



Vers une gouvernance intégrée des ressources en eau en Algérie post-2030

Towards Integrated Water Resources Governance in Algeria Post 2030

Pr. Mustapha Kamel MIHOUBI,

*École Nationale Supérieure d'Hydraulique (ENSH), Arbaoui Abdellah,
(Algérie),*

e-mail : k.mihoubi@ensh.dz

Résumé

L'Algérie est confrontée à une rareté de l'eau, caractérisée par une disponibilité en eau renouvelable de 248 m³ par habitant et par an en 2025, ce qui constitue un niveau de pénurie absolue selon l'indicateur de Falkenmark. La présente étude développe une évaluation multicritère du stress hydrique à l'horizon 2040, en mobilisant huit indicateurs complémentaires issus d'Aquastat (FAO) et appliqués à cinq scénarios de gestion combinée des ressources en eau pour l'Algérie. Les résultats montrent que l'indice d'exploitation WEI dépasse le seuil critique de 100 % dès 2030 dans tous les scénarios. En outre, l'indice de surexploitation des eaux souterraines (GWI) atteindra 422 % en 2040 si aucune mesure de développement n'est prise après cette échéance. L'indice de durabilité passe de 64,4 % à 58,3 % dans le scénario le plus favorable. Ces constats plaident en faveur d'une stratégie d'urgence. Celle-ci articulerait le dessalement hybride thermique (MED, 1/3) et membranaire (RO, 2/3), la réduction des pertes d'eau dans les réseaux de distribution à 20 % d'ici 2030, la généralisation de la réutilisation des eaux épurées, la modernisation de l'irrigation et le renforcement de la gouvernance institutionnelle par la réactivation de la mission de l'autorité de régulation de l'eau.

Mots-clés : stress hydrique, Falkenmark, WEI, GWI, ODD 6.4, durabilité, Algérie, scénarios, MENA, dessalement.

Abstract

Algeria is facing a water scarcity, with renewable water availability of 248 m³ per capita per year in 2025, which, according to the Falkenmark indicator, constitutes absolute scarcity. This study develops a multi-criteria assessment of water stress by 2040, using eight complementary indicators from Aquastat (FAO) and applying them to five scenarios for integrated water resources management in Algeria. The results show that the Water Exploitation Index (WEI) will exceed the critical threshold of 100% in all scenarios as early as 2030. Furthermore, the Groundwater Exploitation Index (GWI) will reach 422% in 2040 if no development measures are taken after this date. The sustainability index declines from 64.4% to 58.3% in the most favorable scenario. These findings argue in favor of an emergency strategy. This would combine hybrid thermal (MED, 1/3) and membrane (RO, 2/3) desalination, reduce water losses in distribution networks to 20% by 2030, promote widespread reuse of treated water, modernize irrigation, and strengthen institutional governance by reactivating the water regulatory authority's mandate.

Keywords: Water stress, Falkenmark, WEI, GWI, SDG 6.4, Sustainability, Algeria, Scenarios, MENA, Desalination.

I. Introduction

La rareté de l'eau constitue l'un des défis environnementaux majeurs du XXI^e siècle. Selon la Global Commission on the Economics of Water (GCEW, 2023), dans le cadre du cycle hydrologique, seuls 15% des ruissellements mondiaux, soit 12 500–18 500 milliards de m³/an, peuvent être récupérés sous forme d'eau bleue, sur un total de 120 000 milliards de m³/an de précipitations. Il a été constaté que selon les rapports des Nations unies, les prélèvements d'eau mondiaux ont été multipliés par près de huit depuis 1900, passant de 617 km³/an à 4 823 km³/an en

2025, sous l'effet conjugué de la croissance démographique. Sachant que la population mondiale a été multipliée par cinq depuis 1900, ainsi que par l'intensification des usages agricoles et industriels. Dans ce contexte mondial préoccupant, la région du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord (MENA) se distingue comme la plus vulnérable de la planète, concentrant 6 % de la population mondiale mais ne disposant que d'environ 1 % des ressources en eau douce renouvelable.

L'Algérie illustre avec acuité cette tension entre les ressources et les besoins. Avec un territoire essentiellement aride, dont 87 % de la superficie est saharienne, l'Algérie est marquée, au cours des dix dernières années, par un déficit structurel de précipitations (−40 % dans l'Ouest, −30 % au Centre, −15 % à l'Est par rapport à la normale). En conséquence, la disponibilité en ressources renouvelables est de 248 m³/habitant/an. Il s'agit d'une valeur inférieure au seuil de pénurie absolue de 500 m³/habitant/an fixé par Falkenmark (1989). Parallèlement, l'indice d'exploitation WEI s'établit à 93 %, ce qui témoigne d'une pression extrême sur les ressources renouvelables.

Le sud du pays dispose d'un gisement d'eaux fossiles, notamment celles du Système Aquifère du Sahara septentrional (SASS), dont les réserves sont estimées à 60 000 km³, et qui peut constituer une source d'approvisionnement et de développement des activités agricoles, tout en veillant à la durabilité de ces réserves pour les générations futures.

Face à cette situation, les pouvoirs publics algériens ont engagé dès 2021 un programme d'urgence doté de 150 milliards de dinars, comprenant la réalisation de plus de 600 forages dans 20 wilayas et la construction de sept stations de dessalement monobloc. La décision du Conseil des ministres du 25 juillet 2021, sous la présidence du Président Abdelmadjid Tebboune, a lancé le chantier de cinq grandes stations de dessalement de 300 000 m³/jour chacune, avec un objectif de production de 3,8 millions m³/jour en 2025 et de 5,3 millions m³/jour en 2030.

La présente étude a pour objectif d'évaluer, au moyen d'une approche multicritère, le niveau de stress hydrique de l'Algérie sur la période 2025–

2050, selon cinq scénarios de gestion des ressources. Elle mobilise huit indicateurs complémentaires afin de saisir la pluralité des dimensions du stress, que ce soit quantitative, qualitative, environnementale et économique, et de fournir une base analytique robuste à la planification stratégique.

