

L'eau dans le milieu



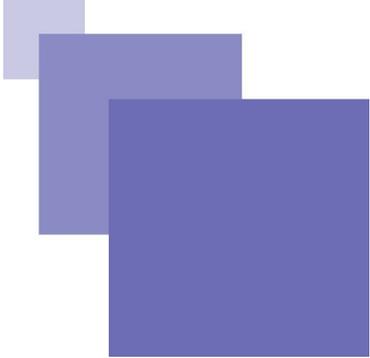
FRANÇOIS LAURENT ET NADIA DUPONT

Table des matières

Introduction	5
I - Déterminants naturels de la variabilité spatiale et temporelle de l'eau dans le milieu	7
A. L'eau dans le monde.....	7
1. Des précipitations inégales.....	7
2. Évaporation, pluie efficace et écoulement.....	9
3. De l'écoulement à la ressource en eau.....	11
B. Le contexte hydro-climatique et sa variabilité spatio-temporelle à l'échelle d'un pays ou d'une région.....	13
1. Exemple de la France métropolitaine.....	13
2. Exemple de la Guadeloupe.....	15
II - Différenciations eaux de surface/eaux souterraines	17
A. Introduction.....	17
B. Les eaux de surface.....	18
C. Les eaux souterraines.....	19
1. Quelques notions.....	19
2. 2 types de nappes souterraines.....	20
3. Les principaux réservoirs aquifères.....	21
4. L'exploitation des nappes souterraines en France.....	22
III - Zones humides et écologie des milieux aquatiques	23
A. Définitions et rôles.....	23
B. État et préservation.....	24
IV - Impacts des activités humaines sur les écoulements	27
A. Le rôle de l'occupation du sol.....	28
1. Présentation.....	28
2. L'agriculture.....	29
3. L'emprise de l'agriculture sur les bassins versants des grands fleuves du monde.....	29
4. L'urbanisation.....	30
B. Impact des aménagements de cours d'eau.....	31
1. La Volga : un cours d'eau très aménagé.....	31
2. Les impacts.....	33

C. Impacts des prélèvements d'eau sur les milieux aquatiques.....	34
V - Impacts des activités humaines sur la qualité de l'eau : pollutions	35
A. Typologie des polluants.....	36
B. Normes et classification.....	37
C. Les pollutions urbaines.....	37
D. Les pollutions d'origine agricole.....	38
E. De nouvelles techniques agricoles pour réduire les impacts de l'agriculture.....	40
VI - Bibliographie	43
VII - Questionnaires à Choix Multiples	45
Conclusion	51
Solution des exercices	53
Glossaire	57
Signification des abréviations	59
Bibliographie	61
Crédit des ressources	63

Introduction



Dans ce grain 1, les fondamentaux sur le cycle de l'eau seront présentés succinctement. L'ouvrage numérique introductif à l'environnement et au développement durable (UVED) peut être consulté pour un approfondissement plus important, notamment le chapitre « *Dynamique des ressources naturelles* » ([lien web¹](#)) et également le film Canal U ([lien web²](#)).

L'eau ne constitue une ressource pour l'homme que lorsqu'il y a une adéquation spatiale et temporelle entre l'eau disponible dans le milieu et les besoins d'une société. Si cette disponibilité fait défaut des aménagements sont réalisés pour :

- Transporter l'eau sur les lieux de consommation au moyen de canaux ou de canalisations ;
- Stocker l'eau pour la période d'usage au moyen de barrages.

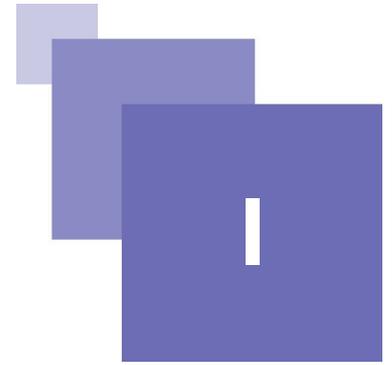
La quantité ne suffit pas pour répondre aux besoins, la qualité est également une condition nécessaire et fortement limitante pour des usages comme l'alimentation en eau potable ou certaines industries (agro-alimentaires, électronique).

Pour comprendre les problématiques d'usages de l'eau, il est donc nécessaire d'identifier, au préalable, les facteurs qui déterminent la variabilité spatiale et temporelle des flux d'eau.

1 - <http://www.uved.fr/ouvrage-numerique/differentes-entrees/entrees-module-2.html>

2 - http://www.canalu.tv/producteurs/universite_rennes_2_crea_cim/dossier_programmes/dynamique_des_ressources_naturelles

Déterminants naturels de la variabilité spatiale et temporelle de l'eau dans le milieu



L'eau dans le monde

7

Le contexte hydro-climatique et sa variabilité spatio-temporelle à l'échelle d'un pays ou d'une région

13

Clés de compréhension

1. La variabilité de la ressource en eau s'explique par des facteurs naturels et sociaux
2. La lecture de cette variabilité spatiale et temporelle peut s'effectuer à différentes échelles
3. Les inégalités de la ressource induisent des espaces et/ou des périodes de stress voire de pénurie d'eau

A. L'eau dans le monde

1. Des précipitations inégales

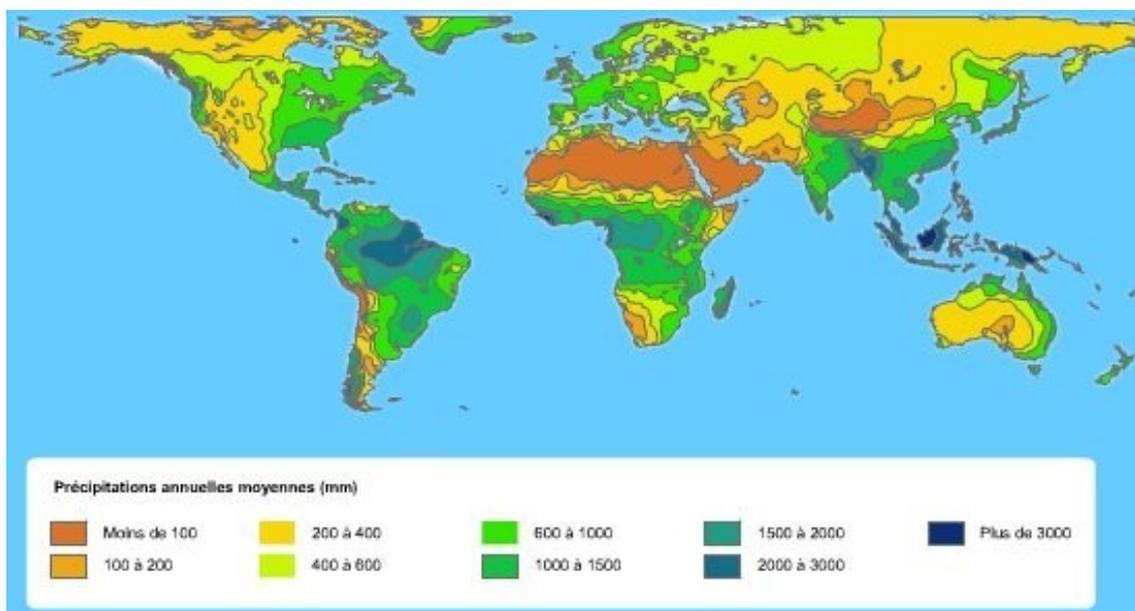
La distribution des ressources en eau dans le monde est très inégale, elle est déterminée par différents facteurs climatiques et géologiques.



Les précipitations sont le premier déterminant fondamental, en matière de volume et de distribution temporelle.

a) Précipitations annuelles moyennes

Commençons par observer la carte mondiale des précipitations de l'UNEP :



Précipitations annuelles moyennes

- Les régions sèches recevant moins de 400 mm/an :
 - elles correspondent aux déserts chauds et à leurs marges mais aussi aux déserts froids des latitudes polaires ;
 - elles se situent dans les zones sub-tropicales (Sahara, péninsule arabique, sud de l'Iran, Kalahari...), au cœur des continents (Asie centrale, Australie...), le long de littoraux balayés de courants froids (désert chilo-péruvien...), en situation d'abri orographique (Montagnes Rocheuses, Tibet...) ou aux hautes latitudes (nord du Canada et Sibérie).
- A l'opposé, les régions les plus arrosées, avec plus de 1000 mm/an, se répartissent :
 - Le long de l'équateur et jusqu'aux tropiques ;
 - Sur les façades orientales des continents pour la zone subtropicale et sur les façades occidentales en zone tempérée.
 - Sur les versants montagneux soumis aux flux océaniques où le volume des précipitations est accru (avec plus de 10 000 mm/an dans certaines montagnes tropicales).

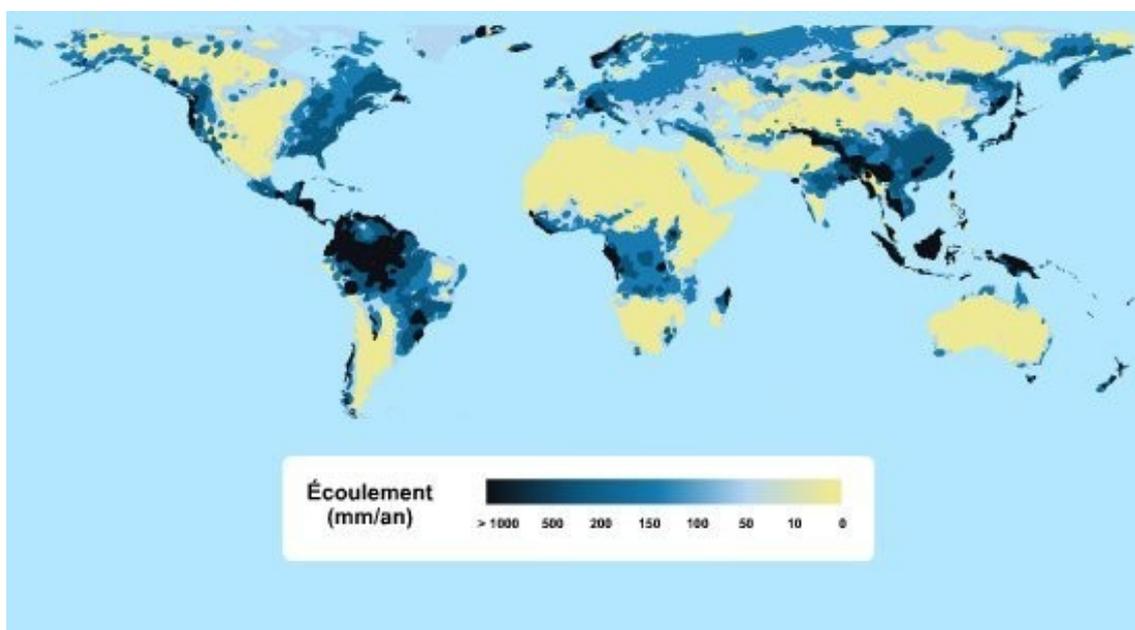
nommée également « *lame d'eau écoulée* » ou encore « *écoulement* ». Elle est exprimée en mm par unité de temps (mm.j-1, mm.mois-1 ou mm.an-1) ou en débit spécifique qui est le volume écoulé par unité de temps et d'espace (l.s-1.km-2).



Remarque

Seule une fraction mineure des masses écoulées constitue réellement une ressource car une grande partie est difficilement accessible ou transite durant une période où les besoins sont réduits ; pourtant l'écoulement est souvent désigné comme la « *ressource en eau renouvelable* », comme nous le verrons dans les cartes suivantes.

Il serait plus juste de prendre comme ressource en eau renouvelable l'écoulement de base. Cet écoulement est assuré durant la plus grande partie de l'année grâce à la vidange des nappes souterraines dans les cours d'eau ; mais il est plus difficile à estimer car il dépend de processus souterrains propres à chaque bassin versant.



Écoulement (mm/an)

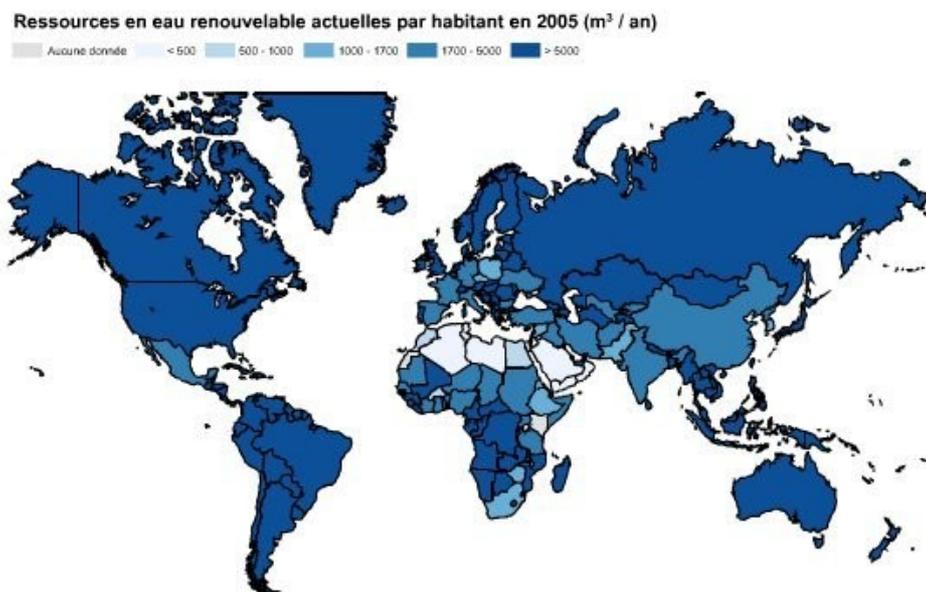
Analyse de la carte de l'écoulement dans le monde

- Cette carte diffère de celle des précipitations car elle intègre l'évapotranspiration potentielle, ainsi :
 - Les zones froides disposent d'un écoulement important bien qu'elles soient sèches.
 - À précipitations égales, l'écoulement diminue avec la latitude.
- 9 pays se répartissent les deux tiers de l'écoulement mondial : Brésil, Russie, Chine, Canada, Indonésie, États-unis, Inde, Colombie et République Démocratique du Congo.
- Les zones arides sont les zones avec de faibles précipitations et une forte évaporation ; elles couvrent le tiers des terres émergées et ne disposent que de 2% de l'écoulement mondial.

