

2025/2026

CENTRE UNIVERSITAIRE ABDELHAFID BOUSSOUF DE MILA

Master 2 : Biodiversité et Sécurité Alimentaire

Responsable de matière : Dr. BOUCHAREB Nouredine

Email : n.bouchareb@centre-univ-mila.dz

Responsable des TD : Doc. MENNOUR Hocine

TD GESTION DURABLE DES RESSOURCES EN EAU



TD N°01 : INTRODUCTION A LA GESTION DES RESSOURCES EN EAU

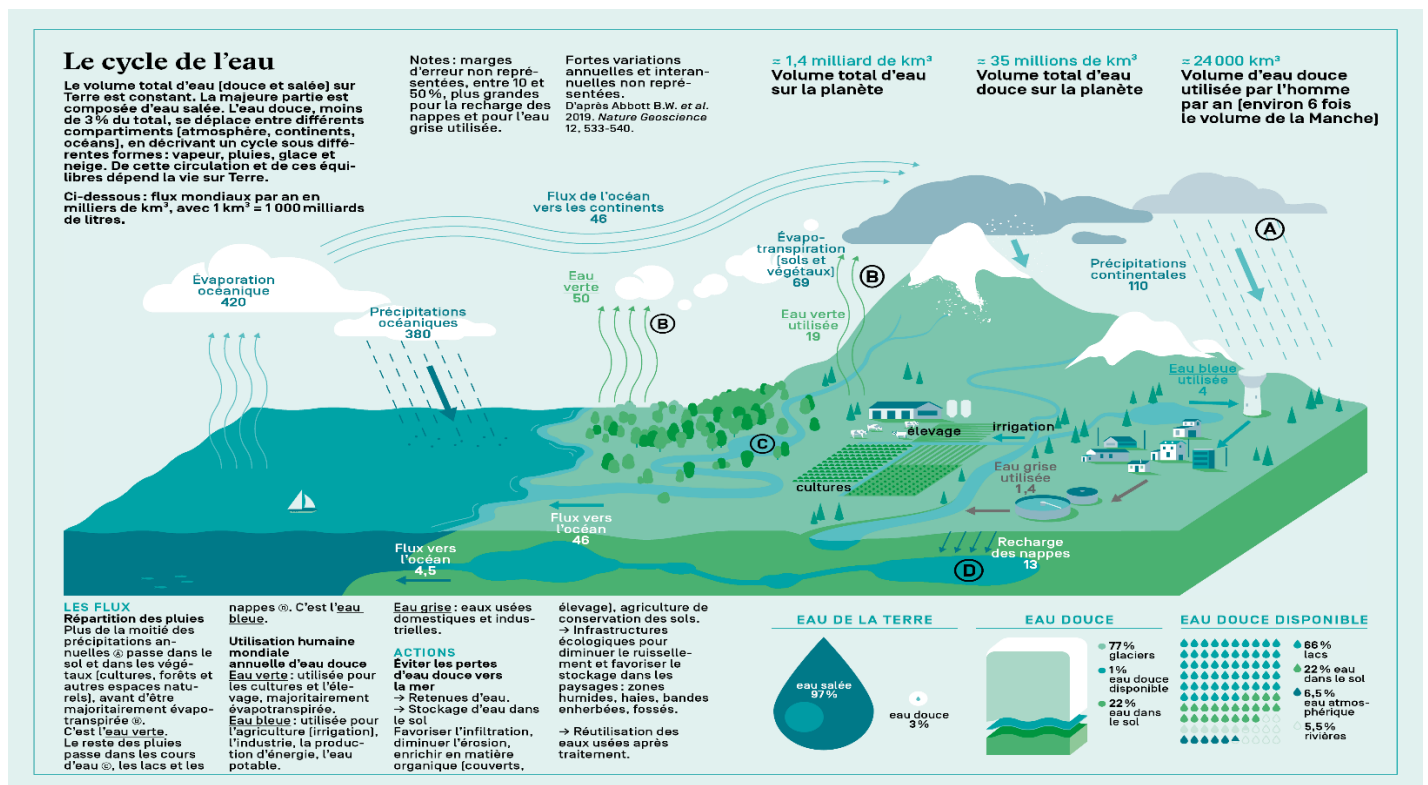
1. Définition des ressources en eau

La ressource en eau (**ou ressource hydrique**) désigne l'ensemble des eaux disponibles et utilisables pour les besoins humains (eau potable, agriculture, industrie, énergie, etc.) et pour les écosystèmes. Autrement dit, ce terme regroupe toutes les eaux accessibles (de surface ou souterraines) qui sont utiles et exploitables par l'homme et la nature. Cette ressource est limitée en quantité et en qualité, notamment dans les régions arides, même si l'eau est renouvelée en permanence par le cycle naturel.

À l'échelle globale, l'eau est en effet une ressource renouvelable grâce au cycle hydrologique (la planète reçoit chaque année environ **7000 m³ d'eau** par habitant sous forme de précipitations) ; cependant, la distribution de cette eau est très inégale géographiquement, si bien que localement l'eau peut manquer. En d'autres termes, l'eau est renouvelable à l'échelle de la planète, mais peut ne pas l'être au niveau local lorsque les prélèvements dépassent la recharge naturelle.

2. Cycle hydrologique (cycle de l'eau)

Le cycle de l'eau décrit la circulation continue de l'eau sur Terre entre les réservoirs atmosphérique, terrestre et océanique. Sous l'effet du rayonnement solaire, l'eau s'évapore des océans, des sols et des êtres vivants (évaporation et transpiration). La vapeur d'eau se condense en altitude pour former les nuages, puis retombe sous forme de précipitations (pluie, neige, etc.).



Une partie de l'eau de pluie ruisselle à la surface vers les rivières et les lacs (ruissellement), et une autre partie s'infiltre dans le sol pour alimenter les nappes souterraines (infiltration). L'eau retourne ensuite aux océans (écoulement des fleuves) et au réservoir atmosphérique, bouclant ainsi le cycle.

Ce cycle hydrologique est responsable du renouvellement naturel des ressources en eau douce : il distribue l'eau sur le globe, mais de manière irrégulière selon les lieux, les saisons et les années. Par exemple, plus de 60% du ruissellement annuel mondial se produit lors d'événements intenses (crues) concentrés sur une période brève, suivis de périodes de sécheresse.

Le cycle de l'eau assure donc une ressource renouvelable en permanence à l'échelle globale, tout en créant des variations spatiales et temporelles importantes de la disponibilité en eau.

3. Classification des ressources en eau

On distingue plusieurs catégories de ressources en eau, définies par leur localisation physique :

- **Les eaux de surface** : ce sont les eaux présentes à la surface des continents, principalement les cours d'eau (rivières, fleuves), les lacs et autres plans d'eau, ainsi que les zones humides (marais, deltas). Ces eaux proviennent directement des précipitations et du ruissellement et forment la partie visible des ressources en eau douce.

