

*Colloque International: Enjeux et trajectoires de l'eau en région MENA :
accaparement et dépossession d'un bien commun ?*

19 Mai 2026

**PROJECTIONS DES BESOINS EN
EAU ET DESSALEMENT DANS LES
PAYS MENA**

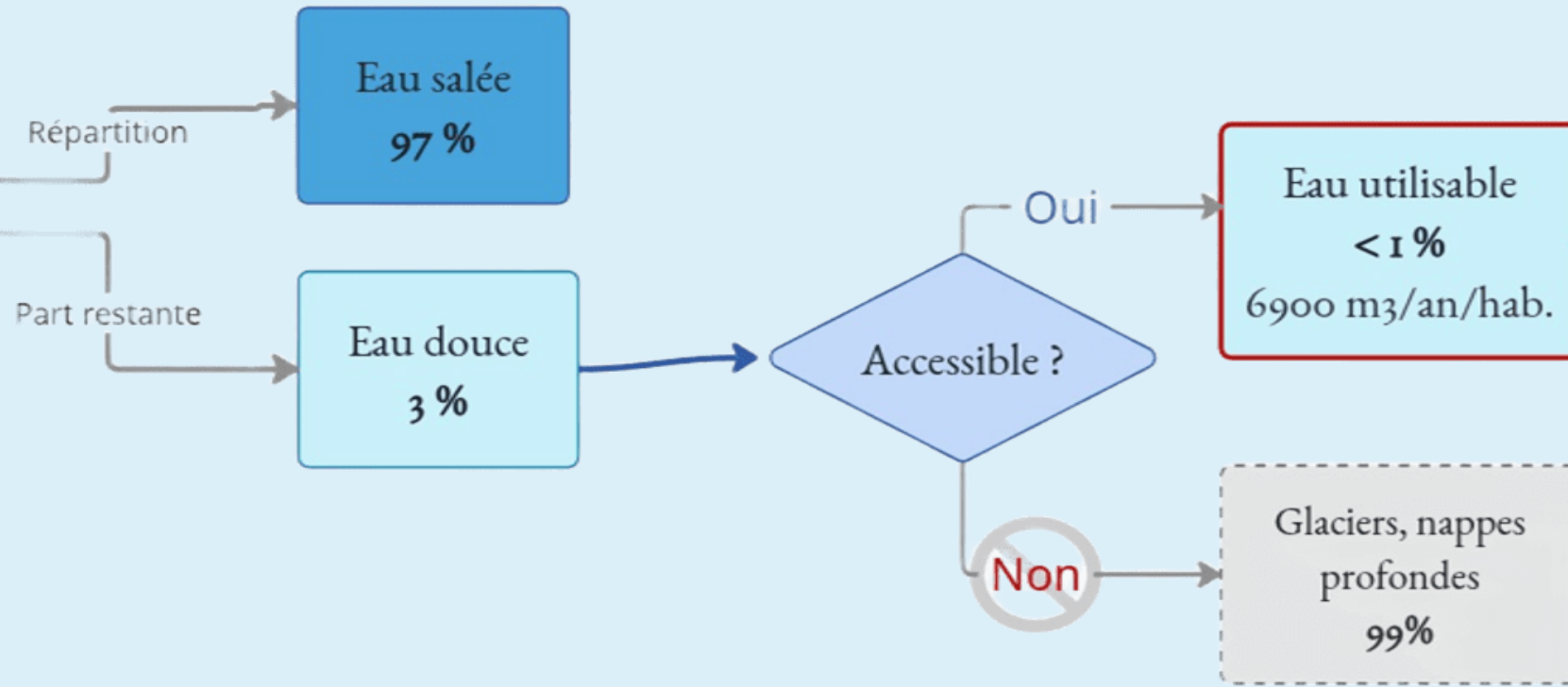
Mourad KERTOUS

Prune MARESCAL DE CHARENTENAY

UMR-AMURE: Université de Brest



Le paradoxe de la planète bleue

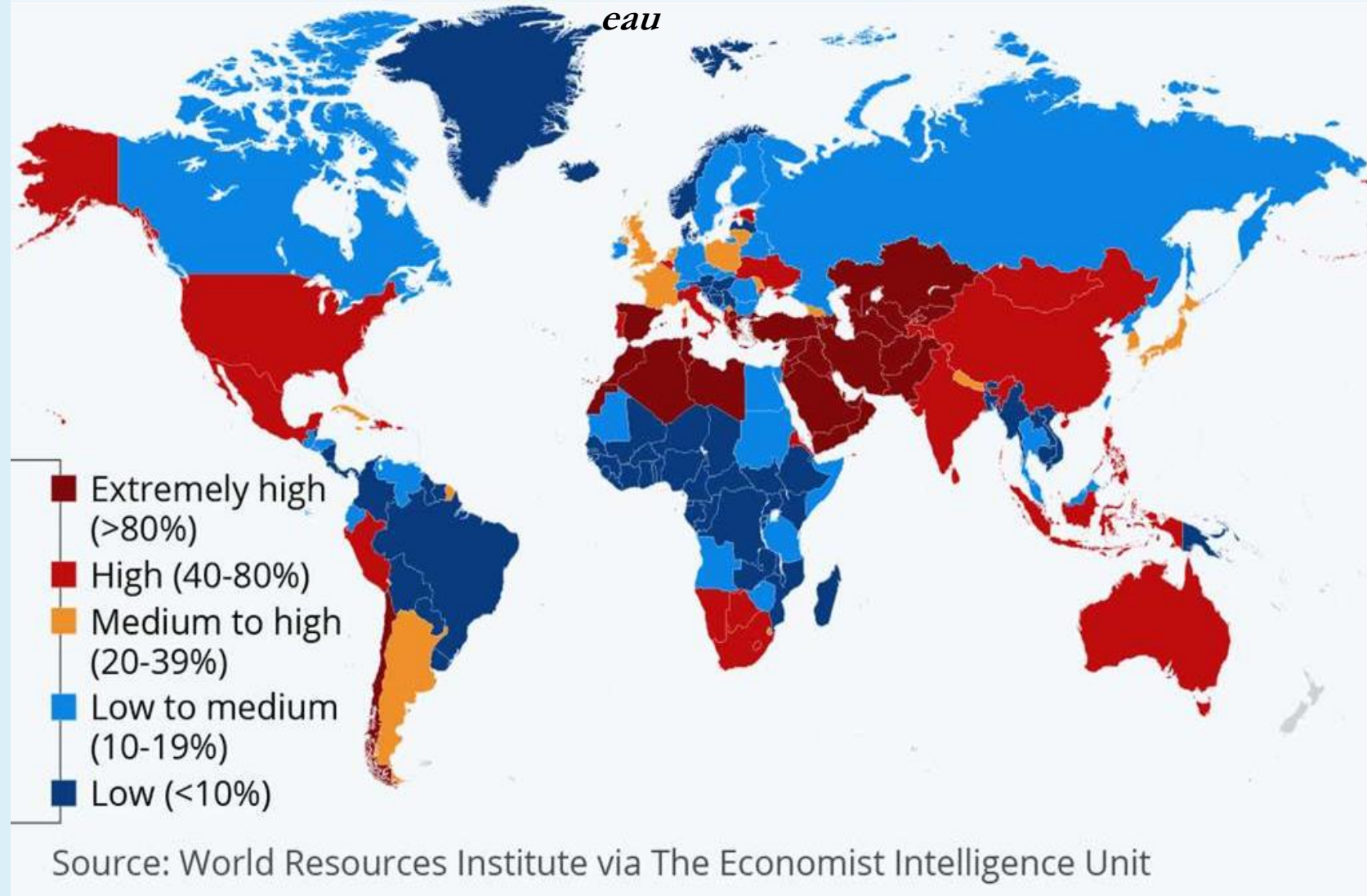


Ressource limitée : Problèmes de répartition, financement, réchauffement climatique, gestion

Introduction

Crise mondiale de l'eau vers une aggravation (2040):

Figure 1 : Ratio entre prélèvements et disponibilité en eau



Introduction (suite)

Le stress hydrique en Méditerranée

- **180 millions de personnes** vivent avec moins de 1000 m³ d'eau par an et par habitant en Méditerranée, surtout au sud et à l'est du bassin
- **60 millions** sont en situation de pénurie sévère (moins de 500 m³ par an et par habitant
- **250 millions de personnes** pourraient être en situation de pénurie d'eau à l'horizon 2050 dans la région méditerranéenne

Problématique

Comment concilier croissance démographique, changement climatique et rareté de l'eau ?