Note : par définition, les zones arides sont les espaces où le rapport P/ETP est inférieur à 0,5 avec P : précipitations annuelles moyennes et ETP : évapotranspiration potentielle annuelle moyenne

3. De l'écoulement à la ressource en eau

a) Ressources en eau renouvelables par habitant



Ressources en eau renouvelable actuelles par habitant en 2005 (m3/an)

Pour estimer la ressource en eau, la distribution de l'écoulement doit être confrontée à la répartition de la population.

- Les experts estiment que :
 - À moins de 1 700 m³.hab-1.an-1, il y a stress en eau.
 - À moins de 1 000 m³.hab-1.an-1, il y a pénurie d'eau, c'est-à-dire que le développement est fortement contraint par la disponibilité en eau et que des technologies d'économie et de recyclage de l'eau sont incontournables pour répondre à la demande.

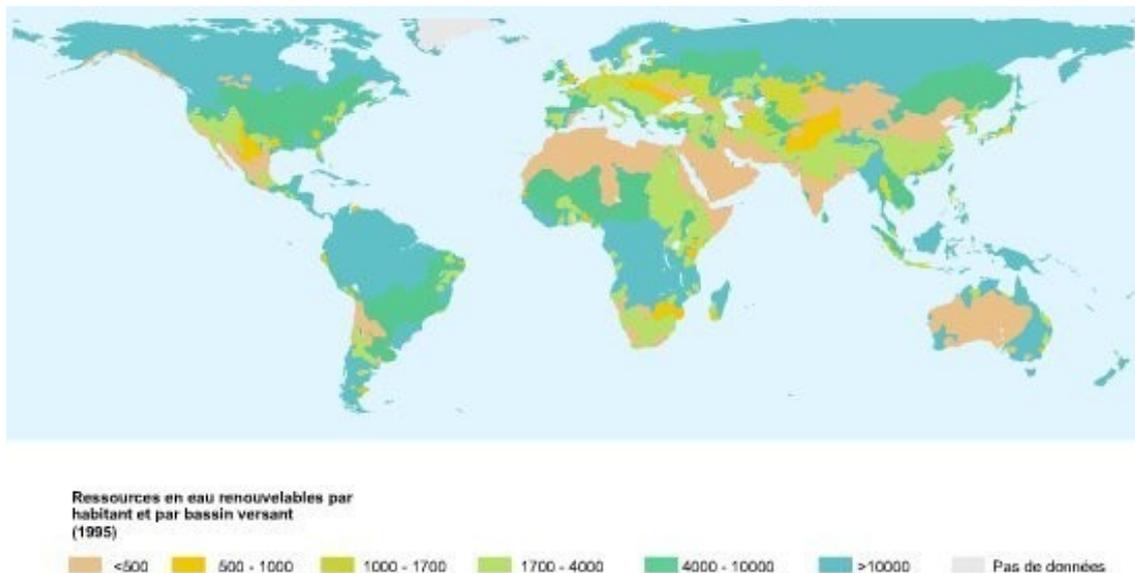
Analyse de la carte

La répartition de la population est loin d'être en adéquation avec les ressources en eau renouvelables.

- De nombreux pays fortement peuplés sont en zone de pénurie comme le Nord de l'Afrique, le Proche et le Moyen Orient (< 1 000 m³.hab-1.an-1), cependant, certains bénéficient de l'écoulement provenant des espaces montagneux comme la Turquie, l'Irak ou l'Iran.
- D'autres pays sont plus fortement arrosés, mais les densités humaines sont telles que la quantité disponible par habitant s'en trouve réduite (1 000 à 5 000 m³.hab-1.an-1) : l'Afrique du sud, le Mexique, l'Inde, la Chine et la plus grande partie de l'Europe.
- Les pays les mieux pourvus (> 5 000 m³.hab-1.an-1) sont des pays tempérés ou tropicaux humides et/ou de faible densité : l'ensemble du continent américain, l'Afrique centrale et une partie de l'Afrique occidentale, l'Asie du sud-est, le nord de l'Eurasie et le sud-est de l'Europe.

Cette carte exprime un potentiel mais ne reflète pas **les pressions** sur les ressources en eau

b) Ressources en eau renouvelables par habitant et par bassin versant



Ressources en eau renouvelables par habitant et par bassin versant (1995)

Analyse de la carte

Cette carte fait apparaître différemment la ressource en eau à l'échelle mondiale.

La délimitation du bassin versant prend en compte une disponibilité plus réelle de l'écoulement en fonction de la population au sein de ces entités fonctionnelles qui sont difficiles à transgresser hormis au moyen de grands ouvrages de dérivation.

Les valeurs nationales cachent des variabilités internes qui peuvent être fortes entre bassins versants notamment pour de grands pays :

- Ainsi, le Brésil est largement pourvu en eau dans le bassin amazonien ($> 10\,000\text{ m}^3\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$) mais souffre d'une ressource limitée dans le nord-est ($1\,700$ à $4\,000\text{ m}^3\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$)
- L'est et le centre des États-Unis contrastent avec le sud-ouest en situation critique (500 à $1\,000\text{ m}^3\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ pour le bassin du Rio Grande)
- La Chine du sud bénéficie des moussons ($1\,700$ à $4\,000\text{ m}^3\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$, bassin du Yangtze) et s'oppose à la Chine du nord en situation de pénurie ($< 500\text{ m}^3\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$, bassin du Huang He)
- L'Égypte bénéficie des flux du Nil provenant de la zone tropicale humide
- L'Espagne du Nord (l'Èbre) et le sud de la France (la Garonne et le Rhône) sont, en fonction de leur population, les bassins les mieux pourvus en eau d'Europe

Selon l'analyse conduite par le World Resources Institute (*Pilot Analysis of Global Ecosystems: Freshwater Systems - PAGE*) :

- en 1995, 41% de la population mondiale, soit 2,3 milliards de personnes, vivaient dans des bassins souffrant d'un stress en eau ; selon les études prospectives, ce chiffre devrait être porté à 3,5 milliards soit 48% en 2025.
- en 1995, 30% de la population mondiale, soit 1,7 milliards de personnes, vivaient dans des bassins en situation de pénurie ; selon les études prospectives, ce chiffre devrait s'élever à 2,4 milliards soit 33% en 2025.

D'autres variabilités existent au sein des grands bassins mais ne peuvent pas être restituées à cette échelle

B. Le contexte hydro-climatique et sa variabilité spatio-temporelle à l'échelle d'un pays ou d'une région

1. Exemple de la France métropolitaine

La pluie efficace

En France, la moyenne interannuelle des précipitations est estimée à 867 mm. an-1 (AquaStat), mais les deux tiers s'évaporent, il reste 320 mm. an-1 pour l'écoulement.

La moyenne interannuelle de la pluie efficace montre des espaces excédentaires sur les reliefs montagneux (par effet d'ascendance et de refroidissement des masses d'air humide entraînant leur précipitation) et sur les façades océaniques exposées aux flux humides d'ouest.

Le Bassin Parisien et le Bassin Aquitain constituent des régions naturelles à faible potentiel d'écoulement ainsi qu'une partie du littoral méditerranéen.

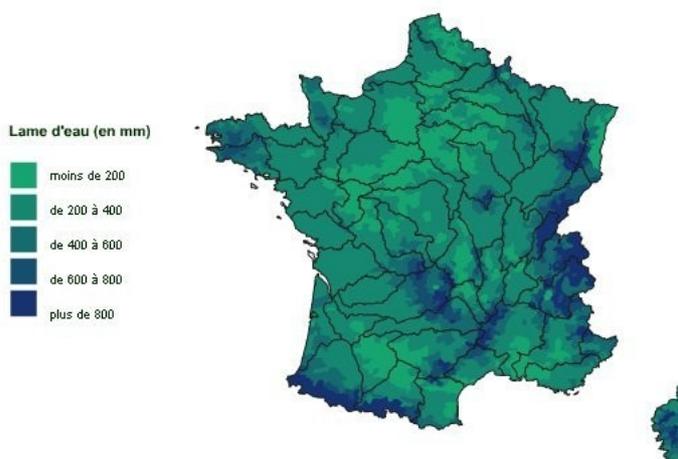
Variabilité saisonnière des pluies efficaces

C'est d'octobre à mars que la pluie alimente de façon conséquente l'écoulement. Une baisse des précipitations durant la saison froide a un effet drastique sur le potentiel d'écoulement.

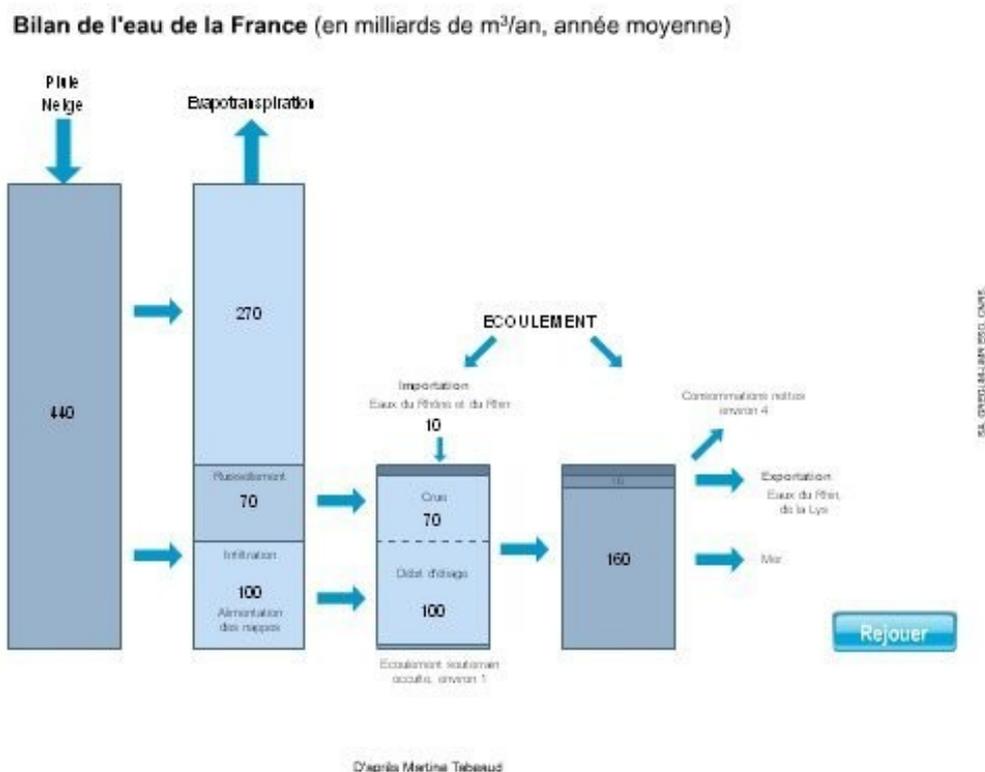
Les pluies d'avril à septembre ont peu d'impacts sur les écoulements car la demande en eau des végétaux est importante et le sol est souvent déficitaire, l'eau de pluie reconstitue alors la réserve du sol et s'évapore ensuite sans rejoindre ni les nappes, ni les cours d'eau.

Lorsque l'année est déficitaire en pluie, l'évapotranspiration continue à opérer, le flux évapotranspiré est ainsi peu altéré mais l'eau restante, disponible pour l'écoulement, est fortement réduite. Ainsi une faible baisse des précipitations se traduit souvent par une baisse de l'écoulement beaucoup plus marquée.

Passez la souris sur une région pour afficher les informations



Pluie efficace ou lame d'eau écoulée annuelle (de septembre à août) – moyenne 1946-2001



Bilan de l'eau en France

2. Exemple de la Guadeloupe

Le climat sur cet archipel est régi par l'anticyclone des Açores et les courants d'Est des alizés dépendant de l'anticyclone.

C'est un climat à deux saisons de même durée

- La saison des pluies de mai à décembre : elle est marquée au début par la présence des alizés humides. L'anticyclone des Açores remonte à cette période vers l'Atlantique Nord, d'où un long trajet des alizés sur l'océan chaud et humide. Vers le mois de septembre, la zone de convergence intertropicale remonte vers le nord, d'où un temps plus perturbé qui génère des précipitations fortes, des tempêtes tropicales et parfois des cyclones.
- La saison sèche de janvier à avril : il souffle alors les alizés frais de secteur E-N-E, l'anticyclone des Açores s'efface au profit des anticyclones d'Amérique du Nord et des Bermudes. Les précipitations sont donc moins importantes. Pendant la deuxième période de cette saison, les alizés se renforcent et reviennent à secteur Est.

