

## LES BARRAGES DE L'EST ALGERIEN : CARACTERISATION, BILANS D'EAU ET VARIABILITE HYDROLOGIQUE

Farah BOUTOUATOU<sup>1</sup>, Azeddine MEBARKI<sup>1</sup>, Zeineddine NOUACEUR<sup>2</sup>, Benoit LAIGNEL<sup>3</sup>

<sup>1</sup>LABORATOIRE LASTERNE, Faculté des Sciences de la Terre, Géographie et Aménagement du Territoire, Université Frères Mentouri Constantine 1, Constantine, Algérie.

<sup>2</sup>UMR IDEES CNRS 6226, Université de Rouen, Rouen, France.

<sup>3</sup>UMR CNRS 6143 M2C, Bâtiment IRESA, département de Géologie, Université de Rouen, Rouen, France.

Reçu le 06/01/2019 – Accepté le 01/07/2019

### Résumé

L'Algérie connaît au cours de ces trois dernières décennies un ambitieux programme de construction de barrages. Région climatiquement la plus arrosée, l'Est algérien est équipé de 25 barrages en cours d'exploitation, répartis à travers des bassins hydrographiques aux caractères physiques très contrastés. Le bilan de régularisation mensuel et annuel est étudié à l'aide des données de l'Agence Nationale des Barrages et Transferts (A.N.B.T), disponibles sur dix barrages pour une période commune de 23 ans (de septembre 1990 à août 2013). L'écart entre le volume interannuel régularisé (21.13 hm<sup>3</sup>) et le volume régularisé théorique (37.72 hm<sup>3</sup>) montre l'importance du déficit de fourniture en eau, fortement lié à la fréquence des années sèches. L'approche statistique de la méthode graphique chronologique de traitement de l'information (de type « matrice Bertin ») appliquée pour trois principaux paramètres (apport, pluie et taux de remplissage), indique une forte relation entre les paramètres étudiés ; elle montre une nette croissance des années sèches de septembre 1990 jusqu'à août 2002, avec, toutefois, un retour des années humides à partir de l'année 2003.

**Mots clés :** Barrage ; bilan de régularisation ; variabilité hydrologique ; Est algérien

### Abstract

During last three decades, Algeria is known for a huge and ambitious program in constructing of dams. Climatically, East Algeria is of the most abundant rainfall in the territory, where 25 dams are recently in operation, distributed through watersheds, with very contrasting physical characters. Monthly and annual regularization balances are studied using data from the National Agency for Dams and Transfers (A.N.B.T) which is available on ten dams in a period of 23 years (from September 1990 to August 2013). Difference between the average annual regulated volume (21.13 hm<sup>3</sup>) and theoretical regulated volume (37.72 hm<sup>3</sup>) shows an importance deficit in the water supply system, which is strongly related to the frequency of wet and dry years. A chronological graphic method, with a statistical approach in data processing (type "Bertin matrix"), is applied for three principal parameters (input, rainfall and rate of filling). The result indicates a strong relationship between the parameters studied: a clear growth from the dry years from September 1990 until August 2002, and vice versa for wet years from 2003.

**Keywords:** dam, regularization balance, hydrological variability, Eastern Algeria

### ملخص

شهدت الجزائر على مدى العقود الثلاث الماضية برنامجاً طموحاً لبناء السدود. يعتبر الشرق الجزائري المنطقة ذات المناخ الأكثر رطوبة في الإقليم يشمل 25 سدا مستغلا حيث تنتشر هذه السدود عبر أحواض تجميعية ذات خصائص فيزيائية جد مختلفة. تتم الدراسة الهيدرولوجية لهذه المنشآت بطريقة التحليل الإحصائي لمعطيات الوكالة الوطنية للسدود والتحويلات المائية المتعلقة بموازنة التعديل الميائي الشهري والسنوي والمتوفرة في عشرة سدود لفترة هيدرولوجية مشتركة مدتها 23 سنة (من سبتمبر 1990 إلى أوت 2013). يقدر متوسط الحجم السنوي المعدل بنحو 21.13 هم<sup>3</sup> مقابل متوسط الحجم النظري المعدل البالغ 37.72 هم<sup>3</sup> ويبين هذا الفارق أهمية عجز المنسوب للمياه المرتبط بتعدد السنوات الجافة. ومن ناحية أخرى تم تطبيق معالجة المعلومات الزمنية لثلاث عوامل: المدخيل الهيدرولوجية، التساقط، ونسبة امتلاء السدود و تشير المصروفة إلى وجود علاقة قوية بين العوامل المدروسة حيث تظهر تزايد واضح للسنوات الجافة من سبتمبر 1990 حتى أوت 2002 مع عودة للسنوات الرطبة ابتداء من السنة 2003.

**الكلمات المفتاحية :** سد، موازنة تعديل الميائي، التغيير الهيدرولوجي، الشرق الجزائري .

## 1. Introduction :

Les ressources en eau de surface sont d'une importance capitale pour le développement socio-économique de l'Algérie. Depuis les années 1980, les eaux de surface font l'objet d'une mobilisation accrue au moyen des barrages hydrauliques. Au total, sur un ensemble de 74 barrages en cours d'exploitation (situation année 2015), 25 barrages se localisent dans le Nord-Est et contrôlent une surface drainée globale de 25 224 km<sup>2</sup>. Cette région est limitée au Nord par la mer Méditerranée, au Sud par le Chott Melhir, à l'Ouest, par une verticale parcourant Bejaia, les Monts et Chott Hodna jusqu'aux Monts du Zab et à l'Est par la frontière algéro-tunisienne (fig. 1) [1]. Le contexte physico-climatique est marqué par de forts contrastes, avec un climat méditerranéen au Nord et continental subdésertique au Sud, les cumuls pluviométriques annuels variant dans une gamme de 200 à 1200 mm.

