

Adaptation à la pénurie d'eau : stratégies techniques, socio-économiques et de gouvernance

Adaptation to Water Scarcity: Technical, Socio-Economic, and Governance Strategies.

Auteur 1 : Sara OUDMINE.

Auteur 2 : Malika AJERAME.

Sara OUDMINE, Doctorante Au Sein Du Laboratoire LEREMA
FSJES IBN ZOHR - AGADIR MAROC

Malika AJERAME, Phd Professeur
Fsjes Ibn Zohr - Agadir Maroc

Déclaration de divulgation : L'auteur n'a pas connaissance de quelconque financement qui pourrait affecter l'objectivité de cette étude.

Conflit d'intérêts : L'auteur ne signale aucun conflit d'intérêts.

Pour citer cet article : OUDMINE .S & AJERAME .M (2024) « Adaptation à la pénurie d'eau : stratégies techniques, socio-économiques et de gouvernance », African Scientific Journal « Volume 03, Numéro 23 » pp: 0319 – 0357.

Date de soumission : Mars 2024

Date de publication : Avril 2024



DOI : 10.5281/zenodo.11031666
Copyright © 2024 – ASJ



Résumé :

Ce travail se penche sur les alternatives d'adaptation dans les régions pauvres en eau, qui subissent des tensions croissantes en raison du changement climatique et des dynamiques socio-économiques. Il examine les stratégies de gestion de l'eau qui intègrent des dimensions techniques, socio-économiques et de gouvernance, et qui visent à réduire la demande et à augmenter l'offre d'eau. La revue de littérature souligne l'importance de la gestion des risques de sécheresse, nécessitant une approche préventive et intégrée pour faire face aux situations de crise hydrique. Elle présente les principes et outils de la gestion adaptative, permettant l'adaptation aux conditions changeantes et incertaines des ressources en eau. L'analyse d'exemples de bonnes pratiques et des leçons tirées de la gestion de l'eau dans les régions semi-arides met en évidence les aspects institutionnels et de gouvernance. Elle propose des recommandations pour renforcer la résilience face à la sécheresse et la sécurité hydrique dans les régions pauvres en eau, en tenant compte des besoins et des priorités des différents utilisateurs et secteurs.

Mots clés :

Sécheresse, Régions semi-arides, Approvisionnement en eau, Stress hydrique.

Abstract :

This work examines adaptation alternatives in water-scarce regions experiencing increasing tensions due to climate change and socio-economic dynamics. It explores water management strategies that integrate technical, socio-economic, and governance dimensions aimed at reducing demand and increasing water supply. The literature review highlights the importance of drought risk management, requiring a preventive and integrated approach to address water crisis situations. It presents the principles and tools of adaptive management, enabling adaptation to changing and uncertain water resource conditions. The analysis of examples of best practices and lessons learned from water management in semi-arid regions highlights institutional and governance aspects. It proposes recommendations to enhance drought resilience and water security in water-poor regions, considering the needs and priorities of different users and sectors.

Keywords :

Drought, Semi-arid Regions, Water Supply, Water Stress.

Introduction

Au cours des dernières décennies, d'importants progrès ont été réalisés dans le développement des ressources en eau, notamment dans les zones semi-arides telles que l'Afrique du Nord, l'Europe du Sud, la Californie et l'Australie. Ces régions ont illustré une longue tradition d'adaptation à des ressources en eau irrégulières, cruciales pour soutenir la croissance démographique, l'irrigation et le tourisme. La gestion de l'eau dans ces zones englobe diverses activités telles que l'approvisionnement urbain, l'irrigation, la production hydroélectrique, la qualité de l'eau, la prévention des inondations et la préservation des écosystèmes. Cependant, la pression croissante sur ces ressources, due à la demande croissante dans divers secteurs, souligne la nécessité de stratégies renforcées pour relever les défis futurs exacerbés par le changement climatique.

Pour répondre à ces défis, une combinaison de méthodologies éprouvées et de capacités d'adaptation supplémentaires est nécessaire. Les régions concernées disposent de solides capacités institutionnelles et d'infrastructures bien établies, ainsi que d'une vaste expérience dans la planification et l'exploitation des ressources en eau dans des conditions d'incertitude et de variabilité hydrologique. Ces capacités ont été cultivées grâce à des efforts soutenus et un soutien politique solide. Cependant, les défis futurs exigent une expansion du paradigme de gestion de l'eau pour intégrer non seulement les fonctions et services écosystémiques, mais aussi les considérations sociales, économiques et environnementales.

La gestion participative de l'eau émerge comme une approche prometteuse pour relever ces défis, en reconnaissant l'eau comme un bien commun nécessitant une gestion transparente, inclusive et socialement équitable. Cette approche transcende les frontières disciplinaires et politiques, impliquant activement toutes les parties prenantes de la société. En outre, des stratégies d'adaptation au changement climatique sont nécessaires pour assurer la durabilité future des ressources en eau, en tenant compte de la variabilité et de l'incertitude croissantes associées au climat en évolution.

L'objectif de cette étude est d'examiner de manière approfondie les stratégies d'adaptation dans les régions souffrant de pénurie d'eau, face aux défis croissants posés par le changement climatique et la dynamique socio-économique. En intégrant les aspects techniques, socio-économiques et de gouvernance de la gestion de l'eau, l'étude cherche à élucider des approches efficaces pour réduire la demande en eau et améliorer l'approvisionnement. La méthodologie

adoptée comprend un examen approfondi de la littérature existante, soulignant le rôle critique de la gestion proactive des risques de sécheresse dans la résolution des crises de l'eau. En outre, l'étude examine les principes et les outils de la gestion adaptative, essentielle pour naviguer dans des conditions incertaines en matière de ressources en eau. Cette recherche est motivée par le besoin urgent de renforcer la résilience à la sécheresse et la sécurité de l'eau dans les régions pauvres en eau, en reconnaissant les divers besoins et priorités des différents acteurs et secteurs. Cette étude vise à fournir des informations et des recommandations précieuses pour éclairer la politique et la pratique de la gestion durable des ressources en eau dans des conditions environnementales et socio-économiques difficiles.

Le reste de l'article procède comme suit : il examine tout d'abord la gestion de la pénurie d'eau au Maroc, en explorant les pressions et les impacts sur les systèmes de ressources en eau. Ensuite, il aborde les stratégies d'adaptation, en se concentrant particulièrement sur le concept de gestion participative de l'eau (GPE) en tant que paradigme dynamique et durable. Il est suivi d'une brève revue de la littérature sur la gestion participative de l'eau, soulignant la nécessité d'adopter une approche participative. Ensuite, le document examine les avantages associés à la GPE. Enfin, le document conclut en résumant les résultats et en soulignant l'importance de la gestion participative de l'eau pour une gouvernance durable des ressources en eau au Maroc.

1. La gestion de la rareté de l'eau au Maroc

La pénurie d'eau est un défi mondial qui touche des millions de personnes, notamment dans les régions arides et semi-arides. Elle est définie comme le manque de ressources en eau douce pour répondre à la demande standard en eau (OCDE, 2021). Il existe deux types de pénurie d'eau : physique et économique. La pénurie physique d'eau se produit lorsqu'il n'y a pas assez d'eau pour répondre à toutes les demandes, y compris celle nécessaire au fonctionnement des écosystèmes. La rareté économique de l'eau se produit lorsqu'il y a un manque d'investissement dans les infrastructures ou la technologie pour puiser l'eau des rivières, des aquifères ou d'autres sources d'eau (OCDE, 2021).

La pénurie d'eau a de graves conséquences sur la santé humaine, la sécurité alimentaire, l'environnement et le développement social. Certaines des causes de la pénurie d'eau sont le changement climatique, la croissance démographique, l'urbanisation, la pollution et la surexploitation des ressources en eau. Certaines des solutions à la pénurie d'eau consistent à améliorer la gestion de l'eau, à accroître l'efficacité de l'eau, à étendre les sources d'eau, à promouvoir la conservation de l'eau et à renforcer la coopération internationale.

L'une des régions confrontées à une aggravation de la crise de l'eau est la région Afrique du Nord (AN), qui comprend le Maroc. Cette région abrite 15 des 20 pays les plus pauvres en eau au monde. La région dispose en moyenne de moins de 1 000 mètres cubes d'eau douce renouvelable par personne et par an, ce qui est inférieur au seuil minimum fixé par la Banque mondiale. La région connaît également de très faibles niveaux de précipitations et devrait connaître une augmentation des températures et une diminution des précipitations en raison du changement climatique (FAO, 2013 ; Lelieveld et al., 2016).

La pénurie d'eau dans la région AN affecte le secteur agricole, qui utilise plus de 85 pour cent de l'eau douce totale et constitue la principale source de revenus et d'emplois pour de nombreux ménages ruraux. La pénurie d'eau menace également la sécurité alimentaire et la nutrition de la région, qui importe plus de la moitié de ses besoins céréaliers. La pénurie d'eau présente également des risques pour l'environnement et la biodiversité, ainsi que pour la stabilité sociale et politique de la région (FAO, 2013 ; UNICEF, 2017).

Le Maroc est l'un des pays les plus vulnérables à la pénurie d'eau dans la région AN. Le Maroc devrait être confronté à un déficit hydrique majeur d'ici 2030, en raison soit de l'augmentation de la demande en eau, soit de la réduction des précipitations induite par le changement climatique. La pénurie d'eau au Maroc pourrait avoir des effets négatifs sur l'économie, en particulier sur le secteur agricole, qui contribue à 19 pour cent du PIB et emploie 40 pour cent de la main-d'œuvre. La pénurie d'eau pourrait également affecter les zones urbaines, où vit 60 pour cent de la population et où les services d'approvisionnement en eau et d'assainissement sont déjà insuffisants (Banque mondiale, 2018 ; Lavalette, 2019).

Le Maroc a pris plusieurs mesures pour faire face à la pénurie d'eau, telles que la construction de barrages et de réservoirs, le développement de systèmes d'irrigation, la promotion de technologies permettant d'économiser l'eau et la mise en œuvre de politiques de tarification de l'eau. Cependant, ces mesures ne suffisent pas pour relever les défis actuels et futurs de la pénurie d'eau. Le Maroc doit adopter une approche plus intégrée et holistique de la gestion de l'eau, qui prenne en compte les dimensions sociales, économiques et environnementales de la pénurie d'eau. Le Maroc doit également renforcer son cadre institutionnel et juridique, améliorer sa gouvernance et sa coordination de l'eau, et accroître ses investissements et son innovation dans le secteur de l'eau.

