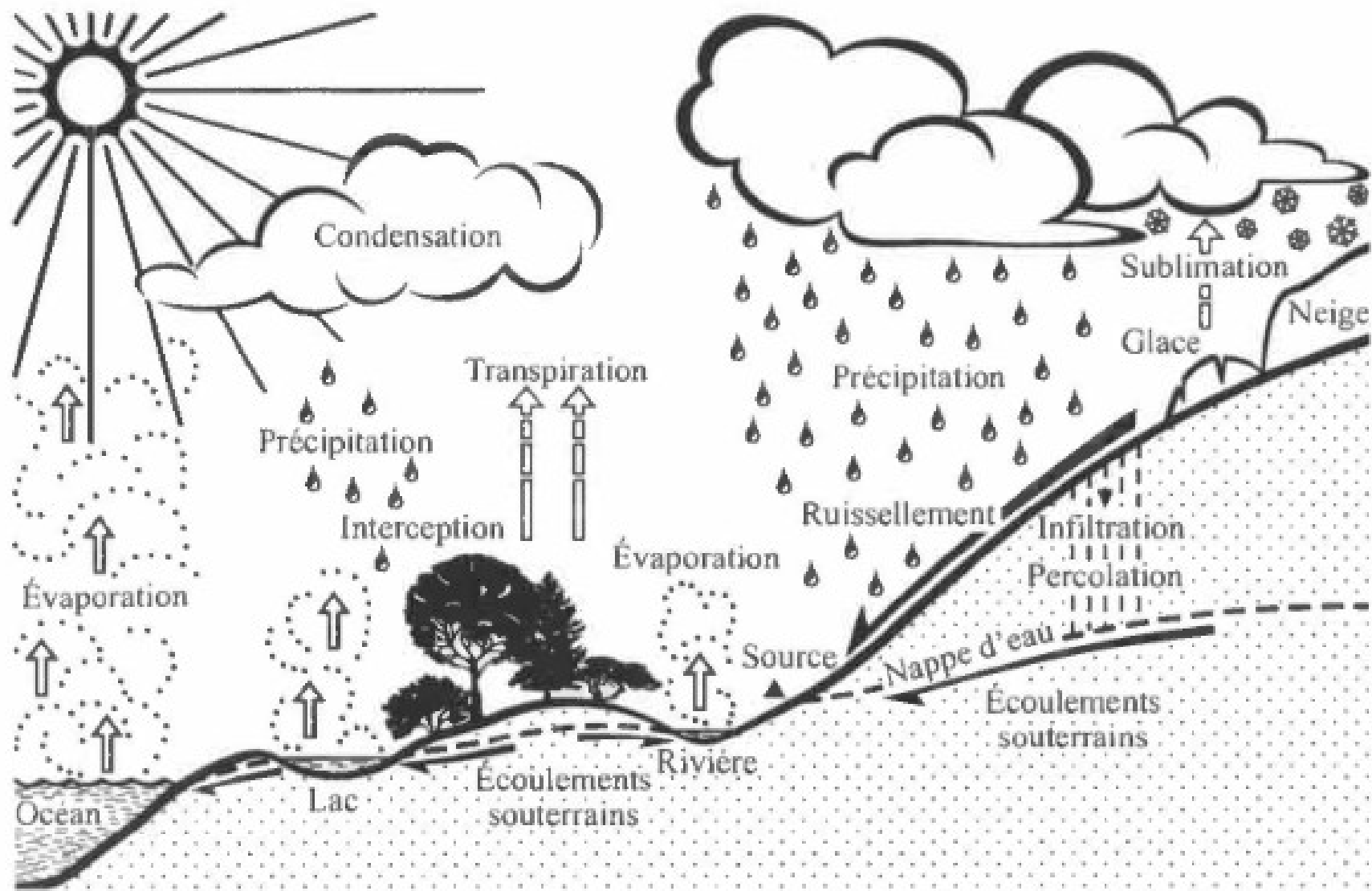
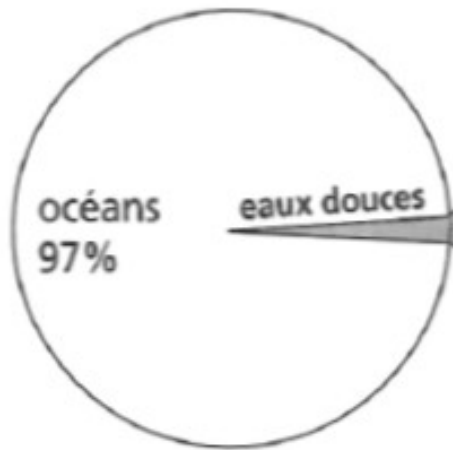


Figure 1.1 Conceptualisation du cycle de l'eau.

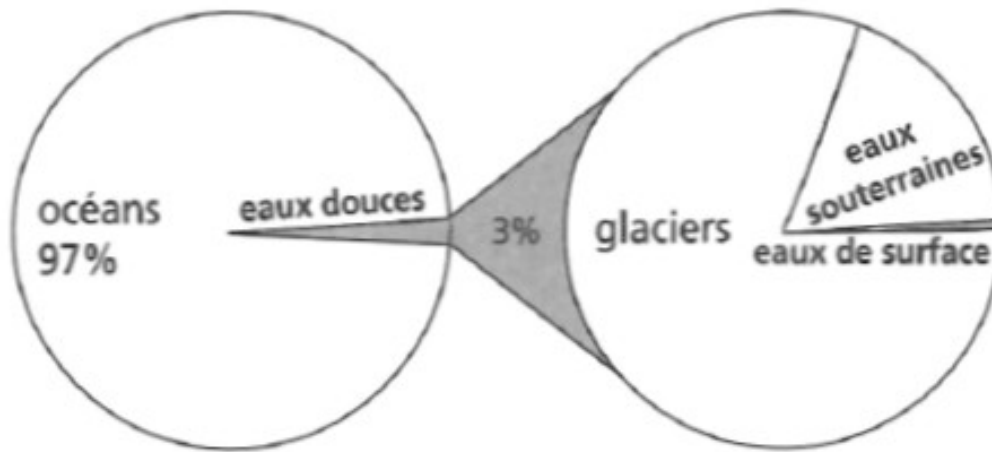
Proportions de ces différents réservoirs ?

Proportions de ces différents réservoirs ?



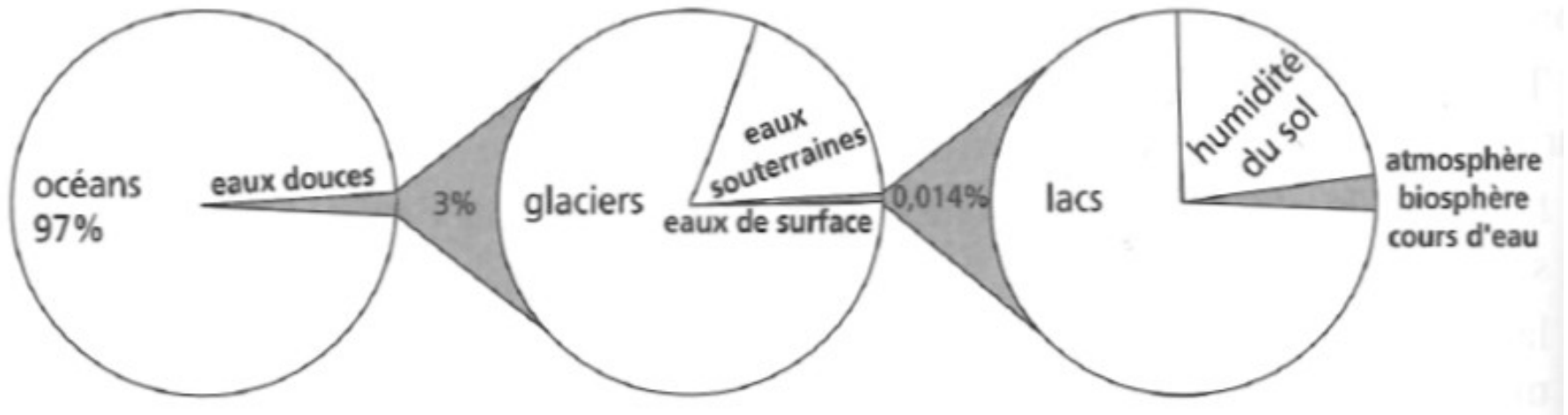
Gilli et al., Hydrogéologie objets, méthodes et applications

Proportions de ces différents réservoirs ?



Gilli et al., Hydrogéologie objets, méthodes et applications

Proportions de ces différents réservoirs ?



Gilli et al., Hydrogéologie objets, méthodes et applications

L'immense majorité de l'eau est dans les océans

Les cours d'eau et l'atmosphère sont de tout petits réservoirs

→ Cependant, la taille du réservoir n'est pas forcément déterminante de son importance

Autre figure représentant les flux de matière (chiffrés cette fois) entre les principaux compartiments

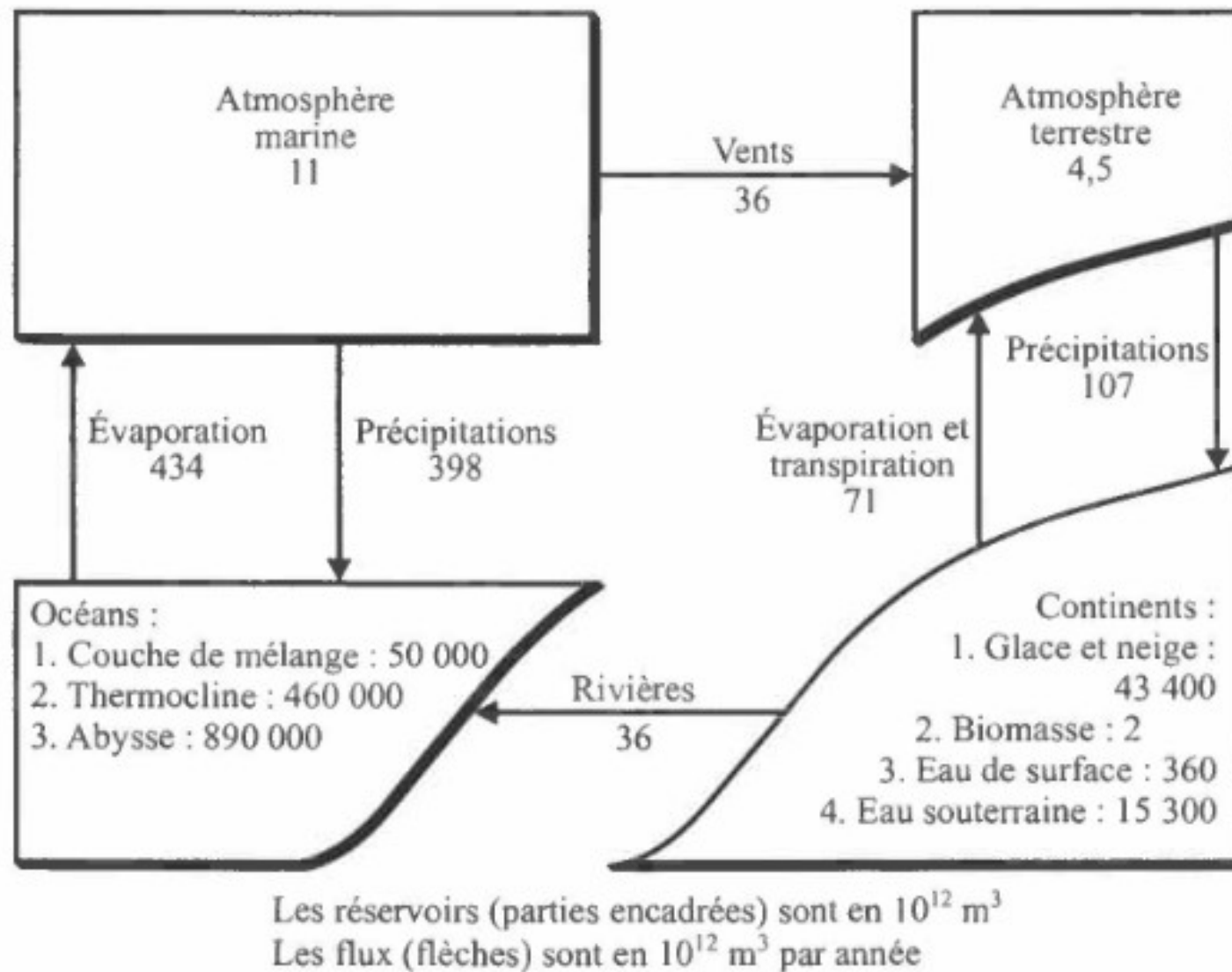


Figure 1.2 Quantification du cycle de l'eau (American Geophysical Union, 1995).

En réalité, on peut faire un grand nombre de cycle de l'eau, par exemple au sein de chaque réservoir

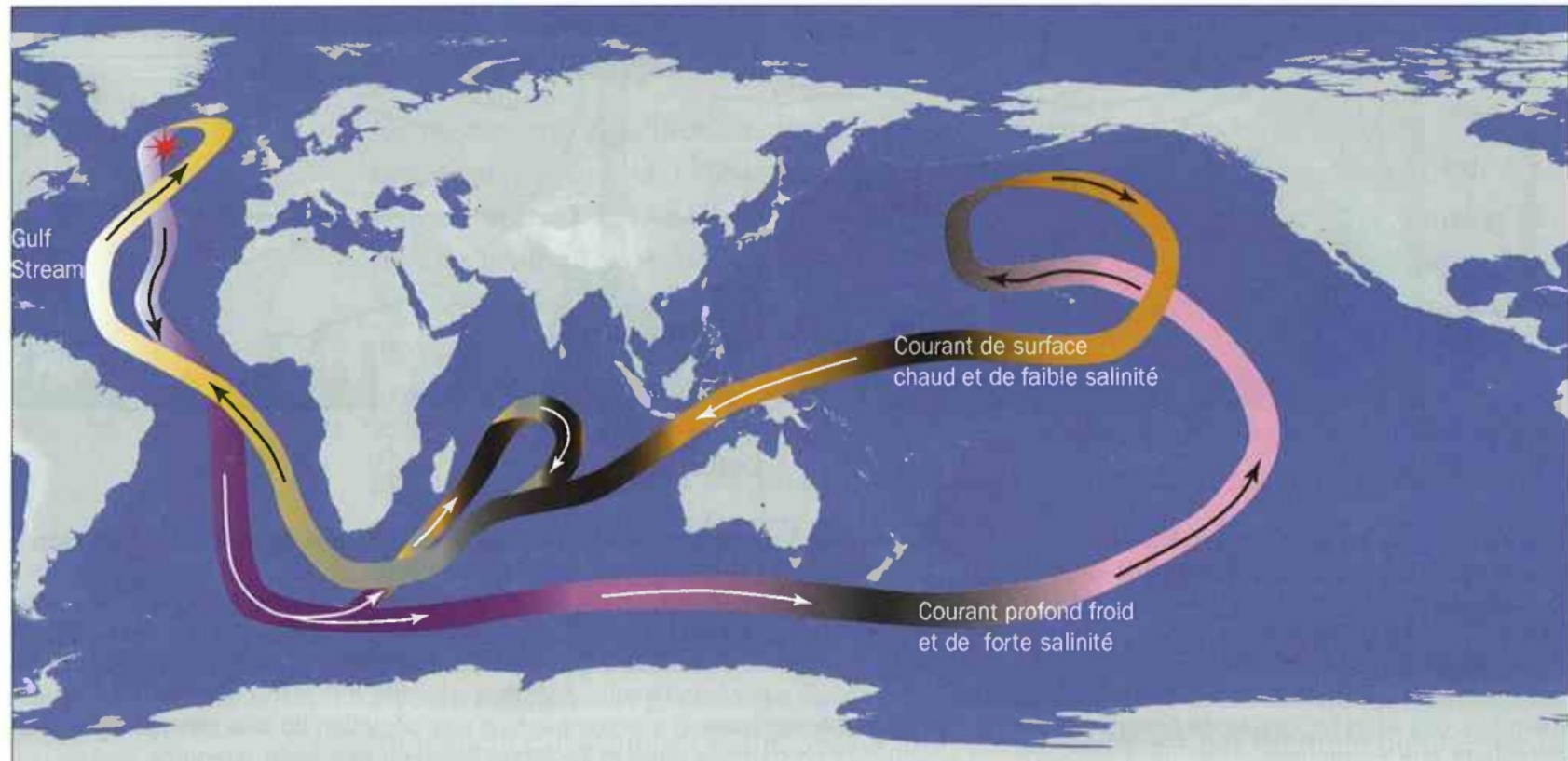


Figure 11.16. Modèle simplifié de la circulation océanique (Global Oceanic Conveyor Belt)

Le modèle de circulation de cette illustration n'est pas une représentation des actuels courants de surface et de fond. Les cellules de la circulation thermohaline qui forment le grand tapis roulant océanique sont contrôlées par les échanges de chaleur et d'humidité entre l'atmosphère et l'océan. Globalement, les eaux de surface sont transportées vers les profondeurs, puis retournent vers la surface. Les eaux chaudes de surface sont transportées du Pacifique et de l'océan Indien vers l'Atlantique Nord où leur refroidissement et leur augmentation concomitante de densité provoquent

leur plongement. Ce sont alors des eaux froides et plus salées qui voyagent en profondeur vers le sud et qui finissent par rejoindre les eaux froides et denses issues des marges antarctiques, lesquelles voyagent vers l'est. Bien qu'une partie des eaux se déplace vers l'océan Indien, la majeure partie flue vers l'est, autour de l'Antarctique, l'essentiel rejoignant l'océan Pacifique. Dans le Pacifique Nord, ces eaux regagneront lentement la surface pour recommencer un voyage de retour vers l'Atlantique Nord. L'étoile indique la zone de plongement des eaux froides et denses.

I) L'eau sur Terre et les cycles de l'eau

II) Dynamique de l'eau en surface

III) Dynamique de l'eau souterraine

Eau en surface ?



