



**HAL**  
open science

# L'eau au Maghreb : quel “ mix ” hydrique face aux effets du changement climatique ?

Moulay-Driss El Jihad, Mohamed Taabni

## ► To cite this version:

Moulay-Driss El Jihad, Mohamed Taabni. L'eau au Maghreb : quel “ mix ” hydrique face aux effets du changement climatique ?. Zeineddine Nouaceur. Eau et climat en Afrique du Nord et au Moyen-Orient, Editions Transversal, pp.11-25, 2017, 978-606-605-166-8. hal-02187508

**HAL Id: hal-02187508**

**<https://hal.science/hal-02187508>**

Submitted on 3 Aug 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



# **Eau et climat en Afrique du Nord et au Moyen-Orient**

Coordonné par  
Zeineddine Nouaceur

Éditions Transversal

# Sommaire

<b>La ressource en eau face aux changements climatiques</b> .....	<b>9</b>
<b>L'eau au Maghreb : quel « mix » hydrique face aux effets du changement climatique ?</b> .....	<b>11</b>
1. Le Maghreb : un contexte hydrogéographique défavorable.....	11
2. Les perspectives de la mobilisation de nouvelles ressources en eau.....	13
3. Les possibilités offertes par les techniques d'économie d'eau.....	17
4. Le commerce d'eau virtuelle : quelles stratégies pour l'orientation des politiques agricoles ?.....	20
<b>Variabilité pluviométrique et changements climatiques au Maghreb central (Maroc, Algérie, Tunisie)</b> .....	<b>27</b>
1. Données et méthodes.....	28
2. Typologie et variabilité climatique de la zone d'étude.....	30
3. Évolution de la pluviométrie sur un peu plus quarante ans d'observations au Maghreb central.....	31
4. Changements climatiques et incidence sur la pluviométrie du Maghreb central.....	35
<b>Le difficile partage de la ressource, l'eau entre tradition et modernisme</b> .....	<b>43</b>
<b>Évaluation du risque de conflit autour des eaux transfrontalières du système aquifère du Sahara septentrional (SASS)</b> .....	<b>45</b>
1. Aperçu sur la méthode GIR (Indice global de risque autour des eaux transfrontalières).....	46
2. Cas du Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS).....	47
3. Indexation numérique du risque de conflit sur les eaux du SASS.....	51
<b>Les foggaras d'Adrar en Algérie : entre déclin et préservation</b> .....	<b>71</b>
1. Le système oasien dans la wilaya de l'Adrar .....	72
2. Les menaces qui pèsent sur le système hydraulique .....	74
3. La réhabilitation des systèmes de drainage et l'intervention de l'état dans le fonctionnement des foggaras.....	76
<b>Commerce et distribution de l'eau dans l'agglomération oranaise (Ouest algérien)</b> .....	<b>81</b>
1. Les arguments qui profitent au commerce de l'eau.....	82
2. Le commerce de l'eau dans deux quartiers périphériques de l'agglomération oranaise (Cheikh Bouamama et Bir El Djir).....	83
3. Le circuit de distribution du commerce de l'eau dans l'agglomération oranaise .....	86
<b>Le Liban, une situation hydrique privilégiée menacée ?</b> .....	<b>91</b>
1. Une recharge problématique .....	92
2- La relation homme/eau au Liban.....	95
3. Les facteurs aggravants dans la gestion de la ressource en eau .....	96
<b>L'eau, entre processus naturel et action anthropique</b> .....	<b>99</b>
<b>Évaluation quantitative de l'érosion hydrique dans un environnement montagnard méditerranéen : cas de quelques bassins marneux du Prérif oriental (Maroc)</b> .....	<b>101</b>
1. Un milieu fragile et propice aux risques d'érosion.....	102
2. Méthodologie .....	103
3. Résultats et Discussion .....	105
<b>La pollution des rejets liquides de la ville de Batna (Algérie). Impacts sur l'agriculture et sur les eaux destinées à l'usage domestique</b> .....	<b>113</b>
1. Situation antérieure à la mise en fonction de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Batna .....	115
2. Situation postérieure à la mise en fonction de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Batna .....	116
3. Problème de l'incohérence des résultats d'analyses.....	121
4. Le défaut de communication sur un problème qui concerne toute une population .....	122

<b>The use of treated wastewater (TWW) in groundwater recharge aquifer in Tunisia : current status and future prospective .....</b>	<b>125</b>
1. Tunisia’s experience in artificial groundwater recharge : highlights and lesson learnt .....	126
2. Methods .....	128
3. Result .....	129
4. Discussion .....	132
<b>Table des matières .....</b>	<b>137</b>
<b>Table des figures et des photos.....</b>	<b>140</b>
<b>Table des tableaux .....</b>	<b>142</b>
<b>Liste des auteurs .....</b>	<b>145</b>

# L'eau au Maghreb : quel « mix » hydrique face aux effets du changement climatique ? \*

**Résumé** - Face à l'augmentation de la demande et à l'impact du changement climatique en cours sur les ressources hydriques, les pays du Maghreb ont amorcé à partir des années 1990 la mise en œuvre de nouvelles politiques publiques combinées de gestion de l'eau que l'on peut qualifier de « mix » hydrique. Si les efforts pour mobiliser davantage de ressources se poursuivent, les nouvelles stratégies s'appuient, d'une part, sur la généralisation des techniques d'irrigation économes en eau, et la lutte contre les pertes dans les réseaux de distribution et, d'autre part, sur le développement de ressources en eau non conventionnelles. Par ailleurs, les stratégies commerciales tendent à favoriser l'importation des produits à contenu élevé en eau virtuelle.

**Mots-clés** : Changement climatique, « mix » hydrique, adaptation, Maghreb.

## Introduction

Menacés par le risque d'aggravation de la pénurie d'eau, les pays du Maghreb sont confrontés à l'augmentation de la demande en eau et à la concurrence entre les différents usages liés au développement économique et à l'accroissement démographique. Cette situation, qui s'aggrave sous l'effet des fluctuations pluviométriques et du changement climatique en cours, souffre également de la mauvaise gestion des ressources hydriques disponibles.

Ces tensions obligent les décideurs politiques à rechercher des solutions autres que l'accroissement du parc de barrages et les transferts interrégionaux. C'est ainsi que le Maroc, l'Algérie et la Tunisie ont développé, à partir des années 1990, de nouvelles politiques publiques de gestion de l'eau que l'on peut qualifier de « mix » hydrique. Il s'agit d'une approche combinant la mobilisation de nouvelles ressources conventionnelles et non conventionnelles (dessalement de l'eau de mer, épuration des eaux usées), l'économie de l'eau à travers la généralisation des techniques efficaces d'irrigation et la lutte contre les pertes dans les réseaux de distribution. Le levier principal de cette approche réside dans une politique de la maîtrise de la demande s'appuyant sur des instruments économiques (tarification progressive, application du principe préleveur-pollueur-payeur, limitation des quotas d'eau d'irrigation...). Par ailleurs, les stratégies commerciales mises en place en la matière tendent à intensifier l'importation des produits à contenu élevé en eau virtuelle.

Cette contribution a pour objectif d'évaluer le contenu, l'ampleur et la viabilité de ces stratégies à moyen terme face aux défis d'adaptation aux conséquences du changement climatique en cours sur les ressources hydriques.

## 1. Le Maghreb : un contexte hydrogéographique défavorable

Bordiers de la Méditerranée et du désert le plus aride du monde, les pays du Maghreb sont soumis sur les deux tiers de leurs territoires au climat méditerranéen de marge. Déjà marquées par leurs fortes variabilités temporelle et spatiale, les précipitations sont largement impactées par le changement climatique en cours. Par ailleurs, l'accroissement démographique, l'urbanisation accélérée et le développement économique ont considérablement accru les besoins en eau tous secteurs confondus.

### 1.1. Des pays souffrant de la pénurie d'eau

Les pays du Maghreb, caractérisés par la prépondérance des nuances climatiques semi-aride à aride, ne bénéficient que de précipitations généralement faibles et sujettes à une variabilité spatiale et temporelle. Sur le plan spatial, les pluies sont marquées par une répartition inégale

---

\* Article rédigé par Moulay – Driss EL JIHAD et Mohamed TAABNI



avec une concentration au niveau des montagnes de l'Atlas et des zones littorales. Ailleurs, soit sur une proportion de 70 % du territoire, elles s'affaiblissent fortement (figure 1). Sur le plan temporel, les précipitations se caractérisent par une variabilité interannuelle importante et surviennent en majeure partie durant la saison froide. Les fortes températures estivales accentuent l'évaporation.