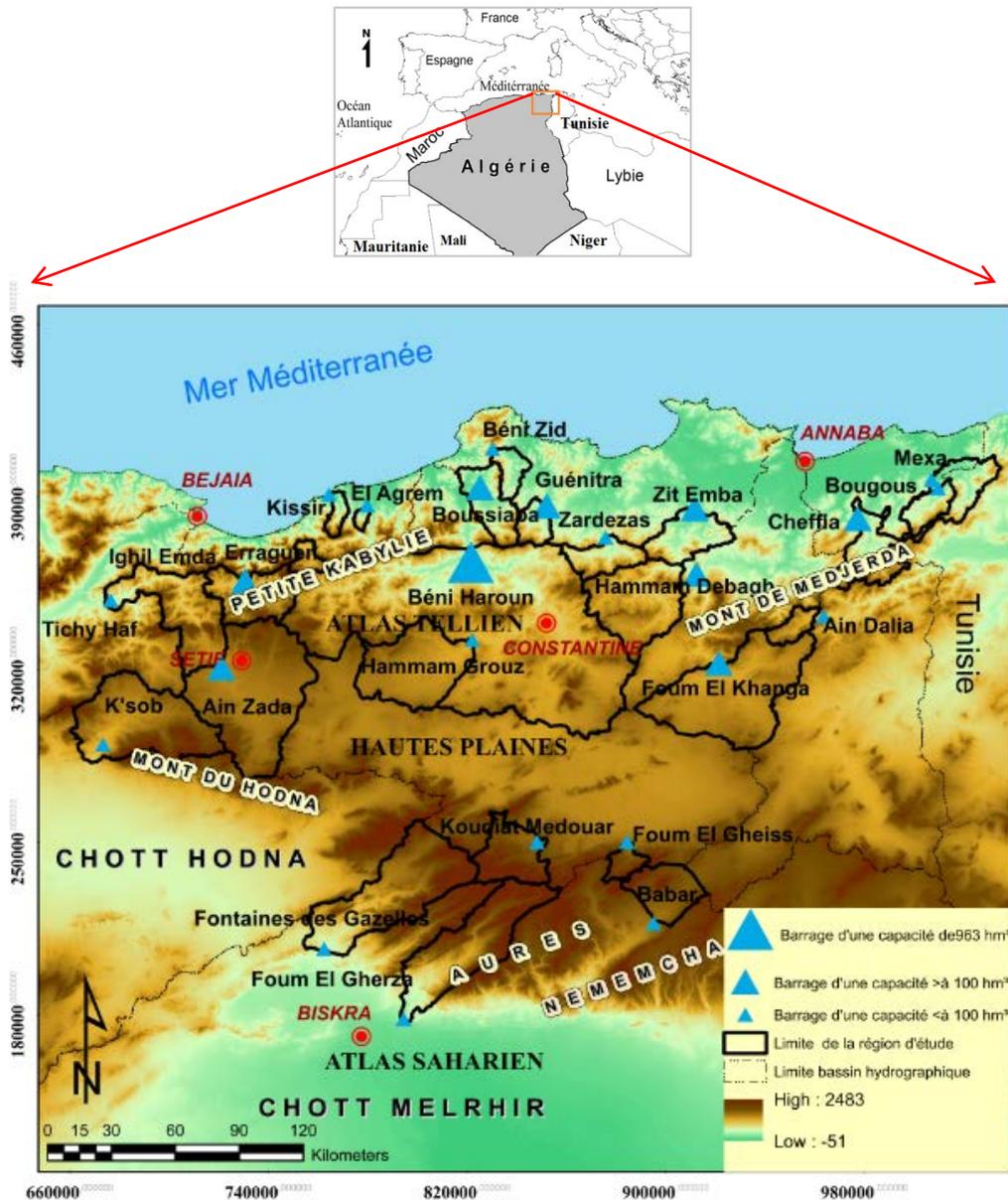


Figure 1 . Présentation de la zone d'étude, vue à travers un Modèle Numérique de Terrain (MNT à maille de 100 m, coordonnées métriques Lambert Nord Algérie, traité par REZAK, 2014).

Deux principales données fournies par l'Agence Nationale des Barrages et Transferts (A.N.B.T) sont exploitées dans le cadre de cette contribution :

- les données hydrotechniques caractérisant la variété des 25 barrages en cours d'exploitation (bassins hydrologiques, digues, ouvrages annexes et lacs de retenue) ;

- les données du bilan de régularisation (entrées, sorties et variations du stock d'eau emmagasiné) calculées sur 10 barrages disposant d'une série commune, allant de septembre 1990 à août 2013.

Ces données de mesures ont fait l'objet d'une analyse statistique (méthode graphique chronologique de traitement de l'information ou MGCTI de type « matrice Bertin») de trois

Paramètres : apport, pluie et taux de remplissage. Elle conduit à analyser la répartition spatio-temporelle des paramètres hydroclimatiques d'une part, et de déterminer les dates de changements de cycle grâce à l'analyse régionale d'autre part [2] [3].

## 2. Evolution des barrages et caractérisation de leurs bassins d'alimentation :

### 2.1. Evolution en nombre et en capacité

La figure 2 illustre l'évolution des barrages de 1938 (date marquant le début de construction de barrages par la colonisation) à 2015. Trois périodes marquent cette mutation hydraulique en termes de nombre et de capacité installée des barrages :

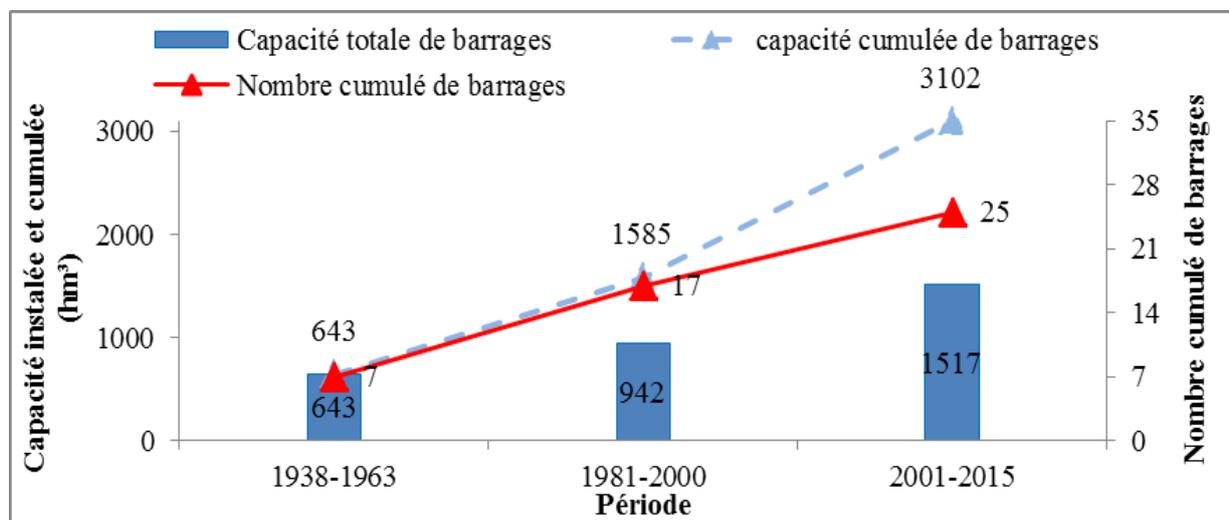


Figure 2. Evolution de l'infrastructure de mobilisation des eaux superficielles dans l'Est algérien de 1938 à 2015.

