



UNE NOUVELLE APPROCHE DE GESTION DE L'ENVASEMENT DES BARRAGES

A NEW MANAGEMENT APPROACH OF DAMS SILTATION

REMINI B.

Département des Sciences de l'Eau et de l'Environnement, Faculté de Technologie,
Université Blida 1, Blida 9000, Algérie,

reminib@yahoo.fr

RESUME

Le présent article examine dans une première phase la situation actuelle de l'envasement des barrages Algérien en se basant sur la collecte et le dépouillement des données d'une centaine de levés bathymétriques effectués par l'Agence Nationale des Barrages et Transferts. Dans une deuxième phase, on propose une méthodologie de gestion de l'envasement des barrages. Les résultats obtenus montrent qu'après 160 ans d'exploitation l'envasement a atteint 1,7 milliards de m³ dans les 74 barrages pour une capacité de 8,5 milliards de m³ d'eau. Soit une perte de capacité de 20%. Le taux d'envasement a atteint 65 millions de m³/an. Les barrages situés dans le bassin hydrographique de Chéllif Zahrez sont les plus menacés par l'envasement. Dans cette étude, nous avons établis un classement des barrages sur la base du taux de comblement annuel. C'est ainsi que nous avons mis en évidence 20 barrages d'une capacité totale égal à 2370 millions de m³ sont gravement menacés par les dépôts de vase. Huit nouveaux barrages dont l'âge ne dépasse pas 14 ans sont vulnérables à l'envasement. Douze barrages d'une capacité totale égale à 830 millions de m³ sont moyennement envasés et 24 barrages sont faiblement envasés. D'ici la fin de l'an 2017, le volume de boue déposé dans les 74 barrages est estimé à 1,9 milliards de m³.

Mots clés : Envasement – Barrage – Erosion – Courants de densité -.Bassin versant

ABSTRACT

The present article examines in a first phase the current situation of the silting of Algerian dams based on the collection and analysis of data from about a hundred bathymetric surveys carried out by the National Agency of Dams and Transfers. A second phase proposes a methodology for managing the siltation of dams. The results show that, after 160 years of operation, siltation reached 1.7 billion m³ in the 74 dams with a capacity of 8.5 billion m³ of water. Either a loss of capacity of 20%. The siltation rate reached 65 million m³/year. Dams located in the Chéllif Zahrez watershed are the most threatened by siltation. In this study, we established a ranking of dams on the basis of the annual filling rate. Thus, we have identified 20 dams with a total capacity of 2370 million m³ are seriously threatened by mud deposits. Eight new dams of up to 14 years old are vulnerable to siltation. Twelve dams with a total capacity of 830 million m³ are moderately silted and 24 dams are slightly silted. In 2017, the volume of mud deposited in the 74 dams is estimated at 1.9 billion m³.

Key words: Siltation - Dam - Erosion - Density currents – Watershed.

INTRODUCTION

Le transport des sédiments dans le réseau hydrographique des bassins versants et leur dépôt dans les retenues pose aux exploitants des barrages des problèmes dont la résolution ne peut qu'être onéreuse. Non seulement la capacité utile est progressivement réduite au fur et à mesure que les sédiments se déposent dans la retenue mais encore l'enlèvement de la vase est une opération délicate et difficile, qui bien souvent exige que la retenue soit hors service, ce qui est pratiquement impossible dans les pays arides et semi-arides. Dans l'un et l'autre cas, il en résulte des dommages considérables à l'environnement et une mise en péril de l'économie du projet. Toutes les retenues à travers le monde sont plus au moins exposées au phénomène de l'envasement mais avec des vitesses de sédimentation qui diffèrent d'une région à une autre. Les pays de l'Afrique du nord comme l'Algérie, le Maroc et la Tunisie se caractérisent par la rareté des ressources en eau, rejoignant ainsi l'ensemble des pays arides et semi-arides. Or ces pays font partie d'une zone montagneuse (tellienne), caractérisée par un climat agressif avec alternance d'années sèches et humides, et des pluies d'automne intenses et dévastatrices pour les sols, d'autant plus qu'elles surviennent à une période où la couverture végétale est réduite ou inexistante et les sols ameublés par les labours. La conséquence est que d'une part les crues

d'automne, violentes et brutales, sont la cause d'une forte ablation, et que d'autre part, le taux d'érosion dans les bassins versants est important. Selon Berthier (1970), ce paramètre peut varier de quelques dizaines à plusieurs milliers de tonnes par kilomètre carré par année. A titre d'exemple, le taux d'érosion spécifique du bassin versant d'oued Agrioum (Est Algérien) est de 5000 t/km².an (Demmak, 1982). Au Maroc, dans les bassins versants du Martil, de l'Ouergha, de Lakhdar, et de la Tessaout, le taux d'érosion dépasse 2000t/km².an (Badraoui et Hajji, 2001). C'est donc une quantité élevée de matériaux solides qui est transportée annuellement par les cours d'eau jusqu'aux réservoirs des barrages. Or ces trois pays se sont dotés d'une infrastructure hydraulique dont dépend, dans une large mesure, leur développement économique, et qui se trouve ainsi menacée par le phénomène de l'envasement. Les barrages Tunisiens perdent annuellement 0.5% à 1% de la capacité initiale par envasement (Ben Mamou et Louati, 2007). Une capacité de 0.65% est perdue annuellement suite aux dépôts de la vase dans les barrages Algériens (Remini et Hallouche, 2007). Ces valeurs élevées renseignent sur l'envasement des barrages par les courants de densité comme les barrages d'Ighil Emda (Remini et al., 2015 ; Remini, 1996 ; Remini et al., 1995 ; Remini et al., 1996a ; Remini et al., 1996b), Oued Fodda (Remini et Hallouche, 1997), Fom El Gherza (Remini et al., 2015 ; Remini et Bensafia, 2016), Boughezoul (Remini et Nassroun, 2015), Gargar (Remini et Benfetta, 2015) et Beni Haroun (Remini et Toumi, 2017). La présente étude examine l'évolution de l'envasement des barrages en Algérie depuis la réalisation du premier barrage jusqu'en 2014, soit plus d'un siècle et demi.

MATERIELS ET METHODES

Barrages étudiés

Les barrages étudiés au nombre de 74 dont 70 sont situés dans le nord d'Algérie et 4 autres sont localisés à l'entrée du Sahara (fig. 1). Cinq bassins hydrographiques se dégagent de la carte d'Algérie. Il s'agit de Chéllif-Zahrez, Oranie -Chott Chergui, Algérois et le Constantinois-Seybouse dans la partie nord. Le bassin hydrographique Sahara occupe tout le réseau hydrographique du sud d'Algérie. Sur les 74 barrages en service, 11 sont situés dans le bassin hydrographique Oranie, 15 dans le bassin hydrographique de Chéllif Zahrez, 21 dans le bassin hydrographique de l'Algérois par contre le bassin hydrographique du Sahara détient uniquement 4 barrages.

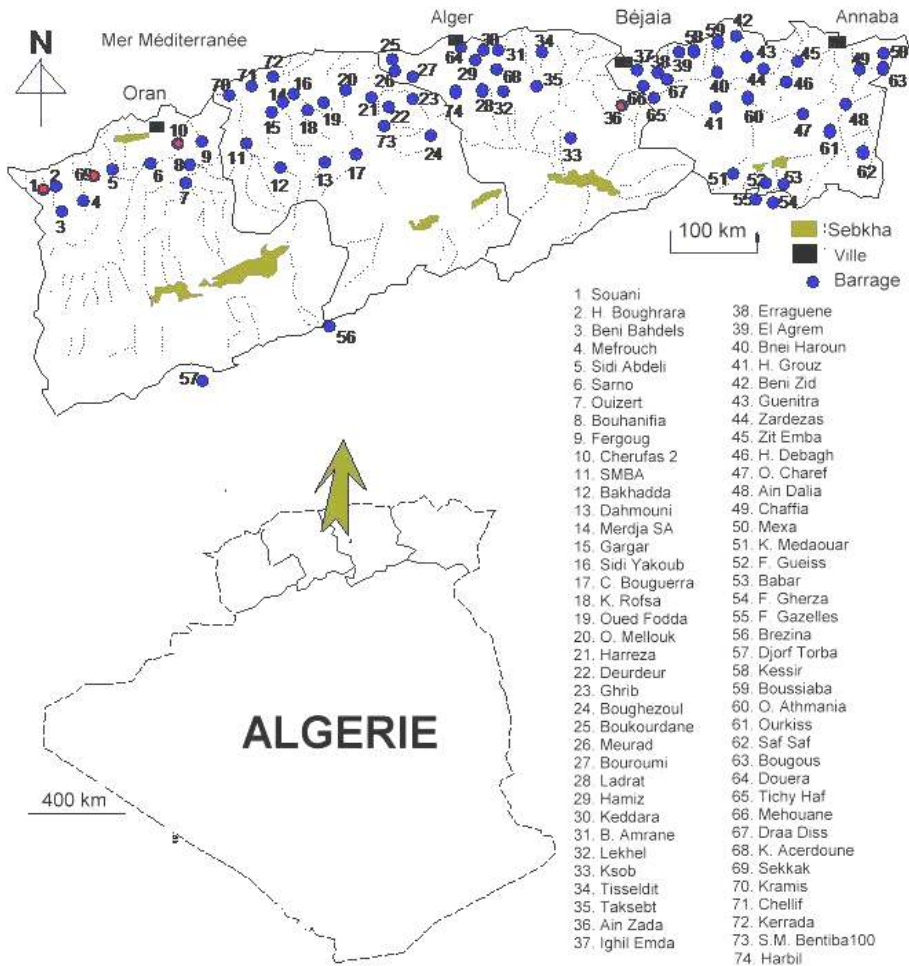


Figure 1 : Localisation des barrages étudiés

Données utilisés dans l'étude

Notre étude a été basée sur les données des levées bathymétriques effectuées par l'Agence Nationale des Barrages et Transferts sur l'ensemble des barrages. Nous avons utilisés plus de 100 levés bathymétriques effectués par l'Agence Nationale des Barrages et Transferts.

