

Boualem Remini¹
 Christian Leduc²
 Wassila Hallouche³

¹ Département des sciences de l'eau
 et de l'environnement
 Faculté des sciences de l'ingénieur
 Université Saad-Dahlab-Blida
 Route de Soumaa
 BP 270, Blida
 Algérie

<reminib@yahoo.fr>

² IRD, UMR G-EAU

361, rue J.-F.-Breton

BP 5095

34196 Montpellier cedex 05

France

<Christian.Leduc@ird.fr>

³ Laboratoire de recherche eau, roche,
 et plante

<ouassilaremini@yahoo.fr>

Évolution des grands barrages en régions arides : quelques exemples algériens

Résumé

La forte croissance de la demande en eau au Maghreb pousse les autorités locales à construire de plus en plus de barrages pour augmenter la disponibilité des ressources en eau, naturellement limitée, et faire face à la forte irrégularité temporelle (saisonnière et interannuelle) des précipitations. L'Algérie dispose ainsi de 57 grands barrages d'une capacité totale de 6,8 Gm³. Or, la quantité d'eau douce potentielle est diminuée par l'envasement des barrages, l'évaporation de surface et les fuites d'eau par les rives et les fondations. D'après les dernières mesures de 2006, l'envasement des 57 grands barrages algériens est de 45 Mm³/an, avec de fortes disparités d'un site à l'autre et une importante augmentation de l'érosion dans certains bassins au cours des dernières décennies. Cela représente une réduction de capacité de 0,65 %/an. Les mesures de l'évaporation, effectuées sur 39 grands barrages, indiquent une perte annuelle moyenne de 250 Mm³, soit 6,5 % de leur capacité maximale. Les pertes par infiltration incontrôlée dans les rives et fondations évaluées dans 22 barrages s'élèvent à 40 Mm³/an.

Mots clés : Algérie, barrage, envasement, évaporation, fuites, zone aride.

Abstract

Changes in big dams of arid areas: Some examples in Algeria

The rapidly growing water demand in the Maghreb countries is forcing national authorities to build more and more dams in order to increase the available water resources, which are naturally limited, and to face the strong temporal irregularity of rainfall (seasonal and interannual). Algeria presently has 57 big dams with a total capacity of 6.8 Gm³. Still, this potential quantity of water is lowered by the silting-up of reservoirs, evaporation from the lakes and water losses through bank and dam foundations. According to the last measurements in 2006, the silting-up of the 57 Algerian big dams is 45 Mm³/yr, with strong disparities from one site to another and a significant increase in erosion in some catchments during the last decades. This situation represents a decrease in capacity of 0.65% per year. Evaporation measured at 39 big dams causes a mean annual loss of 250 Mm³, i.e. 6.5% of their maximum capacity. Uncontrolled water losses through banks and foundations were estimated at 40 Mm³/yr for 22 big dams.

Key words: Algeria, arid zone, dam, silting-up, evaporation, water leakage.

Depuis plusieurs décennies, la demande en eau dans le bassin méditerranéen est en forte hausse, du fait, notamment, de la croissance démographique, de l'extension des surfaces irriguées, du développement de l'industrie et du tourisme [1]. Cela induit une forte

baisse du volume disponible par habitant, alors qu'en 1995, la demande en eau représentait déjà 54 % des ressources en eau exploitables [2]. Pour faire face à une demande toujours croissante, et à son pic estival qui correspond à une période de pluie quasi nulle, l'homme a comme princi-

pale alternative le recours à l'eau stockée soit naturellement dans les aquifères, soit artificiellement dans les barrages.

Pour de multiples raisons, la priorité a souvent été donnée aux barrages. Cela peut s'expliquer par des conditions hydrogéologiques trop mal connues ou peu favorables, mais aussi par la réalisation conjointe d'un autre objectif comme la protection contre les inondations ou la production d'électricité. Les considérations non scientifiques ne doivent pas non plus être oubliées : le goût des ministres pour les grands ouvrages, tels les barrages, qui, plus visibles que de petites réalisations, offrent facilement matière à inaugurations ; la préférence des autorités pour une gestion centralisée de la ressource, etc. [3]. Les 57 grands barrages algériens permettent un stockage de 6,8 Gm³ ; ils sont 119 au Maroc pour un total d'environ 15 Gm³ et 23 en Tunisie pour un total de 1,6 Gm³. Le plus ancien de ces grands barrages, celui de Sig en Algérie, date de 1846 mais la plupart ont été réalisés dans les 40 dernières années. Ces valeurs de stockage potentiel peuvent être comparées à la demande en eau annuelle : 4,8 Gm³ en Algérie, 11,5 Gm³ au Maroc et 2,9 Gm³ en Tunisie.

Malgré son homogénéité d'ensemble, le paysage méditerranéen du Maghreb frappe par son morcellement à l'échelle locale : les bassins-versants sont très nombreux et leurs conditions environnementales (topographie, géologie, végétation, etc.) changent rapidement sur de faibles distances. Avec un climat qui va de semi-aride à aride, l'Afrique du Nord a peu de grands fleuves et une part importante de l'écoulement transite par des rivières non permanentes. L'implantation des barrages dans des contextes très variés explique que leur durabilité (notamment sous le double aspect de l'envasement et des fuites) doit d'abord être analysée au cas par cas, tout comme les mesures prolongeant leur vie. Fondé sur des exemples algériens, cet article souhaite illustrer la diversité des problèmes rencontrés par les grands barrages du Maghreb. Les petits barrages, bien plus nombreux, sont souvent implantés en complément des grands ouvrages, mais nous n'aborderons pas ici les questions qui leur sont spécifiques, souvent traitées ailleurs [4].