Les quantités de précipitations varient fortement en fonction de la position des versants par rapport à la circulation des alizés

- les versants sous le vent sont protégés par les reliefs et sont donc plus secs. Par exemple sur le versant sous le vent de la Soufrière, le total annuel des précipitations est de 1 000 mm sur le littoral et 8 000 mm dans les secteurs les plus élevés.
- Les secteurs abrités indiquent des variations de pluies entre la saison sèche

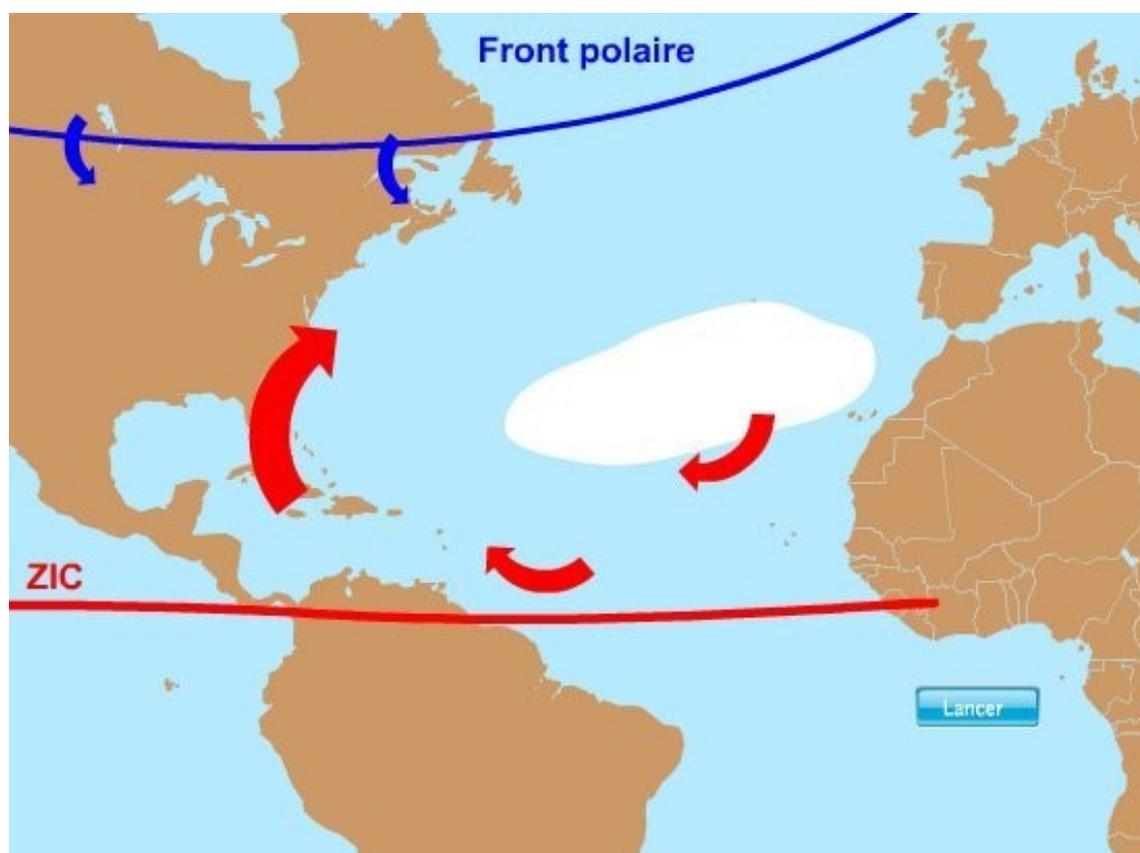
et la saison humide assez faibles (le rapport entre le total mensuel maximum et le total mensuel minimum est de 2). Les secteurs proches du littoral montrent une variation plus forte entre les deux saisons (rapport de 4 entre les deux extrêmes mensuels).

- les versants au vent reçoivent de plein fouet les systèmes perturbés et cumulent donc les maximums de précipitations. Ainsi, le total annuel de précipitations est de 2 500 mm sur le littoral sur ce versant.

Ces régions sont marquées par des vents violents (supérieurs à 60 km.h⁻¹), avec la présence de rafales supérieures à 200 km.h⁻¹ lors des passages des cyclones.

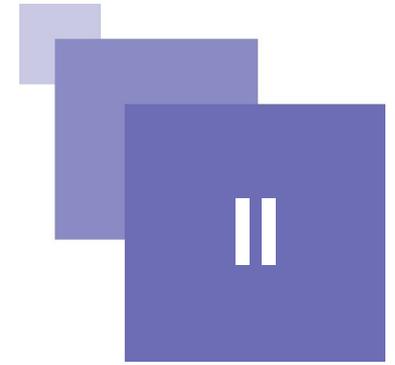
Dans cette région humide, les températures varient peu entre les deux saisons, d'où une ETP présente toute l'année et peu variable : entre 3,6 et 4,8 mm/jour en moyenne annuelle, avec de minimum en décembre de 2,5 à 4 mm/jour et de maximum d'avril à juillet de 4,3 à 5,5 mm/j.

D'un point de vue hydrologique, l'écoulement est important toute l'année, la plupart des cours d'eau indiquent deux minimas, le plus marqué en février-mars et le second en juin-juillet.



Saison des pluies et saison sèche en Guadeloupe

Différenciations eaux de surface/eaux souterraines



Introduction	17
Les eaux de surface	18
Les eaux souterraines	19

A. Introduction

Clés de compréhension
1. Les eaux de surface et les eaux souterraines possèdent des dynamiques très différentes
2. La disponibilité des eaux de surface dépend des facteurs environnementaux présents sur le bassin versant
3. Les eaux souterraines peuvent correspondre à une ressource de qualité, mais cette ressource est inégalement répartie sur le territoire.

Les eaux de surface regroupent toutes les eaux s'écoulant à la surface du sol, des versants jusqu'aux cours d'eau, en passant par les mares, les étangs et les lacs.

Les eaux souterraines sont les eaux qui se sont infiltrées depuis la surface pour circuler ensuite dans le milieu souterrain plus ou moins profond.

Ces deux types d'eau possèdent des dynamiques très différentes

- Temps de réponse rapides pour les eaux de surface : la crue suit les fortes pluies de quelques heures à quelques semaines selon la taille du bassin versant.
- Temps de réponse longs dans les milieux souterrains : vitesses de renouvellement de l'ordre de quelques semaines à plusieurs années, et même jusqu'à plusieurs millénaires pour les nappes profondes.

Échanges entre eaux de surface et eaux souterraines

- Sources sur les versants,
- Infiltration dans les berges des cours d'eau.



La nappe contenue dans les alluvions est rechargée soit par les cours d'eau, soit par les pluies efficaces à sa surface, soit par des communications souterraines avec la nappe des calcaires, sur le bloc diagramme elle alimente à son tour le cours d'eau principal. Les circulations superficielles et souterraines sont ainsi liées par des flux.

Échanges entre les eaux de surface et les eaux souterraines

B. Les eaux de surface

En réalité, tout écoulement de surface ne peut pas être considéré comme une ressource car une grande partie s'écoule lors de crues. Ce n'est que la fraction qui présente une certaine stabilité durant l'année (ou en tous cas durant les périodes d'usage de l'eau) qui peut être considérée comme une ressource.



Remarque

La fonction des barrages est bien souvent de retenir les eaux de crue pour qu'elles servent en période d'étiage.

Le régime des cours d'eau est fonction de multiples facteurs qui expliquent de fortes variabilités spatio-temporelles dans l'écoulement de surface :

- **La nature du sol et du sous-sol**, favorables à l'infiltration ou au ruissellement : plus un sol présente une texture grossière, plus l'eau s'y infiltre rapidement, les valeurs suivantes donnent des ordres de grandeur de la vitesse d'infiltration dans un sol à saturation (Cf. tableau de la perméabilité en fonction de la texture). Dans un bassin au sous-sol calcaire et au sols limono-calcaires par exemple, la densité du réseau hydrographique est faible car l'eau circule essentiellement en profondeur, les cours d'eau principaux sont alimentés par des résurgences de nappes.

Texture du sol	Perméabilité à saturation en mm/h
Argile	0,001 à 0,01
Argile limoneuse	0,01 à 0,02
Limon	0,6 à 1
Sable limoneux	2 à 5
Sable	20 à 100

- La nature et la variabilité saisonnière de **l'alimentation** (pluie, fonte des neiges, fonte des glaces).
- **La pente** : la vitesse du ruissellement est fonction de la pente, ainsi sur un bassin versant accidenté, lors de fortes pluies ou lors de pluies suivant une période humide, le ruissellement aboutit rapidement aux cours d'eau sans avoir le temps de s'infiltrer.
- **Le couvert végétal** : la végétation a un double effet limitant le ruissellement : elle accroît l'évapotranspiration et elle améliore la perméabilité du sol (d'un facteur 2 à 3 par rapport à un sol nu) ; sur des bassins dénudés, la pluie produira une augmentation des débits des cours d'eau plus massive et plus rapide que sur des bassins densément végétalisés (forêt ou prairie).

Ainsi, les ressources en eaux de surface varient fortement selon la variabilité de ces facteurs.

C. Les eaux souterraines

1. Quelques notions

L'espace de référence des eaux souterraine correspond à **l'aire d'alimentation** : espace d'infiltration de l'eau vers la nappe souterraine, il peut différer de l'extension du bassin versant de surface car les nappes ont des géométries différentes.

Cf. bloc diagramme des échanges entre eaux de surface et eaux souterraines (cf. 'Introduction' p 18)

- La **Zone Non Saturée** : l'eau gravitaire, provenant de l'infiltration dans le sol, s'y écoule verticalement lors d'épisodes de pluie efficace pour recharger ensuite la zone saturée.
- La **Zone Saturée** : c'est la nappe souterraine qui lorsqu'elle est exploitable est nommée aquifère.

L'aquifère est caractérisé par :

- sa configuration (contours, dimensions, limites),
- sa localisation dans le sous-sol (profondeur, épaisseur)
- ses propriétés intrinsèques (granulométrie, pétrologie, géochimie, fissuration, déformation...).

Les conditions aux limites conditionnent les échanges entre l'aquifère et son

environnement : limites imperméables (argiles, socle granitique non fissuré...) ou limites perméables responsables d'apports ou de pertes.

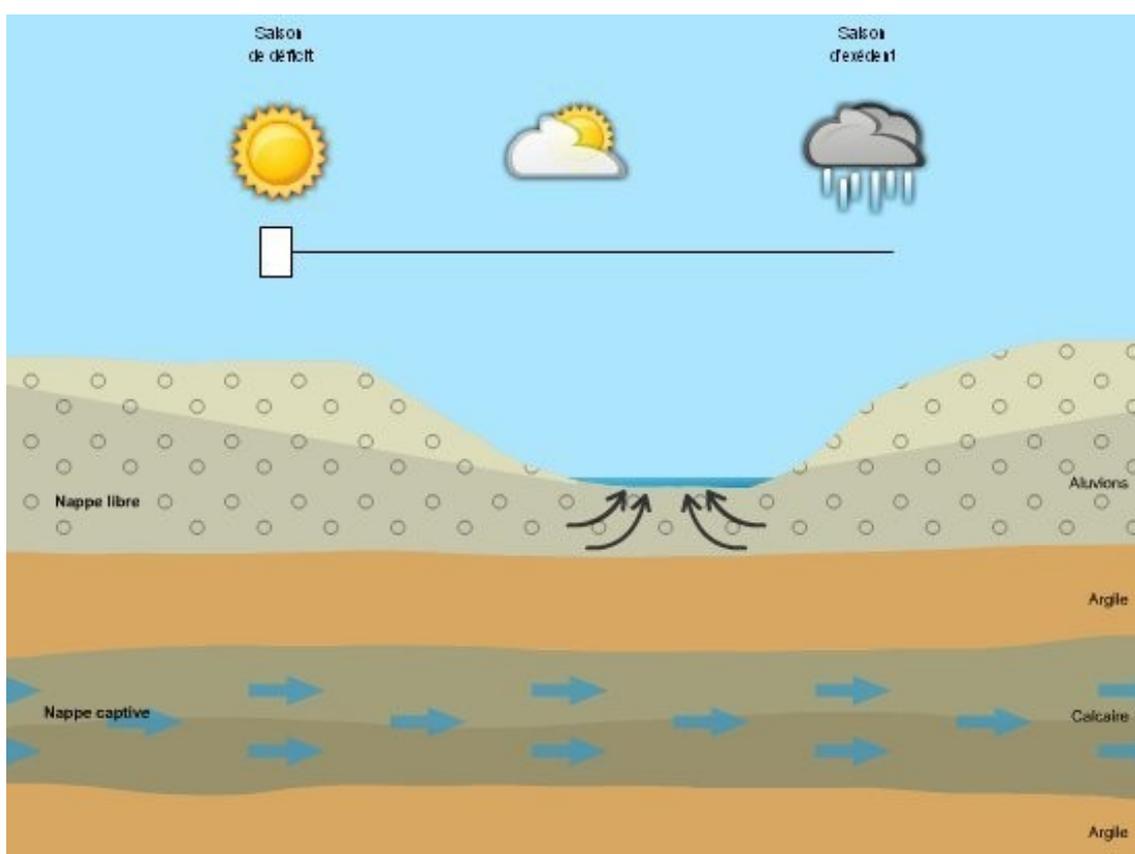
Les propriétés hydrodynamiques de la zone saturée sont exprimées au travers de différentes variables :

- **La perméabilité** : capacité du milieu à se laisser traverser par un flux d'eau, elle est exprimée en m.s-1
- **La porosité** : exprime la capacité de stockage de l'eau, elle représente la proportion volumique des vides au sein d'une roche.