Critères du classement des barrages vis-à-vis de l'envasement : Vitesse de comblement

Le taux d'envasement d'un barrage qui s'exprime en millions de m³ de vase par année est un paramètre qui ne reflète pas la réalité. Le mieux est d'utiliser la vitesse de comblement ou le taux de comblement annuel qui s'exprime en % de capacité par année (%/an). Il est égal à :

$$\eta = (W_v / W_o) / T$$

Avec :

W_v : Volume de vase (millions de m³)

W_o : Volume initial du barrage (millions de m³)

T : Durée d'exploitation du barrage (an)

Le paramètre η doit être évalué pour chaque barrage et à chaque levée bathymétrique. Il permet aux services d'hydraulique de classer chaque barrage selon le degré de la menace de l'envasement. Le suivi de l'évolution de l'envasement dans un barrage doit s'effectuer par les levées bathymétriques. Il est intéressant de calculer le taux de comblement annuel d'un nouveau barrage après deux années d'exploitation. Donc nous pouvons avoir une idée sur la classe du barrage juste au début de son exploitation. Pour une bonne gestion de la lutte contre l'envasement des barrages, nous avons établis un classement des barrages par ordre de gravité à l'envasement, défini sur la base du taux de comblement annuel (%/an). A cet effet, trois types de barrages se dégagent. Le tableau 1 donne les valeurs du taux de comblement annuel pour chaque catégorie. Le taux de comblement annuel est égal à $(W_v / W_o) / T$ qui s'exprime en %/année. Il faut noter que le taux de comblement annuel exprime mieux l'envasement d'un barrage que le taux d'envasement.

Tableau 1 : Classe des barrages vis-à-vis de l'envasement

Classe	Type de barrage	Taux de comblement annuel η (%/an)
1	Fortement menacé par l'envasement	$\eta > 1$
2	Moyennement menacé par l'envasement	$0,5 > \eta > 1$
3	Faiblement menacé par l'envasement	$\eta < 0,5$

Durant son exploitation, le barrage reçoit des sédiments à chaque crue. A n'importe quelle année, on peut évaluer le comblement du barrage. Il suffit de mesurer les dépôts par des levées bathymétriques. Le taux de comblement défini par W_v / W_o peut donner une idée sur la durée de vie du barrage. Le tableau 2 donne la classification d'un barrage vis-à-vis de l'envasement.

Tableau 2 : Comblement d'un barrage

Classification barrage vis-à-vis de l'envasement	Taux de comblement
Barrage fortement envasé	$W_v / W_o > 20\%$
Barrage Moyennement envasé	$10 \% < W_v / W_o < 20\%$
Barrage Faiblement envasé	$W_v / W_o < 10\%$

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Evolution des grands barrages en Algérie

La construction des barrages a commencé depuis plus de 7 siècles dans les vallées de Mزاب et la Saoura. Selon les peu de données que nous avons collecté, c'est en 1846 la date de la réalisation du barrage de Sig d'un volume de 0.7 à 1 million de m³. En 1860, trois barrages au total sont exploités pour l'irrigation, il s'agit des barrages Sig, Tlilet1 et Meurad d'une capacité totale de 2.26 millions de m³ d'eau (fig. 2 et tableau 3).

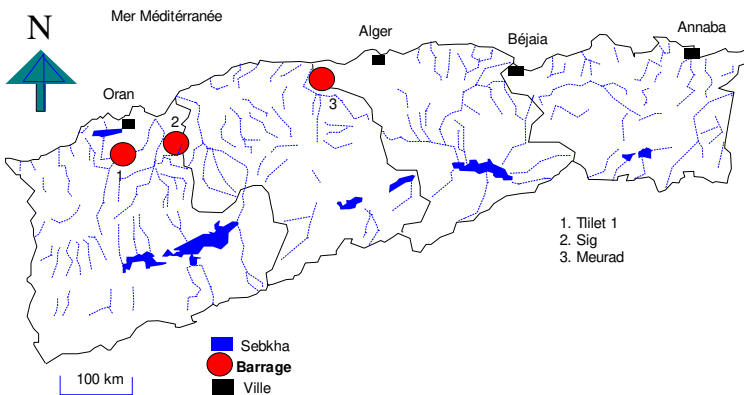


Figure 2 : Localisation des Barrages en 1860

Tableau 3 : Capacités des barrages en 1860

N°	Barrage	Année de la mise en eau	Capacité initiale (Million de m ³)
1	Tlilet 1	1860	0.73
2	Sig	1846	0.70
3	Meurad	1859	0.83
	Total		2.26

En 1890, l'infrastructure hydrotechnique Algérienne s'est dotée de dix barrages d'une capacité totale égale à 61 millions de m³ (fig. 3 et tableau 4). Ils ont enregistré une capacité de boue piégée au fond des barrages égale à 2.7 millions de m³.

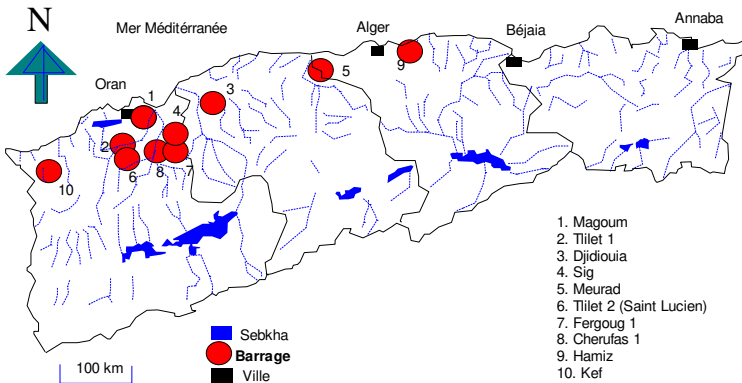


Figure 3 : Localisation des Barrages en 1890

Tableau 4 : Capacités des barrages en 1890

N°	Barrage	Année de la mise en exploitation (million de m ³)	Capacité initiale (million de m ³)
1	Magoum	1887	1
2	Tlilet 1	1860	0.73
3	Djidiouia	1877	0.70
4	Sig	1846	0.70
5	Meurad	1859	0.83
6	Tlilet 2 (Saint Lucien)	1871	-
7	Fergoug 1	1871	30
8	Cheurfas 1	1882	14
9	Hamiz	1879	14
10	Kef	1870	-
	Total		61

Cependant après 55 ans d'exploitation, c'est-à-dire en 1945, les services d'hydraulique ont enregistré les premières conséquences de l'envasement ; le déclassement de 7 barrages sur 10. Il s'agit des barrages : Magoum, Sig, Kef, Tlilet1, Tlilet2 (Saint Lucien), Fergoug. Seulement, les barrages Cheurfas 1, Meurad et Hamiz ont pu échapper à ce phénomène. Pour faire face à ce phénomène, 8 grands barrages ont été mis en exploitation durant la période : 1890-1945 pour porter le nombre de barrages à 11 dont la capacité totale

avoisine le volume de 785 millions de m³ (fig. 4 et tableau 5). Cependant un dépôt vaseux de 73 millions de m³ se trouvait au fond de ces onze barrages.

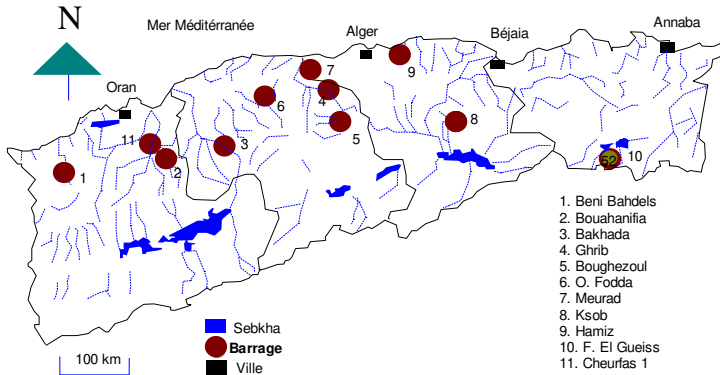


Figure 4 : Localisation des Barrages en 1945

Tableau 5 : Capacités des barrages en 1945

N°	Barrage	Année de la mise en eau	Capacité initiale (million de m ³)
1	Beni Bahdels	1940	63
2	Bouhanifia	1940	73
3	Ghrib	1939	280
4	Boughezoul	1934	55
5	Oued Fodda	1928	228
6	Meurad	1859	0,9
7	Ksob	1940	11,6
8	Hamiz	1879	21,5
9	Foum El Gueiss	1937	2,5
10	Cheurfas 1	1882	14
11	Bakhada	1936	36
	Total		785

Durant la période : 1945-1962, aucun barrage n'a été abandonné. Au contraire, la durée de vie des barrages a été prolongée par la pratique des moyens techniques de lutte contre l'envasement. Il s'agit des moyens préventifs comme le traitement et l'aménagement des bassins versant et des moyens curatifs comme les chasses à l'espagnol, le soutirage des courants de densité, le dévasement par dragage et la surélévation de la digue. En plus de la maintenance des barrages, cinq nouveaux grands barrages ont été mis en service pour atteindre le nombre de 16 barrages d'une capacité totale de 1.24 milliards de m³ (fig. 5 et tableau 6).

