

Vers une nouvelle ère de gestion hydrique au Maroc : Analyse théorique et perspectives des ressources en eau non conventionnelles

Towards a new era of management in Morocco: A theoretical analysis and perspectives of non-conventional water resources

Ahmed AMGHAR, (docteur en économie appliquée)

*Laboratoire d'études et de recherches appliquées en sciences économiques
Faculté des sciences juridiques économiques et sociales d'Agadir
Université Ibn Zohr d'Agadir, Maroc*

Abdelkarim HSSOUNE, (docteur en économie appliquée)

*Laboratoire d'études et de recherches appliquées en sciences économiques
Faculté des sciences juridiques économiques et sociales d'Agadir
Université Ibn Zohr d'Agadir, Maroc*

Adresse de correspondance :	Faculté des sciences juridiques économiques et sociales d'Agadir Info@fsjes-agadir.org Université Ibn Zohr Maroc (Agadir) 80000 05 28 23 28 20
Déclaration de divulgation :	Les auteurs n'ont pas connaissance de quelconque financement qui pourrait affecter l'objectivité de cette étude et ils sont responsables de tout plagiat dans cet article.
Conflit d'intérêts :	Les auteurs ne signalent aucun conflit d'intérêts.
Citer cet article	AMGHAR, A., & HSSOUNE A. (2025). Towards a new era of management in Morocco: A theoretical analysis and perspectives of non-conventional water resources. <i>International Journal of Accounting, Finance, Auditing, Management and Economics</i> , 6(4). https://doi.org/10.5281/zenodo.15306880
Licence	Cet article est publié en open Access sous licence CC BY-NC-ND

Received: 12/02/2025

Accepted: 21/04/ 2025

International Journal of Accounting, Finance, Auditing, Management and Economics - IJAFAME

ISSN: 2658-8455

Volume 6, Issue 04 (2025)

Vers une nouvelle ère de gestion hydrique au Maroc : Analyse théorique et perspectives des ressources en eau non conventionnelles

Résumé

Le Maroc subit une forte pression sur ses ressources hydriques accentuée par le changement climatique et la croissance des besoins en eau. Les approches traditionnelles centrées sur la gestion de l'eau montrent leurs limites face à ce stress hydrique structurel. Dans ce contexte, l'intégration des ressources en eau non conventionnelles (dessalement de l'eau de mer et réutilisation des eaux usées traitées) apparaît comme une stratégie incontournable pour développer l'offre en eau du pays. Cet article mobilise le cadre théorique de la soutenabilité faible, selon lequel les avancées technologiques peuvent compenser la rareté des ressources naturelles. À travers une double démarche, une revue d'expériences internationales et une analyse des politiques marocaines, l'étude explore comment le progrès technique appliqué aux ressources non conventionnelles peut contribuer à sécuriser l'approvisionnement en eau. Les résultats montrent que, malgré des avancées notables, la généralisation de ces solutions demeure freinée par des obstacles institutionnels et financiers.

Cet article analyse la politique marocaine en matière d'eau non conventionnelle à travers une double démarche : (i) une revue de diverses expériences internationales réussies des mobilisations des ressources non conventionnelles (notamment au Moyen-Orient, en Europe et en Asie) ; (ii) un examen de l'évolution des politiques et projets mis en œuvre au Maroc dans le domaine du dessalement et de la réutilisation des eaux usées.

Les résultats montrent que les solutions techniques basées sur les ressources non conventionnelles peuvent compléter efficacement les ressources traditionnelles et réduire le déficit hydrique. À l'international, des pays arides comme l'Arabie Saoudite ou des régions côtières comme l'Espagne ont considérablement augmenté leur offre en eau grâce au dessalement, tandis que d'autres, tels que Singapour ou la Californie, ont développé des programmes avancés de réutilisation des eaux usées. Le Maroc, de son côté, a amorcé une « nouvelle ère » de gestion de l'offre en lançant d'importants projets de dessalement (par exemple, l'usine d'Agadir-Chtouka) et en mettant en place des stations de traitement tertiaire pour la réutilisation des eaux usées (notamment à Agadir, Marrakech, Oujda, etc.). Cependant, l'adoption de ces ressources reste en deçà des ambitions nationales : par exemple, en 2017, seulement 9% des eaux usées urbaines traitées étaient effectivement réutilisées, loin de l'objectif de 300 millions de m³/an fixé pour 2030. Cela s'explique par des freins à la fois financiers (investissements élevés nécessitant des partenariats public-privé) et institutionnels.

En conclusion, le recours aux ressources en eau non conventionnelles constitue un pilier essentiel pour assurer la sécurité hydrique du Maroc. Néanmoins, son succès dépendra d'un cadre institutionnel adapté, d'un financement soutenu et de l'adhésion des usagers à l'utilisation de ces ressources alternatives.

Mots-clés : ressources en eau non conventionnelles, stress hydrique, politique publique, dessalement de l'eau de mer, réutilisation des eaux usées

Classification JEL : Q25, Q28, O13

Type de l'article : article théorique

Abstract

Morocco faces intense pressure on its water resources, exacerbated by climate change and growing water demand. Traditional approaches focused on demand management have shown their limits in addressing the country's structural water stress. In this context, integrating non-conventional water resources - namely seawater desalination and treated wastewater reuse - has emerged as an essential strategy to increase the nation's water supply.

This paper is grounded in the theoretical framework of weak sustainability, which holds that technological progress can offset the depletion of natural resources by enhancing the availability of alternative forms of capital.

The study adopts a twofold approach: (i) a review of several successful international experiences in mobilizing non-conventional water (notably in the Middle East, Europe, and Asia); (ii) an assessment of Morocco's own policies and projects in the fields of desalination and wastewater reuse. The findings indicate that technical solutions based on non-conventional resources can effectively complement traditional water sources and mitigate water deficits. Internationally, arid countries such as Saudi Arabia and coastal regions like Spain have significantly increased their water supply via desalination, while others, including Singapore and California, have developed advanced wastewater reuse programs. In Morocco, a "new era" of water supply management has begun with the launch of major desalination projects (for instance, the Agadir-Chtouka plant) and the installation of tertiary treatment facilities for wastewater reuse (notably in Agadir, Marrakech, Oujda, etc.). However, the uptake of these resources remains below national targets: for example, in 2017 only 9% of treated urban wastewater was being recycled, far short of the 2030 goal of 300 million m³ per year. Key obstacles are both financial (high investment costs requiring public-private partnerships) and institutional.

In conclusion, tapping into non-conventional water resources is a critical pillar for achieving water security in Morocco. Nevertheless, its success will depend on an enabling institutional framework, sustained financing, and user acceptance of these alternative water resources.

Keywords : unconventional water resources, water stress, public policy, seawater desalination, wastewater reuse.

JEL Classification : Q25, Q28, O13

Paper type: Theoretical Research

1. Introduction

Le Maroc fait face à une pression hydrique considérable qui menace son développement socio-économique. D'après un rapport du *World Resources Institute* (2019), la région méditerranéenne est la zone la plus sévèrement touchée par le stress hydrique au monde, et le Maroc figure parmi les pays au stress hydrique le plus élevé en raison d'un usage intensif de ses ressources et d'une augmentation constante de la demande en eau, notamment pour l'irrigation (World Resources Institute, 2025). Par exemple, la disponibilité en eau par habitant au Maroc a chuté d'environ 2560 m³/an en 1960 à seulement 620 m³/an en 2019 (HCP, 2020, p. 85), bien en deçà du seuil de 1000 m³ définissant la pénurie hydrique. Ce déséquilibre entre l'offre et la demande en eau illustre l'insuffisance des approches traditionnelles de gestion des ressources hydriques face aux défis actuels du pays.

Les politiques publiques en matière d'eau ont longtemps privilégié une approche infrastructurelle, centrée sur les grands barrages et la mobilisation des ressources conventionnelles. Mais l'ampleur du stress hydrique actuel impose une reconfiguration stratégique. C'est dans ce contexte que l'adoption de ressources en eau non conventionnelles (RENC), telles que le dessalement de l'eau de mer ou la réutilisation des eaux usées, émerge comme une solution stratégique.

L'objet de cette étude est d'analyser la politique marocaine en matière de RENC, à travers une lecture croisée des fondements théoriques et des expériences concrètes. Elle s'appuie sur une démarche méthodologique mixte, combinant : (1) une revue des expériences internationales réussies dans le domaine des RENC (Moyen-Orient, Espagne, Singapour, Californie, etc.), et (2) une analyse des politiques et projets marocains relatifs au dessalement et à la réutilisation des eaux usées.

Le développement des technologies liées aux eaux non conventionnelles s'appuie sur les fondements théoriques du paradigme de la soutenabilité faible. Ainsi, selon les analyses de Stiglitz, Solow et Hartwick, qui se basent sur le principe de la substituabilité des capitaux, il devient envisageable d'améliorer l'offre en eau tout en garantissant un approvisionnement durable pour les générations futures (Amghar & Hssoune, 2025, p.961). L'application des principes de la soutenabilité faible permet de pallier la diminution des ressources en eau conventionnelles grâce aux progrès technologiques, ce qui se traduit notamment par le recours à des ressources en eau alternatives, dites non conventionnelles, telles que le dessalement de l'eau de mer et la réutilisation des eaux usées traitées (Amghar & Hssoune, 2025, p.961).

Historiquement, la gestion de l'eau au Maroc oscille entre deux approches : la gestion de l'offre et la gestion de la demande. Dans les premières décennies suivant l'indépendance, le Maroc a accordé une priorité élevée à l'augmentation de l'offre en eau via de grands ouvrages hydrauliques (notamment la politique des barrages), reléguant au second plan la gestion de la demande. Ce choix se justifiait par la nécessité de soutenir une économie marocaine naissante - en particulier le secteur agricole, pilier de l'économie à l'époque - par un approvisionnement suffisant en eau et autres facteurs de production. À partir du début des années 1990, le Royaume s'est progressivement réorienté vers une gestion plus efficace de la demande, mettant en œuvre la valorisation et l'économie de l'eau. L'amélioration de l'efficacité de l'usage et la maîtrise de la consommation apparaissent alors comme des solutions opportunes dans un contexte de compétition accrue entre les usages et de contraintes climatiques et socio-économiques importantes.

