

Chapitre 1 : Éléments théoriques et concepts sur les ressources en eau

Introduction

L'eau est une **ressource vitale** au cœur des écosystèmes et du développement humain. Comprendre les concepts fondamentaux liés aux ressources en eau est indispensable pour aborder les enjeux environnementaux actuels et la gestion durable de cette ressource. Ce chapitre présente les notions théoriques de base sur les ressources en eau, depuis les **définitions clés** jusqu'aux composantes du **cycle hydrologique**, en passant par la **disponibilité et l'accessibilité de l'eau**, le **stress hydrique** et la **rareté**, la **gouvernance de l'eau** (incluant la Gestion Intégrée des Ressources en Eau, GIRE), ainsi qu'un aperçu des **grands enjeux actuels** (changement climatique, croissance démographique, pollution, conflits d'usage). Des schémas et tableaux illustreront ces concepts pour en faciliter la compréhension. Enfin, des **questions de révision** concluront le chapitre afin de tester votre compréhension des notions abordées.

1. Définitions fondamentales des ressources en eau

Avant tout, clarifions quelques définitions essentielles liées aux ressources en eau. Ces notions forment le socle du vocabulaire de la gestion de l'eau et seront employées tout au long du cours.

Ressource en eau : La ressource en eau (ou ressource hydrique) désigne *toutes les eaux accessibles* qui sont utiles et disponibles pour l'être humain, ses activités (agriculture, élevage, industrie) et les écosystèmes, à différents points du cycle de l'eau. En ce sens large, cela inclut l'eau sous toutes ses formes utilisables, qu'elle provienne des pluies, des rivières, des lacs, des nappes souterraines, etc., pourvu qu'elle puisse être mobilisée et exploitée.

Eau douce : L'eau douce est définie comme une eau *peu ou pas salée*, par opposition à l'eau de mer salée. Il s'agit de l'eau des **rivières**, des **lacs**, des **cours d'eau** ou des **nappes souterraines**, par exemple, à l'exclusion de l'eau des océans. L'eau douce provient essentiellement des précipitations atmosphériques (pluie ou neige) et alimente les cours d'eau de surface et les réservoirs souterrains (aquifères) soit directement, soit indirectement par la fonte des neiges et des glaces. C'est cette eau douce continentale qui constitue la principale ressource utilisable pour les besoins humains et des écosystèmes.

Eaux de surface et eaux souterraines : On distingue généralement l'**eau de surface**, présente **visiblement** sur les continents (rivières, fleuves, lacs, zones humides), et l'**eau souterraine**, stockée de façon **invisible** sous la surface terrestre dans les **aquifères** (nappes phréatiques ou nappes plus profondes). Les eaux de surface proviennent directement des précipitations et du ruissellement, tandis que les eaux souterraines proviennent de l'infiltration de l'eau de pluie dans le sol et les roches. La **nappe phréatique** désigne la couche d'eau souterraine la plus proche de la surface du sol, occupant les interstices du sol et de la roche perméable. Les eaux souterraines plus profondes peuvent être confinées dans des aquifères captifs, parfois depuis des millénaires.

Ressources renouvelables et non renouvelables : Une ressource en eau est dite *renouvelable* lorsque son stock se reconstitue en permanence à l'échelle du temps humain grâce au cycle hydrologique (par exemple l'eau de pluie alimentant chaque année les rivières et rechargeant les nappes phréatiques). À l'inverse, une ressource *non renouvelable* en eau correspond à de l'eau dont le renouvellement est extrêmement lent ou négligeable à l'échelle humaine – son exploitation s'apparente alors à un **prélèvement sur stock** fini. C'est le cas notamment des **nappes fossiles** très profondes, accumulées il y a des milliers d'années et très peu réalimentées de nos jours. Par exemple, si le volume d'eau souterraine prélevé annuellement excède largement la recharge naturelle annuelle de l'aquifère, on considère que l'on puise dans une ressource non renouvelable. En pratique, exploiter une nappe fossile revient à diminuer irréversiblement ses réserves à terme, faute de recharge suffisante.

En résumé, les ressources en eau englobent l'ensemble des eaux douces disponibles pour les besoins humains et écologiques, qu'elles soient de surface ou souterraines, renouvelables à court terme (pluies, cours d'eau, nappes actives) ou non renouvelables à l'échelle humaine (glaciers en recul, eaux fossiles profondes). Ces définitions établies, nous pouvons à présent examiner comment l'eau circule dans l'environnement et comment sont distribuées les ressources en eau à l'échelle globale et régionale.