- **Le legs de la période coloniale** : au lendemain de l'Indépendance, l'Est algérien hérite d'une faible capacité installée se limitant à sept (7) ouvrages en exploitation. Les barrages Foum El Gueiss (1939), K'sob (1940) et Zardezas (1945), d'une capacité cumulée de 63.5 hm³, ont été surélevés respectivement en 1969 (Foum El Gueiss) et en 1977 (Zardezas et K'sob) à cause de l'envasement rapide des retenues. Le barrage Foum El Gherza (47 hm³), mis en service en 1950, a connu également des problèmes d'envasement rapide en plus des phénomènes de fuites.

Par ailleurs, les besoins grandissants en énergie amenèrent la colonisation à construire deux barrages hydroélectriques : Ighil Emda (160 hm³) et Erraguene (200 hm³), mis en eau respectivement en 1954 et en 1963. Enfin, la construction du barrage Cheffia (171 hm³), fût lancée en 1959 ; sa mise en exploitation est devenue effective en 1965 pour faire face à la pénurie chronique d'alimentation en eau potable et industrielle de la ville d'Annaba ainsi qu'à l'irrigation du périmètre de Bounamoussa [4].

- **la relance hydraulique à partir des années 1980**: dès le début des années 1980, l'Algérie s'est engagée dans un ambitieux programme pour rattraper son retard hydraulique. Dix (10) barrages d'une capacité cumulée de 1585 hm³ furent mis en eau entre 1981 et 2000, leur capacité variant de 40 à 220 hm³ (Guénitra : 125 hm³, Ain Zada : 125 hm³, Hammam Grouz : 45 hm³, Hammam Debagh : 220 hm³, Ain Dalia : 82 hm³, Foum El Khanga : 157 hm³, Babar : 41 hm³, Mexa : 51 hm³, Béni Zid : 40 hm³, Fontaines des gazelles : 55.5 hm³).

- **La poursuite du rythme de réalisation de 2001 à nos jours** s'est traduite par la mise en service de 8 barrages dont le volume régularisé théorique s'élève à 982,7 hm³/an (Zit Emba : 120 hm³, El Agrem : 34 hm³, Koudiat Medaour : 69 hm³, Béni Haroun : 963 hm³, Kissir : 68 hm³, Boussiaba : 120 hm³, Tichy Haf : 80 hm³, Bougous : 65 hm³). En 2015, la capacité globale des barrages en exploitation s'élève à 3102 hm³. Ce volume a tendance à augmenter avec 31 barrages en construction et en projet.

Le tableau 1 résume les principales caractéristiques des barrages aux bassins (situation fin 2015).

**Tableau 1.** Les barrages en exploitation dans l'Est Algérien

Bassin versant	Barrage et oued		Wilaya	Année de mise en eau	Type	Superficie bassin versant (km <sup>2</sup> )	Capacité initiale (hm <sup>3</sup> )	Volume régularisé théorique (hm <sup>3</sup> /an)	Destination AEP : Alimentation en Eau Potable IRR : Irrigation AEI : Alimentation en Eau Industrielle
BV03	Mexa	Kébir-Est	El Tarf	1998	Terre	650	51.5	37	AEP
	Bougous	Bougous	El Tarf	2010	Terre	235	65	49	AEP
	Cheffia	Bouamoussa	El Tarf	1965	Terre	575	171	95	AEP+IRR+AEI
	Zit Emba	El Hammam	Skikda	2001	Terre	488	120	43.2	AEP+ IRR
	Zardézas	Saf-Saf	Skikda	1945	Béton Poids	345	31 (14.9 avant surélévation)	32	AEP+ IRR+AEI
	Guénitra	Fessa	Skikda	1984	Terre	202	125	48	AEP+ IRR
	Béni Zid	Guergoura	Skikda	1993	Terre	58.6	40	20	AEP+ IRR
	El Agrem	El Agrem	Jijel	2002	Terre	39	34	21,5	AEP+ IRR
	Kissir	Kissir	Jijel	2010	Terre	107	68	48	AEP+ IRR
	Erraguene	Djendjen	Jijel	1963	Voûtes Multiples	134	200	99	H-E
BV05	Ighil Emda	Agrioun	Bejaia	1954	Enrochement	646	160	110	H-E
BV05	K'sob	K'sob	M'sila	1940	Voûtes multiples	1460	29.5 (11.42 avant surélévation)	20	IRR
BV06	Babar	El Arab	Khenchela	1995	Terre	567	41	12	IRR
	Fontaines des Gazelle	El Hai	Biskra	2000	Terre	1660	55.5	14	IRR
	Foum El Gherza	El Abiod	Biskra	1950	Béton Poids Voûte	1300	47 (avant surélévation)	13	IRR
BV07	Koudiat Medaour	Reboa	Batna	2003	Terre	590	69	116	AEP+ IRR
	Foum El Gueiss	Gueiss	Khenchela	1939	Enrochement	154	3	3.2	AEP+ IRR
BV10	Hammam Grouz	Rhumel	Mila	1987	Béton Poids	1130	45	16	AEP
	Beni Haroun	Kébir	Mila	2003	Béton Poids BCR	7725	963	435	AEP+ IRR
	Boussiaba	Boussiaba	Jijel	2010	Poids	379	120	100	AEP
BV12	Ain Dalia	Medjerda	Souk Ahras	1986	Terre	193	82	45	AEP
BV14	Hammam Debagh	Bouhamdane	Guelma	1987	Terre	1070	220	55	AEP+ IRR
	Foum El Khanga	Cherf	Souk Ahras	1995	Enrochement	1710	157	30	AEP+ IRR
BV15	Ain Zada	Boussellam	Bordj Bou Arreridj	1986	Terre	2080	125	50	AEP
	Tichy Haf	Boussellam	Bejaia	2006	Terre	1727	80	150	AEP+ IRR

## 2.2 .Variété des bassins hydrologiques

La variété des bassins d'alimentation des barrages s'insère dans quatre grandes unités physiques disposées du Nord au Sud : les plaines littorales,

l'Atlas tellien, les Hautes Plaines et l'Atlas Saharien. Il s'agit de deux grands types de bassins :

- bassins septentrionaux à écoulement exoréique : Côtiers constantinois (11), Soummam (2), Kébir-Rhumel (3), Seybouse (2) et Medjerda (1).
- bassins méridionaux à écoulement endoréique : Hauts Plateaux (2), Chott Melrhir (3) et Chott Hodna (1) (figure 1).