Toutefois, l'ampleur du stress hydrique actuel pousse à repenser la stratégie nationale. L'adoption de ressources en eau non conventionnelles (RENC) comme sources d'approvisionnement complémentaires a ouvert de nouveaux horizons pour la gestion de l'offre. Des solutions techniques telles que le dessalement de l'eau de mer et la réutilisation des eaux usées traitées offrent la possibilité d'élargir et de diversifier les ressources en eau du pays

tout en contribuant au développement durable. En effet, les progrès technologiques récents ont considérablement amélioré la viabilité de ces solutions : par exemple, la révolution de la technologie de l'osmose inverse - en remplaçant la distillation thermique - a permis de réduire significativement les coûts du dessalement, et l'essor des énergies renouvelables (solaire, éolien) offre des opportunités pour atténuer l'empreinte énergétique des projets hydriques non conventionnels. Dans un pays au climat semi-aride à aride comme le Maroc, où l'agriculture demeure un secteur vital, ces avancées technologiques apportent un soutien précieux dans la lutte contre la rareté de l'eau.

Dans ce contexte, une question centrale se pose : **comment le Maroc exploite-t-il les ressources en eau non conventionnelles pour atténuer le stress hydrique ?** Autrement dit, assister à l'émergence d'une nouvelle ère de gestion de l'offre en eau, fondée sur le dessalement et la réutilisation, en complément des efforts de gestion de la demande ? Pour y répondre, cet article analyse le développement de la politique marocaine de l'eau axée sur les ressources non conventionnelles, en mettant l'accent sur deux types majeurs de RENC, le dessalement de l'eau de mer et la réutilisation des eaux usées traitées, et en s'inspirant des expériences internationales ayant réussi dans ce domaine. La première partie présente le cadre conceptuel du stress hydrique ainsi que la définition et les enjeux des ressources en eau non conventionnelles. Elle introduit également le fondement théorique mobilisé, à savoir le paradigme de la soutenabilité faible, qui postule la possibilité de compenser la rareté des ressources naturelles par le progrès technique et l'investissement dans le capital reproductible. La deuxième partie propose une revue d'expériences internationales de mobilisation des RENC (notamment au Moyen-Orient, en Europe et en Asie) qui ont contribué à élargir durablement l'offre en eau. La troisième partie étudie l'expérience du Maroc en matière de dessalement et de réutilisation des eaux usées, à travers ses politiques, réalisations et défis. Enfin, la conclusion met en perspective les principaux résultats de l'étude et formule des recommandations quant à l'intégration durable des ressources non conventionnelles dans la gestion hydrique du pays.

2. Cadre théorique et conceptuel

2.1. Le stress hydrique : définition et mesures

Afin de mesurer la dégradation de la ressource hydrique, il est important de disposer d'un indicateur qui révèle le niveau de pression exercée sur celle-ci. Falkenmark propose la notion de stress hydrique en la définissant comme la disponibilité des ressources en eaux douces renouvelables existantes par rapport à la population, rapportée sur une année, dans une zone géographique donnée (Falkenmark et al., 1989, p. 260). En d'autres termes, cet indice explique la pauvreté hydrique en indiquant la quantité d'eau qui existe dans un pays, rapportée sur le nombre de ses habitants (en m³/hab/an). De cette définition, Falkenmark propose un classement du stress hydrique en cinq niveaux correspondant à cinq seuils, que nous représentons comme suit (Falkenmark, 1989, p. 115, 116) :

Niveau 1 : 10 000 m³ /hab/an, niveau 2 : 1667 m³ /hab/an, niveau 3 : 1000 m³ /hab/an, niveau 4 : 500 m³ /hab/an et niveau 5 : 334 m³ /hab/an

Par la suite, Yoshihide Wada développe la définition de Falkenmark, et définit le stress hydrique comme la compétition et la rivalité de différents usages pour une même ressource rare (Wada et al., 2011, p. 3). Une définition, largement utilisée, proposée par l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), montre la gravité du problème du déséquilibre entre l'offre et la demande en eau. Cette définition est représentée par l'indicateur 6.4.2, dans le cadre du suivi intégré pour l'objectif du développement durable (ODD) 6¹. Ainsi, le stress hydrique est défini comme le rapport des prélèvements de l'eau, issus de tous les grands

¹ L'objectif du développement durable n° 6 affirme le droit d'accès universel et équitable de chacun à l'eau potable, à l'hygiène et à l'assainissement.

usages et les disponibilités en eau douce renouvelable, après déduction des besoins écosystémiques en eau (UNW, 2017, p. 1). Ce ratio est présenté selon la formule suivante (FAO, 2018, p. 6):

$$\text{Stress hydrique} = \frac{\text{TED}}{\text{TRRED} - \text{BEE}} \times 100$$

Avec TED : total d'eau douce prélevée, TRRED : total des ressources renouvelables en eau douce, BEE : besoins écosystémiques en eau

Par ailleurs, *World Resources Institute* a publié en 2019 un rapport mondial montrant les niveaux du stress hydrique enregistré dans diverses zones de la planète. L'indicateur de mesure 6.4.2, basé sur la demande en eau par rapport à l'offre, expliqué précédemment, est celui adopté par ce rapport. Les niveaux adoptés pour classer les zones en fonction de la gravité du stress hydrique sont les suivants (Hofste et al., 2019, p. 11) :

Niveau 1 : Stress hydrique bas < 10 %, niveau 2 : Stress hydrique bas-moyen (10 à 20 %), niveau 3 : Stress hydrique moyen-élevé (20 à 40 %), niveau 4 : Stress hydrique élevé (40 à 80 %), niveau 5 : Stress hydrique très élevé (>80 %)

2.2. Le paradigme de la soutenabilité faible

Depuis la publication du rapport Meadows, la problématique de l'exploitation des ressources naturelles et la viabilité de la croissance économique a suscité des débats scientifiques de grande ampleur. Dans cette perspective, le courant de la soutenabilité faible a apporté des contributions notables, particulièrement à travers les travaux de Solow, Stiglitz et Hartwick.

Selon Robert Solow, en l'absence du progrès technique, et compte tenu du caractère épuisable des ressources naturelles, l'unique manière pour maintenir un flux de consommation positif se base sur une accélération suffisante de l'accumulation du capital. Celle-ci doit être telle que le ratio capital/travail ($\frac{K}{L}$) tende vers l'infini, afin de compenser la diminution du ratio ressource/travail ($\frac{R}{L}$) tendant vers zéro (Solow, 1974, p. 15, 16). Néanmoins, Solow admet que le maintien d'un progrès technologique soutenu demeure probablement nécessaire pour garantir un flux de consommation stable (Solow, 1974, p. 16).

En définitive, le modèle de Solow met en évidence qu'une croissance durable en présence des ressources naturelles, notamment épuisables, dépend d'une condition cruciale : l'élasticité de substitution entre la ressource naturelle et les autres facteurs de production (capital, travail) doit être supérieure ou égale à 1 (Solow, 1974, p. 24).

De son côté, Joseph Stiglitz met en lumière l'effet du progrès technologique sur la préservation des ressources naturelles. Selon lui, la condition nécessaire et suffisante pour maintenir durablement un même niveau constant de consommation par tête est que le taux du progrès technique rapporté au taux de croissance de la population soit supérieur ou égal à l'élasticité de la production à la ressource naturelle (Stiglitz, 1974, p. 134). En outre, il démontre qu'une épargne élevée, dans une perspective intertemporelle, peut engendrer une consommation présente réduite, mais une consommation future plus élevée.

Enfin, John M. Hartwick approfondit l'analyse de Solow et Stiglitz en affirmant qu'il est possible de maintenir une croissance durable, sous l'hypothèse d'une absence de progrès technique et de croissance démographique, à condition que l'ensemble des rentes issues de l'exploitation des ressources épuisables soit réinvesti dans le capital reproductible (Hartwick, 1978, p. 85-87)

En somme, l'approche de la soutenabilité faible se base sur l'hypothèse de la substituabilité entre le capital naturel et les autres formes de capital, notamment le capital physique et technologique. Cette substituabilité permet d'envisager la possibilité d'une croissance durable et, par extension, la préservation d'une équité intergénérationnelle.

Toutefois, cette conception fait l'objet de nombreuses critiques, notamment de la part des économistes écologistes, qui défendent la thèse de la soutenabilité forte. Celle-ci affirme que la croissance économique est fondamentalement limitée par les lois physiques, et que ces dernières restreignent fortement les possibilités de substitution entre ressources naturelles et progrès technique. Cette approche fonde son argumentation sur les lois fondamentales de la physique, telles que la conservation de l'énergie et de la matière, ainsi que le second principe de la thermodynamique. Ces principes soulignent qu'un bien matériel ne peut être produit sans qu'une quantité équivalente de matière soit mobilisée en amont. Cela remet en cause l'idée de substituabilité parfaite entre capital naturel et progrès technique, et par conséquent, la viabilité d'un modèle de croissance reposant exclusivement sur l'innovation pour compenser l'épuisement des ressources naturelles (Fagnart & Germain, 2012, p. 13).

Parmi les contributions majeures au paradigme de la soutenabilité forte, Robert Costanza considère que le développement durable repose avant tout sur la capacité des écosystèmes à se régénérer. Il affirme que l'objectif du développement économique n'est pas d'accroître la consommation de ressources, mais bien d'améliorer la qualité de vie (Costanza, 1991, p. 342). Dans cette même perspective, Dietz et Neumayer insistent sur la nécessité de préserver un capital naturel critique, indispensable au bon fonctionnement des systèmes naturels (Dietz & Neumayer, 2007, p. 22). Ils rejettent à la fois les fondements de la soutenabilité faible et les formes atténuées de soutenabilité forte qui autorisaient une substitution entre différents types de capital naturel (Dietz & Neumayer, 2007, p. 15).