2. Le cycle hydrologique et les composantes des ressources en eau

L'eau présente sur Terre circule en permanence selon un cycle continu appelé **cycle hydrologique** (ou cycle de l'eau). Ce cycle décrit les échanges d'eau entre les réservoirs principaux que sont l'atmosphère, la surface terrestre et les océans, sous l'effet de l'énergie solaire et de la gravité. Comprendre le cycle de l'eau permet d'identifier les différentes composantes des ressources en eau à l'échelle globale (océans, glaces, eaux continentales) et leur répartition géographique.

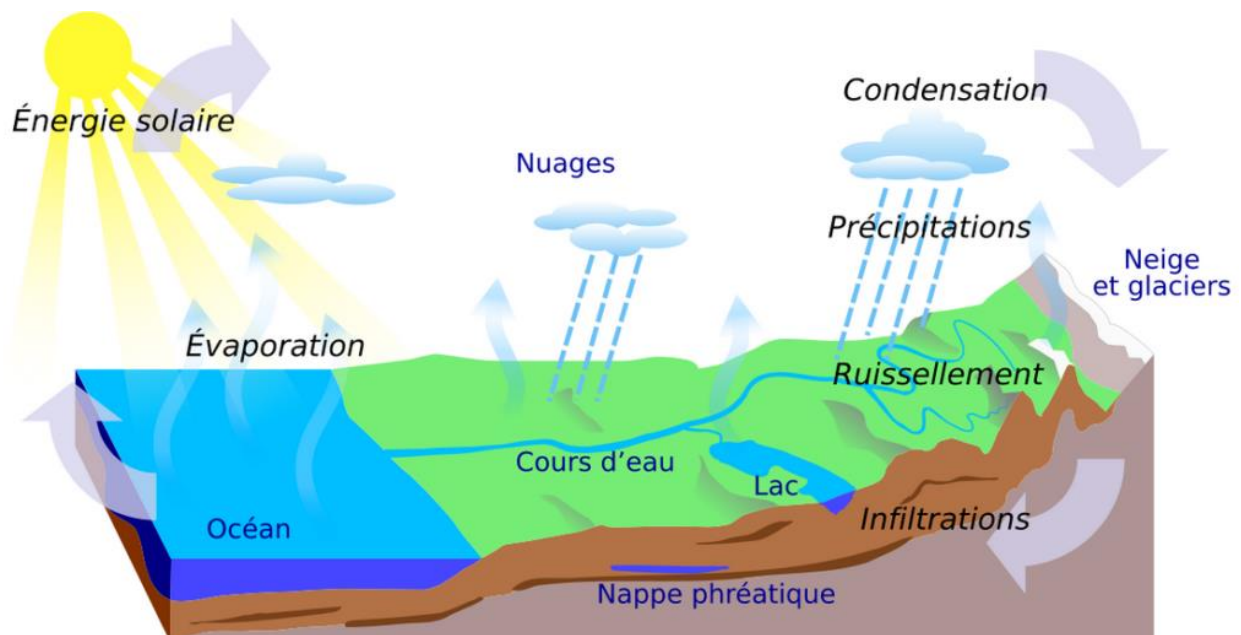


Figure 01 : cycle d'eau.

Les grands réservoirs d'eau sur Terre. L'eau sur notre planète se répartit inégalement entre plusieurs réservoirs naturels, dont la taille détermine la disponibilité globale de chaque type de ressource. La quasi-totalité de l'eau terrestre (environ 1,4 milliard de km³) est contenue dans les **océans** sous forme d'eau salée impropre à la consommation. Environ 2 % de l'eau mondiale est stockée sous forme solide dans les **glaces** (calottes polaires, glaciers de montagne), constituant des réserves d'eau douce immobilisées. L'**eau douce liquide** ne représente qu'environ 1 % du volume total d'eau terrestre : environ 0,63 % de l'eau globale est stockée dans les **nappes souterraines** sous forme d'eau douce souterraine, et seulement ~0,01 % dans les **eaux de surface** (lacs, rivières) facilement accessibles. Le reste (moins de 0,1 %) se trouve dans l'**humidité des sols**, l'**atmosphère** (vapeur d'eau et nuages) et la **biosphère** (eau contenue dans les êtres vivants). Autrement dit, l'eau douce accessible aux usages humains constitue une fraction infime de l'eau totale sur Terre – environ 0,6 % seulement de toute l'eau terrestre est de l'eau douce liquide potentiellement mobilisable, le reste étant soit salé, soit gelé, soit difficilement exploitable.

Le tableau suivant synthétise la **distribution des volumes d'eau** entre les principaux réservoirs planétaires :

Réservoir d'eau	Volume estimé	Part du total
Océans et mers (eau salée)	~1 350 000 000 km ³	~97,3 %
Glaces (calottes polaires, glaciers)	~27 500 000 km ³	~2,15 %
Eaux souterraines (majoritairement douces)	~8 200 000 km ³	~0,63 %
Eaux de surface (lacs, rivières)	~170 000 km ³	~0,01 %
Autres (sols, atmosphère, biosphère)	Quelques dizaines de milliers de km ³	<0,1 %

Tableau 1 : Volumes et pourcentages des différentes catégories d'eau sur Terre. Ces ordres de grandeur montrent que l'eau douce immédiatement disponible (cours d'eau, lacs et nappes peu profondes) est extrêmement minoritaire face au vaste volume d'eau

salée océanique. Cela souligne l'importance de gérer prudemment la faible fraction d'eau douce utilisable.