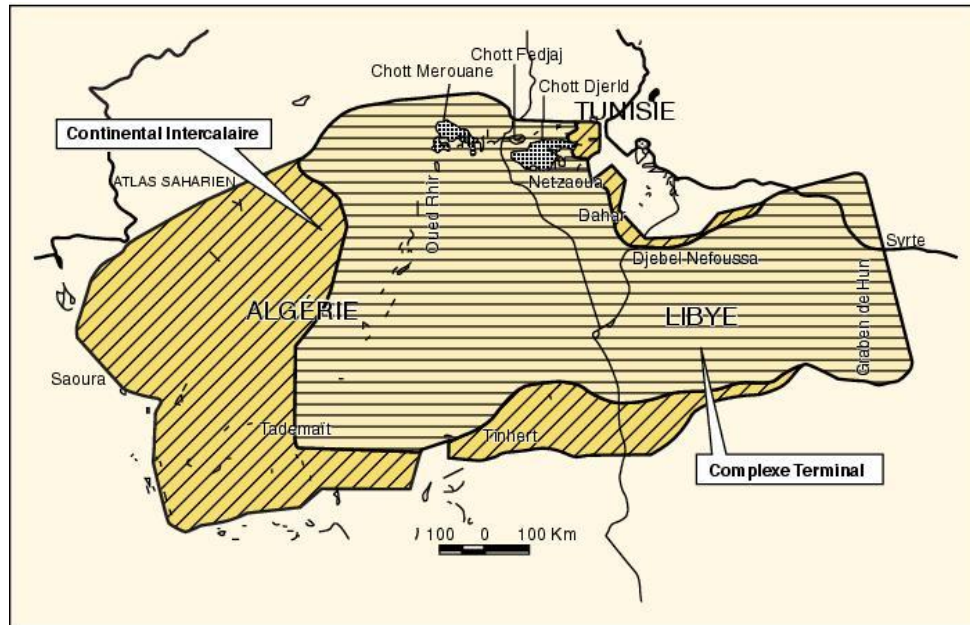


- **Les eaux souterraines** : il s'agit des eaux présentes sous la surface du sol, dans les nappes aquifères. Elles proviennent de l'infiltration des pluies et de l'écoulement souterrain. On distingue souvent les nappes phréatiques peu profondes, reliées à la surface, et les nappes plus profondes. Les eaux souterraines représentent la plus grande réserve d'eau douce liquide accessible (environ 0,6% du stock total d'eau de la planète). Elles peuvent jaillir sous forme de sources ou être captées par forage.



Carte géographique des nappes phréatiques africaines

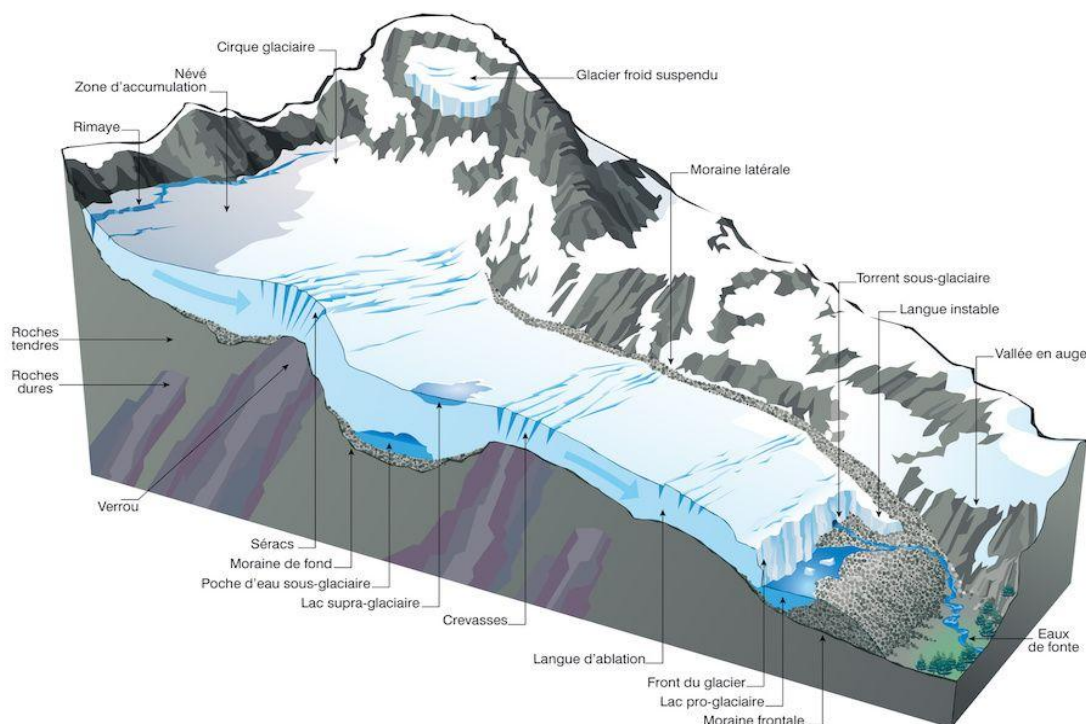
- **Les eaux fossiles** : ce terme désigne des eaux souterraines très anciennes, accumulées dans des aquifères profonds il y a des milliers voire des millions d'années, à une époque où le climat était différent. Ces nappes dites fossiles ne reçoivent quasiment plus de recharge actuelle, ce qui fait que l'eau qu'elles contiennent est considérée comme non renouvelable à l'échelle humaine. En effet, leur temps de régénération dépasse la durée de la civilisation (souvent des dizaines de millénaires) et l'eau qu'elles contiennent est piégée en dehors du cycle de l'eau contemporain. Extraire de l'eau fossile équivaut donc à puiser dans un stock fini, qui ne se reconstituera pas à l'échelle de notre vie ou de plusieurs générations. Des exemples de nappes fossiles incluent les grands aquifères du Sahara (comme le système aquifère nord-saharien) ou du Bassin de Paris, dont la recharge naturelle est quasi nulle de nos jours.



Système aquifère nord-saharien

Appelé également Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS)

- **Autres types** : eaux glaciaires (l'eau stockée dans les glaciers et calottes polaires, qui est douce mais immobilisée sous forme de glace) et eaux salines (eaux de mer ou saumâtres). Les glaciers constituent des réserves d'eau douce importantes – leur fonte estivale alimente de nombreux cours d'eau, mais ils sont menacés par le réchauffement climatique. Les eaux marines, quant à elles, ne sont pas directement potables en raison de leur salinité, mais peuvent être exploitées via le dessalement pour produire de l'eau douce utilisable.



Un diagramme de Glacier et ces composants

4. Ressources renouvelables vs non renouvelables

Ressources en eau renouvelables

Une ressource en eau est dite **renouvelable** lorsqu'elle se reconstitue naturellement à un rythme au moins égal à celui de son utilisation par l'homme. C'est le cas notamment des eaux de pluie annuelles, des rivières alimentées par les précipitations, ou des nappes phréatiques peu profondes qui se rechargent régulièrement chaque saison.