2. Pressions et impacts sur les systèmes de ressources en eau

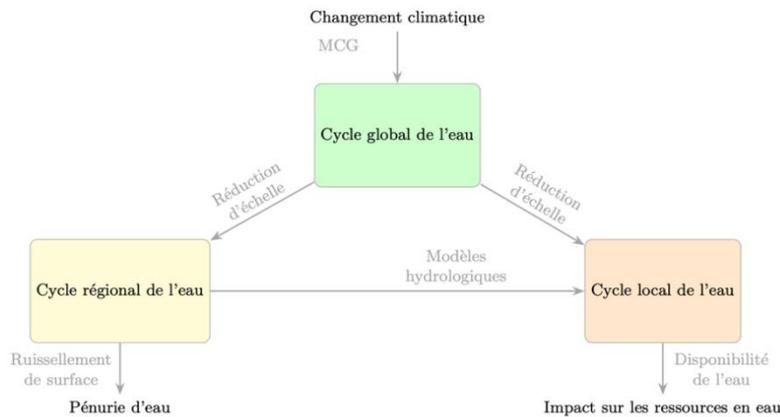
2.1. Changement climatique et cycle hydrologique¹

De nombreuses études ont été menées au cours des trois dernières décennies pour évaluer les impacts du changement climatique sur le cycle hydrologique aux échelles mondiale, régionale et locale. Les résumés les plus complets de ces études se trouvent dans les rapports d'évaluation successifs du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (GIEC 2014). Ces rapports présentent un modèle cohérent de changement dans le ruissellement annuel, prévoyant systématiquement des diminutions significatives (allant de 10 % à 30 %) du ruissellement de surface dans des zones déjà aux prises avec une pénurie d'eau, comme la Méditerranée, l'Asie centrale, l'Afrique du Sud-Ouest, la Patagonie et l'Australie et le sud-ouest de l'Amérique du Nord. Ces projections sont dérivées de la combinaison des résultats de modèles climatiques globaux (MCG) selon diverses hypothèses. Des bases de données contenant des scénarios climatiques sont accessibles à partir de nombreux projets de recherche (par exemple Christensen et Christensen 2007 ; Collins et al. 2006), qui incluent le ruissellement de surface parmi leurs variables de sortie. Cependant, la représentation du cycle de l'eau dans ces modèles est souvent trop simpliste, s'appuyant sur des représentations topographiques grossières et des paramétrisations des processus hydrologiques.

L'analyse qualitative de ces résultats guide fréquemment les processus décisionnels, car ils représentent la base de données la plus complète de scénarios régionaux de changement climatique disponible aujourd'hui. Néanmoins, une prise de décision efficace concernant la pénurie d'eau nécessite des résultats à des résolutions temporelles et spatiales beaucoup plus fines, avec un accent particulier sur la disponibilité de l'eau. L'intégration des résultats du GCM dans les études d'évaluation d'impact sur les ressources en eau s'est avérée très difficile. À la fin du siècle précédent, Xu (1999) a mené une étude soulignant les écarts entre les MCG et les modèles hydrologiques et a identifié les défis futurs. Ces défis ont été relevés soit en réduisant les résultats des modèles climatiques à une échelle plus fine (Fowler et al. 2007), soit en développant des modèles hydrologiques à grande échelle qui améliorent la représentation du cycle hydrologique (Loaiciga et al. 1997).

¹ Le cycle hydrologique de l'eau est le phénomène naturel qui décrit le mouvement de l'eau entre les différents réservoirs de la planète (océans, atmosphère, continents, etc.).

Figure 1.—L'impact du changement climatique sur le cycle hydraulique de l'eau



Source : auteur

Dans les deux approches, les chercheurs ont rencontré des biais importants par rapport aux observations et de larges plages d'incertitude dans les résultats lors de la combinaison de différents GCM, techniques de réduction d'échelle ou modèles hydrologiques. Les prévisions fiables sont souvent difficiles à obtenir, en particulier dans les régions arides et semi-arides, en raison de la variabilité naturelle prononcée des séries hydrologiques. Malgré l'amélioration progressive des outils de modélisation, cette incertitude semble augmenter en raison de l'évolution de l'approche utilisée pour générer des scénarios d'émissions.

2.2. Impact direct sur les ressources en eau

Les changements climatiques à long terme, s'étendant sur plusieurs décennies, posent un défi important aux systèmes de ressources en eau. De nombreuses études ont été menées sur l'évaluation des impacts du changement climatique sur des systèmes hydrographiques déjà soumis à des contraintes (EEA, 2012). Ces études indiquent que le changement climatique affectera le cycle de l'eau (Seneviratne et al. 2010), impactant ainsi les utilisations de l'eau et les écosystèmes. Le tableau 1 présente une synthèse des études les plus pertinentes à cet égard. Les résultats de ces études suggèrent que le stress hydrologique devrait s'intensifier dans de nombreuses régions (Barnett et al. 2005 ; Henriques et al. 2008 ; Seager et al. 2013). Une partie importante de la population mondiale devrait être confrontée à des menaces pour la sécurité de l'eau (Vörösmarty et al. 2010) en raison de l'influence combinée des facteurs climatiques et des activités humaines. La réduction des ressources naturelles moyennes en eau devrait conduire à des épisodes de pénurie d'eau plus fréquents et plus intenses, susceptibles de déclencher des conflits entre les utilisateurs de l'eau (Iglesias et al. 2007 ; Mizyed 2009). En outre, le changement climatique devrait modifier la variabilité des ressources en eau, augmentant la fréquence et l'ampleur des événements extrêmes tels que les inondations et les sécheresses, qui

auront des impacts significatifs sur les populations (Easterling et al. 2000 ; Hoerling et al. 2012 ; Hirabayashi et 2008 ; Lehner et coll. 2006 ; Feyen et coll. 2012 ; Brown et coll. 2011).

Le changement climatique devrait également influencer la demande en eau ; la hausse des températures est susceptible d'augmenter la demande en eau pour l'irrigation et l'approvisionnement urbain (Gleick 2003 ; Döll 2002 ; Arnell et Delaney 2006 ; Wisser et al. 2008 ; Nkomozepe et Chung 2012). Cependant, les changements futurs dans l'utilisation de l'eau devraient dépendre davantage de facteurs sociaux tels que les revenus et la croissance démographique que des seuls facteurs climatiques (Alcamo et al. 2007). Les écosystèmes naturels subiront des altérations dues au changement climatique (Walther et al. 2002), avec diverses voies d'interaction potentielles, notamment des changements dans les interactions trophiques (Winder et Schindler 2004), des modifications des processus biologiques induites par la température (Meyer et al. 1999), et les altérations chimiques affectant l'écoulement de l'eau dans le sol, influençant ainsi le transport des nutriments et des polluants (Dunn et al. 2012 ; Nearing et al. 2004), entre autres.

Malgré la complexité de ces processus, les résultats actuels suggèrent une probable détérioration de la santé des écosystèmes, en particulier dans les zones où le régime naturel des rivières a été considérablement perturbé (Döll et Zhang 2010). De plus, parallèlement aux altérations naturelles, les pressions croissantes sur les utilisations consommatrices d'eau devraient entraîner une intervention humaine accrue dans le cycle hydrologique, ayant un impact encore plus important sur l'environnement naturel (Jackson et al. 2001).

2.3. Disponibilité de l'eau

La disponibilité de l'eau constitue une préoccupation majeure dans les régions arides et semi-arides. Une abondante littérature sur le sujet l'a abordé sous différents angles. Un point de vue dominant dans les études mondiales ou régionales considère les changements dans la disponibilité de l'eau comme étant directement corrélés aux modifications du ruissellement moyen, déterminé par la différence nette entre les précipitations et l'évapotranspiration (Gardner 2009 ; García-Ruiz et al. 2011). Cette approche géophysique s'est avérée très utile pour les analyses comparatives mondiales (Alcamo et al. 2003), en particulier pour le développement d'indicateurs de stress hydrique. Cependant, dans les régions où l'eau est rare, la variabilité spatiale et temporelle du débit dépasse souvent les valeurs moyennes pour déterminer la disponibilité de l'eau.

Dans de nombreux cas, la pénurie d'eau découle de la variabilité du débit des cours d'eau. Les principales utilisations de l'eau dans les régions semi-arides, telles que l'approvisionnement en eau urbain et l'irrigation, nécessitent une régularité de l'approvisionnement, souvent évaluée

au moyen d'indicateurs appropriés (Hashimoto et al. 1982). En l'absence d'infrastructures, la disponibilité de l'eau serait minime, voire inexistante, déterminée uniquement par les valeurs de débit minimum à long terme. Par conséquent, des investissements substantiels dans les infrastructures hydrauliques ont été réalisés dans ces régions au cours du siècle dernier. Les infrastructures hydrauliques jouent un rôle essentiel pour assurer la disponibilité de l'eau en atténuant les irrégularités spatiales et temporelles des régimes naturels grâce à des fonctions de régulation et de transport.

Les systèmes de ressources en eau réglementés sont influencés par trois facteurs clés : la variabilité du débit, la capacité de stockage et la fiabilité du rendement. Ces facteurs sont généralement interconnectés via les caractéristiques de rendement de stockage et de performances, décrivant la capacité d'un système à répondre aux demandes de manière fiable (Vogel et al. 2007). Diverses techniques ont été proposées pour analyser ces facteurs, allant de processus stochastiques relativement simples (Phatarfod 1989) à des modèles complexes abordant les problèmes d'allocation de l'eau (Andreu et al. 1996 ; Wurbs et al. 2005 ; Yates et al. 2005), intégrant souvent des facteurs sociaux. et des considérations économiques (Harou et al. 2009). Ces techniques ont été appliquées pour examiner l'interaction entre les trois facteurs dans les zones rares en eau, révélant que les changements dans la variabilité saisonnière ou interannuelle peuvent avoir un impact significatif sur la performance des systèmes de régulation et déterminer la disponibilité de l'eau (McMahon et al. 2006 ; Garrote et al. 2015).

Les analyses des besoins de stockage, telles que celles présentées par Löff et Hardison (1966) pour les États-Unis, tiennent compte de différents niveaux de disponibilité en eau compte tenu de la variabilité saisonnière et interannuelle. Vogel et coll. (1999) ont réitéré cette analyse en caractérisant le comportement du réservoir en termes de coefficient de variation des apports annuels et d'apport net standardisé. Une approche courante implique l'application de relations généralisées stockage-rendement-performance, comme la suite de modèles Gould-Dincer (McMahon et al. 2007), qui offrent une méthode pour évaluer le problème de stockage-rendement en utilisant des facteurs d'entrée simples tels que le coefficient de variation du débit et la fiabilité requise du système.

Un parallèle peut être établi entre les trois facteurs régissant la disponibilité de l'eau dans les systèmes régulés et les approches de gestion adoptées dans les pays semi-arides. La variabilité du débit correspond aux conditions naturelles, le stockage s'aligne sur les mesures d'infrastructure et le rendement est en corrélation avec les mesures socio-économiques. Historiquement, les stratégies visant à améliorer la disponibilité de l'eau ont été principalement liées au développement des infrastructures. Par exemple, comme le montre la figure 1,

l'évolution temporelle de la disponibilité estimée de l'eau en Espagne est en corrélation avec le stockage disponible. Les investissements dans les infrastructures de stockage au cours des années 1950 et 1960 ont conduit à une augmentation significative de la disponibilité de l'eau par rapport aux conditions naturelles. Cependant, les expansions ultérieures de la capacité de stockage ont produit des rendements décroissants, et la disponibilité en eau par habitant est restée relativement constante depuis les années 1970. Même si l'approche basée sur le stockage s'est avérée très efficace dans le passé, les contraintes financières et les préoccupations concernant les impacts environnementaux des barrages (Nilsson et al. 2005) ont limité sa faisabilité dans les pays développés. Par conséquent, l'accent est actuellement mis sur l'amélioration de la gestion des infrastructures existantes et la mise en œuvre de mesures socio-économiques telles que la gestion de la demande et l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'eau.

Un aperçu des mesures d'adaptation au changement climatique dans les régions pauvres en eau est présenté dans la section suivante.