Le cycle de l'eau à l'échelle globale est responsable du renouvellement constant d'une partie de ces ressources en eau douce. Par exemple, l'eau atmosphérique est renouvelée en une à deux semaines environ, les eaux des rivières en quelques semaines, tandis que l'eau stockée dans les grands lacs peut mettre des années à se renouveler et celle des aquifères profonds ou des calottes glaciaires peut rester piégée pendant des siècles voire des millénaires. Ainsi, la disponibilité pratique de chaque ressource dépend non seulement de son volume stocké, mais aussi de la vitesse à laquelle elle se renouvelle ou se libère.

Variations régionales des ressources en eau. Bien que le cycle hydrologique soit global, la répartition des ressources en eau douce varie énormément selon les régions du monde. Les précipitations et les écoulements ne se répartissent pas uniformément à la surface du globe : certains climats humides reçoivent des **hauteurs d'eau** annuelles considérables (plusieurs milliers de millimètres de pluie par an), tandis que les zones arides reçoivent très peu de pluie. Cette hétérogénéité se traduit par de fortes disparités géographiques en disponibilité en eau. Par exemple, **neuf pays** (tels que le Brésil, la Russie, les États-Unis, le Canada, la Chine, etc.) se partagent environ **45 % du débit annuel mondial** des eaux de surface à eux seuls. À l'inverse, de vastes régions abritent une part très modeste des ressources hydriques : ainsi, le continent africain, malgré le fleuve Congo et le Nil, compte de nombreux pays en déficit hydrique. Même au sein d'un même pays, les contrastes régionaux peuvent être marqués – par exemple le bassin de l'**Amazone** en Amérique du Sud draine à lui seul environ **15 % des eaux douces mondiales**, alors que le nord-est du Brésil souffre régulièrement de sécheresses sévères. De même, en **Inde**, les plaines fluviales du Gange et du Brahmapoutre disposent d'eau abondante, alors que l'ouest désertique du Rajasthan en manque cruellement.

Les différences de climat et de géographie créent donc des **situations contrastées de disponibilité en eau**. Dans la région méditerranéenne, par exemple, l'eau douce est naturellement rare et très irrégulièrement répartie dans le temps (fortes pluies hivernales suivies de sécheresses estivales). Quelques pays relativement mieux pourvus (France, Turquie, Italie...) concentrent l'essentiel des ressources régionales, alors que d'autres (Malte, Libye, Jordanie, etc.) tombent **sous le seuil de pénurie extrême** avec moins de **500 m³ d'eau renouvelable par habitant et par an**. Ces seuils de référence illustrent qu'en deçà d'un certain volume d'eau disponible, les usages socio-économiques sont gravement limités. Globalement, il n'existe pas *une seule* problématique uniforme de l'eau à l'échelle planétaire, mais **une mosaïque de situations locales** très variées en fonction des climats, des géographies et des usages. Cela implique que les solutions de gestion de l'eau doivent être adaptées à chaque contexte régional ou local.

3. Disponibilité, accessibilité, stress hydrique et rareté de l'eau

Lorsqu'on s'intéresse aux ressources en eau d'un territoire, il est important de distinguer la **disponibilité physique** de l'eau, son **accessibilité effective** pour la population, et les notions de **stress hydrique** et de **rareté/pénurie** qui mesurent le degré de tension entre la ressource et les besoins.