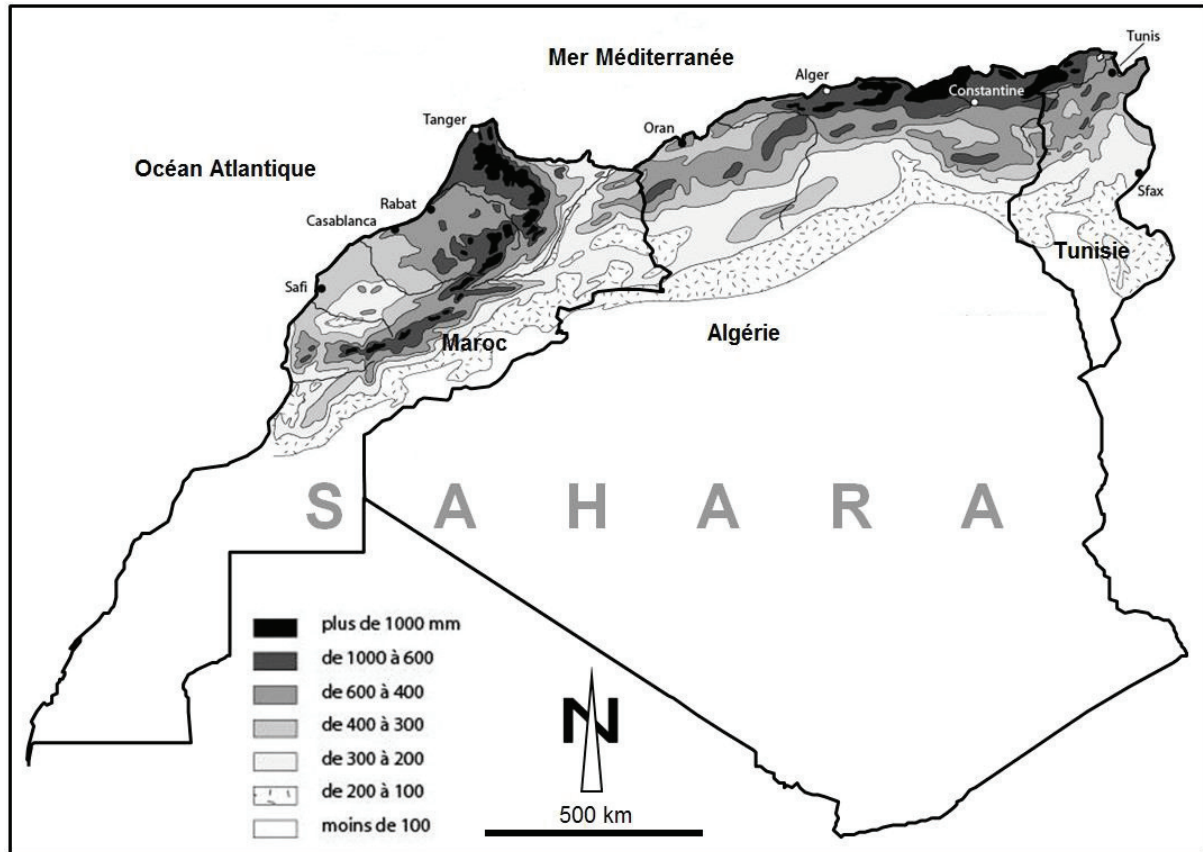


Figure 1. Les précipitations moyennes annuelles (1960-2010), (d'après Mutin, 2011).

Les disponibilités en eau douce par habitant dans les pays du Maghreb ont chuté de plus de 60 % au cours des 40 dernières années. Actuellement, ces pays sont considérés en situation de pénurie hydrique avec des ressources en eau renouvelables en dessous de 1 000 m<sup>3</sup>/hab/an. En 2014, si le Maroc disposait encore de 844 m<sup>3</sup>/hab/an, l'Algérie et la Tunisie ne bénéficiaient, respectivement, que de 294 et 410 m<sup>3</sup>/hab/an (FAO, 2016). Ces faibles dotations revêtent une signification trompeuse dans la mesure où elles renvoient aux ressources renouvelables qui ne sont cependant pas toutes mobilisables. Celles-ci sont en effet inférieures de 20 à 30 % par rapport aux ressources renouvelables. Ce constat illustre bien les difficultés futures des pays maghrébins en matière de sécurité hydrique, notamment pour l'Algérie.

Les bilans régionaux ressources/besoins sont déséquilibrés et généralement déficitaires. Ils vont s'aggraver en raison aussi bien de la croissance de la demande en eau que des impacts du changement climatique.

### 1.2. Une aggravation prévisible de la pénurie d'eau

Les projections climatiques annoncent pour les pays du Maghreb une hausse des températures (de 2 à 4 °C) et une baisse des précipitations (de 10 à 30 %) à l'horizon 2080-2099 (Agoumi, 2003 ; GIEC, 2008 ; Taabni et El Jihad, 2012). Désormais, cette évolution

climatique à venir constitue une préoccupation majeure pour les États maghrébins. À l'horizon 2090/2099, une diminution significative des ressources hydriques est prévue, pouvant atteindre 40 % au nord du Maghreb (figure 2).

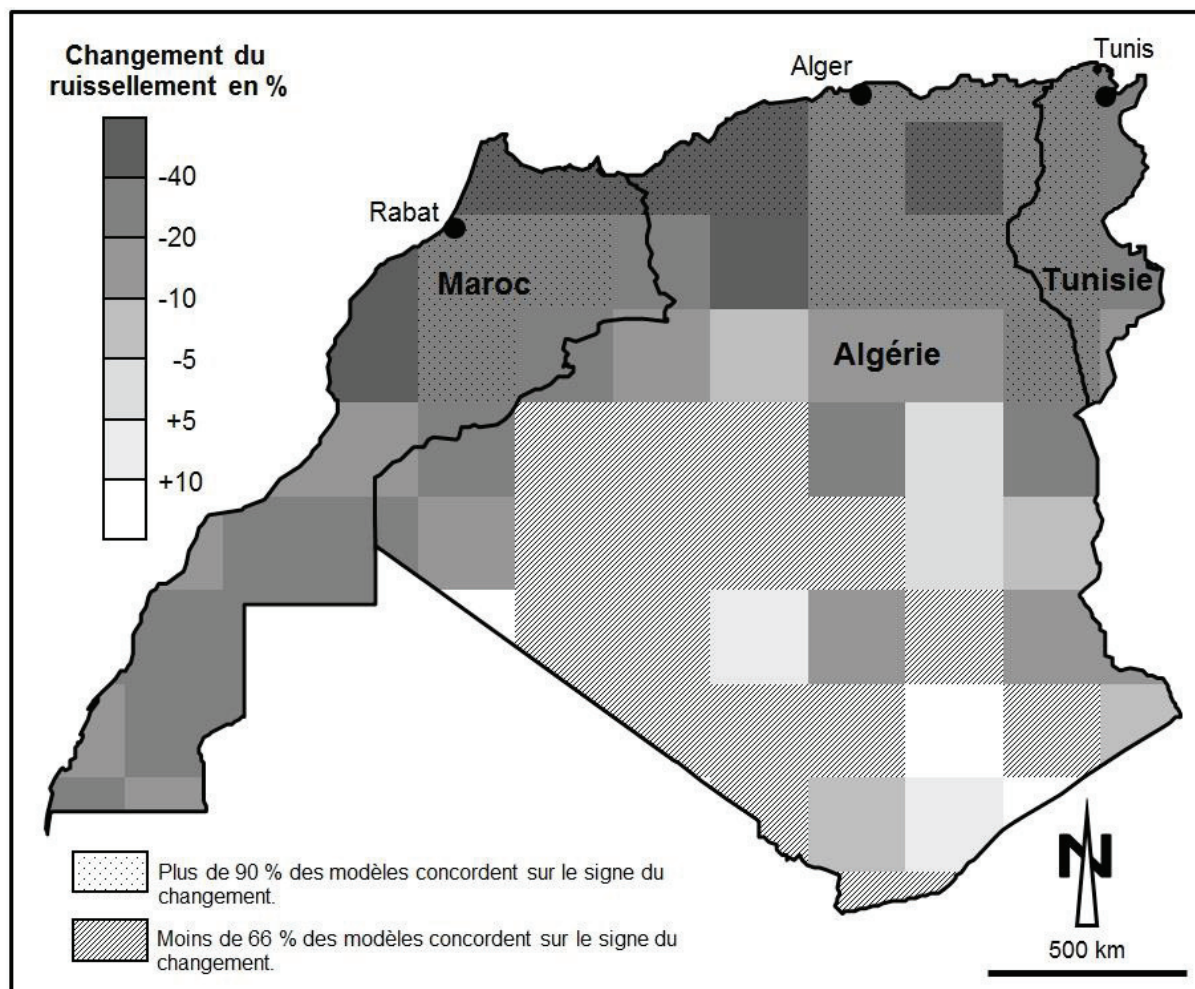


Figure 2. Le changement du ruissellement annuel pour la décennie 2090/2099 par rapport à 1980/1999 (d'après GIEC, 2008 ; Bates et al., 2008).