Glacier

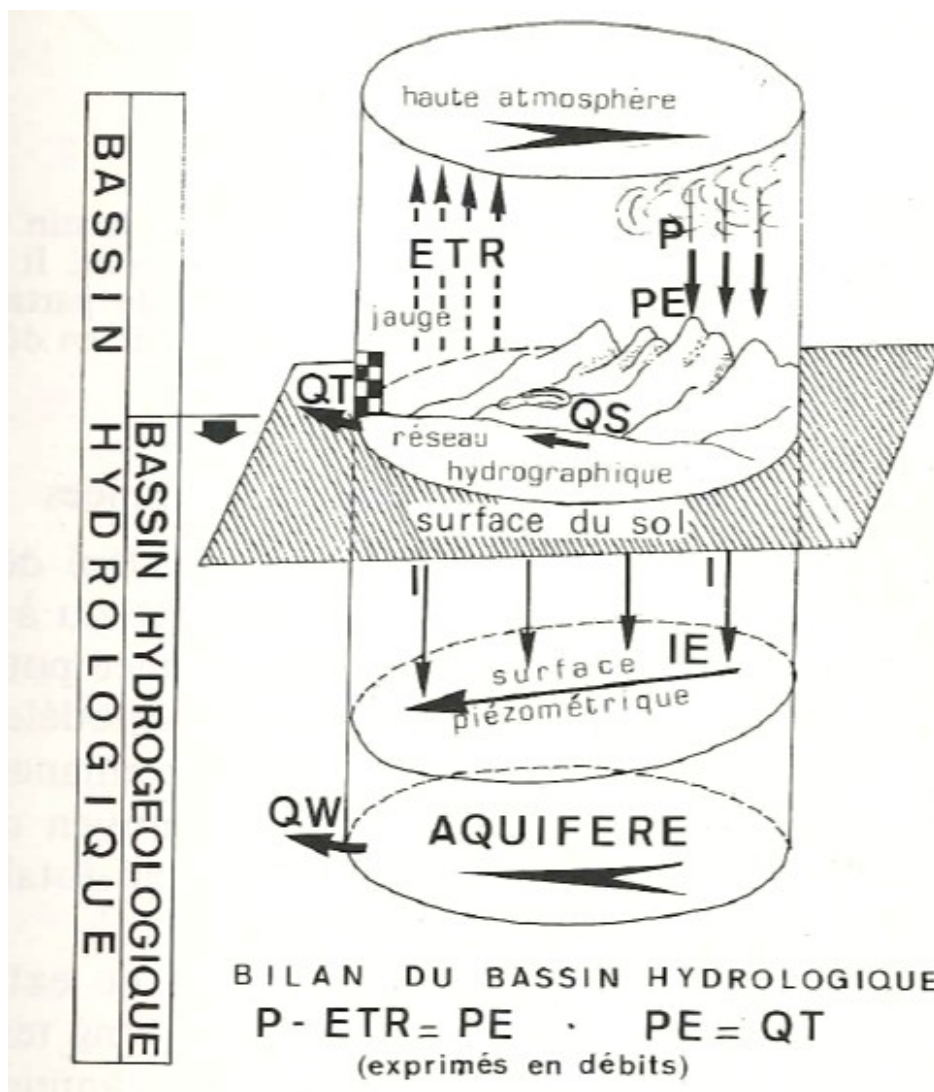


Lac



Cours d'eaux

Principaux compartiments considérés ici



ETR : Evapotranspiration réelle

P : Précipitations

PE : Précipitations efficaces

QS : Débit de l'écoulement de surface

QW : Débit de l'écoulement souterrain

QT : Débit de l'écoulement total

I : Infiltration

IE : Infiltration efficace

Bassin hydrologique = Bassin hydrographique + Bassin hydrogéologique

Eau d surface = eau se trouvant au dessus du niveau du sol

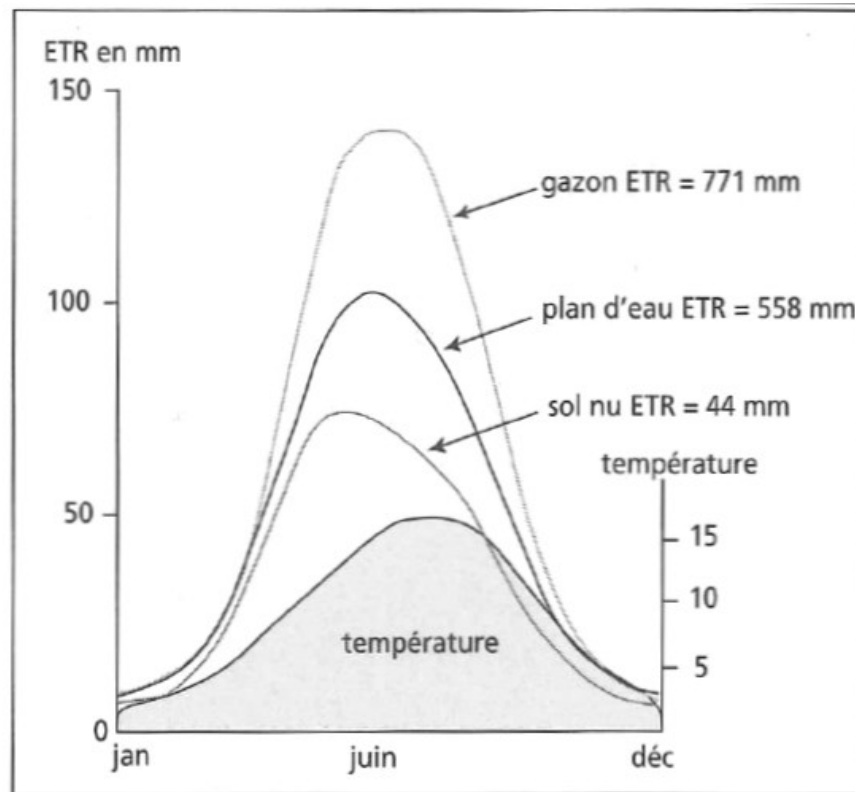
Eau souterraine = eau contenue dans la roche en dessous du sol

D'où vient cette eau ?

Qu'est-ce qui la met en mouvement ?

Réseau hydrographique alimenté par les précipitations, plus précisément l'eau de ruissellement principalement

→ *Toute l'eau de pluie ruisselle ?*



La végétation va jouer un rôle majeur dans la quantité d'eau qui va pouvoir aller en profondeur

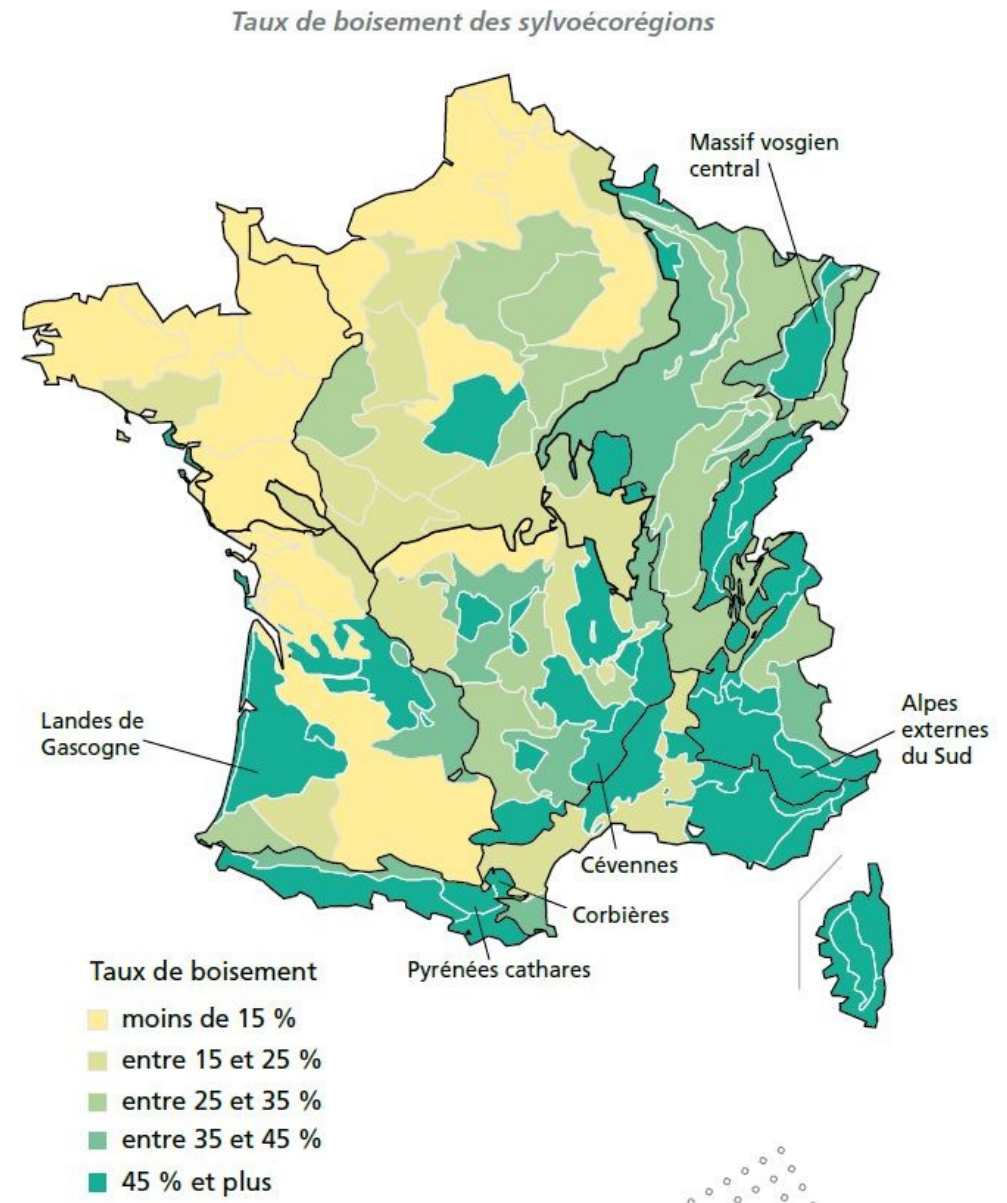
→ **Précipitations efficaces**

Figure 10 Évapotranspiration réelle mesurée sur des parcelles aux Pays-Bas (d'après Lambert, 1996).

Évapotranspiration Réelle (ETR) : eau de pluie qui repart dans l'atmosphère sans alimenter le réseau hydrologique



Évapotranspiration annuelle moyenne

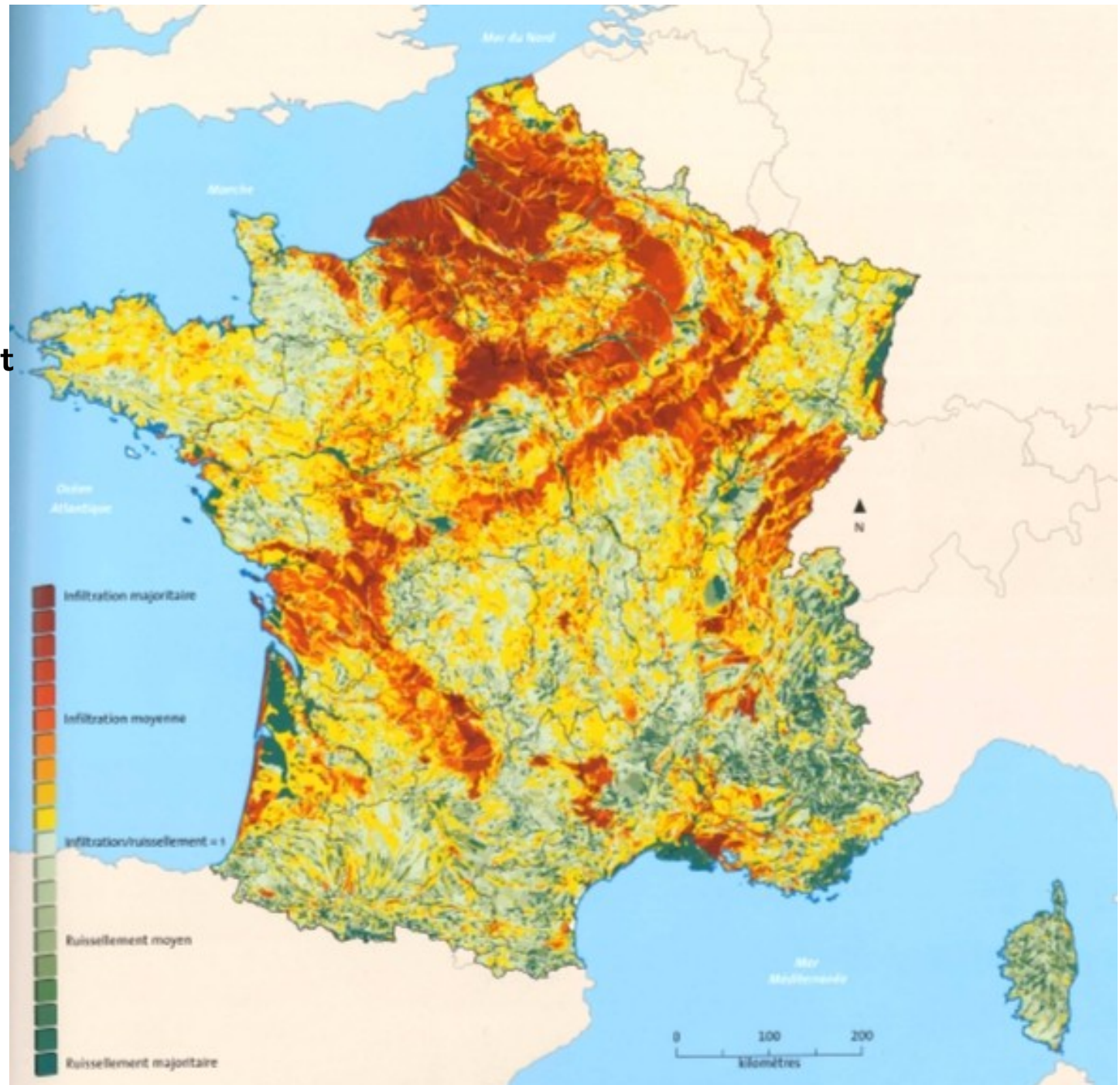


Taux de boisement en France

**Précipitations efficaces =
Infiltration + ruissellement**



Une partie de l'eau
part alimenter le
réseau
hydrographique



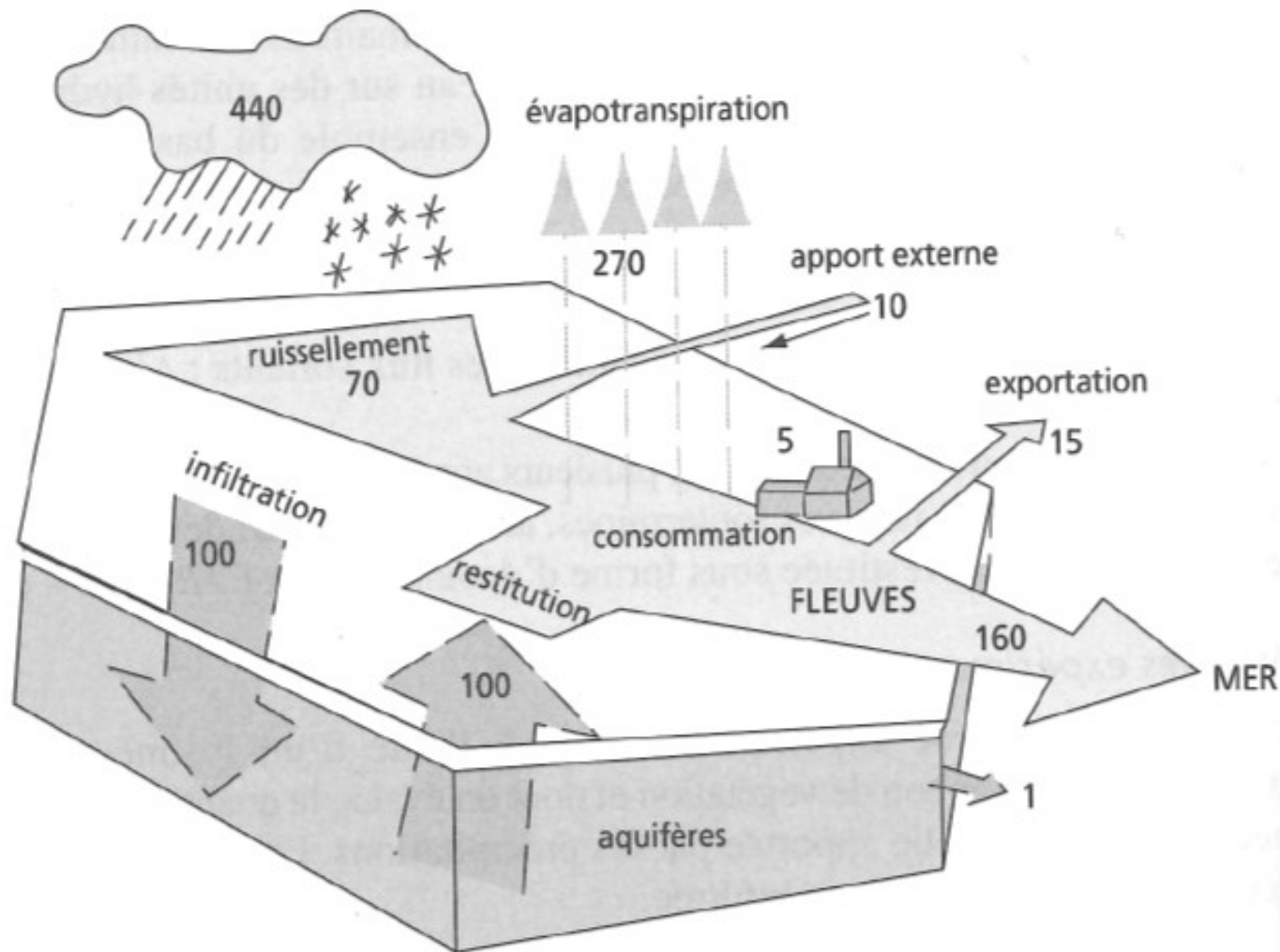


Figure 11 Bilan annuel de l'eau en France.

[4]

$$\text{Précipitations} = (\text{Eau d'infiltration} + \text{eau de ruissellement}) + \text{Evapotranspiration réelle}$$

Précipitations efficaces 40 %

60 %

Eau pouvant alimenter le réseau hydrographique

Qu'est ce qui met en mouvement l'eau ?