Ressources en eau non renouvelables

Une ressource en eau est **non renouvelable** lorsque son taux d'exploitation dépasse largement son taux de recharge naturelle, entraînant une diminution progressive du stock disponible. Les nappes fossiles en sont un exemple emblématique, car leur alimentation actuelle est quasiment nulle. Toute eau extraite de ces nappes est donc définitivement perdue à l'échelle humaine.

Échelle temporelle et espace

En général, une nappe souterraine profonde, qui se recharge naturellement sur des périodes de siècles voire de millénaires, est considérée comme non renouvelable si elle est exploitée de manière excessive en quelques décennies. Par ailleurs, une eau qui serait théoriquement renouvelable à l'échelle globale peut localement devenir non renouvelable si les prélèvements dépassent durablement la capacité de recharge.

Par exemple, même si l'eau renouvelable à l'échelle planétaire grâce au cycle hydrologique, dans certaines régions arides, une exploitation intensive des nappes peut entraîner leur assèchement, transformant une ressource initialement durable en une ressource épuisable.

La distinction entre ressources renouvelables et non renouvelables dépend principalement du **rythme de renouvellement** par rapport à l'échelle humaine. Les eaux de surface et certaines nappes phréatiques sont renouvelables si elles sont gérées durablement, tandis que les eaux fossiles ou fortement surexploitées sont presque toujours non renouvelables.

TD 02 : NOTIONS DE DISPONIBILITE, ACCESSIBILITE ET GESTION DURABLE DE L'EAU

1. Notion de disponibilité et d'accessibilité

Disponibilité en eau

La disponibilité en eau fait référence à la quantité d'eau présente ou renouvelable dans une zone donnée, généralement exprimée en volume par habitant et par an, ou en volume total annuel. C'est une mesure plutôt physique des ressources en eau présentes sur le territoire.

Accessibilité à l'eau

L'accessibilité (ou accès à l'eau) renvoie à la capacité effective pour les populations d'utiliser cette eau. Cela dépend des infrastructures (captage, stockage, traitement, distribution), de la qualité de l'eau, du coût et des moyens mis en œuvre pour la rendre utilisable.

Distinction entre disponibilité et accessibilité

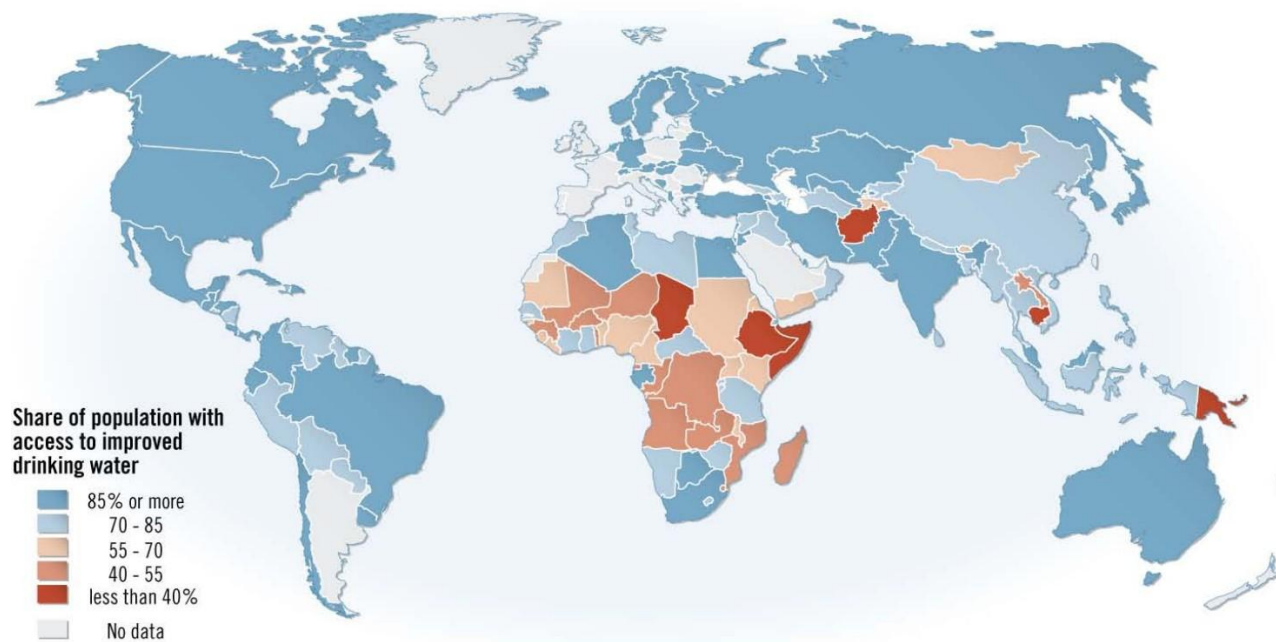
Il est important de distinguer ces deux notions : un pays peut avoir une disponibilité en eau relativement élevée sur le papier, mais une partie de sa population sans accès à l'eau potable si les aménagements manquent ou si la ressource est éloignée ou inappropriée.

Par exemple, aujourd'hui moins de 10 pays se partagent 60% des ressources mondiales d'eau douce, tandis qu'environ 17% de la population mondiale n'a pas accès à l'eau potable de façon sûre. Cela signifie que la présence d'eau ne garantit pas son accès pour tous. Souvent, les régions les plus peuplées sont celles où l'accès à l'eau est le plus limité.

L'inégalité de répartition et les manques d'infrastructures font que beaucoup de personnes doivent parcourir de longues distances pour collecter de l'eau ou dépendent d'une eau vendue chère par des revendeurs.

Concrètement, l'accessibilité dépend de la gestion humaine : il faut des réseaux de distribution, des stations de traitement et une gouvernance efficace pour que l'eau disponible atteigne effectivement la population. Sans ces services, une ressource abondante peut rester inutilisable.

Ainsi, le manque d'infrastructures et de services est souvent le premier frein à l'accès à l'eau, plus encore que le manque physique de ressource. Inversement, des pays très arides mais riches (par ex. certains pays du Golfe) parviennent à assurer l'accès à l'eau en investissant dans des solutions techniques (usines de dessalement, importation d'eau, etc.), montrant que l'accès dépend autant de la volonté et des moyens que de la disponibilité naturelle.



2. Stress hydrique et pénurie d'eau

Définitions et seuils

Ces deux termes qualifient des situations de rareté de l'eau, à des degrés divers, souvent évaluées par la quantité d'eau disponible par habitant. On parle généralement de stress hydrique lorsque la disponibilité en eau renouvelable d'une région devient inférieure à environ 1700 m³ par habitant et par an. En deçà de ce seuil, des tensions apparaissent parce que les ressources en eau commencent à ne plus couvrir confortablement les usages tout au long de l'année.

Si la disponibilité descend en dessous de 1000 m³ par habitant et par an, la situation est considérée comme une pénurie d'eau (on parle aussi de rareté extrême). À ce niveau, le manque d'eau a des impacts sévères sur le développement économique, la santé publique et l'environnement. Un seuil encore plus critique est souvent fixé à 500 m³/hab/an, en dessous duquel on parle de pénurie absolue, impliquant que l'eau manque pour subvenir aux besoins de base de la population.