Envasement des barrages

L'Algérie du nord est une zone montagneuse fragile. Les montagnes s'étendent sur une superficie de 75 000 km² dont les deux tiers sont situés à plus de 800 m, et le quart présente des pentes

supérieures à 25 %. La lithologie y est souvent constituée de roches tendres (notamment schistes et argiles) sensibles à l'érosion. Le climat très irrégulier alterne années sèches et humides, avec des pluies souvent intenses et dévastatrices. La conjonction de ces différentes caractéristiques induit une érosion forte, difficile à quantifier : le chiffre moyen de 800 t/km² par an proposé pour différents bassins du Maghreb [5] n'est évidemment pas transposable localement. Par exemple, l'érosion serait de 5 000 t/km² par an sur le bassin-versant de l'Oued Agrioum dans l'est algérien [6], alors qu'elle n'est que de 165 t/km² par an dans le bassin de l'Oued Mouilah [7], de 290 t/km² par an dans le bassin de l'Oued Haddad [8], et qu'elle atteint 1 330 t/km² par an dans le bassin de l'Oued Sebdo [9], ces trois bassins étant dans l'ouest algérien. La variabilité spatiale de ces apports était également soulignée par un bilan réalisé en 2004 [10], avec une gamme de 50 à 3 000 t/km² par an, la médiane étant de 350. Cette très forte variabilité de l'érosion d'un bassin algérien à l'autre se retrouve aussi au Maroc : environ 2 000 t/km² par an sur les bassins de Martil et de l'Ouregha [11], ou de l'Inaouène [12], mais 5 900 t/km² par an dans le bassin du Nekor [13].

De plus, la très grande variabilité spatiale se double d'une variabilité temporelle encore plus forte. Dans un même bassin, le transport solide peut fluctuer de plus de deux ordres de grandeur selon les années ou les mois. Ainsi, les apports solides

annuels du bassin de l'Oued Mouilah (2 650 km²) ont varié de 6 à 1 038 t/km² par an entre 1978 et 1987 [7]. Les apports mensuels du bassin de l'Oued Haddad (470 km²), moyennés sur 22 ans, ont varié de 0,03 à 50 t/km² [8]. Cette hétérogénéité se retrouve également à l'échelle événementielle : les quelques événements les plus violents sont responsables de l'essentiel de l'érosion annuelle. Les fortes crues peuvent transporter des charges de sédiments en suspension supérieures à 100 g/L (comme dans le bassin de l'Oued Berd [14] ou celui de la Haute Tafna [15], voire 250 g/L dans l'Oued Isser [14]). Cette forte concentration se manifeste surtout pendant l'automne, succédant à la période estivale pendant laquelle les oueds sont à sec. Le plus souvent, il convient de rajouter la partie charriée du transport aux chiffres précédents. L'une des conséquences immédiates de l'érosion est la sédimentation dans les barrages. Le premier barrage construit en Algérie, Sig en 1846, a été abandonné à cause de son envasement rapide et de sa faible capacité initiale (1 Mm³). En 1957, les barrages d'Algérie avaient une capacité totale de 900 Mm³, dont 200 déjà occupés par les sédiments [16]. En 1962, les 16 grands barrages en exploitation représentaient une capacité de 1,3 Gm³ et un envasement de 240 Mm³. Depuis lors (figure 1), l'envasement n'a cessé d'augmenter dans ces 16 barrages pour atteindre 492 Mm³ en 2006, soit une perte de capacité de 38 %.

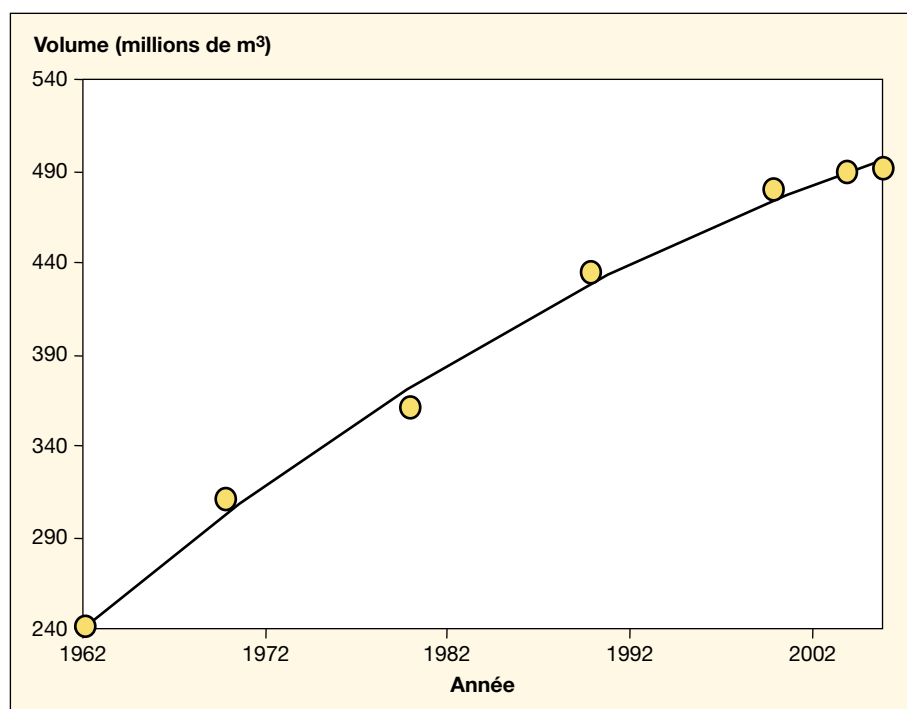


Figure 1. Évolution de l'envasement des grands barrages algériens en exploitation en 1962.

Pour actualiser et préciser les estimations anciennes, nous avons exploité les levés bathymétriques effectués par l'Agence nationale des barrages (ANB) en 2005 et 2006 sur les 57 grands barrages des cinq bassins hydrographiques d'Algérie (figure 2 et tableau 1). En 2006, le volume total de vase est estimé à 1,1 Gm³, soit un comblement de 16 % de la capacité totale de 6,8 Gm³. L'envasement moyen est donc de 45 Mm³/an, ce qui correspond à une perte de capacité de 0,65 % par an [17]. Le tableau 2 des 18 barrages les plus envasés souligne la forte variation de l'envasement d'un site à l'autre, en fonction de l'intensité de l'érosion dans le bassin (liée à la géologie, à la pente, au couvert végétal, etc.), de l'âge de l'ouvrage, mais aussi des éventuelles mesures de protection à l'amont ou des opérations de dévasement déjà effectuées. La figure 3, tirée de [18], cartographie le taux de comblement moyen (T), qui est la perte annuelle de capacité d'un barrage (en %) par envasement, selon quatre catégories depuis le comblement faible (T < 0,5 % par an) jusqu'au très fort (T > 3 % par an).