Sur le plan topographique, l'altitude moyenne des bassins aux barrages varie dans de fortes proportions, de 1629 m (bassin du barrage Koudiat Medaour dans la région de Timgad-Batna) à 471.5 m (bassin du barrage Béni Zid, région de Collo).

La taille des bassins contrôlés par les barrages varie de 39 km<sup>2</sup> pour le plus petit bassin d'oued El Agrem (Côtiers de Jijel) à 7725 km<sup>2</sup> pour le grand bassin du Kébir-Rhumel à Béni Haroun. La superficie moyenne est de l'ordre de 1004 km<sup>2</sup> et 43 % des bassins ont une superficie inférieure à 500 km<sup>2</sup>.

Le rendement hydrologique des bassins relativement bien arrosés, tributaires de la Méditerranée, est estimé en moyenne interannuelle

à 2.97 l/s/km<sup>2</sup>. Ce débit spécifique chute à 0.82 l/s/km<sup>2</sup> pour les bassins des régions endoréiques au climat semi-aride à subaride.

### 3. Caractéristiques hydrotechniques des barrages :

#### 3.1. Dignes et ouvrages annexes

Les barrages se répartissent selon la nature de leur digue principale, en deux grands types, comme indiqué sur le tableau 1 :

- 18 barrages souples (72 % du total de barrages en exploitation), répartis entre barrages en enrochement (3) et barrages en terre (15). La photo 1 montre un exemple de barrage en terre (Guenitra).
- 7 barrages rigides, en béton ou en maçonnerie (28 % du total), répartis entre barrages de type poids (5) et barrages à multivoûtes (2). La photo 2 illustre un exemple de barrage à multivoûtes (K'sob).



*Photo 1. Barrage en terre (Guenitra)*



*Photo 2 .Barrage à multivoûtes (K'sob).*

**L'évacuateur de crue** est un ouvrage vital pour la sécurité du barrage. Il peut avoir des fonctions d'évacuation de débit liquide, de débit solide, de corps flottants [5]. La majorité de ces ouvrages comprennent un déversoir à seuil libre (cas du barrage Beni Haroun, photo 3). Les déversoirs sont dimensionnés pour évacuer des débits maximaux allant de 142 m<sup>3</sup>/s (barrage El Agrem) à 13 700 m<sup>3</sup>/s (barrage Béni haroun). Pour un niveau des plus hautes eaux de 214.8 m, le barrage Béni haroun permet de lamener une crue maximum probable (C.M.P) de 16 640 m<sup>3</sup>/s correspondant à une période de retour de 10 000 ans [1].

Les barrages sont dotés de types différents d'évacuateurs, comme celui du barrage Cheffia équipé d'un évacuateur principal de type vanné (vanne cylindrique), d'une capacité maximum d'évacuation de 1800 m<sup>3</sup>/s; un évacuateur secondaire du même type est capable d'évacuer un débit de 780 m<sup>3</sup>/s. Autre exemple, le barrage de Hammam Debagh est équipé de deux évacuateurs de crue en puits de section circulaire [6] , conçus pour lamener un débit global de 2068 m<sup>3</sup>/s pour une crue décennale de 3810 m<sup>3</sup>/s (photo 4).



**Photo 3.** Evacuateur de crue à seuil libre (barrage Béni Haroun) (A.N.B.T, 2014).



**Photo 4.** Evacuateur de crue en puits de section circulaire (barrage Hammam Debagh) (A.N.B.T, 2014).

**Le système de vidange de fond** des barrages permet de vidanger partiellement ou entièrement la retenue en cas du passage d'une onde de crue conséquente ou en cas de maintenance de l'ouvrage ou chasse de sédiments en période de crue. Dans notre région, les ouvrages de vidange sont dimensionnés pour des débits très variables, de 21 m<sup>3</sup>/s (barrage Fontaines des Gazelles) à 670 m<sup>3</sup>/s (barrage Béni Haroun) en passant par des valeurs moyennes de 300 m<sup>3</sup>/s (Foum El Khanga).

**La prise d'eau** est un ouvrage annexe de grande importance. Elle se situe à plusieurs niveaux, ce qui permet de pouvoir capter et fournir l'eau de la qualité souhaitée. La plupart des ouvrages comporte trois niveaux de prise d'eau. Le barrage de Boussiaba dans la région d'El Milia comporte un nombre plus important de niveaux de prise (6 niveaux) permettant de transférer un débit maximal de 3.50 m<sup>3</sup>/s.

### 3.2. Les lacs de retenue

#### 3.2.1. Capacité initiale et perte de capacité due à l'envasement

Compte tenu de la variété de la morphologie et de l'apport hydrologique des bassins versants, les barrages ont des capacités très différenciées. On distingue une gamme de capacités variant entre 3 hm<sup>3</sup> (barrage Foum El Gueiss) et 963 hm<sup>3</sup> (barrage Béni Haroun). A noter que 15 barrages sur 25 ont une capacité inférieure à 100 hm<sup>3</sup>.

D'après la campagne bathymétrique réalisée par l'A.N.B.T en 2014, les 25 barrages en exploitation ont connu une perte de 14.19 % de leur capacité initiale respective, liée à l'envasement. Tenant compte de la période d'exploitation de chaque barrage, la perte de capacité annuelle moyenne est de l'ordre de 1.07 %.