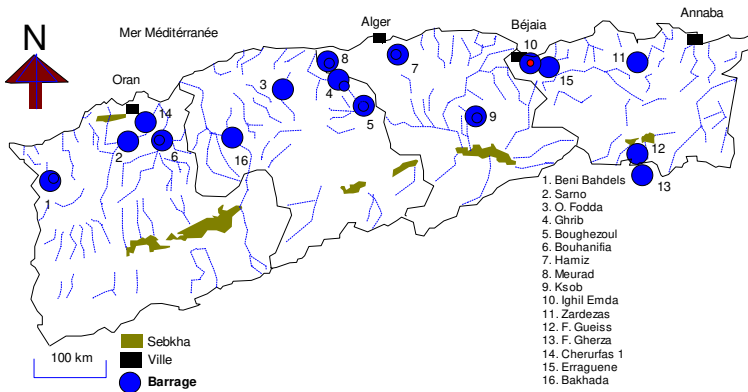


Figure 5 : Localisation des barrages en 1962

Tableau 6 : Capacités des barrages en 1962

N°	Barrage	Année de la mise en eau	Capacité initiale (million de m ³)
1	Beni Bahdels	1952	63
2	Sarno	1955	22
3	Oued Fodda	1932	228
4	Ghrib	1939	280
5	Boughezoul	1934	56
6	Bouhanifia	1948	73
7	Hamiz	1879	30
8	Meurad	1860	0,9
9	Ksob	1940	11,6
10	Ighil Emda	1953	155
11	Zardezas	1945	15
12	Foum El Gueiss	1939	2,5
13	Foum El Gherza	1950	47
14	Cherufas 1	1882	14,6
15	Erraguene	1962	202
16	Bakhada	1936/1958	56
Total			1256

Durant la période : 1962-1967, l'infrastructure hydrotechnique Algérienne enregistre 17 barrages avec une capacité de 1.44 milliards de m³ d'eau. Il est à signaler que les premiers levés bathymétriques après l'indépendance ont été effectués en 1967 sur une dizaine de barrages. Il est signalé que deux nouveaux barrages ont été mis en service après l'Indépendance, il s'agit des barrages : Mefrouch et Cheffia. En contrepartie, le barrage Cheurfas 1 a été déclassé en 1966 suite à un envasement accéléré malgré les tentatives de dévasement par la technique de dragage. Les levés bathymétriques de 1967 ont donné un volume de 286 millions de m³ déposés dans les retenues de 17 barrages (fig. 6 et tableau

7). Soit un taux de comblement de 20%, une valeur jugée très élevée. Ceci est justifié par l'accélération de l'érosion des bassins versants très dégradés.

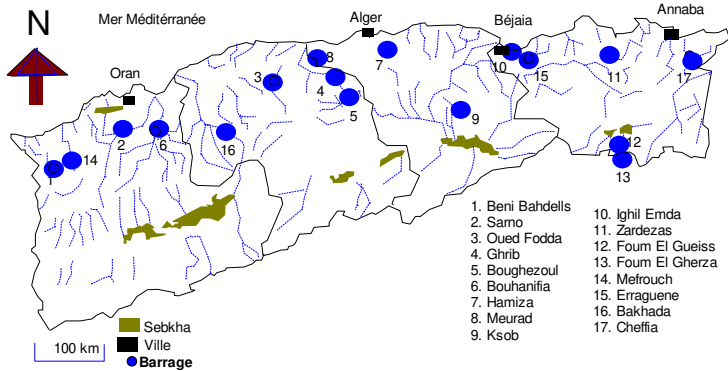


Figure 6 : Localisation des Barrages en 1967

Tableau 7 : Capacités des barrages en 1967

N°	Barrage	Année de la mise en eau	Capacité initiale (million m ³)
1	Beni Bahdels	1952	63
2	Sarno	1955	22
3	Oued Fodda	1932	228
4	Ghrib	1939	280
5	Boughezoul	1934	56
6	Bouhanifia	1948	73
7	Hamiz	1879	30
8	Meurad	1860	0,9
9	Ksob	1940	11,6
10	Ighil Emda	1953	155
11	Zardezas	1945	15
12	Foum El Gueiss	1939	2,5
13	Foum El Gherza	1950	47
14	Mefrouch	1963	15
15	Erraguene	1962	202
16	Bakhada	1936/1958	56
17	Chafia	1965	171
Total			1440

La période : 1967-1974 a été marquée par la mise en eau du premier grand barrage de l'Algérie indépendante. Il s'agit du barrage de Djorf Torba qui a été construit en 1969 pour une capacité initiale de 350 millions de m³. Un deuxième barrage de capacité moyenne de 18 millions de m³ a été mis en service en 1970, Il s'agit du barrage de Fergoug réalisé sur le même site de l'ancien ouvrage. En 1974, l'Algérie disposait de 19 barrages d'une capacité totale de 1752 millions

de m³ (fig. 7 et tableau 8). Les levés bathymétriques effectués à l'époque ont relevé un envasement de 312 millions de m³, soit un taux de comblement de 18%. Soit une décroissance de 2% par rapport aux levés de 1967 qui peut être expliqué par l'augmentation du volume d'eau total suite à la mise en eau du barrage de Djorf Torba.

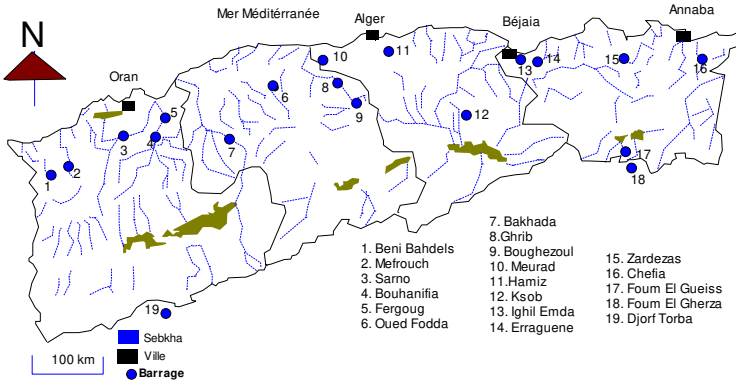


Figure 7 : Localisation des Barrages en 1974

Tableau 8 : Capacités des barrages en 1974

N°	Barrage	Année de la mise en eau	Capacité initiale (million m ³)
1	Beni Bahdels	1952	63
2	Sarno	1955	22
3	Oued Fodda	1932	228
4	Ghrib	1939	280
5	Boughezoul	1934	56
6	Bouhanifia	1948	73
7	Hamiz	1879	30
8	Meurad	1860	0,9
9	Ksob	1940	11,6
10	Ighil Emda	1953	155
11	Zardezas	1945	15
12	Foug El Gueiss	1939	2,5
13	Foug El Gherza	1950	47
14	Mefrouch	1963	15
15	Erraguene	1962	202
16	Bakhada	1936/1958	56
17	Chafia	1965	171
18	Fergoug	1970	18
19	SMBA	1969	350
	Total		1796

Il fallait attendre 12 ans, soit en 1986 pour que les services d'hydraulique effectuaient le troisième levées bathymétrique sur 17 barrages. En 1986, l'Algérie disposait de 30 barrages d'une capacité de 3290 millions de m³ (fig. 8). Un volume de 450 millions de m³ de boue a été piégé par ces barrages, ce qui représente un taux de comblement de 13.5% de la capacité totale. Soit une diminution de 6% de capacité par rapport à 1974 qui est la conséquence du dévasement des anciens barrages et la réalisation de 12 nouveaux barrages durant la capacité durant la période : 1974-1986.

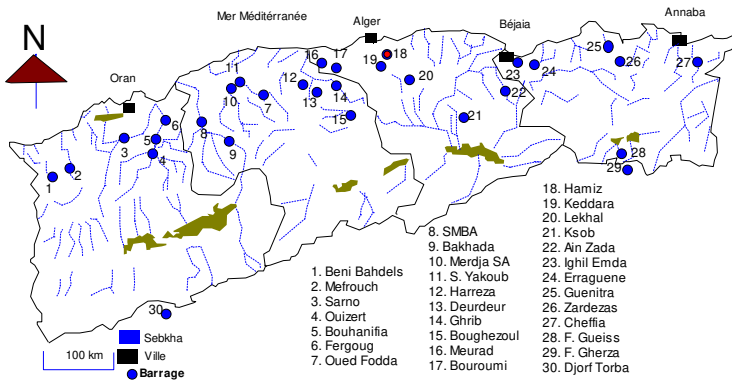


Figure 8 : Localisation des Barrages 1986

En 2004, la capacité des eaux a été doublée pour atteindre un volume de 6800 millions de m³ stockée dans 60 barrages (fig. 9). En parallèle pour la première fois, le volume de vase déposée au fond des barrages a atteint 1.1 milliards de m³. Entre 2004 et 2006, plus de 30 levées bathymétriques ont été effectués par l'Agence Nationale des Barrages et Transferts.

En 2014, la capacité a atteint 8600 millions de m³ stockée dans 74 barrages (fig. 10). Cependant le cumul de la vase déposée au fond des barrages a atteint 1.7 milliards de m³, soit un taux de comblement de 20%. Il est intéressant de constater que malgré la réalisation de nouveaux ouvrages, l'envasement s'est accéléré à cause notamment de la dégradation de nombreux bassins versants et le sapement des berges. D'ailleurs, l'évolution dans le temps du taux d'envasement représenté par la figure 12 confirme l'allure de l'augmentation de l'envasement des barrages. En 140 ans d'exploitation, soit en 2014, le taux d'envasement a atteint la valeur de 65 millions de m³/an.