De plus, l'envasement a beaucoup varié durant la dernière décennie. Ainsi, la comparaison des nivellements de 1986 et 2006 montre un doublement des taux d'envasement pour les barrages de Djorf Torba et Ksob, passant de 1,3 à 2,6 Mm³/an et de 0,3 à 0,6 Mm³/an respectivement. Cette hausse spectaculaire, qui n'est pas observée de manière uni-

forme, serait une conséquence de la sécheresse des années 1990 : le couvert végétal ainsi diminué et les sols dégradés auraient mal résisté à un retour des pluies et crues violentes des dernières années, causant une forte ablation de la couche superficielle du sol et favorisant une forte érosion.

Mesures de lutte contre l'envasement

Lorsque l'envasement d'un barrage atteint un seuil critique, plusieurs choix sont possibles : l'abandon progressif de l'aménagement et la réalisation d'un nouveau barrage, le dévasement du barrage, la surélévation de la digue. L'abandon d'un barrage est souvent problématique et ne fait que reporter le problème à l'aval. Jusqu'à maintenant, sept barrages ont été déclassés, dont cinq de petite taille (1 Mm³ ou moins). Les deux grands barrages déclassés sont Fergoug II, mis en service en 1871 avec un volume de 30 Mm³, et Cheurfas I, mis en service en 1882 avec une capacité de 14,4 Mm³. Ils ont été remplacés, respectivement, par Fergoug III en 1970 (18 Mm³) et Cheurfas II en 1992 (82 Mm³).

L'Algérie a été parmi les premiers pays du monde à pratiquer la surélévation des barrages. Depuis 1850, 94 Mm³ ont ainsi été récupérés dans neuf barrages (dont les trois quarts après 1950). Cette valeur

reste, cependant, minime en comparaison de la rapidité de l'envasement. De plus, cette technique qui implique de lourds travaux de génie civil ne peut être envisagée partout. L'essentiel du contrôle des sédiments de barrage repose donc dans les différentes techniques de dévasement.

Dragage des barrages

Huit barrages ont fait l'objet d'un dévasement par dragage durant le dernier demi-siècle. La première drague refouleuse utilisée en Algérie a servi entre 1958 et 1969 dans les barrages de Cheurfas (10 Mm³ de vase), Sig (2 Mm³), Fergoug II (3,1 Mm³) et Hamiz (8 Mm³). La deuxième drague a été utilisée entre 1989 et 1992 dans le barrage de Fergoug III (7 Mm³ de vase) puis entre 1993 et 2002 dans le barrage des Zardezas (10 Mm³). Actuellement, deux autres dragues participent au dévasement des barrages de Foug El Gherza (4 Mm³ pour la première tranche), Merdja Sidi Abed (5 Mm³), Ksob (4 Mm³) et Fergoug III (7 Mm³). Le volume dévasé cumulé des huit barrages avoisine 60 Mm³.

Chasse des sédiments

On peut réduire l'envasement par l'évacuation des sédiments par les pertuis de vidange à condition de bien maîtriser les

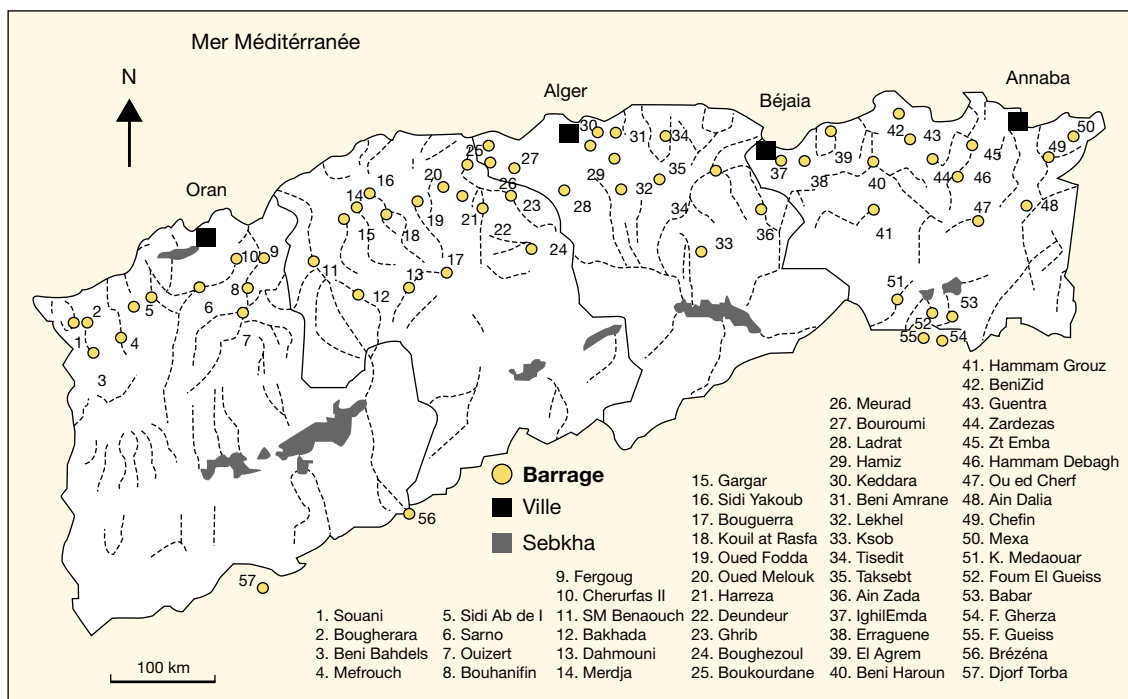


Figure 2. Répartition des barrages en exploitation dans le Nord algérien.

Tableau I. Liste des barrages en Algérie.