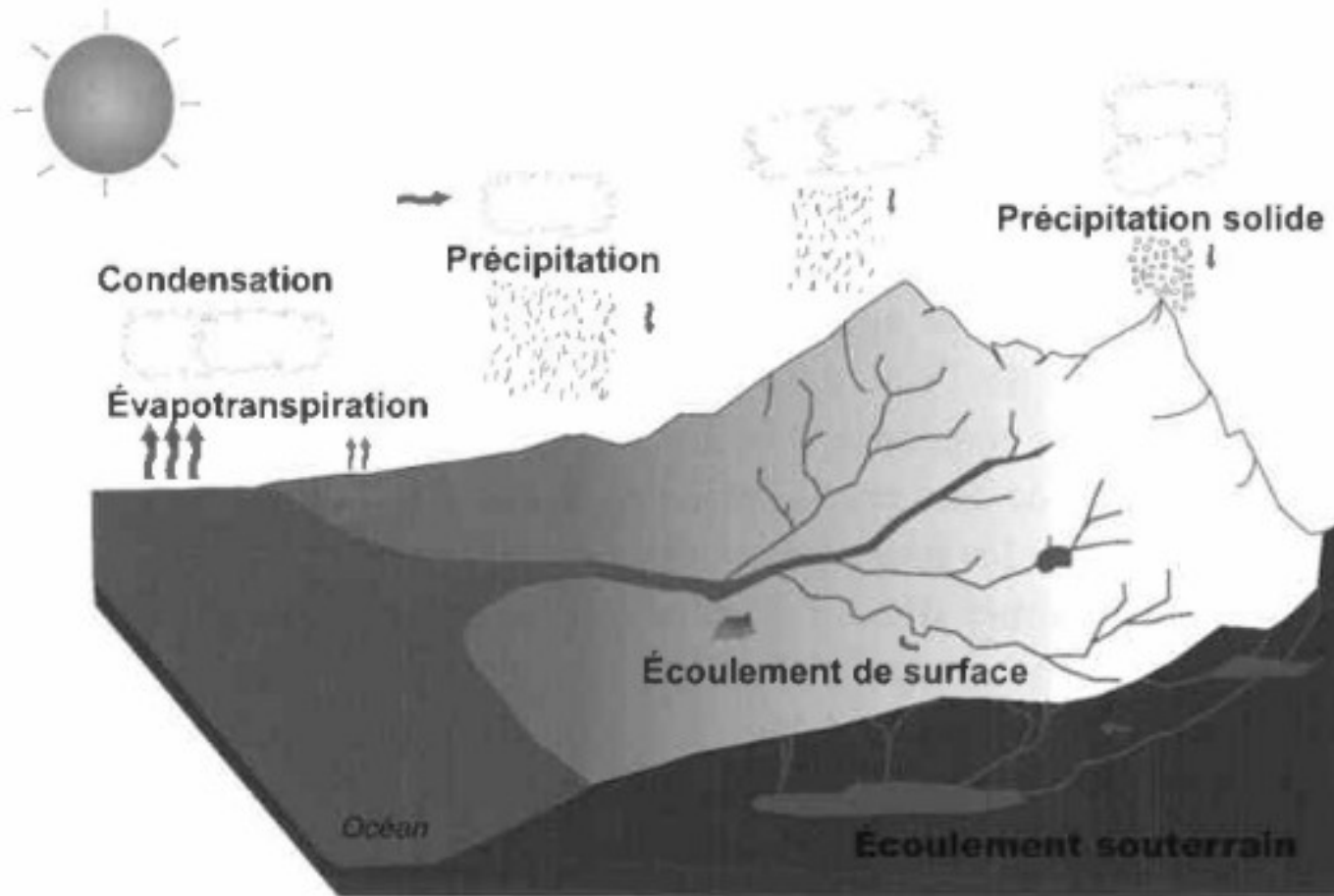


Figure 2.1 : Le cycle de l'eau à l'échelle du globe

Le bilan hydrique intervient pour estimer les gains et pertes enregistrées durant le passage de l'eau entre les différents compartiments du globe. Dans la lithosphère, ce bilan est estimé par la différence entre les flux d'eau entrant (précipitations) et sortant (évapotranspiration, écoulement...). Il est important de souligner que l'étude du cycle de l'eau et de la quantification

La gravité

Descente de l'eau de fait spontanément en descendant la pente
Conversion d'énergie potentielle de pesanteur en énergie cinétique

→ Énergie qui peut être récupérée

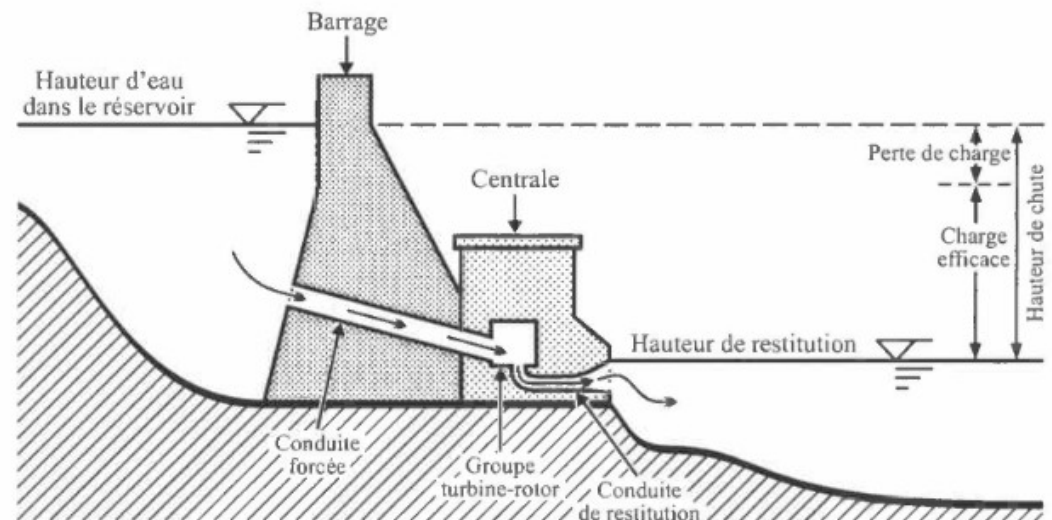
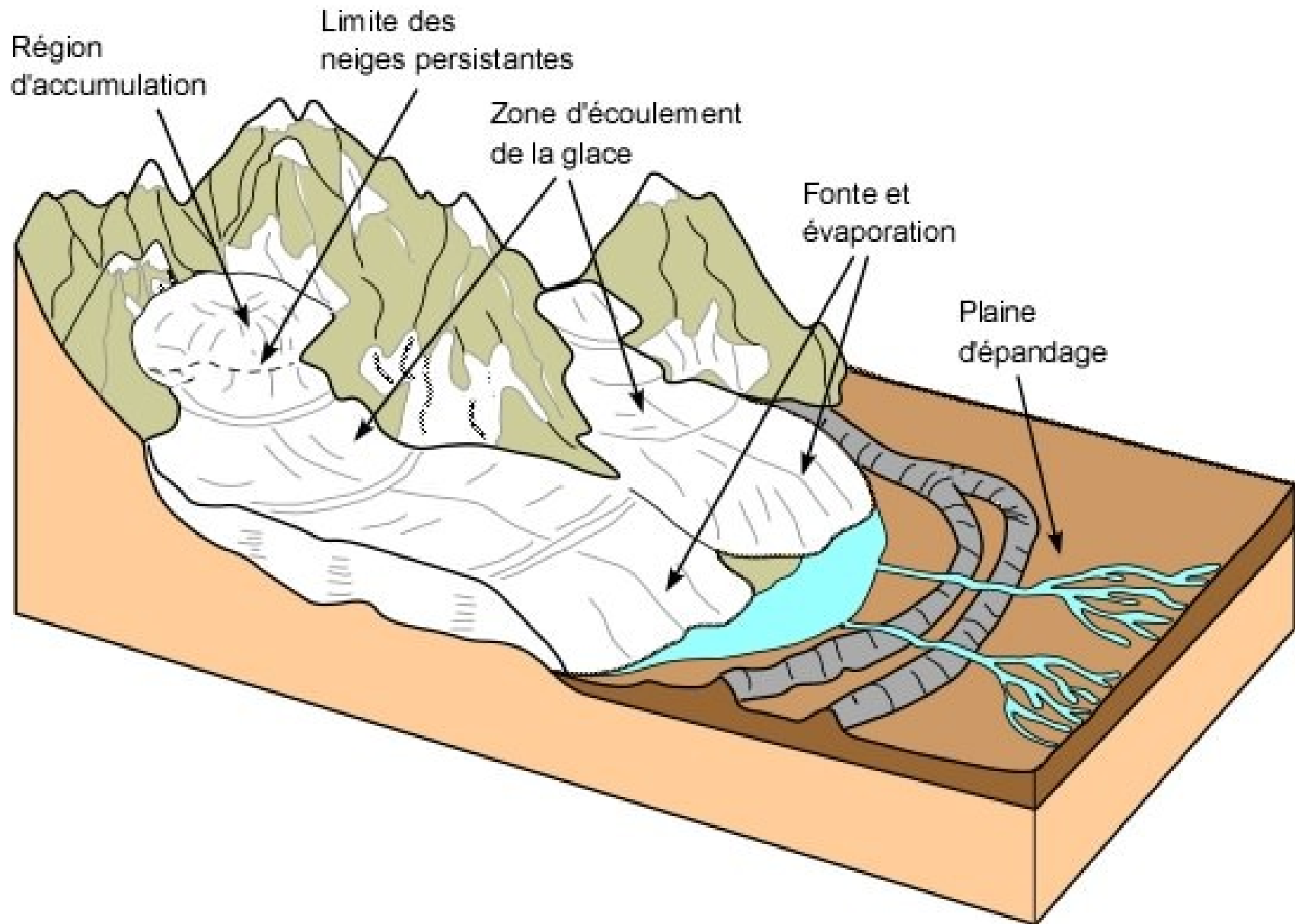


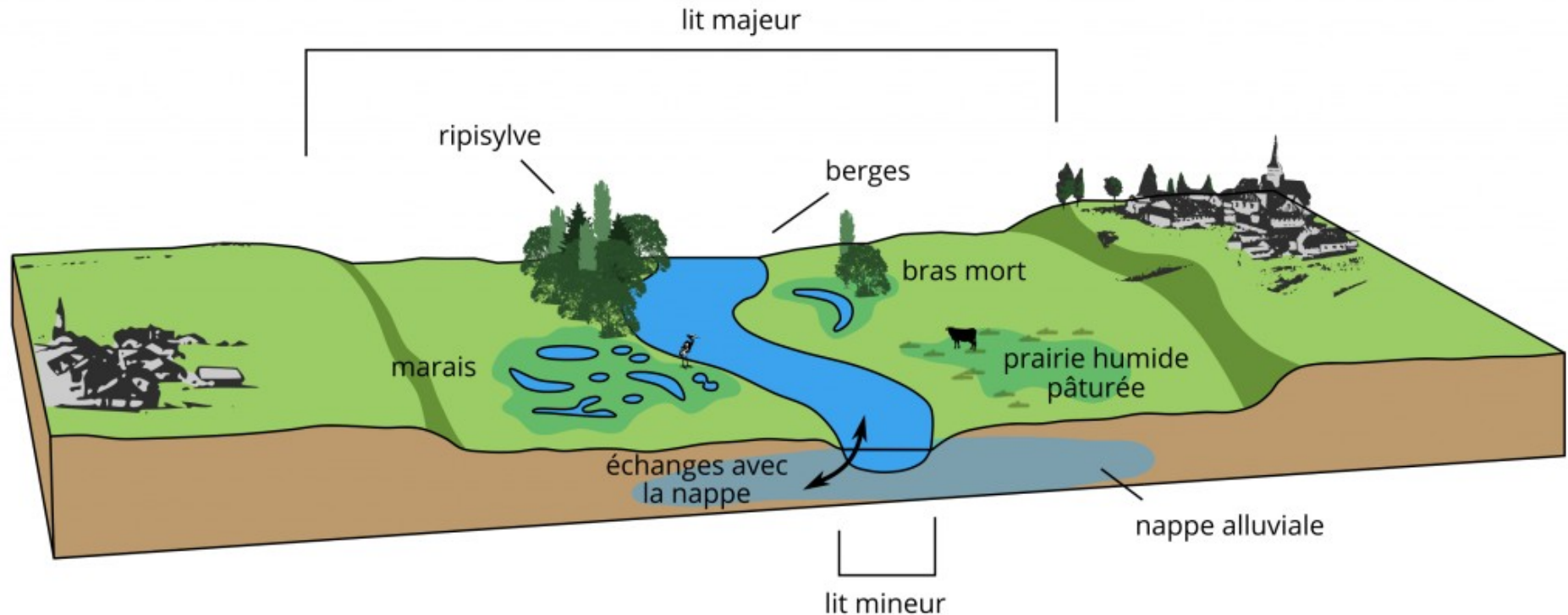
Figure 9.7 Hauteur de chute d'un ouvrage hydroélectrique.

Cet écoulement est vrai pour l'eau liquide comme pour l'eau solide
→ **Avancée des glacier en accumulation par gravité**



Qu'est-ce qu'un cours d'eau ?

La structure du cours d'eau



Exercice : À l'aide de coupure d presse ou d'article sur l'évènement de Vaison-la-Romaine de 1992, expliquez synthétiquement les causes de la catastrophe et comment l'empêcher dans le futur

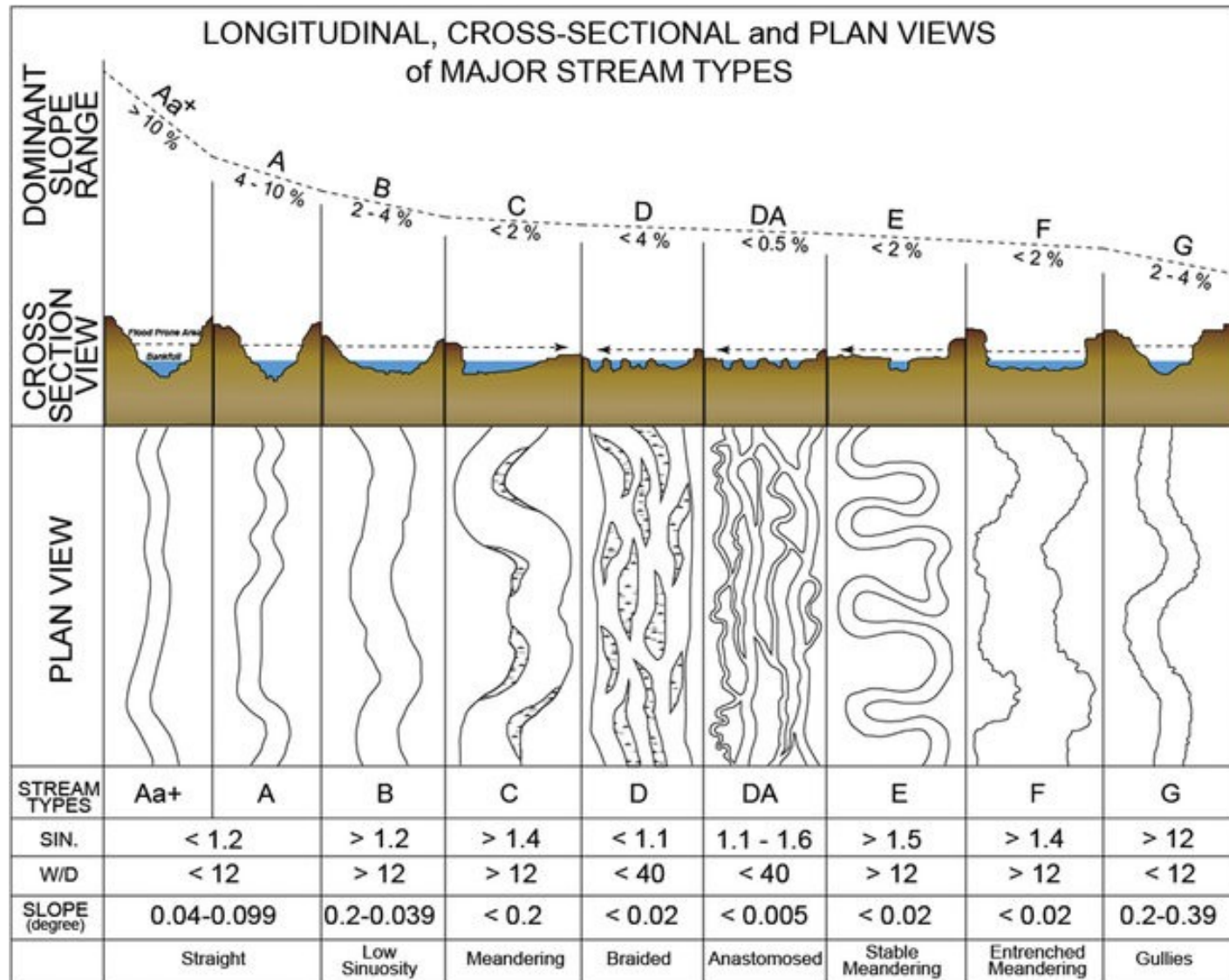
Les cours d'eaux sont des objets mobiles et instables, notamment via le phénomène de **crue** qui est un débordement du lit mineur du cours d'eau et qui peut rapidement changer la morphologie d'une plaine



Méandres en Bolivie (Puerto Villaroel)

<https://www.youtube.com/watch?v=nGJXxAZPm8M>

Grande diversité de cours d'eau, impacté par de nombreux paramètres : pente, végétation, ...



Sung Ho Bae et al. 2016

Enfin, les cours d'eaux modèles énormément les paysages traversés, géologiquement comme au regard des écosystèmes traversés (exemple : ripisylve)

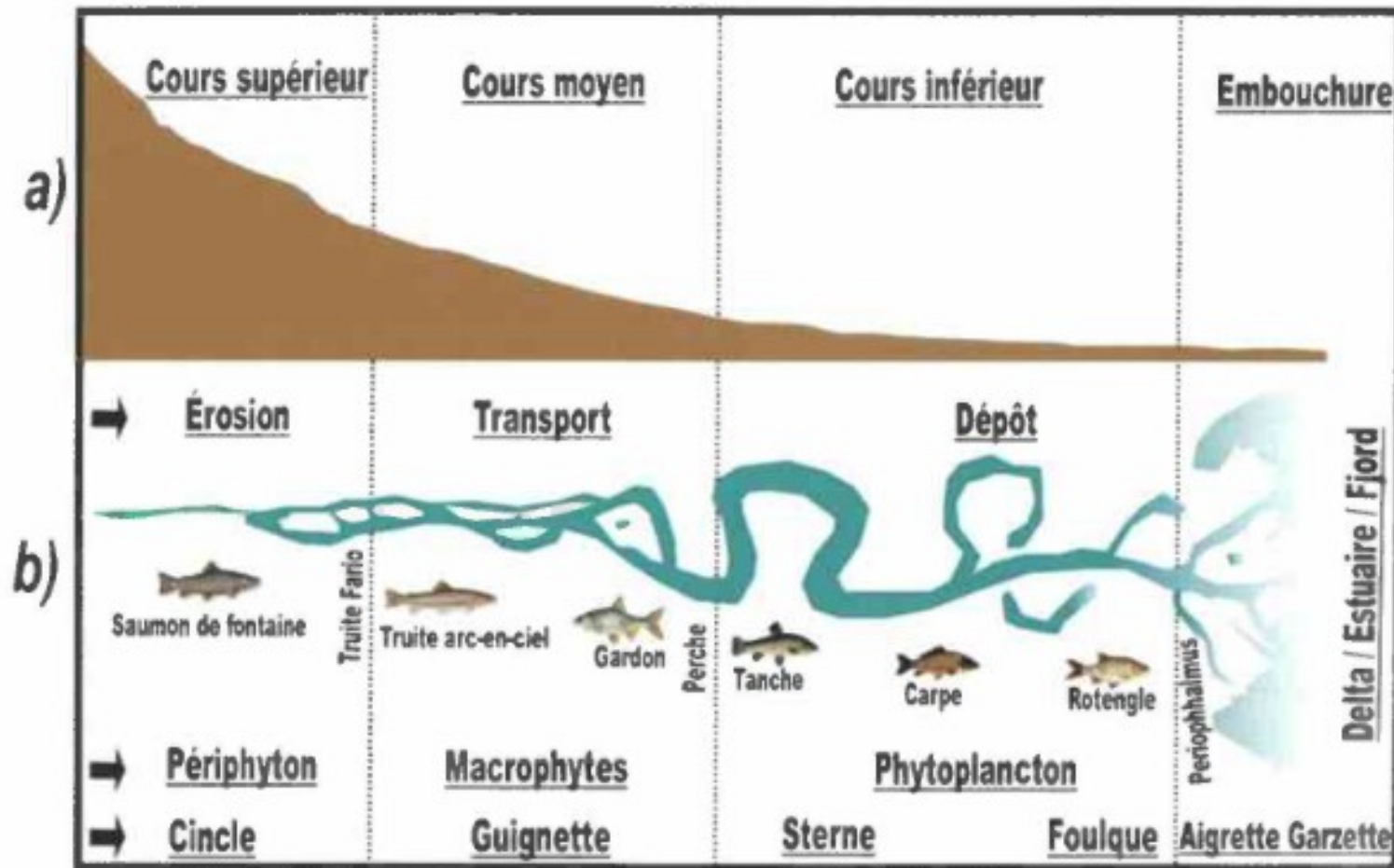
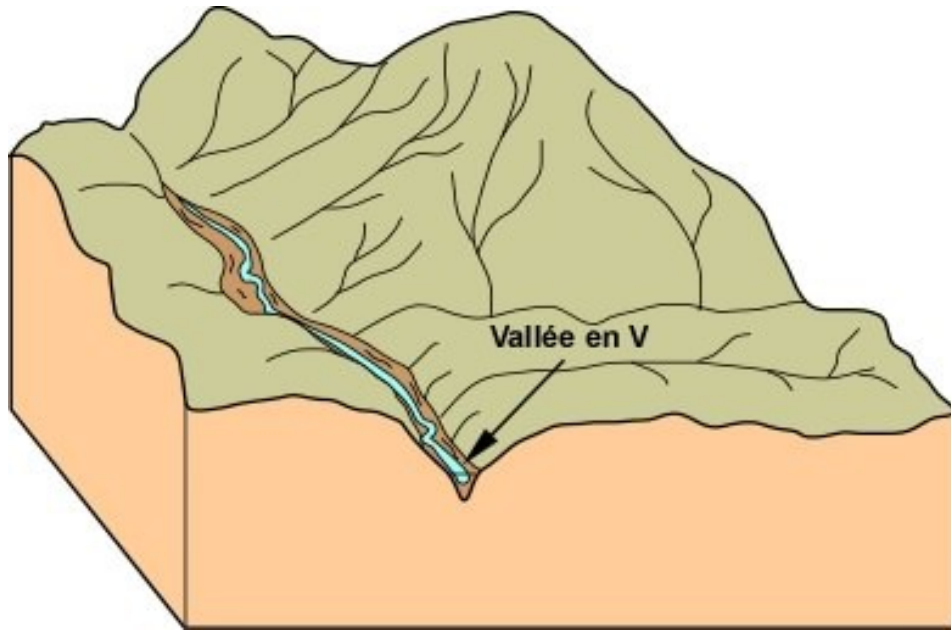