2. 2 types de nappes souterraines

Nappes libres / nappes captives

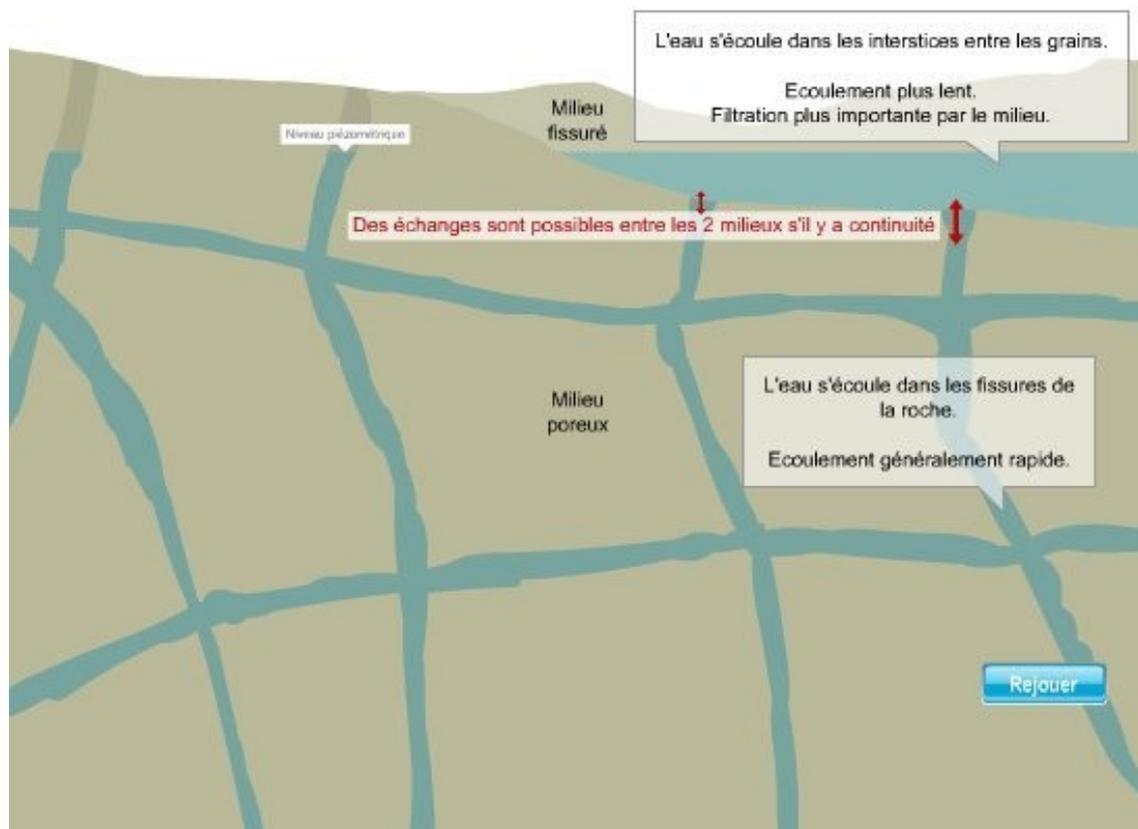
- une nappe est libre lorsqu'elle communique directement avec la surface, sa recharge provient directement de l'infiltration verticale à partir de la surface du sol.
- une nappe est captive lorsqu'un écran imperméable la sépare de la surface (par exemple une couche argileuse ou marneuse imperméable), la nappe est alors « *emprisonnée* » sous pression entre deux couches imperméables ; sa recharge s'effectue latéralement dans des espaces où la nappe devient libre ou au contact de matériaux semi-perméables.



Nappes libre et captive

Nappes en milieu fissuré / nappes en milieu poreux

- En milieu fissuré, l'eau circule dans des fissures entre des blocs de roche peu ou pas perméables : failles, diaclases, karsts (cavités de dissolution ouvertes dans les roches carbonatées).
- En milieu poreux, les grains de la roche sont séparés par des vides communiquant entre eux au sein desquels l'eau peut circuler : sables, graviers, etc.



Nappes en milieu fissuré / poreux

3. Les principaux réservoirs aquifères

- Les **nappes alluviales** des cours d'eau formées de graviers et de sables. Ils constituent 60% des eaux souterraines captées en France. Ce sont des aquifères libres.
- Les nappes présentes dans les roches sédimentaires (sables, calcaires) des grands bassins sédimentaires (Bassin Parisien, Bassin Aquitain). Ces aquifères sont libres ou captifs selon s'ils sont recouverts ou non de couches sédimentaires argileuses ou marneuses.
- En région de socle ou de montagne, la géométrie compartimentée ainsi que le volume réduit des formations perméables, donnent des magasins aquifères moins productifs ; dans certains cas, ce sont les eaux circulant dans les failles qui sont exploitées.

4. L'exploitation des nappes souterraines en France

- 200 aquifères d'ampleur régionale (100 à 100 000 km²) ont été identifiés par le BRGM★.
- Cela correspond à un volume de 2 000 milliards de m³ mais le flux exploitable les renouvelant s'établit à 20 milliards de m³ (rappelons que l'écoulement total en France est de 170 milliards de m³ par an).
- Ce sont 25 nappes captives et 175 nappes libres.

Les ouvrages d'exploitation des nappes

- Les puits sont des ouvrages de plus de 50 cm de diamètre et de quelques mètres à quelques dizaines de mètres de profondeur.
- Les forages sont des ouvrages de faible diamètre et de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de mètres de profondeur.

Avantages relatifs des eaux souterraines versus les eaux de surface	Inconvénients relatifs des eaux souterraines versus les eaux de surface
<ul style="list-style-type: none"> • Variation saisonnières moins marquées pour les eaux souterraines (effet tampon). • Retardement et réduction des pollutions par filtration et épuration naturelle en milieu souterrain (mais seulement lorsque les polluants sont dégradables). 	<ul style="list-style-type: none"> • Identification délicate de la ressource souterraine, due à la variabilité spatiale des perméabilités et des zones de convergence de l'écoulement, les limites des aires d'alimentation sont difficiles à établir. • Accessibilité : nécessité de puits ou de forages équipés de pompes, pouvant être profonds et donc coûteux.



Remarque

Du fait de leur moindre vulnérabilité aux pollutions, l'alimentation en eau potable provient en priorité d'eaux souterraines. En France, elles constituent les deux tiers des volumes prélevés à cette fin. Ceci n'est pas le cas de nombreux autres pays qui ont choisi de mobiliser préférentiellement les eaux de surface du fait de leur identification et de leur captage plus aisés.

Zones humides et écologie des milieux aquatiques



Définitions et rôles

23

État et préservation

24

Clés de compréhension

1. Les zones humides sont des milieux spécifiques qui jouent un rôle important dans la préservation de la ressource
2. Leur forte dégradation justifie les politiques de préservations actuelles

A. Définitions et rôles



Définition

Il en existe plusieurs :

- Code de l'environnement : « terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire ; la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles, pendant une partie de l'année » (Art. L.211-1).
- Convention Ramsar  : « étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, ou l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendue d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres ».

Rôles

Les milieux humides ont un rôle important dans le cycle de l'eau terrestre :

- Rôle tampon : il se chargent en période de forte précipitations et alimentent le réseau en période plus sèche
- Zone de circulation lente : ce sont des lieux de stockage (sédiments, matière organique, pollution)
- La présence d'une diversité faunistique et floristique importante permet une

épuration de l'eau transitant dans ces zones . Ce stockage peut atteindre : 90% des matières en suspension, 86 % pour l'azote organique, 84% pour le phosphore, 78% pour l'azote ammoniacal et 64% pour le carbone organique (*Site web*³)

- Ce sont des zones d'intérêt écologique important (espèces remarquables, biodiversité), milieux dont dépendent de nombreuses espèce (50% des espèces d'oiseaux, des batraciens, des poissons...)

B. État et préservation

État

Aujourd'hui de nombreuses zones humides sont en danger ou ont déjà disparu dans le monde et particulièrement en France. En France métropolitaine, la situation était évaluée comme grave en 1990 (87% des zones humides considérées comme dégradées) et semble ensuite s'être stabilisée (IFEN, L'évolution des zones humides d'importance majeure entre 1990 et 2000, 4 pages n°122, 2007)

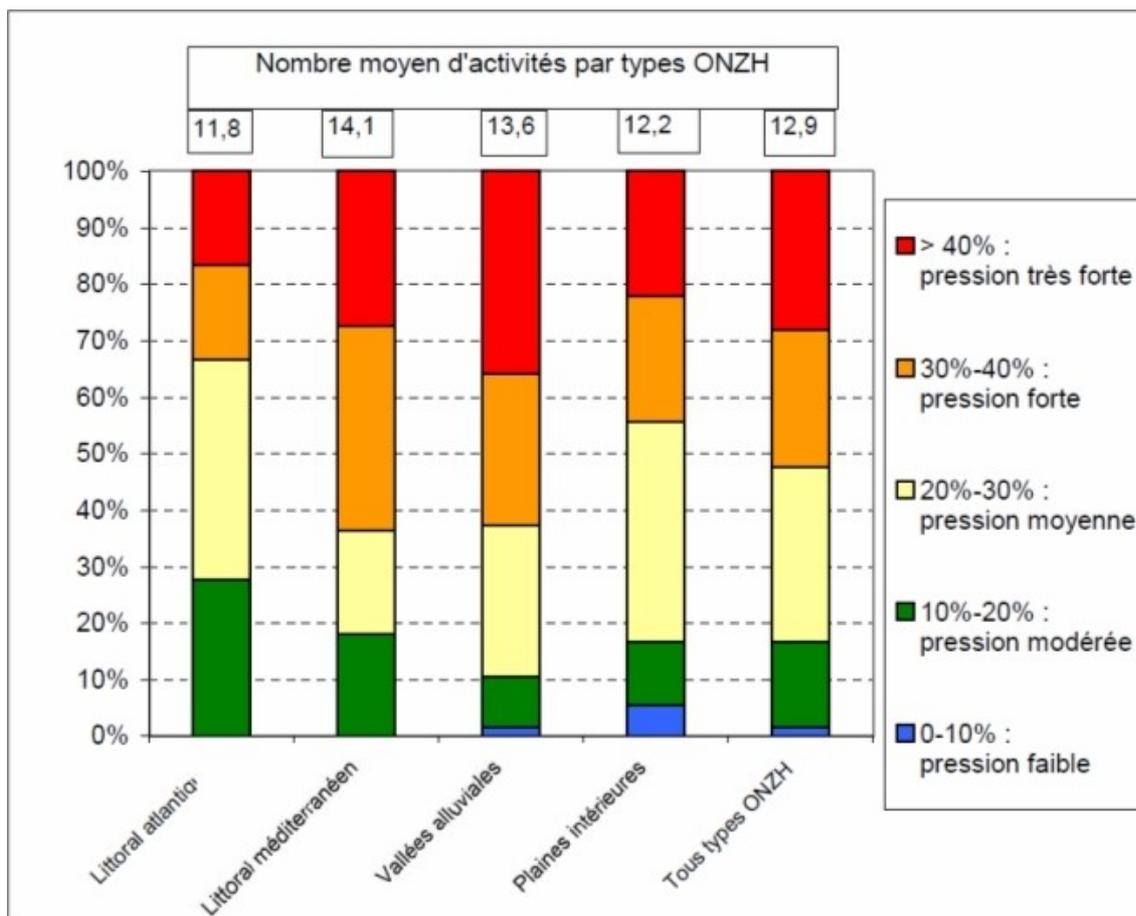
Leur dégradation est due :

- Aux activités agricoles (mise en culture, drainage...),
- À l'urbanisation et aux infrastructures routières,
- À la modification des écoulements et aux pollutions.

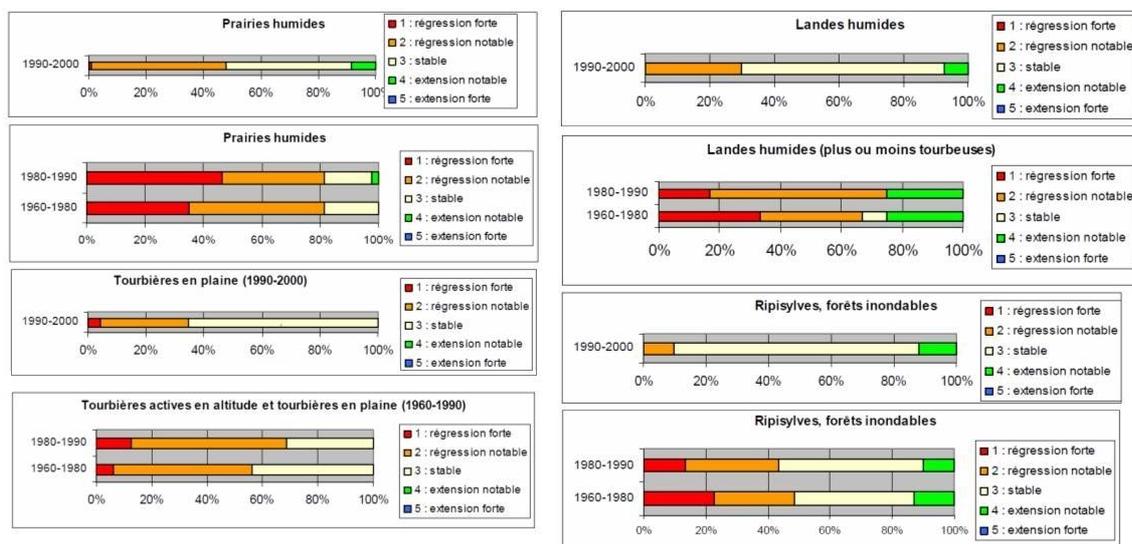
Une forte dégradation de ces milieux a des répercussions sur le fonctionnement du réseau hydrographique et sur la qualité de la ressource dans son ensemble.

Préservation

Outre la convention Ramsar, les États et notamment la France, ont mis en place une réglementation visant à protéger ces milieux. Les zones humides sont définies en France dans le code de l'environnement, leur préservation est reconnue d'intérêt général. Elles sont aujourd'hui de plus en plus répertoriées à l'échelle locale pour en permettre leur préservation. Certaines sont aujourd'hui des aires protégées notamment le cadre de Natura 2000 ou de ZICO (Zones importantes pour la conservation des oiseaux).