- **Disponibilité en eau** : Ce terme désigne généralement la quantité d'eau douce renouvelable disponible dans un espace donné et sur une période donnée (souvent exprimée par an). On parle par exemple de volume annuel d'eau par habitant d'un pays ou d'une région. La disponibilité dépend avant tout des conditions naturelles (précipitations, débits des cours d'eau, réserves souterraines). À titre indicatif, la disponibilité moyenne mondiale en eau douce renouvelable est souvent citée autour de **6 000 à 8 000 m³ par personne et par an**, mais cette moyenne masque de fortes disparités et tend à diminuer avec l'augmentation de la population. Certains pays très arrosés comme l'Islande dépassent les **600 000 m³/an/habitant**, alors que d'autres comme Djibouti tombent en dessous de **20 m³/an/habitant**, illustrant des différences extrêmes. Il convient aussi de noter la variabilité saisonnière et interannuelle : une grande partie de l'eau peut arriver sur une courte période (saison des pluies, crues) et être inutilisable si elle n'est pas stockée, tandis que les périodes sèches voient la ressource disponible chuter.
- **Accessibilité de l'eau** : La présence physique d'eau dans l'environnement ne garantit pas son accès pour les usages humains. L'accessibilité renvoie à la capacité des populations à obtenir de l'eau potable en quantité suffisante et de manière fiable. Elle dépend des infrastructures (réseaux d'adduction, forages, puits, réservoirs...), de la qualité de l'eau, de son coût et de la distance à la ressource. De nombreux habitants de la planète vivent à proximité d'une source d'eau (lac, fleuve, nappe) sans pour autant avoir accès à une eau salubre. Les progrès en la matière sont mesurés par des indicateurs d'accès à l'eau potable. Par exemple, en 2023 encore **2 milliards de personnes** dans le monde – soit une personne sur quatre – n'avaient **pas accès à une eau potable gérée de façon sûre** (eau provenant d'une source protégée, accessible à domicile ou à faible distance, disponible en quantité suffisante et de bonne qualité). L'**Organisation mondiale de la Santé (OMS)** considère qu'un individu a un accès de base à l'eau potable si au moins **20 litres d'eau potable par jour** sont disponibles à moins de **15 minutes de marche** de son domicile. L'accessibilité peut être limitée par le manque d'infrastructures, la pollution de la ressource locale, des conflits ou inégalités dans la distribution, etc. Ainsi, même dans une région relativement bien pourvue en eau sur le plan climatique, des populations peuvent souffrir de pénuries s'il n'existe pas de moyens de capter, traiter et acheminer l'eau jusqu'à elles.
- **Stress hydrique et pénurie d'eau** : Ces notions quantifient la pression exercée sur les ressources en eau par les usages humains. On parle de **stress hydrique** lorsque la demande en eau approche ou dépasse la quantité disponible localement **pendant une certaine période**, entraînant des tensions. Un indicateur couramment utilisé est l'indice de Falkenmark (ou **Water Stress Index**), basé sur la disponibilité annuelle d'eau renouvelable par habitant. Selon cet indicateur, on considère généralement qu'un territoire est en *situation de stress hydrique* lorsque la disponibilité en eau descend en dessous de **1700 m³ par habitant et par an**. Si elle chute sous **1000 m³/hab/an**, on parle de *pénurie d'eau* (scarcity) et le manque d'eau commence à affecter gravement le développement économique et la santé de la population. En dessous de **500 m³/hab/an**, on atteint une *pénurie absolue*,

synonyme de rareté critique de l'eau, où l'eau disponible (même en mobilisant toutes les ressources locales) est insuffisante pour les besoins de la vie quotidienne et du développement. Ces seuils sont indicatifs mais largement utilisés par les institutions internationales pour alerter sur la situation hydrique d'un pays ou d'une région. Par exemple, des pays comme la Jordanie ou l'Arabie saoudite se situent bien en dessous de 500 m³/hab/an, ce qui en fait parmi les plus déficitaires en eau au monde.

Il faut noter que ces indices simplifiés ont leurs limites : ils ne tiennent pas compte directement des **capacités d'adaptation** (infrastructures de stockage, importation virtuelle d'eau via les denrées, efficacité d'usage, etc.). Par exemple, un pays très aride riche peut atténuer le stress hydrique via des usines de dessalement, l'importation alimentaire (importer des céréales équivaut à importer de « l'eau virtuelle ») ou une gestion très efficace, alors qu'un pays moins aride mais pauvre peut souffrir davantage du manque d'accès. Ainsi, depuis les années 2000, des indicateurs plus complexes comme le **Water Poverty Index** ou le **Water Resources Vulnerability Index** intègrent aussi la capacité à mobiliser l'eau, les infrastructures, la qualité de l'eau, etc., pour mieux évaluer la vulnérabilité hydrique.

Le **stress hydrique** a des conséquences sérieuses : lorsqu'une grande fraction de l'eau disponible est prélevée, le moindre aléa (sécheresse, canicule) peut conduire à des pénuries soudaines, et l'environnement souffre du manque d'eau (assèchement de rivières, surpompage des nappes). À terme, un stress hydrique chronique compromet le développement économique, la sécurité alimentaire et la santé publique. Il signale aussi le risque de **concurrence et de conflits accrus** entre usagers de l'eau (agriculteurs, industriels, villes, écologie) dans un contexte de ressources limitées. C'est pourquoi la gestion de la demande et l'augmentation de l'offre par des moyens non conventionnels (recyclage, dessalement) deviennent cruciales dans les régions en stress.

Enfin, précisons que même une *faible utilisation* de l'eau n'est pas toujours bon signe : dans certains pays très peu équipés, une valeur basse de prélèvement peut refléter l'incapacité à accéder aux ressources disponibles, plutôt qu'un réel confort hydrique. L'objectif est d'atteindre un équilibre où chacun dispose d'eau potable en quantité suffisante, sans surexploiter les écosystèmes aquatiques c'est tout l'enjeu du développement durable de l'eau.