II. INDICATEURS ET INDICE DU STRESS HYDRIQUE

1. Indicateurs de disponibilité et d'exploitation :

L'évaluation du stress hydrique s'appuie sur un corpus théorique élaboré depuis les années 1980. L'indicateur de Falkenmark (1989), également appelé Water Scarcity Index (WSI), constitue l'une des premières formalisations quantitatives : il rapporte le volume d'eau renouvelable disponible par habitant et par an ($\text{m}^3/\text{habitant}/\text{an}$). Quatre seuils délimitent des catégories de situation : au-delà de $1\,700\text{ m}^3$ - absence de stress ; entre $1\,000$ et $1\,700\text{ m}^3$ - stress hydrique ; entre 500 et $1\,000\text{ m}^3$ - pénurie ; en dessous de 500 m^3 - pénurie absolue. Malgré sa simplicité, cet indicateur peine à rendre compte des dimensions qualitatives et de l'efficacité d'usage (Dickens et al., 2019).

Le Water Exploitation Index (WEI), développé par l'Agence Européenne de l'Environnement (EEA, 2000), mesure le rapport entre les prélèvements totaux et les ressources renouvelables totales. Des seuils progressifs permettent d'identifier : exploitation faible ($<20\%$), modérée ($20 - 40\%$), élevée ($40-80\%$), extrême ($>80\%$) et critique ($>100\%$). Dans une approche similaire, Alcamo et al. (1997) ont proposé le Withdrawals-to-Availability Index (WTA), qui utilise le débit annuel moyen des cours d'eau (MARR) au dénominateur. Pour l'Algérie, où le MARR est assimilable aux ressources renouvelables totales ($11,7\text{ km}^3/\text{an}$), WEI et WTA produisent des valeurs voisines.

Le Baseline Water Stress Index (BWS), développé par le World Resources Institute (WRI, 2013) dans le cadre de l'outil Aqueduct, intègre une dimension écologique en soustrayant les besoins environnementaux (Environmental Flow Requirements, EFR, fixés à 30% des ressources

disponibles). Le BWS mesure ainsi la pression instantanée exercée sur la ressource physiquement disponible pour les usages anthropiques.

2. Approche multidimensionnelle : WPI et empreinte hydrique

Sullivan (2001, 2002), développant ses travaux au Centre pour l'écologie et l'hydrologie de Wallingford, a proposé l'indice de pauvreté en eau (Water Poverty Index, WPI), une formule composite intégrant cinq composantes : ressources (R/20), accès (A/20), capacité institutionnelle (C/20), usage (U/20) et environnement (E/20). Cet indice, actualisé dans la présente étude à partir des données de la FAO AQUASTAT 2025 et de l'OMS-UNICEF JMP, permet des comparaisons régionales.

L'Algérie obtient un WPI de 58,9/100 en 2024, en progression de 5,7 points par rapport à 2002, notamment grâce à l'amélioration de l'accès (11,7 → 14,8/20) et des performances environnementales (6,7 → 8,7/20). Ce qui témoigne des efforts des pouvoirs publics en matière de développement du service public de l'eau potable et d'augmentation de la disponibilité de l'eau par la réutilisation de l'eau épurée destinée à l'irrigation. L'objectif est d'atteindre un taux de 60 % d'ici 2030.

Hoekstra et Chapagain (2008) ont introduit le concept d'empreinte hydrique (Water Footprint), déclinant la consommation d'eau en eau bleue (prélèvements), eau verte (précipitations agricoles) et eau grise (eau de dilution). Ce cadre analytique, normalisé par l'ISO 14046 (2014), permet d'identifier les flux virtuels associés aux importations.

Pour l'Algérie, l'empreinte hydrique totale est passée de 37 km³/an en 2001 à 51,5 km³/an en 2024, portée par une progression de l'eau bleue (+80 %) reflétant l'intensification des prélèvements et de la demande en eau. Notons que 51 % de l'empreinte hydrique provient de sources extérieures, en raison des importations de céréales. À ce titre, l'Algérie a entamé un programme ambitieux de développement des cultures céréalières au sud, permettant l'autonomie d'approvisionnement en blé dur et de réduire les importations, avec un développement varié du blé tendre pour assurer la sécurité alimentaire.

3. Indicateurs environnementaux ODD 6.4.2.2, d'efficience ODD 6.4.2 et de stress souterrain (GWI)

L'agenda 2030 des Nations Unies a structuré l'évaluation hydrique autour de deux indicateurs ODD 6.4 (FAO/ONU-Eau, 2015). L'ODD 6.4.1 mesure l'efficience économique de l'eau (USD/m³ de valeur ajoutée produite), permettant d'apprécier le découplage entre croissance économique et pression hydrique. L'ODD 6.4.2 constitue un indicateur synthétique de stress hydrique, exprimant le niveau de prélèvements en proportion des ressources disponibles.

Le Groundwater Stress Indicator (GWI), élaboré par le WRI, prend spécifiquement en compte la dimension souterraine. Il relie l'extraction souterraine à la régénération naturelle des aquifères. Concernant les nappes phréatiques du nord de l'Algérie, pour lesquelles l'ANRH estime une recharge d'environ 1,9 km³/an, ce même taux pourrait atteindre 126 % dès 2025. Cela indiquerait une exploitation excessive et une menace potentielle de salinisation du littoral. Concernant les aquifères fossiles du sud, où la recharge est particulièrement faible dans certaines zones de l'est du pays, l'indice GWI sud dépasse 3 500 %, ce qui atteste d'une déplétion inévitable à l'échelle humaine.

Enfin, les indices climatiques SPI-12 (McKee et al., 1993), PDSI (Palmer, 1965) et SPEI-12 (Vicente-Serrano et al., 2010) permettent de relier le stress hydrique aux dynamiques climatiques. Pour l'Algérie, l'indice climatique normalisé de précipitation-évapotranspiration (SPEI) (Serrano et al., 2010) indique une valeur critique de -12 projetée à -2,3 en 2040, synonyme de sécheresse extrême, confirmant le rôle amplificateur du changement climatique dans la dégradation des ressources renouvelables.