A titre d'exemple, le barrage Ighil Emda, connu par son rythme élevé d'envasement, a perdu depuis sa

mise en eau un volume de 62 hm<sup>3</sup> (environ 40 % de sa capacité initiale), soit un envasement moyen de 1.03 hm<sup>3</sup> /an et une dégradation spécifique de 2559 t/km<sup>2</sup>/an, valeur très probablement sous-estimée en comparaison avec les résultats de travaux antérieurs basés sur des séries anciennes où les pièges à sédiments fonctionnaient pleinement.

#### 3.2.2. Volume Régularisable et Ratio VR /Capacité

On peut définir comme volume régularisable, les besoins en eau que l'on peut satisfaire à partir d'un barrage réservoir sous des contraintes de répartition dans le temps de la demande et de fréquence de défaillance [7]. Il est déterminé grâce à des simulations mensuelles des bilans de régularisation [1].

Le volume régularisable (théorique) des barrages de l'Est algérien est très variable, allant de 3.2 hm<sup>3</sup> par an (Foum El Gueiss) à 435 hm<sup>3</sup> par an (Béni Haroun), ce dernier barrage détient à lui seul environ 26 % de volume régularisable théorique de l'ensemble des barrages en exploitation dans la région.

Excepté le barrage de Tichy Haf dont le rapport est inférieur à 1, le ratio capacité/volume régularisé se distingue par des valeurs supérieures à 1, culminant à 5.25 (barrage Foum El Khanga) (fig. 3). Ces ratios traduisent le souci des décideurs de dimensionner des barrages assurant une grande garantie de fourniture d'eau (régularisation interannuelle) pour se prémunir des années hydrologiques sèches.

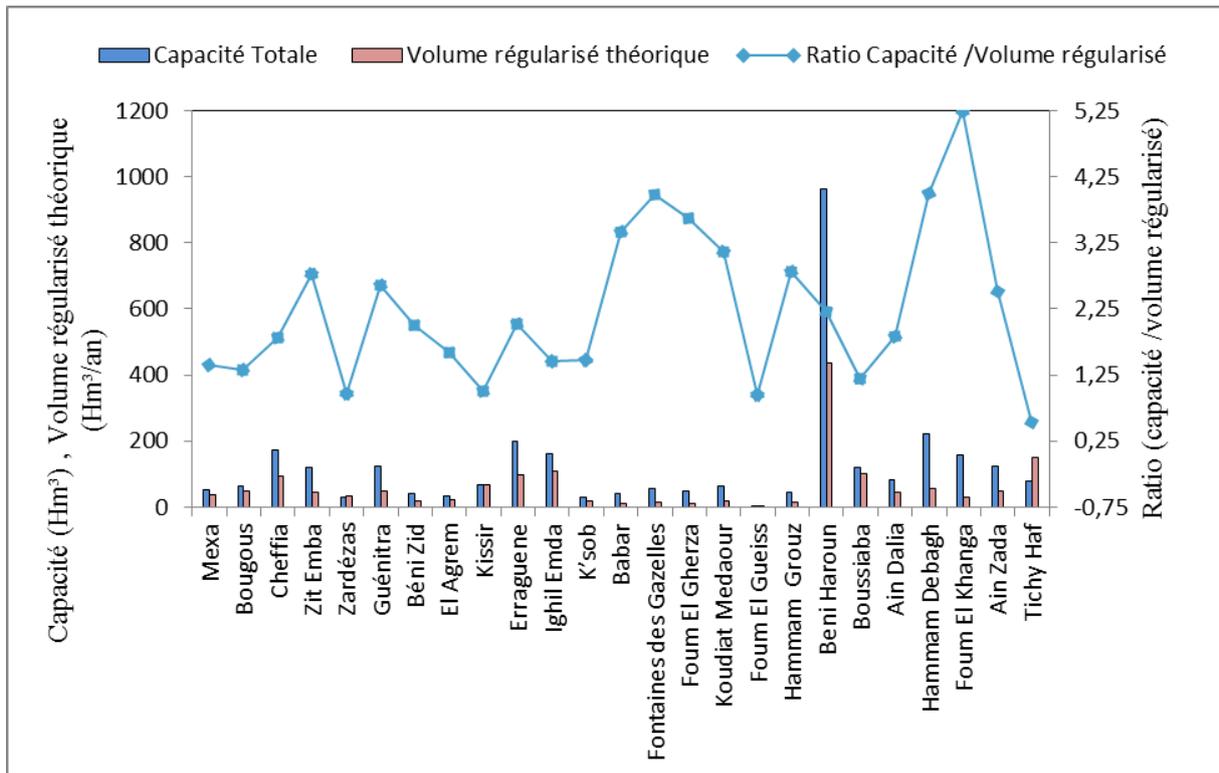


Figure 3. Capacité et volume régularisable des barrages en exploitation dans l'Est algérien.

#### 4. Bilans de régularisation et pertes en eau :

##### 4.1. Schéma théorique et données traitées

Comme le montre le schéma de la figure 4, le calcul des principaux termes du bilan d'eau d'un barrage (apports ou entrées, défluent ou sorties, stock ou réserve), permet de suivre l'évolution du gain et perte de capacité d'une retenue. Il permet, on outre, d'estimer les déficits de régularisation, liés aussi bien au régime irrégulier des apports qu'à l'importance des pertes (évaporation et fuites).

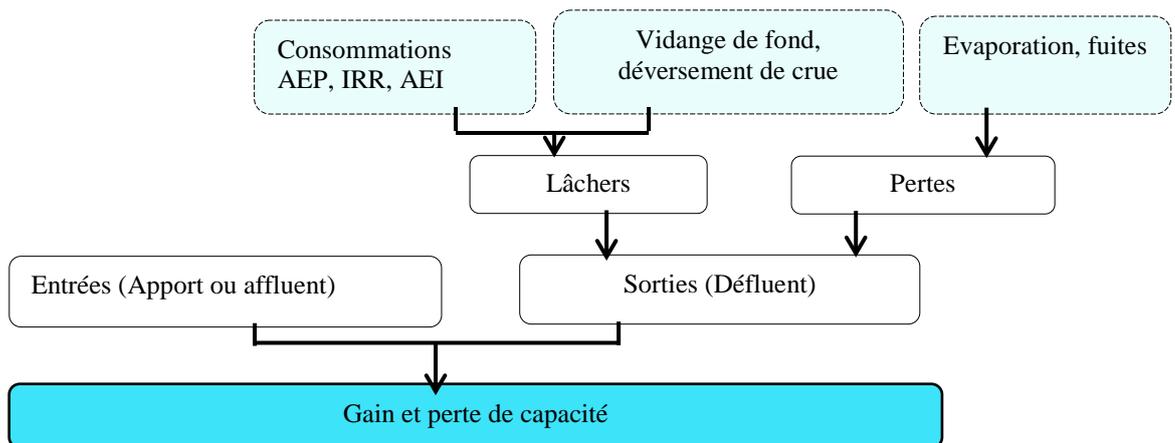


Figure 4. Schéma théorique du bilan d'eau d'un barrage.