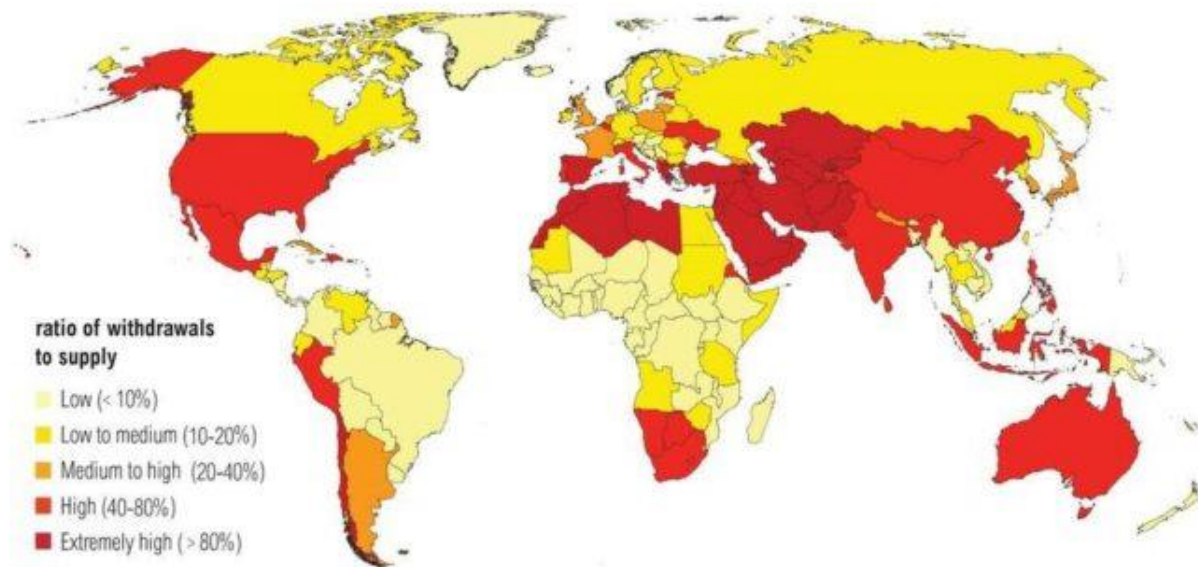


Figure 02 : stress hydrique.

4. Bases de la gouvernance de l'eau et gestion intégrée (GIRE)

Face à la nécessité de concilier les besoins en eau des différents acteurs et la préservation de la ressource, la notion de **gouvernance de l'eau** a émergé. La gouvernance de l'eau renvoie à la manière dont les décisions relatives à la gestion de l'eau sont prises, partagées et appliquées entre les multiples parties prenantes (État, collectivités locales, usagers, secteur privé, société civile). Elle comprend les cadres **politiques, juridiques, institutionnels, économiques et sociaux** mis en place pour développer et gérer les ressources en eau ainsi que pour assurer la fourniture des services liés à l'eau. En d'autres termes, la gouvernance de l'eau couvre *qui décide quoi* pour l'eau, *comment* et à *quel niveau*. Une bonne gouvernance vise à assurer une gestion transparente, participative et efficace, permettant d'allouer l'eau de façon équitable entre usages, tout en garantissant la durabilité de la ressource et des écosystèmes.

Définition (GWP) – Le Partenariat Mondial de l'Eau (Global Water Partnership) définit la gouvernance de l'eau comme « *la palette de systèmes politiques, sociaux, économiques et administratifs mis en œuvre pour le développement et la gestion des ressources en eau et la fourniture des services d'eau à tous les niveaux de la société* ». Cette définition souligne que la gestion de l'eau ne se limite pas à des considérations techniques, mais implique des choix de société, des mécanismes de coordination entre acteurs, et des arbitrages entre multiples objectifs (développement économique, bien-être social, protection de l'environnement).

Un des principes clefs de la gouvernance moderne de l'eau est de promouvoir une approche **intégrée** de la gestion des ressources hydriques. C'est l'idée au cœur de la **Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE)**, connue internationalement sous le sigle **IWRM** (Integrated Water Resources Management). La GIRE est apparue comme un paradigme dans les années 1990-2000 pour améliorer la planification et la gestion de l'eau de façon globale et durable.

Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) : « *Un processus favorisant le développement et la gestion coordonnés des ressources en eau, du sol et des ressources associées, permettant de maximiser les bénéfices économiques et sociaux de façon équitable sans compromettre la pérennité des écosystèmes vitaux* ». En résumé, la GIRE consiste à gérer l'eau **de manière holistique**, en tenant compte **simultanément** de tous les usages (eau potable, irrigation, industrie, énergie, loisirs, besoins des milieux naturels), de toutes les ressources connexes (eau de surface, eau souterraine, sols, écosystèmes aquatiques) et de tous les échelons (du bassin versant local jusqu'aux fleuves transfrontaliers).