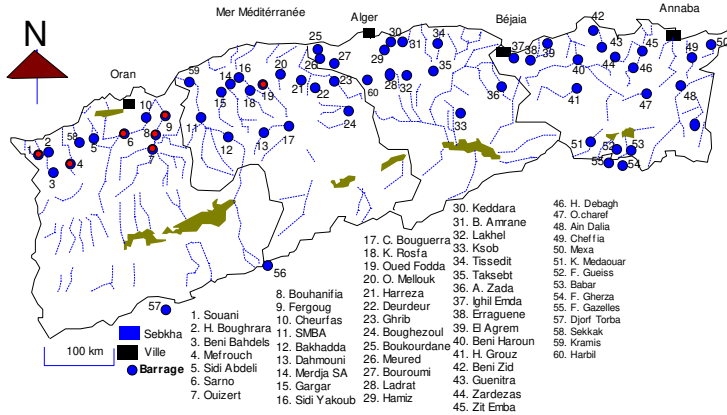


Figure 9 : Localisation des Barrages en 2004

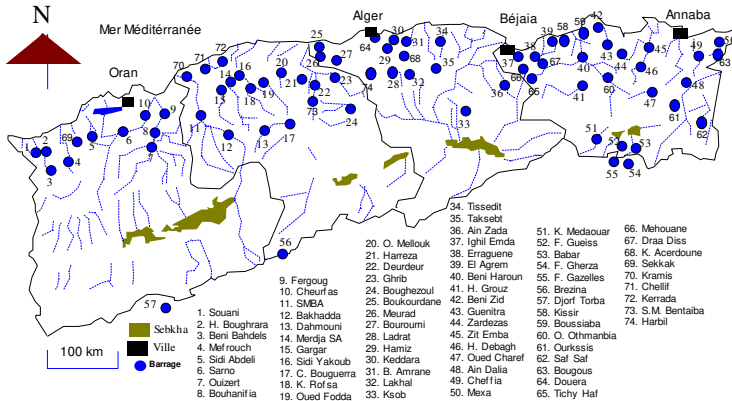


Figure 10 : Localisation des Barrages en 2014

Evolution dans le temps des dépôts vaseux dans les barrages Algériens

En construisant les barrages sur des cours d'eau naturels, l'homme modifie le transit des particules solides et les contraint à se déposer au fond des lacs créés par ces obstacles, réduisant ainsi progressivement leur capacité. Tous les barrages à travers le monde sont plus au moins exposés au phénomène de l'envasement mais avec des vitesses de sédimentation qui diffèrent d'une région à une autre. Malheureusement, l'envasement des barrages en Algérie enregistre les valeurs les plus élevées dans le monde. Dans cette étude nous avons examiné

l'évolution de la capacité d'eau des barrages réservoirs depuis la réalisation du premier barrage (fig. 11).

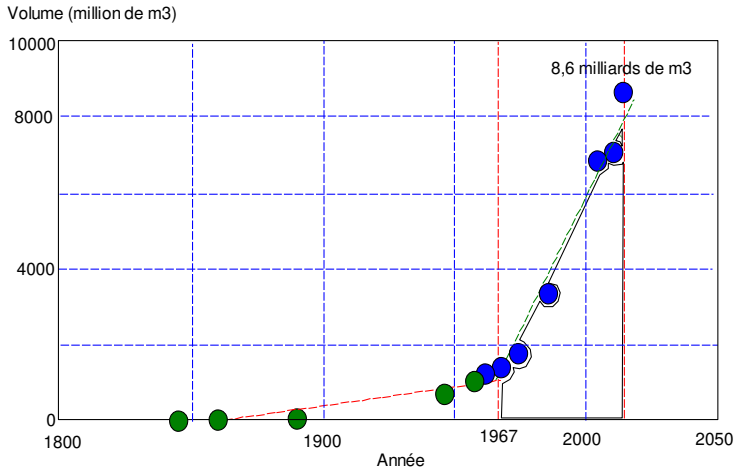


Figure 11 : Evolution historique de la quantité d'eau stockée dans les barrages

Il est intéressant de constater que le volume d'eau stockée croît depuis 1846, date de la mise en eau du premier barrage d'une capacité de 0,73 millions de m³ qui est le barrage de Sig jusqu'à l'année 2014 où la capacité de 74 barrages a atteint 8650 millions de m³. On constate aussi qu'à partir des années soixante, une montée spectaculaire de la capacité d'eau suite à la réalisation de plus en plus de barrages de grande capacité et l'entretien des anciens barrages. Durant la période : 1846 -1962, la capacité d'eau a augmenté à raison de 10 millions de m³/an. Par contre, durant la période : 1962-2014, le volume d'eau a augmenté à raison de 140 millions de m³/an. En parallèle à l'évolution de la capacité des eaux de surface des barrages, nous avons suivi l'évolution des dépôts vaseux dans les barrages (fig. 12).

La croissance du volume d'eau est accompagnée d'une évolution des dépôts de la boue dans les barrages qui suit la même allure que le volume d'eau. Depuis la « naissance » du barrage de Sig, l'envasement n'a cessé d'augmenter pour atteindre la valeur de 1700 millions de m³ en 2014.

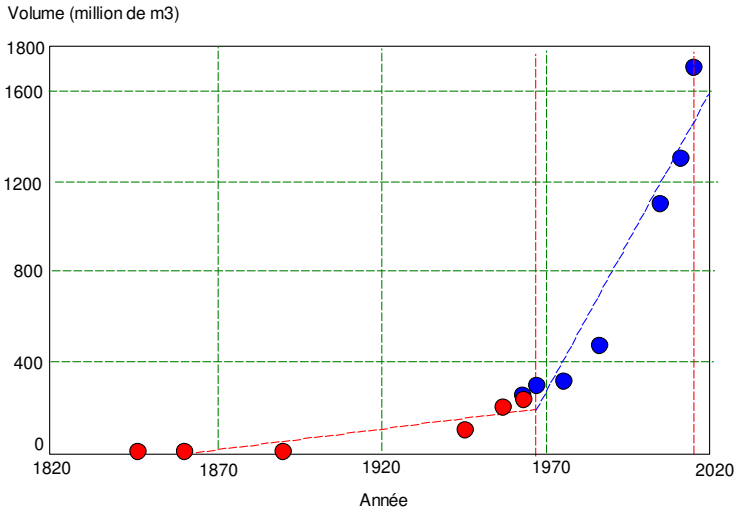


Figure 12 : Evolution de l'envasement des barrages en Algérie

Taux d'envasement ou taux de comblement d'un barrage

Comme nous l'avons mentionné au début de cet article que l'évolution du taux d'envasement des barrages est fonction de l'accroissement de la capacité de stockage des eaux. La figure 13 représente l'évolution du paramètre taux d'envasement annuel depuis 1846 jusqu'au 2014. Il est intéressant de constater que le taux d'envasement moyen a atteint 65 millions de m^3 /an durant la période : 2004-2014. Par contre durant la période : 1890- 1945, le taux d'envasement ne dépasse pas 8.5 millions de m^3 /an. Cependant, nous ne pouvons pas tirer de conclusion sur les variations de l'envasement dans le temps. A cet effet, nous avons représenté sur la figure 14 les variations dans le temps du taux de comblement des barrages. Il est intéressant de constater qu'effectivement, la perte annuelle de capacité d'un barrage en %/année est le meilleur paramètre pour déduire la gravité de l'envasement. Durant la période : 1864-1945, la perte annuelle de capacité des barrages a atteint 1%/an qui représente la valeur la plus élevée durant un siècle et demi d'exploitation des barrages.