Pression des activités humaines en 2000 sur les zones humides selon les types ONZH



Évolution des différents types de zones humides entre 1960-1980, 1980-1990 et 1990-2000 dans les zones de l'ONZH (Observatoire des Zones Humides)

Impacts des activités humaines sur les écoulements

IV

Le rôle de l'occupation du sol	28
Impact des aménagements de cours d'eau	31
Impacts des prélèvements d'eau sur les milieux aquatiques	34

Clés de compréhension

1. Le cycle de l'eau touchant l'ensemble des compartiments terrestres, l'action de l'homme sur celui-ci est multiforme
2. L'action anthropique modifie les paramètres de ce cycle et induit des changements quantitatifs de l'écoulement
3. Ces dégradations quantitatives ont un impact sur la ressource et sur sa disponibilité

En transformant leur environnement, les sociétés modifient le cycle de l'eau. Les transformations se font sentir à différentes échelles. Nous ne parlerons pas ici des effets de l'occupation du sol, de la combustion d'énergies fossiles ou de l'élevage sur le climat et donc sur le cycle de l'eau (pour cela se reporter aux cours UVED portant sur le changement climatique). Mais, nous analyserons l'impact des activités humaines au sein d'une unité hydrologique : un bassin versant ou une nappe souterraine. Les effets des prélèvements d'eau sur les milieux seront traités plus loin.

Nous distinguerons :

- Les activités humaines qui ont un impact sur les versants en intervenant sur l'occupation du sol,
- Les aménagements des cours d'eau,
- Les prélèvements.

A. Le rôle de l'occupation du sol

1. Présentation

Le sol est un compartiment essentiel du cycle de l'eau. Il constitue l'interface entre l'atmosphère et le milieu souterrain. Sa nature, son état et sa couverture vont déterminer le rapport entre l'infiltration et le ruissellement.

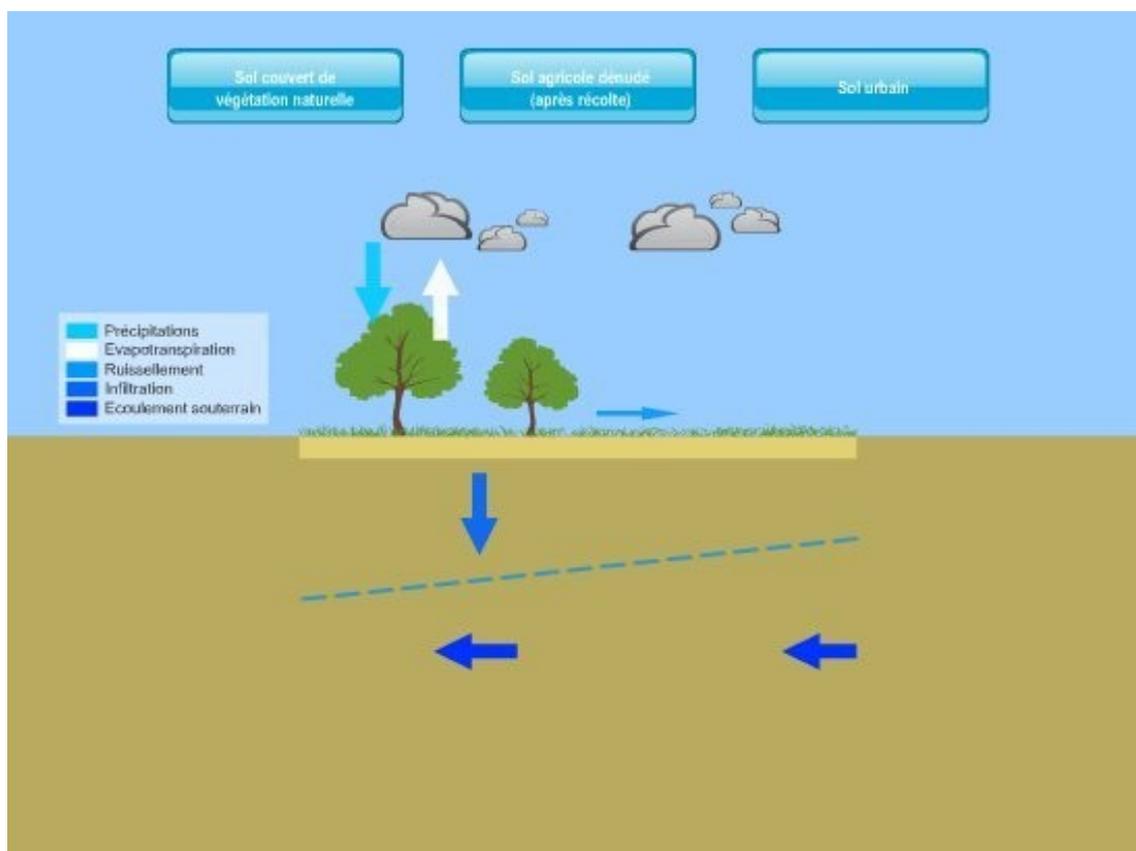
Un sol naturel, couvert d'une végétation dense, présente une perméabilité plus élevée qu'un sol dénudé et déstructuré de texture identique (teneur en argiles, limons et sables) : l'eau des précipitations s'y infiltre plus facilement.

Le développement des activités humaines a jusqu'à présent été de pair avec :

- l'**artificialisation** des sols par l'urbanisation ;
- la **réduction du couvert végétal** par le déboisement ou le retournement des prairies au profit de cultures, laissant le sol dénudé entre leurs rangs ou après leur récolte.

Ces deux actions produisent généralement un accroissement du coefficient de ruissellement. Ceci a des conséquences avérées sur :

- La diminution du délai entre les événements pluvieux intenses et les pics de crue dans les cours d'eau,
- L'augmentation du volume des crues.



Sol couvert de végétation naturelle, sol agricole dénudé et sol urbain

2. L'agriculture

- L'agriculture génère des impacts sur les écoulements (irrigation, modification du bilan hydrique, réduction de perméabilité des sols) et sur la qualité de l'eau (nitrates, phosphore et pesticides)
- Les impacts ne sont pas seulement fonction de la proportion d'occupation du sol en surfaces agricoles, mais aussi de la nature des cultures et des pratiques agricoles,
- L'intensification a rimé jusqu'à présent avec dégradation des ressources en eau,
- L'enjeu actuel est que l'agriculture s'oriente vers un meilleur respect du milieu tout en maintenant une productivité élevée afin de répondre au défi alimentaire mondial, ce qui est qualifié par certains « *d'agriculture écologiquement intensive* », différentes expériences ont montré leur efficacité économique et écologique (cf. encadré et photos, plus bas).

Le drainage agricole

Contrairement à ce qui est souvent dit, le drainage agricole n'accroît pas les vitesses d'écoulement. Au contraire, des expérimentations ont montré une réduction du coefficient de ruissellement sur parcelles drainées (site de la Jaillière, en Loire-Atlantique, France, suivi par Arvalis).

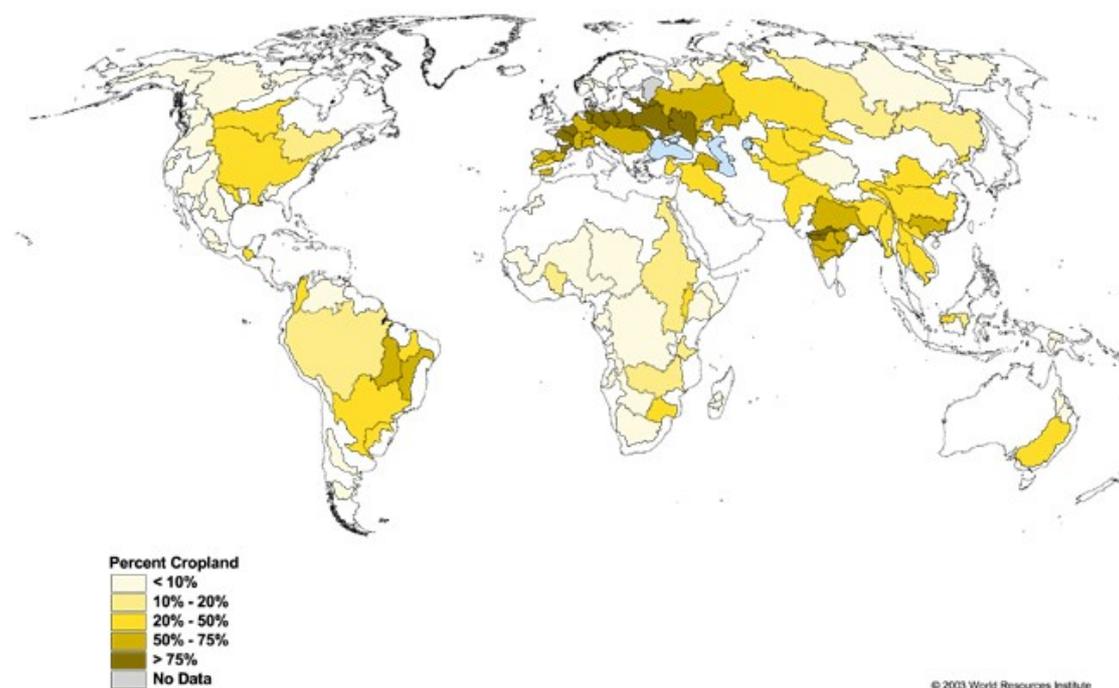
Dans un sol limoneux sur schiste, le coefficient de ruissellement passe ainsi de 60-80 % en période hivernale sur sol non drainé à moins de 10 % sur sol drainé. Mais ces effets peuvent être très différents sur des sols naturellement plus drainants.

Cependant, à l'échelle du bassin versant, le recalibrage des fossés et la disparition des espaces tampons, associés aux travaux de drainage agricole, ont l'effet inverse en diminuant les obstacles à l'écoulement de l'eau (sans que ces conséquences aient été quantifiées). Le bilan du drainage agricole est donc complexe à l'échelle d'un bassin versant, et très variable suivant les contextes géologiques et le réseau hydraulique mis en place.



Sur cette photo, le sol est laissé nu après la récolte, les engins agricoles ont tassé le sol

3. L'emprise de l'agriculture sur les bassins versants des grands fleuves du monde



Emprise de l'agriculture sur les bassins versants des grands fleuves du monde

Analyse de la carte

Les bassins versants où l'emprise de l'agriculture est la plus forte sont situés en Europe, en Inde, au Pakistan, en Chine, dans l'est et le sud-est du Brésil et au centre des États-Unis et du Canada.

Les écoulements s'y trouvent modifiés et la qualité de l'eau y est souvent dégradée par des nutriments lessivés, des particules issues de sols érodés et des pesticides.

4. L'urbanisation

- L'urbanisation affecte le plus fortement la circulation des eaux. Une grande partie des surfaces est en effet rendue imperméable : chaussées, trottoirs, parkings, toitures... L'eau s'écoule rapidement sur ces surfaces et est acheminée vers le réseau hydrographique par des canalisations sans s'infiltrer dans le sol.
 - L'évapotranspiration est donc fortement réduite.
 - Les écoulements sont plus massifs et rapides que dans les zones au sol naturel.
- Ainsi, les aires urbaines émettent des écoulements qui accroissent les risques d'inondation en aval.
- De plus, des polluants sont lessivés et transférés à partir des surfaces imperméabilisées, sans pouvoir être filtrés par les sols : résidus d'hydrocarbures, déjections animales, particules de pneumatiques ou de métaux...

- Ces eaux issues des surfaces de ruissellement urbain sont nommées eaux pluviales et présentent donc des risques de pollution et d'inondation.

L'urbanisation en France vise aujourd'hui à réduire ces impacts par la réalisation de chaussées semi-perméables, par des bassins de rétention, par l'augmentation de la part des surfaces végétalisées, voire par la création de véritables zones humides au sein des quartiers.



Image3

Bassin de rétention à l'aval d'une zone récemment urbanisée : lors de fortes pluies, l'écoulement converge dans le bassin dont le débit de sortie est limité par les canalisations à section réduite, le bassin se remplit alors et tamponne le débit.

B. Impact des aménagements de cours d'eau

L'artificialisation des réseaux hydrographiques est un phénomène présent sur l'ensemble des continents et tout particulièrement en Europe et en Amérique du Nord. Elle est due à la mise en place d'un nombre croissant d'ouvrages hydrauliques qui modifient le tracé des cours d'eau. Ces aménagements sont associés à des usages de l'eau : canalisation pour la navigation, barrages pour la production électrique ou l'irrigation, l'alimentation en eau à usage domestique... Ils peuvent également être entrepris afin de limiter l'emprise des cours d'eau sur des territoires pour permettre une valorisation agricole ou l'extension des zones urbanisées dans les plaines alluviales.

L'exemple de l'aménagement du bassin de la Volga permet d'aborder l'impact des infrastructures de type barrage.

1. La Volga : un cours d'eau très aménagé

Présentation du fleuve

La Volga est le plus long fleuve d'Europe. Son bassin se situe dans la fédération de Russie. Elle prend sa source à 228 m d'altitude dans les monts Valdayskaya. Elle s'écoule du nord au sud comme la plupart de ses affluents dont les plus importants sont : l'Oka, la Belaya, la Vyatka et Kama. Son bassin versant est de 1 360 000 km² et sa longueur est de 3 531 km. Elle traverse des zones à végétation naturelle différentes : taïga, forêts mixtes et steppes. Une partie de son bassin est semi-aride et aride. Les villes les plus importantes de son bassin sont Moscou, Volgograd et Nisjij-Novgorod. Le delta de la Volga, à son arrivée dans la mer Caspienne, montre une division du fleuve en plus de 275 chenaux recouvrant une surface de 12 000 km².