Dans la pratique, la GIRE se traduit souvent par une gestion par **bassin versant** (unité géographique cohérente où l'eau s'écoule vers une même rivière ou nappe) plutôt que par découpage administratif arbitraire. Elle prône aussi la **participation** de l'ensemble des acteurs concernés (usagers, agriculteurs, industriels, associations, autorités locales) dans l'élaboration des plans de gestion, afin que les décisions soient acceptées et appliquées plus efficacement. La GIRE repose sur plusieurs dimensions d'intégration :

- *Intégration des ressources* : considérer toutes les formes d'eau (de surface, souterraines, eaux usées réutilisées) et les milieux aquatiques associés comme un tout interconnecté.
- *Intégration sectorielle* : coordonner les besoins et usages de différents secteurs (agriculture, alimentation en eau potable, industrie, production énergétique, navigation, loisirs) au lieu de les gérer en silos séparés.
- *Intégration sociale* : intégrer les besoins de tous les usagers, assurer l'équité dans l'accès à l'eau et harmoniser les usages (par exemple arbitrer entre l'eau pour l'irrigation agricole et l'eau potable urbaine).
- *Intégration des acteurs* : associer les parties prenantes à la prise de décision, via des comités de bassin, des concertations locales, etc., plutôt que de laisser la gestion à la seule administration centrale.
- *Intégration environnementale* : reconnaître la valeur des écosystèmes aquatiques (rivières, zones humides) et leur besoin en eau, et intégrer ces exigences écologiques dans la planification (débits réservés pour la nature, protection des habitats).
- *Intégration spatiale* : planifier à l'échelle du territoire pertinent (souvent le bassin versant), qui peut dépasser les frontières administratives, voire nationales, ce qui requiert une coopération entre régions ou pays riverains d'un même fleuve.
- *Intégration économique* : chercher l'efficacité économique dans l'allocation de l'eau (par exemple via une tarification appropriée, des incitations à économiser

l'eau) tout en tenant compte des dimensions sociales (droit à l'eau) et environnementales.

La mise en œuvre de la GIRE se heurte à des défis concrets – par exemple la complexité institutionnelle, le partage du pouvoir entre acteurs, ou le manque de données – mais elle constitue un idéal vers lequel tendre pour une gestion durable. Depuis le **Sommet mondial du développement durable** de Johannesburg en 2002, les pays ont été encouragés à élaborer des stratégies de GIRE. De nombreux États ont depuis adopté de nouvelles lois sur l'eau incorporant ces principes, créé des agences de bassin et développé des plans d'action intégrés. Par exemple, en Europe, la **Directive-Cadre sur l'Eau (DCE)** de l'an 2000 impose une gestion par district hydrographique avec des objectifs de bon état des eaux. Globalement, plus de 80 % des pays rapportaient des progrès dans l'approche GIRE au cours des années 2010.

En somme, la **gouvernance de l'eau** et la **gestion intégrée** visent à répondre aux défis de la rareté et du partage de l'eau de manière coordonnée, équitable et durable. Une bonne gouvernance implique clarté des rôles (qui fait quoi), redevabilité, participation démocratique et vision à long terme. La GIRE fournit un cadre méthodologique pour atteindre ces objectifs en traitant l'eau comme un *système global* à gérer et non comme une simple ressource sectorielle.

5. Enjeux actuels liés à l'eau

Les ressources en eau, bien que renouvelables, sont soumises à des **pressions croissantes** au XXI^e siècle. Plusieurs enjeux majeurs, d'ordre à la fois environnemental, démographique et socio-économique, déterminent l'état et l'avenir de l'eau à l'échelle mondiale. En voici un aperçu :

a) Changement climatique : Le dérèglement climatique modifie le cycle hydrologique, avec des impacts déjà perceptibles sur les ressources en eau. L'augmentation des températures accentue l'évaporation et la demande en eau des plantes, tandis que la variabilité des précipitations s'accroît. Dans de nombreuses régions, on observe des **événements extrêmes** plus fréquents et intenses : épisodes de **sécheresse** prolongés d'une part, et **précipitations torrentielles** d'autre part, entraînant inondations. Les régimes des rivières changent (assèchement de certaines rivières saisonnières, crues plus violentes ailleurs). Les **glaciers de montagne** fondent rapidement sous l'effet du réchauffement, menaçant à moyen terme l'approvisionnement en eau de populations qui dépendaient de la fonte nivale régulière (ex : dans l'Himalaya ou les Andes). De plus, le changement climatique altère la répartition géographique de l'eau : les zones déjà humides tendent à recevoir encore plus de pluie, alors que les zones arides le deviennent davantage en moyenne. Globalement, « les changements climatiques ont une incidence sur la disponibilité en eau » : là où l'eau était abondante, elle peut devenir moins fiable (ex. fonte du stock de neige), et là où elle manquait, la situation risque d'empirer (sécheresses plus sévères). L'adaptation au changement climatique est donc un défi central de la gestion de l'eau au XXI^e siècle (ex : développer des infrastructures de stockage, revoir les pratiques agricoles, planifier des ressources alternatives).