Avec les risques accrus de pénurie, les équipements hydrauliques de mobilisation existants s'avèrent insuffisants face à la montée des besoins de la population, de l'agriculture, de l'industrie et du tourisme. Les secondes « Communications nationales » des pays maghrébins à la Convention-cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques donnent un bon aperçu de la vision stratégique qui anime les décideurs maghrébins (Algérie, 2010 ; Maroc, 2010 ; Tunisie, 2009). Par leur engagement dans les instances internationales, la ratification des accords sur le climat et la mise en place des Comités nationaux sur le changement climatique, les décideurs et les scientifiques maghrébins ont orienté leurs politiques de gestion des eaux vers une approche plus économique qui valorise leur usage à travers la régulation tarifaire, l'incitation aux techniques d'irrigation économes en eau et le développement de ressources en eau non conventionnelles. Enfin, l'affirmation de la valeur économique de l'eau passe également par la prise en compte de l'eau virtuelle dans les stratégies commerciales (figure 3).

## 2. Les perspectives de la mobilisation de nouvelles ressources en eau

Bien avant la prise en compte des conséquences du changement climatique et du fait de la sensibilité de la situation hydrique du Maghreb, des politiques volontaristes ont été mises en œuvre pour augmenter l'offre grâce à la mobilisation des eaux superficielles et souterraines par

une politique systématique de construction de grands barrages et de forages. Par ailleurs, ces efforts se sont orientés également, à partir de 2000, vers la construction de stations de dessalement d'eau de mer et d'épuration des eaux usées pour compléter les disponibilités hydriques et réduire le déficit.

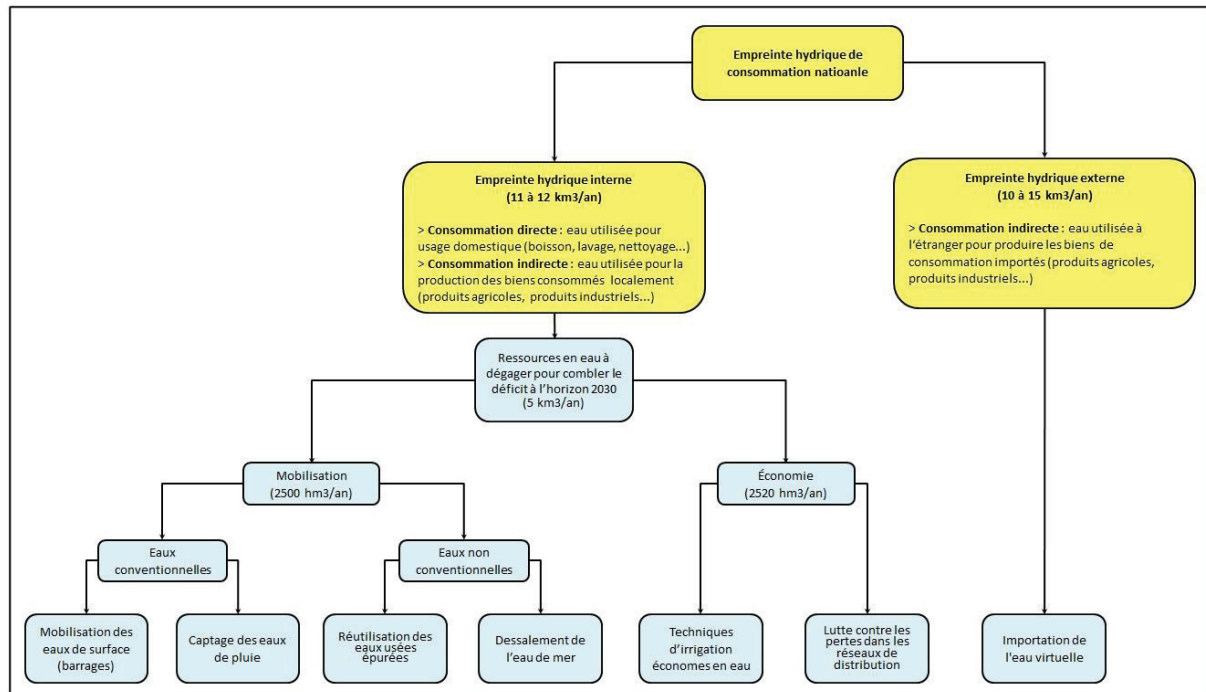


Figure 3. Le « mix » hydrique dans la composition de l'empreinte hydrique de consommation d'un pays, ici l'exemple du Maroc à l'horizon 2030 (organigramme inspiré de Serraj, 2013 ; Mekonnen and Hoekstra, 2011).

## 2.1. Les limites de la mobilisation des ressources en eau conventionnelles

Si au Maghreb les eaux souterraines renouvelables sont déjà largement mobilisées et même surexploitées (entraînant localement des intrusions marines dans les zones littorales), les ressources en eaux superficielles renouvelables demeurent cependant incomplètement mobilisées. C'est la raison pour laquelle les décideurs politiques ont toujours consenti d'énormes moyens financiers pour accroître le parc de barrages. Ces derniers sont les seules infrastructures qui sont en mesure de mobiliser une quantité d'eau suffisante pour rentabiliser les grands transferts interbassins ou interrégionaux dans les trois pays.

La demande en eau au Maroc, qui atteindrait  $16,7 \text{ km}^3$  en 2030 contre  $13,7 \text{ km}^3$  actuellement, pose un vrai défi en matière de mobilisation des eaux. Les barrages à construire d'ici à 2030 permettraient de mobiliser un volume supplémentaire de  $1700 \text{ hm}^3/\text{an}$  d'eaux de surface (figure 4). De son côté, l'Algérie compte doubler son parc de barrages à l'horizon 2030, actuellement de l'ordre de 70 barrages. Cet effort devrait permettre la mobilisation d'un volume total de  $12 \text{ km}^3$ , contre  $8,3 \text{ km}^3$  actuellement.

Si les indices d'exploitation des eaux renouvelables sont déjà élevés, notamment en Algérie (67 %) et en Tunisie (70 %), la mobilisation des eaux superficielles et souterraines exploitables est en voie d'atteindre son plafond (FAO, 2016). Toutefois, les marges pour dégager d'autres ressources exploitables à partir des ressources en eau renouvelables sont relativement importantes. Néanmoins, la maîtrise accrue du ruissellement, notamment dans le cas de



l'Algérie, rencontre des contraintes techniques et économiques qui rendent compte de la faible augmentation du volume régularisé.

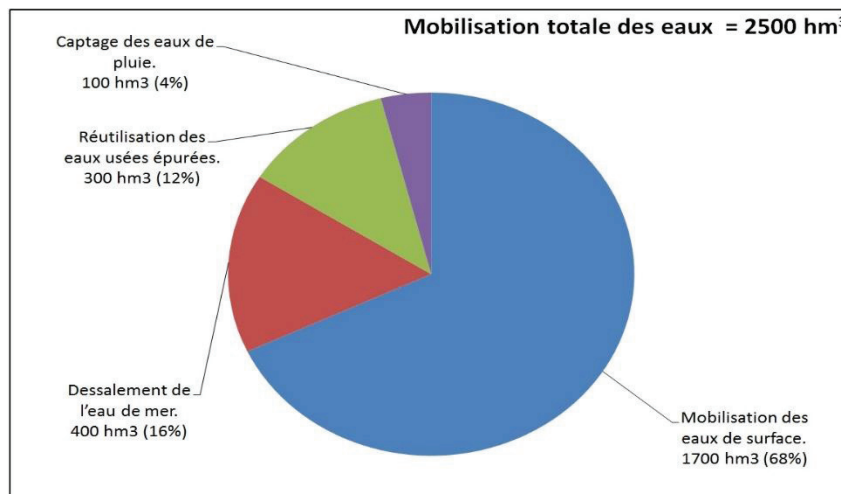


Figure 4. Maroc : de nouvelles ressources en eau à dégager par la mobilisation hydraulique à l'horizon 2030 (d'après Serraj, 2013).