Le module annuel de la Volga est de 8 000 m³.s⁻¹ à son embouchure en mer

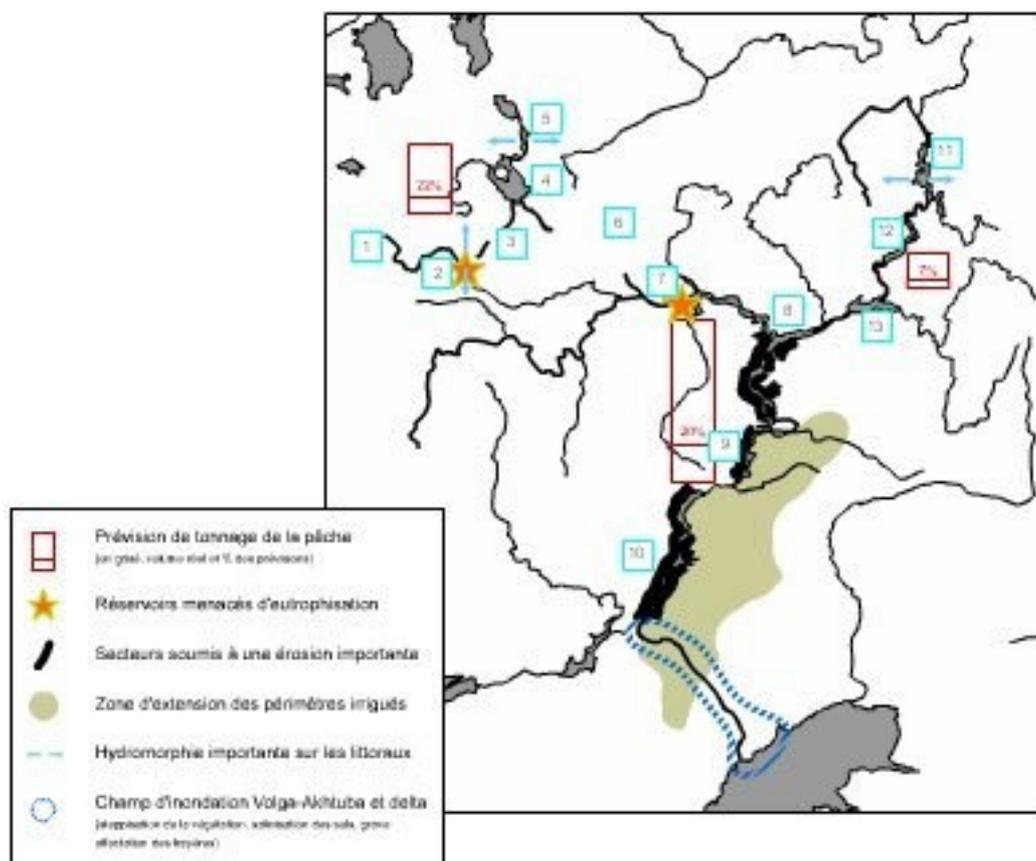
Caspienne, son débit varie entre 20 000 et 36 000 m³.s⁻¹ en hautes eaux et 3 000 à 5 000 m³.s⁻¹ en basses eaux. Avant la construction des barrages, la rivière apportait à la mer Caspienne 25,5 millions de tonnes de sédiments en suspension. Le régime naturel de la Volga est de type nival avec un étiage marqué d'août à mars. 61% du volume annuel s'écoule entre avril et juillet et 48% au cours des mois de mai et juin. Un tel régime est propice à l'aménagement hydroélectrique de type réservoir, car il permet la mise en réserve d'un stock d'eau très important pendant seulement quatre mois pour une utilisation tout le reste de l'année et notamment lors des mois d'hiver où la demande en électricité est maximale.

La Volga met en communication la Mer Baltique et la Mer Blanche, avec le vieux canal Marie rénové et le canal Volga-Baltique (249 km), elle est reliée à Moscou par le canal Volga-Moskova et à la mer Noire par le canal Volga-Don.

L'aménagement du bassin

L'objectif de l'aménagement du fleuve est la production d'énergie mais aussi l'amélioration de la navigation, et le développement de l'irrigation dans la partie aval du fait du climat semi-aride qui y règne.

La difficulté d'aménagement de ce bassin vient de sa morphologie : c'est une vaste étendue plane. La Volga possède donc sur tout son cours 9 réservoirs sur une longueur cumulée de 2 560 km. Il en existe 3 sur son affluent la Kama et 1 sur la Cheksna. Cet ensemble a été construit après la seconde guerre mondiale. Un nouveau projet a démarré en 1998 pour la construction de 3 barrages sur l'affluent la Belaya.



La Volga

Les réservoirs ont submergé 26 000 km² au total. Avec une capacité de stockage d'un volume d'eau de 90 km³.

Ce sont des barrages hydroélectriques de type barrage « trombes », avec une hauteur de chute maximale. Ainsi, lors du fonctionnement du barrage la variation du niveau d'eau atteint les 7-8 m pour le barrage de Kamsk. La production hydroélectrique est surtout réservée au pic de consommation → les débits de la rivière en sortie de barrage passent donc de 0 m³.s⁻¹ à 16 000 m³.s⁻¹ lorsque les turbines fonctionnent au maximum.



Complément

La production d'électricité d'un barrage est fonction de l'énergie hydraulique libérée par la lame d'eau, celle-ci est dépendante de la chute d'eau et du volume d'eau mis en jeu.

L'enneigement de surfaces lors de la construction des barrages, induit un déplacement important de populations implantées au bord du fleuve. On estime dans le cas de la Volga un déplacement de 640 000 personnes avec notamment 150 000 et 116 000 pour les deux retenues les plus vastes. Les terres submergées étaient essentiellement utilisées comme prairies de fauches et pâturage avec quelques surfaces labourées.

2. Les impacts

Les impacts sur le fonctionnement du cours d'eau

- Au niveau des retenues
 - Variation de niveau sur des surfaces assez planes → découverte de vastes surfaces entre le niveau haut de la retenue et le niveau bas en fin d'hiver → glissements de terrain importants sur les berges des retenues (pertes de 15 à 20 000 hectares de terres).
 - Remontée des nappes souterraines associées au cours d'eau → développement de marécages à proximité des retenues (estimées à 255 000 hectares).
- Dans le cours d'eau
 - Barrage « trombe » → propagation d'une crue « hydroélectrique » (pointe à 16 000 m³.s⁻¹ au niveau de Volgograd lors de la pointe de la demande en électricité) → érosion sur les berges du cours d'eau en aval de chaque barrage, accentuée par le piégeage des sédiments dans les réservoirs ce qui diminue donc fortement le transport solide de la rivière.

Les impacts sur l'écosystème aquatique

- Production de pêche dans les retenues → faiblesse de la production d'alevins due aux variations des niveaux d'eau non compatible avec l'existence de certaines espèces de poissons (carpes, brèmes, brochets). De plus, l'eutrophisation due au fait de l'accumulation de matières organiques dans les retenues, altère le développement de ces poissons.
- Un réel point noir : la mer Caspienne :
 - Naturellement, le delta de la Volga était inondé lors de la crue annuelle au printemps et constituait ainsi un espace de frayères (notamment pour l'esturgeon contenant le fameux caviar de la Mer Caspienne)
 - Le dernier barrage doit déclencher une crue similaire pour préserver ce fonctionnement, mais le déclenchement n'est pas toujours effectué correctement ce qui génère une forte diminution des prises de poissons

de valeur dans la Caspienne .

- Les remontées des poissons dans le cours de la Volga sont bloquées par les barrages.

* *

*

La Volga est l'exemple même d'un aménagement de très grande ampleur sur tout le bassin avec une optimisation de la ressource en eau à la fois pour l'énergie, mais aussi pour la pêche et pour l'irrigation. Lors de sa mise en place, les effets de ce type d'aménagement étaient peu connus, la bureaucratie de l'ex-URSS avec la surpuissance du ministère de l'énergie a aggravé le phénomène en ne prenant pas en compte les recommandations formulées dans les études. Aujourd'hui, le fonctionnement des barrages n'est plus sous forme de trombe mais l'aménagement est là et a fortement structuré le fonctionnement naturel du bassin et du delta avec une perte importante au niveau biologique.

C. Impacts des prélèvements d'eau sur les milieux aquatiques



Définition

Un prélèvement est une extraction de l'eau du milieu naturel où elle s'écoule, pour un usage quelconque.

Lorsqu'on évalue les impacts quantitatifs des prélèvements, il convient de s'intéresser aux consommations nettes (prélèvements pour lesquels l'eau n'est pas restituée après usage dans le milieu mais évaporée ou transportée loin de son lieu de prélèvement).

En effet, les prélèvements correspondant à une faible consommation nette diffèrent simplement l'écoulement dans le temps ce qui a des conséquences quantitatives assez limitées sur les milieux ou sur les autres usages en aval (mais il peut y avoir une dégradation qualitative, comme nous l'étudierons plus loin).

Pour autant, dans le cas de certains usages peu consommateurs, les restitutions de l'eau après usage ne se font pas nécessairement dans le milieu où l'eau a été prélevée : c'est le cas par exemple des prélèvements en nappe souterraine pour l'alimentation en eau potable, les eaux résiduaires sont dirigées vers des stations d'épuration qui rejettent l'eau traitée dans le milieu superficiel et non souterrain. Ces transferts d'eau peuvent avoir des impacts importants sur les milieux.

Les prélèvements qui engendrent une forte consommation nette, liée le plus souvent à une forte évaporation lors de l'usage de l'eau, entraînent une perte d'écoulement qui nuit aux équilibres écologiques des milieux aquatiques et qui pénalise les usagers en aval. Ceci est le cas de l'irrigation, puisque l'eau sert au développement des cultures, elle est en majeure partie évapotranspirée et ne retourne pas dans le milieu où elle a été prélevée. D'autre part, l'irrigation s'accompagne de pertes importantes lors de l'acheminement de l'eau aux parcelles cultivées dans les pays sous-développés aux systèmes d'adduction d'eau souvent archaïques. On estime que les pertes par évaporation et infiltration dans les canaux et barrages s'élèvent à la moitié des prélèvements mondiaux en eau d'irrigation.

Impacts des activités humaines sur la qualité de l'eau : pollutions



V

Typologie des polluants	36
Normes et classification	37
Les pollutions urbaines	37
Les pollutions d'origine agricole	38
De nouvelles techniques agricoles pour réduire les impacts de l'agriculture	40

Clés de compréhension

1. De très nombreuses actions anthropiques produisent une diminution de la qualité des milieux et le plus souvent de leur richesse
2. Les polluants présents dans les milieux aquatiques montrent une diversité et complexité croissante
3. Cette pollution touche l'ensemble des compartiments du système
4. Elle remet en cause la disponibilité de la ressource en eau et sa renouvelabilité

Les usages de l'eau et des sols ont des impacts sur la qualité des ressources en eau en introduisant dans les systèmes aquatiques des éléments qui perturbent leur fonctionnement et qui réduisent les capacités d'usages de ces milieux.

La **pollution** correspond à une **dégradation** du milieu naturel, elle fait référence à des **normes** réglementaires ou tout du moins scientifiques. Est considéré comme polluant un élément qui représente un risque avéré ou potentiel sur la santé humaine et/ou sur les milieux naturels.

A. Typologie des polluants

Les matières organiques

Elles sont naturellement émises par les végétaux et animaux mais elles peuvent également être déversées par des élevages ou des industries. Leur surplus dans le milieu entraîne alors une asphyxie de celui-ci du fait de leur minéralisation qui absorbe l'oxygène.

L'azote

Il est responsable de fréquents dépassements de normes en Europe. Il provient des eaux usées domestiques, des effluents industriels (agro-alimentaires, papeteries...) et principalement du lessivage des engrais et effluents d'élevage dans les zones agricoles. Présent sous forme organique ou ammoniacale (NH_4^+) dans les effluents, il se transforme en nitrate (NO_3^-) dans le milieu naturel. Les nitrates sont fortement soupçonnés d'avoir des effets cancérigènes sur les organes digestifs de l'homme et ils déséquilibrent les écosystèmes aquatiques.

Le phosphore

Il provient des eaux usées domestiques, des effluents industriels, de l'érosion des sols enrichis en phosphore par les engrais et les effluents d'élevage. Il ne représente pas de risque direct pour la santé humaine mais, encore plus que l'azote, il menace les milieux aquatiques continentaux d'eutrophisation (voir plus loin). Le traitement des eaux riches en algues génère des surcoûts pour les stations de traitement d'eau potable. Les résidus organiques peuvent s'associer à du chlore dans les réseaux de distribution pour former des composés organo-chlorés cancérigènes.

Les métaux lourds (cadmium, plomb, chrome, mercure, zinc...)

Ils sont contenus dans les effluents de certaines industries (métallurgie, traitement de surface, automobile, industrie du chlore, plasturgie...). A des concentrations très faibles, de l'ordre de quelques dizaines de $\mu\text{g.l}^{-1}$, ils présentent des risques cancérigènes, tératogènes (malformation du fœtus), d'atteinte du système nerveux ou respiratoire. Ils s'accumulent dans la chaîne alimentaire en étant stockés dans les organismes qui les ingèrent (bioaccumulation).

Les hydrocarbures

Ils sont contenus dans certains effluents industriels et produits par le lessivage des sols urbains, des routes, par les fuites de stockages ou lors d'accidents. Ils sont toxiques à très faible concentration pour la santé humaine (cancérigènes et tératogènes) et dégradent les écosystèmes aquatiques.