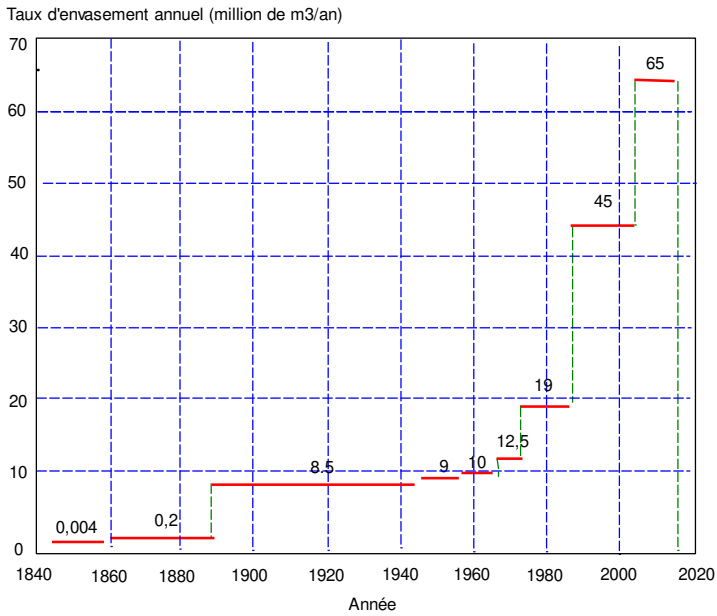


Figure 13 : Evolution dans le temps du taux d'envasement des barrages

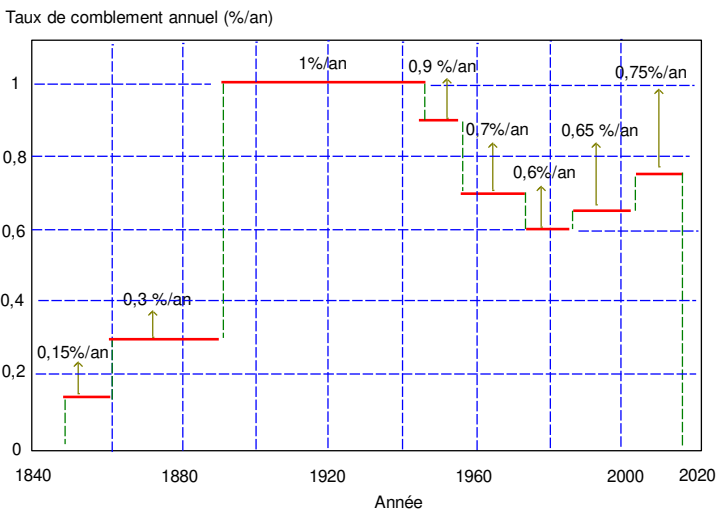


Figure 14 : Evolution dans le temps du taux de comblement des barrages

Pour avoir une idée sur le volume amputé par les dépôts successifs de la vase au fond des barrages, nous avons représenté sur la figure 15, l'évolution dans le temps de la perte de capacité (%). Nous constatons que durant les années soixante-dix, et quatre-vingt, une diminution de la capacité occupée par la boue de 19,5% jusqu'au 14% en 1986. Ce résultat est dû à la régularité des saisons et les aménagements entrepris au niveau des bassins versants par les services concernés. Par contre, Dès le début des années quatre-vingt-dix, la capacité occupée par la boue a augmenté pour atteindre un taux de comblement de 20% en 2014. Une telle capacité n'a jamais été atteinte depuis 1846. Ceci peut s'expliquer par l'irrégularité des saisons caractérisée par de longue saison sèche qui dure du mois de Mai jusqu'au mois d'octobre. Les crues d'automne sont intenses et dévastatrices pour les sols, d'autant plus qu'elles surviennent à une période où la couverture végétale est réduite ou inexistante et les sols ameublissent par les labours. Ces crues sont la cause d'une forte ablation.

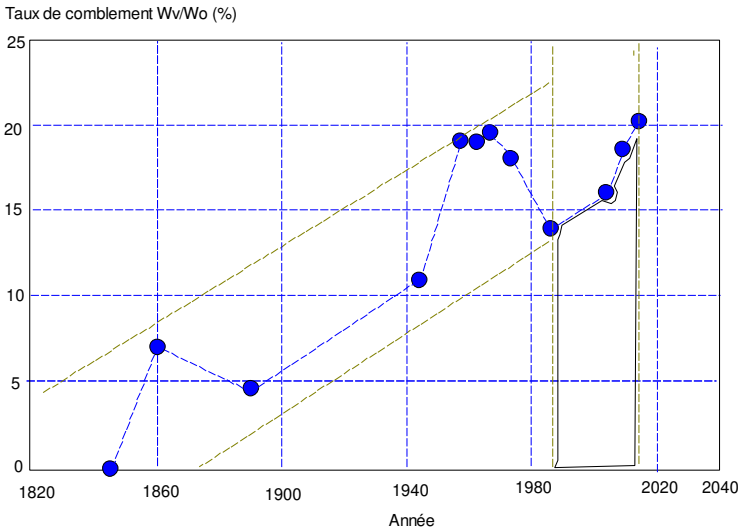


Figure 15 : Evolution dans le temps de la perte de capacité des barrages

Classement des barrages suivant le degré d'envasement

Pour mieux lutter contre le phénomène de l'envasement des barrages nous proposons un classement des barrages suivant le degré d'envasement. Il s'agit des barrages fortement envasés, barrages moyennement envasés et barrages faiblement envasés.

Barrages fortement envasés

Pour les barrages fortement envasés, nous avons deux types : Anciens barrages en exploitation et les nouveaux barrages mis en exploitation et qui sont vulnérables à l'envasement.

a) Anciens barrages en exploitation

Sur les 74 barrages en exploitation, 20 barrages sont gravement menacés par le phénomène de l'envasement (fig.16 et tableau 9). D'une capacité totale de 2372 millions de m³, plus de 1148 millions de m³ de boue drainés par les crues sont actuellement déposés au fond de ces 20 barrages. Soit un taux de comblement de 48% de la capacité totale. Sur les 20 barrages, on dénombre 11 anciens barrages qui ont été réalisés durant la deuxième étape de l'histoire de l'hydraulique Algérienne. Il s'agit des barrages : Oued Fodda (1932), Ghib (1939), Boughezsoul (1934), Bouhanifia (1948), Ksob (1934), Zardezas (1945), Foum El Gueiss (1939), Foum El Gherza (1947), Meurad (1846) et Hamiz (1934). Les barrages Hamiz et Meurad sont considérés parmi les premiers barrages de l'infrastructure hydrotechnique Algérienne. Les 6 autres barrages sont récents puisque leurs âges ne dépassent pas les 60 ans. Il s'agit des barrages de Beni Amrane, Bakhada, Djorf Torba, Fergoug et SMBA (1978), Mexa, Brezina, Gargar et Cheurfas 2. Il est à noter que les barrages Djorf torba, Bakhada et SMBA ont été classés comme des barrages de faible à moyen taux d'envasement. Durant les années quatre vingt dix, aujourd'hui sont classés comme des barrages à fort taux d'envasement. Il faut souligner aussi que si ces anciens barrages continuent à fonctionner, c'est grâce aux techniques de dévasement (dragage, surélévation et soutirage des courants de densité) pratiquées sur ces barrages. Il faut admettre que malgré l'âge très avancé de ces barrages, une capacité de 2,37 milliards de m³ d'eau est fortement menacée de disparaître à court terme si des solutions sérieuses ne seront pas prises dans l'immédiat. En plus, les sites favorables à la réalisation de nouveaux barrages sont de plus en plus rares. Dans ce cas, deux solutions de dévasement s'imposent. Il s'agit de dévasement par dragage pour les barrages de faible capacités et la surélévation de la digue pour les barrages de grande capacité.

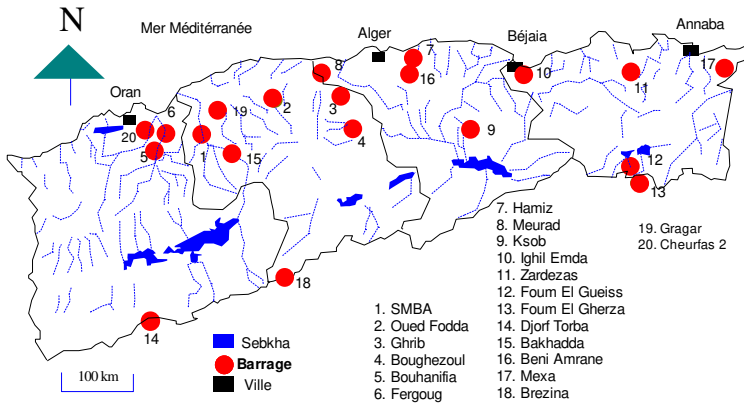


Figure 16 : Les barrages les plus menacés par l'envasement

Tableau 9 : Taux de comblement des barrages menacés par l'envasement

N°	Barrage	Année de la mise en eau	Capacité initiale (million de m ³)	Taux de comblement annuel (%/an)	Taux de comblement en 2014 (%)	Année de comblement total du barrage
1	SMBA	1978	235	1,7	51	2040
2	Oued Fodda	1932	228	1	63	2060
3	Ghrib	1939	350	1,15	57	2045
4	Boughezoul	1934	55	1.6	80	2025
5	Bouhanifia	1948	73	1	56	2055
6	Fergoug	1970	18	1,22	94	2017
7	Hamiz	1935	21	1.55	48	2045
8	Meurad	1860	1,2	0.6	72	2090
9	Ksob	1977	29,5	1	69	2045
10	Ighil Emda	1953	155	1	40	2070
11	Zardezas	1977	31	4,5	58	2020
12	Foum El Gueiss	1939	3	1.65	90	2017
13	Foum El Gherza	1950	47	1,2	76	2034
14	Djorf Torba	1969	350	0.9	35	2050
15	Bakhada	1963	56	0.72	34	2060
16	Beni Amrane	1988	16	6	68	2019
17	Mexa	1998	47	4,6	74	2019
18	Brezina	2000	122	2.9	40	2034
19	Gargar	1988	450	1,3	33	2065
20	Cheurfas 2	1992	82	1,35	28	2067
	Total		2372			

b) Nouveaux barrages mis en exploitation

Sur la base de dernières levées bathymétriques (2004, 2006 et 2014) effectués par l'ANBT sur 70 grands barrages, nous avons recensé 8 barrages qui peuvent être vulnérables à l'envasement (fig.17 et tableau 10). D'une capacité totale de 561 million de m³, plus de 67 millions de m³ de vases sont déposés au fond de ces barrages en 2014. Possédant un fort taux d'envasement (supérieur à 1 millions de m³), ces barrages peuvent disparaître à court et à moyen terme si des dispositions de lutte contre l'envasement ne seront pas prises à temps. Les moyens préventifs seront la priorité de l'Agence Nationale des Barrages et Transferts. La solution réside à l'amont du barrage par la diminution de l'érosion des bassins versants et le sapement des berges des cours d'eau. Dans ce cas, l'aménagement des bassins versants par la réalisation de la correction torrentielle, la réalisation des banquettes, le reboisement et la stabilisation des berges des cours d'eau. Pour avoir une idée sur l'ampleur de l'envasement sur ces nouveaux barrages, nous avons évalué la durée de vie de ces barrages (Tableau).