La mobilisation des eaux conventionnelles risque ainsi d'atteindre ses limites plus tôt que prévu en raison, notamment des réductions des disponibilités du fait du changement climatique (figure 2). Par ailleurs, la création de retenues ne peut se faire qu'à un coût de plus en plus élevé, non seulement parce que les meilleurs sites de barrages sont déjà utilisés, mais aussi parce que ces barrages entraînent des coûts sociaux et environnementaux importants, notamment le déplacement des populations, l'envoyage des terres fertiles et leur envasement.

En effet, l'envasement accéléré des retenues des barrages, du fait de la forte érosion des sols, entraîne, en moyenne annuelle, la perte d'un potentiel en eau d'irrigation de 16 500 ha/an à l'échelle du Maghreb. À l'horizon 2030, cette perte atteindrait 124 000 ha/an et on imagine mal comment les pouvoirs publics pourraient améliorer la durabilité des barrages étant donné que les approches sectorielles, mises en œuvre jusqu'à présent pour lutter contre l'envasement, se sont soldées par l'aggravation du phénomène malgré l'importance des moyens engagés en matière de dévasement des barrages et du reboisement des bassins versants affectés (Lahlou, 1996 ; Remini et Remini, 2003 ; El Jihad, 2010 ; Taabni et El Jihad, 2012).

La récupération des eaux de pluie (à partir des toits et autres surfaces imperméables bâties) permettrait de disposer de volumes d'eau non négligeables dans des bassins ou réservoirs, pouvant servir aux toilettes, au nettoyage du sol, aux jardins, etc. Au Maroc, la collecte et le stockage des eaux de pluie des toitures permettraient de mobiliser un volume de 100 hm<sup>3</sup>/an à l'horizon 2030, soit 4 % du total des eaux à mobiliser (figure 4).

Si la pratique traditionnelle du captage de l'eau de pluie existe dans certaines campagnes du Maghreb, elle n'est pas encore intégrée dans les nouveaux lotissements d'habitat individuel. On note cependant, en milieu rural, la présence de nombreux bassins de collecte dont les eaux sont destinées à l'irrigation. Cette technique à faible coût devrait être systématiquement encouragée dans les politiques nationales.

## 2.2. L'impératif de la mobilisation de nouvelles ressources en eau non conventionnelles

L'épuration des eaux usées et le dessalement de l'eau de mer montent en puissance dans les politiques nationales maghrébines d'adaptation au changement climatique. Ils sont promus

comme une alternative stratégique permettant respectivement de développer l'irrigation (petite et moyenne hydraulique) et de sécuriser l'alimentation en eau potable des villes du littoral.

### 2.2.1. L'apport de la réutilisation des eaux usées épurées

Que ce soit au niveau de la collecte des eaux usées ou de leur épuration, la question de l'assainissement liquide demeure un volet insuffisamment pris en compte dans les stratégies de valorisation des eaux non conventionnelles (figure 5). Pour améliorer la situation, les bailleurs de fonds, via leurs contributions, incitent les États à intégrer la collecte et le recyclage des eaux usées dans les stratégies nationales de développement des ressources.

En 2010, on comptait au Maghreb quelque 200 stations d'épuration des eaux usées (35 % au Maroc, 50 % en Algérie et 15 % en Tunisie). Ces stations sont mal entretenues et fonctionnent de manière irrégulière. Par conséquent, l'examen de la figure 5B montre que les taux d'épuration demeurent faibles, notamment au Maroc (28 %) et en Algérie (46 %). En revanche, la Tunisie est pionnière en ce domaine (94 %). La réutilisation globale des eaux épurées demeure cependant faible dans ces trois pays.

L'impact direct des eaux usées sur la santé publique et la sécurité hydrique rendent urgent la construction de nouvelles stations et l'amélioration de leur gestion. Au Maroc, l'amélioration de la collecte des eaux usées et le développement de leur épuration permettraient ainsi de mobiliser un volume de 300 hm<sup>3</sup>/an à l'horizon 2030, soit 12 % du total (fig. 5).

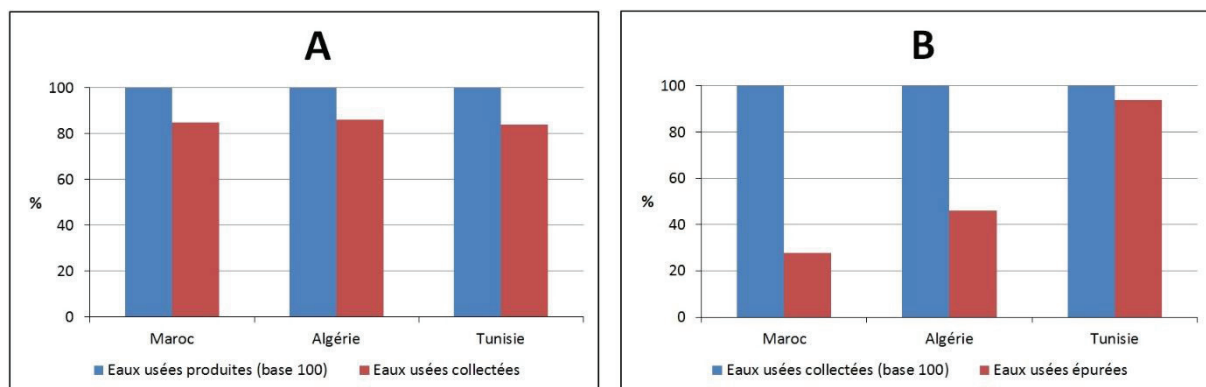


Figure 5. Les taux de collecte (A) et d'épuration (B) des eaux usées domestiques en 2012 (d'après la FAO, 2016).

### 2.2.2. Le dessalement de l'eau : une option devenue incontournable pour la sécurisation de l'eau potable

Le dessalement de l'eau de mer et/ou des eaux saumâtres est devenu indispensable pour sécuriser l'approvisionnement en eau potable, notamment des villes côtières, en pleine croissance depuis un demi-siècle. Plus des trois quarts de la population maghrébine vivent à moins de 100 km de la mer, soit la distance maximale acceptable pour le transfert d'eau dessalée.

Depuis 1976, le Maroc a construit plusieurs unités de dessalement dont la capacité de production annuelle est, actuellement, de l'ordre de 8 hm<sup>3</sup>. À l'horizon 2030, cette capacité atteindrait 400 hm<sup>3</sup>. Les plus importantes stations seront construites à Agadir et au complexe industriel de Jorf-Lasfar situé à 100 km au sud de Casablanca. Sur le littoral méridional tunisien, c'est surtout le dessalement d'eau saumâtre des nappes souterraines qui a été pratiqué depuis les années 1980. La capacité de production, qui s'élève en 2012 à plus de 36 hm<sup>3</sup>, sera multipliée par 5 à 6 à l'horizon 2030 dont les deux tiers seraient assurés à partir de l'eau de mer (Taabni et El Jihad, 2012 ; FAO, 2016 ; Belhaj, 2012).

L'Algérie, le plus confronté des trois pays à la pénurie d'eau, a mis en œuvre à grande échelle le dessalement d'eau de mer (trois quarts) ou d'eau saumâtre (un quart) pour alimenter en eau potable des villes et localités du littoral (Oran, Alger, Bejaia, Annaba, Skikda...), et jusqu'à 60 km à l'intérieur. Les premières expériences de dessalement dans le pays ont été réalisées après l'indépendance pour les besoins d'usines littorales. En 2013, la capacité annuelle de production globale est de 511 hm<sup>3</sup>. Toutes les stations ont une capacité de production inférieure à 200 000 m<sup>3</sup>/j à l'exception de celle d'El Maqtaâ (500 000 m<sup>3</sup>/j), près d'Oran, récemment mise en service. Cette dernière est l'une des plus grandes stations au monde. L'Algérie pourrait atteindre une capacité annuelle de production de 950 hm<sup>3</sup> à l'horizon 2030 (Boyé 2008 ; Taabni et El Jihad, 2012 ; Mozas et Ghosn, 2013).

L'avenir du dessalement reste cependant tributaire du coût de l'énergie. Le grand potentiel des pays maghrébins en énergie renouvelable, notamment l'énergie solaire, pourrait être mobilisé pour le dessalement (HCP, 2008 ; Ghilès, 2008).

### ***2.2.3. Les ressources en eaux souterraines fossiles***

L'exhaure des eaux souterraines est plus ou moins aisée. Les eaux des nappes de faible profondeur sont généralement renouvelables et faciles à extraire et, par conséquent, sont dites conventionnelles. Cependant, lorsque les eaux souterraines sont à des profondeurs importantes comme au Sahara, elles sont moins accessibles et souvent non renouvelables. De ce fait, elles font partie des ressources non conventionnelles et leur pompage et traitement nécessitent des techniques spécifiques coûteuses, car elles sont très minéralisées.