Ainsi, bien que contestée, la soutenabilité faible reste mobilisée dans certaines approches sectorielles. Par exemple, dans le domaine de la gestion de l'eau, la raréfaction des ressources naturelles peut être compensée par l'investissement dans des formes de capital reproductible. Ce principe s'applique pleinement aux ressources non conventionnelles, telles que le dessalement ou la réutilisation des eaux usées, qui apparaissent comme des alternatives technologiques capables de pallier le déclin des ressources conventionnelles, tout en assurant une continuité du service et une équité intergénérationnelle.

2.3. Ressources non conventionnelles : typologie

Les ressources en eau non conventionnelles englobent les ressources autres que les eaux souterraines et les eaux de surface douces. Dans ce cadre, cette catégorie rassemble généralement le dessalement des eaux de mer ou saumâtres, le traitement des eaux usées afin de les réutiliser, la collecte des eaux pluviales, ainsi que les transferts interbassins (des bassins excédentaires vers ceux déficitaires) ou intersectoriels. À l'échelle mondiale, les solutions les plus couramment adoptées demeurent le dessalement et la réutilisation des eaux usées.

2.3.1. Le dessalement de l'eau de mer

Le dessalement est un procédé qui consiste à séparer le sel de l'eau afin de la rendre potable. Les premières techniques employées étaient thermiques (notamment la distillation), mais ont progressivement été remplacées par des procédés à membranes, en particulier l'osmose inverse, aujourd'hui privilégiée pour son efficacité énergétique.

Cependant, ces techniques présentent un inconvénient majeur : leur forte consommation d'énergie. À titre d'exemple, le coût énergétique de l'osmose inverse représente entre 40 % et 60 % du coût total, pire encore avec la technique de distillation, qui consomme davantage.

Le dessalement de l'eau de mer passe par quatre étapes : filtration grossière, à l'aide de grilles et de tamis, permettant d'éliminer les objets volumineux ; prétraitement pour éliminer des matières en suspension dans l'eau, installation de dessalement, qui est généralement basée sur la technique de l'osmose inverse, la reminéralisation, qui consiste à enrichir l'eau obtenue en minéraux essentiels, pour la rendre propre à la consommation.

Bien que le dessalement de l'eau de mer fasse l'objet de débats, concernant ses effets sur les écosystèmes marins des zones littorales où les stations sont installées, il constitue une forte

alternative face à la raréfaction des ressources traditionnelles. Selon *The International Desalination Water*, 50 % de la population mondiale vit dans des centres urbains à côté des littoraux (International Water Association, 2016). Ainsi l'adoption du dessalement de l'eau de mer reste une solution parfaite pour faire face à la pénurie d'eau, en particulier dans des endroits connaissant des niveaux critiques de stress hydrique, tels que ceux qui avoisinent la Méditerranée. Jusqu'en 2019, il existe 15 906 stations de dessalement dans le monde, avec une capacité de production journalière en eau de 95,37 millions de m³, représentant 34,81 milliards de m³ par an (Jones et al., 2019, p. 1346). Le Moyen Orient et l'Afrique du Nord occupent 50 % de la production en eau dessalée (Cf. tableau 1).

Tableau 1: La répartition mondiale des stations de dessalement

	Number of desalination plants	Desalination capacity	
		(million m ³ /day)	%
Global	15.906	95.37	100
Geographic region			
Middle East and North Africa	4826	45.32	47.5
East Asia and Pacific	3505	17.52	18.4
North America	2341	11.34	11.9
Western Europe	2337	8.75	9.2
Latina America and Caribbean	1373	5.46	5.7
Southern Asia	655	2.94	3.1
Eastern Europe and Central Asia	566	2.26	2.4
Sub-Saharan Africa	303	1.78	1.9
Income level			
High	10.684	67.24	70.5
Upper middle	3075	19.16	20.1
Lower middle	2056	8.88	9.3
Low	53	0.04	0.0
Sector use			
Municipal	6055	59.39	62.3
Industry	7757	28.80	30.2
Power	1096	4.56	4.8
Irrigation	395	1.69	1.8
Military	412	0.59	0.6
Other	191	0.90	0.4

Source: The state of desalination and brine production: A global outlook, Jones et al., 2019

Par ailleurs, la technologie de dessalement de l'eau de mer suscite des préoccupations liées à ses effets potentiels sur la nature. En effet, deux problèmes majeurs sont envisagés par les défenseurs de l'environnement : d'un côté, le problème des rejets, notamment les saumures, et d'un autre côté, les émissions des gaz à effet de serre, dues à la forte consommation d'énergie. Les écologistes expriment leur crainte par rapport au rejet de saumures à proximité des stations de dessalement, dans la mesure où la concentration des sels favorise le développement de colonies d'algues nuisibles, mettant ainsi en péril l'existence des herbiers de posidonies, éléments primordiaux des chaînes alimentaires des écosystèmes marins (Salomon, 2012, p. 258).

En outre, les stations de dessalement nécessitent une quantité considérable d'énergie, générant ainsi l'émission de grandes quantités de gaz à effet de serre. Ce problème est aggravé par la multiplication des unités de dessalement.

Selon les adeptes de la soutenabilité faible, la solution réside dans l'innovation technologique. En effet, pour faire face à l'effet de serre, il est vivement recommandé de mener des politiques incitant d'abord à réduire l'usage des énergies fossiles, puis à les interdire en dernier ressort,

tout en encourageant l'adoption des énergies renouvelables, notamment l'énergie éolienne et l'énergie solaire. De plus, la lutte contre la concentration des rejets de saumures peut être assurée à travers l'utilisation des pompes connectées à de longs canaux permettant d'éloigner les rejets à de grandes distances, afin d'en diluer la salinité autour des stations.

Hormis les solutions liées au dessalement de l'eau de mer, certains chercheurs recommandent le recours à la réutilisation des eaux usées (Salomon, 2012, p. 259).

2.3.2. La réutilisation des eaux usées

Les eaux usées sont considérées comme une source essentielle largement sous-exploitée, d'autant plus dans un contexte de stress hydrique. Cette ressource offre des opportunités incroyables, elle représente une source d'eau, d'énergie, de nutriments, et de matières organiques (UNESCO, 2017, p. 17).

Le traitement du sujet de la ressource issue des eaux usées porte sur des ambiguïtés conceptuelles, qui le rend complexe à aborder sans enlever ce problème. On constate que plusieurs notions sont utilisées pour exprimer la même chose alors qu'en réalité désignent des concepts différents. En fait, on doit faire la distinction entre les eaux usées réutilisées, les eaux usées recyclées. Selon Raschid-Sally et Jayakody, les eaux usées sont définies comme toute composition issue d'une ou plusieurs des sources suivantes : 1- effluents issus de l'usage domestique tels que les eaux noires et les eaux grises (de cuisine et de salle de bain) ; 2- les rejets en eau des établissements commerciaux et de toute sorte d'institutions générant des services publics ; 3- les effluents industriels et les ruissellements des unités urbaines (Raschid-Sally & Jayakody, 2009, p. 1).

Généralement, toute eau usée doit passer par un traitement primaire avant qu'elle soit rejetée dans la nature. Ce traitement permet la désinfection et l'élimination des métaux lourds, ce qui minimise le risque de perturber l'écosystème naturel. Ce premier niveau de traitement s'inscrit dans une logique du traitement-rejet. Cependant, le progrès technologique et l'augmentation des besoins en eau incite les pays à adopter une logique de traitement-réutilisation. La réutilisation des eaux usées se réoriente vers divers usages : industriels (le refroidissement, le chauffage), publics (jardins publics), commerciaux (terrains du golf pour le tourisme), écosystémiques (recharge des nappes phréatiques) et usages agricoles (selon le niveau de traitement et le degré de tolérance de la culture). Afin que l'eau usée soit adaptée à ces différents besoins, il est indispensable que son traitement passe par un processus qui va au-delà de la phase primaire. Le processus du traitement des eaux usées peut comporter jusqu'à quatre niveaux de traitements, il contient, également, à côté du traitement primaire (UNESCO, 2017, p. 178) :

Le traitement secondaire, qui consiste à éliminer des matières biodégradables, des matières solides et des éléments comme l'azote et le phosphore, le traitement tertiaire, qui réside dans l'éradication des matières en suspension résiduelles, et qui sont échappées au traitement secondaire, le traitement quaternaire, qui concerne l'élimination des éléments échappant au traitement précédent, notamment les micropolluants.