Importance des indices et limites

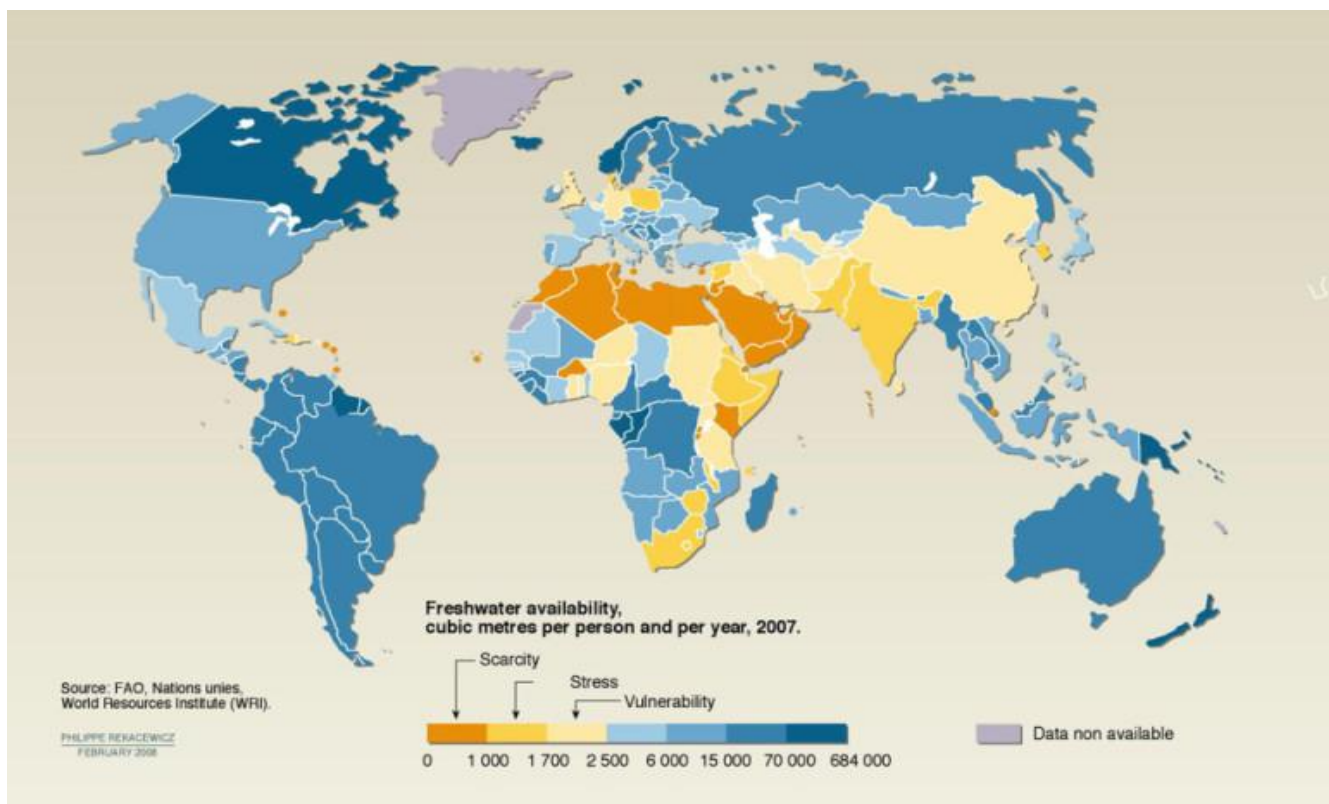
En résumé : stress hydrique < 1700 m³/hab/an, pénurie < 1000 m³/hab/an (et pénurie absolue < 500 m³/hab/an).

Ces valeurs, établies par des hydrologues (notamment l'indicateur de Falkenmark) et utilisées par l'ONU, donnent une idée du degré de vulnérabilité hydrique d'un pays. Il faut noter qu'il s'agit de moyennes nationales : localement, certaines régions au sein d'un pays peuvent subir une pénurie même si la moyenne nationale dépasse les seuils, et inversement.

De plus, ces indices purement quantitatifs ne tiennent pas compte de la capacité d'un pays à mobiliser l'eau (par exemple via des infrastructures de stockage ou d'importation), ni des variations saisonnières. Néanmoins, ils offrent un outil pour comparer les situations.

Impact mondial

Stress hydrique implique généralement des difficultés temporaires ou localisées à répondre aux besoins en eau, tandis que pénurie désigne une insuffisance chronique et généralisée de la ressource par rapport aux besoins. Aujourd'hui, le stress hydrique est un problème mondial majeur : on estime qu'environ 40% de la population mondiale vit dans un pays confronté à un stress hydrique important ou à une pénurie d'eau. Concrètement, cela signifie que des milliards de personnes manquent d'eau douce disponible sur au moins une partie de l'année.



Les conséquences en sont multiples : conflits d'usage entre agriculture, industrie et consommation domestique, sur-pompage des rivières et nappes (entraînant leur assèchement progressif), dégradation des écosystèmes aquatiques, et risques accrus de conflits sociaux ou géopolitiques autour de l'eau.

3. Gestion intégrée des ressources en eau (GIRE)

Concept et objectifs

Face à la complexité de la gestion de l'eau (ressource vitale, partagée entre de nombreux usages et sans frontières naturelles strictes), le concept de gestion intégrée des ressources en eau s'est imposé. La GIRE est une approche globale qui vise à gérer l'eau de façon coordonnée, en prenant en compte tous les usages (alimentation en eau potable, irrigation agricole, industrie, hydroélectricité, environnement, etc.), tous les acteurs (du niveau local aux États), et toutes les composantes du cycle hydrologique.