Concernant ces ressources souterraines fossiles, l'Algérie et la Tunisie se distinguent du Maroc par l'importance des aquifères sahariens. Ces ressources sont quasiment non renouvelables (fossiles), mais encore faiblement exploitées à ce jour. Des études ont montré que les réserves de ces aquifères sont estimées à 60 000 km<sup>3</sup>, dont 40 000 km<sup>3</sup> dans le sous-sol algérien. Leur exploitation actuelle, à hauteur de 1,7 et de 0,7 km<sup>3</sup>/an, respectivement pour l'Algérie et la Tunisie, sert principalement à l'irrigation de quelque 200 000 ha et 50 000 ha dans leurs déserts respectifs, consacrés notamment à la céréaliculture et au maraîchage. Les villes sahariennes en Algérie sont également approvisionnées en eau à partir de ces nappes. Les coûts d'exploitation en matière d'exhaure et de traitement des eaux sont très élevés et l'évaporation intense entraîne des dotations qui peuvent atteindre 10 000 m<sup>3</sup>/ha/an (Mutin, 2011 ; Taabni et El Jihad, 2012).

## **3. Les possibilités offertes par les techniques d'économie d'eau**

Afin d'augmenter le potentiel hydrique exploitable, des efforts sont déployés par les gestionnaires maghrébins pour moderniser les techniques d'irrigation. Par ailleurs, les infrastructures hydrauliques et les stations de traitement sont le plus souvent éloignées des zones d'utilisation (terres d'irrigation, villes...). Par conséquent, des transferts importants sont effectués par le biais de réseaux divers, occasionnant des pertes notables. Le défi pour réduire ces pertes réside dans le développement d'une infrastructure de transfert des eaux plus efficace.

### ***3.1. Vers une généralisation des techniques d'irrigation économes en eau***

Les besoins en eau d'irrigation arrivent en tête, notamment au Maroc et en Tunisie (figure 6). Les bailleurs de fonds (Banque mondiale, Union européenne...) considèrent que la tarification actuelle de l'eau n'incite pas à l'économie de cette ressource. La pratique de l'irrigation de surface qui reste encore majoritaire, notamment au Maroc et en Algérie (figure 7), engendre des pertes allant de 20 à 30 % des eaux. Dans ce secteur, les mesures d'adaptation à la rareté de l'eau apparaissent difficiles, car il faut réguler dans un contexte socio-économique déjà fragile

et sous tension. À défaut d'augmenter le prix de l'eau, l'approche quantitative s'est avérée efficace en matière de maîtrise de la demande en eau et d'incitation au changement des comportements des irrigants. Par conséquent, les quantités distribuées ont ainsi connu une baisse importante afin d'inciter les irrigants à s'équiper en moyens performants, notamment le goutte-à-goutte (Taabni et El Jihad, 2012).

L'irrigation localisée se développe de plus en plus par rapport à l'aspersion dans toutes les régions. La superficie équipée en techniques d'irrigation économes en eau (localisée et aspersion) est mieux représentée en Tunisie (86 %) et en Algérie (42 %) qu'au Maroc (28 %) (FAO, 2016). Afin de maîtriser la demande, les politiques de gestion des eaux encouragent, depuis une décennie, les projets utilisant les techniques efficaces d'irrigation en aidant les agriculteurs à s'équiper grâce à des subventions. L'objectif est d'atteindre 80 % environ des terres irriguées à l'horizon 2030. La modernisation de l'irrigation est un moyen efficace pour l'économie d'eau. Au Maroc, elle permettrait d'économiser 2 km<sup>3</sup>/an, soit 79 % d'économie totale (figure 8).

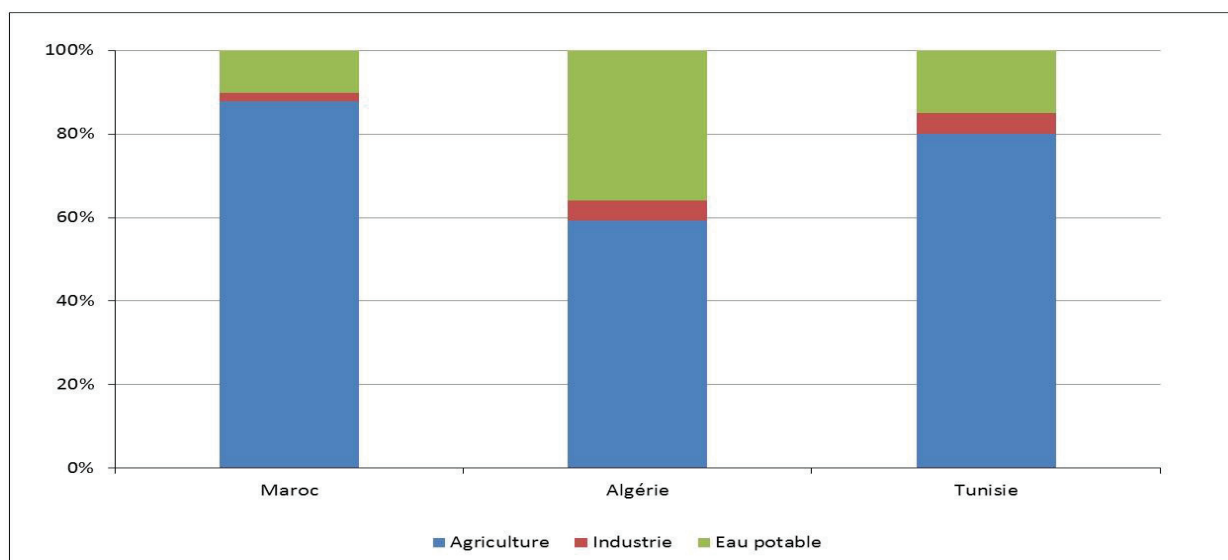


Figure 6. Les prélèvements d'eau par secteur (%) dans les pays du Maghreb en 2012 (d'après FAO, 2016).

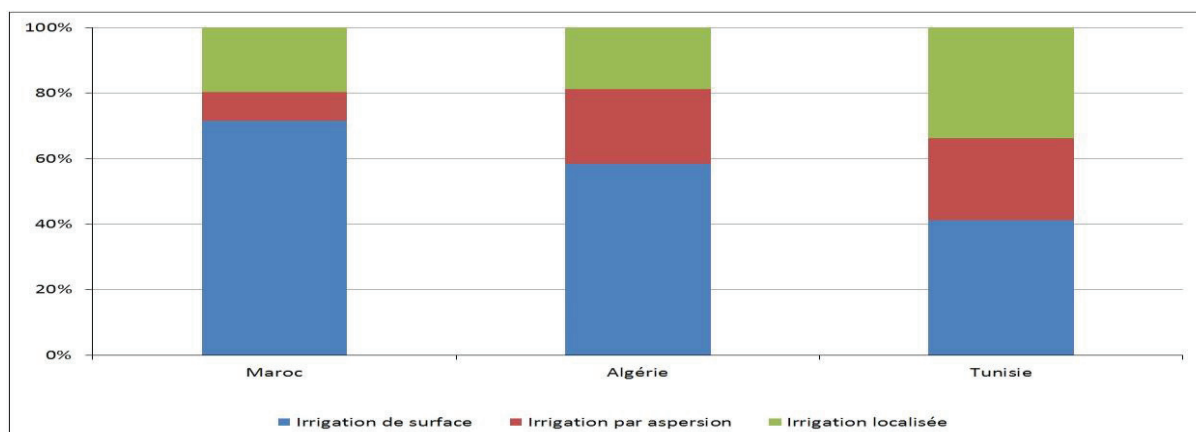


Figure 7. Les modes d'irrigation pratiqués dans les pays du Maghreb en 2012 (d'après FAO, 2016).