III. MÉTHODOLOGIE

1. Zone d'étude et sources de données

La zone d'étude couvre l'ensemble du territoire algérien (2 381 741 km²), comprenant le Nord tellien, le Nord steppique et la région saharienne méridionale. Les données hydrologiques de référence proviennent de la

FAO AQUASTAT (2025) pour les ressources renouvelables (TRWR), estimées à 11,7 km³/an, de l'ANRH pour la recharge des aquifères du Nord, estimée à 1,9 km³/an, et de l'IGRAC (2025) pour les volumes exploitables du SASS. Les projections démographiques prévoient un taux de croissance de 1,2 %/an, soit une population passant de 47,5 millions d'habitants en 2025 à 53,2 millions en 2040. Selon les données du Centre international d'évaluation des ressources en eaux souterraines (IGRAC,2025) relatives aux volumes exploitables du SASS.

Dans cette étude, des projections démographiques ont été réalisées, prévoyant un taux de croissance de 1,2 %/an, soit une population passant de 47,5 millions d'habitants en 2025 à 53,2 millions d'habitants en 2040, puis à 56,2 millions en 2050.

2. Indicateurs calculés

Huit indicateurs de stress hydrique ont été calculés sur la période 2025–2040 pour chacun des cinq scénarios :

- Indicateur Falkenmark (WSI) = $\text{TRWR}(s,t) \times 10^9 / \text{Population}(t)$, exprimé en m³/habitant/an ;
- Indice d'exploitation (WEI) = $\text{Prélèvements totaux} / \text{TRWR}(s,t) \times 100 (\%)$;
- Indice de déplétion (WTA) = $\text{Prélèvements totaux} / \text{MARR} \times 100 (\%)$, avec $\text{MARR} = 11,7 \text{ km}^3/\text{an} = \text{constante}$;
- Indice de stress hydrique de référence (BWS) = $\text{Prélèvements totaux} / (\text{TRWR} - \text{EFR}) \times 100$, avec $\text{EFR} = 30 \% \times \text{TRWR}$;
- Indice d'efficacité ODD 6.4.1 = Valeur ajoutée économique par m³ (USD/m³), estimée par : $18,1 \times (1,018)^{(t-2025)}$
- Indice de niveau de stress ODD 6.4.2 = indicateur proxy du stress ONU, assimilé au WEI dans la présente étude ;
- Indice des eaux souterraines (GWI) = $\text{Prélèvements souterrains} / \text{Recharge naturelle} \times 100 (\%)$;
- Indice de durabilité = $(\text{ressources souterraines} + \text{ressources superficielles} + \text{dessalement} + \text{réutilisation des eaux épurées}) / \text{prélèvements totaux} \times 100 (\%)$.
- Indice de précipitations normalisé, SPI = $(P \text{ observée} - P \text{ moyenne}) / \text{écart-type}$

- Indice normalisé de précipitations et d'évapotranspiration (SPE) = $f(\text{précipitations}/P - \text{évapotranspiration potentielle}/ETP)$, standardisé ; la différence $P - ETP$ représente le bilan hydrique climatique à la surface : excédent si positive, déficit si négative. Cet indice est calculé suivant des échelles temporelles sur des fenêtres temporelles variables selon l'usage variant (1 à 3 mois pour une sécheresse agricole et météorologique), (6 à 12 mois pour une sécheresse hydrologique) et (24 à 48 mois pour une sécheresse des nappes souterraines)

Le SPEI est calculable sur des fenêtres temporelles variables selon l'usage :

3. Scénarios de gestion

Cinq scénarios prospectifs ont été construits sur la base des trajectoires plausibles d'évolution :

- Scénario A : maintien des prélèvements renouvelables constants, avec une production d'eaux de dessalement progressive, passant de 1,4 km³/an (2025) à 1,9 km³/an (d'ici 2030), considéré comme le scénario de référence.
- Scénario B : réduction progressive de 5 % des ressources renouvelables, accompagnée d'une augmentation des prélèvements sur l'Albien de 2 % en 2–3 ans d'ici 2040 ;
- Scénario C : réduction de 10 % des ressources renouvelables, avec une hausse fossile de l'Albien de 5 % en 2–3 ans d'ici 2040 ;
- Scénario D : forte dépendance aux ressources fossiles, avec une augmentation des prélèvements totaux de +10 % ;
- Scénario E : dégradation sévère des eaux de surface (perte des réserves à 80 %) en raison de plusieurs années de sécheresse, engendrant une pression accrue sur toutes les ressources.

4. Analyse multicritères pondérée

Une évaluation multicritère sur 100 points a été utilisée pour évaluer les différents scénarios. Les poids attribués selon l'importance des indicateurs qui affilient ces indices sont les suivants : WEI (25 %, standard

EEA), BWS (20 %, norme WRI), ODD 6.4.2 (20 %, cadre ONU-FAO), PWSI (15 %, manque physique d'eau), WTA (10 %), GSI (5 %) et GEI (5%). L'échelle est inversée : un score de stress plus bas correspond à une note plus élevée (avec un maximum de 100 points).

IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. Évolution de l'indice de disponibilité de Falkenmark

La figure 1 illustre la trajectoire décroissante de la disponibilité en eau renouvelable par habitant pour les cinq scénarios sur la période 2025–2040. Quel que soit le scénario retenu, l'Algérie demeure en situation de pénurie absolue ($< 500 \text{ m}^3/\text{habitant/an}$) tout au long de la période. Sous le scénario le plus favorable (A), qui représente la démarche entreprise par les pouvoirs publics pour en digérer le stress hydrique, la disponibilité passe de $248 \text{ m}^3/\text{habitant/an}$ en 2025 à $187 \text{ m}^3/\text{habitant/an}$ projetée pour 2040. Cela constitue une réduction de 25 %. De plus, elle pourrait encore diminuer d'ici 2050 en l'absence d'action. Sous le scénario E, ce seuil chute à $110 \text{ m}^3/\text{habitant/an}$ en 2040. Cette convergence vers des valeurs inférieures à 200 m^3 en 2040 signale une aggravation structurelle indépendante des choix politiques à court terme.