N°	Barrage	Date de la mise en eau	Capacité initiale (Mm ³)
01	Souani	2005	47
02	Bouhrara	1999	175
03	Beni Bahdels	1952	63
04	Mefrouch	1963	15
05	Sidi Abdeli	1988	110
06	Sarno	1954	22
07	Ouizert	1986	100
08	Bouhanifia	1948	73
09	Fergoug	1970	18
10	Cheurfas II	1992	82
11	SM Benaouda	1978	235
12	Bakhada	1963	56
13	Dahmouni	1987	41
14	Merdja	1984	55
15	Gargar	1988	450
16	Sidi Yakoub	1985	280
17	Bouguera	1989	13
18	Kovidat Rasfa	2004	75
19	Oued Fodda	1932	228
20	Oued Mellouk	2004	127
21	Harreza	1984	70
22	Deurdeur	1984	115
23	Ghrib	1939	280
24	Boughezoul	1934	55
25	Boukourdane	1992	97
26	Meurad	1860	1
27	Bouroumi	1985	188
28	Ladrat	1989	10
29	Hamiz	1935	21
30	Keddara	1985	145
31	Beni Amrane	1988	16
32	Lekhal	1985	30
33	Ksob	1977	30
34	Tisedit	2205	167
35	Taksebt	2001	175
36	Ain Zada	1986	125
37	Ighil Emda	1953	155
38	Erraguene	1961	200
39	El Agrem	2002	34
40	Beni Hroun	2004	960
41	Hammam Grouz	1987	45
42	Beni Zid	1993	40
43	Guenitra	1984	125
44	Zardezaz	1977	27
45	Zit Emba	2001	117
46	Hammam Dzbagh	1987	200
47	Oued Cherf	1995	157
48	Ain Dalia	1987	82
49	Chafia	1965	171
50	Mexa	1998	47
51	K. Medaouar	2004	69
52	Foum El Gueiss	1939	3
53	Babar	1995	41
54	Foum Gherza	1950	47
55	F. Gazelles	2000	55
56	Brezena	2000	122
57	Djorf Torba	1969	350

mécanismes de la sédimentation dans les barrages. Il existe trois méthodes :

- la vidange annuelle du barrage (dite chasse espagnole) ;
- l'ouverture périodique des vannes de fond ;
- le soutirage des courants de densité.

La première technique consiste à vider le barrage en début d'automne, laisser les vannes ouvertes et attendre que les premières crues enlèvent les vases non encore consolidées. Cette méthode n'est pas adaptée aux régions semi-arides où l'on souhaite réaliser une gestion interannuelle des ressources en eau.

La deuxième technique est l'ouverture périodique des vannes de fond. Elle est indispensable pour enlever les dépôts vaseux près des pertuis de vidange, mais peu efficace au-delà. Les premières tentatives d'évacuation des sédiments par la vanne de fond ont été effectuées au barrage d'Oued El Fodda en 1937 et en 1939, malheureusement sans grand succès puisqu'en 1948 les vannes de fond étaient complètement obturées. Cette méthode n'est actuellement pratiquée que dans le barrage de Beni Amrane. Ses six vannes de fond ont évacué environ 3 Mm³ de vase entre 1988 et 2000, soit environ 26 % des sédiments entrants.

La troisième méthode, probablement la plus efficace, est le soutirage des courants de densité par des vannettes de dévasement. La majorité des retenues en Algérie se prêtent à la mise en œuvre de cette technique. En effet, la forte concentration en sédiments dans les cours d'eau en période de crues et la forme allongée (de type canal) de la plupart des barrages donnent naissance à des courants de densité à l'entrée de la retenue, pouvant se propager jusqu'au pied du barrage [10]. L'ouverture des vannettes au moment opportun peut évacuer une forte quantité de sédiment. Cette méthode, pour l'instant appliquée seulement dans les barrages d'Ighil Emda, Oued El Fodda et Erraguene, a permis de se débarrasser d'environ 100 Mm³ de vase. Pour résoudre le problème de l'obturation de la vanne de fond du barrage d'Oued El Fodda (actuellement sous 45 m de vase), cinq vannettes de dévasement ont été installées en 1961. La retenue avait une capacité initiale de 228 Mm³ (1932), réduite progressivement à 127 Mm³ en 1994, malgré un dévasement de 45 Mm³ entre 1961 et 1994. Le barrage d'Ighil Emda, mis en service en septembre 1953, est probablement l'un des premiers au monde à être équipé d'un dispositif approprié au soutirage, constitué de huit vannettes de faible diamètre et de trois vannes de dégravement. La capacité initiale de la retenue, 156 Mm³, a été réduite progressivement à

Tableau II. Liste des barrages les plus envasés d'Algérie.

Barrage	Année de mise en eau	Capacité initiale (Mm ³ /an)	Comblement en 2006 (%)	Dévasement effectué (Mm ³)
Fergoug	1970	18	100	7
Beni Amrane	1988	16	80	3
Meurad	1860	1	80	
Foum El Gherza	1950	47	70	4
Foum El Gueiss	1939	3	67	
Ghrib	1939	280	60	
Ksob	1977	30	60	4
Oued Fodda	1932	228	57	45
Bouhanifia	1940	73	57	
Boughezoul	1934	55	56	
Zardezas	1977	27	54	10
Ighil Emda	1953	155	35	47
Hamiz	1935	21	27	8
Djorf Torba	1969	350	27	
Sarno	1954	22	24	
Bakhada	1963	56	20	
Beni Bahdels	1952	63	17	
Merdja	1984	55	14	5

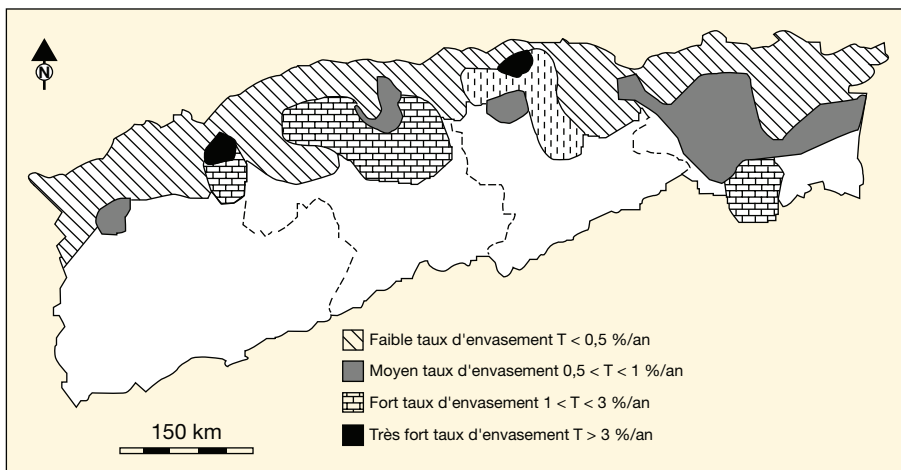


Figure 3. Carte de sensibilité à l'envasement des barrages (d'après [19]).