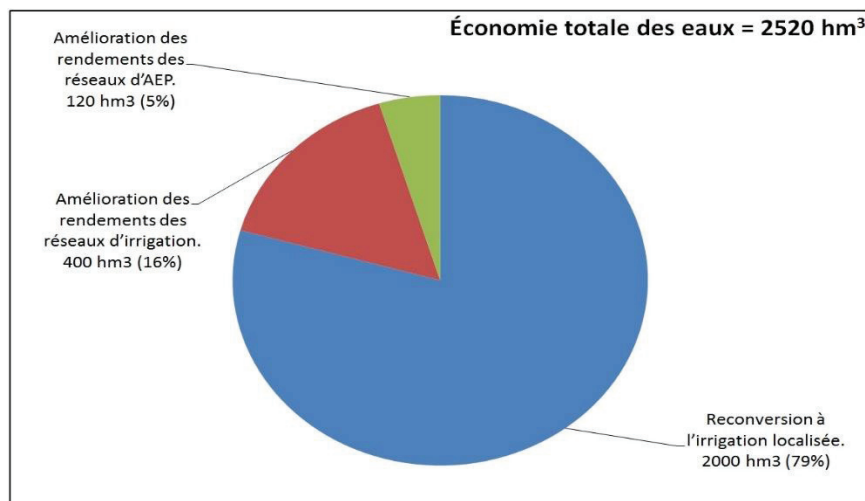


Figure 8. Maroc : de nouvelles ressources en eau à dégager par économie à l'horizon 2030 (d'après Serraj, 2013).

Le goutte-à-goutte est considéré comme un système d'irrigation beaucoup moins consommateur d'eau que l'aspersion qui arrose aussi bien la plante que son environnement, ce qui représente une source de gaspillage, quoique moins importante que dans le cas de l'irrigation inondant les champs. Toutefois, l'impact du changement climatique aussi bien sur la vocation agricole des terres que sur l'intensité de l'évapotranspiration potentielle risque de compromettre l'efficacité de l'irrigation localisée et d'entraîner une augmentation des besoins en eau, notamment dans les milieux semi-arides.

Si l'irrigation nocturne pour réduire l'évaporation est déjà pratiquée dans de nombreux endroits, la solution du goutte-à-goutte enterré qui apporte l'eau directement aux racines de la plante demeure une pratique très peu utilisée. L'eau n'étant pas visible, l'installation du système requiert un minimum d'instrumentation pour suivre et ajuster les apports d'eau. Par ailleurs, la vulnérabilité des tuyaux au colmatage et aux intrusions racinaires nécessite un entretien assez coûteux (Mailhol et al, 2013).

### 3.2. Réduire les pertes dans les réseaux d'eau potable et d'irrigation

Les pays du Maghreb misent également sur la lutte contre les pertes dans les réseaux de distribution des eaux afin de faire des économies. À titre d'exemple, le Maroc pourrait dégager une économie d'eau de 400 hm<sup>3</sup>/an à l'horizon 2030 par le biais de l'amélioration des rendements des réseaux d'irrigation, soit 16 % du total des économies d'eau (fig. 8). Actuellement, 20 à 30 % des eaux destinées à l'irrigation se perdent lors de leur acheminement dans des canaux d'amenée mal entretenus et, souvent, non bétonnés. Dans le domaine de l'eau potable, les pertes d'eau dans les réseaux de distribution sont encore importantes notamment en Algérie où elles atteignent 50 % des eaux produites (figure 9A). Au Maroc, la réhabilitation de l'ensemble du réseau d'alimentation en eau potable permettrait d'économiser un volume de 120 hm<sup>3</sup>/an à l'horizon 2030, soit 5 % du total des économies d'eau.



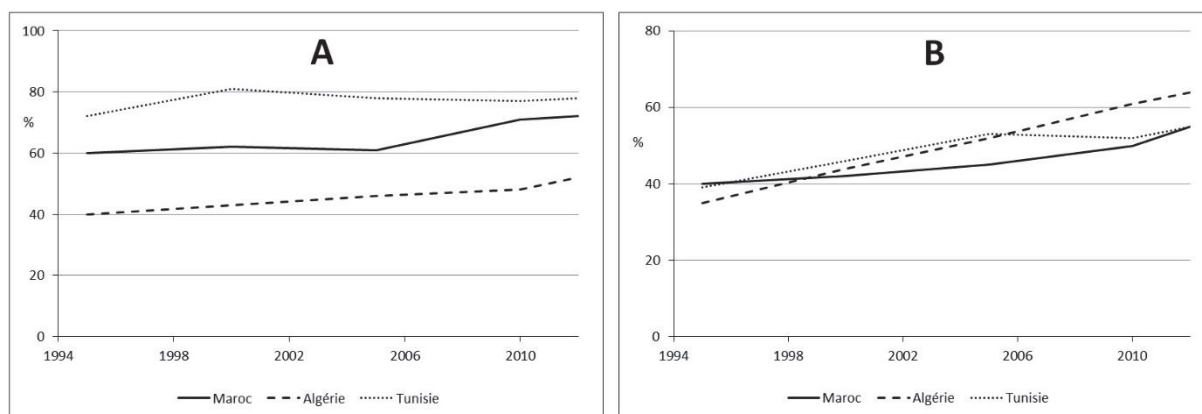


Figure 9. Évolution des rendements (réseaux et usage) d'eau potable (A) et d'irrigation (B) au Maghreb de 1995 à 2012 (d'après Blinda, 2012).

Que ce soit dans le domaine de l'irrigation ou celui de l'eau potable (réseaux et usage), l'évolution des rendements a enregistré des améliorations notables depuis 1995 dans l'ensemble des pays du Maghreb. Dans le domaine de l'irrigation, le rendement qui était de 40 % en 1995 a atteint en 2012 environ 60 % dans les trois pays (figure 9B). Dans le domaine de l'eau potable, les rendements des réseaux de distribution varient d'un pays à l'autre (figure 9A). C'est la Tunisie qui a enregistré le meilleur score entre 1995 et 2012 (70 à 80 %), suivie du Maroc (60 à 70 %) et l'Algérie (40 à 50 %).

#### 4. Le commerce d'eau virtuelle : quelles stratégies pour l'orientation des politiques agricoles ?

L'empreinte hydrique est un indicateur essentiel pour mesurer l'impact des activités humaines (industrielles, agricoles, domestiques...) sur l'eau. L'empreinte hydrique se définit comme le volume total d'eau douce utilisé pour produire les biens et services consommés par une personne, un pays, une entreprise, ou un secteur économique. On distingue deux types d'empreintes hydriques : l'empreinte hydrique de production et l'empreinte hydrique de consommation.

L'empreinte hydrique de production nationale correspond au volume total d'eau douce consommé ou dégradé par la production de biens à l'intérieur du territoire d'un pays. Elle se compose de l'empreinte hydrique interne de consommation (l'eau utilisée pour fabriquer les produits consommés localement), et de l'eau virtuelle utilisée pour fabriquer localement des produits destinés à l'export.

L'empreinte hydrique de consommation nationale est constituée d'une empreinte hydrique interne qui renvoie au volume d'eau requis pour fabriquer les produits consommés localement, et d'une empreinte hydrique externe formée d'eau virtuelle utilisée pour produire les biens importés (figure 3).

Si l'empreinte hydrique de production mesure la pression qui pèse sur les ressources en eau locales, l'empreinte hydrique de consommation permet d'évaluer la dépendance de l'économie d'un pays à l'égard des ressources hydriques extérieures. Dans ce qui suit, nous analyserons quelques aspects de l'empreinte hydrique de consommation.

#### 4.1. Des empreintes hydriques totales de consommation relativement importantes

La notion d'empreinte hydrique est étroitement liée à celle de l'eau virtuelle en ce sens que les quantités d'eau directement consommées (boisson, lavage, nettoyage...) par une personne ne représentent qu'un faible volume, soit moins de 50 m<sup>3</sup>/hab/an en général.

L'empreinte hydrique envisage le volume et le type d'eau. Ce dernier comprend trois composantes : l'empreinte eau bleue (eaux de surface et eaux souterraines), l'empreinte eau verte (eaux de pluie), l'empreinte eau grise (volume d'eau douce requis pour diluer les polluants). L'empreinte hydrique tient compte également de l'endroit et de la période d'utilisation de l'eau.

En revanche, l'eau virtuelle ne mesure que le volume d'eau nécessaire à la production, c'est-à-dire les ressources réellement utilisées pour la production de biens (agricoles et industriels) et services. La littérature regorge d'exemples de quantités d'eau nécessaires à la production de biens de consommation (1900 litres pour 1 kg de riz, 18 000 litres pour 1 kg de beurre, 2400 litres pour un hamburger, 8000 litres pour une paire de chaussures en cuir, 2700 litres pour un t-shirt en coton...).