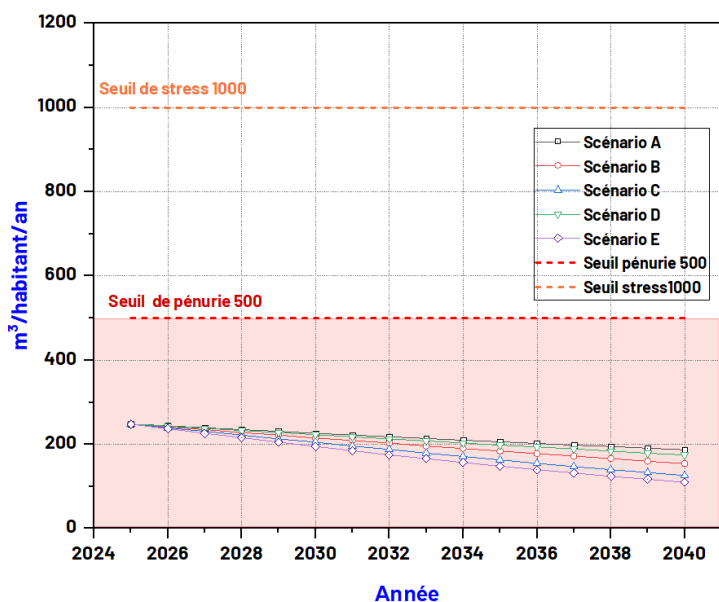


Figure n° 1 : Indice de Falkenmark par scénario (2025–2040).

2. Water Exploitation Index : franchissement du seuil critique

La figure 2 présente l'évolution du WEI pour les cinq scénarios. Un résultat central est le franchissement du seuil critique de 100 % par le WEI dès 2030, quelle que soit la trajectoire retenue. Ce seuil, qui signifie que les prélèvements annuels excèdent les ressources renouvelables disponibles, est franchi en 2029 pour le scénario A et dès 2027 pour le scénario E. En 2040, le WEI atteint respectivement 116 % (A), 124 % (B), 134 % (C), 120 % (D) et 140 % (E). La permanence d'un WEI supérieur à 100 % de 2030 à 2040 caractérise une surexploitation structurelle permanente, nécessitant le recours systématique à des ressources non renouvelables pour équilibrer l'offre et la demande.

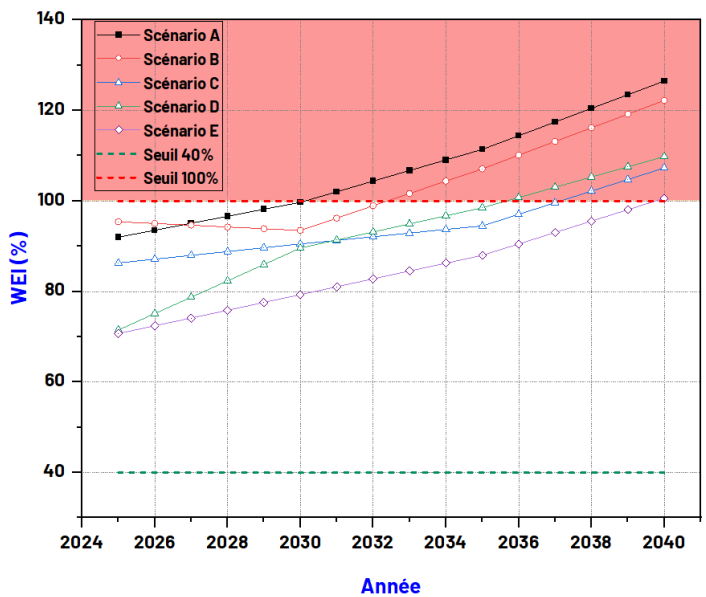


Figure n° 2 : Évolution de l'indice d'exploitation WEI par scénario (2025-2040)

3. Indice de durabilité et dépendance aux ressources fossiles

L'indice de durabilité (Figure 3) se dégrade progressivement dans tous les scénarios. À partir de niveaux comparables en 2025, passant de 64,1 % pour le scénario A à 61,8 % pour le scénario E, les trajectoires divergent nettement : le scénario A maintient un indice de 51,6 % en 2040, tandis que le scénario E l'effondre à 36,6 %. Le passage sous le seuil de 60 %

évoque une dépendance préoccupante aux ressources non renouvelables, qui survient entre 2031 et 2034 selon les scénarios envisagés.

Ces conclusions démontrent que, en l'absence d'une expansion considérable du dessalement et de la réutilisation des eaux traitées, le pourcentage des eaux fossiles dans l'approvisionnement national en eau dépassera 50 % avant 2040 dans tous les cas, sauf pour le scénario A, qui souligne la bonne direction prise par les autorités dans la quête d'une sécurité hydrique via des ressources non conventionnelles accessibles.

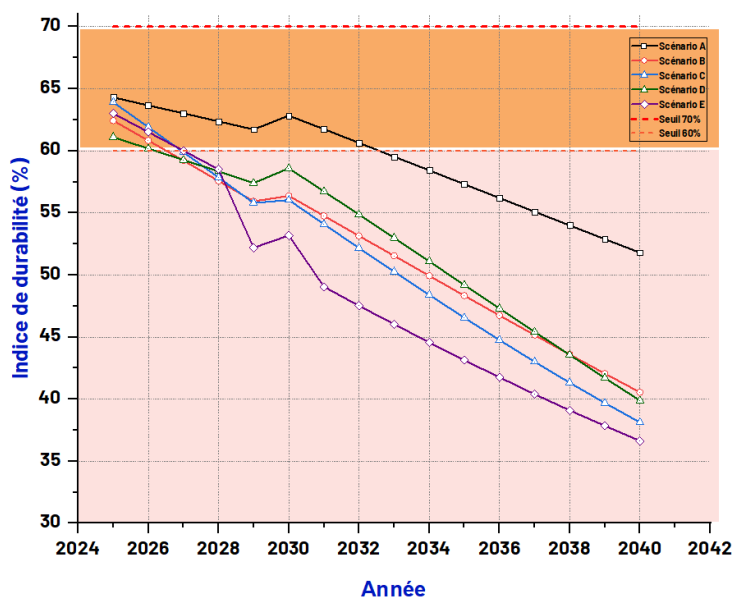


Figure n° 3 : Indice de durabilité hydrique par scénario (2025-2040)

4. Résultats de l'analyse multicritères

L'analyse multicritère aboutit au classement suivant : A (41,33 pts) > D (39,84 pts) > B (39,59 pts) > C (35,28 pts) > E (32,97 pts). Le scénario A de référence, combinant le maintien des prélèvements renouvelables et le développement accéléré du dessalement, obtient le meilleur score sur l'ensemble des indicateurs examinés. Le scénario D, malgré sa forte dépendance aux ressources fossiles, bénéficie d'une meilleure maîtrise de la demande totale. Le scénario E, associant la

dégradation des eaux de surface et une pression maximale sur l'ensemble des ressources, confirme sa non-viabilité à long terme.