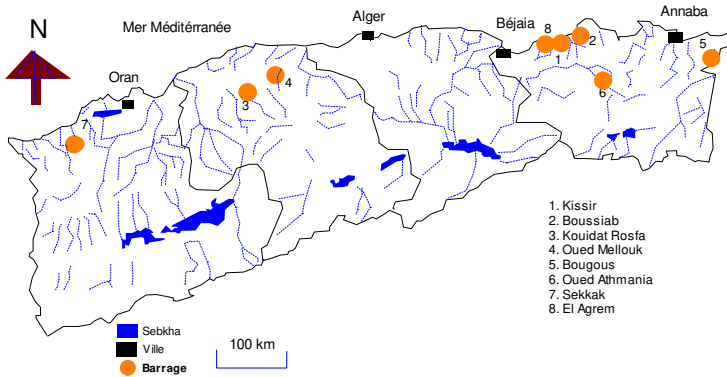


Figure 17 : Localisation des nouveaux barrages vulnérables à l'envasement

Il est intéressant de constater sur le tableau 14 que trois nouveaux barrages seraient menacés d'envasement total si des moyens curatifs n'étaient pas pris à court terme. Il s'agit des barrages : Kissir (2009), Mexa (1998) et Brezina (2000) dont la durée de vie ne dépassera pas 35 ans ; une valeur jugée très courte.

Tableau 10 : Nouveaux barrages vulnérables à l'envasement

N°	Barrage	Année de la mise en eau	Capacité initiale (million de m ³)	Taux de comblement en 2014 (%)	Taux de comblement annuel (%/an)	Année du comblement total du barrage
1	Kissir	2009	76	21	4.2	2029
2	Boussiab	2010	120	10	2.3	2053
3	Kouidat	2004	75	12	1.2	2087
4	Rofsa Oued Mellouk	2003	127	23	2	2050
5	Bougous	2010	66	9	2.3	2054
6	Oued Athmania	2006	36	6	1	
7	Sekkak	2004	27	11	1.1	
8	El Agrem	2002	34	18.5	1.3	
	Total		561			

Barrages moyennement envasés

En se basant sur les derniers levés bathymétriques, nous avons relevé 12 barrages que nous avons classés comme barrages moyennement envasés (fig. 18 et tableau 11). Il s'agit des barrages : Erraguene (1962), Hammam Grouz (1987), Harbil (1988), Souani (1990), Beni Bahdels (1952), Colonel Bouguera (1989), Merdja SA (1984).

Fort d'une capacité totale de 833 millions de m³, ces barrages ont enregistré un cumul de vase de 137 millions de m³, ce qui représente un taux de comblement de 06,5% de la capacité totale ; une valeur que nous avons jugé moyenne. Cependant, les services d'hydrauliques doivent suivre attentivement ces barrages par la réalisation des levés bathymétriques périodiques.

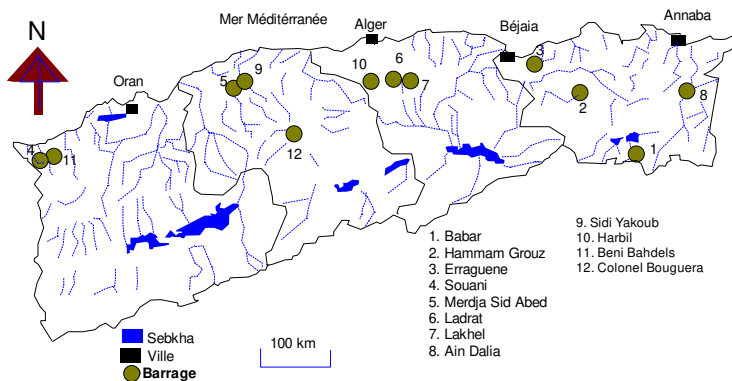


Figure 18 : Localisation des barrages moyennement envasés

Tableau 11 : Barrages moyennement envasés

N°	Barrage	Année de la mise en eau	Capacité initiale (Million de m ³)	Taux de comblement annuel (%/an)	Taux de comblement(%) (2014)
1	Babar	1995	41	0.8	11
2	Hammam Grouz	1987	45	0,65	18
3	Erraguene	1963	200	0.4	20
4	Souani	1990	13	0,75	18.5
5	Merdja Sidi Abed	1984	54,9	0,65	20
6	Ladrat	1989	10	0.75	22.5
7	Lakhel	1985	30	0.5	14.5
8	Ain Dalia	1987	82	0.43	11.5
9	Sidi Yakoub	1985	280	0,53	15
10	Harbil	1988	1	1	25
11	Beni Bahdels	1952	63	0.25	16
12	Colonel Bouguera	1989	13	0.85	13
	Total		833		

Barrages faiblement envasés

Sur la base de dernières levées bathymétriques effectuées par l’ANBT, 34 barrages peuvent être classé comme des barrages faiblement envasés (fig. 19 et tableau 12). Autrement dit, ils sont à l’abri de l’envasement à court et à moyen terme. D’une capacité totale de 4890 million de m³ d’eau, seulement 295 millions de m³ de vases ont été piégés au fond des 36 barrages, ce qui représente

un taux de comblement de 6% de la capacité totale. A court et à moyen terme, ces barrages ne présentent aucun danger vis-à-vis de l'envasement. Les faibles concentrations en particules fines enregistrés dans les oueds principaux des bassins versants de ces barrages témoignent l'absence des courants de densité dans les retenues. Le suivi périodique (deux à trois ans) de l'évolution du toit de vase est nécessaire. Parmi les barrages qui ont attiré notre attention, nous pouvons citer le barrage de Mefrouch (Tlemcen). Vieux de d'un demi-siècle, la capacité initiale du barrage est resté constante durant la période d'exploitation : 1963 -2014. Un dépôt insignifiant de vase estimé à 0.01 millions de m³ s'est déposé au du barrage pendant 50 ans d'exploitation. Le barrage de Sarno d'une capacité de 22 millions de m³ s'est retrouvé après 60 ans d'exploitation avec une capacité de 21 millions de m³, soit une perte de capacité de 1 million de m³ suite à l'envasement.

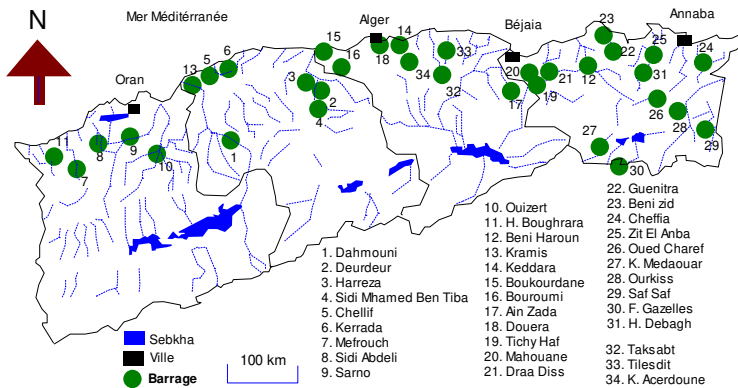


Figure 19 : Localisation des barrages faiblement envasés

Tableau 12 : Barrages faiblement envasés

N°	Barrage	Année de la mise en eau	Capacité initiale W_0 (Million de m ³)	Taux de comblement annuel (%/an)	Taux de comblement en 2014 (%)
1	Dahmouni	1987	41	0,2	1
2	Deurdeur	1985	115	0,45	10
3	Harreza	1984	76	0,9	9,8
4	Sidi Mamed Bentiba	2005	75	0.75	4
5	Chellif	2009	50	0.1	0.5
6	Kerrada	2010	70	0,1	0.5
7	Mefrouch	1963	15	0.001	0.06
8	Sidi Abdeli	1988	110	0,2	6
9	Sarno	1954	22	0.05	2,25
10	Ouzert	1985	100	0.3	10

11	H. Bougherara	1999	177	0,2	3,5
12	Beni Haroun	2003	963	0,8	8,5
13	Kramis	2004	45	0,88	9
14	Keddara	1985	145	0,1	3
15	Boukourdane	1992	105	0,1	1
16	Bouroumi	1985	188	0,15	5
17	Ain Zada	1986	125	0,15	5
18	Douera	2010	75	0,9	4
19	Tichy Haf	2007	80	0,9	7
20	Mahouane	2014	148	0,9	0
21	Draa Diss	2014	137	0,3	0
22	Guenitra	1984	125	0,3	9,5
23	Beni Zid	1994	36	0,27	5,5
24	Cheffia	1965	171	0,2	9,5
25	Zit El Anba	2001	120	0,3	4
26	Oued Charef	1997	157	0,35	7
27	Koudiat	2003	69	0,7	7
	Medaouar				
28	Ourkiss	2010	64	0,8	3
29	Saf Saf	2010	23	0,9	4,5
30	F. Gazelles	2000	55,5	0,45	6
31	Hammam	1987	220	0,45	7,5
	Debagh				
32	Taksabt	2001	181	0,9	9,5
33	Tilesdit	2004	167	0,9	9
34	K.ouidet	2008	640	0,6	3,5
	Acerdoune				
	Total		4890		

Les bassins hydrographiques les plus vulnérables à l'érosion

Afin de connaître le bassin hydrographique le plus vulnérable à l'érosion dans lequel les barrages sont exposés à l'envasement accéléré, pour ensuite procéder à l'aménagement des bassins versants, nous avons suivi l'évolution du taux de comblement des barrages implantés dans les 5 bassins hydrographiques en se basant sur les levés bathymétriques des années 1967, 1986, 2004 et 2014. La figure 20 donne les valeurs du taux de comblement des barrages implantés dans chaque bassin hydrographique. Il est intéressant de constater qu'en 1967 le bassin hydrographique de l'Algérois était classé comme la région la plus vulnérable à l'érosion et par conséquent la boue déposée au fond des barrages était très élevée ; soit un taux de comblement de 55% de la capacité totale des barrages. Le bassin hydrographique de Constantinois était classé comme la région la moins vulnérable à l'érosion. Le taux de comblement des barrages n'a

pas dépassé 4.5%. Ceci peut s'expliquer par la bonne couverture végétale des bassins versants à l'amont des barrages.