L'estimation de l'empreinte hydrique fournit une image estimative des quantités d'eau exigées par les modes de vie actuels. Les pays du Maghreb ont en moyenne une empreinte hydrique totale qui rivalise avec, voire dépasse (cas de la Tunisie), celle des pays développés. La figure 10, exposant les données moyennes relatives à la période 1996-2005, montre que l'empreinte hydrique de consommation d'un Maghrébin (1732 m<sup>3</sup>/hab/an, soit 4,75 m<sup>3</sup>/hab/jour) est supérieure de 20 % à la moyenne mondiale (1385 m<sup>3</sup>/hab/jour). C'est en Tunisie que cette empreinte hydrique est la plus forte avec 2217 m<sup>3</sup>/hab/jour alors qu'au Maroc et en Algérie, elle est respectivement de 1725 et 1589 m<sup>3</sup>/hab/jour. Il est utile de préciser que la consommation des produits agricoles représente la partie prédominante de l'empreinte hydrique de consommation au Maghreb, soit 96 % du total. Cette proportion diffère très peu d'un pays maghrébin à l'autre (Mekonnen and Hoekstra, 2011 ; Ferragina et Canitano, 2013).

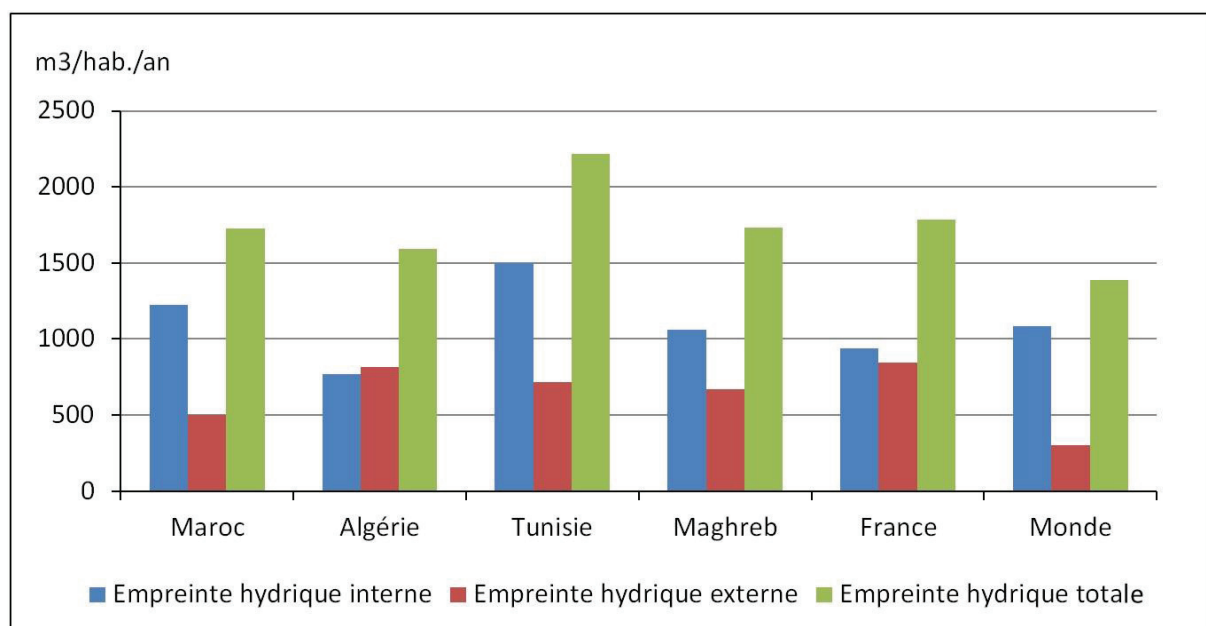


Figure 10 : Empreintes hydriques (interne, externe, totale) moyennes annuelles de consommation des pays du Maghreb et de la France (période 1996-2005), (d'après Mekonnen and Hoekstra, 2011).

#### 4.2. Des empreintes hydriques externes relativement faibles

En moyenne, 61 % de l'empreinte hydrique de consommation du Maghreb est interne. Cela signifie que 39 % de cette empreinte est liée aux importations (figure 11). Ce taux de dépendance est supérieur à la moyenne mondiale (22 %).

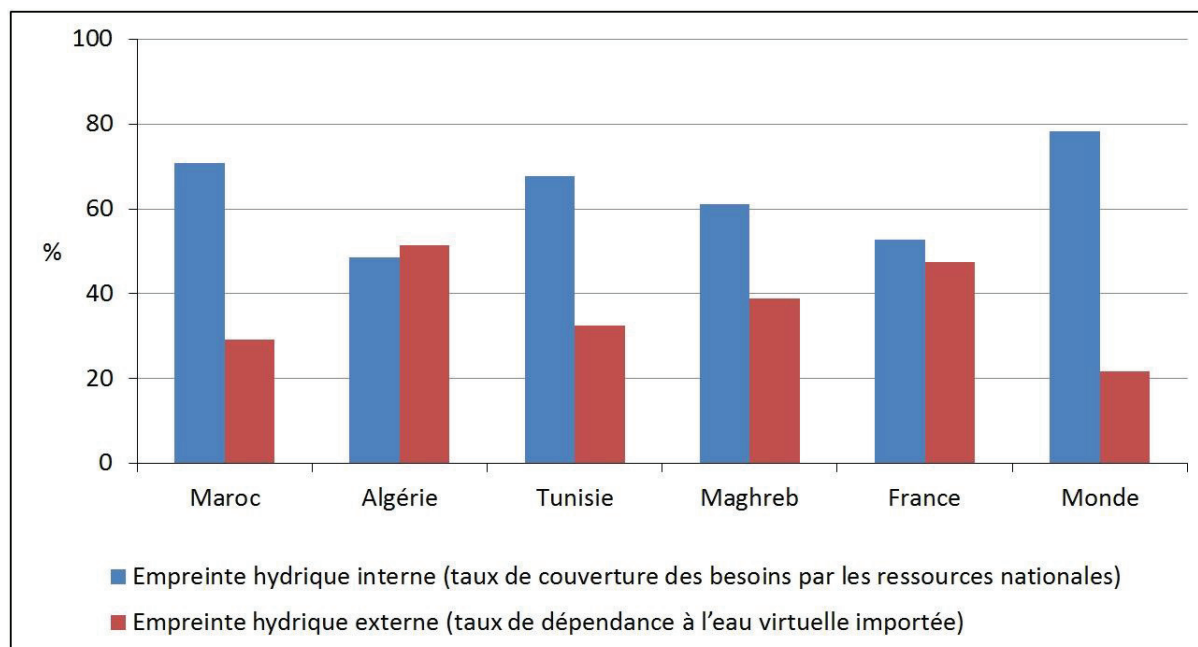


Figure 11 : Taux moyen de dépendance à l'eau virtuelle importée par les pays du Maghreb et de la France (période 1996-2005) (d'après Mekonnen and Hoekstra, 2011).

L'empreinte hydrique interne élevée du Maroc (71 %) et de la Tunisie (68 %) s'explique par la spécialisation de ces pays dans des secteurs grands consommateurs d'eau, en l'occurrence la production des cultures d'exportation, notamment horticoles, à haute valeur ajoutée. Par ailleurs, l'importance des empreintes hydriques internes peut être liée à la faiblesse générale de la productivité de l'eau verte (eau des pluies) dans des pays caractérisés par un contexte géoclimatique généralement semi-aride. Une même quantité d'eau n'a pas les mêmes conséquences en matière de productivité agricole selon qu'il s'agit de pays arides et semi-arides ou de pays humides (Taabni et El Jihad, 2012 ; Ferragina et Canitano, 2013).

En matière de solde commercial en eau virtuelle (importation - exportation), deux extrêmes se dégagent : la Tunisie et l'Algérie. Avec un solde commercial de  $-1,67 \text{ km}^3/\text{an}$ , la Tunisie soulève des interrogations sur la durabilité de son système économique qui s'appuie principalement sur les cultures d'irrigation (fruits et légumes) qui génèrent une empreinte hydrique qui pèse lourdement sur les ressources en eau du pays. Quant à l'Algérie, elle a externalisé de façon significative son empreinte hydrique (solde commercial de  $+17,31 \text{ km}^3/\text{an}$ ) pour compenser l'insuffisance de sa production agricole. Ceci explique l'importance de son taux de dépendance qui est supérieur à 51 % (figure 11). De son côté, le Maroc constitue un cas intermédiaire avec un solde commercial de  $+8,34 \text{ km}^3/\text{an}$ .

Les économies d'eau apparentes réalisées par l'externalisation de l'empreinte hydrique doivent être abordées avec précaution dans la mesure où elles négligent les risques potentiels en matière non seulement de destruction de l'emploi agricole local (du pays importateur), mais aussi de coûts de transport. Ce dernier point risque d'aggraver l'empreinte écologique

(empreinte carbone) d'un produit importé et d'amplifier son impact sur le réchauffement climatique.