3. Choix d'adaptation

La gestion adaptative dans les régions pauvres en eau n'est pas un concept nouveau. Même si la reconnaissance du fait que les conditions hydrologiques ne peuvent plus être considérées comme stationnaires est relativement récente (Milly et al., 2008), les facteurs socio-économiques ont toujours été reconnus comme des variables dynamiques dans la planification des ressources en eau de ces régions. De nombreux projets développés au cours du siècle dernier ont été conçus dans un contexte d'incertitude plus grande que celle que l'on attribue actuellement au changement climatique. Les infrastructures critiques ainsi établies continuent de fonctionner dans des conditions sensiblement différentes de celles anticipées lors de la phase de planification, grâce à une gestion adaptative efficace. En effet, l'histoire du développement des ressources en eau dans les régions semi-arides se caractérise par une adaptation continue. Contrairement à d'autres secteurs, le défi posé par le changement climatique dans les régions pauvres en eau n'est pas unique ; elle ne représente qu'une des nombreuses pressions de longue date, notamment la dynamique démographique, l'amélioration du niveau de vie, le développement économique et social, entre autres (Iglesias et al., 2007).

La plupart des problèmes attendus en raison du changement climatique intensifient essentiellement les problèmes structurels liés à la pénurie d'eau qui se sont déjà manifestés dans diverses régions. Cette section donne un aperçu des mesures d'adaptation réussies mises en œuvre dans ces régions, servant de portefeuille de stratégies d'adaptation au changement climatique. Bien que la liste de mesures ne soit pas exhaustive, elle reflète les types de politiques

qui peuvent être appropriées pour lutter contre la pénurie d'eau dans un contexte incertain et évolutif (Krysanova et al., 2010). Ces choix d'adaptation englobent deux domaines interdépendants. Le premier domaine concerne l'approche adoptée dans la gestion des ressources en eau, qui reflète l'évolution du contexte socio-économique. Le deuxième domaine englobe un portefeuille de solutions techniques, reflétant notre meilleure compréhension du comportement des systèmes hydrologiques complexes.

3.1. Élargir les horizons en matière de gestion de l'eau

La gestion des ressources en eau est initialement apparue comme une discipline essentiellement technique, comme en témoignent les premiers manuels sur le sujet (e.g., Major et Lenton, 1979). Cependant, au cours des trois dernières décennies, sa portée s'est progressivement élargie pour englober diverses disciplines, allant des sciences physiques et biologiques à l'économie et aux sciences sociales. Il existe un consensus croissant quant à la nécessité de passer d'un paradigme de gestion de l'eau axé sur le développement des infrastructures par les administrations publiques à un modèle centré sur une gestion adaptative et intégrée des ressources en eau impliquant toutes les parties prenantes (Pahl-Wostl et al., 2011).

Actuellement, la gestion des ressources en eau est reconnue comme une entreprise multidisciplinaire qui englobe non seulement l'eau mais aussi la terre et les ressources associées, avec pour objectif primordial de promouvoir le bien-être social et la durabilité environnementale. Cette vision évoluée découle de la prise de conscience que les technologies liées à l'offre à elles seules ne suffisent pas à relever les défis de plus en plus complexes associés à la gestion de l'eau, nécessitant une perspective plus large au-delà de la simple maximisation de l'approvisionnement en eau. Même si la mise en œuvre de la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) continue de progresser, même dans les régions les plus avancées, elle reste cruciale pour l'adaptation au changement climatique (Biswas, 2004).

3.2. Le rôle d'une gouvernance efficace et des institutions solides

Une gouvernance efficace est de plus en plus reconnue comme un élément essentiel de la capacité d'adaptation (Pahl-Wostl, 2007). Les rôles attendus des administrations publiques dans les scénarios futurs dans le contexte du changement climatique diffèrent considérablement de ceux du passé. Traditionnellement, les administrations des zones pauvres en eau se concentraient sur la garantie et l'expansion de la disponibilité des ressources en eau grâce au développement des infrastructures hydrauliques et à la réglementation de l'utilisation de l'eau. Cependant, on constate une évolution vers la gestion de la rareté de l'eau, de nombreuses agences révisant leurs déclarations de mission, passant de la régénération et du développement des infrastructures à une gestion améliorée et à une allocation optimale de l'eau (Moore, 1991).

Cette transition implique une refonte institutionnelle avec un accent accru sur la gouvernance, favorisant une prise de décision participative combinant des approches descendantes et ascendantes (Livingston, 1995). De nouvelles méthodes ont été conçues pour faciliter la résolution des conflits dans les processus décisionnels, allant des analyses multicritères traditionnelles (Hajkowicz et Collins, 2007) à des approches plus innovantes (Madani et Lund 2011 ; Tsakiris et Spiliotis, 2011). Dans de nombreux cas, ces méthodes ont été intégrées dans des outils basés sur des modèles pour soutenir la gestion de l'eau (Berger et al., 2007 ; Maia et Schumann, 2007 ; Purkey et al., 2007), bien que leur application pratique reste quelque peu limitée.

3.3. Intensification de la gestion de la demande et amélioration de l'offre

La gestion de la demande apparaît comme la stratégie d'adaptation privilégiée pour faire face à la pénurie d'eau (White et Fane, 2001). Le principal domaine d'action réside dans la demande d'irrigation, qui constitue généralement la plus grande part de la demande totale dans les régions où l'eau est rare. De nombreuses technologies alternatives existent pour réduire la consommation d'eau dans les cultures irriguées (Wallace ,2000 ; Pereira et al., 2002). Cependant, la mise en œuvre de ces technologies a souvent été entravée par les coûts de déploiement élevés et la nécessité de former les agriculteurs. Pour renforcer la capacité d'adaptation des agriculteurs à moyen et long terme, il est impératif de mettre en place des programmes offrant une formation adéquate et des instruments financiers viables.

Dans les zones urbaines, les mesures d'adaptation comprennent des campagnes d'éducation et d'information des citoyens visant à promouvoir les économies d'eau domestique ainsi que des politiques de tarification appropriées. Les autorités locales et les fournisseurs d'eau intensifient leurs efforts pour minimiser les pertes d'eau dans les réseaux de distribution et freiner la demande du public grâce à des initiatives telles que le recyclage de l'eau et des mesures d'efficacité.

Compte tenu des réductions potentielles des ressources naturelles, des mesures d'amélioration de l'offre sont également mises en œuvre lorsque cela est possible. Les mesures conventionnelles de gestion des eaux de surface et souterraines peuvent aider à compenser les réductions anticipées des ressources dues au changement climatique dans certaines zones (Tanaka et al., 2006), bien qu'avec des contrôles intensifiés pour rectifier les impacts sociaux et environnementaux. Dans les bassins où les mesures conventionnelles s'avèrent insuffisantes à elles seules pour enrayer le déclin des ressources naturelles, elles sont complétées par des activités promouvant les ressources en eau non conventionnelles, notamment la réutilisation des eaux usées (Vargas-Amelin et Pindado, 2014). L'eau recyclée peut satisfaire diverses

demandes telles que l'irrigation, les activités récréatives, les usages municipaux ou la recharge des aquifères (Anderson, 2003). En outre, dans les régions confrontées à une grave pénurie d'eau, des efforts sont en cours pour développer des technologies améliorant l'efficacité énergétique des processus de dessalement de l'eau saumâtre ou de l'eau de mer, bien qu'à un coût considérable.

3.4. Interconnexion du système et fonctionnement optimal

À une époque de pénurie d'eau croissante, une gestion optimale de systèmes de plus en plus complexes est essentielle. L'exploitation efficace de systèmes complexes peut atténuer les impacts du changement climatique (Yao et Georgakakos, 2001 ; Medellín-Azuara et al., 2008). L'approvisionnement en eau provenant de différentes sources peut varier considérablement en termes de caractéristiques. Les ressources de nature variable (par exemple, les eaux de surface et souterraines) présentent des différences significatives en termes de variabilité et de fiabilité. L'intégration de nombreuses sources d'eau dans une unité de gestion unifiée est cruciale pour maximiser la disponibilité de l'eau. De même, l'intégration de différents types de demandes en eau dans des systèmes conjonctifs améliore la robustesse du système. Les réserves stratégiques ou les échanges de droits sur l'eau peuvent garantir la fiabilité des demandes critiques. La tendance est à l'intégration de multiples sources d'approvisionnement et demandes dans des systèmes complexes capables de répondre de manière optimale aux situations de pénurie, en utilisant chaque ressource aux fins les plus appropriées en fonction de sa quantité, de sa régularité et de sa fiabilité, comme en témoigne l'utilisation conjointe des eaux de surface et souterraines (Pulido-Velazquez et al., 2011).

3.5. Alerte précoce et gestion des risques

Les sécheresses posent des défis importants au fonctionnement des systèmes complexes d'approvisionnement en eau, en particulier dans les régions semi-arides. Une gestion efficace des risques de sécheresse est cruciale pour s'adapter à la pénurie d'eau (Wilhite et al., 2000). Cela nécessite une approche coordonnée impliquant la sensibilisation et l'éducation, l'investissement dans la conservation, l'entretien et l'amélioration des infrastructures, l'établissement de réglementations pour l'échange des droits sur l'eau et l'amélioration de la flexibilité des opérations du système de ressources en eau (Tsakiris et al., 2013). L'évolution vers une gestion proactive des risques plutôt qu'une réponse réactive aux crises a conduit à l'adoption de plans de gestion de la sécheresse (DMP) (Estrela et Vargas, 2012). Les DMP facilitent la gestion contrôlée et planifiée de la sécheresse, permettant de prioriser les utilisations de l'eau, garantissant l'approvisionnement en eau des zones urbaines et minimisant la

dégradation de l'environnement. Les stratégies à long terme de gestion de la sécheresse impliquent également de réduire la vulnérabilité et d'améliorer les systèmes de prévision et d'alerte précoce en matière de sécheresse (Naumann et al., 2014). Cependant, ces efforts n'en sont qu'à leurs débuts en raison des difficultés rencontrées pour prévoir avec précision les conditions climatiques avec suffisamment de compétences et de délais.

4. Gestion participative de l'eau (GPE) : vers un paradigme dynamique et durable

La gestion participative de l'eau (GPE) constitue un processus dynamique impliquant l'engagement actif et l'autonomisation de toutes les parties prenantes pertinentes dans la planification, la prise de décision et la mise en œuvre liées à l'eau. Ces parties prenantes comprennent non seulement les utilisateurs et les gestionnaires de l'eau, mais aussi la société civile, les communautés locales, les peuples autochtones, et les groupes marginalisés. La GPE vise à obtenir des résultats liés à l'eau plus équitables, efficaces et durables en favorisant l'apprentissage social, la confiance et la collaboration entre des acteurs diversifiés. La GPE reconnaît surtout les valeurs et les fonctions diverses de l'eau, y compris les aspects écologiques, culturels, spirituels et esthétiques, en plus des dimensions économiques et productives (Mollard & Berry, 2010).

Les fondements théoriques de la gestion participative de l'eau sont issus de diverses disciplines telles que la sociologie, l'économie, la science politique, l'écologie et l'éthique. Selon Ruiz-Villaverde et García-Rubio (2017), la gestion participative de l'eau s'inspire de trois courants principaux : la théorie de la démocratie délibérative, la théorie de la gouvernance adaptative et la théorie de la transition socio-écologique. La théorie de la démocratie délibérative met l'accent sur le rôle des citoyens dans la formulation des préférences collectives et la légitimation des décisions publiques. La théorie de la gouvernance adaptative souligne l'importance de l'apprentissage collectif, de la flexibilité et de la résilience face à l'incertitude et au changement. La théorie de la transition socio-écologique analyse les processus de transformation des systèmes socio-écologiques vers des modes de fonctionnement plus durables.