Les données du bilan d'eau, disponibles au pas de temps journalier, ont été traitées à l'échelle mensuelle et annuelle sur un échantillon de 10 barrages pour la période commune de 23 ans (1990/91 - 2012/13).

Ces barrages sont répartis entre l'Atlas Tellien (Cheffia, Zardezas, Guenitra, Hammam Debagh et Ain Dalia), les Hautes Plaines (Hammam Grouz, Ain Zada, K'sob) et les piémonts Nord et Sud de l'Atlas saharien (Foum El Gueiss et Foum El Gherza) (fig. 5).

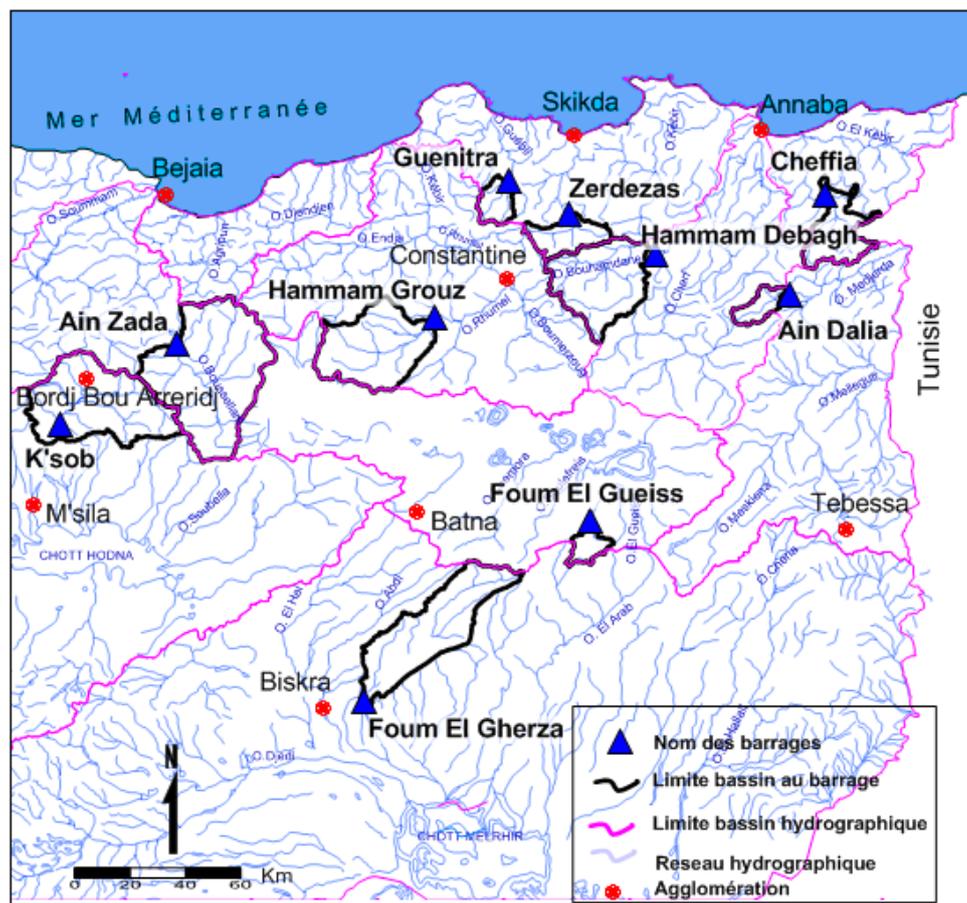


Figure 5. Localisation de l'échantillon de dix barrages

#### 4.2. Volume régularisé, réel et théorique

La figure 6 montre la confrontation entre volume régularisé théorique et volume régularisé réel des barrages (débits fournis à différents usages : irrigation, alimentation en eau potable et industrielle). Elle met en évidence l'importance du déficit de régularisation (44 % en moyenne). Le volume régularisé moyen interannuel se situe autour de 21.13 hm<sup>3</sup> pour un volume régularisé théorique de 37.72 hm<sup>3</sup> par an. La répartition des déficits de régularisation est très variable d'un barrage à l'autre : les quatre barrages Hammam Grouz, Zardezas, Ain Zada et Ain Dalia connaissent le déficit de régularisation le plus élevé (plus de 50 %) à l'opposé des deux barrages de K'sob et Cheffia qui représentent le déficit de régularisation

le plus modéré (inférieur à 25 %). Les barrages Guénitra, Hammam Debagh, Foum El Gueiss et Foum El Gherza, sont marqués par un déficit de régularisation compris entre 31 et 47 %.