## **Conclusion**

Le « mix » hydrique qui vise à réduire l'impact du changement climatique en cours sur les ressources en eau s'appuie sur la diversification de l'origine de la ressource et la maîtrise de la demande, selon des mesures adaptées aux diverses situations géographiques. Au-delà des différences de contextes géographiques et économiques, les politiques publiques mises en œuvre par les trois pays du Maghreb en matière de mobilisation et d'économie d'eau témoignent d'une réelle prise de conscience de la nécessité de s'adapter rapidement aux effets du changement climatique et de répondre à la demande croissante vis-à-vis de l'eau.

L'intérêt d'une mesure donnée relevant du « mix » hydrique dépendrait de son efficacité économique. L'analyse coût-avantage de la mobilisation des ressources en eau conventionnelles par les nouveaux barrages suggère qu'elle n'est pas intéressante au regard des coûts sociaux et environnementaux importants, notamment l'envasement des retenues. Toutes les autres mesures de mobilisation de ressources (épuration des eaux usées, dessalement de l'eau de mer) ou d'économie d'eau (irrigation localisée, amélioration des rendements des réseaux de distribution) sont considérées comme des stratégies sans regret, c'est-à-dire dont l'impact sur l'environnement est quasiment nul quelle que soit l'évolution climatique à venir. La viabilité économique et l'efficacité de ces dernières mesures est prouvée, notamment par rapport aux transferts d'eau conventionnelle interbassins de plus en plus longs (Taabni et El Jihad 2012, Mozas et Ghosn 2013). Le coût de l'eau économisée au Maroc avec l'adoption de l'irrigation localisée est inférieur au coût d'une eau superficielle conventionnelle nouvellement mobilisée d'environ 30 % (Blinda, 2009).

En matière d'économie d'eau, les politiques tarifaires d'eau potable (seuils et paliers tarifaires plus sévères, application du principe préleveur-pollueur-payeur...) et celles des aides accordées aux irrigants pour l'adoption des techniques innovantes d'irrigation (associées à l'instauration de quotas d'eau) ont fait leurs preuves dans les trois pays en matière de maîtrise de la demande. La pérennisation de ces acquis, dans le domaine agricole en particulier, dépend des efforts à fournir en matière d'encadrement des irrigants et d'entretien des équipements. Ce défi pourrait être relevé en jouant sur tous les leviers de responsabilisation et de sensibilisation des acteurs au niveau des bassins versants par le biais des associations d'usagers de l'eau agricole.

Si certaines mesures du « mix » hydrique ne demandent pas une technologie sophistiquée, il en va autrement pour la réalisation des stations d'épuration des eaux usées et des stations de dessalement de l'eau de mer. Si le recours massif au dessalement pour l'Algérie et la Tunisie est justifié, il est regrettable de noter l'absence d'une stratégie (dans le cadre de la coopération internationale) pour capitaliser le savoir-faire technologique de manière à se doter progressivement d'une capacité nationale en matière d'ingénierie et de réalisation.

Les pays du Maghreb s'efforcent de dégager de nouvelles ressources en eau aussi bien par mobilisation que par économie. Cependant, il s'avère qu'un certain nombre de facteurs déterminants sont rarement pris en compte. Les projections de l'économie et de la mobilisation des eaux seraient fonction de l'intensité du changement climatique, du développement économique et du rythme de la croissance démographique. Or ces projections sont faites avec beaucoup de marges d'incertitudes du fait de données hydroclimatiques et économiques insuffisantes. Quelle que soit l'évolution à venir des ressources hydriques, les pays du Maghreb, notamment le Maroc et la Tunisie, peuvent réduire la pression pesant sur leurs ressources hydriques domestiques en important des produits intensifs en eau pour couvrir les besoins de

leur population. La prise en compte de l'eau virtuelle dans les stratégies commerciales (augmentation des importations de céréales) pourrait jouer un rôle capital dans l'orientation des politiques publiques hydroagricoles vers davantage de cultures à haute valeur ajoutée.

Les mesures pour développer le « mix » hydrique (dans sa version élargie à l'eau virtuelle) sont bien présentes dans l'action des pouvoirs publics maghrébins. Cependant, elles apparaissent comme des réponses prises dans l'urgence, mal coordonnées et souvent mal adaptées aux situations régionales et locales. Les Agences de bassins, créées au Maroc et en Algérie depuis la fin des années 1990, sont censées améliorer la connaissance des ressources en eau, de leur évolution future et des besoins afin de développer des outils de gestion adaptés à chaque bassin. Elles sont également censées instaurer une gouvernance participative et territoriale permettant de mieux déterminer la stratégie à adopter pour économiser l'eau.

### Références bibliographiques

Agoumi A., 2003, *Vulnérabilité des pays du Maghreb face aux changements climatiques. Manitoba (Canada)*, International Institute for Sustainable Development (IISD), 11 p.

Algérie., 2010, *Seconde communication nationale de l'Algérie sur les changements climatiques à la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques*, Alger, Ministère de l'Environnement, 211 p.

Bate B.C., Kundzewicz Z.W., Wu S., Palutikof J-P., eds., 2008, *Le changement climatique et l'eau*, Document technique, Genève, Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), 236 p.

Belhaj H., 2012, *État des lieux et perspectives de développement du dessalement en Tunisie*, Madrid, IX International Congress AEDyR (Asociación Española de Desalación y Reutilización), 37 p.

Blinda M., 2009, *Stratégie méditerranéenne pour le développement durable : efficacité d'utilisation de l'eau*, Sophia Antipolis, Plan Bleu, 58 p.

Blinda M., 2012, *Vers une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau en Méditerranée*, Valbonne, Plan Bleu, Centre d'activités régionales du PNUE/PAM (Les Cahiers du Plan Bleu 14), 41 p.

Boyé H., 2008, *Eau, énergie, dessalement et changement climatique en Méditerranée*, Sophia Antipolis, Plan Bleu, 35 p.

El Jihad M.D., 2010, Les difficultés de gestion des ressources « naturelles » et de développement rural dans un milieu anthropisé : l'expérience du Projet Oued Srou (Maroc central), *Norois*, n° 216, p. 25-45.

FAO, 2016, <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=fr>

Ferragina E., Canitano G., 2013, *L'eau au Maghreb : contraintes, défis et perspectives*, Paris et Bruxelles, Institut français des relations internationales (IFRI), 34 p.

Ghilès F., 2008, *L'énergie au Maghreb : Situations et Perspectives*, Washington, Peterson Institute for International Economics, 26 p.

GIEC, 2008, *Bilan 2007 des changements climatiques : synthèse du rapport d'évaluation du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC)*, Genève, OMM/PNUE, 103 p.

HCP, 2008, *Énergie 2030, quelles options pour le Maroc ?*, Rabat, Haut-Commissariat au Plan, 81 p.



- Lahlou A., 1996, Environmental and socio-economic impacts of erosion and sedimentation in North Africa. Erosion and Sediment Yield, Global and Regional Perspectives, University of Exeter, *IAHS publication*, n° 236, p. 491-500.
- Mailhol J.C., Ruelle P., Dejean C., Rosique P., 2013, Le goutte-à-goutte enterré : une solution innovante pour irriguer sous conditions restrictives en eau, *Sciences Eaux & Territoires*, volume 2, n° 11, p. 26-29.
- Maroc, 2010, *Seconde communication nationale à la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques*, Rabat, Ministère de l'Environnement, 218 p.
- Mekonnen M.M., Hoekstra A-Y., 2011, National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption, Delft: UNESCO-IHE Institute for Water Education (the Netherlands), *Value of Water Research Report Series* n° 50 (volume 2, Appendices), 94 p.
- Mozas M., Ghosn A., 2013, *État des lieux du secteur de l'eau en Algérie*, Paris, Institut de prospective économique du monde méditerranéen (IPEMED), 25 p.
- Mutin G., 2011, *L'eau dans le monde arabe : menaces, enjeux, conflits*, Paris, Ellipses, 176 p.
- Remini W., Remini B., 2003, La sédimentation dans les barrages de l'Afrique du nord, *Larhyss Journal* (Université de Biskra), n° 2, p. 45-54.
- Serraj M., 2013, *Secteur de l'eau au Maroc et stratégie de l'ONEE*, Rabat, Office National de l'Électricité et de l'Eau Potable (ONEE), 25 p.
- Taabni M., El Jihad M-D., 2012, Eau et changement climatique au Maghreb : quelles stratégies d'adaptation ? *Cahiers d'Outre-Mer*, n° 260, p. 493-518.
- Tunisie, 2009, *Étude d'élaboration de la seconde communication nationale de la Tunisie au titre de la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques*, Tunis, Ministère de l'Environnement, plusieurs rapports.