Les avantages pratiques de la gestion participative de l'eau pour la construction d'une société durable sont multiples. Selon Ananga et al. (2021), la gestion participative de l'eau contribue à améliorer la qualité de l'eau, à réduire les conflits, à renforcer la démocratie, à favoriser l'innovation et à optimiser l'utilisation des ressources. Elle permet également de mobiliser les connaissances et les expériences des différents acteurs, d'accroître l'acceptation publique et de réduire les litiges, les retards et les inefficacités dans la mise en œuvre. En outre, la gestion

participative de l'eau interagit de manière synergique avec d'autres piliers du développement durable, tels que l'équité sociale, la préservation de l'environnement et la stabilité économique.

Les exemples concrets de réussite de la gestion participative de l'eau dans différents contextes sont nombreux et variés. Par exemple, Nastar et al. (2018) ont étudié les expériences de gestion participative de l'eau dans les zones urbaines à faible revenu au Ghana et en Tanzanie, en utilisant l'approche de la gestion de la transition. Ils ont montré comment cette approche a permis de renforcer les capacités des acteurs locaux, de créer des espaces de dialogue et de négociation, et de favoriser des solutions innovantes et adaptées aux besoins des populations. Un autre exemple est le projet Agua Segura en Colombie, qui a consisté à renforcer l'organisation des communautés de Bocas del Carare et Isla Renacer, afin de formaliser leurs associations d'utilisateurs/abonnés d'aqueduc et d'assainissement. Ce projet a permis d'améliorer l'accès à l'eau potable, de réduire les maladies hydriques, de promouvoir l'éducation environnementale et de stimuler le développement local (Pérez Sillero, 2021).

Ainsi, la gestion participative de l'eau est une approche qui offre de nombreux bénéfices théoriques et pratiques pour la construction d'une société durable. Elle repose sur des fondements théoriques solides, issus de diverses disciplines. Elle présente des avantages pratiques, en termes de qualité de l'eau, de réduction des conflits, de renforcement de la démocratie, de promotion de l'innovation et d'optimisation des ressources. Elle interagit de manière synergique avec d'autres piliers du développement durable, tels que l'équité sociale, la préservation de l'environnement et la stabilité économique. Elle s'appuie sur des exemples concrets de réussite, dans différents contextes, qui démontrent son efficacité et sa pertinence.

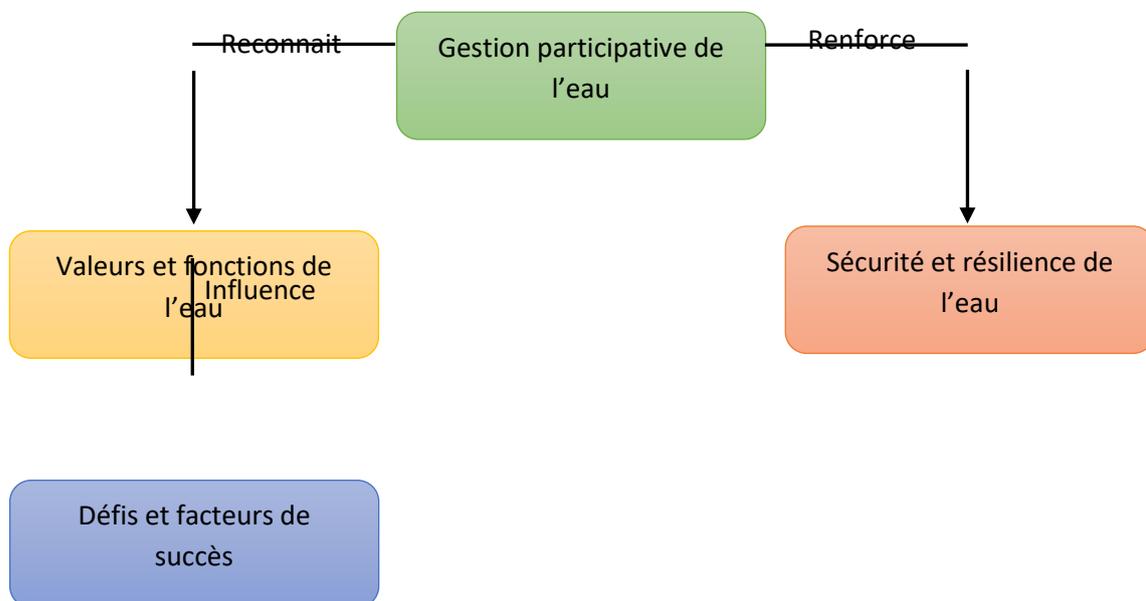
En tant qu'élément fondamental pour une société durable, la GPE est en phase avec plusieurs objectifs de développement durable (ODD), notamment l'ODD 6 (eau propre et assainissement), l'ODD 3 (bonne santé et bien-être), l'ODD 5 (égalité des sexes), l'ODD 10 (réduction des inégalités), l'ODD 13 (action pour le climat) et l'ODD 16 (paix, justice et institutions solides). En favorisant une gestion durable de l'eau, la GPE contribue également à la sécurité alimentaire, à la production d'énergie, à la croissance économique et à la protection de l'environnement² (Ananga et al., 2021).

² En promouvant la gestion durable de l'eau, le GPE peut améliorer l'accès à l'eau potable (ODD 6), promouvoir la santé (ODD 3), réduire les inégalités liées à l'eau (ODD 10), atténuer les effets du changement climatique (ODD 13), et promouvoir la paix et la justice dans la gestion des ressources en eau (ODD 16). Cette approche holistique démontre comment le GPE peut jouer un rôle essentiel dans la réalisation de nombreux ODD, soulignant son importance pour le développement à long terme.

Cependant, la GPE n'est pas une solution universelle et rencontre de nombreux défis, notamment la fragmentation institutionnelle, les asymétries de pouvoir, les limitations de capacités et de ressources, les intérêts et valeurs conflictuels, et la résistance politique³. Ainsi, la GPE exige des approches adaptatives spécifiques au contexte qui tiennent compte des dimensions sociales, culturelles, économiques et environnementales des problèmes liés à l'eau (Sadik et al., 2021). De plus, des conditions favorables telles que des politiques et des lois de soutien, des plateformes inclusives et transparentes, une communication et une information efficaces, ainsi qu'un financement et une technologie adéquats, sont impératives pour le succès de la GPE (Ménard et al., 2018).

Un exemple illustratif des avantages potentiels de la GPE se trouve en Afrique du Nord et dans le Sud de l'Europe, des régions aux prises avec des sécheresses exacerbées par le changement climatique. Ces zones partagent le bassin méditerranéen, l'une des régions les plus arides et vulnérables au climat à l'échelle mondiale. La croissance démographique, l'urbanisation, l'agriculture, le tourisme et l'industrie intensifient la demande d'eau, tandis que la diminution des précipitations, l'augmentation de l'évaporation et l'épuisement des eaux souterraines réduisent l'offre en eau. Des sécheresses fréquentes et graves mettent en péril les moyens de subsistance de millions de personnes (Mekonnen et al., 2015).

Figure 2. —La gestion participative de l'eau



Source : auteur

³ D'autres méthodes de gestion publique de l'eau, telles que la gestion centralisée, la délégation à des entreprises publiques ou privées, les partenariats public-privé, les coopératives d'eau, et la gestion décentralisée, coexistent, chacune avec ses avantages et défis.

Dans ce contexte, la GPE émerge comme un outil stratégique pour renforcer la sécurité et la résilience de l'eau face aux sécheresses. La GPE peut faciliter la coopération et le dialogue entre les pays riverains et les parties prenantes, abordant les défis et conflits liés à l'eau transfrontaliers dans le bassin. De plus, la GPE peut encourager la conservation de l'eau, l'efficacité, la collecte des eaux pluviales, la réutilisation des eaux usées et le dessalement en tant que sources alternatives d'eau (Bouarfa et al., 2019). De plus, la GPE peut renforcer la préparation et la réponse aux sécheresses grâce à des systèmes d'alerte précoce, des plans de contingence et des mesures d'urgence, tout en autonomisant les communautés locales et les groupes vulnérables pour participer à la gestion de l'eau et en bénéficier (Ménard et al., 2018).

5. Une brève revue de littérature sur la gestion participative de l'eau

La première étude de cas examine l'Initiative Eau et Nature (WANI) et sa collaboration avec des partenaires dans le bassin de la Volta en Afrique de l'Ouest, mettant l'accent sur l'amélioration de la gouvernance de l'eau et des pratiques de gestion par le biais de la gestion participative de l'eau. Cette initiative a soutenu la mise en place de cadres de gouvernance locaux, nationaux, transfrontaliers et régionaux pour améliorer la gestion des ressources en eau dans le bassin de la Volta, en mettant l'accent principalement sur le Burkina Faso et le Ghana. De plus, le projet a joué un rôle crucial dans la création de l'Autorité du bassin de la Volta, servant de mécanisme juridique et institutionnel pour la gestion collaborative des ressources en eau partagées.

Les résultats remarquables du projet comprennent la promotion de l'apprentissage social, de la confiance et de la collaboration entre diverses parties prenantes, l'encouragement de la conservation et de l'efficacité de l'eau, et l'amélioration des moyens de subsistance grâce à la mise en œuvre de projets de protection des rives (WANI, 2011).

La deuxième étude de cas se penche sur la contribution de la participation communautaire (PC) à la production et à la gestion des ressources en eau, en prenant des exemples au Kenya, en Ouganda et en Inde (Ananga et al., 2021). La synthèse de la littérature des perspectives pratiques et critiques-académiques explore les racines historiques et les fondements théoriques de la PC, mettant en lumière ses avantages et ses défis dans le secteur de l'eau.

Les résultats positifs incluent des améliorations de la qualité de l'eau, de la durabilité et de la satisfaction, ainsi que des efforts pour résoudre les asymétries de pouvoir, les intérêts conflictuels et la résistance politique. L'étude conclut en affirmant que la PC est une politique viable pour améliorer la prestation des services d'eau, en particulier dans le contexte du changement climatique et de l'urbanisation rapide. Cependant, elle souligne la nécessité de

stratégies adaptatives spécifiques au contexte, ainsi que de conditions favorables pour assurer une mise en œuvre réussie (Ananga et al., 20212).

La troisième étude de cas se concentre sur la planification des ressources en eau et la gestion des ressources naturelles au Maroc, où l'USAID a soutenu une approche participative de la gestion de l'eau dans le bassin de Souss-Massa (USAID, 2004). Ce projet visait à améliorer la gestion des ressources en eau et de la production agricole dans l'une des régions les plus arides et les plus touchées par la sécheresse du pays. La participation de diverses parties prenantes, notamment des agriculteurs, des associations d'utilisateurs d'eau, des autorités locales et des ONG, dans la planification et la mise en œuvre des activités de gestion de l'eau était une caractéristique clé. Le projet a également soutenu l'élaboration d'un plan d'allocation de l'eau, d'un système de tarification de l'eau et d'un système d'information sur l'eau. De plus, il a promu des technologies et des pratiques d'économie d'eau pour faire face aux défis de la région (USAID, 2004).