Le dessalement est-il une solution? Serions-nous assez fous pour boire la tasse ?

Objectifs du travail

- ❑ Modéliser l'évolution des ressources en eau d'ici 2100 (scénarios GIEC RCP4.5/RCP8.5)
- ❑ Estimer les besoins en dessalement et leurs impacts (énergie, CO₂, saumure)
- ❑ Méthode : Modèle dynamique basé sur précipitations, évapotranspiration et démographie

2. Dessalement de l'eau de mer : état des lieux

Historique :

- Antiquité : Aristote dans ses *Météorologiques* (Livre 2, 3^{ème} paragraphe) : « L'expérience nous a appris que l'eau de mer est réduite en vapeur devient potable et le produit vaporisé, une fois condensé, ne reproduit pas l'eau de mer ».

Année 50 : USA: Thermique

Aujourd'hui :

- Thermique** (10 %) : évaporation à haute température.
- Osmose inverse** (85 %) : membranes filtrantes, plus efficaces.
- Autres: 5 %** (Congélation ; Électrodialyse ; solaire...)

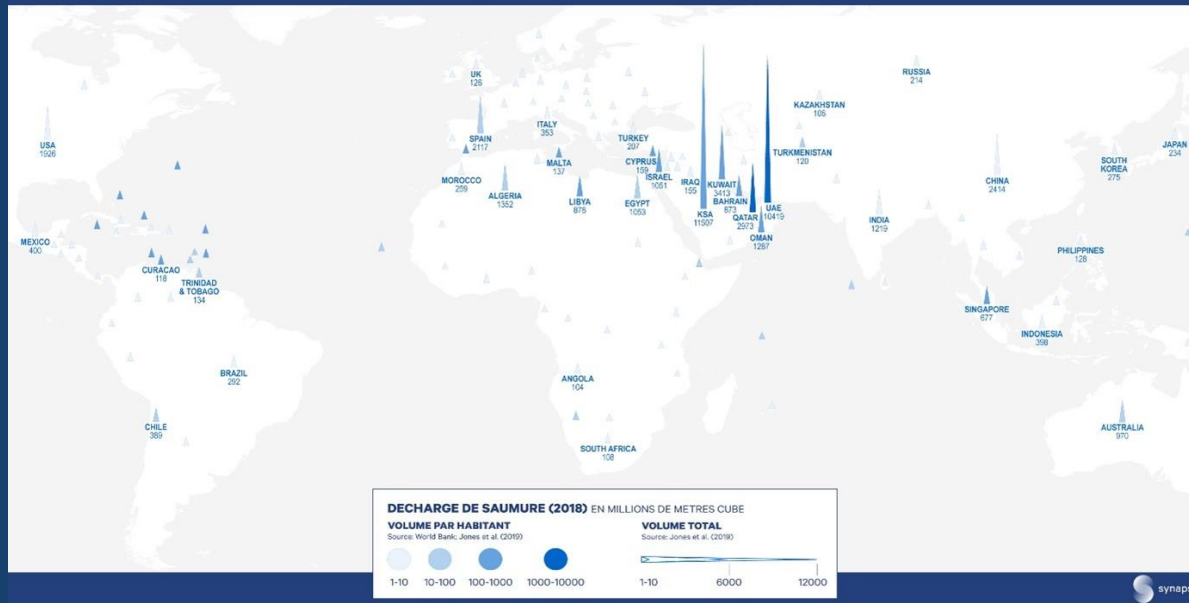
Répartition mondiale :

- Plus de 21 000 usines dans 177 pays.
- Production : 100 millions m³/jour, couvrant 1 % des besoins mondiaux. (Consommation mondiale 10 à 11 milliards de m³/jour)