Sur le plan de l'efficacité économique, l'ODD 6.4.1 montre une amélioration continue pour tous les scénarios (de 18,1 USD/m³ en 2025 à 24,0 USD/m³ en 2040), reflétant le découplage progressif entre la croissance du PIB et la consommation d'eau. Ce signal positif indique que les investissements en efficacité hydrique produisent des effets mesurables sur la valeur ajoutée par m³ prélevé. Concernant le stress souterrain (GWI), le résultat est particulièrement alarmant : le GWI passe de 311,6 % en 2025 à 422,6 % en 2040, ce qui signifie que les prélèvements souterrains représentent plus de quatre fois la recharge naturelle annuelle.

Les eaux souterraines du Nord sont déjà en surexploitation active dès 2025, avec 2,4 km³ prélevés pour 1,9 km³ de recharge, ce qui expose le littoral algérien à un risque d'intrusion saline.

5. Déficit hydrique

Le déficit hydrique est calculé comme l'écart entre les ressources renouvelables disponibles et les prélèvements totaux (figure 4). Dès 2025, tous les scénarios affichent un déficit, signe que le système hydrique algérien est déjà en situation de surexploitation nette. Le scénario A maintient un déficit limité et stable tendanciuellement (−0,51 km³ en 2025 ; −0,17 km³ en 2040), ce qui traduit l'effet compensateur du dessalement. À l'opposé, le scénario E creuse le déficit à −3,19 km³/an en 2040.

Une fenêtre d'opportunité se présente avant 2030, durant laquelle le WEI oscille encore entre 0,920 et 0,997 (scénario A) : c'est le « moment charnière » identifié dans l'analyse PWSI vs WEI.

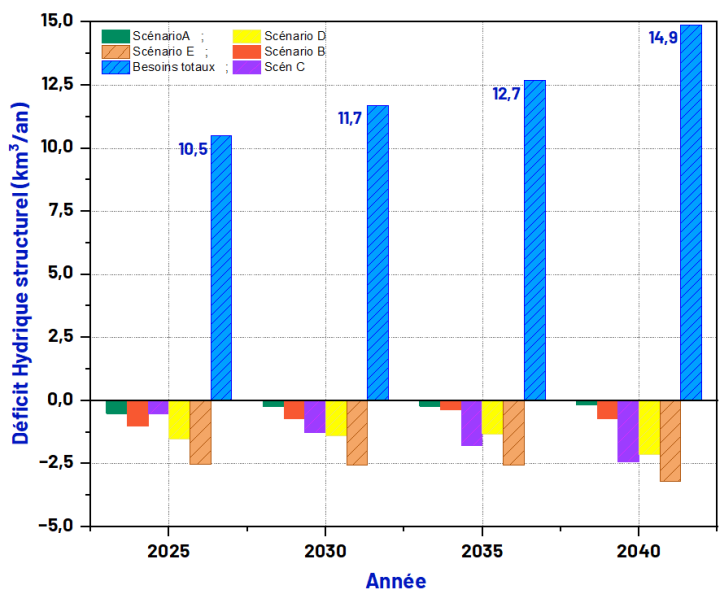


Figure n° 4 : Évolution du déficit hydrique structurel par scénario d'une gestion combinée des ressources en eau (2025-2040)

6. Analyse comparative de l'indice structurel (PWSI) et d'exploitation (WEI)- Scénario A

À travers la figure 5, on remarque que l'indice WEI (Water Exploitation Index) mesure la pression structurelle sur les ressources : il rapporte les prélèvements totaux aux ressources renouvelables (TRWR = 11,74 km³/an).

L'indice physique de pénurie d'eau PWSI (Physical Water Scarcity Index), égal à $2,5 \times \text{WEI}$, quantifie la pénurie physique en intégrant le débit environnemental minimal à préserver (40 % du TRWR).

Lorsqu'ils franchissent simultanément leurs seuils critiques ($\text{WEI} \geq 1,0$ et $\text{PWSI} \geq 2,7$), le système bascule en double crise : le déficit est à la fois chronique et immédiat.

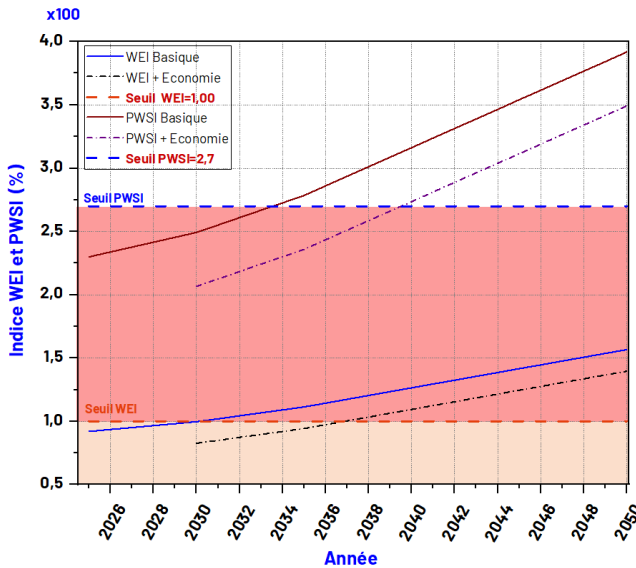


Figure n° 5 : Étude des dates d'amorce de crise par les indices PWSI et WEI pour le scénario A pour l'échéance de 2025 à 2050

Cas 1 : Inaction (sans économies d'eau)

Dès 2032, le WEI atteindra 1,0 : les prélèvements dépasseront l'ensemble des ressources renouvelables. En 2034, le PWSI atteindra 2,73, confirmant la double crise. À ce stade, le volume prélevé (TWW) atteint 12,81 km³/an pour une ressource renouvelable de 11,74 km³, soit un déficit net de 1,07 km³/an qu'aucun nouveau matériau ne peut combler. Ce déficit est structurel et s'aggrave chaque année : en 2040, il atteindra 3,11 km³/an, et en 2050, il sera de près de 4,66 km³/an. Sans intervention, l'Algérie dépend entièrement d'aquifères fossiles, non renouvelables, pour pallier ce manque, ce qui compromet irréversiblement les nappes du Sahara à l'avenir.