96 Mm³ en 2000, malgré 47 Mm³ de vase évacuée en 44 ans. Le barrage d'Erraguene comporte quatre vannettes de dévasement et deux vannes de dégrèvement. Environ 9 Mm³ de sédiments ont été évacués entre 1962 et 1992.

Protection antiérosive à l'amont

Ces différentes méthodes de lutte contre l'envasement des barrages doivent évidemment s'accompagner de mesures préventives à l'amont. Les petits barrages et retenues collinaires qui stockent l'eau et les sédiments avant leur arrivée dans les grands barrages sont une option, mais celle-ci n'est souvent qu'un simple déplace-

ment du problème vers l'amont. La véritable solution consiste plutôt à empêcher l'érosion dès l'origine. De ce point de vue, les modes d'utilisation des terres sont très importants [19] et il convient d'éviter notamment le surpâturage, le défrichement excessif et autres méthodes de culture inappropriées qui mettent le sol à nu.

Pertes en eau des barrages

Une partie de l'eau des barrages réservoirs peut disparaître de manière non contrôlée par évaporation, par des fuites au travers des fondations, par des infiltrations dans le substratum encaissant.

L'ANB réalise des mesures quotidiennes d'évaporation dans 39 grands barrages d'une capacité totale de 3 800 Mm³. L'évaporation maximale, 350 Mm³, a été enregistrée en 1992-1993 et la minimale, 100 Mm³, en 2001/2002. La moyenne annuelle sur la période 1992-2002 est de 250 Mm³, soit 6,5 % de la capacité totale (figure 4). Ces observations permettent d'identifier clairement un gradient d'évaporation : dans la zone littorale (à moins de 50 km de la mer), l'évaporation annuelle est inférieure à 0,5 m ; dans une bande intermédiaire (entre 50 et 150 km de la côte), l'évaporation est comprise entre 0,5 et 1 m/an ; plus au sud, l'évaporation dépasse 1 m/an. Les 57 grands barrages actuellement exploités se trouvent essentiellement dans les zones littorale (24) et intermédiaire (25) ; seuls huit se trouvent au sud. Le barrage de Djorf Torba, dans le sud-ouest algérien, illustre l'importance de l'évaporation : sur la période 1992-2002, la reprise évaporatoire dépasse toujours le volume destiné à l'irrigation et à la consommation domestique (figure 5).

L'ANB suit depuis 1992 les fuites dans 22 barrages, mais, jusqu'à ce jour, aucune analyse détaillée n'a été réalisée. Dans certains cas, les fuites sont tellement importantes qu'un réseau de collecte récupère à l'aval les eaux perdues et les réorientent vers les terres agricoles. Selon les années, le volume total perdu par infiltration a varié de 20 à 75 Mm³. Les volumes perdus plus faibles sur la période 1998-2002 s'expliquent simplement par l'assèchement de plusieurs barrages durant cette période de pluies déficitaires (figure 6). Les trois

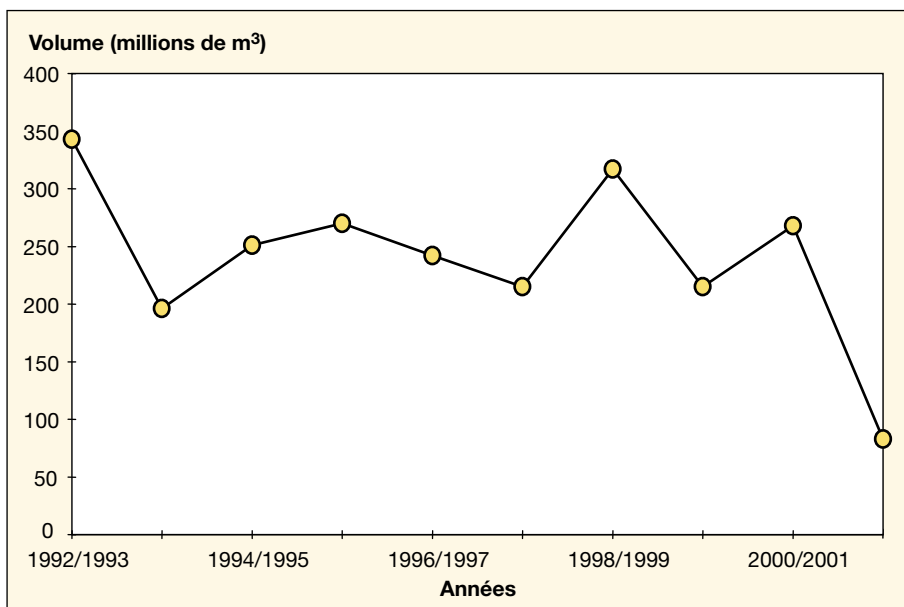


Figure 4. Variation annuelle de l'évaporation (Mm^3) dans les 39 barrages suivis par l'ANB.

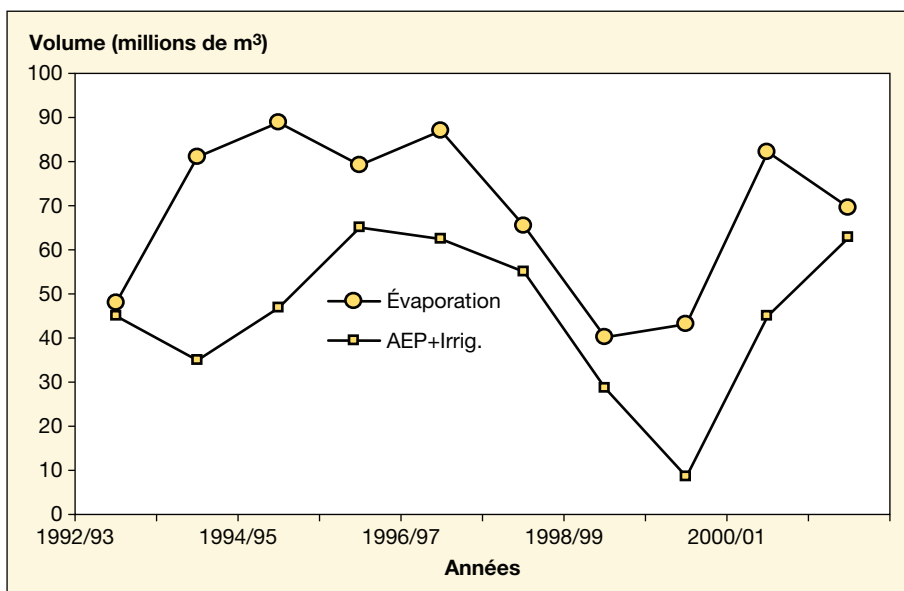


Figure 5. Variation annuelle (Mm^3) de l'évaporation et de la consommation au barrage Djorf Torba.