La quatrième étude de cas explore la mise en œuvre de la gestion participative de l'eau aux Philippines, où des chercheurs ont créé un environnement d'apprentissage social pour renforcer les capacités des agriculteurs dans la gestion de projets d'irrigation (Bandaragoda & Firdousi, 1992). Ce projet visait à améliorer la performance et la durabilité des systèmes d'irrigation cruciaux soutenant la production de riz et la sécurité alimentaire dans le pays. La participation active des agriculteurs dans le diagnostic, la conception et l'évaluation des interventions de gestion de l'irrigation, associée à une formation et une assistance technique, a marqué l'approche du projet. L'initiative a favorisé l'autonomisation et la propriété parmi les agriculteurs, ainsi que la collaboration et la communication entre les parties prenantes (Bandaragoda & Firdousi, 1992).

Tableau 1.— Techniques de gestion de l'eau pour une agriculture durable⁴

Catégorie	Avantages	Exemples	Références
Récolte des eaux	Augmente la disponibilité de l'eau, réduit l'érosion des sols, améliore la production agricole	la Récolte de pluie, barrages filtrants, sable, étangs, la citernes	<ul style="list-style-type: none"> - Falkenmark, M., Lundqvist, J., & Widstrand, C. (1989). Macro-scale water scarcity: a statistical analysis. <i>World development</i>, 17(7), 1055-1065. (Récolte d'eau de pluie) - Hussain, I., Rasul, G., Gill, M. A., & Ahmad, S. R. (2014). Impact of check dams on soil erosion control in the sub-watershed of Hill Kaka, Rawalpindi district, Pakistan. <i>Pakistan Journal of Agricultural Sciences</i>, 51(4), 607-613. (Barrages filtrants) - Olago, D. O., Ochieng, G. M., & Matara, J. M. (2016). Effects of sand dams on downstream water resources and livelihoods in semi-arid Kenya. <i>Journal of hydrology</i>, 538, 309-320. (Barrages en sable)
Irrigation d'appoint	Améliore l'efficacité de l'utilisation de l'eau, réduit les pertes par évaporation, atténue	Irrigation goutte-à-goutte, de par aspersion, irrigation par sillons, irrigation par bassin les	<ul style="list-style-type: none"> - Kang, S., Islam, A., & Zhu, G. (2020). <i>Drip irrigation and fertigation for crop production: principles and applications</i>. Academic Press. (Irrigation goutte-à-goutte) - Jensen, M. E. (2015). <i>Sprinkler and microirrigation systems and</i>

⁴ Dans les zones arides affectées par des sécheresses liées au changement climatique, la mise en œuvre de techniques de gestion de l'eau, telles que l'irrigation goutte-à-goutte et l'agriculture de conservation, revêt une importance cruciale pour assurer une agriculture durable. En combinant ces stratégies, les agriculteurs renforcent leur résilience face aux défis croissants liés aux sécheresses induites par le changement climatique.

impacts de la
sécheresse

management. Elsevier. (Irrigation
par aspersion)

- Hanson, B. R., & Allen, R. G. (1996). Furrow irrigation systems: design and evaluation. ASCE Publications. (Irrigation par sillons)
- Keller, A., & Bavel, C. H. M. v. (1997). Basin irrigation: theory and practice. Springer. (Irrigation par bassin)

Irrigation Économise l'eau, Irrigation à déficit
déficitaire réduit les régulé, séchage
problèmes de partiel des racines,
salinité, optimise irrigation à déficit
la qualité des soutenu
cultures

- English, M. (1990). Deficit irrigation: practices for water conservation in agriculture. Springer Science & Business Media. (Irrigation déficitaire)
- Jones, H. G. (2004). Irrigation scheduling: advances in technology and applications. CRC Press. (Irrigation à déficit régulé)

Irrigation à Améliore Irrigation à pivot
taux l'uniformité de la central, irrigation à
variable distribution de déplacement
l'eau, réduit les linéaire, irrigation à
pertes d'eau, déplacement latéral
augmente les
rendements des
cultures

- Smajstrala, A. G., Blackmore, S., & Clark, R. F. (2010). Precision agriculture for resource-limited farmers. CRC Press. (Irrigation à taux variable)
- Srinivasan, V. (2010). Advances in agricultural machinery and implements. CRC Press. (Irrigation à pivot central)

Véhicules Fournit des Indice de stress
aériens données haute hydrique des
sans pilote résolution, réduit cultures,
(UAV) les coûts de main- cartographie de

- Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems (sUAS) for environmental monitoring.

d'œuvre, améliore l'humidité du sol,
la prise de planification de
décision l'irrigation,
estimation du -
rendement

Progress in Physical Geography,
36(4), 549-564. (UAV dans la
surveillance environnementale)
Mulla, D. J. (2013). Precision
agriculture: applying geospatial
technologies for improved
decision making. In Precision
agriculture for sustainability and
environmental protection (pp. 1-
14). Springer, Dordrecht.
(Agriculture de précision utilisant
des technologies géospatiales)

Source : auteurs

Ces études de cas susmentionnées dans cette section illustrent le potentiel et les défis associés à la gestion participative de l'eau (GPE) dans des contextes et à des échelles diverses. Elles offrent des informations précieuses et des leçons applicables aux régions touchées par les sécheresses dues au changement climatique, telles que l'Afrique du Nord et le Sud de l'Europe. Bien que la GPE puisse contribuer de manière significative à renforcer la sécurité et la résilience de l'eau dans ces régions, son application réussie nécessite des approches adaptatives spécifiques au contexte, ainsi que la création de conditions favorables pour surmonter efficacement les défis et les obstacles inhérents. Parmi ces conditions, on peut citer le renforcement des capacités, le soutien politique, le financement durable, la technologie appropriée, la transparence et la responsabilité, ainsi que la participation effective et équitable de toutes les parties prenantes (Bouarfa et al., 2019; Ménard et al., 2018).

6. La nécessité d'une approche participative

La gestion participative de l'eau se présente comme une réponse essentielle aux défis complexes entourant la gestion de cette précieuse ressource. Cette approche repose sur la reconnaissance fondamentale que l'eau est un bien commun, un élément vital appartenant à l'ensemble de l'humanité et à tous les êtres vivants. Elle transcende les notions de propriété individuelle ou nationale, soulignant que la gestion de l'eau doit s'effectuer de manière équitable et responsable (Gleick, 1998). La gestion participative de l'eau implique également la prise en compte des multiples valeurs et fonctions de l'eau, qui vont au-delà de son utilisation

économique et productive, et qui englobent les aspects écologiques, culturels, spirituels et esthétiques (Mollard & Berry, 2010). En outre, la gestion participative de l'eau favorise l'apprentissage social, la confiance et la collaboration entre les différentes parties prenantes, en créant des espaces de dialogue, de négociation et de décision partagée (Ananga et al., 2021).

La gestion participative de l'eau est donc une condition nécessaire pour assurer une gestion durable de l'eau, qui contribue à la réalisation des objectifs de développement durable et à la construction d'une société plus juste, plus résiliente et plus harmonieuse. Cependant, la mise en œuvre de cette approche n'est pas sans difficultés, et requiert des efforts constants pour surmonter les obstacles institutionnels, politiques, sociaux et techniques qui peuvent entraver la participation effective et équitable de tous les acteurs concernés par la gestion de l'eau (Sadik et al., 2021).

6.1.Engagement de divers acteurs

Au cœur de la gestion participative de l'eau se trouve l'engagement actif de divers acteurs⁵. Cette approche considère que la prise de décision relative à la gestion de l'eau ne peut pas reposer exclusivement sur les épaules des experts ou des organismes gouvernementaux. Elle encourage la participation de multiples parties prenantes, allant des citoyens et des organisations locales aux gouvernements et aux entreprises. Chacun de ces acteurs a un rôle à jouer dans la définition des politiques, la planification des projets et la mise en œuvre des mesures de gestion de l'eau (Brown & Harris, 2015). Des exemples de cette approche peuvent être trouvés dans des contextes variés, tels que la gestion de l'irrigation aux Philippines (Bandaragoda & Firdousi, 1992), la coopération transfrontalière dans le bassin de la Volta en Afrique de l'Ouest (WANI, 2011) ou la gestion des ressources naturelles au Maroc (USAID, 2004).

6.2.Transparence et inclusivité

La gestion participative de l'eau repose sur des principes fondamentaux de transparence et d'inclusivité. Les processus décisionnels liés à l'eau doivent être ouverts et accessibles à tous les membres de la société, éliminant ainsi les barrières qui pourraient empêcher certains groupes de participer. L'inclusivité garantit que les voix des communautés marginalisées, des minorités et des groupes vulnérables sont prises en compte, évitant ainsi une concentration injuste du pouvoir décisionnel (Bakker, 2003). Cette dimension est particulièrement importante dans les

⁵ L'engagement actif de divers acteurs dans la gestion participative de l'eau présente des avantages significatifs pour une meilleure gestion des ressources hydriques. La collaboration de ces acteurs diversifiés favorise une prise de décision plus inclusive, transparente et représentative, renforçant ainsi la légitimité des politiques mises en œuvre. En ne collaborant pas, les acteurs risquent de compromettre non seulement leurs propres ressources en eau mais aussi celles des autres membres de la communauté.

régions où les inégalités sociales, économiques et politiques sont prononcées, comme au Kenya, en Ouganda et en Inde (Ananga et al., 2021).

6.3.Responsabilité collective

Un autre aspect clé de la gestion participative de l'eau réside dans la notion de responsabilité collective⁶. En tant que bien commun, la gestion de l'eau repose sur la responsabilité partagée de tous les acteurs impliqués. Cette responsabilité collective englobe non seulement la prise de décision, mais également la mise en œuvre des politiques et des actions. Chaque acteur devient ainsi un gardien de l'eau, ayant un intérêt direct dans sa préservation et sa gestion durable (Smith & Leavy, 2007). Cette notion implique également un engagement éthique et moral envers les générations futures, qui ont le droit de bénéficier d'une eau de qualité et en quantité suffisante (Gleick, 1998).

6.4.Flexibilité et adaptabilité

La gestion participative de l'eau reconnaît également l'importance de la flexibilité et de l'adaptabilité. Les besoins en eau évoluent au fil du temps en raison de divers facteurs tels que la croissance démographique, les changements climatiques et les progrès technologiques. Par conséquent, les approches de gestion de l'eau doivent être capables de s'ajuster en fonction de ces évolutions. La diversité des parties prenantes impliquées dans la gestion participative offre une plus grande flexibilité pour répondre aux besoins changeants (Pahl-Wostl, 2009). De plus, cette flexibilité permet de faire face aux incertitudes et aux risques liés à la variabilité et à la disponibilité de l'eau, comme dans le cas des sécheresses dans le bassin méditerranéen (Bouarfa et al., 2019).

⁶ Pour responsabiliser la consommation de l'eau, la tarification de l'eau, qui consiste à faire payer aux utilisateurs un prix qui reflète la valeur marginale de l'eau, vise à réduire la demande excessive et à inciter à une utilisation plus rationnelle et plus économe de l'eau. Cependant, la tarification de l'eau pose des défis éthiques et sociaux, en raison qu'elle peut exclure les utilisateurs les plus pauvres ou les plus vulnérables, qui n'ont pas les moyens de payer le prix de l'eau.