Cas 2 : Actions combinées (réduction des fuites + usage de la REUE, dès 2030)

La mobilisation de 2,0 km³/an d'économies (1,0 km³ par réduction des fuites de 35 % à 20 %, et 1,0 km³ par réutilisation des eaux épurées

pour l'irrigation) repousse le franchissement de $WEI \geq 1,0$ à 2037 et la double crise à 2040. Le délai obtenu est de +6 ans, précieux pour développer les capacités de dessalement. À l'amorce de la double crise en 2040, le TWW net est de $12,85 \text{ km}^3/\text{an}$, soit un déficit résiduel de $1,11 \text{ km}^3/\text{an}$ après déduction des économies réalisées. Ce déficit résiduel ne peut être comblé que par un dessalement supplémentaire. On peut affirmer que les économies d'eau, grâce à la réduction des fuites et à la réutilisation des eaux épurées en irrigation, permettent d'accorder un délai de 6 ans. Cependant, elles ne réduisent pas le besoin final en eau, notamment en eau potable produite par dessalement ; une solution demeure inéluctable à l'horizon 2050.

Elles permettent, en revanche, de lisser le rythme de construction, de reporter l'engagement des investissements dans les usines à 2037 plutôt qu'à 2032, et de réduire la pression sur les aquifères fossiles pendant cette période de transition. Le volume total à sécuriser en 2050 dépasse $5,66 \text{ km}^3/\text{an}$, combinant le dessalement ($4,66 \text{ km}^3$), le REUE ($1,0 \text{ km}^3$) et, le cas échéant, une extension du programme à l'horizon 2060.

Tableau 1 :
Comparaison des paramètres à chaque date d'amorce de la double crise

Paramètre	Sans Économies (Inaction – Crise 2034)	Avec Économies (Actions – Crise 2040)	Remarque
Année d'amorce de la double crise	2034	2040	6 ans de délai grâce aux économies
WEI à l'amorce (ratio)	1.091	1.095	WEI sans écon. = $1,091 > 1,0$ WEI avec écon. = $1,095 > 1,0$
PWSI à l'amorce (ratio)	2.73	2.74	$PWSI > 2,7$ (pénurie physique confirmée dans les deux cas)

TWW brut à l'amorce (km ³ /an)	12.80	14.85	+2,04 km ³ gain 6 ans de croissance de la demande
Économies appliquées (km ³ /an)	0	-2,00	1,0 km ³ (fuites 35→20%) + 1,0 km ³ (REUE irrigation)
Total des eaux de ruissellement (TWW) net à l'amorce (km ³ /an)	12.80	12.85	Quasi-égaux : les économies. Compensent presque exactement la croissance
Total des eaux limites renouvelables (TRWR) – (km ³ /an)	11,74	11,74	
Déficit net à l'amorce (K ^m ³ /an)	1,06	1,111	
REUE déjà mobilisée (km ³ /an)	0	1,000	Incluse dans les économies – irrigation agricole
Dessalement additionnel requis (km ³ /an)	1,07	1,11	Sans économie d'eau : 10 usines avec économie : 11 usines 300 000 m ³ /j
Nombre d'usines 300 000 m ³ /j	≥ 10 usines	≥ 11 usines	Capacité estimée à 0,1095 km ³ /an par usine
Estimation des investissements pour dessalement (M USD)	6,000	6,600	
Total à mobiliser (dessalement + réutilisation eaux épurées) km ³ /an	1.064	2.111	Avec économie : 1,11 (dessalement) + 1,0 (REUE) = 2,11 km ³ /an

L'étude comparative peut être réalisée à la date ISO de 2040, qui reste la plus pertinente sur le plan économique. Elle démontre que :

- Sans économies, le système doit mobiliser 3,11 km³/an de dessalement additionnel à l'horizon 2040, soit 29 usines supplémentaires pour un investissement estimé à ~17,4 milliards d'USD.

- Avec économies (réduction des fuites + REUE), seulement 1,11 km³/an de dessalement résiduel, soit 11 usines (~6,6 Md USD) permettant une économie d'investissement de l'ordre de 10,8 milliards USD. Les économies d'eau réduisent le besoin en dessalement de 2,0 milliards m³/an, soit leur propre valeur : la cohérence physique est parfaite.

Tableau 2 :

Comparaison des paramètres à chaque date d'amorce de la double crise

Paramètre	Sans Economies à 2040 (Inaction)	Avec Economies A 2040 (Actions)
Année de référence	2040	2040
WEI 2040 (Ratio)	1,2650	1,0946
PWSI 2040 (Ratio)	3,1625	2,7366
TWW Brut 2040 (km ³ /an)	14,851	14,851
Économies appliquées (km ³ /an)	0	-2,000
TWW Net (2040). (kkm ³ /an)	14,851	12,851
TRWR : Limite Renouvelable (km ³ /an)	11,740	11,740
Déficit vs TRWR (2040) (km ³ /an)	3,111	1,111
REUE immobilisée (2040) (km ³ /an)	0	1,000
Dessalement additionnel requis (km ³ /an)	3,111	1,111
Investissement dessalement (M USD)	17,400	6,600
Total à mobiliser (dessalement + REUE) km ³ /an	3,111	2,111

7. Comparaison régionale MENA

La figure 6 situe l'Algérie dans le contexte régional en comparant, pour 2025 et 2040, les indicateurs de Falkenmark de six pays de la région MENA.