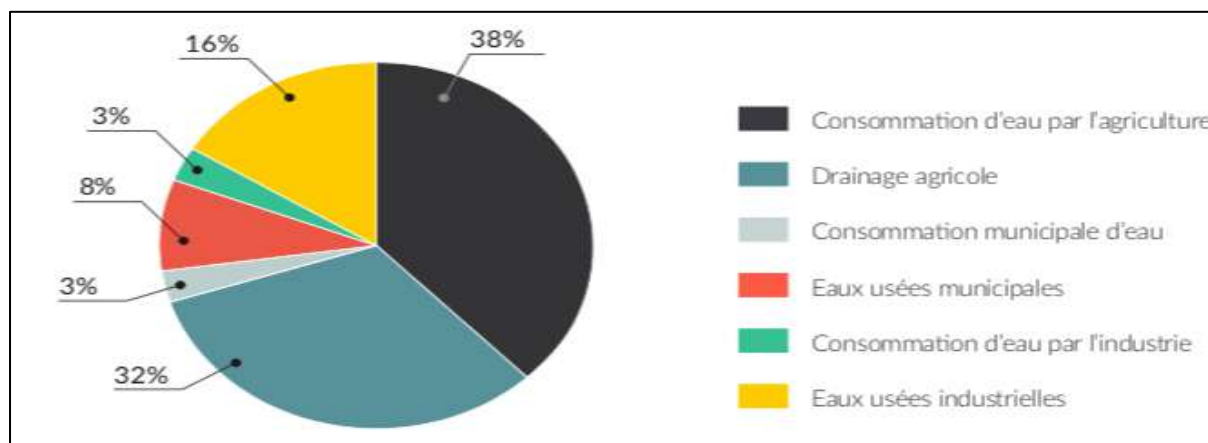
En outre, le recyclage de l'eau est une opportunité supplémentaire offerte par les eaux usées. C'est une eau usée traitée et contrôlée, qui est récupérée et utilisée au sein de la même entité, telle qu'une industrie ou une institution. Deux raisons principales encouragent le traitement des eaux usées dans les pays : d'un côté, la protection de l'environnement (traitement primaire), et d'un autre côté, le gain d'avoir une ressource en eau alternative ou supplémentaire, notamment pour combler le besoin en cas de pénurie (traitements au-delà du traitement primaire). De plus, deux millions d'effluents issus de l'activité industrielle et agricole au niveau mondial sont rejetés dans la nature (Corcoran et al., 2010, p. 5) . En effet, plus de 80 % des eaux usées rejetées du monde ne subissent aucun traitement (UNESCO, 2017, p. 2). L'absence d'un traitement primaire représente déjà un problème majeur, à cause des impacts négatifs sur l'environnement

et la santé humaine. En définitive, le rythme du traitement des eaux usées connaît une variation considérable à travers le monde, générant ainsi une répartition hétérogène entre les pays à revenu fort et ceux à faible revenu. Dans ce cadre, plusieurs pays, même des pays en développement, ont adopté la logique du traitement-réutilisation. Pour que la réutilisation des eaux usées soit économiquement viable, deux facteurs essentiels doivent être pris en considération (UNESCO, 2017, p. 3) :

- 1- La proximité entre point de production (l'amont) et le point de la consommation ou la réutilisation (l'aval). Les zones urbaines ou périurbaines sont plus favorables à satisfaire ce facteur, à condition qu'elles disposent des infrastructures adéquates pour le traitement des eaux usées ;
- 2- La compétitivité de l'eau usée traitée. En d'autres termes, plus le prix de l'eau douce est élevé, plus le potentiel d'amortissement de l'eau usée traitée augmente. Ce phénomène est d'autant plus probable que le réchauffement climatique, par l'intensification de l'évaporation et la diminution des précipitations, accentue la raréfaction de l'eau douce, ce qui pourrait faire grimper son prix dans le futur. Cela renforce l'intérêt pour des ressources alternatives ou complémentaires comme le traitement des eaux usées et le dessalement de l'eau de mer. De plus, le potentiel des stations de traitement des eaux usées à récupérer les nutriments et l'énergie renforce la faisabilité économique.

Au niveau des secteurs qui sont à l'origine des eaux usées, 70 % de celles-ci sont issues de la consommation et le drainage agricole, 16 % de l'industrie et 8 % de l'usage domestique (Cf. figure 1).

Figure 1: Répartition mondiale des eaux usées selon l'origine d'usage



Source : Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2017

Grâce aux avantages qu'elle présente, les gouvernements sont de plus en plus incités à opter pour la politique de la réutilisation des eaux usées traitées. Parmi ces avantages figurent :

- l'élargissement et la diversification de l'offre en eau, permettant ainsi de réduire la dépendance aux ressources conventionnelles, menacées par les changements climatiques. Lorsque le traitement est établi correctement, les eaux usées traitées constituent une source précieuse de nutriments, capables d'améliorer la qualité de la production agricole. Elles permettent aussi la production d'énergie propre sous forme de biogaz, contribuant ainsi à la réduction de l'empreinte carbone. Comme le souligne l'UNESCO (2017, p. 4), la récupération de cette énergie permet de cibler la neutralité énergétique, de réduire les coûts d'exploitation et de limiter les émissions de gaz à effet de serre ;
- La technologie du traitement des eaux usées permet de réduire la pression sur les eaux souterraines, notamment à travers la recharge des nappes phréatiques.

Malgré le coût important que représente l'investissement dans la technologie des ressources non conventionnelles, en particulier le dessalement de l'eau de mer et la réutilisation des eaux usées traitées, de nombreux pays ont fait de celles-ci un pilier de leurs politiques hydrauliques. Pour illustrer l'importance des solutions technologiques dans la réponse à la problématique de l'eau, nous exposons les différentes expériences qui adoptent la technologie des eaux non conventionnelles.

Certaines raisons peuvent expliquer cette orientation, telles que : d'un côté, l'irrégularité des disponibilités annuelles en eau, due aux effets des changements climatiques, ce qui aggrave la sécheresse structurelle et génère la pénurie de l'eau, d'un autre côté, la hausse de la demande en eau, due à la croissance démographique et au développement économique dans divers secteurs (industrie, agriculture, tourisme). Enfin, le progrès technologique, notamment les innovations permettant de réduire le coût énergétique - qui absorbe la part la plus importante du coût total - telle que l'osmose inverse pour le dessalement de l'eau de mer. Par ailleurs, l'utilisation des énergies renouvelables constitue une opportunité pour améliorer l'efficacité énergétique.

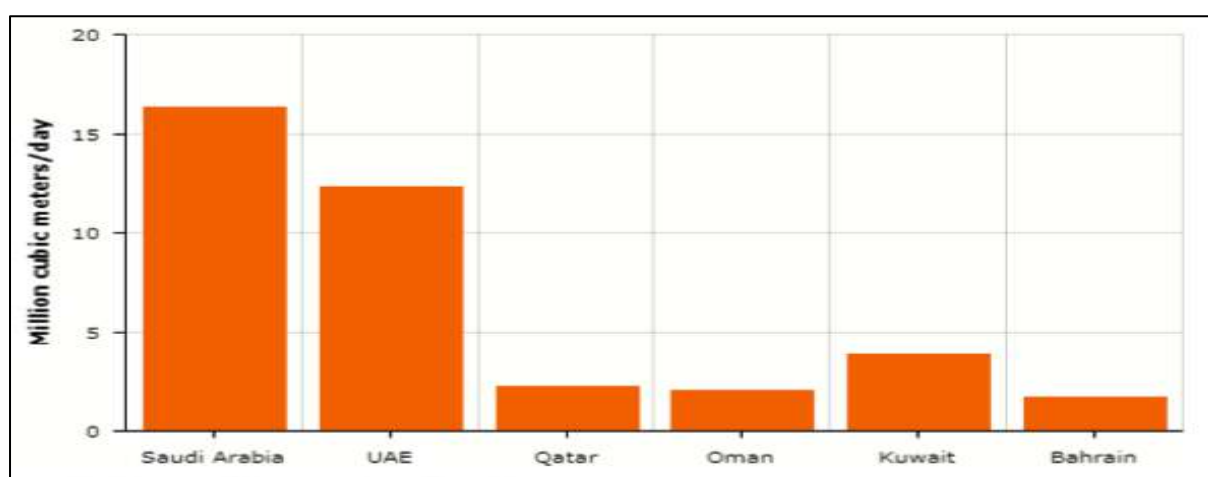
3. Expériences internationales

3.1. Les modèles internationaux de gestion de l'eau par le dessalement de l'eau de mer

3.1.1. Les pays du Golfe

L'Arabie Saoudite, le Qatar, le Koweït, et d'autres pays du Moyen-Orient sont situés dans des zones arides et semi-arides touchées par un stress hydrique élevé. Ceux-ci ont rapidement compris qu'ils ne pouvaient pas uniquement compter sur les ressources conventionnelles, insuffisantes dans cette région. Cette situation les a poussés à s'orienter vers le dessalement dès le début des années 1980. Aujourd'hui, la capacité de production de l'eau dessalée dans ces pays représente environ 40 % de la production mondiale. À titre d'exemple, l'Arabie Saoudite produit près de 16 millions de m³/j, les Émirats Arabes Unis à hauteur de 12 millions de m³/j, le Koweït 4 millions de m³/j et le Qatar 2 millions de m³/j. La figure ci-après présente les capacités journalières de production d'eau dessalée dans les pays membres du Conseil de Coopération du Golfe (CCG).

Figure 2: La capacité de production journalière d'eau dessalée aux pays du Golfe en 2016



Source : dossier de presse : « SUEZ au cœur des problématiques de la ressource dans les pays du Golfe » 2018

3.1.2. L'Espagne

Depuis les années 1980, l'Espagne a pris conscience que le dessalement de l'eau de mer serait

une solution indispensable, pour atténuer la pression croissante sur ses ressources hydriques. Ce pays, doté d'environ 2000 km de littoral, a alors lancé la construction de stations de dessalement, notamment dans les îles touristiques particulièrement touchées par le stress hydrique, telles que les îles Canaries et les Baléares (Salomon, 2012, p. 254). L'Espagne connaît une demande en eau en constante croissance, suite au développement des secteurs agricole, touristique et industriel. Elle a longtemps souffert de pénuries, en particulier en Andalousie et en Catalogne. Par le passé, l'État espagnol avait misé sur des solutions alternatives telles que le transfert d'eau en provenant des pays voisins, comme la France. Néanmoins, le coût élevé de ces procédés a rapidement accéléré l'adoption des techniques de dessalement.

Le programme « AGUA », lancé en 2004 par le gouvernement espagnol, a accéléré la généralisation de cette technologie. Actuellement, l'Espagne contient près de 1000 usines de dessalement, générant ainsi une capacité de production d'environ 5,5 millions de m³ d'eau par jour. Ce chiffre place le pays en quatrième position au niveau mondial, devant l'Arabie Saoudite, les Émirats arabes unis et les États Unis d'Amérique. Deux facteurs expliquent l'orientation de l'Espagne vers la technologie du dessalement : le stress hydrique structurel ainsi que son potentiel géographique, notamment un vaste littoral de 2000 km. L'expérience espagnole pourrait ainsi servir de référence pour le Maroc, dans une logique de benchmark, en vue d'améliorer sa politique de l'eau.