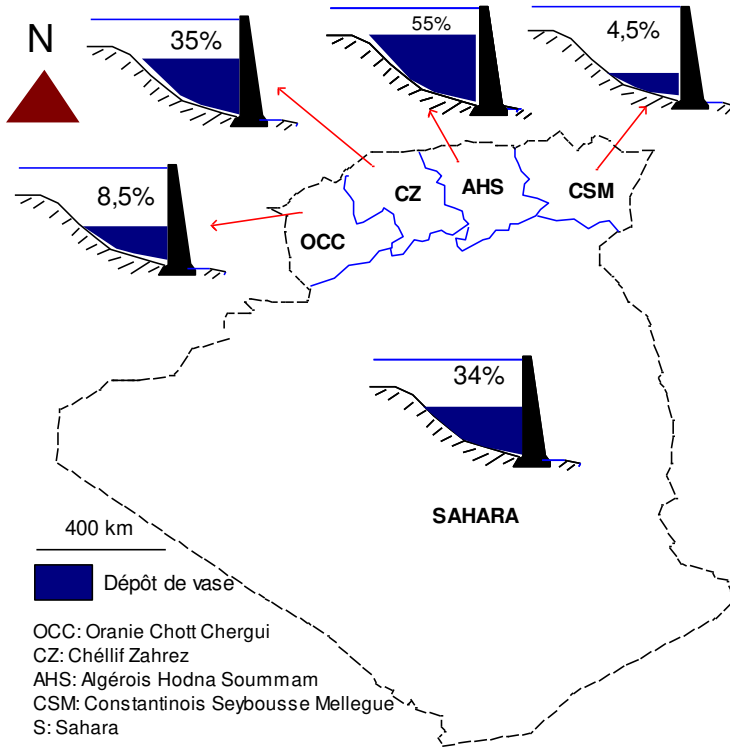


Figure 20 : Taux de comblement des barrages en 1967 suivant les bassins hydrographiques

En 1986, la capacité totale des barrages du bassin hydrographique du Chellif Zahrez a beaucoup augmenté par la mise en services de 5 grands barrages comme SMBA, Harreza, Sidi Yakoub, Merdja et Deurdeur. En plus, Cette nouvelle capacité en eau a fait chuter en 19 ans d'exploitation le taux de comblement de 35% à 20%. La même situation peut être observer pour le bassin hydrographique de l'Algérois, ou le taux de comblement a diminuer de 55% jusqu'à 18% suite à la construction de nouveaux barrages. Par contre, le taux de comblement des barrages dans le bassin hydrographique a passé de 4.5% à 18% suite à l'évolution du toit de vase dans les anciens barrages notamment, celui de Zardezas et Ighil Emda (fig. 21).

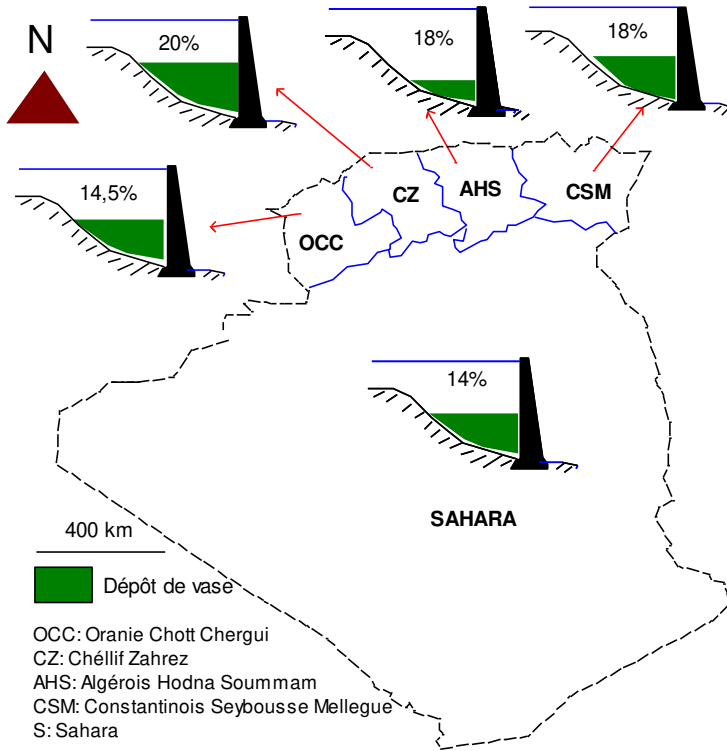


Figure 21 : Taux de comblement des barrages en 1986 suivant les bassins hydrographiques

En 2004, le taux de comblement des barrages dans le bassin hydrographique de Chellif Zahrez a augmenté de 20% à 30% à cause de l'ampleur de l'envasement des anciens barrages. D'autres grands barrages comme SMBA et Gargar sont devenus de gros piègeurs des sédiments. Le taux de comblement des barrages du bassin hydrographique du Constantinois a fortement baissé de 18% à 8% à cause la mise en eau de nouveau barrages et notamment le plus grand barrage Algérie, le Beni Haroun d'une capacité de 963 milliards de m³. On distingue le même scénario dans le bassin hydrographique de l'Algérois dans lequel le taux de comblement a beaucoup diminué en passant de 18% à 10% à cause de la mise en exploitation de nouveaux barrages de grandes capacités comme Taksabt et Tilesdit. On retrouve le cas contraire dans le bassin hydrographique du Sahara dans lequel, le taux de comblement a augmenté en passant de 14% à 24% à cause de l'envasement avancé dans les barrages de Foum El Gherza, Djorf Torba et Brezina (fig. 22).

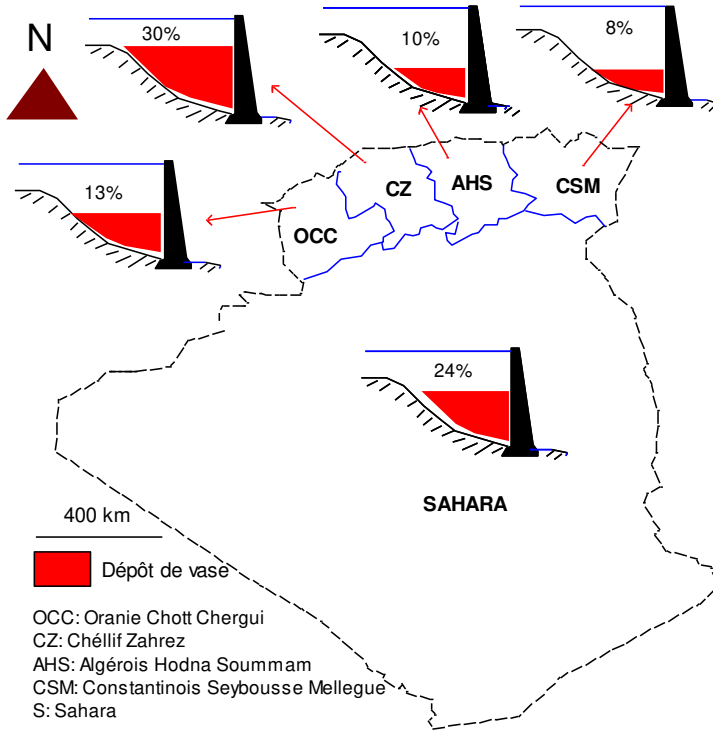


Figure 22 : Taux de comblement des barrages en 2004 suivant les bassins hydrographiques

En 2010, le taux de comblement des barrages du bassin hydrographique de Chéllif Zahrez a légèrement augmenté en passant de 30% à 32%. Par contre le taux de comblement des barrages du bassin hydrographique du Constantinois a subi un accroissement de 8% à 12,5% puisqu'on a relevé un dépôt de vase de plus de 70 millions de m³ dans le barrage de Beni Hroun. Les barrages Ighil Emda et Zardezas ont reçu un apport solide appréciable. Le nouveau barrage Mexa qui est classé parmi les barrages les plus envasés, puisqu'il a reçu durant la période un apport solide 17 millions de m³ durant la période 2004-2010 (fig. 23).