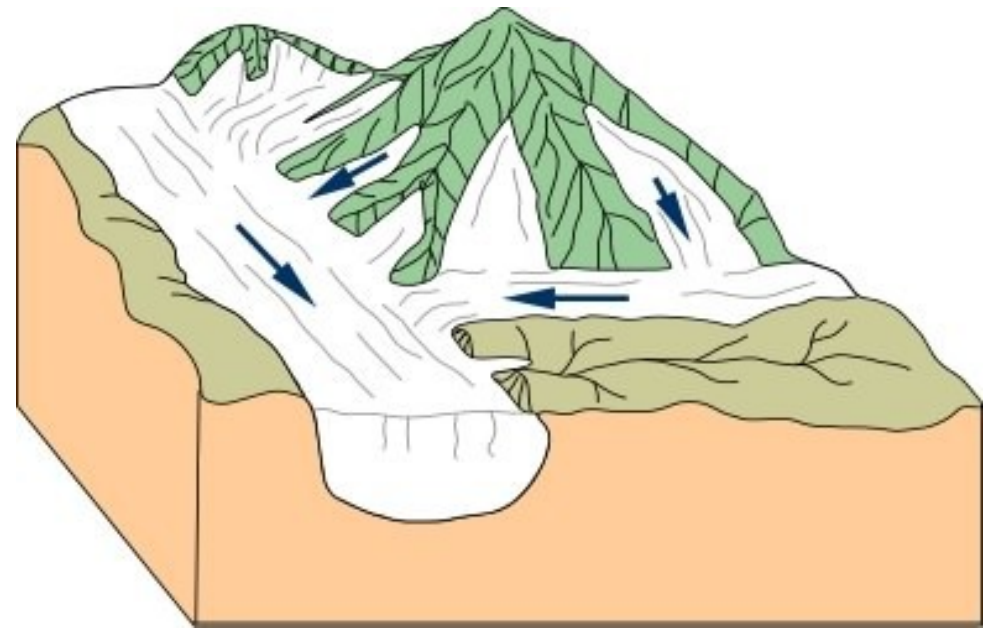
Figure 1.3 : Le continuum fluvial

a) profil en long (longiforme)

b) zonation hydromorphologique théorique

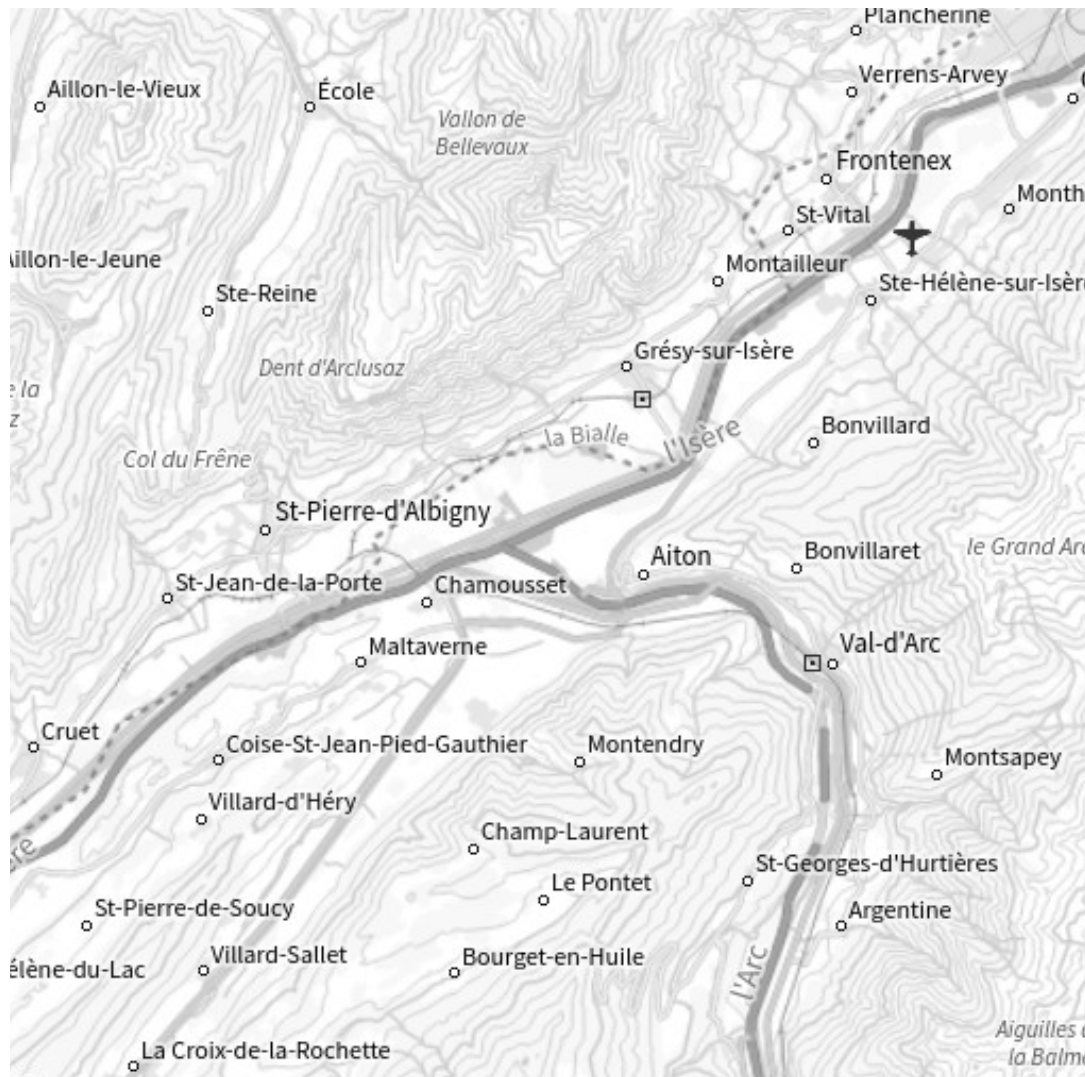


Cours d'eau : vallée en V



Glacier : vallée en U

Parenthèse : Morphologie de l'érosion par un cours d'eau ou un glacier



Vallée de l'Isère
Vallée en ?



Vallée de la Giusane
Vallée en ?



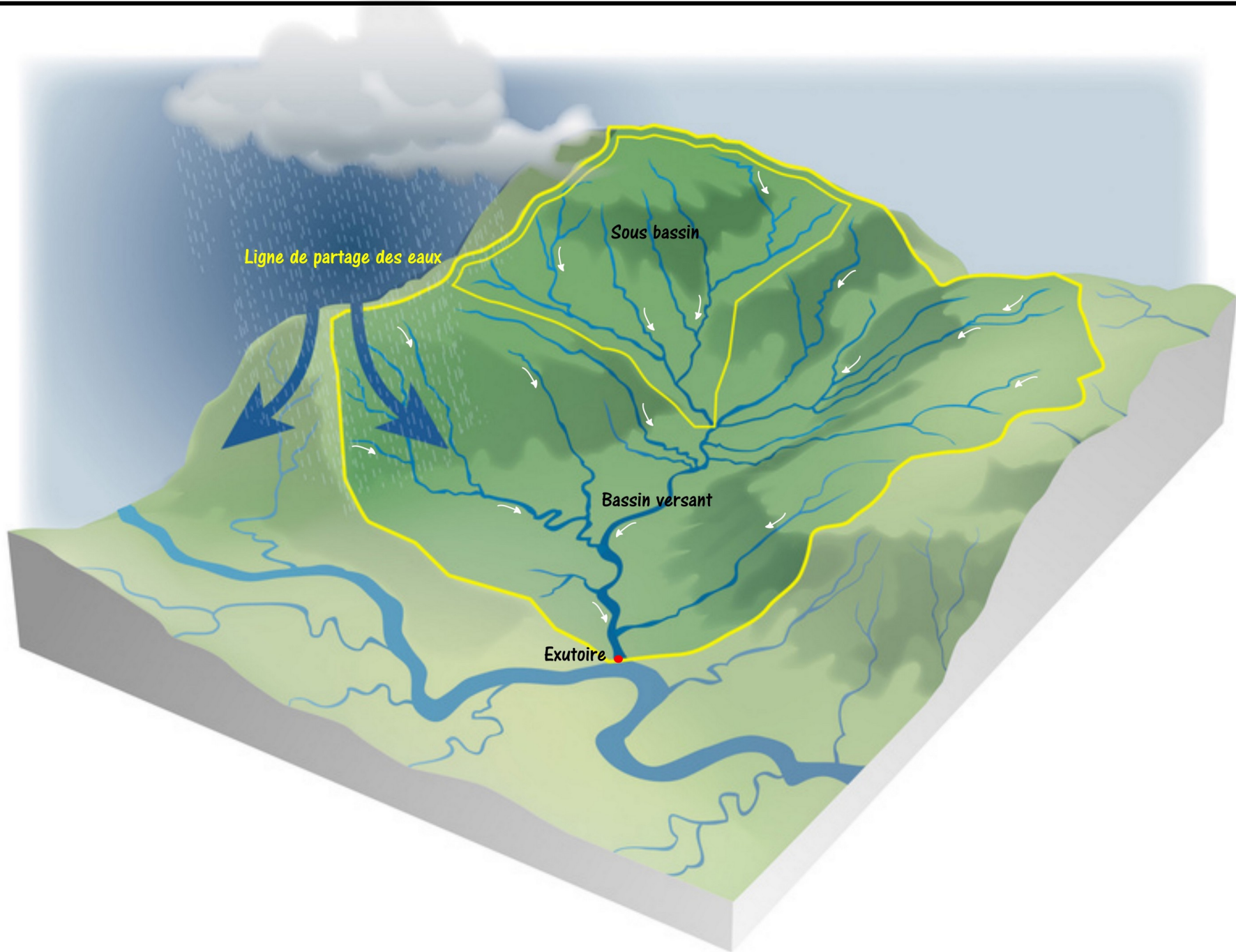


On observe que de nombreux cours d'eau convergent vers un même cours d'eau final : **le fleuve**

Notion de Bassin versant

Exemple de l'organisation d'un fleuve, la Loire, et de ses affluents

Bassin versant : Aire géographique sur laquelle les aux de ruissellement convergent toutes vers un même point appelé exutoire (confluence, embouchure, . ;.)



Exemple de grands bassins versants français



Exercice 1 du TD : Délimitez les bassins versant (=tracez les lignes de partage des eaux)

I) L'eau sur Terre et les cycles de l'eau

II) Dynamique de l'eau en surface

III) Dynamique de l'eau souterraine

Réservoir	Volume (10 ⁶ km ³)	Temps de résidence	% total	% eau douce	Disponibilité
Océan	1 370	2500 ans	97,2	/	Très faible (salée)
Calottes glaciaires et glaciers	29	1000 à 10 000 ans	2,1	75,0	Très faible (Glace)
Eaux souterraines	9,5	1500 ans	0,6	24,5	Variable
Lacs	0,125	20 ans	~0	0,3	Importante, mais risques de pollution
Humidité des sols	0,065	1 an	~0	~0	Nulle
Atmosphère	0,013	8 jours	~0	~0	Nulle, sauf pluie
Cours d'eau	0,0017	5 à 21 jours	~0	~0	Importante, mais turbidité et risques de pollution
Biosphère	0,0006	2 heures	~0	~0	Nulle

- **Hydrogéologie** : « Science de l'eau souterraine à caractère pluridisciplinaire. Ses objectifs sont l'acquisition de données numériques par la prospection ou l'expérimentation sur le terrain, le captage et la planification de l'exploitation de l'eau souterraine (*continentale*). » [Castany]



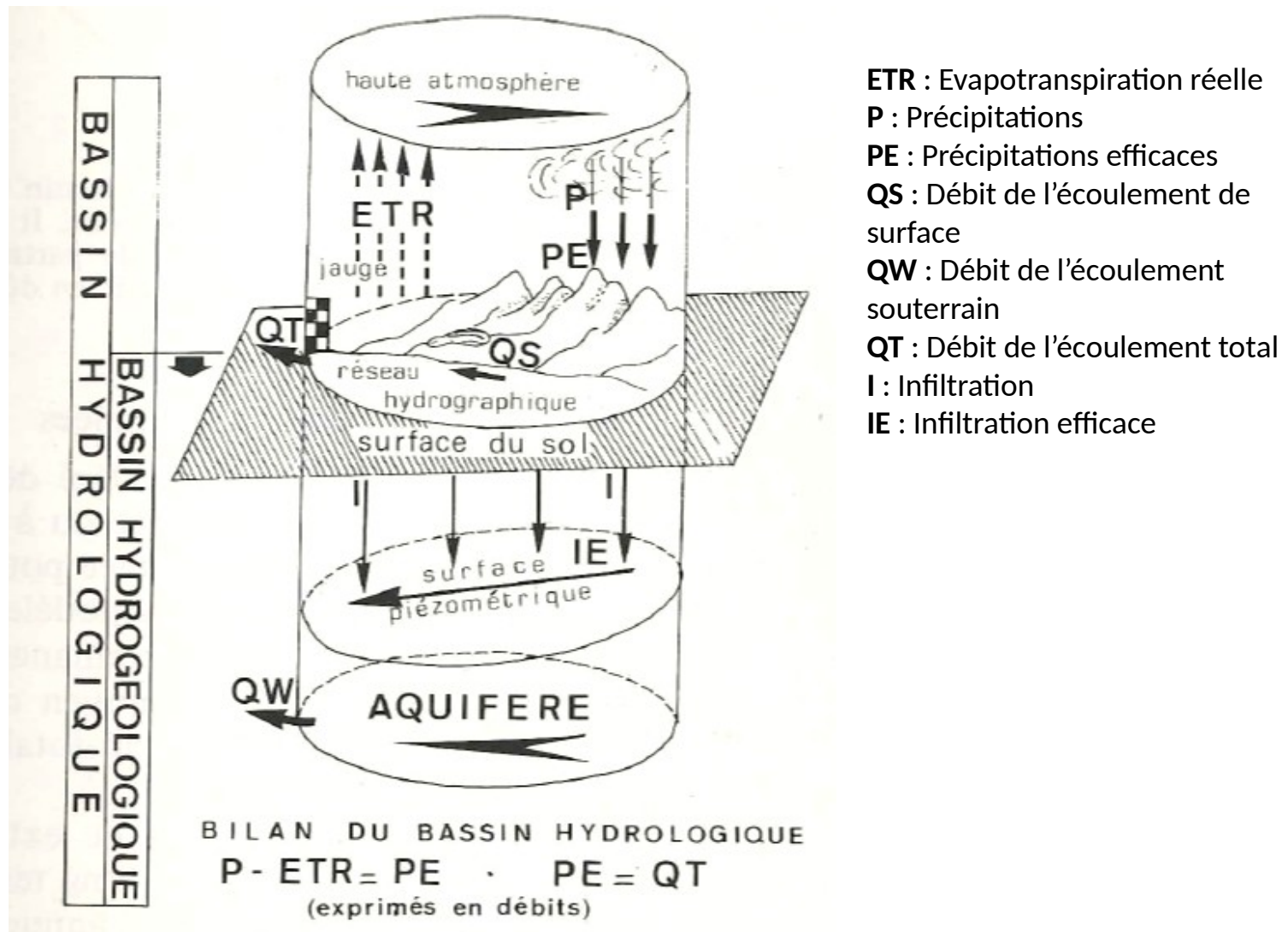
- **Hydrogéologie** : « Science de l'eau souterraine à caractère pluridisciplinaire. Ses objectifs sont l'acquisition de données numériques par la prospection ou l'expérimentation sur le terrain, le captage et la planification de l'exploitation de l'eau souterraine (continentale). » [Castany]
- Science appliquée à la gestion des ressources en eau



- **Hydrogéologie** : « Science de l'eau souterraine à caractère pluridisciplinaire. Ses objectifs sont l'acquisition de données numériques par la prospection ou l'expérimentation sur le terrain, le captage et la planification de l'exploitation de l'eau souterraine (continentale). » [Castany]
- Science appliquée à la gestion des ressources en eau
- Science interdisciplinaire : Géologie, Chimie, Physique, Biologie, ...



Problématique : Comprendre et contrôler l'évolution des réservoirs d'eau souterraine dans l'optique de leur exploitation et de leur protection.