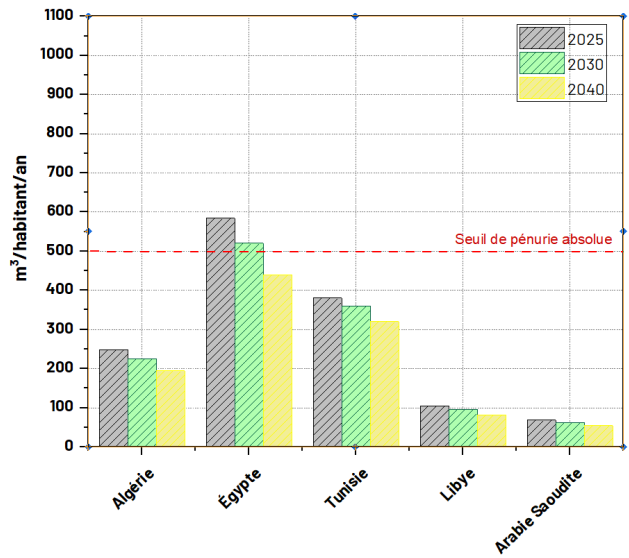


Figure n° 6 : Comparaison de l'indice de Falkenmark ($\text{m}^3/\text{hab}/\text{an}$) de la région MENA en 2025-2040.

L'Algérie présente une situation parmi les moins défavorables : sa disponibilité ($248 \text{ m}^3/\text{hab}/\text{an}$ en 2025) dépasse celle de la Libye ($105 \text{ m}^3/\text{hab}/\text{an}$) et de l'Arabie saoudite ($68 \text{ m}^3/\text{hab}/\text{an}$). Comparée à l'Égypte (584) et à la Tunisie (380), la situation algérienne révèle une pression plus intense sur des aquifères moins abondants. La convergence, en 2040, vers des niveaux inférieurs à $200 \text{ m}^3/\text{hab}/\text{an}$ dans plusieurs pays, illustre l'ampleur du défi régional.

8. Indices climatiques et implications pour la planification

L'analyse des indices climatiques, présentée dans le tableau 3 de l'étude des indicateurs climatiques, étaye les projections hydriques en révélant une aggravation tendancielle des conditions de sécheresse.

L'indicateur SPI-12 passe de $-1,2$ en 2025 à $-2,0$ en 2040, franchissant le seuil de sécheresse extrême. Le PDSI évolue de $-2,8$ à $-3,9$, ce qui indique une transition vers une sécheresse très sévère. Le SPEI-12, qui intègre l'évapotranspiration potentielle et se révèle plus sensible au réchauffement climatique que le SPI (Vicente-Serrano et al.,

2010), atteint $-2,3$ en 2040. Ces indices confirment que le changement climatique est un facteur structurel qui amplifie le stress hydrique, indépendamment des trajectoires de la demande.

Tableau 3 :

Évolution des indices climatiques et de sécheresse pour l’Algérie 2025-2040

Indicateur	2025	2030	2035	2040	Statut 2040	Tendance
SPI-12 (Standardized Precipitation Index – 12 mois)	-1,2	-1,5	-1,8	-2,0	Sécheresse extrême (SPI = -2,0)	↓ Aggravation
SPEI-12 (Standardized Precipitation- Evapotranspira- tion Index – 12 mois)	-1,5	-1,8	-2,1	-2,3	Sécheresse extrême (SPEI = -2,3)	↓ Aggravation critique
PDSI (Palmer Drought Severity Index)	-2,8	-3,2	-3,6	-3,9	Sécheresse extrême (PDSI = -3,9)	↓ Dégradation maximale
AWD – DHYa (Annual Water Deficit / Déficit hydrique annuel (%))	42%	48%	52%	55%	Déficit extrême (AWD = 55 %)	↑ Détérioration confirmée
Classification des sécheresses par les indices SPI, SPEI et des déficits (AWD)						
SPI / SPEI $\geq$ -1,0	Normal		Aucune contrainte hydroclimatique.			
SPI -1,0 à -1,5 / SPEI -1,0 à -1,5	Sécheresse modérée		Légère réduction des précipitations.			
SPI -1,5 à -2,0 / SPEI -1,5 à -2,0	Sécheresse sévère		Déficit significatif + tension agricole			
SPI / SPEI < -2,0	Sécheresse extrême		Risque de rupture d’approvisionnement			
AWD < 30 %	Déficit faible		Ressources encore suffisantes.			

AWD 30–40 %	Déficit significatif	Tension sur les nappes.
AWD 40–50 %	Déficit critique	Surexploitation généralisée.
AWD ≥ 50 %	Déficit extrême	Crise hydrique structurelle.

Le déficit hydrique annuel (AWD) progresse de 42 % en 2025 à 55 % en 2040, ce qui signifie qu’un déficit critique permanent s’installera à partir de 2035. Cette convergence entre la dégradation climatique et la croissance de la demande souligne la nécessité d’une planification intégrant simultanément la gestion des ressources disponibles et l’adaptation aux conditions climatiques changeantes.

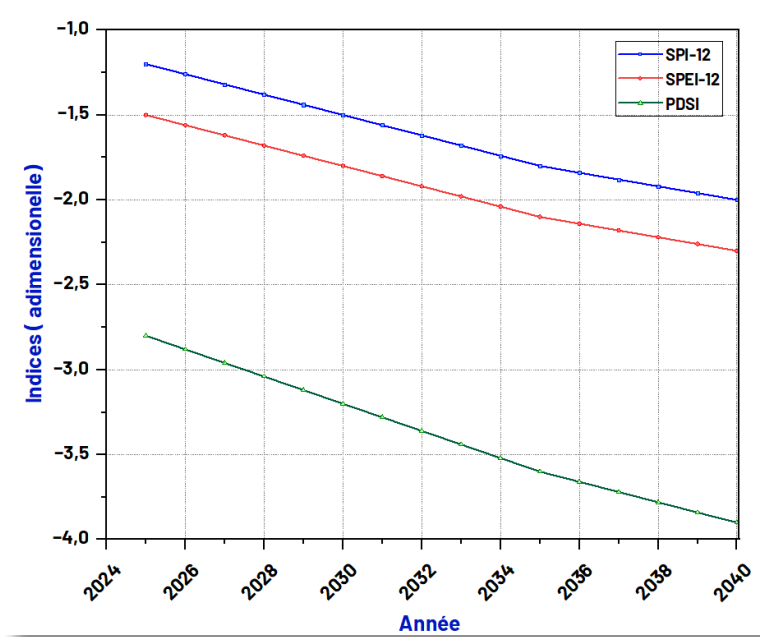


Figure n° 7 : Évolution des indicateurs climatiques SPI-12, SPEI-12 et PSDI.
MENA en 2025-2040.