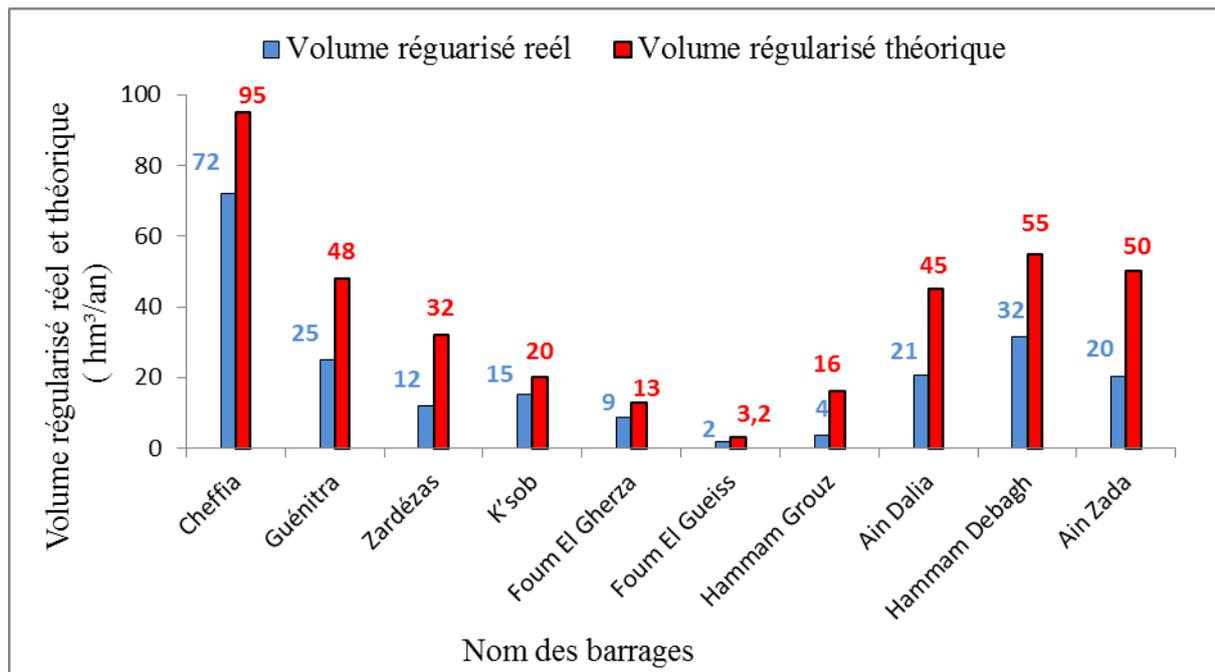


Figure 6. Variation des volumes régularisés, théoriques et réels, à travers les dix barrages

### 4. 3. Pertes en eau : évaporation et fuites

La plupart des barrages sont sujets à une perte de capacité due essentiellement à l'évaporation intense lorsqu'ils sont implantés dans des régions chaudes [12], aux fuites d'eau et à l'envasement des retenues.

Le volume des pertes aux barrages se compose des volumes d'eau évaporés sur la retenue, des volumes infiltrés à travers la digue ou ses assises et des volumes infiltrés dans les couches profondes de la retenue [8]. La figure 7 représente les valeurs moyennes annuelles du volume évaporé à travers dix retenues, durant la période 1990/1991-2012/2013.

La variation spatiale de l'évaporation est déterminée par les conditions climatiques régissant les lacs de barrage. Dans la zone bioclimatique humide à subhumide, les pertes par évaporation sont inférieures à 1600 mm/an, à l'exception du barrage Ain Dalia qui enregistre un volume évaporé de 2472 mm/an.

Dans la zone aride à semi-aride, l'ampleur de ce phénomène est bien marquée aux barrages K'sob (2409 mm/an) et Foum El Gherza (2669 mm/an).

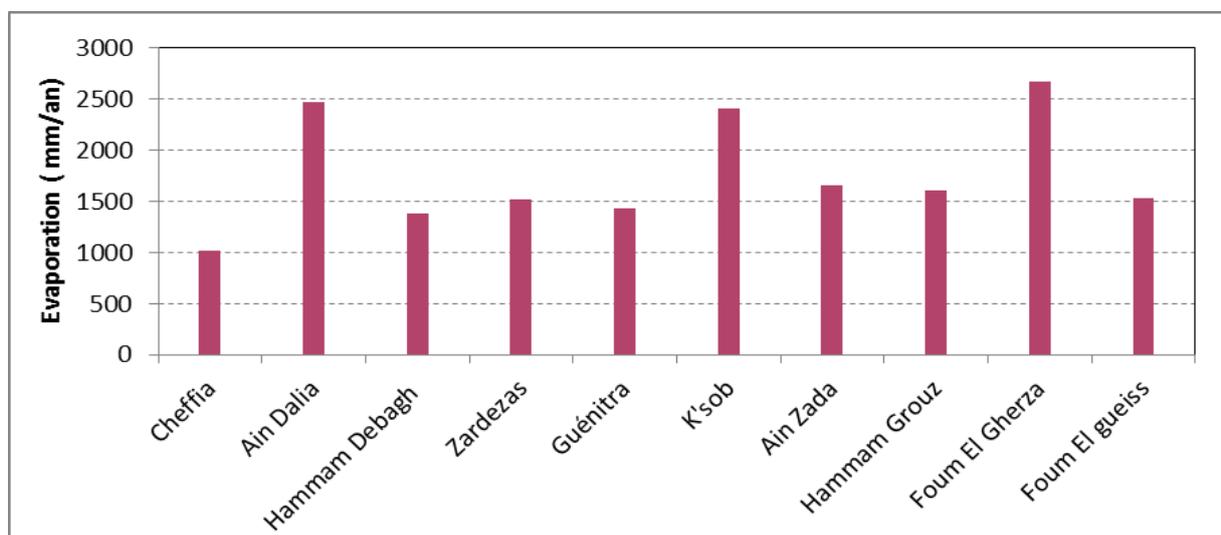


Figure 7. Evaporations interannuelles des retenues de barrages (période : 1990/1991 à 2012/2013)

Les fuites d'eau, terme non négligeable du bilan de régularisation, se traduisent par des quantités de pertes considérables; l'étude de ce phénomène s'avère prioritaire, car il peut mettre en danger la stabilité du barrage et réduire sa capacité utile [9] [10] [11].

Le barrage Hammam Grouz se caractérise par des fuites dont le volume réel n'est pas comptabilisé dans les bilans établis par l'ANBT, ne reflétant donc pas les pertes remarquables du lac de retenue. Il est implanté dans un site calcaire (cénomaniens) et marneux fortement tectonisé et moyennement

karstique. Après corrections, le volume des fuites s'élève respectivement à 7.4 hm<sup>3</sup> en 2002/03, 32.3 hm<sup>3</sup> en 2003/04 et 26.2 hm<sup>3</sup> en 2004/05 [13] [14].

Deux autres barrages (Zardezas et K'sob) accusent des fuites d'eau supérieures à un million de m<sup>3</sup> par an ; les volumes d'eau perdus durant la période étudiée sont quasi constants, sans risques notables sur la stabilité de ces barrages.

Un volume ne dépassant pas un million de m<sup>3</sup> par an, est constaté sur six barrages : Cheffia, Ain Dalia, Guénitra, Ain Zada, Hammam Grouz et Foug El Gueiss .