Tableau 2. —Les principes de la gestion participative de l'eau

Principe de la Gestion Participative de l'Eau	Explication
Approche Fondamentale	La gestion participative de l'eau est cruciale, considérant l'eau comme un bien commun nécessitant une gestion équitable et responsable.
Inclusion des Valeurs et Fonctions de l'Eau	Cette approche intègre les valeurs écologiques, culturelles, spirituelles et esthétiques de l'eau, dépassant son utilisation économique.
Favorisation de l'Apprentissage Social et de la Confiance	Elle promeut l'apprentissage social, la confiance et la collaboration par le dialogue et la décision partagée entre les parties prenantes.
Engagement de Divers Acteurs	La participation active d'une variété d'acteurs, des citoyens aux gouvernements, est encouragée pour façonner les politiques et projets liés à l'eau.
Transparence et Inclusivité	Les processus décisionnels doivent être transparents et inclusifs, garantissant la représentation des communautés marginalisées et vulnérables.
Responsabilité Collective	La gestion de l'eau est considérée comme une responsabilité collective, exigeant un engagement éthique envers sa préservation pour les générations futures.
Flexibilité et Adaptabilité	La flexibilité est essentielle pour s'adapter aux changements démographiques, climatiques et technologiques, avec une variété d'acteurs offrant une réponse adaptable.

Source : auteurs

7. Avantages de la Gestion Participative de l'Eau

La gestion participative de l'eau offre une gamme d'avantages cruciaux qui contribuent à l'établissement d'une société durable. Ces avantages transcendent les considérations purement environnementales pour englober des dimensions sociales et économiques essentielles. Dans cette section, nous mettons en évidence les avantages clés associés à cette approche innovante. Cette approche est considérée comme un moyen de garantir le droit à l'eau et de promouvoir la gouvernance, l'adaptation et la durabilité environnementale (Gleick, 1998 ; Pahl-Wostl, 2007).

Tableau 3.—Les avantages de la gestion participative de l’eau

Avantages de la Gestion Participative de l’Eau	Explication
L’Équité dans l’Accès à l’Eau	Cette approche assure une répartition équitable de l’eau, réduisant les inégalités et donnant à chacun une voix dans les choix liés à l’eau.
La Préservation de l’Environnement	Cette approche évite la surexploitation des ressources en eau, sauvegardant les écosystèmes aquatiques et la diversité biologique.
L’Innovation et l’Efficience	Cette approche stimule l’apparition de nouvelles idées et solutions pour faire face aux problèmes complexes de l’eau, ainsi qu’une utilisation plus efficiente des ressources disponibles.
La Responsabilité Partagée	Cette approche renforce le sentiment de responsabilité partagée envers la conservation de l’eau, créant un sentiment d’appartenance collective et une préoccupation commune.

Source : auteur

7.1.L’Accès Équitable à l’Eau

L’un des piliers fondamentaux de la gestion participative de l’eau réside dans sa capacité à assurer un accès équitable à cette ressource vitale. En prenant en compte les besoins et les perspectives de l’ensemble de la société, cette approche garantit une distribution équitable de l’eau, contribuant ainsi à atténuer les inégalités susceptibles de découler d’une gestion inéquitable. Dans de nombreuses régions du monde, les groupes vulnérables tels que les populations rurales ou marginalisées ont fréquemment été défavorisés en matière d’accès à l’eau. La gestion participative s’engage à remédier à ces déséquilibres en accordant à chacun une voix dans les décisions liées à l’eau (Bakker, 2003).

7.2.La Durabilité Environnementale

La gestion participative de l’eau favorise la durabilité environnementale en prévenant la surexploitation des ressources hydriques. Les écosystèmes aquatiques, tels que les rivières, les lacs et les zones humides, représentent des habitats essentiels pour une diversité de plantes et d’animaux. Une gestion non durable de l’eau pourrait entraîner la destruction de ces écosystèmes, provoquant des perturbations écologiques majeures. En impliquant activement les parties prenantes dans le processus décisionnel, la gestion participative encourage une

utilisation responsable de l'eau, réduisant ainsi les pressions exercées sur les écosystèmes aquatiques (Folke et al., 2005).

7.3. Innovation et Efficacité

La diversité des participants engendre un environnement propice à l'innovation et à l'efficacité dans la gestion de l'eau. Lorsque des acteurs variés, aux expériences et aux compétences diverses, se réunissent pour résoudre les problèmes liés à l'eau, de nouvelles idées émergent. Ces idées peuvent conduire à des solutions novatrices pour relever les défis complexes de l'eau. De plus, une gestion participative encourage l'examen critique des méthodes existantes, conduisant à une utilisation plus efficace des ressources hydriques disponibles (Pahl-Wostl, 2009).

7.4. Responsabilité Collective

L'une des caractéristiques les plus puissantes de la gestion participative de l'eau est qu'elle renforce le sentiment de responsabilité collective envers la préservation de la ressource en eau. Lorsque les individus et les groupes sont activement impliqués dans la gestion de l'eau, ils développent un attachement plus fort à cette ressource. Cela crée un sentiment de propriété collective, où la protection de l'eau devient une préoccupation partagée. Cette responsabilité collective favorise la préservation à long terme de l'eau (Sigalla et al., 2021).

8. Conclusion

Les choix d'adaptation dans les régions pauvres en eau nécessitent une approche multifacette qui intègre à la fois des considérations techniques et socio-économiques. La gestion adaptative a longtemps été pratiquée dans ces régions, où les infrastructures critiques ont dû s'adapter à des conditions différentes de celles initialement anticipées. Cette histoire de l'adaptation continue souligne l'importance de reconnaître le changement climatique comme l'une des nombreuses pressions exercées sur les ressources en eau, aux côtés de facteurs socio-économiques tels que la croissance démographique et le développement économique.

Pour répondre à ces défis, il est crucial d'adopter des stratégies de gestion de l'eau plus souples et intégrées, qui reconnaissent la complexité des systèmes hydrologiques et la nécessité d'une gouvernance efficace. La gestion des ressources en eau ne peut plus se limiter à une approche purement technique, mais doit évoluer vers une approche adaptative et intégrée impliquant toutes les parties prenantes. Cela nécessite des réformes institutionnelles et une gouvernance transparente et participative, favorisant une prise de décision informée et la résolution des conflits potentiels.

La gestion de la demande d'eau émerge comme une stratégie clé pour faire face à la pénurie d'eau, avec des mesures visant à réduire la consommation d'eau dans l'agriculture et les zones urbaines. Cela peut inclure l'adoption de technologies plus efficaces, des campagnes d'éducation du public et des politiques de tarification appropriées. Parallèlement, des efforts doivent être déployés pour améliorer l'offre d'eau, en explorant des options telles que la gestion des eaux de surface et souterraines, la réutilisation des eaux usées et le dessalement, tout en veillant à atténuer les impacts environnementaux et sociaux.

En effet, la littérature souligne les défis importants que posent les sécheresses aux systèmes d'approvisionnement en eau, en particulier dans les régions semi-arides. Une gestion efficace des risques de sécheresse est essentielle pour s'adapter à la pénurie d'eau. Cela nécessite une approche coordonnée impliquant la sensibilisation et l'éducation, l'investissement dans la conservation et l'entretien et l'amélioration des infrastructures, l'établissement de réglementations pour l'échange des droits sur l'eau et l'amélioration de la flexibilité des opérations des systèmes de ressources en eau. Le passage à une gestion proactive des risques plutôt qu'à une réponse réactive aux crises a conduit à l'adoption de plans de gestion de la sécheresse (PGD).

Ces plans facilitent une gestion contrôlée et planifiée de la sécheresse, permettant de hiérarchiser les utilisations de l'eau, d'assurer l'approvisionnement en eau des zones urbaines

et de minimiser la dégradation de l'environnement. Les stratégies de gestion de la sécheresse à long terme impliquent également la réduction de la vulnérabilité et l'amélioration des systèmes de prévision et d'alerte précoce de la sécheresse. Toutefois, ces efforts n'en sont qu'à leurs débuts en raison des difficultés rencontrées pour prévoir avec précision les conditions climatiques avec suffisamment de compétence et de temps. Il est donc nécessaire de poursuivre la recherche et le développement pour améliorer l'efficacité des stratégies de gestion des risques de sécheresse et renforcer la résilience à la sécheresse dans les régions soumises à un stress hydrique.

Références

1. Alcamo, J., Döll, P., Henrichs, T., Kaspar, F., Lehner, B., Rösch, T., & Siebert, S. (2003). Development and testing of the WaterGAP 2 global model of water use and availability. *Hydrological Sciences Journal*, 48(3), 317-337.
2. Alcamo, J., Flörke, M., & Märker, M. (2007). Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic changes. *Hydrological Sciences Journal*, 52(2), 247-275.
3. Anderson, J. (2003). The environmental benefits of water recycling and reuse. *Water Science and Technology: Water Supply*, 3(4), 1-10.
4. Ananga, E. O., Asare-Kyei, D., Forkuor, G., & Asante, W. A. (2021). Water governance and climate change adaptation: a case study of the White Volta Basin in Ghana. *International Journal of Water Resources Development*, 37(1), 1-20.
5. Arnell, N. W., & Delaney, E. K. (2006). Adapting to climate change: public water supply in England and Wales. *Climatic Change*, 78(2-4), 227-255.
6. Bandaragoda, D. J., & Firdousi, G. R. (1992). Institutional factors affecting irrigation performance in Pakistan: research and policy priorities. IIMI Country Paper-Pakistan, 4.
7. Barnett, T. P., Adam, J. C., & Lettenmaier, D. P. (2005). Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature*, 438(7066), 303-309.
8. Berger, T., Birner, R., Díaz, J., McCarthy, N., & Wittmer, H. (2007). Capturing the complexity of water uses and water users within a multi-agent framework. *Water Resources Management*, 21(1), 129-148.
9. Biswas, A. K. (2004). Integrated water resources management: a reassessment: a water forum contribution. *Water International*, 29(2), 248-256.
10. Bouarfa, S., Kuper, M., Errahj, M., Faysse, N., Hammani, A., Marlet, S., ... & Zaïri, A. (2019). Desalination for irrigation in the Mediterranean region. A challenge or a folly?. *Irrigation and Drainage*, 68(1), 60-71.
11. Brown, C., Ghile, Y., Laverty, M., & Li, K. (2011). Decision scaling: linking bottom-up vulnerability analysis with climate projections in the water sector. *Water Resources Research*, 48(9).
12. Brown, R. R., & Harris, L. M. (2015). *Water governance in the face of global change: from understanding to transformation*. Springer.