2. Dessalement de l'eau de mer : état des lieux

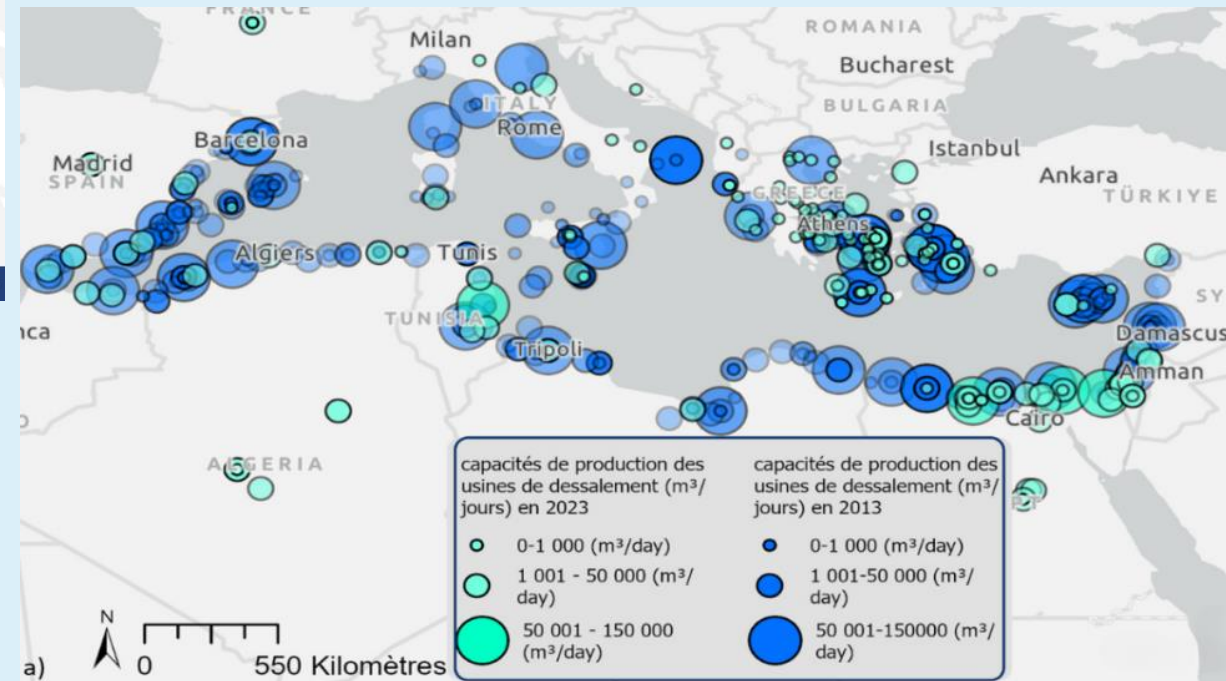
Figure 2 : Répartition des usines de dessalement dans le

Tours de Sel: Les pays du Golfe en tête du dessalement



Source : CAREP (2018)

Figure 3 : Caractérisation des usines de dessalement dans le bassin méditerranéen



Source : Le Plan bleu (2024)

2. Dessalement de l'eau de mer : Les coûts

Coûts énergétiques :

- 3 à 5 kWh/m³ aujourd'hui (contre 20 kWh/m³ dans les années 1970).

Coûts de production variables (0,50–3,00 USD/m³) :

- **Entre 0,50–1,00 USD/m³** pour les installations modernes à grande échelle utilisant l'osmose inverse.

Coûts financiers :

- Marché lucratif, mais inégalités d'accès entre pays riches et pauvres.
- Besoins d'investissements annuels en forte croissance : 10 milliards \$.
L'Algérie a investi 19 Milliards (1999-2010)

2. Dessalement de l'eau de mer

Impacts environnementaux

Rejets de saumures :

- Augmentation de la salinité locale, destruction des herbiers de posidonies, stress sur les récifs coralliens.

Bilan carbone :

- Émissions actuelles : 76 Millions de tonnes de CO₂ (équivalent à la Belgique).
- Prévisions 2050 : 400 Mt (comme les émissions de l'Australie).

Autres impacts :

- Déséquilibres thermiques dus aux rejets d'eau chaude.
- Faible intégration des énergies renouvelables (<1 %).

3.Méthodologie

- **1.Population**

$$P_t = P_0(1 + r)^n$$

- **2. Ressources en eaux**

$$W(t + 1) = W(t) + P(t) - ET(t) - C(t)$$

- **3.Température**

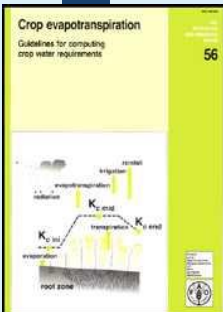
$$\Delta T_t = \gamma * t$$

- Dans notre cas un réchauffement $\gamma=0.03$ (qui correspond à $+3^\circ\text{C}$ en 2100) inspirer du scénario intermédiaire RCP 4.5 et $\gamma=0.06$ pour le scénario RCP 8.5

- **4. Évapotranspiration**

$$ET_t = ET_0 * (1 + \beta * (\Delta T_t))$$

- β : sensibilité de l'évapotranspiration à la température (ce paramètre traduit l'augmentation des pertes d'eau avec la chaleur). Dans notre cas la sensibilité évapotranspiration utilisée sera de $\beta=0.05$. La sensibilité de l'évapotranspiration à la température est généralement estimée entre +4% et +8% par degré ([FAO, Allen et al., 1998](#)).