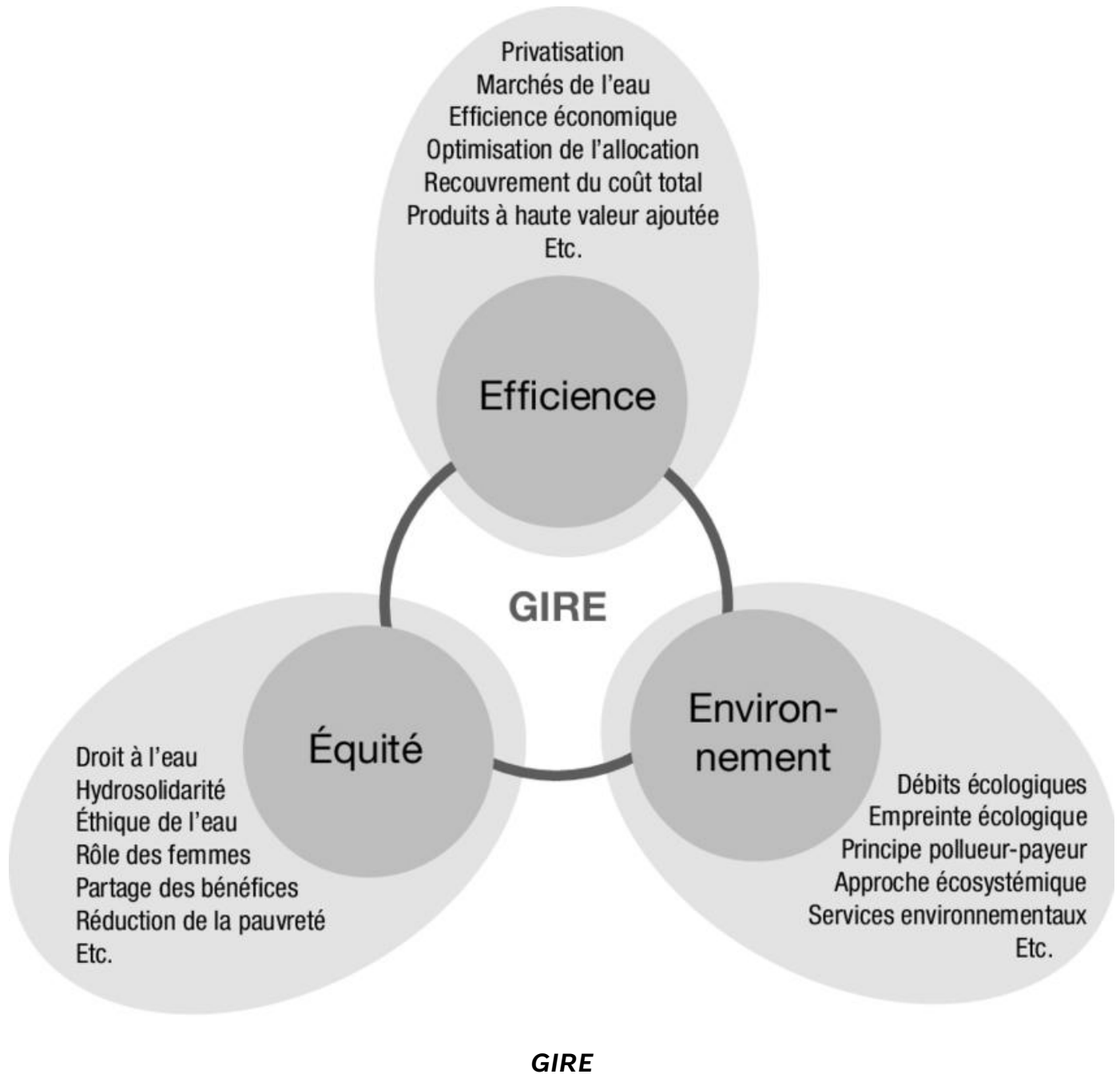
L'idée est de maximiser les bénéfices économiques et sociaux tirés de l'eau de manière équitable, tout en assurant la pérennité des écosystèmes. Autrement dit, la GIRE cherche un équilibre durable entre le développement (utiliser l'eau pour le bien-être humain et l'économie) et la protection de la ressource (préserver les milieux aquatiques et la qualité de l'eau pour les générations futures).

Mise en œuvre et principes

Selon la définition promue par le Partenariat Mondial de l'Eau (GWP) : la GIRE est « un processus favorisant le développement et la gestion coordonnés des ressources en eau, des terres et des ressources associées, afin de maximiser de façon équitable le bien-être économique et social sans compromettre la durabilité des écosystèmes vitaux ».

En pratique, cela se traduit par une gestion à l'échelle des bassins versants (un bassin versant étant l'unité naturelle où s'écoulent les eaux vers un même point), par la participation des parties prenantes (usagers, collectivités, État, associations...) dans la planification, et par la prise en compte des dimensions connexes comme l'aménagement du territoire, l'agriculture, la biodiversité, etc.

Les trois piliers principaux de la GIRE sont souvent résumés ainsi : **efficacité économique, équité sociale et durabilité environnementale**. Une gestion intégrée implique par exemple de ne pas considérer séparément l'irrigation agricole et l'approvisionnement urbain : il faut planifier les usages ensemble pour éviter les conflits et surexploitations. Elle implique aussi de gérer la demande (économiser l'eau, réduire les pertes, améliorer l'efficacité) en plus de l'offre, et d'utiliser des solutions variées (stockage, recyclage des eaux usées, dessalement, protection des zones humides qui régulent l'eau, etc.).



Adoption internationale

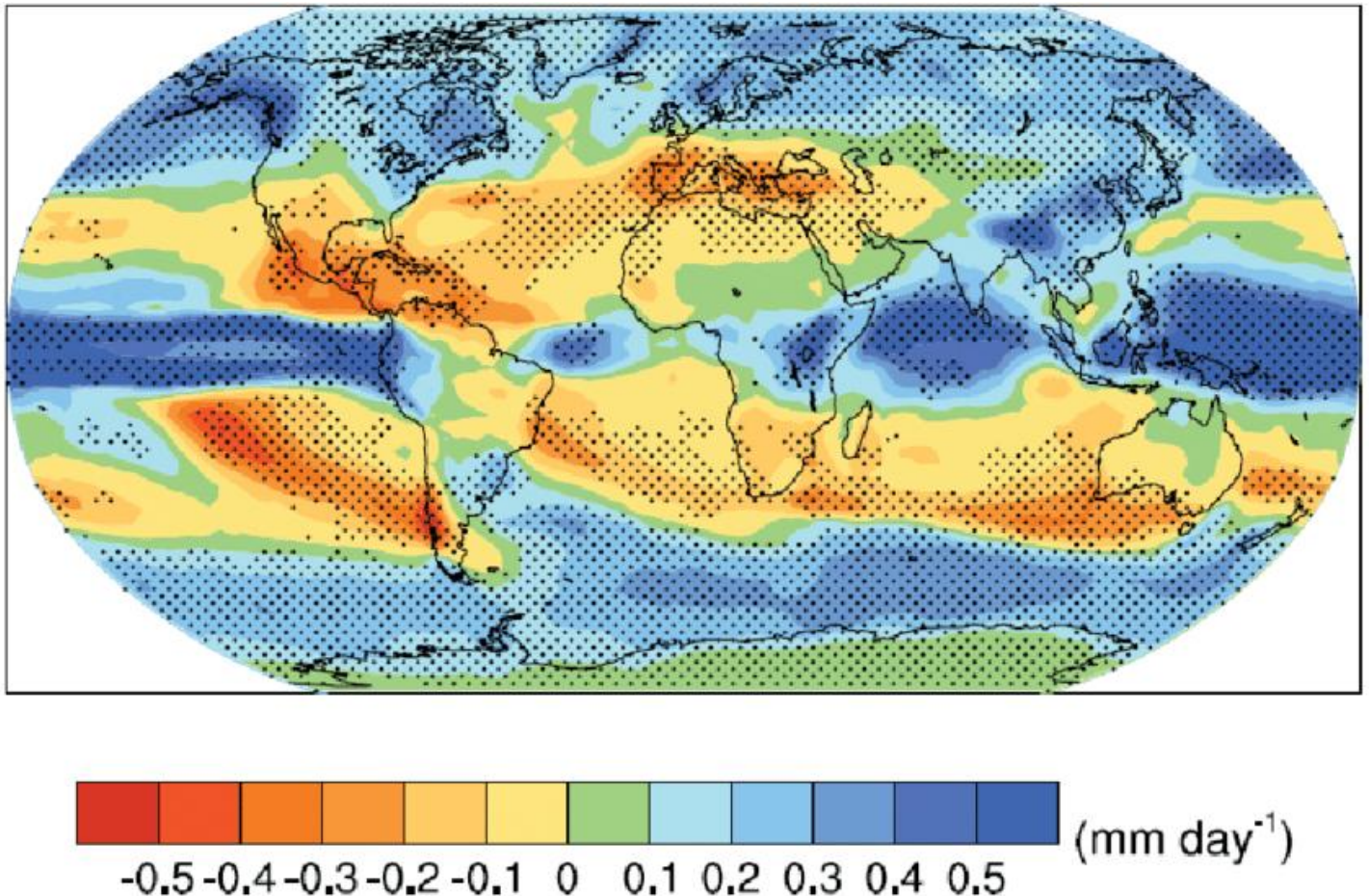
La GIRE a été adoptée internationalement comme un principe de bonne gouvernance de l'eau dès les années 1990-2000 (Sommet de Johannesburg 2002, Objectifs de développement durable) pour faire face aux défis de l'augmentation de la demande en eau et du changement climatique. De nombreux pays ont depuis élaboré des lois ou plans d'action inspirés de la GIRE.