Bassin hydrologique = Bassin hydrographique + **Bassin hydrogéologique**

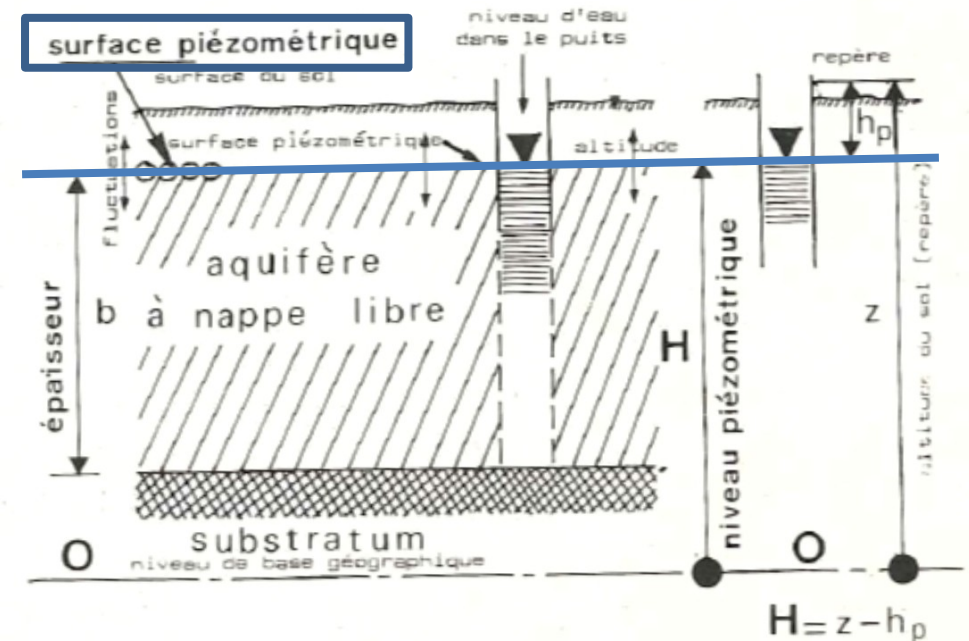
Eau souterraine = eau contenue dans la roche en dessous du sol

Piézomètre : Appareil qui permet de mesurer la pression d'un fluide.



Piézomètre : Appareil qui permet de mesurer la pression d'un fluide.

Niveau piézométrique : Altitude à laquelle l'eau se stabilise quand elle est à l'équilibre avec la pression atmosphérique. Donnée obtenue par forage et mesure du niveau d'eau.



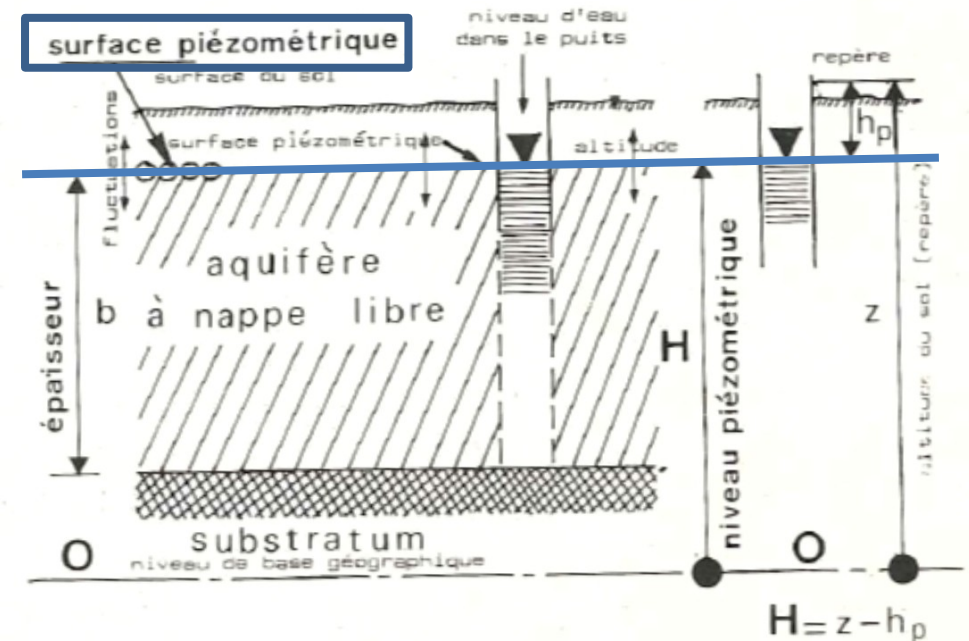
Piézomètre : Appareil qui permet de mesurer la pression d'un fluide.

Niveau piézométrique : Altitude à laquelle l'eau se stabilise quand elle est à l'équilibre avec la pression atmosphérique. Donnée obtenue par forage et mesure du niveau d'eau.



Surface piézométrique : Surface définie pour une nappe par les différents niveaux piézométriques recueillis.

Isopièze ou hydroisohypse : Lignes de même niveau piézométrique



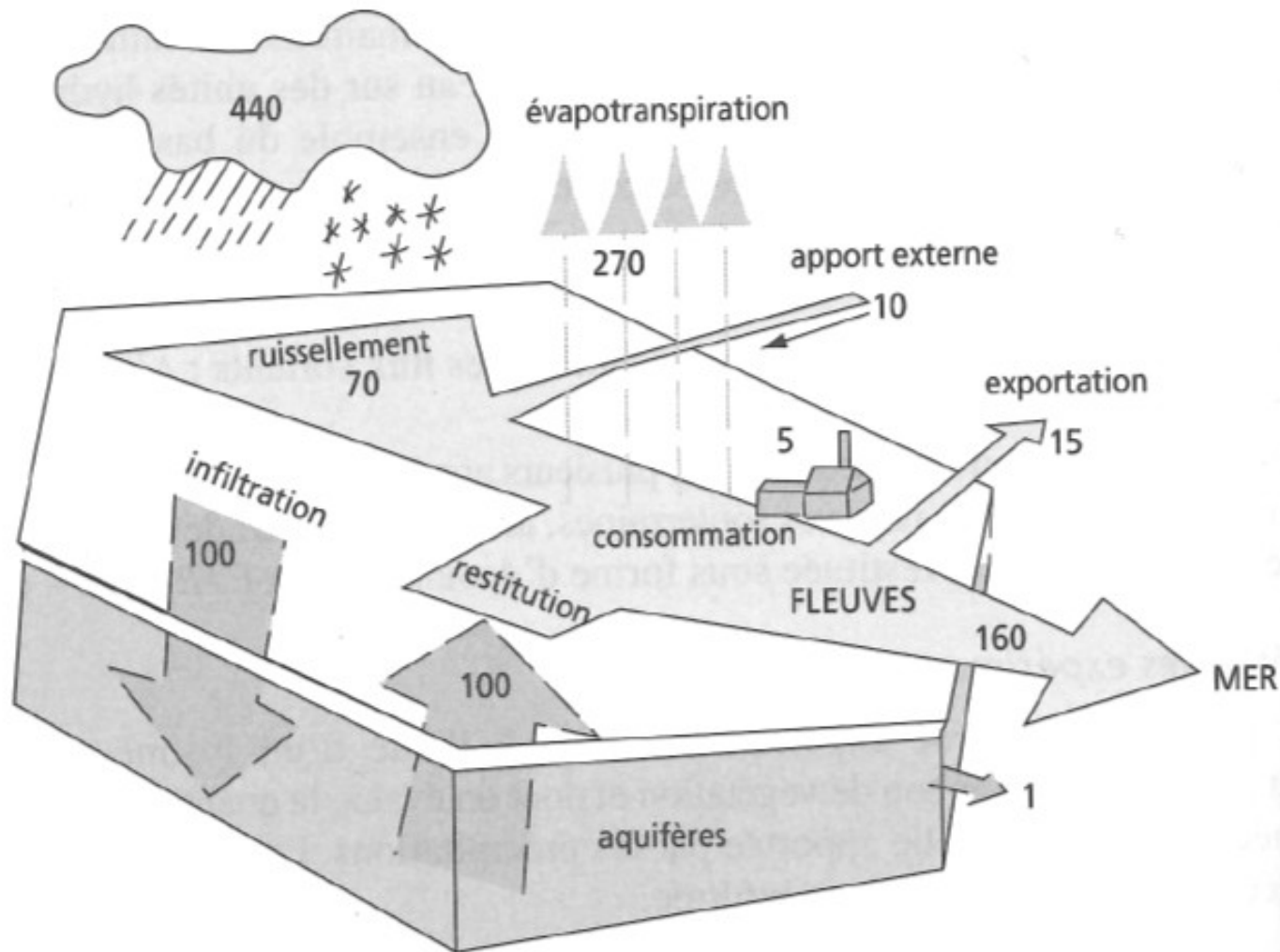


Figure 11 Bilan annuel de l'eau en France.

[4]

Précipitations efficaces 40 %

60 %

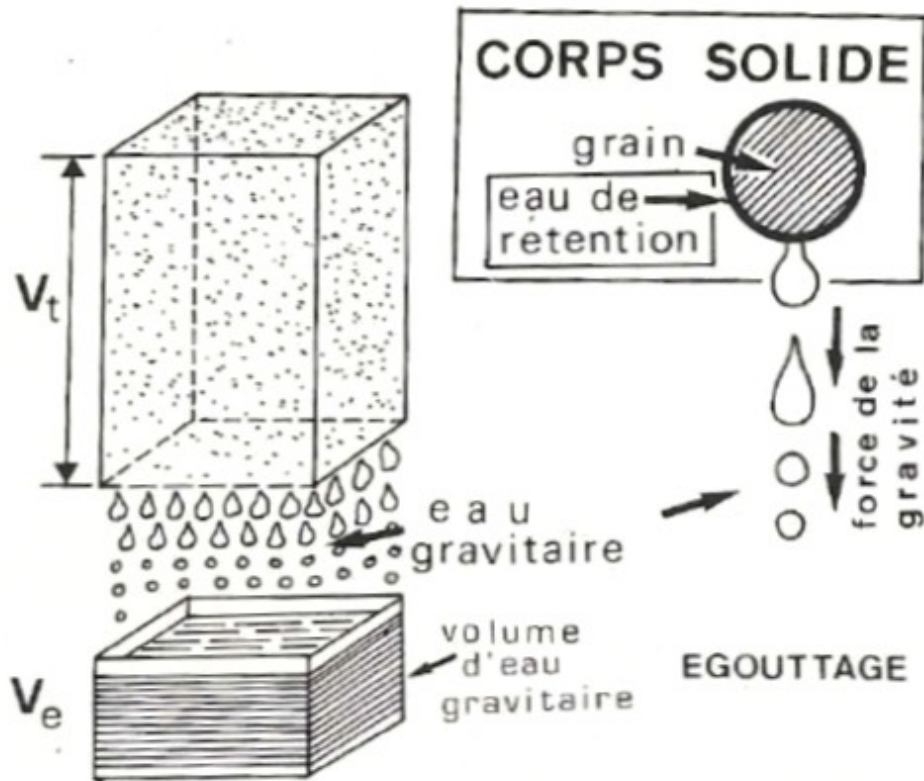
Précipitations = (Eau d'infiltration + eau de ruissellement) + Evapotranspiration réelle

↳ Eau pouvant alimenter les nappes souterraines

Comment l'eau se présente-t-elle dans les roches ?

$$\text{Porosité} = \frac{\text{Volume de pores}}{\text{Volume total (V}_t\text{)}}$$

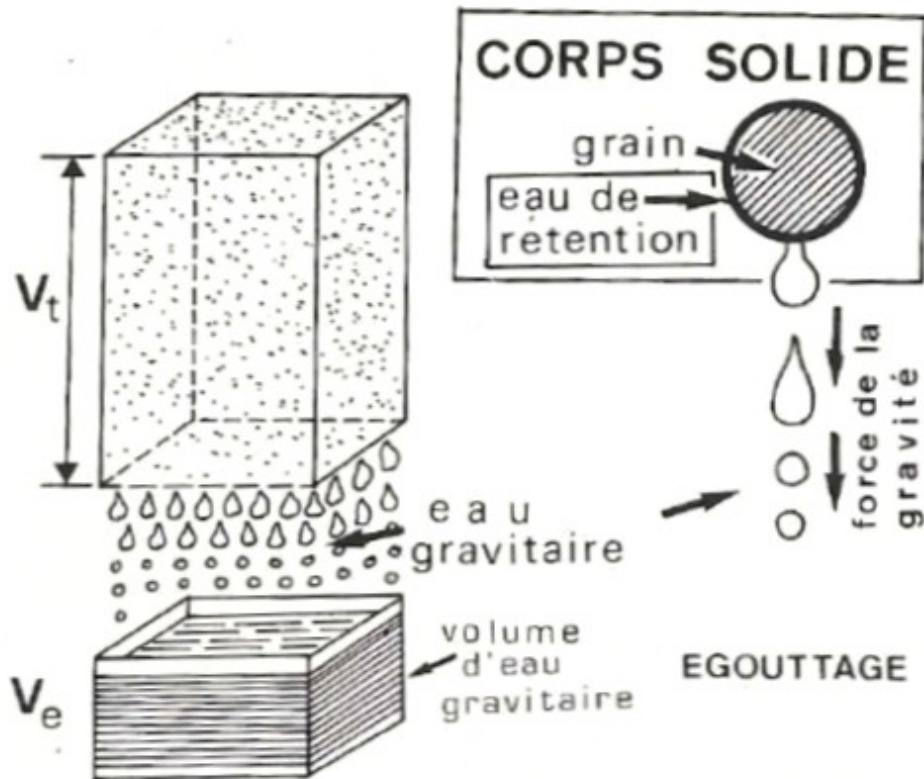
$$\text{Porosité efficace} = \frac{\text{Volume d'eau gravitaire (V}_e\text{)}}{\text{Volume total}}$$



Comment l'eau se présente-t-elle dans les roches ?

$$\text{Porosité} = \frac{\text{Volume de pores}}{\text{Volume total (V}_t\text{)}}$$

$$\text{Porosité efficace} = \frac{\text{Volume d'eau gravitaire (V}_e\text{)}}{\text{Volume total}}$$

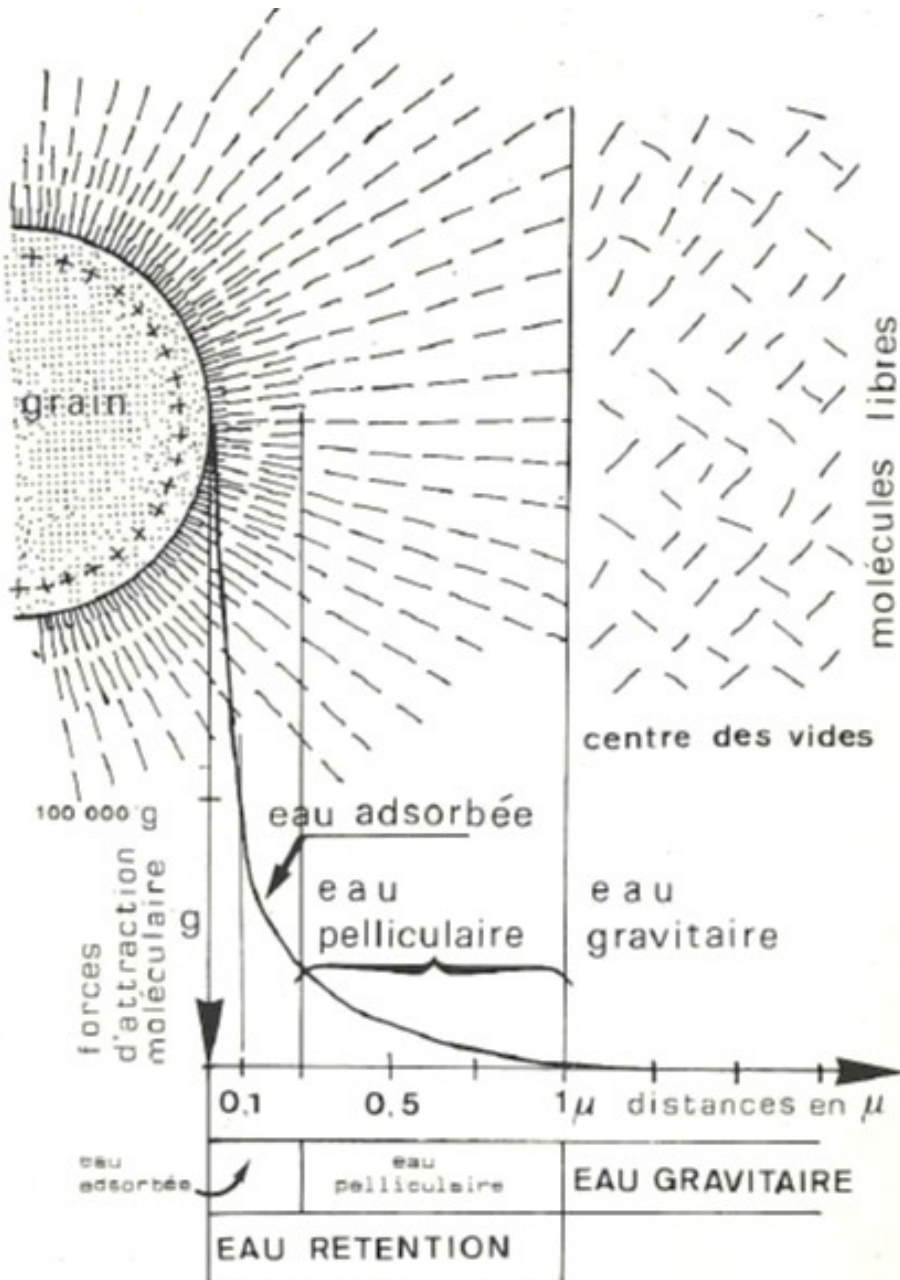


Exercice 2 du TD

Type de sédiment	Diamètre des grains (mm)	Porosité (%)	Porosité efficace (%)	K (m/s)
Gravier moyen	2,5	45	40	3.10^{-1}
Sable gros	0,250	38	34	2.10^{-3}
Sable moyen	0,125	40	30	6.10^{-4}
Sable fin	0,09	40	28	7.10^{-4}
Sable très fin	0,045	40	24	2.10^{-5}
Sable silteux	0,005	32	5	1.10^{-9}
Silt	0,003	36	3	3.10^{-8}
Argiles	0,0002	47	-	$*5.10^{-10}$

* : valeur calculée

Différents facteurs influant sur la porosité efficace : - Diamètre des grains
 - Arrangement des grains
 - Surface spécifique des grains



Part de l'eau n'est pas disponible dans la roche car elle est liée au grain : elle ne peut s'écouler ni être pompée : **eau de rétention**