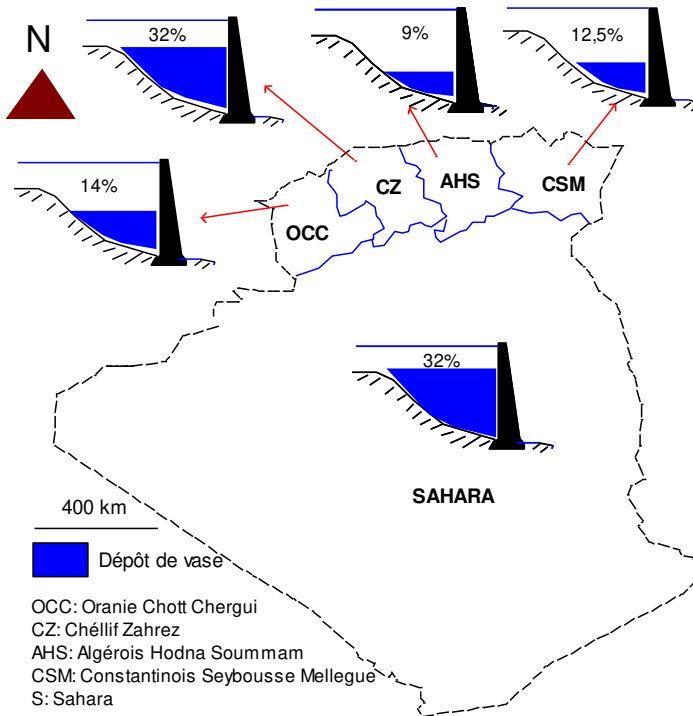


Figure 23 : Taux de comblement des barrages en 2010 suivant les bassins hydrographiques

En 2014, le taux de comblement des barrages du bassin hydrographique de Chellif Zahrez a continué son accroissement depuis 1986 pour atteindre la valeur de 35%. Il est du surtout aux dépôts successif des particules des fines dans les 17 barrages implantés dans la région. Cependant, il est intéressant de soulever que 9 sur les 17 barrages sont classés parmi les barrages les plus envasés de l'Algérie. Ils de véritables piègeurs de sédiments. A titre d'exemple, les deux barrages Gargar et Ghrif reçoivent annuellement 10 millions de m^3 de particules solides. La même observer dans le bassin hydrographique du Sahara. Avec 34%, le taux de comblement des barrages reste suffisamment élevé à cause des apports solides dans les barrages de Djorf Torba, Brezina et Foum El Gherza. Quant aux bassins hydrographiques de l'Oranie, le Constantinois et l'Algérois, le taux de comblement des barrages est resté pratiquement faible à moyen. Finalement, on peut dire que les barrages du bassin hydrographique du Chellif Zahrez sont les barrages les plus exposés à l'envasement (fig. 24).

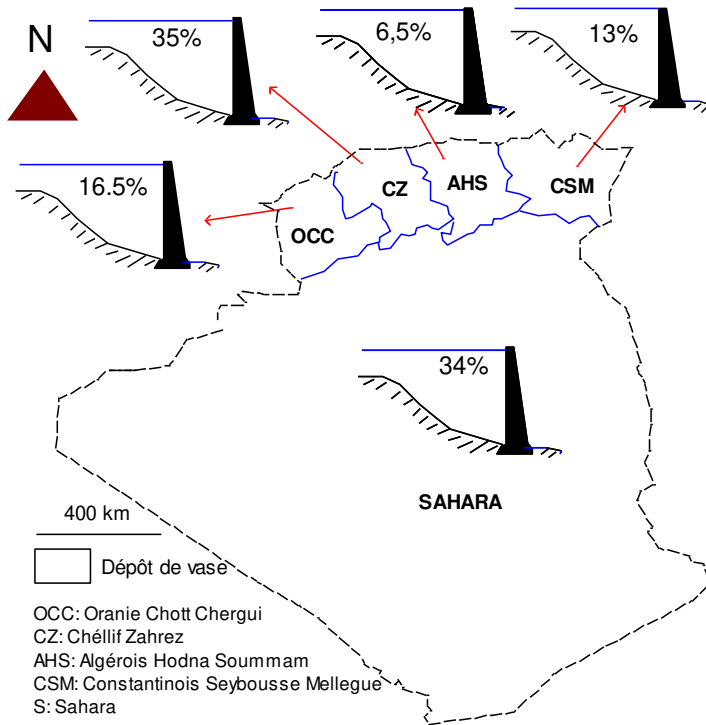


Figure 24 : Taux de comblement des barrages en 2014 suivant les bassins hydrographiques

CONCLUSION

La présente étude a relevé qu'en 2014, les dépôts vaseux au fond de 74 barrages avoisinent 1,7 milliards de m³, soit un taux de comblement de 20% de la capacité totale des barrages. Une valeur que nous avons jugée très élevée, puisque le taux de comblement est passé de 14% en 1986 à 20% en 2014, malgré les moyens de dévasement déployés par les services d'hydraulique. Une capacité de 2,37 milliards de m³ sur 8,5 milliards de m³ détenue par 20 barrages est gravement menacée par les dépôts de vase. D'ailleurs, les barrages de Foug El Gueiss et Fergoug sont dans un état très critique. Ils risquent d'être déclassés puisqu'ils sont envasés à plus de 90% de leurs capacités totales. Huit nouveaux barrages d'une capacité de plus d'un demi-milliard de m³ sont vulnérables à l'envasement, ils peuvent être comblés à court terme. Douze barrages d'une

capacité de 830 millions e m³ sont moyennement envasés. 34 barrages d'une capacité totale de 5 milliards de m³ sont à l'abri de l'envasement à long terme. Il est à noter qu'à la fin de l'an 2017, le volume de boue déposé au fond de 74 barrages est estimé à 1,9 milliards de m³. Les barrages réalisés dans le bassin hydrographique de Chéllif Zahrez sont les plus exposés au phénomène de l'envasement. Pour mieux lutter contre l'envasement, la priorité doit être accordée selon le degré d'envasement. Pour les barrages à faible taux d'envasement, le suivi périodique du toit de vase par les levés bathymétriques est indispensable. Pour les barrages à moyen taux d'envasement, la priorité sera donnée au traitement de leurs bassins versants. Cependant, pour les barrages à fort taux de comblement, des moyens curatifs (dragage et surélévation) sont devenus aujourd'hui le seul moyen pour prolonger leurs durée e vie. Quant aux barrages en projets, le traitement et l'aménagement de leurs bassins versants doivent se faire en parallèle avec la construction du barrage. En plus, il faut réaliser le premier levé bathymétrique une année ou deux années après le mise en eau du barrage pour définir son degré d'envasement et prendre les précautions nécessaires dans les meilleurs délais.

REMERCIEMENTS

Je remercie vivement l'Agence Nationale des Barrages (ANBT) et plus particulièrement la direction de la maintenance des barrages pour l'aide apportée aux enseignants et étudiants en matière d'information et de données. Je remercie également l'ensemble du personnel des barrages et plus particulièrement ceux du barrage de Foum El Gherza qui m'ont aidé à réaliser ce modeste travail.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BADRAOUI A., HAJJI A., 2001. Envasement des retenues de barrages. Revue la Houille Blanche n° 6/7, pp 72 - 75.
- BEN MAMOU A., LOUATI A., 2007. Evolution temporelle de l'envasement des retenues de barrages en Tunisie. Revue des sciences de l'eau. Vil. 20, n°2, pp. 201-211.
- DEMMAK A., 1982. Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse de Dr. Ing. Université de Pierre et Marie Curie, Paris XI.

- BERTHIER A., 1970. Quelques problèmes posés par la création de barrages sur une rivière transportant les débits solides. Proceeding du 10^{eme} congres Int. des grands barrages -Montréal (Canada) p.489-506
- REMINI B., 1997. Envasement des retenues de barrages en Algérie. Importance, mécanismes et moyen de lutte par la technique du soutirage. Thèse de doctorat, Ecole nationale polytechnique d'Alger, mars, 342p.
- REMINI B., HALLOUCHE W., 2007. Studying sediment at Algeria's dams. International water power and Dam Construction.
- REMINI B., BENSAFIA D., 2016. Envasement des barrages dans les régions arides. Exemples algériens. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°27, Sept 2016, pp. 63-90.
- REMINI B., TOUMI A., 2017. Le réservoir de Beni haroun (Algérie) est-il menacé par l'envasement ? Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°29, Mars 2017, pp. 249-263.
- REMINI B., BENFETTA H., 2015. Le barrage reservoir de Gargar est- il menacé par l'envasement, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°24, Décembre 2015, pp. 175-192.
- REMINI B., BENSAFIA D., MISSOUM M., 2015. Silting of Foum el Gherza Reservoir. GeoScience Engineering Volume LXI , No.1. pp. 1-9, ISSN 1802-5420.
- REMINI B., BENSAFIA D., NASROUN T. 2015. Impact of sediment transport of the Chellif River on silting of the Boughezoul reservoir (Algeria). Journal of Water and Land Development. No. 24 p. 35–40. DOI: 10.1515 /jwld-2015-0005.
- REMINI B., HALLOUCHE O., 2007. Studying Sediment. Revue International Water Power et Dam construction. Octobre, pp. 42-45.
- REMINI B., HALLOUCHE O., 2007. Evolution de l'envasement du barrage d'Oued El Fodda. Revue Eau énergie air, n°1, Avril, pp. 75-78.
- REMINI B., KETTAB A., AVENARD J.M., 1996. Le barrage d'Ighil Emda (Algérie) : Soutirage des sédiments par l'utilisation des courants de densité. Vecteur Environnement, Vol 29, n°4, Aout, pp.27-32.
- REMINI B., KETTAB A., HIHAT H., 1995. Envasement du barrage d'IGHIL EMDA (Algérie). Revue Internationale de l'eau: La Houille Blanche n° 2/3, pp.23-28
- REMINI B., AVENARD J-M., KETTAB A., 1996. Le barrage d'IGHIL EMDA (Algérie) I- Les courants de densité dans la retenue. Les Annales Maghrébines de l'Ingénieur, Tunis, avril, Vol. 10 ., 9 fig., 7 photos, pp.53-67.