Par ailleurs, l'Espagne est également considérée comme un leader mondial dans l'industrie du dessalement. Depuis plus de quarante ans, ses entreprises développent un savoir-faire reconnu dans les domaines de la conception, de l'ingénierie, de la construction, de l'exploitation, de la maintenance et de la réparation des usines de dessalement, qu'elles exportent à l'international.

3.1.3. L'Algérie

Dans les années 1990, l'Algérie a été confrontée à une pénurie drastique, poussant les autorités hydrauliques à instaurer des coupures d'eau prolongées. Une mauvaise gestion de l'espace urbain, combinée à un réseau de collecte et de traitement d'eaux usées défaillant, a contribué à rendre la politique de gestion de l'eau vulnérable vis-à-vis des situations extrêmes, qu'il s'agisse de périodes de sécheresse, comme en 2000 et 2001, ou des situations provoquant des inondations, comme le drame du novembre 2001.(Galland, 2014, p. 172).

Depuis l'année 2001, l'Algérie est entrée en période de la révolution hydraulique, marquée par d'importantes réformes portant sur trois axes principaux : développer l'offre en eau, rechercher l'efficience et le rendement des réseaux d'adduction urbains, et établir une gestion optimale du service public de l'eau et de l'assainissement (Galland, 2014, p. 172). En l'espace de dix ans seulement, le pays a doublé son potentiel de stockage en atteignant 7,3 milliards de m³ (Mozas & Ghosn, 2013, p. 8). L'une des clés de cette réussite réside dans le développement des ressources en eau non conventionnelles, notamment, le dessalement de l'eau de mer.

3.2. Les modèles internationaux de gestion de l'eau par la réutilisation des eaux usées traitées

Plusieurs pays ont choisi d'investir dans la réutilisation des eaux usées traitées. Pour certains, il s'agit d'une stratégie de valorisation et de développement de leur potentiel hydraulique ; pour d'autres, c'est une obligation dictée par la nécessité d'assurer la sécurité hydrique et de compenser divers désavantages structurels. Ces derniers incluent, notamment : (1) l'insuffisance des ressources en eaux de surface causé par des conditions climatiques défavorables, (2) le faible potentiel des nappes phréatiques, qui ne permet pas de satisfaire les besoins essentiels, et (3) l'absence ou la faible étendue du littoral, limitant ainsi les chances d'adopter la technologie de dessalement. Certains modèles ont réussi à assurer un haut niveau d'autosuffisance en eau, en mettant en place une gestion intégrée et équilibrée. Nous présentons ci-dessous, une synthèse des expériences internationales les plus marquantes dans ce domaine.

3.2.1. Singapour

Afin de limiter sa dépendance vis-à-vis de l'approvisionnement en eau, en particulier celui en provenance de Malaisie, Singapour a beaucoup investi dans les technologies du traitement et de la réutilisation des eaux usées (Curien, 2017, p. 28). Ces technologies ont acquis une notoriété internationale, faisant du modèle singapourien une référence, fréquemment cité par d'autres pays, notamment la Chine (Curien, 2017, p. 32). Un programme d'envergure qui s'intitule « *Newater* » a été lancé en 2002, pour alimenter en grande partie l'industrie électronique et les installations énergétiques, tout en contribuant à l'alimentation de la portion destinée à l'eau potable (Futura Science, 2012). Chaque goutte est valorisée, ce qui confère au système une grande efficacité à la fois économique et environnementale.

Grâce à des technologies de pointe, notamment au niveau de la filtration et des membranes, la réutilisation des eaux usées à Singapour est devenue une alternative très compétitive par rapport aux ressources conventionnelles (Futura Science, 2012). Le pays mise beaucoup sur le développement de « *Newater* » comme pilier central de sa stratégie hydrique.

3.2.2. Le Japon

Depuis les années 1980, et face à la rareté des ressources hydrauliques, le Japon a décidé de s'orienter vers la politique de réutilisation des eaux usées traitées, dans l'objectif de contribuer à la protection de l'environnement. Dans ce sens, le métropole de Tokyo a été la première ville qui valorise les eaux usées traitées, due à la baisse critique des ressources hydrauliques causée par l'urbanisation rapide de la capitale (Takeuchi & Tanaka, 2020, p. 1). La réutilisation a évolué en trois étapes majeures (Takeuchi & Tanaka, 2020, p. 1):

- *Nettoyage des toilettes et arrosage des espaces publics*

En réponse à la forte demande, le Japon avait mis en place la première expérience dans la ville de Fukuoka, en 1980, avec une capacité de traitement de 400 m³ /j, combinant filtration sur sable, ozonation et chloration (Takeuchi & Tanaka, 2020, p. 2). Il faut attendre jusqu'en 1984 pour que la ville de Tokyo dispose également d'une station de traitement des eaux usées dédiée au nettoyage des toilettes (Takeuchi & Tanaka, 2020, p. 3) ;

- *Améliorer le potentiel hydraulique pour soutenir les activités récréatives*

Afin de redonner la vie aux cours d'eau asséchés, les pouvoirs publics compétents japonais ont utilisé les eaux usées traitées, notamment au niveau de la capitale Tokyo. Ces rivières ont ainsi retrouvé des niveaux d'eau et une qualité permettant la survie des espèces aquatiques, dans une logique de développement durable ;

- *Diversification des usages*

Outre l'usage pour le nettoyage des toilettes et l'arrosage des espaces verts, ainsi que pour des motifs environnementaux, les eaux usées traitées sont aussi utilisées pour l'irrigation et l'industrie (Takeuchi & Tanaka, 2020, p. 4). Contrairement à de nombreux pays où l'agriculture domine la consommation d'eau, le Japon a orienté prioritairement ses efforts vers les usages industriels, en réponse à la croissance économique et aux besoins spécifiques du secteur manufacturier. Ce contraste est notable, notamment par rapport à des pays comme le Maroc, où l'agriculture reste le principal consommateur d'eau.

3.2.3. L'État de Californie

Dans un contexte de stress hydrique aigu, les décideurs publics dans le domaine de l'eau en Californie ont mis en place une politique basée sur la promotion des ressources non conventionnelles, en particulier la réutilisation des eaux usées. Afin de mener à bien cette orientation, l'État californien a instauré un cadre réglementaire spécifique, connu sous le nom

de « *Official California Code of Regulations (CCR), Title 22* », il s'agit d'une loi qui régit la production et l'usage des eaux usées. Celle-ci est réputée principalement, très exigeante par rapport aux normes de qualité des eaux usées traitées, avec des exigences parmi les plus strictes au monde, souvent plus rigoureuses que celles recommandées par l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Pour les Californiens, les eaux usées traitées sont un recours inéluctable et un abri contre les aléas climatiques qui influencent fortement la disponibilité en eau conventionnelle. Afin de soutenir le potentiel en ressources hydrauliques et d'encourager l'usage des eaux usées traitées, l'Office national des eaux (*the State Water Board*) avait fixé plusieurs objectifs stratégiques (California state water resources control board, 2018, p. 2):

- Promouvoir l'usage des eaux usées traitées, en passant d'une consommation annuelle de 880 704 720 m³ en 2015 à 1 850 220 000 m³ en 2020, puis à 3 083 700 000 m³/an en 2030 ;
- Réutiliser tous les rejets directs d'eaux usées traitées dans les baies fermées, les estuaires, les lagunes côtières, et les eaux océaniques, à l'exception des rejets de saumures issus des projets de l'eau dessalée et de réutilisation ;
- Encourager l'expansion de la réutilisation dans les zones où les nappes phréatiques sont en état de découverte. Ceci afin de protéger les usagers en aval, d'assurer les débits nécessaires et de préserver les ressources publiques.

Par ailleurs, les normes de qualité des eaux usées réutilisées adoptées par l'État californien sont reconnues comme un modèle à l'échelle mondiale. Des pays du Golfe, tels que l'Arabie Saoudite, les Émirats arabes unis, le Koweït, s'en sont inspirés pour élaborer leurs méga projets des REUSE. (Belaid, 2010, p. 22).

Après avoir exposé les différentes expériences internationales qui ont réussi dans l'amélioration de leurs offres en eau grâce aux technologies des ressources non conventionnelles (dessalement et réutilisation), nous évaluons désormais comment le Maroc a exploité ces solutions dans sa stratégie de la lutte contre le stress hydrique.

4. Analyse de la politique des ressources en eau non conventionnelles au Maroc

4.1. Le contexte du stress hydrique au Maroc

Pour une économie basée sur l'agriculture comme celle du Maroc, l'eau constitue une ressource essentielle. Bien que les scientifiques aient tiré la sonnette d'alarme sur les effets des problèmes liés à la dégradation des ressources naturelles dès les années 1960, la prise en compte de la question environnementale n'a véritablement été enregistrée qu'à la fin des années 1980, essentiellement après la publication en 1987 du rapport Brundtland sur le développement durable. Ce dernier, insiste sur le fait que le développement durable repose sur trois piliers majeurs: économique, social et environnemental. Pour le Maroc, la problématique environnementale liée aux ressources hydriques devient de plus en plus inquiétante, d'autant plus que celles-ci subissent un double effet : d'un côté, l'effet de la demande graduelle sur ces ressources, de l'autre côté, l'effet des changements climatiques, suite à la forte industrialisation des pays développés. Dans le même sens, l'effet du changement climatique sur la disponibilité en eau, se manifeste par deux phénomènes : la diminution des précipitations ainsi que la hausse de l'évapotranspiration due à l'augmentation des températures.

Le contexte marocain des années 1980 était peu favorable aux actions de la lutte contre la surexploitation et la dégradation des ressources en eau. En effet, la succession des années de sécheresse, couplée à l'essor de l'agriculture moderne et à la libéralisation des plans d'assolement, a mené les autorités agricoles à lever l'interdiction d'exploitation des ressources souterraines, auparavant considérées comme une ressource stratégique. Une politique a non seulement autorisé l'exploitation des nappes, mais aussi encouragé des projets de creusement

de forages et de puits par leur subvention : à hauteur de 30 % de financement pour les particuliers, et de 40 % pour les groupements (Doukkali & Grijsen, 2018). Une telle subvention a réduit le coût de creusement et a favorisé ainsi la prolifération incontrôlée des forages, y compris non autorisés, notamment dès le début des années 1990.