b) Croissance démographique et urbanisation : La population mondiale, en croissance continue (on approche 8 milliards d'habitants en 2025), exerce une pression accrue sur

les ressources en eau. Plus de population signifie **plus de besoins en eau potable**, en assainissement, en production alimentaire (irrigation) et en biens de consommation (eau industrielle). La **croissance démographique** est particulièrement forte dans certaines régions déjà en tension hydrique (par exemple en Afrique sub-saharienne, en Asie du Sud). Cela réduit mécaniquement, toutes choses égales par ailleurs, la disponibilité d'eau par habitant au fil du temps. Par ailleurs, l'**urbanisation galopante** pose de nouveaux problèmes : alimenter en eau des mégapoles de dizaines de millions d'habitants requiert des infrastructures colossales (aqueducs, usines de traitement) et l'étalement urbain imperméabilise les sols, aggravant les risques d'inondation. De plus, la concentration urbaine génère des volumes d'**eaux usées** importants, souvent difficilement épurés dans les pays en développement, ce qui pollue les rivières. Dans certaines régions, l'essor économique conduit aussi à des changements de régimes alimentaires (plus de viande, donc plus d'eau pour nourrir le bétail) et à une augmentation de la consommation d'eau par habitant. En résumé, la pression humaine sur l'eau augmente à la fois par le **nombre** (plus d'utilisateurs) et par les **usages par personne**. Assurer la sécurité hydrique d'une population mondiale qui devrait atteindre ~10 milliards d'ici 2050 est un défi sans précédent.

c) Pollution des eaux : La qualité de l'eau est un enjeu aussi crucial que sa quantité. Les **pollutions** affectent de nombreuses ressources en eau, réduisant l'eau réellement utilisable. Les causes de pollution sont multiples : **rejets d'eaux usées urbaines** non traitées (contenant des microbes pathogènes, déchets organiques) qui contaminent les rivières et nappes phréatiques, **pollutions agricoles** (engrais azotés et phosphorés provoquant l'eutrophisation des eaux, pesticides toxiques) ruisselant vers les cours d'eau ou s'infiltrant dans les nappes, **pollutions industrielles** (métaux lourds, solvants, hydrocarbures, plastiques) qui dégradent durablement les milieux aquatiques. S'y ajoutent des pollutions diffuses : les retombées atmosphériques (pollution de l'air) contaminent aussi les eaux de pluie, et les excès de pompage d'eau souterraine dans les zones côtières entraînent des intrusions d'**eau salée** dans les nappes, rendant l'eau impropre à la consommation (phénomène de salinisation)[41]. En de nombreux endroits, les nappes phréatiques sont **surexploitées et polluées** simultanément, ce qui cumule deux problèmes. La pollution de l'eau douce réduit les quantités d'eau potable disponibles (nécessité de traitements coûteux) et menace les écosystèmes aquatiques (perte de biodiversité, toxicité). Par exemple, on estime qu'environ **2,6 millions de personnes** meurent chaque année de maladies liées à l'eau insalubre et à un environnement dégradé (données OMS). La lutte pour la qualité de l'eau passe par le développement de systèmes d'assainissement, la réglementation des polluants, la sensibilisation et la restauration des milieux.

d) Conflits d'usage et gestion partagée : L'eau est une ressource à la fois *indispensable* et *limitée*, ce qui engendre souvent des **conflits d'usages**. À l'échelle locale, différents secteurs économiques peuvent se disputer l'accès à une même ressource : par exemple, dans une plaine irriguée, l'agriculture consommatrice d'eau peut entrer en concurrence avec l'approvisionnement en eau potable des villes voisines, ou avec la nécessité de conserver un débit minimal pour la rivière et la vie aquatique. De même, l'industrialisation et la production d'électricité (centrales thermiques, barrages hydroélectriques) requièrent de l'eau et peuvent concurrencer d'autres usages. Aujourd'hui, **l'agriculture représente**