Conclusion

La présente étude démontre que l'Algérie est engagée dans une trajectoire de stress hydrique extrême dont aucun scénario de gestion conventionnelle ne permet d'enrayer la dynamique à court terme. L'universalité du franchissement du seuil $WEI > 100 \%$ dès 2030, la dégradation continue de l'indice de durabilité et l'effondrement tendanciel de la disponibilité par habitant imposent une réorientation stratégique profonde.

Quatre axes d'action s'imposent avec urgence. Tout d'abord, il est important de poursuivre les efforts et d'accélérer la trajectoire de dessalement en recourant à des procédés favorisant une résilience accrue. Cela peut être réalisé avec un système de backup en standby afin d'assurer la continuité du service lors du nettoyage des filtres par le cleaning in place (CIP). Pour les usines de dessalement ne disposant pas d'alternatives d'alimentation par d'autres sources à l'aval des barrages ou par les eaux souterraines, il est indispensable de prévoir des usines hybrides thermiques (MED 1/3) et membranaires (RO 2/3) (Mihoubi, 2026). L'objectif visé est d'atteindre un taux de dessalement permettant d'approvisionner les populations du littoral à hauteur de 80 % sur une bande de 150 km ou plus d'ici 2040.

Ensuite, déployer un plan d'urgence de réduction des pertes dans les réseaux (de 35 % à 20 % d'ici 2030) par télémesure, télégestion et IoT dans les grandes agglomérations. Troisièmement, massifier la réutilisation des eaux épurées (objectif : 1 milliard de m^3 /an d'ici 2030) afin de soulager la pression sur les ressources naturelles. Quatrièmement, initier des études sur le stress hydrique à l'échelle des bassins hydrographiques afin d'ajuster le Plan national de l'eau aux dynamiques locales. Sur le plan de la gouvernance, une nouvelle réorganisation structurelle de l'opérationnel de l'hydraulique est plus que nécessaire, et la réactivation de la mission de l'autorité de régulation de l'eau, dotée de pouvoirs réglementaires effectifs pour l'arbitrage de l'allocation intersectorielle, le contrôle des opérateurs, l'obligation de transparence sur les prélèvements et la consommation des

usagers, paraît indispensable. Réviser la tarification de l'eau en intégrant un tarif social : par exemple, la gratuité de 6 m³ par personne et par mois, puis en introduisant une tarification progressive incitative à la sobriété, visant à valoriser la ressource et à orienter les comportements vers une consommation plus sobre. La mobilisation de l'ensemble de ces leviers constitue le prix à payer pour la soutenabilité hydrique de l'Algérie dans les horizons futurs de 2040 et 2050.

Références bibliographiques

- [1] Falkenmark M. (1986). Fresh water: Time for a modified approach. *Ambio*, 15(4), 192–200.
- [2] Falkenmark M. (1989). The massive water scarcity threatening Africa. *Ambio*, 18(2), 112–118.
- [3] Alcamo J. et al. (1997). Development and testing of the WaterGAP 2 global model of water use and availability. *Hydrological Sciences Journal*, 48(3), 317–337.
- [4] EEA (2000). European Environment Agency. Sustainable use of Europe's water? Environment Assessment Report No. 7. EEA, Copenhagen.
- [5] Sullivan C. (2002). Calculating a Water Poverty Index. *World Development*, 30(7), 1195–1210.
- [6] Hoekstra A.Y., Chapagain A.K. (2008). *Globalisation of Water*. Blackwell Publishing, Oxford.
- [7] Palmer W.C. (1965). Meteorological drought. Research Paper No. 45. U.S. Weather Bureau, Washington D.C.
- [8] McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proc. 8th Conf. Applied Climatology*, pp. 179–183.
- [9] Vicente-Serrano S.M. et al. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The SPEI. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718.
- [10] WRI (2013). *World Resources Institute, Aqueduct Water Risk Atlas*. WRI, Washington DC.

- [11] Dickens C. et al. (2019). Defining and quantifying national-level targets for the SDGs. *Sustainability*, 11(2), 462.
- [12] FAO — AQUASTAT (2025). Système d'information mondial de la FAO sur l'eau et l'agriculture. Rome. <https://www.fao.org/aquastat>
- [13] UNESCO-WWAP (2023). Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2023. UNESCO, Paris.
- [14] Banque Mondiale (2022). Beyond Scarcity: Water Security in the Middle East and North Africa. MENA Development Report. Banque mondiale, Washington DC.
- [15] GCEW (2023). The Economics of Water: Valuing the Hydrological Cycle. GCEW Full Report.
- [16] ANRH (2024). Bilan des ressources en eau souterraine du Nord algérien. Rapport interne, Alger.
- [17] OSS (2020) Observatoire du Sahara et du Sahel. Principaux systèmes aquifères transfrontaliers. OSS, Tunis.
- [18] Mihoubi M.K. (2026). How Hybrid MED+RO Systems and Green Energy Are Securing Algeria's Water Future. 4 mars 2026, <https://www.ecomena.org/how-hybrid-med-ro-systems-and-green-energy-are-securing-algeria-water-future/>.
- [19] ISO 14046 (2014). Environmental management -Water footprint- Principles, requirements and guidelines. ISO, Genève.
- [20] IGRAC (2025). Groundwater Country Profile – Algeria. International Groundwater Resources Assessment Centre, UNESCO/OMM, Delft, Pays-Bas. Disponible en ligne : <https://un-igrac.org/data/country-profiles/algeria/> [Consulté en 2025]
- [21] WMO / IGRAC (2025). State of Global Water Resources Report 2024 – Quantitative Status of Groundwater. Organisation météorologique mondiale & IGRAC, Genève/Delft. Disponible en ligne : <https://un-igrac.org/data/resources/state-of-global-water-resources-report-2024/>