L'expansion rapide de l'irrigation, en particulier, à partir des eaux souterraines, encouragée par une politique publique permissive, fin des années 1980 et au début des années 1990, a accentué la pression sur les ressources disponibles. De plus, la dégradation de l'offre en eau, suite aux effets des changements climatiques, commence à mettre le pays sous l'effet du stress hydrique, ce qui pousse le pays à s'orienter vers l'adoption d'une stratégie fondée sur le développement des technologies de ressources en eau non conventionnelles, tout en mettant l'accent sur le dessalement de l'eau de mer et la réutilisation des eaux usées.

4.2. La politique de dessalement de l'eau de mer au Maroc

Le dessalement de l'eau de mer au Maroc n'est pas une nouvelle technologie. Il remonte à environ quarante ans, avec la mise en service des premières stations dans les provinces du Sud, largement pauvres en ressources hydriques conventionnelles, telles que les stations de Tarfaya, Boujdour, et Laâyoune (Boyé, 2008, p. 20). Le tableau ci-dessous présente, de manière synthétique, les différentes réalisations, en termes de projets de dessalement de l'eau de mer jusqu'en 2010 (Jariri, 2009, p. 100).

Tableau 2: Les réalisations, en termes de projets de dessalement de l'eau de mer, jusqu'en 2010

Centre	La technique de dessalement	Type d'eau brute	Le débit en m ³ /j	Date de mise en service	Observations
Tarfaya	Électrodialyse	Eau saumâtre	75	1976	Arrêt depuis 1984
Boujdour	Distillation MED-MCV	Eau de mer	250	1977	Arrêt depuis 1995
Tarfaya	Osmose inverse	Eau saumâtre	120	1983	Arrêt depuis 2001
Essemara	Osmose inverse	Eau saumâtre	330	1986	Arrêt depuis 1994
Laâyoune	Osmose inverse	Eau de mer	1 700	1995	1 ^{ère} phase
Boujdour	Osmose inverse	Eau de mer	800	1995	2 ^{ème} phase
Tarfaya	Osmose inverse	Eau saumâtre	800	2001	
Tan tan	Osmose inverse	Eau saumâtre	1 700	2003	
Laâyoune	Osmose inverse	Eau de mer	6 000	2005	1 ^{ère} phase
Boujdour	Osmose inverse	Eau de mer	2 600	2005	2 ^{ème} phase
Tagounite	Osmose inverse	Eau saumâtre	320	2008	
Abris de pêche	Osmose inverse	Eau de mer	120	2009	Chantier en cours
Daoura	Osmose inverse	Eau saumâtre	240	2010	Chantier en cours
Laâyoune	Osmose inverse	Eau de mer	13 000	2010	3 ^{ème} phase : chantier en cours
Akhfénir	Osmose inverse	Eau de mer	800	2010	Chantier en cours
Boujdour	Osmose inverse	Eau de mer	1300	2010	En cours de lancement
Total production			35 455		

Source : statistique de l'ONE

Une simple analyse du tableau montre que le Maroc a opté pour un changement significatif de sa politique de dessalement au début du nouveau millénaire. C'est à ce moment que le pays a véritablement commencé à s'intéresser à cette technologie, comme ressource alternative. Ce choix peut être expliqué par plusieurs facteurs : en premier lieu, un renforcement institutionnel

de la gouvernance de l'eau a été amorcé, par la création du Conseil supérieur de l'eau et du climat ainsi que des agences des bassins hydrauliques. Dans cette perspective, l'État marocain a adopté la loi n° 10-95, donnant ainsi à ces institutions une base juridique solide, comme étant les entités chargées de la planification et de la gestion des ressources hydrauliques, aussi bien sur le plan national que local. Il convient toutefois de noter que, bien que ces institutions aient été créées, le dessalement de l'eau de mer et les ressources non conventionnelles en général n'ont réellement obtenu un cadre juridique qu'avec la promulgation de la loi n° 36-15.

En deuxième lieu, la croissance démographique et l'évolution des activités socio-économiques, ont fortement accru la demande en eau, dépassant les capacités des ressources conventionnelles, en particulier dans les provinces du Sud. Enfin, l'évolution technologique dans le domaine du dessalement de l'eau de mer, couplée au progrès des énergies renouvelables, a contribué à la réduction des coûts et la limitation des émissions de gaz à effet de serre, améliorant ainsi la viabilité environnementale de cette solution.

L'adoption de la Stratégie Nationale de l'Eau 2010-2030, a marqué un tournant en intégrant pleinement le développement des ressources non conventionnelles dans la planification de l'offre. Elle prévoit une production annuelle de 400 millions de m³ d'eau dessalée et de 300 millions de m³ d'eaux usées épurées. Il est aussi prévu de mettre en place des stations de dessalement à Agadir et Laâyoune à moyen terme, ainsi qu'à Tiznit, Chtouka, Sidi Ifni, Essaouira, El Jadida, Al Houceima, Casablanca, Saïdia et Safi à long terme.

Par ailleurs, les projets cités ci-dessus n'ont pas tous abouti. Certains n'ont jamais été réalisés, à cause notamment des problèmes de financement par les partenaires privés et d'autres ont connu des retards avant qu'ils soient approuvés. Le projet de Cap Ghir (Tamri) d'Agadir, censé alimenter le Grand Agadir en eau potable, en est un exemple emblématique. Malgré un intérêt manifeste, des blocages financiers ont conduit à son abandon. Quant au projet de la station de Laâyoune, sa mise en service était prévue pour fin 2021. Le projet de dessalement de l'eau de mer de Sidi Ifni-Tiznit cible l'alimentation en eau potable des centres urbains de Sidi Ifni et Tiznit, ainsi que les communes rurales qui se situent entre les deux villes. La station a pour ambition la production de l'eau potable de l'ordre de 100 m³ /s dans un premier temps, et de 200 m³ /s dans un second temps. Le coût global de cette station est estimé à 300 millions de dirhams. En outre, jusqu'à la fin de la première décennie du Plan National de l'Eau, (2010-2020), les stations de Safi et Essaouira n'étaient pas encore réalisées. Ce n'est que dans le cadre de la mise en œuvre du Plan Prioritaire de l'Approvisionnement en Eau Potable et d'Irrigation (2020-2027) que la réalisation de la station de Safi a été reprogrammée, dotée d'une capacité de production de 26 000 m³ /j.

À El Jadida, un projet est en cours de réalisation dans la zone de Jorf Lasfar, porté par l'OCP dans le cadre de sa stratégie hydrique. Il prévoit une capacité de production de 75 millions de m³ /an, dont 60 millions de m³ dédiés aux besoins industriels de l'office (complexe de Jorf Lasfar) et 15 millions de m³ pour l'alimentation de la région d'El Jadida en eau potable, le coût est estimé à 3 milliards de dirhams.

La station de dessalement de l'eau de mer d'Al Hoceima est achevée et prête à être mise en service, après des essais techniques concluants. Elle devrait produire 17 280 m³ par jour pour alimenter la ville d'Al Hoceima et les centres avoisinants.

Concernant la station de dessalement de Casablanca, bien que les autorités hydrauliques ambitionnent de lancer le projet très tôt, il faut attendre jusqu'au lancement du Programme National Prioritaire de l'Approvisionnement de l'Eau Potable et d'Irrigation (2020-2027) pour sentir une nouvelle volonté de mener à bien ce projet. Cette station est devenue une priorité stratégique, due à la hausse de la demande dans la région de Casablanca, confrontée à la dégradation des ressources hydrauliques du bassin hydraulique Bouregreg et de la Chaouia. La station de dessalement de Casablanca vise la production de 200 000 m³ /j, avec un coût global de 4 milliards de dirhams.

Le projet de dessalement de l'eau de mer d'Agadir-Chtouka se distingue par son envergure, considéré comme le plus grand en termes de production hydraulique mutualisée entre l'eau potable et l'eau d'irrigation. En fait, le projet est considéré comme une réponse à l'échec du projet Cap Ghir-Tamri, qu'il surpasse tant en termes de capacité (450 000 m³/j contre 100 000 m³/j) que d'objectifs. En plus de répondre à la demande en eau potable, la station vise à irriguer 15 000 hectares de terres agricoles dans la région de Chtouka. Elle contribue également à la préservation de la nappe phréatique locale, qui connaît un déficit annuel estimé à 58 millions de m³.

4.3. La politique de réutilisation des eaux usées traitées au Maroc

De nombreux pays considèrent la réutilisation des eaux usées traitées comme une alternative idéale pour faire face à la raréfaction des ressources hydriques, notamment dans les régions arides et semi-arides. L'importance de cette technique réside d'abord dans le fait qu'elle respecte l'environnement, car elle consiste à traiter l'eau usée afin de la réutiliser, évitant ainsi son rejet en état brut, ce qui nuirait à la nature. Ensuite, elle atténue la pression sur les ressources conventionnelles, contribuant en conséquence à la gestion intégrée de l'eau par l'élargissement de sa disponibilité, principalement, pour les usages agricoles, l'arrosage des espaces verts et des golfs. Cependant, la technique en question implique des coûts supplémentaires, en procédant au traitement tertiaire requis pour rendre l'eau réutilisable. Au Maroc, la réutilisation reste encore marginale. Le Royaume a accusé un grand retard dans l'application de cette pratique par rapport à des pays qui l'ont bien développée, comme Singapour ou l'Espagne.

La Stratégie Nationale de l'Eau (2010-2030) vise la réalisation d'une production moyenne de 300 millions de m³ par an, en termes d'eaux usées traitées destinées à être réutilisées, nous présentons les différentes expériences accumulées par le Maroc au niveau de cette technologie. Pour le Royaume, l'une des difficultés majeures réside dans la rareté des données et des références documentaires portant sur les projets de la réutilisation. Cela s'explique d'une part par le nombre encore faible des projets de REUSE mis en œuvre ; d'autre part, par le caractère relativement récent de cette pratique dans le pays.