environ 70 % des prélèvements mondiaux d'eau douce, loin devant l'industrie (~20 %) et les usages domestiques (~10 %). Ce chiffre global reflète l'énorme part de l'eau utilisée pour **produire notre alimentation** (irrigation des cultures, abreuvement du bétail). Cela peut créer des tensions en période de pénurie : faut-il restreindre l'irrigation pour garantir l'eau potable ? Ou inversement, sacrifier une partie du débit d'une rivière (avec impacts écolo) pour sauver les récoltes ? Ce sont des arbitrages délicats. À l'échelle régionale, lorsque des cours d'eau ou nappes sont partagés, des conflits peuvent émerger entre collectivités ou entre pays. Par exemple, plus de 260 bassins fluviaux dans le monde sont **transfrontaliers** (le Nil, le Tigre-Euphrate, le Mékong, le Danube, etc.), ce qui nécessite une coopération internationale pour éviter les litiges. Dans un contexte de raréfaction de l'eau, la compétition peut s'exacerber : l'ONU a averti que les pénuries d'eau risquent de provoquer des **conflits géopolitiques** si rien n'est fait pour gérer la ressource de manière conjointe et pacifique. D'où l'importance de mécanismes de gouvernance et de traités de partage (par exemple, des commissions de bassin internationales). La GIRE (vue plus haut) et la planification participative sont des outils pour désamorcer les conflits d'usage en impliquant tous les acteurs dans la recherche de compromis. Toutefois, dans certaines zones critiques, la tension est telle que l'eau est déjà qualifiée de « ressource stratégique », pouvant attiser les rivalités.

e) Solutions émergentes et adaptations : Heureusement, face à ces défis, des solutions techniques et stratégiques se développent. Parmi elles, on peut citer le **dessalement de l'eau de mer**, autrefois marginal, qui fournit aujourd'hui de l'eau douce à de nombreux pays arides côtiers (Moyen-Orient, Australie, Espagne, etc.), bien que son coût énergétique reste élevé. De même, la **réutilisation des eaux usées épurées** gagne du terrain : des eaux usées traitées peuvent servir à l'irrigation, à l'industrie, voire être recyclées indirectement pour l'alimentation en eau potable, augmentant ainsi l'offre disponible. La **collecte des eaux de pluie** et la recharge artificielle des nappes sont aussi pratiquées localement pour accroître la ressource utilisable. Sur le volet demande, de nombreuses innovations visent à **améliorer l'efficacité** de l'utilisation de l'eau : techniques d'irrigation économe (goutte-à-goutte, agriculture de précision), recyclage dans l'industrie, réduction des fuites dans les réseaux urbains, sensibilisation des usagers à économiser l'eau. Par ailleurs, la prise de conscience progresse quant à la nécessité de **préserver les écosystèmes** (zones humides, forêts) qui régulent le cycle de l'eau et garantissent sa qualité. Enfin, la coopération internationale autour de l'eau (partage de données hydrologiques, aide aux pays en stress hydrique, programmes type UNESCO et OMM) sera déterminante pour gérer les enjeux globaux comme le climat et la sécurité alimentaire.

En synthèse, les ressources en eau se trouvent au carrefour de multiples enjeux contemporains : environnementaux (climat, dégradation des milieux), sociaux (accès inégalitaire, santé publique), économiques (sécurité alimentaire, énergie) et politiques (coopération vs conflits). La compréhension des principes théoriques – cycle, disponibilité, gouvernance – éclaire ces défis et permet d'envisager des solutions intégrées. Le **chapitre suivant** approfondira [ici on pourrait indiquer la suite du cours si besoin].

Questions de révision

Pour conclure ce chapitre, voici quelques questions pour tester et consolider votre compréhension des concepts abordés :

1. **Définitions clés** : Expliquez ce qu'on entend par *ressources en eau* et faites la distinction entre une ressource en eau *renouvelable* et *non renouvelable*. Donnez un exemple de chaque.
2. **Cycle hydrologique** : Décrivez brièvement le cycle hydrologique global. Quelles sont les principales étapes et comment ce cycle renouvelle-t-il les ressources en eau douce ?
3. **Disponibilité vs accessibilité** : Quelle différence fait-on entre la disponibilité en eau d'une région et l'accessibilité de l'eau pour la population ? Quels facteurs peuvent limiter l'accessibilité même lorsque la ressource est physiquement présente ?
4. **Stress hydrique** : À partir de quels seuils (en m³ par habitant et par an) parle-t-on de *stress hydrique*, de *pénurie d'eau* et de *pénurie absolue* ? Que signifient ces notions en termes d'usages et d'impacts pour un pays donné ?
5. **Gouvernance de l'eau** : Qu'est-ce que la gouvernance de l'eau et pourquoi est-elle importante ? Présentez les principes de base de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) et son intérêt par rapport à une gestion sectorielle classique.
6. **Enjeux actuels** : Nommez trois grands enjeux actuels liés aux ressources en eau et expliquez brièvement comment chacun affecte la gestion de l'eau (par exemple, impacts du changement climatique, conséquences de la pollution, etc.).