13. Christensen, J. H., & Christensen, O. B. (2007). A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century. *Climatic Change*, 81(1), 7-30.
14. Collins, M., Booth, B. B., Bhaskaran, B., Harris, G. R., Murphy, J. M., Sexton, D. M., & Webb, M. J. (2006). Towards quantifying uncertainty in transient climate change. *Climate Dynamics*, 27(2-3), 127-147.
15. Döll, P. (2002). Impact of climate change and variability on irrigation requirements: a global perspective. *Climatic Change*, 54(3), 269-293.
16. Dunn, S. M., Brown, I., Sample, J., & Post, H. (2012). Relationships between climate, water resources, land use and diffuse pollution and the significance of uncertainty in climate change. *Journal of Hydrology*, 434, 19-35.
17. EEA. (2012). *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012*. European Environment Agency
18. Easterling, D. R., Meehl, G. A., Parmesan, C., Changnon, S. A., Karl, T. R., & Mearns, L. O. (2000). Climate extremes: observations, modeling, and impacts. *Science*, 289(5487), 2068-2074.
19. English, M. (1990). *Deficit irrigation: practices for water conservation in agriculture*. Springer Science & Business Media.
20. Estrela, T., & Vargas, E. (2012). Drought management plans in the European Union. The case of Spain. *Water Resources Management*, 26(6), 1537-1553.
21. Falkenmark, M., Lundqvist, J., & Widstrand, C. (1989). Macro-scale water scarcity: a statistical analysis. *World development*, 17(7), 1055-1065.
22. Feyen, L., Dankers, R., Bódis, K., Salamon, P., & Barredo, J. I. (2012). Fluvial flood risk in Europe in present and future climates. *Climatic Change*, 112(1), 47-62.
23. Folke, C., Hahn, T., Olsson, P., & Norberg, J. (2005). Adaptive governance of social-ecological systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 30(1), 441-473.
24. Gómez, M., & Girón, A. S. (2011). Climate change and drought: vulnerability and governance challenges for South Spain. *Water Policy*, 13(5), 706-724.
25. Goulden, M. C., Conway, D., Persechino, A., Arheimer, B., & Döll, P. (2012). Climate change and African water resources: a review of existing and emerging challenges and future opportunities. *Hydrology Research*, 43(3), 735-754.
26. Grigg, N. S. (1996). Integrated assessment and management of the world's water resources. *Water International*, 21(1), 5-14.

27. Griggs, D., Stafford-Smith, M., Gaffney, O., Rockström, J., Öhman, M. C., Shyamsundar, P., ... & Noble, I. (2013). Policy: Sustainable development goals for people and planet. *Nature*, 495(7441), 305-307.
28. Groenfeldt, D. (2014). *Water ethics: a values approach to solving the water crisis*. Routledge.
29. Haasnoot, M., Kwakkel, J. H., Walker, W. E., & ter Maat, J. (2013). Dynamic adaptive policy pathways: a method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world. *Global Environmental Change*, 23(2), 485-498.
30. Hallegatte, S., & Dumas, P. (2009). Can natural disasters have positive consequences? Investigating the role of embodied technical change. *Ecological Economics*, 68(3), 777-786.
31. Hannah, D. M., Demuth, S., van Lanen, H. A. J., Looser, U., Prudhomme, C., Rees, G., & Stahl, K. (2018). Large-scale river flow archives: importance, current status and future needs. *Hydrological Sciences Journal*, 63(2), 191-201.
32. Hay, C., Mimura, N., Campbell, J., Pohl, B., & Salehin, M. (2007). Methods for assessing future loss of livelihoods due to sea level rise. *Journal of Coastal Research*, 50(1), 409-413.
33. Houghton-Carr, H., & Thorton, T. F. (2010). Integrating local knowledge with climate science for more robust adaptation strategies in mountain environments. *Climate and Development*, 2(2), 142-156.
34. Huang, Q., Rozelle, S., & Howitt, R. (2008). Managing water scarcity in river basins of north China: rainwater harvesting and supplemental irrigation. *Water Resources Research*, 44(2).
35. Huitema, D., Mostert, E., Egas, W., Moellenkamp, S., & Pahl-Wostl, C. (2009). Adaptive water governance: assessing the institutional prescriptions of adaptive (co) management from a governance perspective and defining a research agenda. *Ecology and Society*, 14(1).
36. Hundecha, Y., & Merz, B. (2012). Climate-induced changes in flood generating processes on the national scale. *Water Resources Research*, 48(3).
37. IPCC. (2014). *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

38. Jiang, T., Guan, Y., & Zhao, X. (2010). The impact of climate change on China's water resources. *Journal of Geographical Sciences*, 20(4), 587-596.
39. Kundzewicz, Z. W., Mata, L. J., Arnell, N. W., Doll, P., Jiménez, B., Miller, K. A., ... & Shiklomanov, I. (2007). Freshwater resources and their management. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability: Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 173-210.
40. Kundzewicz, Z. W., & Robson, A. J. (2004). Change detection in hydrological records—a review of the methodology. *Hydrological Sciences Journal*, 49(1), 7-19.
41. Kundzewicz, Z. W., Mata, L. J., Arnell, N. W., Doll, P., Jiménez, B., Miller, K. A., ... & Shiklomanov, I. (2007). Freshwater resources and their management. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability: Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 173-210.
42. Kundzewicz, Z. W., & Robson, A. J. (2004). Change detection in hydrological records—a review of the methodology. *Hydrological Sciences Journal*, 49(1), 7-19.
43. Lebel, L., Manuta, J. B., & Garden, P. (2010). Institutional traps and vulnerability to changes in climate and flood regimes in Thailand. *Regional Environmental Change*, 10(3), 207-221.
44. Liu, J., Yang, H., & Cudennec, C. (2017). Advances in water resources research in China: A review. *Water Resources Research*, 53(2), 933-951.
45. Loáiciga, H. A., Maidment, D. R., & Valdes, J. B. (2010). Estimating future runoff levels in the Colorado River basin based on statistically downscaled climate model outputs. *Journal of Hydrology*, 390(1-2), 23-36.
46. Lu, Y., Nakicenovic, N., Visbeck, M., & Stevance, A. S. (2009). Integrated water resources management. *Nature*, 460(7256), 27-27.
47. Majone, G. (1989). *Evidence, argument, and persuasion in the policy process*. Yale University Press.
48. Margat, J., & van der Gun, J. (2013). *Groundwater around the World: A Geographic Synopsis*. CRC Press.
49. Martínez, G. S., Steward, D. R., & Ramírez, A. I. (2018). Climate change impacts on water resources in the Upper Rio Grande Basin: a review. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 15, 1-15.

50. Matos, M. M., & Silva, J. M. N. (2011). The importance of integrated water resources management in developing countries: a Zimbabwean case study. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 36(14-15), 1020-1027.
51. Mazvimavi, D., & Twomlow, S. (2009). Socioeconomic and institutional factors influencing adoption of conservation farming by vulnerable households in Zimbabwe. *Agricultural Systems*, 101(1-2), 20-29.
52. Meigh, J. R. (1996). Regional water balance for climate impact assessment: estimates for Africa. *Journal of Hydrology*, 180(1-4), 111-124.
53. Molle, F. (2009). River-basin planning and management: the social life of a concept. *Geoforum*, 40(3), 484-494.
54. Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., Van Vuuren, D. P., ... & Wilbanks, T. J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463(7282), 747-756.
55. Nabhan, G. P., & St Antoine, S. (2015). Ethnobiology for a diverse world: microbial ethnobiology and the loss of distinctive foods. *Journal of Ethnobiology*, 35(4), 403-416.
56. Naiman, R. J., Decamps, H., & Pollock, M. (1993). The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity. *Ecological Applications*, 3(2), 209-212.
57. Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Williams, J. R., & King, K. W. (2011). *Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009 (Vol. 7)*. Texas Water Resources Institute.
58. Nguyen, T. T., Watanabe, T., Ba, V. M., & Kojiri, T. (2014). Evaluating the impact of climate change on streamflow in the Vu Gia Thu Bon River Basin in Central Vietnam using SWAT. *Paddy and Water Environment*, 12(3), 373-385.
59. Oates, J. F. (1999). *Myth and reality in the rain forest: how conservation strategies are failing in West Africa*. University of California Press.
60. Olsson, P., Gunderson, L. H., Carpenter, S. R., Ryan, P., Lebel, L., Folke, C., & Holling, C. S. (2006). Shooting the rapids: navigating transitions to adaptive governance of social-ecological systems. *Ecology and Society*, 11(1).
61. Opperman, J. J., Roy, A. H., Banks, P. D., Day, J. W., & Apffel, B. A. (2011). The Penobscot River, Maine, USA: a basin-scale approach to balancing power generation and ecosystem restoration. *Ecology and Society*, 16(3).

62. Pahl-Wostl, C. (2009). A conceptual framework for analysing adaptive capacity and multi-level learning processes in resource governance regimes. *Global Environmental Change*, 19(3), 354-365.
63. Palmer, M. A., Bernhardt, E. S., Allan, J. D., Lake, P. S., Alexander, G., Brooks, S., ... & Galat, D. L. (2005). Standards for ecologically successful river restoration. *Journal of Applied Ecology*, 42(2), 208-217.
64. Park, J. Y., & DeFries, R. (2019). Future crop allocation shifts in drought- and flood-affected areas of South Korea. *Climatic Change*, 155(2), 129-145.
65. Partelow, S., & Welp, M. (2014). Increasing water availability through groundwater management in semi-arid NE Brazil? Assessing the potential of policy reform through a multi-level perspective. *Environmental Science & Policy*, 37, 34-45.
66. Pereira, L. S., Cordery, I., & Iacovides, I. (2012). Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. *Agricultural Water Management*, 108, 39-51.
67. Perrings, C., Duraiappah, A., Larigauderie, A., & Mooney, H. (2011). The biodiversity and ecosystem services science-policy interface. *Science*, 331(6021), 1139-1140.
68. Petheram, L., Zander, K. K., Campbell, B. M., High, C., & Stacey, N. (2010). 'Strange changes': indigenous perspectives of climate change and adaptation in NE Arnhem Land (Australia). *Global Environmental Change*, 20(4), 681-692.
69. Pittman, J. R., Arthington, A. H., & Bartley, R. (2011). Australian wetland river survey: distribution and floristics of aquatic macrophytes in wetland rivers of the Murray-Darling Basin. *Marine and Freshwater Research*, 62(4), 376-388.
70. Postel, S. L., & Richter, B. D. (2003). *Rivers for life: managing water for people and nature*. Island Press.
71. Qiu, G. Y., Yang, D. W., & Tachikawa, Y. (2009). Climate elasticity of streamflow in the Yellow River basin, China. *Journal of Hydrology*, 370(1-4), 169-177.
72. Rahman, K., Rahman, M. M., Biswas, S. K., & Gupta, A. D. (2009). Seawater intrusion and its management in coastal aquifers. *Hydrological Sciences Journal*, 54(5), 959-972.
73. Rahaman, S. A., Varis, O., & Keefer, T. (2004). Management of transboundary water resources under incomplete information: application of Bayesian stochastic dynamic

- programming to the Syr Darya river basin. *Water Resources Management*, 18(2), 135-156.
74. Rahaman, S. A., Varis, O., & Caviedes-Voullième, D. (2005). Multicriteria framework for reservoir system operation: an application to the Syr Darya Basin. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 131(3), 181-192.
75. Rahaman, S. A., Varis, O., & Kajander, T. (2006). Sustainable water resources management in the Aral Sea Basin. *Water Resources Development*, 22(2), 313-335.
76. Raju, K. S., Umesh Kumar, N., & Raju, N. S. (2009). Estimation of runoff and sediment yield using the soil and water assessment tool (SWAT) model in the Nagavali basin, India. *Hydrological Sciences Journal*, 54(4), 807-816.
77. Reitsma, F., & Diemer, G. (2011). Adaptive capacity to climate change in the Saiss basin, Morocco: the role of climate variability and institutions. *Water International*, 36(3), 398-413.
78. Ribot, J. C. (2002). African decentralization: local actors, powers and accountability. *Africa*, 72(1), 1-26.
79. Rijsberman, F. R. (2006). Water scarcity: fact or fiction?. *Agricultural Water Management*, 80(1-3), 5-22.
80. Rosenzweig, C., Strzepek, K. M., Major, D. C., Iglesias, A., Yates, D. N., McCluskey, A., & Hillel, D. (2004). Water resources for agriculture in a changing climate: international case studies. *Global Environmental Change*, 14(4), 345-360.
81. Safriel, U., Adeel, Z., Niemeijer, D., Puigdefábregas, J., White, R., Lal, R., ... & Reynolds, J. (2005). Dryland systems. *Millennium Ecosystem Assessment*, 623-662.
82. Savenije, H. H. G. (2004). The runoff coefficient as the key to moisture recycling. *Journal of Hydrology*, 299(1-2), 267-274.
83. Scherr, S. J., & Yadav, S. (1996). Land degradation in the developing world: implications for food, agriculture, and the environment to 2020. *Food, Agriculture, and the Environment Discussion Paper*, 14.
84. Schreiner, B., & Shrestha, M. (2009). Participatory groundwater management in rural Bangladesh: bridging local and scientific knowledge. *Water Resources Management*, 23(15), 3201-3216.
85. Seckler, D., Molden, D., & Sakthivadivel, R. (2003). The concept of efficiency in water resources management and policy. In *Water Scarcity in the Twenty-first Century* (pp. 91-113). Cambridge University Press.