En résumé, la GIRE vise à gérer l'eau de manière holistique et participative, plutôt que sectorielle, afin d'assurer une utilisation durable, équitable et efficiente de la ressource à long terme.

TD 03 : IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES RESSOURCES EN EAU

1. Modification des précipitations

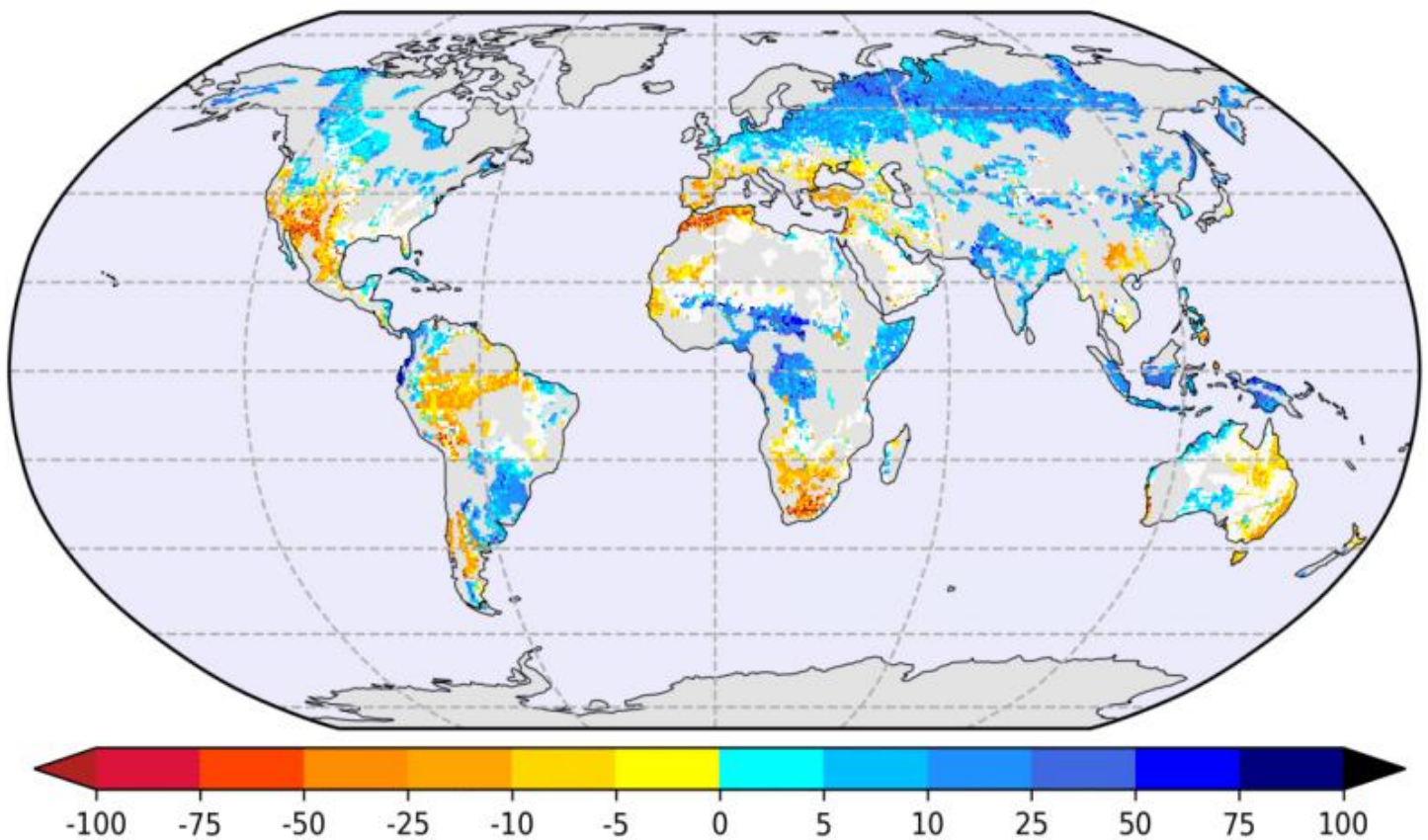
Le changement climatique entraîne une augmentation des températures à l'échelle mondiale, ce qui rend l'atmosphère plus énergétique et peut modifier les régimes de précipitations. Certaines régions, notamment les zones subtropicales et arides, devraient connaître une baisse des précipitations moyennes, avec des sécheresses prolongées. D'autres, au contraire, recevront davantage de précipitations intenses sur de courtes périodes. Globalement, les contrastes climatiques devraient s'accroître : les zones humides deviendront plus humides et les zones sèches plus sèches, avec des saisons des pluies plus courtes mais plus violentes, suivies de longues périodes sèches. Par exemple, l'Europe du Sud devrait voir ses pluies estivales diminuer, aggravant les manques d'eau en été, tandis que l'Europe du Nord pourrait connaître des pluies hivernales plus intenses.



Projections des changements dans les précipitations annuelles : différence entre les périodes 2080-2099 et 1980-1999, en mm/jour, pour le scénario A1B. Moyenne d'ensemble multi-modèles. Hachures : secteurs où l'amplitude du changement dans la moyenne d'ensemble dépasse l'écart-type inter-modèles (source : Trenberth et al., 2007).

2. Évaporation et sécheresses accrues

Le réchauffement climatique augmente l'évaporation et l'évapotranspiration (évaporation du sol et transpiration des plantes) en raison des températures plus élevées. Cette évaporation accrue renvoie davantage d'eau directement dans l'atmosphère, réduisant la recharge des sols et des nappes phréatiques. Même si la quantité annuelle de pluie reste stable dans certaines régions, une part plus importante s'évapore, diminuant l'eau utile pour alimenter rivières et nappes. Par exemple, en France, on observe une baisse tendancielle des débits en été liée à cette évapotranspiration accrue. Ces phénomènes provoquent une multiplication et une intensification des sécheresses, comme celles qui affectent la Méditerranée, mettant en danger agriculture et approvisionnement en eau potable.