3.Méthodologie

5. Précipitations

$$\mathbf{\blacksquare} \quad P_t = P_0 \cdot (1 - \alpha \cdot t - \beta \cdot \Delta T_t - \gamma \cdot VEG_t - \delta \cdot DEMO_t) \cdot \frac{1}{1 + e^{-\eta \cdot (\Delta T_t - T_{crit})}} + \varepsilon_t$$

Avec

- **P_t**: Précipitations à l'année t (mm/an)
- **P₀**: Précipitations initiales (mm/an)
- **α**: Taux de décroissance temporelle (an⁻¹)
- **t**: Temps écoulé depuis l'année de référence (années)
- **β**: Sensibilité aux variations de température (°C⁻¹)
- **ΔT_t**: Anomalie de température à l'année t (°C)
- **γ**: Coefficient d'impact de la couverture végétale (mm/an par %)
- **VEG_t**: Couverture végétale à l'année t (%)
- **δ**: Coefficient d'impact démographique (mm/an par habitant/km²)
- **DEMO_t**: Pression démographique à l'année t (habitants/km²)
- **η**: Pente de la fonction logistique
- **T_{crit}**: Seuil critique de température (°C)
- **ε_t**: Terme d'erreur stochastique (mm/an)

3. Méthodologie: Estimation des infrastructures nécessaires pour combler le déficit

6. Estimation du nombre d'usines

$$\text{Nombre d'usines} = \frac{\text{Déficit}_t}{200000 * 365}$$

7. Estimation des rejets d'eau saumâtre

$$\text{Rejets}_t = \text{Production} * 1,5$$

8. Consommation énergétique (en Kwh)

$$E_{it} = \text{Production}_{it} * 5$$

9. Emissions CO2 (en Kg)

$$\text{CO2}_{it} = \text{Production}_{it} * 3$$

4. Résultats : Scénario RCP4.5 (intermédiaire)

Projections des précipitations

Pays	P ₀ (2025)	P ₂₀₅₀	ΔP ₂₀₅₀	P ₂₁₀₀	ΔP ₂₁₀₀
Espagne	600	480	-20%	350	-42%
France (Sud)	800	680	-15%	520	-35%
Italie	700	560	-20%	400	-43%
Grèce	600	450	-25%	300	-50%
Turquie	500	380	-24%	250	-50%
Maroc	350	250	-29%	150	-57%
Algérie	250	180	-28%	100	-60%
Tunisie	300	200	-33%	120	-60%
Égypte	50	30	-40%	15	-70%
Liban	700	520	-26%	350	-50%
Syrie	250	150	-40%	80	-68%

4. Résultats : Scénario RCP4.5 (intermédiaire)

Projections des stocks d'eau

Pays	Stock 2025	Stock 2050	ΔS 2050	Stock 2100	ΔS 2100	Seuil critique
Espagne	35	25	-29%	15	-57%	15
France (Sud)	50	40	-20%	28	-44%	25
Italie	40	30	-25%	20	-50%	20
Grèce	15	10	-33%	6	-60%	5
Turquie	60	40	-33%	25	-58%	25
Maroc	10	6	-40%	3	-70%	3
Algérie	8	5	-38%	2.5	-69%	2
Tunisie	3	2	-33%	1	-67%	1
Égypte	2	1	-50%	0.5	-75%	0.5
Liban	2	1.5	-25%	1	-50%	1
Syrie	5	2	-60%	1	-80%	1