Les produits phytosanitaires (pesticides)

Dés herbants, insecticides et fongicides, ils sont composés de molécules fortement actives sur les organismes. Ils sont utilisés en agriculture, mais aussi pour le désherbage des voiries, le traitement des espaces verts et les jardins d'amateurs. Les risques sur la santé et les milieux naturels sont importants puisque nombre de ces produits sont cancérigènes, ou entraînent pour le moins une perturbation des fonctions digestives, respiratoires, endocriniennes ou nerveuses, des malformations génitales, une baisse de la fertilité masculine et des problèmes immunitaires.

B. Normes et classification

- Le **Système d'Évaluation de la Qualité** (SEQ) des eaux superficielles : 5 classes de qualité sont définies pour chaque paramètre mesuré avec un code de couleur du bleu (très bonne qualité) au rouge (très mauvaise qualité).

Classes de qualité	Code couleur		Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
		Oxygène dissous (mg/l)	8	6	4	3	
Très bonne		Taux de saturation en oxygène (%)	90	70	50	30	
		DCO (mg/l O ₂)	20	30	40	80	
Bonne		DBO ₅ (mg/l O ₂)	3	6	10	25	
Passable		COD (mg/l C)	5	7	10	15	
		Oxydabilité au KMnO ₄ (mg/l O ₂)	3	5	8	10	
Mauvaise		Ammonium (mg/l)	0,5	1,5	2,8	6	
Très Mauvaise		Azote Kjeldahl (mg/l)	1	2	4	6	

IBGN

Indice biotique global normalisé, cet indice évalue la tendance d'évolution de la qualité des eaux à travers l'analyse de la macrofaune d'invertébrés benthiques. A partir des échantillons prélevés, une liste des taxons est effectués, 38 taxa sont retenus comme bio-indicateurs de la qualité des eaux. Le calcul de l'IBGN est effectué à partir de la variété taxonomique de l'échantillon prélevé rapportée au paramètre de la classe faunistique indicatrice : une classe bio-indicatrice d'une bonne qualité des eaux aura un paramètre faible < à 5 et inversement pour les classe indicatrice d'eau polluée. La note obtenue se situe entre 1 (très polluée) et 20 (pas du tout polluée) (source [F. Ramad] : F. Ramad).

Eau potable

Une eau potable est définie par son usage de boisson. Les normes sont établies en fonction de la nocivité liée à une consommation quotidienne et sur le temps long. Pour définir une eau potable 5 types de paramètres sont utilisés : les éléments microbiologiques (les organismes pathogènes doivent être absents) ; les substances chimiques, chaque élément possède une norme de concentration suivant sa nocivité ; les éléments toxiques, pour lesquels les concentrations acceptées sont très faibles (de l'ordre du µg/l) ; les oligo-éléments (une eau pure n'est pas potable) ; les paramètres organoleptique (couleur, odeur). Les normes ont varié au cours du temps en fonction des connaissances scientifiques et de la présence de nouveaux éléments dans l'eau (pesticides par exemple). L'OMS établit des valeurs guides qui sont ensuite adaptées par chaque pays. Pour les pays européens, les normes sont fixées par la commission européenne (63 paramètres).

C. Les pollutions urbaines

Elles sont générées par les rejets d'eaux usées urbaines (d'origine domestique et industrielle) et les eaux pluviales qui se chargent de polluants lors de leur transfert sur les aires urbaines. Les effluents urbains sont soit collectés dans des réseaux d'assainissement puis rejetés dans le réseau hydrographique, soit rejetés directement dans le réseau naturel. Pour ne pas porter atteinte au milieu naturel ils devraient subir systématiquement une épuration.

Différents système de collecte sont distingués :

- Les **réseaux unitaires** : toutes les eaux usées et pluviales sont collectées

dans un seul réseau. Il dilue les eaux usées domestiques et industrielles avec les eaux pluviales. Lors de fortes pluies, des déversoirs d'orage délestent le réseau en rejetant l'excès de débit dans le milieu naturel, une partie du flux des polluants n'est alors pas traitée.

- Les **réseaux séparatifs**, généralement réalisés depuis les années 1970 en France, ils séparent les eaux usées d'une part et les eaux pluviales d'autre part. Ces dernières sont recueillies dans des ouvrages spécifiquement conçus pour tamponner les débits irréguliers (bassin de rétention par exemple) et pour permettre une sédimentation. Les eaux usées sont traitées dans des stations d'épuration sans risque d'être déversées dans le milieu lors de fortes précipitations.

Épuration des effluents urbains

Les effluents sont épurés dans des stations d'épuration qui doivent être adaptées aux flux et à la nature des effluents, différentes formes de traitements sont utilisées et peuvent être combinées :

- **Les traitements physiques :**
 - Filtration mécanique des éléments grossiers ;
 - Coagulation – floculation, permet une mise en suspension ou une décantation des particules ;
 - Flottation : raclage des éléments légers (hydrocarbures) ;
 - Les traitements chimiques :
 - Neutralisation (ajustement du pH) ;
 - Précipitation pour éliminer des produits par décantation, filtration .
 - Oxydoréduction ;
- **Les traitements biologiques** s'appuient sur la croissance de micro-organismes aux dépens de matières organiques biodégradables :
 - Traitement aérobie (lit bactériens, boues activées, épandages) ;
 - Traitements anaérobies (bactéries anaérobiques).

Les différents traitements produisent des eaux résiduaires rejetées dans le réseau hydrographique naturel et des boues où se concentre une forte charge organique. En France, ces boues sont généralement épandues en agriculture lorsqu'elles respectent les normes (il est notamment vérifié s'il n'y a pas de risque de contamination des sols par des métaux lourds et des hydrocarbures), sinon elles sont incinérées ou dans une moindre mesure dirigées vers des centres de stockage.

D. Les pollutions d'origine agricole

Pour accroître les rendements des cultures, l'agriculture emploie des intrants et produit des effluents d'élevage. Ces activités sont source de pollution des eaux lorsque la capacité de prélèvement des végétaux et d'épuration naturelle des sols sont dépassées.

Différents phénomènes sont en cause :

- Le lessivage et l'érosion dans les parcelles cultivées des fertilisants épandus (effluents d'élevage et engrais de synthèse) et des produits phytosanitaires destinés à lutter contre les « ennemis » des cultures (insectes, maladie et plantes adventices).
- La non étanchéité des bâtiments d'élevage (fosse à purin, à lisier, effluents issus du lavage des installations...)

Les polluants agricoles

- **Le phosphore** : contenu dans les effluents d'élevage et dans les engrais de synthèse, il se fixe sur les éléments du sol (argile et matière organique) et est entraîné vers les cours d'eau par ruissellement. Les nappes souterraines ne peuvent donc pas être atteintes par cette pollution. Les pollutions phosphorées d'origine agricole se concentrent dans les régions d'élevage intensif.
- **L'azote**:
 - Il est naturellement présent dans le sol sous forme organique (environ 10 tN.ha⁻¹). Une partie est minéralisée chaque année sous une forme lessivable par les eaux : les nitrates.
 - Les récoltes exportent de l'azote (entre 100 à 200 kgN.ha⁻¹.an⁻¹) qui est difficilement alimenté par la minéralisation de la matière organique du sol, cela nécessite donc des apports de fertilisants organiques (effluents d'élevage) ou minéraux (engrais de synthèse).
 - Les cultures n'utilisent pas forcément tous ces apports notamment parce que les besoins des végétaux peuvent être décalés dans le temps par rapport à la libération de l'azote dans le sol (accroissement des pollutions azotées en automne et hiver dans les régions tempérées océaniques).
 - Un faible lessivage d'azote suffit pour contaminer le milieu : par exemple 25 kgN/ha/an lessivé produit une concentration de 50mg/l de nitrates (norme OMS) pour des précipitations efficaces de 200mm/an (cas de l'ouest de la France)
 - Les pollutions azotées se concentrent dans les régions de céréaliculture ou d'élevages intensifs.
 - L'azote migre par voie souterraine du fait de la forte solubilité des nitrates, les eaux souterraines sont donc touchées par cette pollution et les eaux superficielles.
 - Cette pollution est également responsable des marées vertes sur le littoral de l'ouest de la France (développement d'ulve)



Exemple : L'eutrophisation des milieux aquatiques

- **Facteurs** : pollution phosphorée et azotée, ensoleillement, faible profondeur de l'eau, faibles renouvellement et turbulence de l'eau.
- **Processus** :
 - Excédents de nutriments (phosphore et/ou azote) → développement phytoplanctonique → turbidité → chute des diatomées et chlorophycées (nécessaires au zooplancton lui-même consommé par les poissons) ;
 - Excédent du phosphore → baisse du rapport N/P → prolifération des cyanobactéries fixatrices d'azote atmosphérique. Ces cyanobactéries ne sont pas consommées par le zooplancton, leur décomposition par des bactéries appauvrit le milieu → réduction des composés ferriques contenant du P dans les sédiments → libération du P des sédiments.
- **Conséquences** :
 - Décomposition des végétaux → consommation d'oxygène dissous → mortalité des espèces → baisse de la diversité ;
 - Cyanophycées émettent des toxines (coquillages, poissons, usagers) ;
 - Nuisances visuelles et olfactives (marées vertes, odeurs nauséabondes à proximité des retenues et dans les baies eutrophisées).
- **Origine** : rejet domestiques et industriels, agriculture.
- **Solutions** : réduire les apports en phosphore et azote (essentiellement en phosphore en milieu continental avec un niveau N/P>10 / essentiellement en azote en milieu littoral).

E. De nouvelles techniques agricoles pour réduire les impacts de l'agriculture

Dans les parcelles agricoles, de nouvelles pratiques tendent à réduire le ruissellement, intentionnellement ou indirectement en agissant sur la structure du sol : les couverts végétaux en interculture (en automne et hiver), le non labour, la création de bandes enherbées le long des cours d'eau, le contouring (sillons parallèles aux courbes de niveau), l'implantation de haies perpendiculaires à la pente... Ces pratiques limitent l'écoulement rapide de l'eau sur les parcelles mais aussi le transfert des polluants vers les cours d'eau.



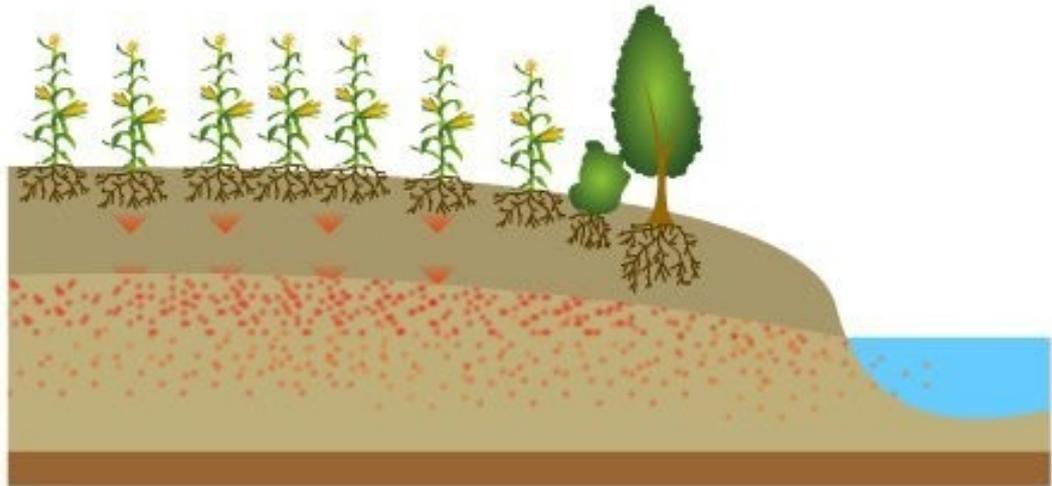
Tableau 1 Bassin du Layon - Aubance



Cette photo illustre le rôle de la haie pour la rétention des eaux de ruissellement

Les pollutions agricoles peuvent aussi être réduites en adaptant la fertilisation aux besoins réels des végétaux, en fractionnant les apports, en favorisant la rotation des cultures qui les rend moins sensibles aux attaques de parasites et réduit ainsi l'usage de pesticides, en réimplantant la prairie dans les systèmes fourragers, en semant des couverts végétaux entre les cultures afin de piéger les éléments qui pourraient être lessivés sur un sol nu... Ces techniques sont de plus en plus appliquées par les agriculteurs.

L'efficacité des haies dans le « tamponnage » des écoulements et dans l'épuration des polluants est variable, elle est fonction de leur implantation et du type de circulation de l'eau.



Barrière végétale inefficace car circulation profonde de l'eau.

Proposition 1

Proposition 2

Proposition 3

L'efficacité des barrière végétales

Bibliographie

VI

- **Blanchon D.**, 2009 : *Atlas mondial de l'eau : De l'eau pour tous ?* Ed. Autrement, Collection : Atlas/Monde.
- **Bravard J-P.** *Les cours d'eau, dynamique du système fluvial*, Ed. A. Colin.
- **Castany G.**, 1982 : *Principes et méthodes de l'hydrogéologie*. Ed. Dunod Université – Bordas, Paris.
- **Cosandey C., Robinson M.**, 2000 : *Hydrologie continentale*. Ed. Armand Colin , Collection : U. 368 p.
- **Giret A.**, 2007 : *Hydrologie fluviale*. Ed. Ellipses, Collection : Universités géographie. 257 p.
- **Hellier E., C. Carré, N. Dupont, F. Laurent et S. Vaucelle**, 2009 : *La France, la ressource en eau – usages, fonctions et enjeux territoriaux*. Ed. Armand Colin, collection U, 309 p.
- **Lambert R.** *Géographie du cycle de l'eau*, Presse universitaire du Mirail.
- **Maidment D.**, 1993 : *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill Professional, 1424 p.
- **Margat J.**, 1996 : *Les ressources en eau, conception, évaluation, cartographie, comptabilité*. Ed. BRGM, collection Manuels et Méthodes, 148 p.
- **Margat J., Andréassian V.**, 2009, *L'eau, idées reçues*. Ed. Le Cavalier Bleu, Paris, 125 p.
- **Musy A. et C. Higy**, 2004 : *Hydrologie : Tome 1, Une science de la nature*. Ed. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Collection : Gérer l'environnement. 314 p.
- **Thompson S.A.**, 1999 : *Hydrology for water management*. Ed. Balkema, Rotterdam. 362 p.
- **Vilaginès R.**, 2003 : *Eau, environnement et santé publique : Introduction à l'hydrologie*. Ed. Tec & Doc Lavoisier, 198 p.
- **Wackermann G. et Rougier H.**, 2010 : *L'eau, ressources et usages*. Ed. Ellipses, collection Carrefours, 270 p.