barrages qui perdent le plus d'eau, Ouizert dans l'ouest, Djorf Torba et Foum El Gherza dans le sud, méritent d'être détaillés.

Le barrage de Ouizert, d'une capacité de $100 Mm^3$ et mis en exploitation en 1986, est destiné à transférer l'eau vers le barrage de Bouhanifia à l'aval. L'implantation du barrage sur un site fissuré favorise les fuites, notamment à travers la rive gauche. Les pertes dépassent $20 Mm^3/an$ en année « humide » et $5 Mm^3/an$ en année « sèche », soit un total de plus de $140 Mm^3$ sur la période 1992-2002, ce

qui est plus élevé que le volume transféré vers le barrage de Bouhanifia (figure 7).

Au contraire du barrage de Ouizert, le barrage de Djorf Torba montre une évolution significative dans le temps (figure 8). Mis en exploitation en 1963 avec une capacité de $350 Mm^3$, ce barrage a connu sa perte maximale, $18 Mm^3$, en 1994-1995. Depuis lors, la baisse régulière des pertes s'expliquerait par l'augmentation des dépôts dans la retenue, colmatant progressivement les fissures. Une évolution identique, mais de moindre

ampleur, est observée dans le barrage de Foum el Gherza ($47 Mm^3$, mis en exploitation en 1950) coupant l'Oued El Abiod. Son implantation sur du calcaire maëstrichtien fissuré a permis des fuites allant jusqu'à $5 Mm^3/an$ (figure 8). Là encore, il est probable que l'envasement a contribué à ralentir les pertes avec le temps. L'abondance des séries carbonatées dans tout le nord du Maghreb explique que les réseaux karstiques y soient très nombreux et que les risques de perte des eaux de surface, dans le lit des oueds comme dans les retenues, soient fréquents. S'il est possible dans un certain nombre de cas, comme Djorf Torba et Foum el Gherza, d'espérer un colmatage progressif des fissures fines avec le temps, une telle évolution n'est pas du tout systématique. En particulier, lorsque le réseau karstique comporte des conduits de grande taille, la sédimentation en fond de retenue n'affecte pas réellement les échanges surface-souterrain. C'est le cas à Ouizert, tout comme dans le grand barrage El Haouareb sur le Merguelil, dans la Tunisie voisine, où l'importance de l'envasement depuis 20 ans n'a pas diminué les pertes [20].

Autres problèmes liés à l'évolution des grands barrages

La partie septentrionale de l'Algérie subit une pression anthropique multiple, notamment démographique (forte croissance et concentration de la population en zone littorale) et agricole (usage plus intensif des intrants agricoles et développement de l'irrigation, qui accélère le transit au travers de la zone non saturée). Les eaux usées non ou insuffisamment traitées (domestiques et industrielles) et la pollution agricole plus diffuse se traduisent par une forte augmentation des teneurs en nutriments dans les eaux des barrages, en particulier le phosphore et l'azote qui jouent un rôle essentiel dans la croissance des végétaux aquatiques. Des phénomènes d'eutrophisation, déjà occasionnellement observés en divers sites, limitent les usages, et, en premier lieu, la production d'eau potable.

L'envasement d'un barrage modifie considérablement la distribution des pressions à l'amont et peut constituer un risque sur la stabilité à long terme de l'ouvrage. Les trois ruptures du barrage de Fergoug en 1872, en 1881 (environ 250 morts) et en 1927 sont heureusement un cas exceptionnel, conséquences de crues catastrophiques sans lien avec l'accumulation de sédiments, alors faible. Sans même parler de stabilité géotechnique, la moindre capacité des barrages envasés à protéger les

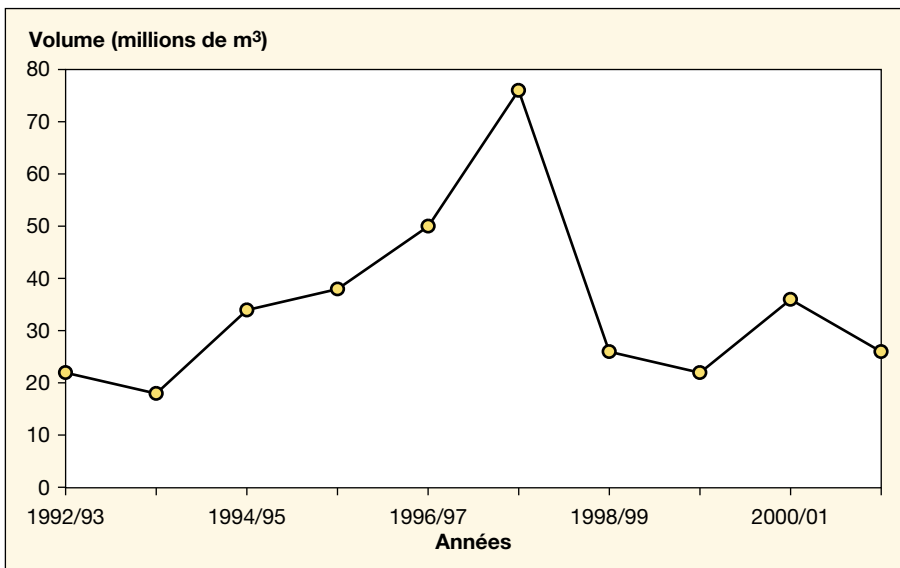


Figure 6. Variations annuelles (Mm³) des fuites d'eau dans les 22 barrages suivis par l'ANB.