4. Résultats : Scénario RCP4.5 (intermédiaire)

Projections de dessalement

Pays	Dispo 2050 (m ³ /hab/an)	Dispo 2100 (m ³ /hab/an)	Déficit 2050 (Mm ³)	Déficit 2100 (Mm ³)	Usines 2050	Usines 2100
Espagne	480	300	2.5	8	17,125	54,795
France (Sud)	650	450	-1.5	5	-10,275	34,245
Italie	500	320	3	10	20,55	68,495
Grèce	800	400	-1	2	-6,85	13,7
Turquie	400	200	8	20	54,795	136,985
Maroc	150	50	10	15	68,495	102,74
Algérie	120	40	15	20	102,74	136,985
Tunisie	100	30	4	6	27,395	41,095
Égypte	10	2	35	45	239,725	308,22
Liban	250	120	1.5	2.5	10,275	17,125
Syrie	80	20	5	7	34,245	47,945
Total	3540	1932	86,5	140,5	575,345	962,33

4. Résultats : Scénario RCP4.5 (intermédiaire)

Impacts environnementaux

Pays	Rejets saumâtres 2050 (Mm ³)	Rejets 2100 (Mm ³)	Énergie 2050 (TWh)	Énergie 2100 (TWh)	CO ₂ 2050 (Mt)	CO ₂ 2100 (Mt)
Espagne	3,750	12,000	12.5	40	7.5	24
France (Sud)	-2,250	7,500	-7.5	25	-4.5	15
Italie	4,500	15,000	15	50	9	30
Grèce	-1,500	3,000	-5	10	-3	6
Turquie	12,000	30,000	40	100	24	60
Maroc	15,000	22,500	50	75	30	45
Algérie	22,500	30,000	75	100	45	60
Tunisie	6,000	9,000	20	30	12	18
Égypte	52,500	67,500	175	225	105	135
Liban	2,250	3,750	7.5	12.5	4.5	7.5
Syrie	7,500	10,500	25	35	15	21
Total	130,00	230,75	307,5	710	282,5	458,5

Note : Rejets d'eau saumâtre sont exprimés en Milliards de m³, l'Énergie consommée est exprimée en TWh et les émissions de CO₂ en millions de tonnes

4. Résultats : Scénario RCP8.5 (pessimiste)

1) Chute des précipitations :

- **Algérie** : -84% (250 mm → 40 mm); **Maroc** : -78% (350 mm → 80 mm)
- **Égypte** : -90% (50 mm → 5 mm)
- **Turquie** : -70% (500 mm → 150 mm) → **Tous les pays dépassent le seuil critique de 500 m³/habitant/an d'ici 2100.**

2) Disparition des stocks d'eau :

- **Algérie** : -94% (8 → 0,5 Milliards de m³)
- **Maroc** : -90% (10 → 1 milliards m³)
- **Égypte** : -95% (2 → 0,1 Milliards m³)

3) Besoins colossaux en infrastructures :

- **Investissement total** : 3 194 usines en 2100.
- **Algérie** : 404 en 2100 et 301 en 2050
- **Maroc** : 328 en 2100 et 219 en 2050

4. Résultats : Scénario RCP8.5 (pessimiste)

1) Rejets des saumures:

- **Algérie** : 44,250 milliards de m³/an en 2100 (vs. 33 en 2050).
- **Maroc** : 36 milliards de m³/an.
- **Égypte** : 97,350 milliards de m³/an (le plus élevé). → **Total méditerranéen : 349,8 milliards de m³/an**

2) Énergie :

- **Algérie** : 147,5 TWh/an en 2100 (vs. 110 en 2050).
- **Maroc** : 120 TWh/an.
- **Égypte** : 324,5 TWh/an → **Total : 1166 TWh/an**

3) Empreinte carbone :

- **Algérie** : 88,5 Millions de tonnes CO₂/an en 2100 (vs. En 2050).
- **Maroc** : 72 Millions de tonnes CO₂/an.
- **Égypte** : 194,7 Millions de tonnes CO₂/an (équivalent aux émissions annuelles de la **Pologne**) : **Total : 700 millions de tonnes CO₂/an** (Equivalent Allemagne en 2024)

5. Conclusions, Recommandations et perspectives

Gestion intégrée :

- Optimisation des ressources hydriques existantes avant de recourir au dessalement.
- Adapter les usages de l'eau selon les besoins et les origines.

Améliorations technologiques :

- Transition vers les énergies renouvelables (solaire, éolien).
- Valorisation des saumures : industries pharmaceutiques, agricoles.

Perspectives régionales :

- Renforcer la coopération entre pays méditerranéens pour limiter les impacts.
- Le dessalement : une solution complémentaire.
- Des études d'impacts (très rares)