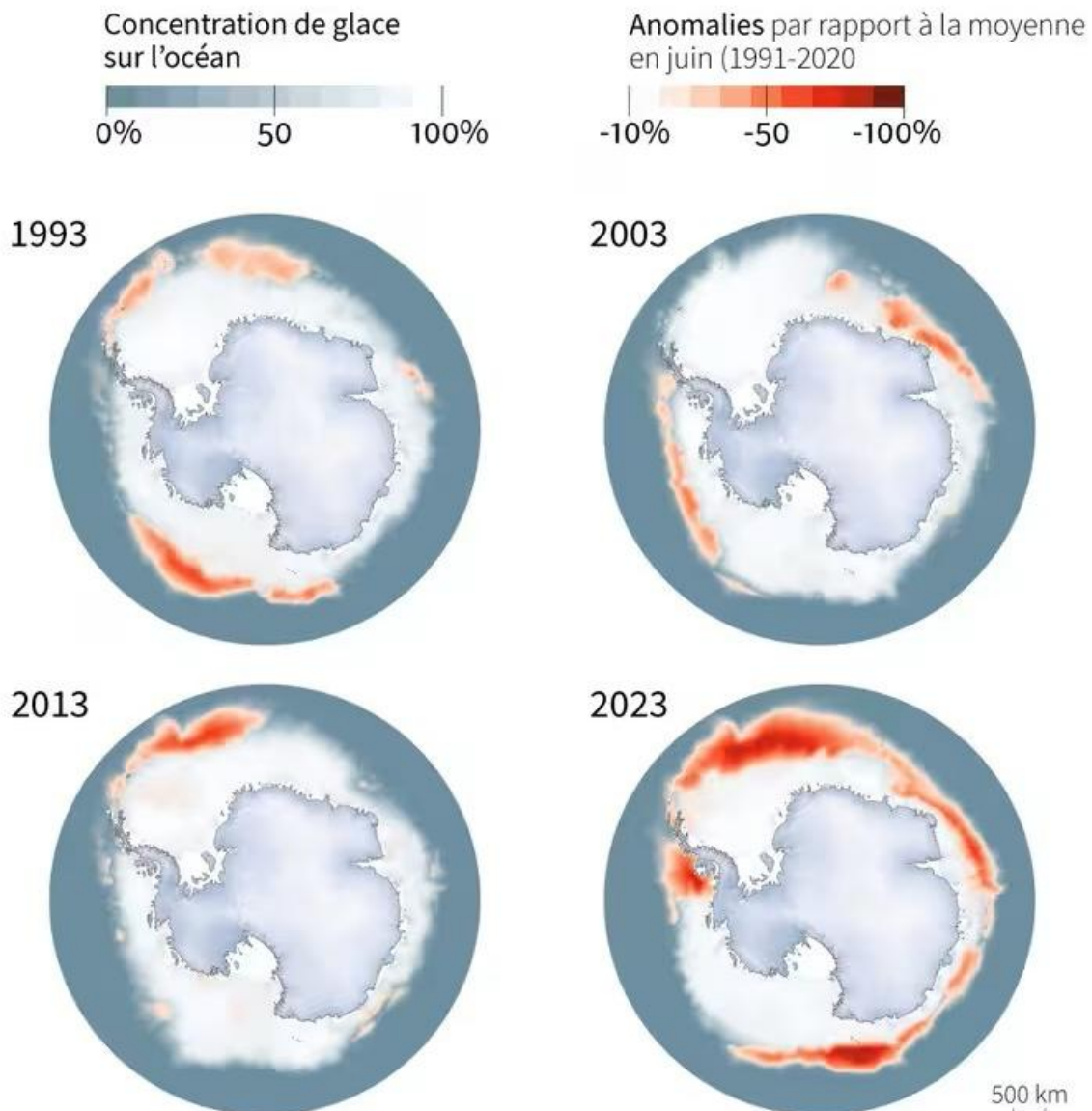
L'évolution du niveau des aquifères en 2100. Changements simulés de la profondeur des nappes d'eau souterraines (en %) entre la période historique (1985-2014) et la fin du 21ème siècle (2071-2100) dans le scénario SSP370 mis en place pour le 6e rapport du GIEC. Les régions bleues et rouges correspondent à une hausse ou une baisse du niveau des nappes, respectivement. Les régions blanches correspondent aux zones où les changements simulés ne sont pas statistiquement significatifs à un niveau de confiance de 95 %. Ces estimations ne prennent en compte que les facteurs climatiques, l'impact des prélèvements anthropiques sont discutés dans l'étude. @ Cf Référence

3. Fonte des neiges et glaciers

Dans les zones montagneuses, le réchauffement provoque une réduction de l'enneigement et une fonte accélérée des glaciers. À court terme, cette fonte peut temporairement augmenter les débits estivaux des rivières. Mais à long terme, la disparition progressive des glaciers prive ces cours d'eau d'une source régulière d'eau pendant la saison sèche. Par ailleurs, la fonte de la neige s'effectue plus tôt et en quantités moindres, réduisant l'apport en fin de printemps et début d'été. Ce phénomène risque de réduire fortement les ressources en eau des vallées en période estivale, où la demande est maximale.

Record de fonte de la banquise antarctique pour un mois de juin

La banquise était 17% moins étendue que sa moyenne sur un mois de juin de 1991 à 2020, un record depuis le début des observations en 1979



4. Événements extrêmes liés à l'eau

Le dérèglement climatique accentue les extrêmes du cycle hydrologique : il aggrave à la fois les sécheresses et les risques d'inondations. D'un côté, les périodes de déficit hydrique prolongées assèchent les sols et abaissent les niveaux d'eau (sécheresses hydrologiques), et de l'autre, les précipitations violentes provoquent des crues soudaines, des inondations et un ruissellement accéléré vers la mer.