Malgré les ambitions affichées dès 2009, les résultats enregistrés en 2017 restent décevants². Cette année-là, environ 550 millions de m³ d'eaux usées ont été générées par les villes marocaines, dont 45 % ont été épurées par 117 stations d'épuration (STEP). Toutefois, seulement 45,7 millions de m³ /an (soit 9 % du total) ont fait l'objet d'un traitement tertiaire permettant leur réutilisation à travers 24 projets. Face à ce constat, le Royaume a lancé la même année le Plan National de la Réutilisation des Eaux Usées, fixant un nouvel objectif de 325 millions de m³ d'eaux usées réutilisables à l'horizon 2030. Ce programme prévoit la réalisation de 167 projets répartis sur plusieurs bassins hydrauliques : Loukkos, Moulouya, Sebou, Bouregreg-Chaouia, Oum Errabiaa, Tensift, Souss-Massa-Drâa, Guir-Ziz-Rhéris et Sakia El Hamra-Oued Eddahab. Le tableau ci-dessous présente la répartition des volumes estimés d'eaux usées réutilisables par usages par bassins.

Il existe une grande pénurie de grands projets de réutilisation des eaux usées traitées en particulier dans le secteur agricole où seuls quelques projets pilotes ont été réalisés, comme ceux d'Attaouia, Ben Sergao, Drarga, Ouarzazate (Soudi, 2018, p. 27). Dans le même esprit, des projets ont été programmés à l'issue du Plan Directeur de la Réutilisation des Eaux Usées Traitées en Irrigation. Toutefois, leur concrétisation sur le terrain reste très limitée (Soudi, 2018, p. 27). Depuis l'adoption de la SNE en 2009, plusieurs projets de RUESE à Tiznit, Boujaâd, Settât et Guelmim ont été initiés sans pour autant aboutir (Soudi, 2018, p. 27).

² En 2015, la secrétaire d'État chargée de l'eau, Mme Charafat Afilal, avait déclaré, lors d'un atelier axé sur la promotion de la réutilisation des eaux usées épurées et la présentation de grands axes du projet du Plan National de l'Eau, que le volume eau grise mobilisé était de l'ordre de 38 millions de m³.

Tableau 3: Répartition par usage et par bassin des volumes des eaux usées réutilisables à horizon 2030 (en millions de m³/an)

Usage	Irrigation	Industrie	Espaces verts et golf	Recharge de nappe	Total
Bassin					
Loukkos	20		7		27
Moulouya	12		9		21
Sebou	34		15	10	59
Bouregreg-Chaouia	19		1		20
Oum Er Rbia	15	16	4		35
Tensift	1	1	56		58
Guir Ziz Rhéris	38		40	10	88
Souss Massa Draa	3		1		4
Sakia Lhamra Oued Eddahab	7		6		13
Total	149	17	139	20	325

Source: Ministère délégué en charge de l'Eau 3

Par ailleurs, les autres secteurs concernés par la réutilisation des eaux usées traitées, tels que l'arrosage des jardins publics et des golfs, ainsi que le refroidissement industriel, ont connu un développement légèrement supérieur à celui du secteur agricole. Pour l'arrosage des jardins publics et des golfs, les projets d'Agadir et de Marrakech sont parmi les plus emblématiques, vu leur ampleur. Dans le Grand Agadir, un élargissement de cette pratique était prévu entre 2019 et 2021 pour étendre la réutilisation aux espaces verts. Le programme a notamment concerné la commune d'Inezgane en 2019, avec un approvisionnement de 7000 m³/j, suivie des communes d'Agadir et de Dcheira El Jhadia en 2020, avec respectivement 8160 m³/j et 857 m³/j, puis la commune d'Ait Melloul en 2021, desservie à hauteur de 1770 m³/j. De même, à Marrakech, un projet de réutilisation des eaux usées vise l'arrosage des espaces verts d'une superficie de 810 ha (Souidi, 2018, p. 42). Le coût estimé du projet est de 37 millions de dirhams, répartis comme suit : 16,75 millions de dirhams pour l'investissement initial et 20,75 millions pour l'exploitation et la maintenance sur une durée de 5 ans, entre 2015 et 2019 (Souidi, 2018, p. 43).

D'autres projets de stations d'épuration optant pour un traitement tertiaire ont également été mis en œuvre pour permettre la réutilisation des eaux usées. Parmi les plus marquants figurent :

- La station de Oujda, mise en service en 2011, dotée d'une capacité de traitement allant jusqu'à 40 000 m³/j ;
- Les stations de la région de Tanger, notamment, Tamouda bay et Boukhalef (Agence marocaine de presse, 2019), inaugurées respectivement en 2012 et 2015, avec un volume annuel de traitement entre 3 millions de m³ et 4 millions de m³, principalement utilisé pour l'arrosage des espaces verts.
- La station de Laâyoune, conçue pour un traitement tertiaire et une mise en service prévue initialement en 2018, mais qui n'est devenue opérationnelle qu'à la fin de l'année 2022. Elle a pour mission la satisfaction des besoins de 320 000 personnes et le traitement jusqu'à 18 600 m³ par jour à l'horizon 2030 (Agence marocaine de presse, 2019) ;
- La STEP de Médiouna, inaugurée en 2013, capable de traiter les eaux usées d'une population de 40 000 habitants au début de sa mise en œuvre, étendue à 80 000, avec un budget global de 140 millions de dirhams. Cette installation offre désormais l'occasion de profiter de la réutilisation des eaux pour des usages agricoles.

³ Extrait du journal « l'économiste », édition N° :4987, le 23/03/2017

Il convient de noter que, dans le cadre de la GIRE (Gestion Intégrée des Ressources en Eau), la réutilisation des eaux usées épurées est aussi destinée à l'usage industriel. L'OCP, via son « Programme Eau », a mis en place trois stations d'épuration à Khouribga, Benguerir, et Youssoufia. Doté des équipements du traitement tertiaire, elles permettent la réutilisation de 10 millions de m³ annuellement, généralement pour le lavage du phosphate, pour l'arrosage des espaces verts et pour la ville verte Mohamed VI.

Le Maroc adopte également dans sa politique de la gestion des ressources hydriques par la réutilisation des eaux usées une approche axée sur l'efficacité énergétique. En effet, les besoins énergétiques des stations d'épuration sont assurés à hauteur de 30 à 50 % grâce à la valorisation du biogaz issu du traitement des eaux usées. Ce qui favorise la préservation de l'environnement grâce à cette énergie qualifiée de propre.

5. Discussion : Limites et perspectives de la politique des ressources non conventionnelles au Maroc

Les ressources non conventionnelles (RENC) représentent aujourd'hui des solutions cruciales pour assurer un approvisionnement durable, indépendamment des aléas climatiques. Toutefois, l'analyse des avancées au Maroc montre que la mise en œuvre des projets annoncés dans la Stratégie Nationale de l'Eau (2010-2030) et dans le Plan Directeur de la Réutilisation des Eaux Usées Traitées reste en deçà des attentes. Hormis quelques réalisations significatives, telles que les stations de dessalement d'Agadir-Chtouka et d'Al Hoceima, ou encore les projets de réutilisation à Marrakech et Laâyoune, la plupart des objectifs n'ont pas été atteints, à mi-chemin de la mise en œuvre. Plusieurs facteurs expliquent ces lenteurs :

- **La nouveauté relative des technologies mobilisées**, tant à l'échelle nationale qu'internationale. Bien que le dessalement ait été relancé il y a plus de 40 ans, certains États restent encore hésitants face à cette solution, notamment en raison d'un manque de visibilité sur les coûts et bénéfices à long terme.
- **La complexité et la durée des projets**. Les infrastructures de dessalement ou de traitement tertiaire nécessitent des délais d'exécution longs (deux ans minimum), un suivi technique rigoureux, ainsi qu'un investissement financier conséquent. Cela rend leur concrétisation plus lente et plus vulnérable aux interruptions. Plusieurs projets marocains en sont l'illustration, comme les stations de Cap Ghir (Agadir) ou la première station de Laâyoune, qui ont été abandonnées en cours de route malgré un début de mise en œuvre.
- **Les contraintes financières et institutionnelles**. Le recours au partenariat public-privé (PPP), bien que promu, reste entravé par une gouvernance peu claire et une planification financière insuffisante. L'absence de montage institutionnel robuste accroît les risques d'échec des projets et réduit leur attractivité pour les investisseurs.
- **Un cadre juridique encore en évolution**. Le cadre réglementaire soutenant les RENC a longtemps été lacunaire. Ce n'est qu'en 2015 que la loi n° 36-15⁴ est venue compléter la loi n° 10-95, intégrant officiellement les ressources non conventionnelles dans le domaine public hydraulique. De plus, bien que la loi n° 86-12⁵ sur PPP soit entrée en vigueur la même année, elle présente des limites notables ; elle ne prend pas en compte les spécificités territoriales, n'associe pas pleinement les collectivités locales, et n'encadre pas suffisamment la coordination interministérielle pour les projets complexes liés à l'eau. L'absence d'une entité unificatrice agissant comme pilote des projets de PPP ralentit également les dynamiques de mise en œuvre.

⁴ Dahir n°1-16-113 du 6 kaada 1437 portant promulgation de la loi n°36-15 relative à l'eau.

⁵ Dahir n°1-14-192 du 1er rabii I 1436 (24 août 2014) portant promulgation de la loi n°86-12 relative aux contrats de partenariats public-privé.