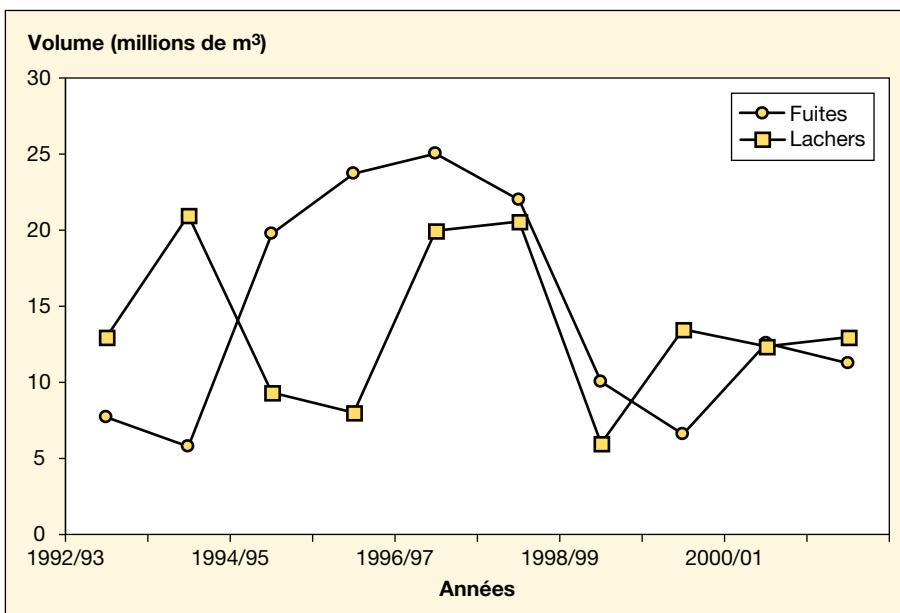


Figure 7. Variation annuelle (Mm³) des fuites et des lâchers au barrage de Ouizert.

zones aval contre les crues exceptionnelles est un risque à ne pas négliger.

Enfin, le devenir des vases constitue également un problème important. Sauf à abandonner le barrage, il est nécessaire de les transférer. Selon la technique de dévasement retenue, les sédiments sont remis dans le cours de l'oued ou stockés en masse. Dans le premier cas, les conditions de réalisation des lâchers doivent être optimisées afin d'éviter la création de zones argileuses stériles. Dans le second cas, des utilisations industrielles des vases doivent être recherchées, en accord avec les conditions économiques locales [21].

Conclusion

La hausse de la demande en eau, conséquence du développement de l'irrigation, de la forte croissance démographique et de l'amélioration des conditions de vie, fait peser des contraintes très fortes sur des systèmes naturels d'Afrique du Nord, fragiles et aux ressources limitées. Les grands barrages constituent une des réponses à cette confrontation entre ressources et usages, en complémentarité avec toutes les autres options possibles (eaux souterraines, économies d'eau, meilleure valorisation, etc.).

Leur gestion attentive et durable impose notamment de limiter leur envasement. Ce problème, délicat pour certains barrages algériens, n'est pas exceptionnel dans la région. Les barrages tunisiens perdent entre 0,5 et 1 % de leur capacité chaque année par envasement et, si rien ne change, 43 % de leur capacité initiale pourrait être perdue d'ici 2030 [22]. Du fait de sa topographie plus accentuée, les chiffres évoqués pour le Maroc sont souvent encore plus inquiétants [11-13]. Retarder l'envasement des grands barrages est possible grâce à des aménagements anti-érosifs dispersés sur l'amont des bassins-versants, à la condition impérative que ces petits ouvrages soient réalisés correctement sinon le remède devient pire que le mal.

À moyen terme, l'impact du changement climatique global doit être pris en compte. Cette question occupe une place importante dans les médias, mais ses conséquences hydrologiques réelles sont encore à identifier dans le bassin méditerranéen où aucune tendance régionale indiscutable n'a pour l'instant été détectée [1]. En effet, la variabilité particulièrement forte du climat au Maghreb et les chroniques hydrométéorologiques souvent très hétérogènes (en durée et fiabilité) rendent l'identification d'évolutions majeures particulièrement délicates. Comme dans la plupart des régions semi-arides, les changements hydrologiques observés en Afrique du nord résultent bien davantage d'actions directes de l'homme (grands et petits aménagements, changement du couvert végétal, etc.) que de modifications à long terme des précipitations. Ces multiples interventions modifient considérablement les écoulements et aggravent souvent l'érosion.

Dans un tel environnement très mouvant, anticiper l'évolution des grands barrages est un exercice délicat. Une hypothèse plausible est un futur climat méditerranéen avec davantage de contrastes et d'événements extrêmes. Les précipitations seraient donc plus irrégulières. La reprise évaporatoire, déjà actuellement très variable (selon les années, l'évaporation décennale varie de 50 % autour de la moyenne en hiver et de 20 % en été), le serait encore plus. Avec tous les termes du bilan en eau des barrages beaucoup plus variés, le rôle d'accumulation et de tampon interannuel des barrages deviendrait plus aléatoire. Ce phénomène serait encore accentué par un envasement accéléré, puisque l'essentiel du transport se produit durant les quelques épisodes pluvieux les plus violents.