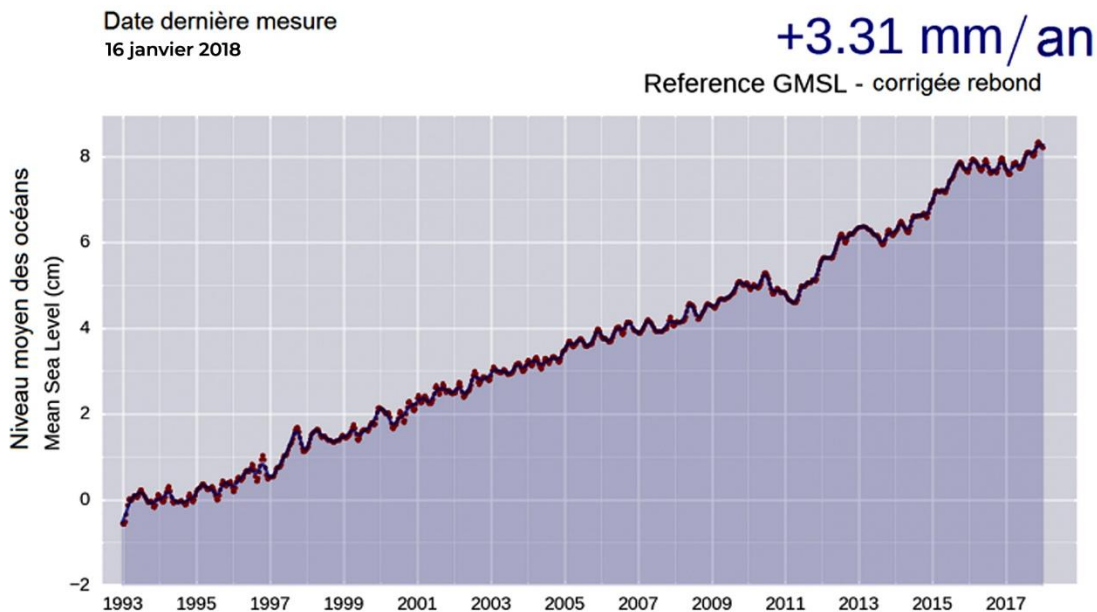
Cette variabilité accrue signifie que l'eau arrive "trop" rapidement à certains moments et "pas assez" à d'autres, compliquant ainsi la gestion des ressources et pouvant endommager les infrastructures (barrages, réseaux d'assainissement) conçues pour des régimes plus stables.

5. Impacts sur la qualité de l'eau

Les sécheresses prolongées concentrent les polluants dans les cours d'eau (moins de dilution) et favorisent le réchauffement des eaux superficielles, qui peut engendrer des proliférations d'algues ou de bactéries et diminuer l'oxygène dissous. En revanche, les pluies torrentielles peuvent entraîner le lessivage des sols et le déversement rapide de pollutions diffuses ou d'eaux usées non traitées dans les rivières. Au global, le changement climatique complique le maintien d'une bonne qualité des ressources en eau.

6. Intrusion saline en zones côtières

Avec l'élévation du niveau de la mer, les aquifères côtiers risquent d'être infiltrés par de l'eau de mer. Cette intrusion saline dans les nappes phréatiques rend l'eau souterraine impropre à la consommation sans traitement. Dans les deltas et les îles basses, c'est un enjeu majeur, car l'eau douce souterraine peut être partiellement envahie par l'eau salée, réduisant les réserves utilisables.



7. Conséquences humaines et environnementales

Le changement climatique aggrave la rareté de l'eau dans de nombreuses régions, renforçant les pénuries et amplifiant les inégalités d'accès à la ressource. Des millions de personnes supplémentaires pourraient se retrouver sans eau suffisante, ce qui affecterait l'agriculture (baisse des rendements en l'absence d'irrigation), la production d'électricité (hydroélectrique moins alimentée, centrales thermiques manquant d'eau de refroidissement) et la santé publique. Par ailleurs, les écosystèmes aquatiques subissent un stress accru : assèchement des zones humides, intermittence des rivières, rétrécissement des lacs, menaçant la biodiversité dépendante de l'eau.

Le changement climatique agit donc comme un facteur multiplicateur du stress hydrique, raréfiant l'eau disponible dans les zones déjà arides tout en augmentant la variabilité dans les régions plus humides. L'adaptation des gestions de l'eau devient cruciale, combinant économies d'eau, stockage en périodes humides, réutilisation des eaux usées, protection des écosystèmes qui régulent l'eau, et coopération régionale.

En synthèse, le défi climatique exacerbe les défis hydriques existants et exige une planification intégrée et durable des ressources en eau pour en atténuer les impacts.

QUESTIONS ET REPONSES

1. Quelle est la différence entre stress hydrique et pénurie d'eau ?

Le stress hydrique désigne une situation de tension sur la ressource en eau. La disponibilité commence à peine à couvrir les usages, entraînant des difficultés ponctuelles ou locales. Il est quantifié quand la ressource renouvelable passe sous environ 1700 m³ par habitant et par an. À ce stade, un pays ou une région doit gérer prudemment l'eau pour éviter des manques, mais il ne s'agit pas encore d'une pénurie généralisée.

La pénurie d'eau correspond à un manque chronique et généralisé. La ressource est insuffisante pour répondre aux besoins essentiels, même en optimisant la gestion. Elle se situe sous environ 1000 m³ par habitant et par an, ce qui entraîne rationnement, impossibilité de couvrir certains usages, et impacts graves sur la santé et le développement.

2. La Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) se caractérise par :

- a. Une approche sectorielle séparant la gestion par usages.
- b. La coordination de tous les usages et acteurs dans une approche globale et durable.
- c. La priorité exclusive donnée à l'eau potable.
- d. Une gestion à court terme ciblant seulement l'efficacité économique.

Réponse : Le choix b est correct. La GIRE intègre tous les secteurs et acteurs pour équilibrer efficacité économique, équité sociale et protection de l'environnement. Elle planifie à l'échelle du bassin versant en considérant tous les besoins de manière coordonnée. Les autres propositions sont fausses car elles ne respectent pas le principe d'intégration ou négligent la durabilité.

3. Citez deux impacts du changement climatique sur les ressources en eau.

Réponse : Parmi les impacts, on trouve :

1. Augmentation des sécheresses due à l'évaporation accrue et à la perturbation des pluies, asséchant sols et nappes.
2. Accentuation des épisodes extrêmes d'inondation, avec des précipitations plus intenses entraînant crues soudaines et difficulté de stockage.

D'autres impacts comprennent la fonte accélérée des glaciers, l'intrusion d'eau salée dans les aquifères côtiers, la dégradation de la qualité de l'eau et la modification des régimes saisonniers.

4. Vrai ou Faux – Le changement climatique risque d'accentuer à la fois les sécheresses et les inondations dans le monde.

Réponse : Vrai. Le réchauffement global intensifie le cycle hydrologique, provoquant plus d'évaporation (sécheresses) et une atmosphère plus chargée en humidité (précipitations extrêmes). Des régions subissent plus de sécheresses tandis que d'autres connaissent plus d'inondations, ce qui crée des extrêmes hydrologiques.

5. Vrai ou Faux – En climat plus chaud, l'évaporation accrue peut réduire la recharge des nappes phréatiques.

Réponse : Vrai. L'augmentation des températures accroît l'évapotranspiration, faisant que plus d'eau s'évapore ou est utilisée par la végétation avant d'infiltrer le sol. Résultat : moins d'eau atteint les nappes, réduisant leur recharge, phénomène déjà observé actuellement.

6. Vrai ou Faux – L'eau est toujours une ressource renouvelable, quelle que soit l'échelle.

Réponse : Faux. À l'échelle planétaire, l'eau est globalement renouvelable grâce au cycle de l'eau. Toutefois, localement, elle peut devenir non renouvelable si le taux d'utilisation dépasse largement le taux de recharge, notamment dans des nappes profondes non rechargées ou des bassins détournés. Ainsi, la gestion prudente est essentielle pour maintenir la durabilité locale.

MERCI POUR VOTRE ATTENTION