Précipitations totales

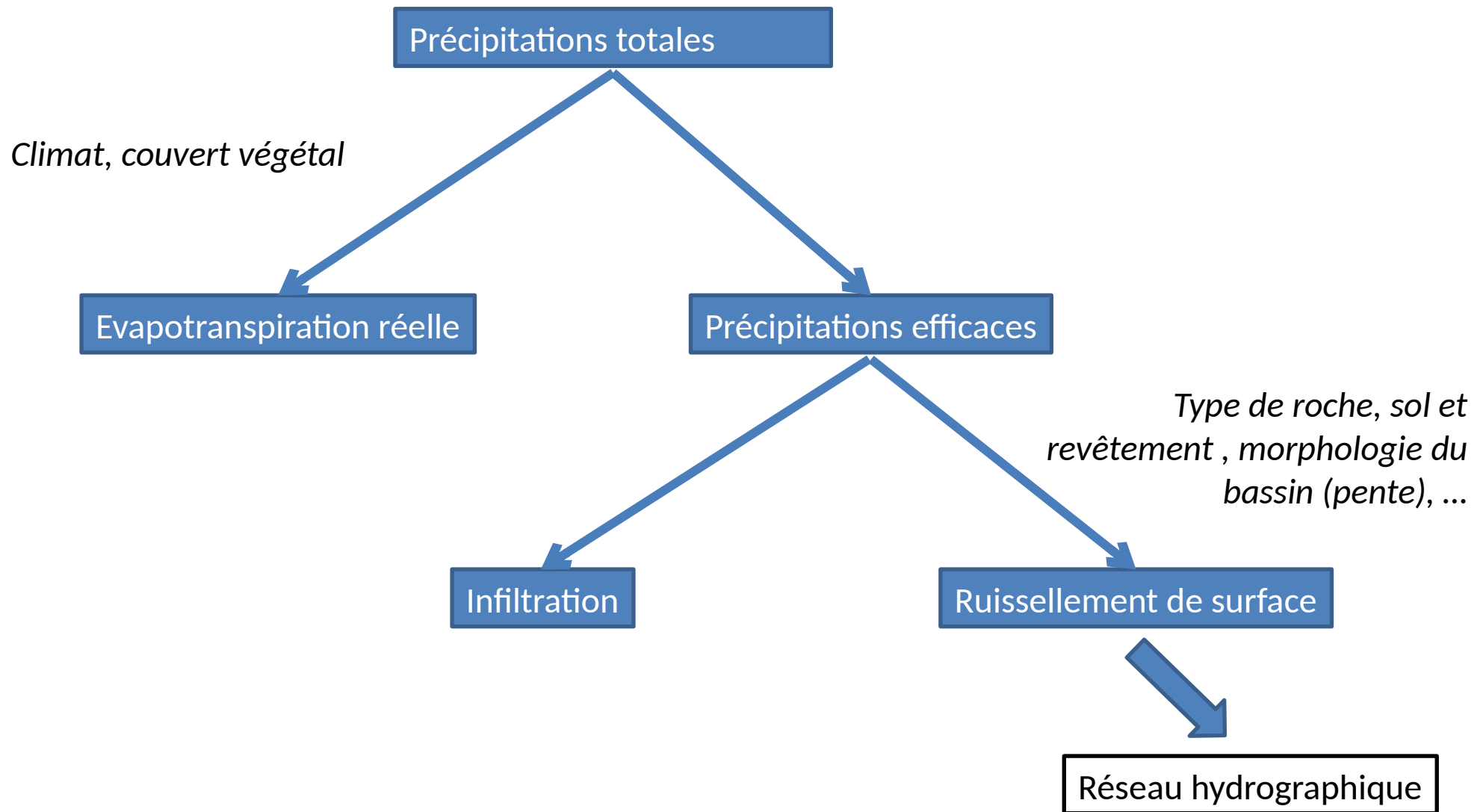
Précipitations totales

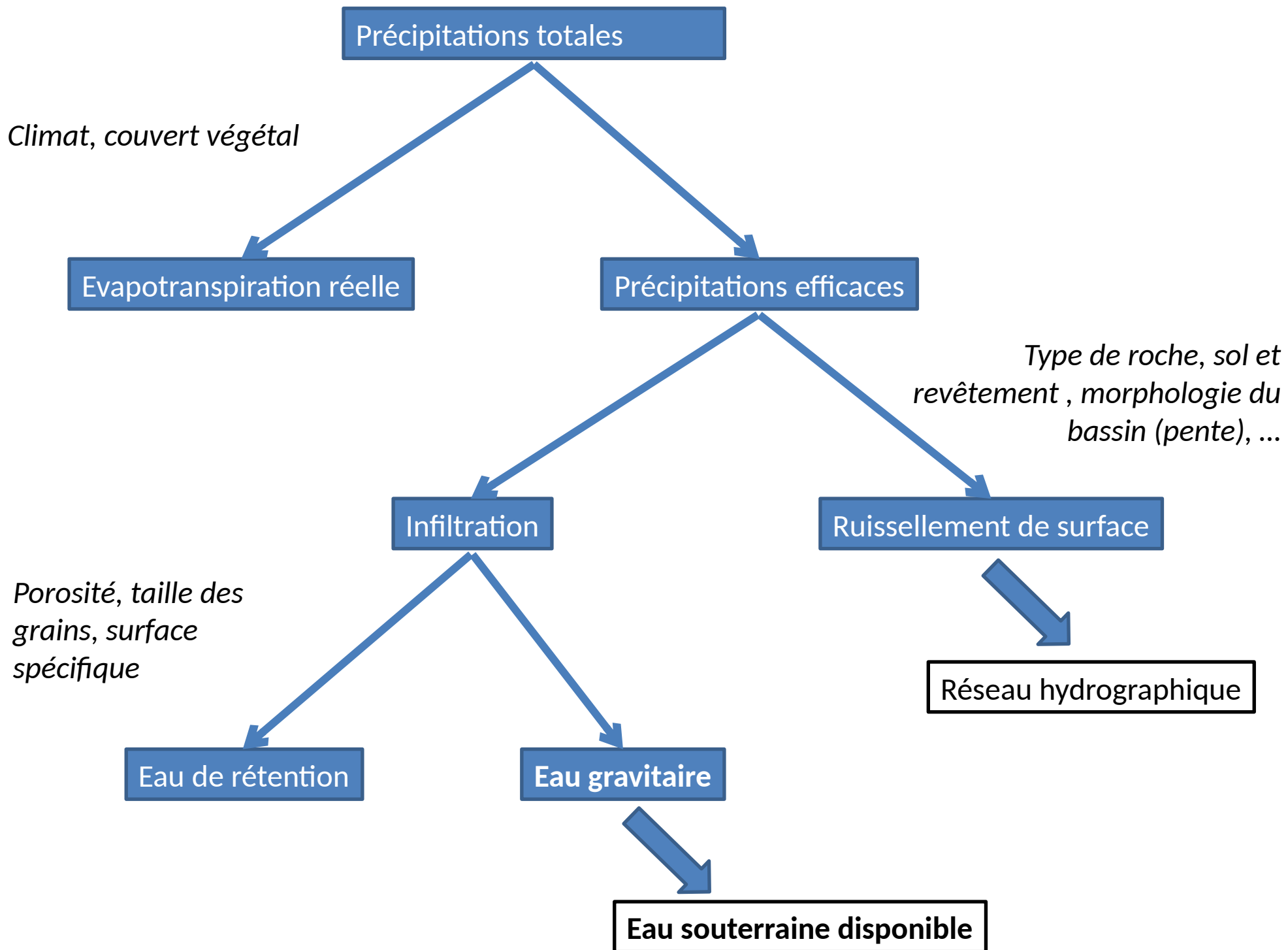
```
graph TD; A[Précipitations totales] --> B[Evapotranspiration réelle]; A --> C[Précipitations efficaces];
```

Climat, couvert végétal

Evapotranspiration réelle

Précipitations efficaces





Aquifère : « Structure géologique **perméable** contenant de l'eau. Issue de l'**infiltration**, l'eau contenue dans un aquifère circule dans le sous-sol et nourrit une ou plusieurs sources, ou se déverse de manière occulte dans un milieu récepteur [...]. Un aquifère est caractérisé par sa géométrie, sa superficie et sa profondeur, et par ses caractéristiques intrinsèques à la **roche dont il est formé** : lithologie, porosité, perméabilité, fracturation, homogénéité, etc. » [[4] p.23]

Nappe souterraine : « Ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère, dont toutes les parties sont en liaison hydraulique »

Aquifère : « Structure géologique **perméable** contenant de l'eau. Issue de l'**infiltration**, l'eau contenue dans un aquifère circule dans le sous-sol et nourrit une ou plusieurs sources, ou se déverse de manière occulte dans un milieu récepteur [...]. Un aquifère est caractérisé par sa géométrie, sa superficie et sa profondeur, et par ses caractéristiques intrinsèques à la **roche dont il est formé** : lithologie, porosité, perméabilité, fracturation, homogénéité, etc. » [[4] p.23]

Nappe souterraine : « Ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère, dont toutes les parties sont en liaison hydraulique »

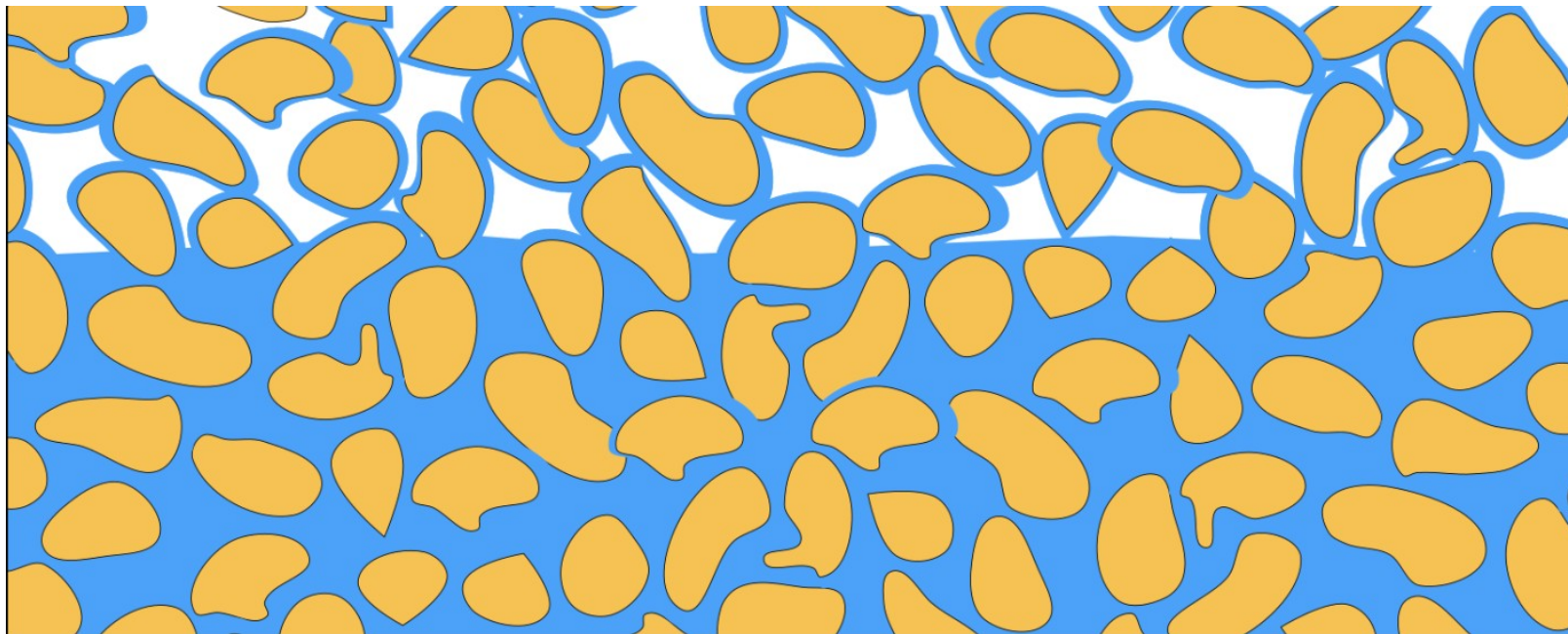
→ Un bassin contient un ou plusieurs aquifères

Aquifère : « Structure géologique **perméable** contenant de l'eau. Issue de l'**infiltration**, l'eau contenue dans un aquifère circule dans le sous-sol et nourrit une ou plusieurs sources, ou se déverse de manière occulte dans un milieu récepteur [...]. Un aquifère est caractérisé par sa géométrie, sa superficie et sa profondeur, et par ses caractéristiques intrinsèques à la **roche dont il est formé** : lithologie, porosité, perméabilité, fracturation, homogénéité, etc. » [[4] p.23]

Nappe souterraine : « Ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère, dont toutes les parties sont en liaison hydraulique »

→ Un bassin contient un ou plusieurs aquifères

→ Un aquifère contient une nappe mais peut aussi comporter des parties non saturées



Zone non saturée
de l'aquifère

Nappe
souterraine

→ *Comment se déplace l'eau dans la roche ?*



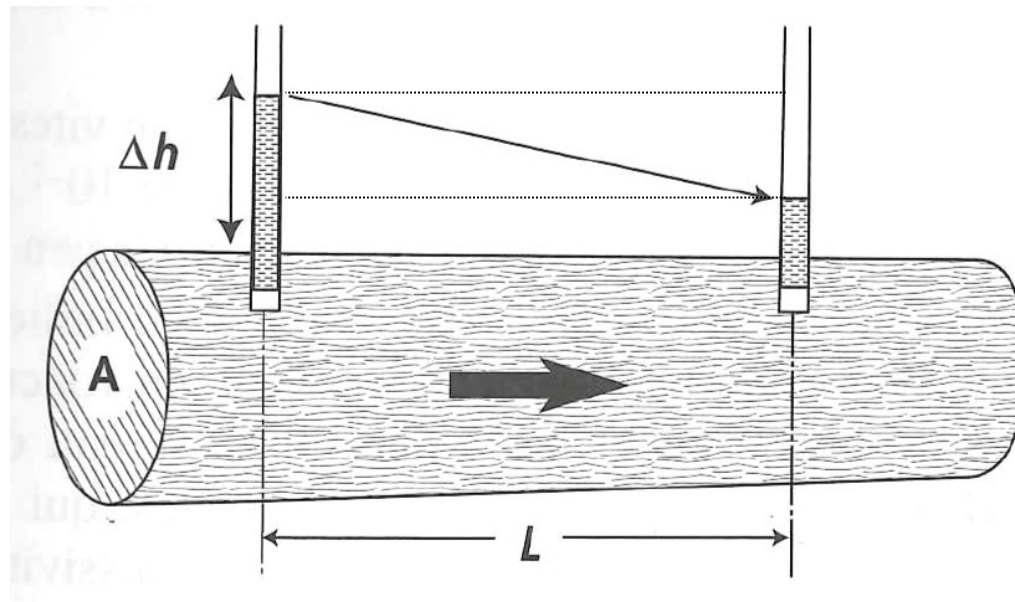
La loi expérimentale de Darcy, qui régit les flux d'eau en milieu poreux :

$$Q = K A \frac{\Delta h}{L}$$

Débit ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

Conductivité hydraulique ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

i : Gradient hydraulique



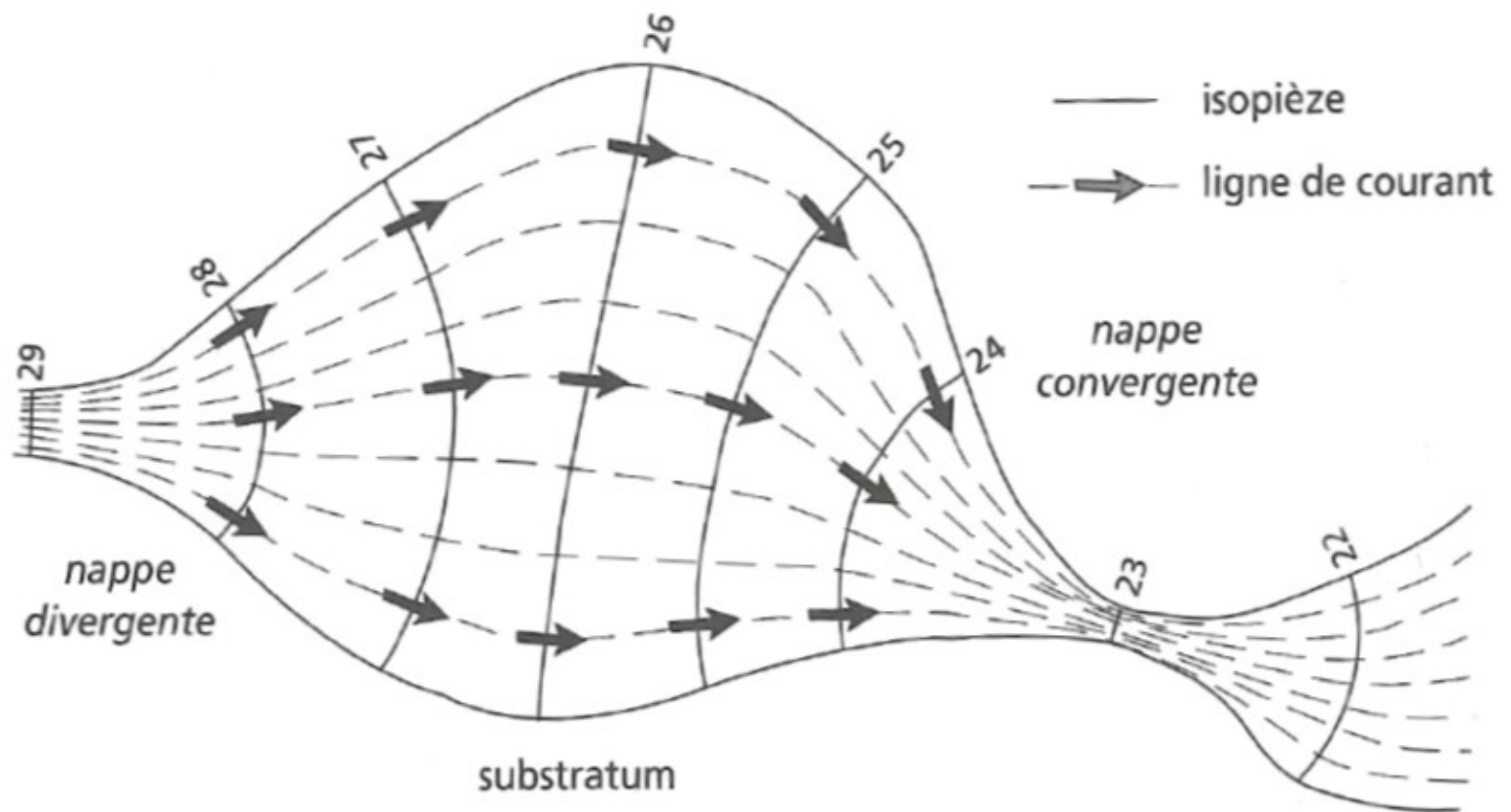


Figure 20 Allure de la surface piézométrique et lignes de courant.

Gradient hydraulique permet de dessiner des lignes de courant perpendiculaires aux isopièzes



Exercice 3

TABEAU 14 VOLUMES PRÉLEVÉS EN 2001 PAR USAGES DE L'EAU EN FRANCE (EN MILLIONS DE M³)
(D'APRÈS LE RÉSEAU NATIONAL DES DONNÉES SUR L'EAU, 2004).