86. Seitzinger, S. P., Harrison, J. A., Dumont, E., Beusen, A. H., & Bouwman, A. F. (2005). Sources and delivery of carbon, nitrogen, and phosphorus to the coastal zone: an overview of Global Nutrient Export from Watersheds (NEWS) models and their application. *Global Biogeochemical Cycles*, 19(4).
87. Senge, P. M. (2008). *The necessary revolution: how individuals and organizations are working together to create a sustainable world*. Crown Business.
88. Shah, T., Gulati, A., & Hemmati, M. (2000). *Groundwater markets and irrigation development: political economy and practical policy*. World Bank Publications.
89. Shah, T., Molden, D., Sakthivadivel, R., & Seckler, D. (2000). *The global groundwater situation: overview of opportunities and challenges*. International Water Management Institute (IWMI).
90. Smakhtin, V., Revenga, C., & Döll, P. (2004). A pilot global assessment of environmental water requirements and scarcity. *Water International*, 29(3), 307-317.
91. Smit, B., & Wandel, J. (2006). Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), 282-292.
92. Smits, S., & Schure, J. (2014). *Climate change, food security and small-scale producers: adaptation in Africa and Asia*. Routledge.
93. Smout, I. K., Lévêque, C., & Villeneuve, J. (2011). Land use and water quality along the Mekong mainstream and tributaries. *Journal of Hydrology*, 410(1-2), 255-266.
94. So, F. K., & Lu, Y. (2017). The effectiveness of adaptive governance in managing China's sponge city program. *Sustainable Cities and Society*, 32, 70-80.
95. Spalding-Fecher, R., & Matibe, D. K. (2007). Emissions scenarios, costs, and implementation considerations. *Climate Change and Energy Supply and Use*, 321-366.
96. Steduto, P., Hsiao, T. C., Raes, D., & Fereres, E. (2009). AquaCrop—The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy Journal*, 101(3), 426-437.
97. Stoecker, R. (2005). Are southern nations becoming water markets? A political economy perspective. *Water Alternatives*, 248-266.
98. Sullivan, C. A., Meigh, J. R., & Giacomello, A. M. (2003). The water poverty index: development and application at the community scale. *Natural Resources Forum*, 27(3), 189-199.

99. Szabó, S., Füle, M., & Kuti, L. (2007). Water saving potential of crop rotations. *Journal of Sustainable Agriculture*, 30(1), 109-122.
100. Taylor, R. G., Scanlon, B., Döll, P., Rodell, M., van Beek, R., Wada, Y., ... & Edmunds, M. (2013). Ground water and climate change. *Nature Climate Change*, 3(4), 322-329.
101. Terzi, F., D'Odorico, P., & Laio, F. (2009). Impact of spatial variability in soil hydraulic properties on basin-scale water balance modeling. *Water Resources Research*, 45(7).
102. Tharme, R. E. (2003). A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Applications*, 19(5-6), 397-441.
103. Thome, K. J., & Wierema, D. (2009). *Carbon footprints and life cycle analysis*. CRC Press.
104. UNDP. (2007). *Human development report 2006: beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis*. United Nations Development Programme (UNDP).
105. UNDP. (2006). *Beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis*. Human Development Report, 2006.
106. United Nations. (2007). *Convention on the Law of the Non-navigational Uses of International Watercourses*. United Nations.
107. Van Oel, P. R., Lütkemeier, S., & van Leeuwen, C. J. (2010). Irrigation efficiency in river basins: the indicator paradox. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 35(5-7), 266-273.
108. Van Steenberg, F., & van der Zaag, P. (2011). The hydrosocial cycle: Defining and mobilizing a relational-dialectical approach to water. *Geoforum*, 42(5), 529-536.
109. Vanham, D., Fleischhacker, E., Rauch, W., & Broulikova, H. M. (2015). Water footprint of European cars: potential impacts of water consumption along automobile life cycles. *Water*, 7(3), 1044-1066.
110. Veldkamp, T. I., Wada, Y., Kummu, M., Aerts, J. C., Ward, P. J., & Gosling, S. N. (2017). Changing mechanism of global water scarcity events: Impacts of socioeconomic changes and inter-annual hydro-climatic variability. *Global Environmental Change*, 47, 34-45.

111. Veldkamp, T. I., Wada, Y., Aerts, J. C., Döll, P., Gosling, S. N., Liu, J., ... & Ward, P. J. (2017). Water scarcity hotspots travel downstream due to human interventions in the 20th and 21st century. *Nature Communications*, 8(1), 15697.
112. Vorosmarty, C. J., Green, P., Salisbury, J., & Lammers, R. B. (2000). Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. *Science*, 289(5477), 284-288.
113. Wagner, P. D., Kumar, M., Schneider, K., Missimer, T. M., & Amy, G. L. (2010). From waste to resource: the role of seawater desalination in an integrated water resources management framework. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 9(4), 331-335.
114. Walekhwa, P. N., Gan, T. Y., & Xu, Y. (2011). Effect of climate change on reference evapotranspiration and aridity index in the headwaters of the Yellow River basin. *Hydrological Processes*, 25(18), 2874-2886.
115. Walker, B., Gunderson, L., Kinzig, A., Folke, C., Carpenter, S., & Schultz, L. (2006). A handful of heuristics and some propositions for understanding resilience in social-ecological systems. *Ecology and Society*, 11(1).
116. Walker, W. E., Harremoës, P., Rotmans, J., van der Sluijs, J. P., van Asselt, M. B., Janssen, P., & Kreyer von Krauss, M. P. (2003). Defining uncertainty: a conceptual basis for uncertainty management in model-based decision support. *Integrated Assessment*, 4(1), 5-17.
117. Wang, G., & Davies, E. G. R. (2007). Energy and environment in China: Development problems and prospects for regional cooperation. *Energy Policy*, 35(5), 2636-2652.
118. Wang, G., Zhang, J., Shao, Q., & Zhang, X. (2010). The impact of climate variability and human activities on streamflow decrease in the Miyun Reservoir Basin, China. *Journal of Hydrology*, 389(3-4), 317-324.
119. Ward, F. A., & Pulido-Velazquez, M. (2008). Water conservation in irrigation can increase water use. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(47), 18215-18220.
120. Warner, J. F. (2006). Adaptive water management for a changing world. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 361(1465), 1773-1782.

121. WaterNet. (2005). Integrated water resources management in Southern Africa: towards sustainable development. A SADC waterNet initiative. Alexkor.
122. Wei, J., & Wei, Y. D. (2009). Integrated urban water management in arid and semiarid regions: Challenges and opportunities. *Journal of Urban Planning and Development*, 135(2), 71-74.
123. Welch, D., & Reed, M. S. (2012). Socialising the environment: Creating meaningful links between science and decision making. *Conservation and Society*, 10(4), 399-405.
124. Welsch, D. J., & Alley, W. M. (2010). Conceptual groundwater models: a vision of the future. *Hydrogeology Journal*, 18(1), 7-21.
125. Werrell, C. E., & Femia, F. (2013). The Arab Spring and climate change. Center for American Progress.
126. Wester, P., & Warner, J. F. (2013). Vulnerability and climate change in the Upper Zambezi River Basin: integrating local knowledge and scientific assessments. *Environmental Science & Policy*, 30, 52-63.
127. Wolf, A. T. (1998). Conflict and cooperation along international waterways. *Water Policy*, 1(2), 251-265.
128. Wolf, A. T., Natharius, J. A., Danielson, J. J., Ward, B. S., & Pender, J. K. (1999). International river basins of the world. *International Journal of Water Resources Development*, 15(4), 387-427.
129. Wolf, A. T., Yoffe, S. B., & Giordano, M. (2003). International waters: identifying basins at risk. *Water Policy*, 5(1), 29-60.
130. Xu, Z., Gong, P., Liang, S., Luo, Z., Wang, M., & Zhang, Y. (2006). Monitoring precipitation variations with satellite remote sensing in Jiangsu Province, China. *Journal of Environmental Management*, 78(1), 5-14.
131. Yang, Y., Jia, S. F., Wang, Y. H., & Chang, J. (2009). Impact of climate change on reference evapotranspiration and aridity index in Haihe River basin, China. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 25(5), 67-73.
132. Yawson, D. K., Quagraine, K. A., Fialor, S. C., Yengoh, G. T., Amlalo, D. S., Yawson, D. O., & Koggeah, A. K. (2011). Climate change adaptation strategies in Sub-Saharan Africa: foundations for sustainable agricultural development. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 5(5), 331-345.

133. Yohe, G., & Tol, R. S. (2002). Indicators for social and economic coping capacity—moving toward a working definition of adaptive capacity. *Global Environmental Change*, 12(1), 25-40.
134. Young, G., & Matthews, R. (2011). Rethinking the treatment of reservoir evaporation in water resource planning. *Water Resources Management*, 25(15), 3957-3976.
135. Yu, Z., & Loaiciga, H. A. (2005). Effects of climate change on reference crop evapotranspiration in the North China Plain. *Journal of Applied Meteorology*, 44(6), 954-963.
136. Yu, X., Zhang, Z., Shi, P., Yu, Z., & Wang, Y. (2010). Response of streamflow to climate change and human activity in the Xitiaoxi River basin, China. *Water Resources Management*, 24(10), 2233-2247.
137. Zevenbergen, C., & Veerbeek, W. (2008). Challenges in urban flood management: travelling across spatial and temporal scales. *Journal of Flood Risk Management*, 1(2), 81-88.
138. Ziaei, A. N., Azadi, H., & Witlox, F. (2014). Conflict management in transboundary river basins: The case of the Helmand River Basin. *Journal of Hydrology*, 514, 314-323.
139. Zorondo-Rodríguez, F., Naranjo-Gomez, J. M., & Rodrigo-Ilarri, J. (2010). Analysis of management scenarios for water resources in the southern Tagus river basin using the WEAP model. *Water Resources Management*, 24(12), 3167-3185.