Face à une raréfaction et à une exposition accrue des ressources en eau, les responsables devront définir pour les grands barrages des politiques de gestion plus fines et plus adaptées à la multiplicité des

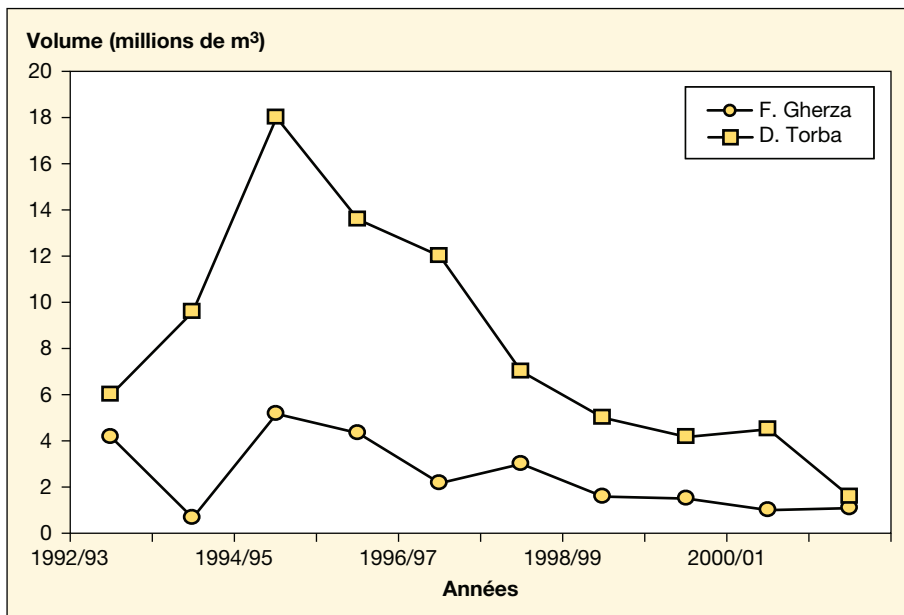


Figure 8. Évolution des fuites dans les barrages de Djorf-Torba et Fom El Gherza (Mm³/an).

situations locales (géologie, topographie, usages de l'eau). Ainsi, réaliser des lâchers au printemps pour recharger un aquifère à l'aval peut diminuer les pertes par évaporation et donc accroître la ressource, tout en continuant d'en assurer un stockage interannuel. De multiples lacunes existent encore dans la connaissance des processus et des flux hydriques. On ne peut que souhaiter une multiplication des observations de qualité afin d'aider à la meilleure gestion d'une ressource devenant toujours plus précieuse. ■

Références

1. Cudennec C, Leduc C, Koutsoyiannis D. Dryland hydrology in Mediterranean regions - a review. *Hydrol Sci J* 2007 ; 52 : 1077-87.
2. PNUE/PAM/PLAN BLEU. *L'eau des Méditerranéens : situation et perspectives*. Rapports techniques du PAM no 158. Athènes : PNUE/PAM, 2004.

3. Pallas P. Conjunctive use of surface and groundwater. In : *Land and water integration and river basin management*. Rome : FAO Land and Water Bulletins, 1995.
4. Albergel J, Nasri S, Boufaroua M, Droubi A, Merzouk AA. Petits barrages et lacs collinaires, aménagements originaux de conservation des eaux et de protection des infrastructures aval : exemples des petits barrages en Afrique du Nord et au Proche-Orient. *Sécheresse* 2004 ; 15 : 78-86.
5. Heusch B, Millies-Lacroix A. Une méthodologie pour estimer l'écoulement et l'érosion dans un bassin : application au Maghreb. *Mines et géologie (Maroc)* 1971 ; 99 : 21-30.
6. Demmak A. *Contribution à l'étude de l'érosion et du transport solide en Algérie septentrionale*. Thèse de docteur-ingénieur, université Paris-VI, 1982.
7. Ghenim A, Seddini A, Terfous A. Variation temporelle de la dégradation spécifique du bassin versant de l'Oued Mouilah (nord-ouest algérien). *Hydrol Sci J* 2008 ; 53 : 448-56.
8. Achite M, Meddi M. Estimation du transport solide dans le bassin-versant de l'Oued Haddad (Nord-Ouest algérien). *Sécheresse* 2004 ; 15 : 367-73.

9. Ghenim A, Terfous A, Seddini A. Étude du transport solide en suspension dans les régions semi-arides méditerranéennes : cas du bassin-versant de l'Oued Sebdlou (Nord-ouest algérien). *Sécheresse* 2007 ; 18 : 39-44.
10. Remini B, Hallouche W. La sédimentation des barrages en Algérie. *Houille Blanche* 2004 ; 1 : 60-4.
11. Badraoui A, Hajji A. Envasement des retenues de barrages. *Houille Blanche* 2001 ; 6/7 : 72-5.
12. Sibari H, Haida S, Ait Fora A. Typologie des crues et érosion mécanique dans un bassin versant de zone semi-aride : bassin-versant de l'Inaouène, Maroc. *Sécheresse* 2001 ; 12 : 187-93.
13. Lahlou A. Étude actualisée de l'envasement des barrages au Maroc. *Rev Sci Eau* 1988 ; 6 : 337-56.
14. Remini B. *Envasement des retenues de barrages en Algérie : importance, mécanismes et moyen de lutte par la technique du soutirage*. Thèse de doctorat d'État, École nationale polytechnique d'Alger, 1997.
15. Megnounif A, Terfous A, Ghenaim A, Poulet JB. Key processes influencing erosion and sediment transport in a semi-arid Mediterranean area: the Upper Tafna catchment, Algeria. *Hydrol Sci J* 2007 ; 52 : 1271-84.
16. Valembois J, Migniot C. Rejets des produits de dragages à l'aval d'un barrage sur l'Oued Hamiz. *Houille Blanche* 1975 ; 2/3 : 155-72.
17. Hallouche W. *Prévision du transport solide et sédimentation des barrages*. Thèse de doctorat, université de Biskra, 2007.
18. Remini B, Hallouche W. Studying sediment at Algeria's dams. *Int Water Power Dam Construction* 2007 ; 59 : 42-5.
19. Morsli B, Mazour M, Mededjel N, Hamoudi A, Roose E. Influence de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et d'érosion sur les versants semi-arides du nord-ouest de l'Algérie. *Sécheresse* 2004 ; 15 : 96-104.
20. Ben Ammar S, Zouari K, Leduc C, M'Barek J. Caractérisation isotopique de la relation barrage-nappe dans le bassin du Merquellil (plaine de Kairouan, Tunisie centrale). *Hydrol Sci J* 2006 ; 51 : 272-84.
21. Semcha A. *Valorisation des sédiments de dragage : applications dans le BTP, cas du barrage de Fergoug*. Thèse de doctorat, université de Reims, 2006.
22. Ben Mammou A, Louati MH. Évolution temporelle de l'envasement des retenues de barrages de Tunisie. *Rev Sci Eau* 2007 ; 20 : 201-10.