Type d'usage	Nature de la ressource	Rhône-Méditerranée-Corse	Rhin-Meuse	Loire-Bretagne	Seine-Normandie	Adour-Garonne	Artois-Picardie	FRANCE
Production d'eau potable	Eaux superficielles	474	53	466	788	456	17	2 253
	Eaux souterraines	1 288	328	542	938	287	330	3 713
Usage industriel	Eaux superficielles	494	482	135	492	386	181	2 170
	Eaux souterraines	568	413	76	209	103	111	1 480
Irrigation	Eaux superficielles	2 814	9	154	9	670	1	3 658
	Eaux souterraines	196	70	351	107	361	24	1 110
Énergie	Eaux superficielles	12 705	3 706	1 909	539	281	1	19 141
	Eaux souterraines	18	< 1	< 1	< 1	< 1	<1	19

Quelles eaux pour quels usages ?

TABEAU 14 VOLUMES PRÉLEVÉS EN 2001 PAR USAGES DE L'EAU EN FRANCE (EN MILLIONS DE M³)
(D'APRÈS LE RÉSEAU NATIONAL DES DONNÉES SUR L'EAU, 2004).

Type d'usage	Nature de la ressource	Rhône-Méditerranée-Corse	Rhin-Meuse	Loire-Bretagne	Seine-Normandie	Adour-Garonne	Artois-Picardie	FRANCE
Production d'eau potable	Eaux superficielles	474	53	466	788	456	17	2 253
	Eaux souterraines	1 288	328	542	938	287	330	3 713
Usage industriel	Eaux superficielles	494	482	135	492	386	181	2 170
	Eaux souterraines	568	413	76	209	103	111	1 480
Irrigation	Eaux superficielles	2 814	9	154	9	670	1	3 658
	Eaux souterraines	196	70	351	107	361	24	1 110
Énergie	Eaux superficielles	12 705	3 706	1 909	539	281	1	19 141
	Eaux souterraines	18	< 1	< 1	< 1	< 1	<1	19

L'eau souterraine est majoritairement utilisée comme eau de boisson, et très peu pour l'énergie

Pollution : Modification de l'eau qui la rend impropre à une utilisation ou dangereuse pour l'environnement.

Tableau 35 - Normes françaises de l'eau potable

Substances	Teneurs limites maximums mg/l
Minéralisation totale	1 000
Chlorures en Cl	250
Sulfates en SO ₄	350
Nitrates en N	10
Nitrates en NO ₃	44
Magnésium	125
Dureté : 30 degrés français	
Micropolluants	traces
Sélénium	0,05
Plomb	0,1
Fluorures en F	1
Arsenic	0,5
Cuivre	1
Fer en Fe	0,2
Manganèse	5
Microorganismes pathogènes	0

Pollution peut être naturelle
mais est généralement d'origine
anthropique (domestique,
agricole, industrielle)

Pollution : Modification de l'eau qui la rend impropre à une utilisation ou dangereuse pour l'environnement.

Tableau 35 - Normes françaises de l'eau potable

Substances	Teneurs limites maximums mg/l
Minéralisation totale	1 000
Chlorures en Cl	250
Sulfates en SO ₄	350
Nitrates en N	10
Nitrates en NO ₃	44
Magnésium	125
Dureté : 30 degrés français	
Micropolluants	traces
Sélénium	0,05
Plomb	0,1
Fluorures en F	1
Arsenic	0,5
Cuivre	1
Fer en Fe	0,2
Manganèse	5
Microorganismes pathogènes	0

Pollution peut être naturelle
mais est généralement d'origine
anthropique (domestique,
agricole, industrielle)

Exemples de pollution ?

3 classes de polluants :

- *Polluants physiques* :
 - Température
 - Microparticules solides
 - Radioactivité

3 classes de polluants :

- *Polluants physiques* : -Température
 - Microparticules solides
 - Radioactivité
- *Polluants organiques* : -Microorganismes pathogènes (*E. coli*, enterocoques, ...)

3 classes de polluants :

- *Polluants physiques* : -Température
- Microparticules solides
-Radioactivité
- *Polluants organiques* : -Microorganismes pathogènes (*E. coli*, enterocoques, ...)
- *Polluants chimiques* : -Sels minéraux dissous. Ex : Nitrates parmi les plus nocifs

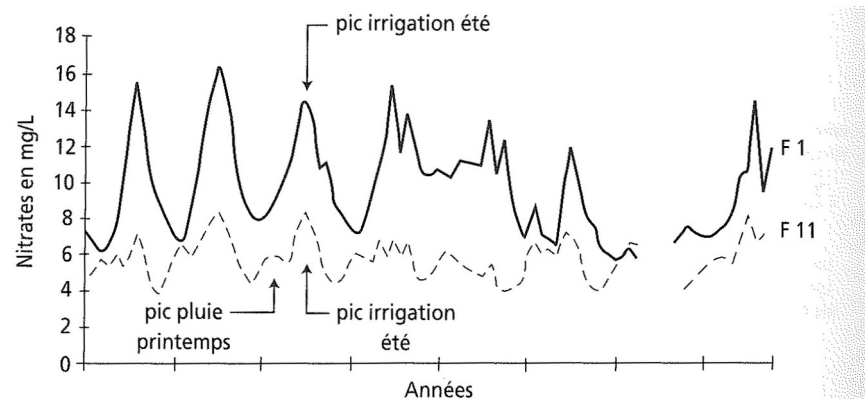
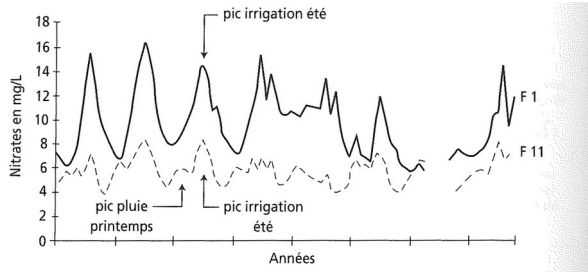
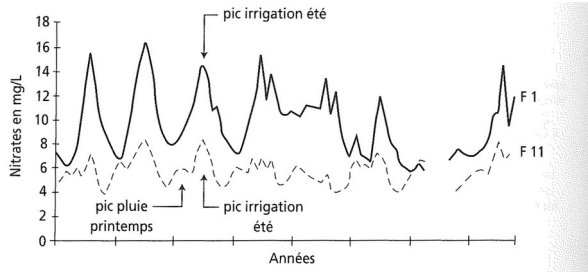


Figure 107 Fluctuation saisonnière des teneurs en nitrate dans la plaine alluviale d'Avignon (d'après les données de la S^te Avignonnaise des Eaux).

3 classes de polluants :

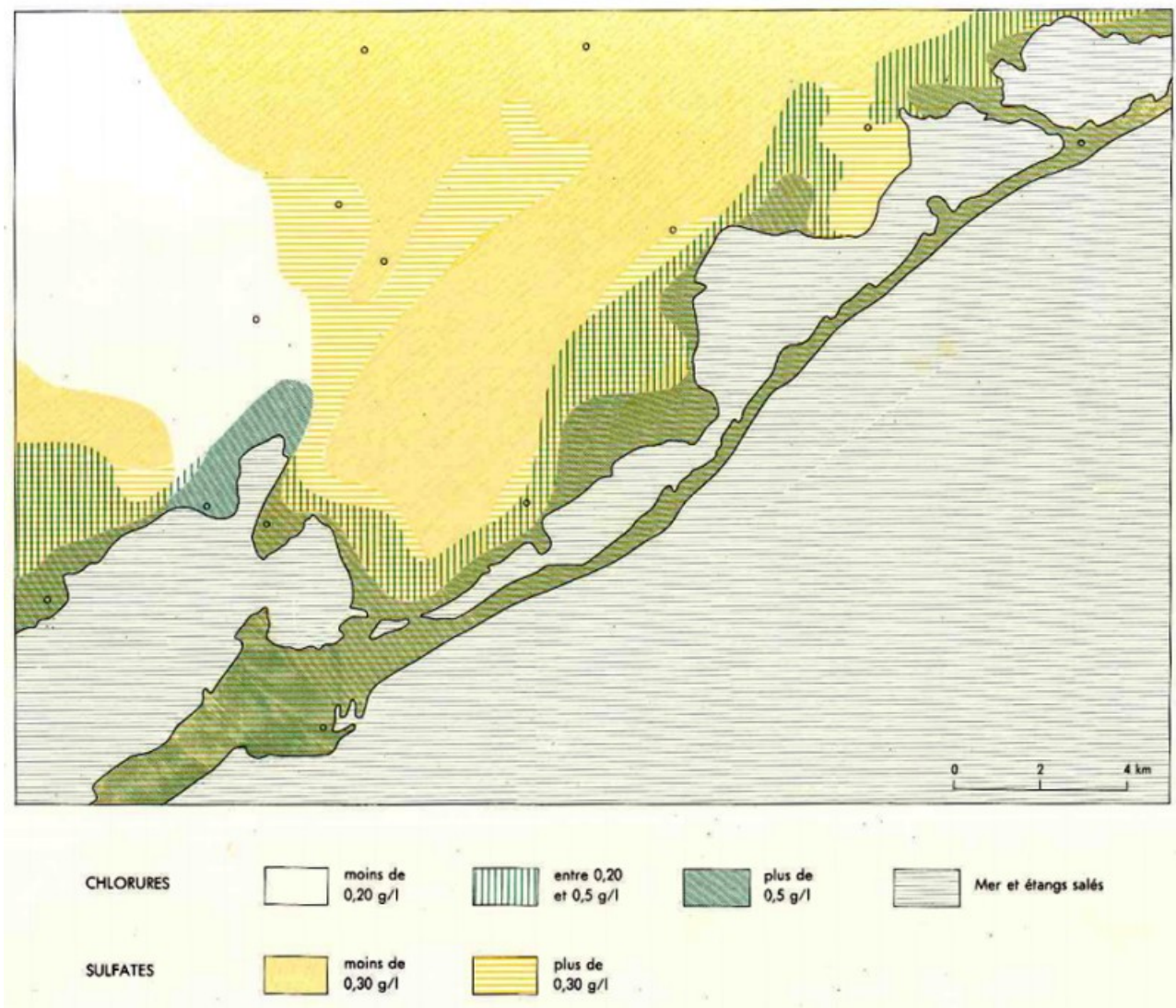
- *Polluants physiques* : -Température
- Microparticules solides
-Radioactivité
 - *Polluants organiques* : -Microorganismes pathogènes (*E. coli*, enterocoques, ...)
 - *Polluants chimiques* : -Sels minéraux dissous. Ex : Nitrates parmi les plus nocifs
- 
- Figure 107 Fluctuation saisonnière des teneurs en nitrate dans la plaine alluviale d'Avignon (d'après les données de la S^{ie} Avignonnaise des Eaux).
- à très faible teneur). Ex : Arsenic à l'origine d'empoisonnement massif de l'eau au Bangladesh (DPLS 2008)
- Hydrocarbures

3 classes de polluants :

- *Polluants physiques* : -Température
- Microparticules solides
-Radioactivité
 - *Polluants organiques* : -Microorganismes pathogènes (*E. coli*, enterocoques, ...)
 - *Polluants chimiques* : -Sels minéraux dissous. Ex : Nitrates parmi les plus nocifs
- 
- Figure 107 Fluctuation saisonnière des teneurs en nitrate dans la plaine alluviale d'Avignon (d'après les données de la S^{ie} Avignonnaise des Eaux).
- à très faible teneur). Ex : Arsenic à l'origine d'empoisonnement massif de l'eau au Bangladesh (DPLS 2008)
- Hydrocarbures

Attention, les polluants ne sont pas toujours d'origine humaine

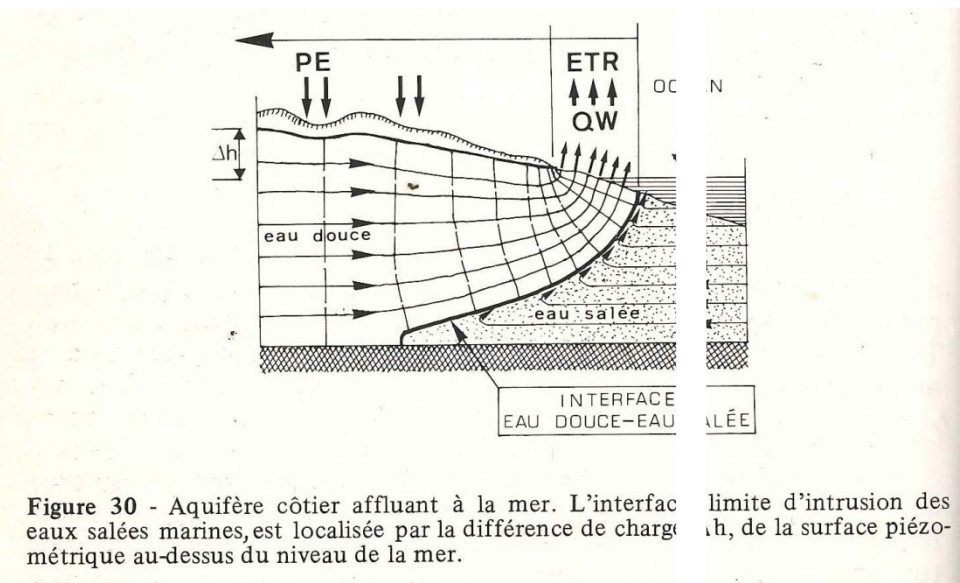
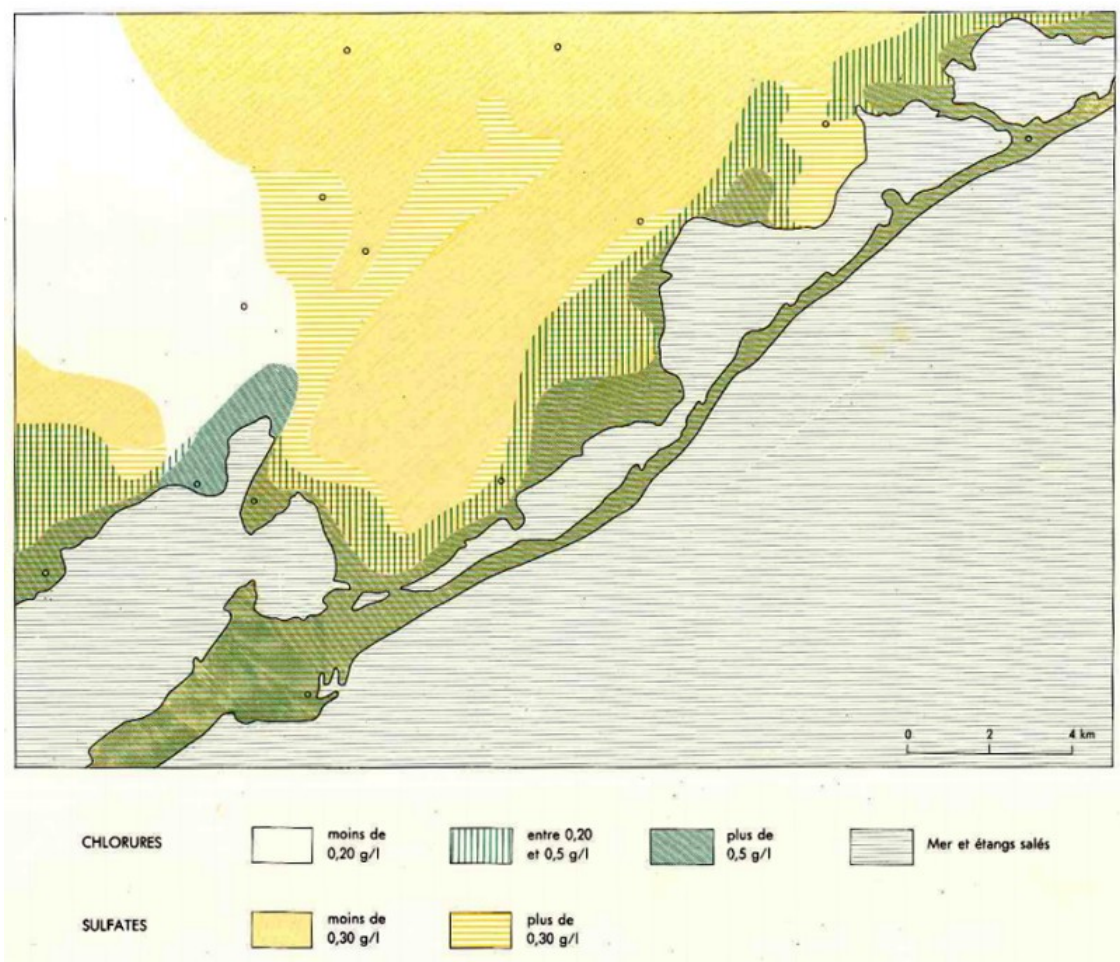
Carte de chimie des eaux de Sète