Questionnaires à Choix Multiples

VII

Plusieurs bonnes réponses sont possibles.

Exercice 1

[Solution n°1 p 53]

Les régions fortement arrosées dans le monde sont :

- sous l'équateur
- les façades occidentales des continents aux latitudes moyennes
- les façades occidentales des continents aux latitudes subtropicales
- le centre des continents
- les pôles

Exercice 2

[Solution n°2 p 53]

Où se situent les régions de faible écoulement sur le globe ?

- les hautes latitudes
- l'ouest de l'Amérique du Nord
- le bassin du Congo
- l'Australie
- l'Indonésie
- le Tibet

Exercice 3

[Solution n°3 p 54]

Que représente l'écoulement de base ?

- l'écoulement à la base de la zone racinaire
- l'écoulement des cours d'eau alimenté par les nappes souterraines
- le ruissellement
- l'écoulement des cours d'eau principaux
- les crues principales

Exercice 4

[Solution n°4 p 54]

Quel est le seuil de pénurie en ressources en eau ?

- 500 m³.an-1.hab-1
- 1 m³.j-1.hab-1
- 2 000 m³.an-1.hab-1
- 1 000 m³.an-1.hab-1

Exercice 5

[Solution n°5 p 54]

Qu'est-ce que la pluie efficace ?

- la pluie qui n'est pas évaporée
- la pluie qui mouille le sol
- la pluie qui s'infiltré dans le sol
- la pluie qui alimente les végétaux

Exercice 6

[Solution n°6 p 54]

Pourquoi les pluies estivales en Europe océanique ont-elles peu d'impact sur les ressources souterraines ?

- parce qu'elles ont une faible intensité journalière
- parce qu'elles s'évaporent à partir du sol ou des végétaux
- parce qu'elles sont utilisées par l'homme

Exercice 7

[Solution n°7 p 55]

Quels sont les facteurs déterminant le ruissellement à l'échelle d'un bassin versant ?

- l'altitude
- la pente
- la perméabilité du sol
- la profondeur du sol
- la densité végétale
- la hauteur des végétaux
- le drainage

Exercice 8

[Solution n°8 p 55]

Quelles sont les roches à fort potentiel aquifère ?

les calcaires

les granites

les argiles

les sables

les schistes

les marnes

Exercice 9

[Solution n°9 p 55]

Qu'est-ce qu'une nappe captive ?

une nappe captée pour l'alimentation humaine

une nappe bloquée latéralement entre 2 couches imperméables

une nappe bloquée verticalement entre 2 couches imperméables

Exercice 10

[Solution n°10 p 56]

Quels sont les intérêts d'une nappe captive en comparaison d'une nappe libre ?

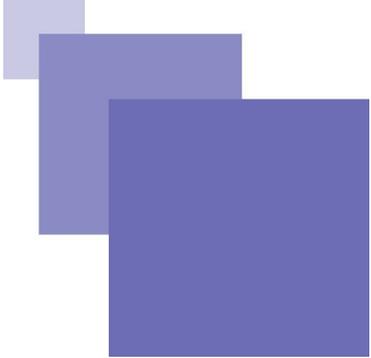
elle est plus productive

elle est moins vulnérable aux pollutions

elle est moins vulnérable aux sécheresses

elle est plus facile à exploiter

Conclusion



La ressource en eau dépend d'un cycle complexe. Les interactions entre l'eau et les compartiments traversés au cours de ce cycle expliquent à la fois la richesse de cette ressource et sa renouvelabilité. Pour autant cette circulation induit une fragilité de cette ressource vis-à-vis des actions anthropiques présentes sur le territoire. Ces actions produisent des dégradations tant quantitatives que qualitatives qui ont un impact important sur les milieux aquatiques mais également remettent en cause la disponibilité de la ressource.

Les questions de qualité de l'eau interrogent la cohérence des politiques publiques dans leur capacité à maîtriser les pollutions :

- Quelle hiérarchie donner aux actions de protection ?
- Comment mettre en place des politiques intégrées qui répondent à différents enjeux de pollution et qui ne soient pas trop spécifiques à un polluant « *phare* » ou « *médiatique* » ?
- Comment moduler les actions à l'échelle territoriale en tenant compte des spécificités du milieu et des activités humaines ?

Ces différentes questions peuvent également être posées dans le cadre des politiques de restauration des milieux aquatiques, de gestion quantitative de la ressource...

Sauf mention contraire, les droits de reproduction de toutes les représentations iconographiques ou photographiques sont réservés.

> **Solution n°3** (exercice p. 46)

- l'écoulement à la base de la zone racinaire
- l'écoulement des cours d'eau alimenté par les nappes souterraines
- le ruissellement
- l'écoulement des cours d'eau principaux
- les crues principales

> **Solution n°4** (exercice p. 46)

- 500 m³.an-1.hab-1
- 1 m³.j-1.hab-1
- 2 000 m³.an-1.hab-1
- 1 000 m³.an-1.hab-1

> **Solution n°5** (exercice p. 46)

- la pluie qui n'est pas évaporée
- la pluie qui mouille le sol
- la pluie qui s'infiltré dans le sol
- la pluie qui alimente les végétaux

> **Solution n°6** (exercice p. 47)

- parce qu'elles ont une faible intensité journalière
- parce qu'elles s'évaporent à partir du sol ou des végétaux
- parce qu'elles sont utilisées par l'homme

> Solution n°7 (exercice p. 47)

- | | |
|-------------------------------------|-------------------------|
| <input type="checkbox"/> | l'altitude |
| <input checked="" type="checkbox"/> | la pente |
| <input checked="" type="checkbox"/> | la perméabilité du sol |
| <input type="checkbox"/> | la profondeur du sol |
| <input checked="" type="checkbox"/> | la densité végétale |
| <input type="checkbox"/> | la hauteur des végétaux |
| <input checked="" type="checkbox"/> | le drainage |

> Solution n°8 (exercice p. 48)

- | | |
|-------------------------------------|---------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | les calcaires |
| <input type="checkbox"/> | les granites |
| <input type="checkbox"/> | les argiles |
| <input checked="" type="checkbox"/> | les sables |
| <input type="checkbox"/> | les schistes |
| <input type="checkbox"/> | les marnes |

> Solution n°9 (exercice p. 48)

- | | |
|-------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> | une nappe captée pour l'alimentation humaine |
| <input type="checkbox"/> | une nappe bloquée latéralement entre 2 couches imperméables |
| <input checked="" type="checkbox"/> | une nappe bloquée verticalement entre 2 couches imperméables |

> **Solution n°10** (exercice p. 48)

- elle est plus productive
- elle est moins vulnérable aux pollutions
- elle est moins vulnérable aux sécheresses
- elle est plus facile à exploiter

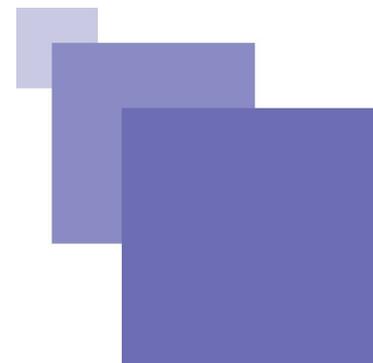
> **Solution n°11** (exercice p. 49)

- la fertilisation organique
- le couvert végétal permanent
- des cultures à faible rendement
- la prairie
- des versants compartimentés en haies sur talus
- une fertilisation fractionnée

> **Solution n°12** (exercice p. 49)

- par les traitements phytosanitaires
- par le ralentissement du débit
- par la surabondance de phosphore
- par la surabondance d'azote
- par la chaleur

Glossaire



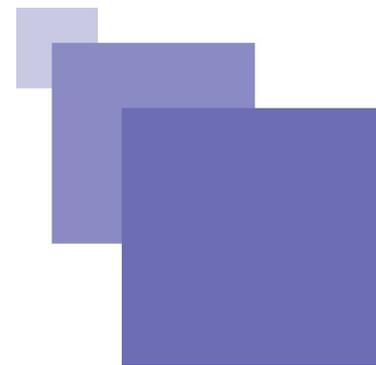
Coefficient de ruissellement

Ratio entre l'eau ruisselée et l'écoulement total.

Convention Ramsar

Traité international adopté en 1971 et entré en vigueur en 1975 qui a pour objectif la conservation et la gestion rationnelle de zones humides et de leur ressource.

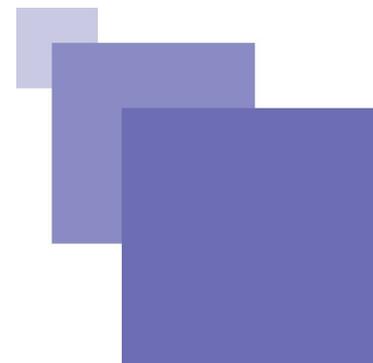
Signification des abréviations



- BRGM

Bureau de Recherche Géologique et Minière

Crédit des ressources



Précipitations annuelles moyennes p. 8

Source : UNEP/GRID-ARENDAL [en ligne]. 2008. [consulté le 26/04/2011]

Carte en anamorphose : la taille des pays en fonction du volume des précipitations p. 9

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr/>, © Copyright SASI Group (University of Sheffield) and Mark Newman (University of Michigan) En ligne.

Écoulement (mm/an) p. 10

Natural resource - water (freshwater run-off). (2008). In UNEP/GRID-Arendal Maps and Graphics Library. Retrieved 16:31, March 19, 2010 from Site web.

Ressources en eau renouvelable actuelles par habitant en 2005 (m³/an) p. 11

Source : Ressources en eau renouvelable actuelles par habitant en 2005 (m³/an). IN FAO-AQUASTAT [en ligne]. 2008. [consulté le 18/05/2011] Cartes mondiales.

Ressources en eau renouvelables par habitant et par bassin versant (1995) p. 12

Source : Revenga, C., J. Brunner, N. Henninger, K. Kassem, and R. Payne. 2000. Pilot Analysis of Global Ecosystems: Freshwater Systems. Washington DC: World Resources Institute. En ligne.

Pluie efficace ou lame d'eau écoulee annuelle (de septembre à août) – moyenne 1946-2001) p. 13

© Pôle Ressources Numériques, R. Sellin. Source : RNDE, E. Hellier

Bilan de l'eau en France p. 13

© Pôle Ressources Numériques, R. Sellin. Source : SA GREGUM – UMR ESO CNRS, Martine Tabeaud

Saison des pluies et saison sèche en Guadeloupe p. 15

© Pôle Ressources Numériques, R. Sellin. Source : Nadia Dupont

Échanges entre les eaux de surface et les eaux souterraines p. 18, Erreur : source de la référence non trouvée

© Pôle Ressources Numériques, R. Sellin.

Nappes libre et captive p. 20

© Pôle Ressources Numériques, R. Sellin. Source : SA GREGUM-UMR ESO, CNRS

Nappes en milieu fissuré / poreux p. 21

© Pôle Ressources Numériques, R. Sellin. Source : SA GREGUM-UMR ESO, CNRS

Pression des activités humaines en 2000 sur les zones humides selon les types ONZH p. 24

Ximenès M.C., Fouque, C., Barnaud G., 2007. Etat 2000 et évolution 1990-2000 des zones humides d'importance majeure (Document technique IFEN-ONCFS-MNHN-FNC) Orléans, Ifen. 136 p. + annexes. Figure 5, Pression des activités humaines en 2000 sur les zones humides selon les types ONZH, p.14.

Évolution des différents types de zones humides entre 1960-1980, 1980-1990 et 1990-2000 dans les zones de l'ONZH (Observatoire des Zones Humides) p. 25

IFEN, Etat 2000 et évolution 1990-2000 des zones humides d'importance majeure, IFEN, 208p

Sol couvert de végétation naturelle, sol agricole dénudé et sol urbain p. 28

© Pôle Ressources Numériques, R. Sellin.

Sur cette photo, le sol est laissé nu après la récolte, les engins agricoles ont tassé le sol p. 29

François Laurent

Emprise de l'agriculture sur les bassins versants des grands fleuves du monde p. 30

Wood, S., K. Sebastian, and S. Scherr. Pilot Analysis of Global Ecosystems: Agroecosystems Technical Report. Washington, DC: World Resources Institute and International Food Policy Research Institute. 2000. Map « Cropland Area by Basin ». En ligne.

Image3 p. 31

François Laurent

La Volga p. 32

© Pôle Ressources Numériques, R. Sellin. Source : Marchand Pascal. Une catastrophe d'origine administrative, l'aménagement de la Volga par la bureaucratie. In: Revue de géographie de Lyon. Vol. 66 n°3-4, 1991. A propos de la séquence neigeuse de décembre 1990 : Une approche des événements extrêmes. pp. 231-237. En ligne.

Cette photo illustre le rôle de la haie pour la rétention des eaux de ruissellement p. 40

François Laurent

L'efficacité des barrière végétales p. 40

© Pôle Ressources Numériques, R. Sellin.