Afin de renforcer l'efficacité et la pérennité de la politique marocaine en matière de ressources en eau non conventionnelles, plusieurs pistes d'amélioration peuvent être envisagées :

- **Renforcer le cadre institutionnel et réglementaire**, notamment en soutenant la dynamique de développement territorial dans le cadre de la régionalisation avancée. La loi n° 46-18 constitue une opportunité pour accroître l'implication des collectivités territoriales dans les projets liés à l'eau, notamment via le recours aux partenariats public-privé (PPP). Toutefois, cette loi met également en lumière le manque d'harmonisation entre les politiques sectorielles des différents ministères et entités concernées. D'où la nécessité de mettre en place des structures de coordination capables d'assurer une cohérence entre les différents niveaux de gouvernance.
- **Valoriser le potentiel de réutilisation des eaux usées traitées**, en ciblant en priorité les zones urbaines et périurbaines disposant d'un fort potentiel de production et de consommation. Ces ressources peuvent répondre aux besoins en eau dans des usages bien encadrés par la loi n° 36-15, notamment l'irrigation des espaces verts, des golfs ou encore certaines cultures agricoles. Ce levier est particulièrement stratégique pour les régions enclavées et fortement affectées par le stress hydrique, et qui ne peuvent bénéficier directement du dessalement en raison de leur éloignement du littoral.
- **Exploiter les avancées technologiques dans le domaine des énergies renouvelables**, en particulier l'énergie solaire et éolienne, afin de réduire le coût environnemental et financier de la production d'eau non conventionnelle. Le recours à ces sources d'énergie permet non seulement de limiter les émissions de gaz à effet de serre, mais aussi de rendre les projets plus compétitifs face aux solutions basées sur les énergies fossiles. Le Maroc dispose à cet égard de conditions naturelles très favorables, comme le souligne la Stratégie Énergétique Nationale, horizon 2030 (ministère de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement) : un potentiel éolien estimé à 25 000 MW, avec des zones atteignant des vitesses de vent supérieures à 8 m/s, ainsi qu'un gisement solaire d'environ 5 kWh/m²/an, correspondant à une exposition annuelle de 3 000 heures.

6. Conclusion

Le Maroc fait face à un déséquilibre important entre une offre en eau limitée et une demande en hausse. Sa situation parmi les pays à stress hydrique élevé témoigne des limites d'une politique centrée exclusivement sur la gestion de la demande. À l'inverse, les solutions techniques élargissant l'offre en eau par le recours aux ressources non conventionnelles se révèlent efficaces pour répondre aux besoins hydriques. L'étude des expériences internationales - qu'il s'agisse de pays du Golfe ou de l'Espagne pour le dessalement, ou de Singapour et de la Californie pour la réutilisation des eaux usées, démontre la viabilité de modèles robustes basés sur l'utilisation des ressources non conventionnelles. L'analyse de l'expérience marocaine indique également des avancées notables : d'une part, des unités de dessalement d'eau de mer de grande capacité (à Chtouka, Dakhla, Laâyoune, etc.) destinées à l'alimentation en eau potable, ainsi qu'à l'irrigation ; d'autre part, des stations de traitement tertiaire permettant la réutilisation des eaux usées (à Marrakech, Agadir, Oujda, etc.) pour l'irrigation agricole et l'arrosage des espaces verts. Ces initiatives ouvrent la voie à une nouvelle ère de gestion axée sur l'offre en eau au Maroc.

Néanmoins, le potentiel qu'offrent les technologies des ressources non conventionnelles n'est pas encore pleinement exploité. Le pays dispose d'atouts exceptionnels : un vaste littoral, de nombreux centres urbains et un fort potentiel en énergies renouvelables, qui pourraient soutenir davantage le développement de ces ressources alternatives. L'extension de l'usage des RENC se heurte cependant à plusieurs obstacles, notamment le financement et l'adhésion des acteurs. En effet, la réalisation de projets de dessalement et de réutilisation nécessite des investissements

considérables que l'État ne peut assumer seul. Le recours à des mécanismes de financement innovants, tels que les partenariats public-privé et la contribution des usagers (par exemple dans le secteur irrigué), constituent une piste à privilégier pour partager les coûts et accélérer la mise en œuvre. Par ailleurs, le succès durable de l'adoption des eaux non conventionnelles dépendra de l'acceptation par les usagers de ces nouvelles ressources. Il est donc crucial d'impliquer les utilisateurs finaux et de mieux comprendre leurs préférences, ainsi que leurs éventuelles réticences, afin d'adapter les politiques publiques en conséquence.

En somme, le développement des ressources en eau non conventionnelles s'impose comme un pilier stratégique pour renforcer la sécurité hydrique du Maroc dans un contexte de rareté croissante. Pour concrétiser pleinement cette nouvelle orientation, il importe de lever les freins financiers et institutionnels identifiés, et de sensibiliser les usagers aux bénéfices et à l'innocuité de ces ressources alternatives. Ce n'est qu'à ces conditions que le Maroc pourra ainsi amorcer une nouvelle ère de gestion durable de l'offre en eau.

Références :

- (1). Agence marocaine de presse. (2019, 5 juillet). Le recyclage des eaux usées de Tanger permettra d'économiser 3 millions de m³ d'eau par an. MAPEcology. <https://mapecology.ma/slider/recyclage-eaux-usees-de-tanger-economisera-3-millions-de-m3-deau-an/>
- (2). Amghar, A. & Hssoune, A. (2025) « Progrès technique et les ressources en eau face au problème des changements climatiques : analyse théorique », African Scientific Journal « Volume 03, Num 28 » pp: 0933 – 0963.
- (3). Belaid, N. (2010). *Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax : Salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques* [PhD Thesis]. Limoges.
- (4). Boyé, H. (2008). *Eau, énergie, dessalement et changement climatique en Méditerranée*. Sophia Antipolis : Plan Bleu, Centre d'activités régionales, Environnement et Développement en Méditerranée.
- (5). California Water Board. (2018). *Water quality control policy for recycled water*. State water resources control board California environmental protection agency. www.waterboards.ca.gov
- (6). Corcoran, E., Nellesmann, C., Baker, E., Bos, D., Osborn, D., & Savelli, H. (2010). *Sick water? The central role of wastewater management in sustainable development : A rapid response assessment*. Unep/Earthprint.
- (7). Curien, R. (2017). Singapour, modèle de développement urbain (durable ?) en Chine. Regard sur 20 ans de coopération sino-singapourienne. *Perspectives chinoises*, 2017(2017/1), 27-37.
- (8). Costanza, R. (1991). Ecological economics : A research agenda. *Structural Change and Economic Dynamics*, 2(2), 335-357.
- (9). Dietz, S., & Neumayer, E. (2007). Weak and strong sustainability in the SEEA : Concepts and measurement. *Ecological economics*, 61(4), 617-626.
- (10). Doukkali, M. R., & Grijzen, J. (2018). Evaluation de la contribution économique de la surexploitation des eaux souterraines dans l'agriculture au Maroc. *OCP Policy Center*. <https://www.policycenter.ma/publications/evaluation-de-la-contribution-economique-de-la-surexploitation-des-eaux-souterraines>
- (11). Fagnart, J.-F., & Germain, M. (2011). Quantitative versus qualitative growth with recyclable resource. *Ecological economics*, 70(5), 929-941.
- (12). Falkenmark, M. (1989). The massive water scarcity now threatening Africa : Why isn't it being addressed ? *Ambio*, 112-118.

- (13). Futura Sciences. (2012, 2 septembre). À Singapour, on sait réutiliser l'eau usée... <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/developpement-durable-singapour-on-sait-reutiliser-eau-usee-40272/>
- (14). Galland, F. (2014). *Le Grand Jeu : Chroniques Géopolitiques de l'eau*. Cnrs.
- (15). Hartwick, J. M. (1978). Investing returns from depleting renewable resource stocks and intergenerational equity. *Economics Letters*, 1(1), 85-88.
- (16). Hofste, R. W., Kuzma, S., Walker, S., Sutanudjaja, E. H., Bierkens, M. F. P., & Kuijper, M. J. M. (2019). *Aqueduct 3.0 : Updated decision-relevant global water risk indicators*. World Resources Institute. <https://www.wri.org/research/aqueduct-30-updated-decision-relevant-global-water-risk-indicators>
- (17). International Water Association. (2016, 25-27 septembre). Desalination: Past, present, future. <https://iwa-network.org/desalination-past-present-future/>
- (18). Jariri, S. (2009). Expérience de l'ONEP en matière de dessalement d'eau. *Revue HTE*, (142), p89.
- (19). Jones, E., Qadir, M., van Vliet, M. T., Smakhtin, V., & Kang, S. (2019). The state of desalination and brine production : A global outlook. *Science of the Total Environment*, 657, 1343-1356.
- (20). Raschid-Sally, L., & Jayakody, P. (2009). *Drivers and characteristics of wastewater agriculture in developing countries : Results from a global assessment* (Vol. 127). IWMI.
- (21). Salomon, J. (2012). Le dessalement de l'eau de mer est-il une voie d'avenir ? *Revista de geografia e ordenamento do territorio*, 1(1), 237-262.
- (22). Solow, R. M. (1974). Intergenerational equity and exhaustible resources. *The review of economic studies*, 41, 29-45.
- (23). Soudi, B. (2018). *Appui à la promotion de la réutilisation des eaux usées par le renforcement des aspects institutionnels, réglementaires et financières, ainsi que des démarches participatives, des mesures incitatives et la sensibilisation* (EFS-MO-2; p. 151). <https://www.swim-h2020.eu/wp-content/uploads/2018/09/SWIM-H2020-EFS-MO-2-Global-Report.pdf>
- (24). Stiglitz, J. (1974). Growth with exhaustible natural resources: Efficient and optimal growth paths. *The review of economic studies*, 41, 123-137.
- (25). Takeuchi, H., & Tanaka, H. (2020). Water reuse and recycling in Japan—History, current situation, and future perspectives. *Water Cycle*, 1, 1-12.
- (26). UNESCO. (2017). *Wastewater – The Untapped Resource*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247551>
- (27). Wada, Y., Van Beek, L. P. H., Viviroli, D., Dürr, H. H., Weingartner, R., & Bierkens, M. F. (2011). Global monthly water stress : 2. Water demand and severity of water stress. *Water Resources Research*, 47(7).
- (28). World Resources Institute. (2025). **Aqueuct**. Retrieved February 26, 2025, from <https://www.wri.org/aqueduct>