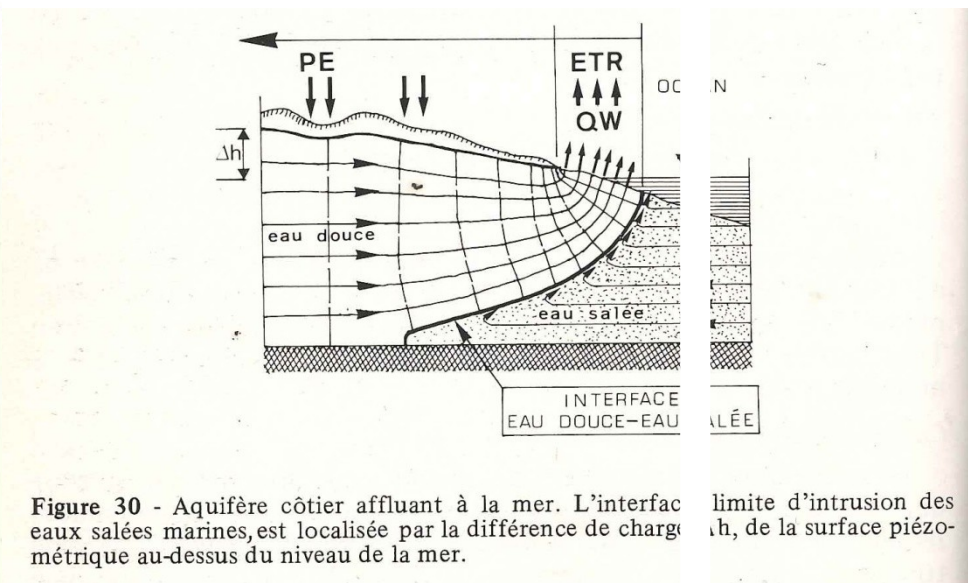
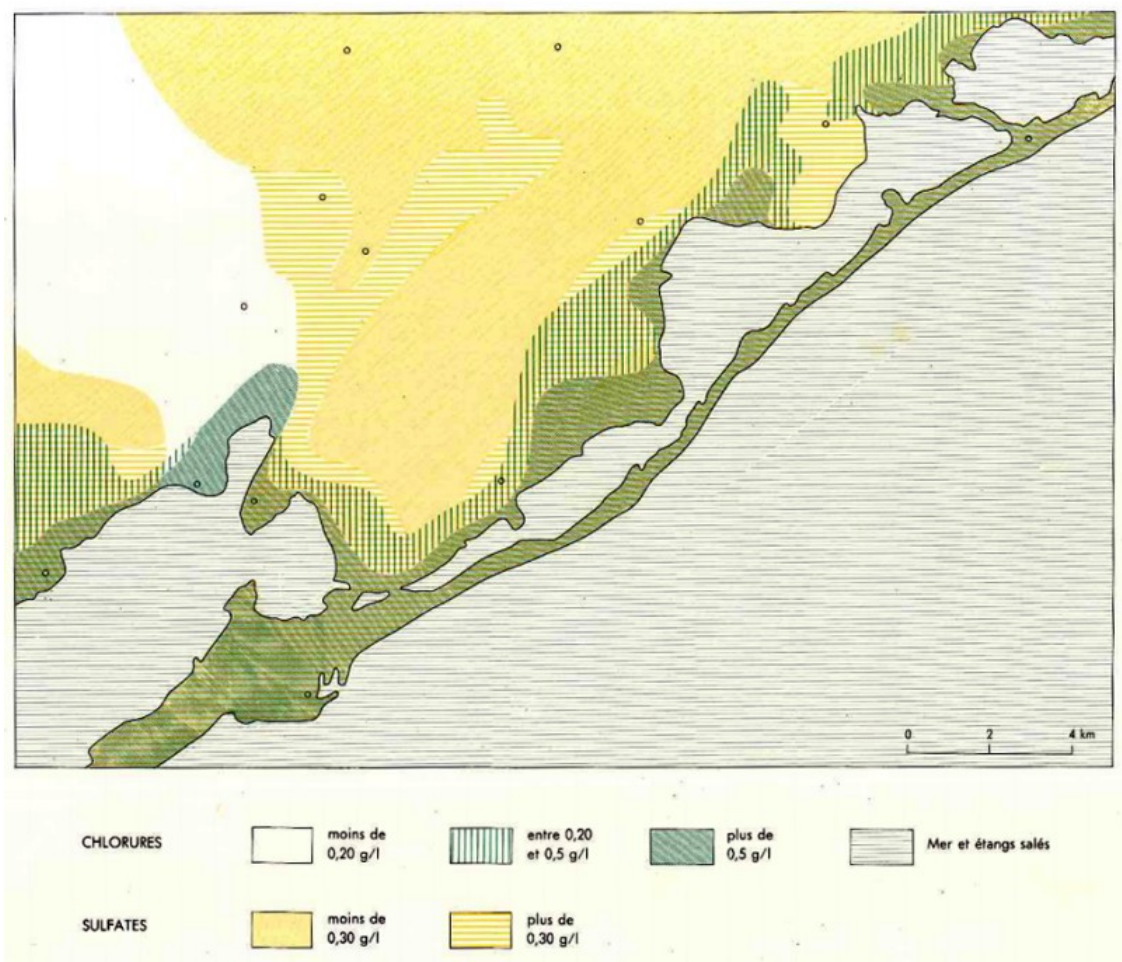
→ *Que pouvez vous dire des eaux douces du littoral de Sète ?*

→ *Comment pouvez vous expliquer la présence de sources d'eau douce sur les littoraux ?*

Carte de chimie des eaux de Sète



Carte de chimie des eaux de Sète



Différence de charge entraîne une sortie d'eau littorale
Présence d'une zone de mélange à la transition eau douce/
eau salée de géométrie complexe.

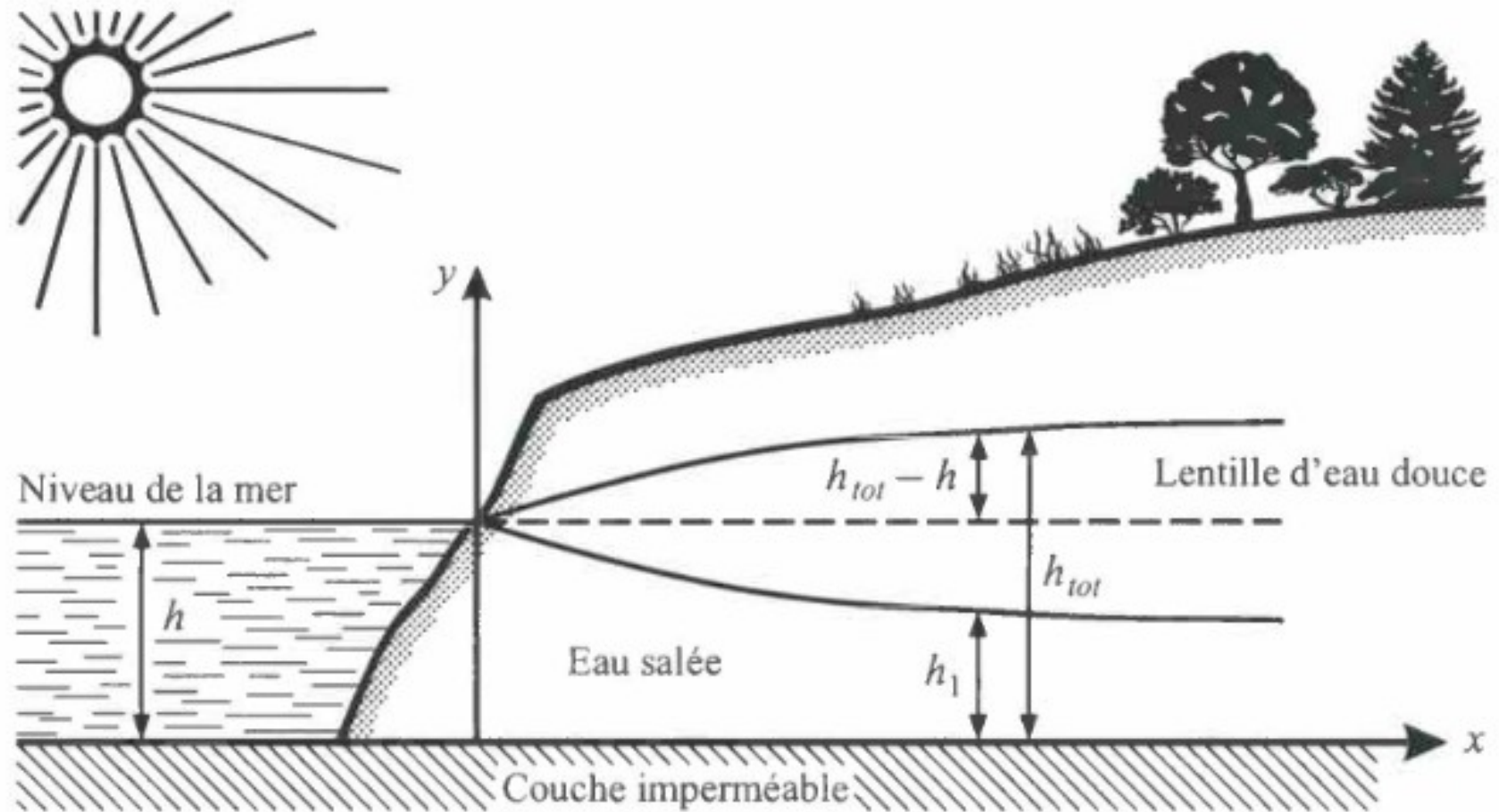
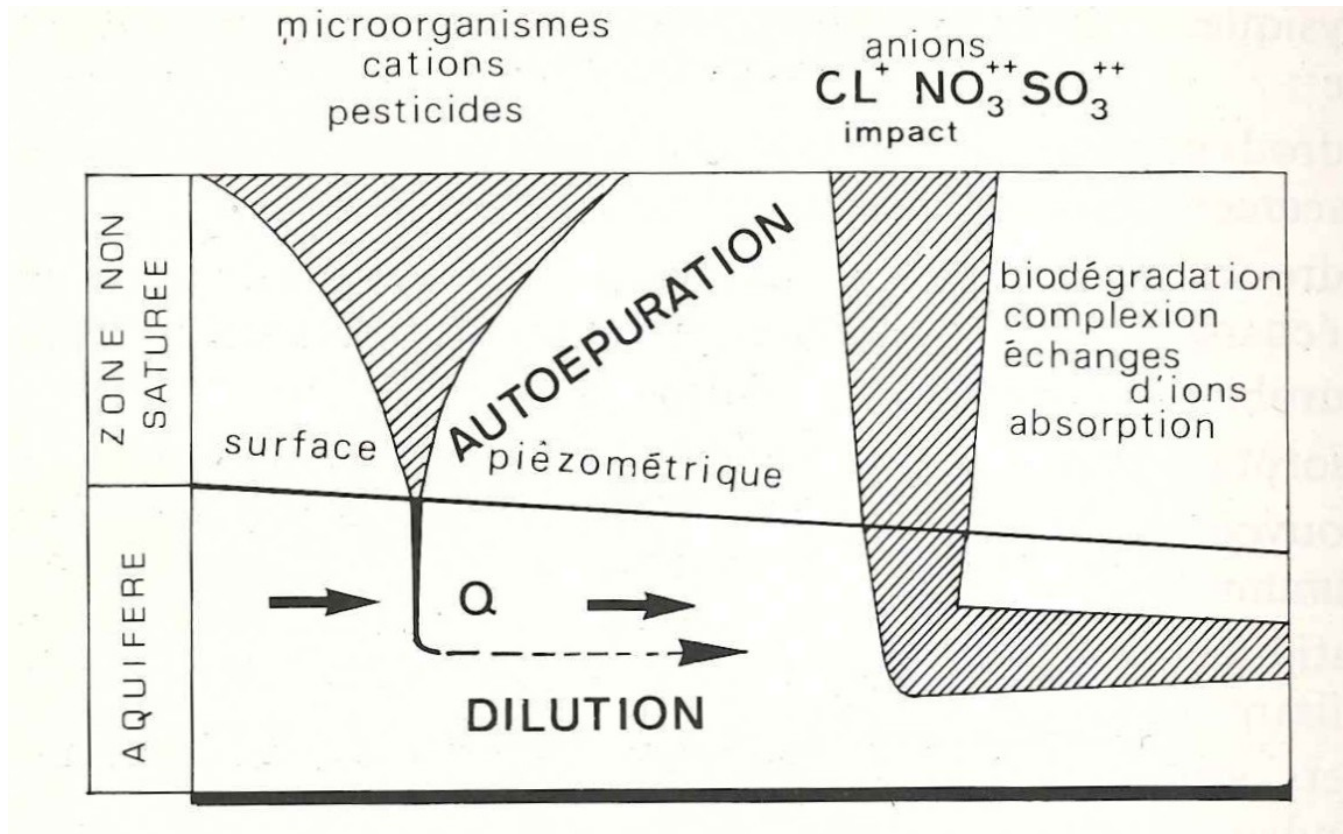


Figure 4.27 Nappe de bord de mer.

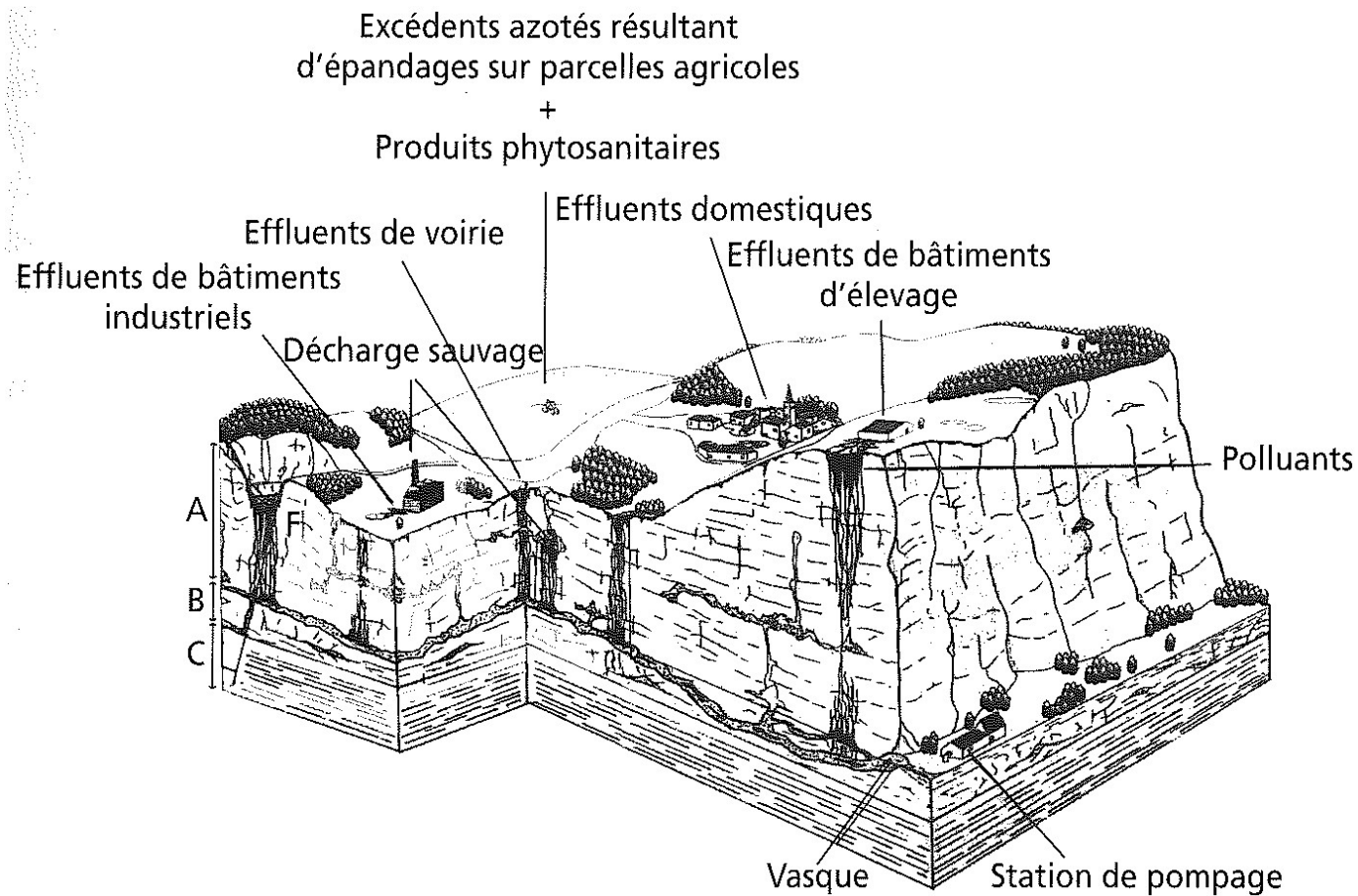
Plein d'autres sources possibles de pollution, naturelle ou anthropique
 → Pourquoi préférer les eaux souterraines aux eaux de surface ?

→ Phénomène d'auto-épuration

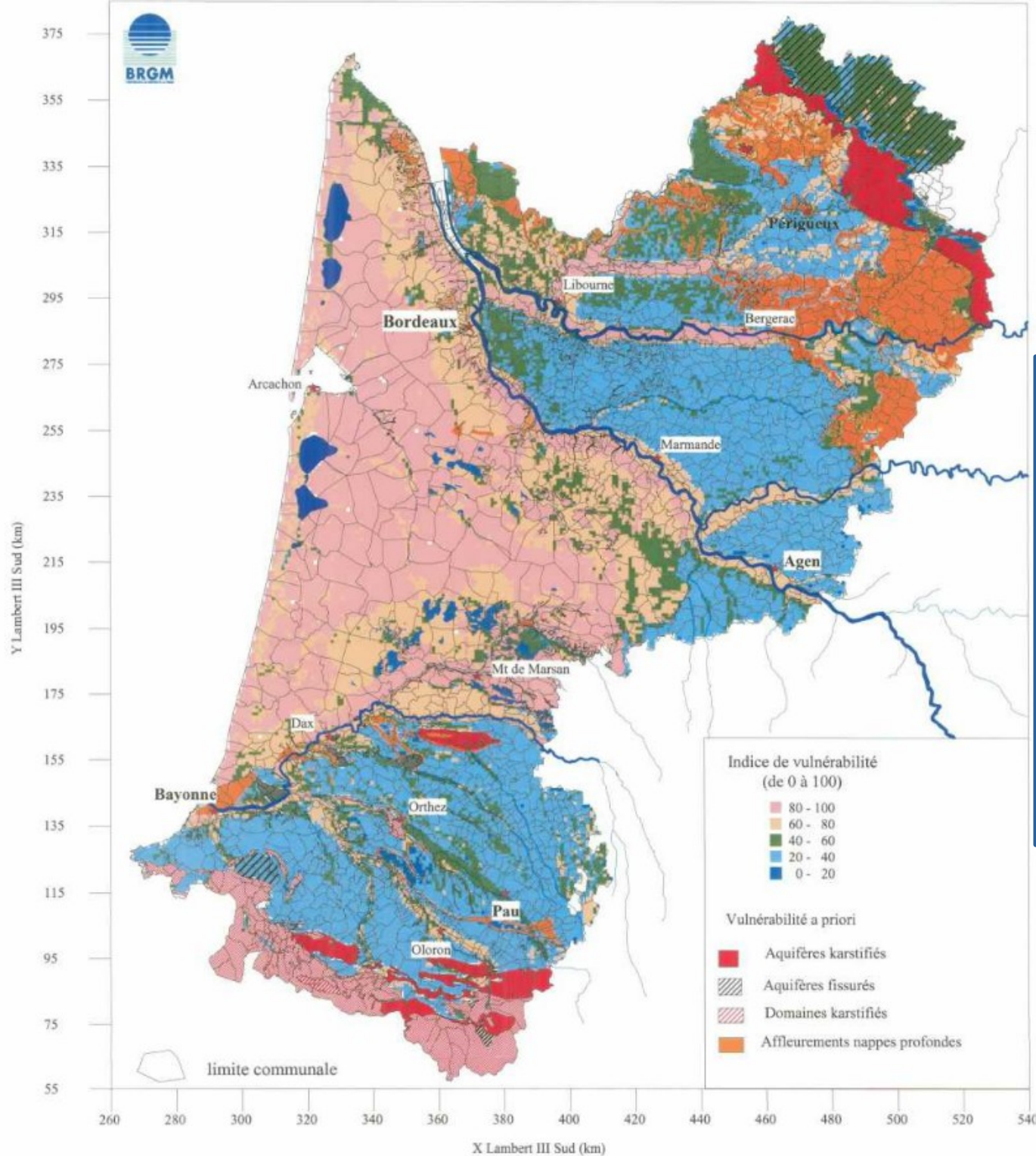


Certains polluants sont éliminés au cours de leur trajet dans la zone non saturés

Exemples de risque de pollution dans le cas d'un aquifère karstique



Attention, tous les aquifères ne sont pas égaux face à la pollution



La protection doit être réfléchi en lien avec la vulnérabilité de l'aquifère lui même, déterminé par la profondeur de la nappe, la vitesse de filtration de l'eau, la nature de la roche, ...

Cartographie de la vulnérabilité des systèmes aquifères de l'Aquitaine 2002, J. J. Seguin

Conclusion ?