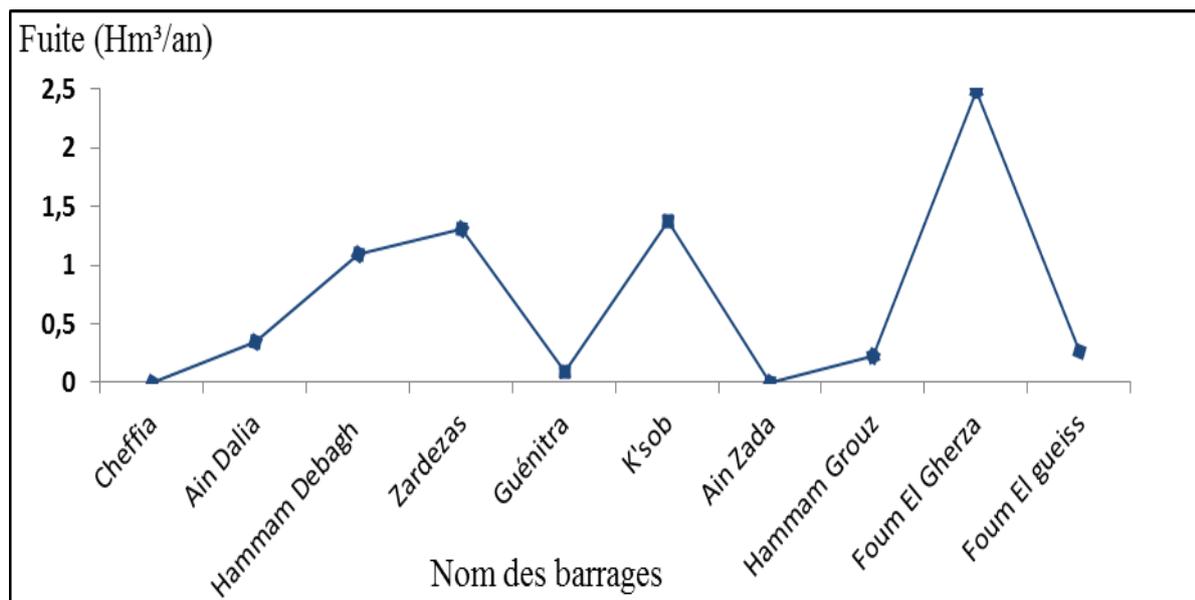


Figure 8. Variations interannuelles des fuites des barrages (de 1990/1991 à 2012/2013).

Cependant, des pertes d'eau considérables (2.48 hm<sup>3</sup> par an) concernent le barrage Foug El Gherza sur l'oued Abiod. Ce dernier, fondé sur les calcaires cristallins du Maëstrichtien jusqu'à une profondeur de 80 m, est l'un des barrages algériens des fortement confrontés à ce problème épineux [15] [16].

Le graphique de variation interannuelle des fuites d'eau sur ce barrage (période 1990/91-2012/13), indique que les maximums des pertes se situent dans les années 1990/1991, 1991/1992 et 1995/1996

(fig. 9). L'année sèche 1993/1994 se caractérise naturellement par le volume le plus faible (0.75 hm<sup>3</sup>) de la série d'observations. Il est intéressant de constater une diminution des fuites au cours de la dernière décennie qu'il faut imputer au manque de mesures dû au comblement des dispositifs de mesure par la vase évacuée du barrage [15].

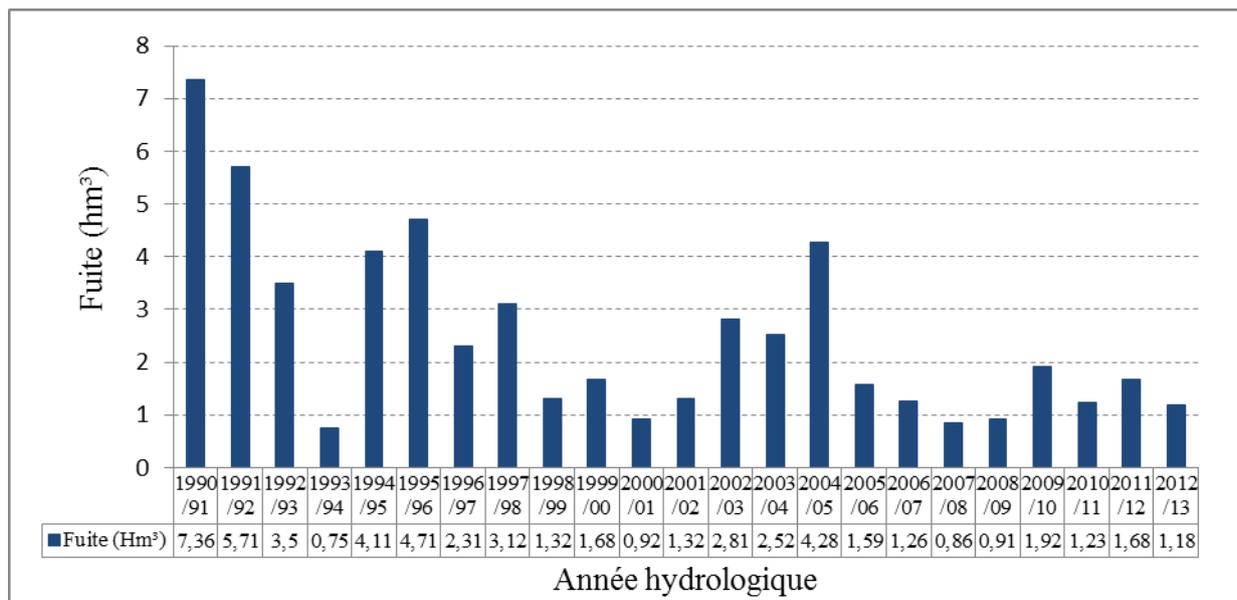


Figure 9. Variations interannuelles des fuites du barrage Foug El Gherza (De 1990/1991 à 2012/2013)

5. Variabilité hydrologique : approche analytique par la matrice de Bertin :

5.1. Irrégularité temporelle des apports hydrologiques

Pour avoir une compréhension plus précise de l'évolution des données hydroclimatiques à l'échelle des barrages, nous utilisons la méthode de la matrice qui permet de détecter les changements potentiels dans les enregistrements hydroclimatiques (fig. 10).

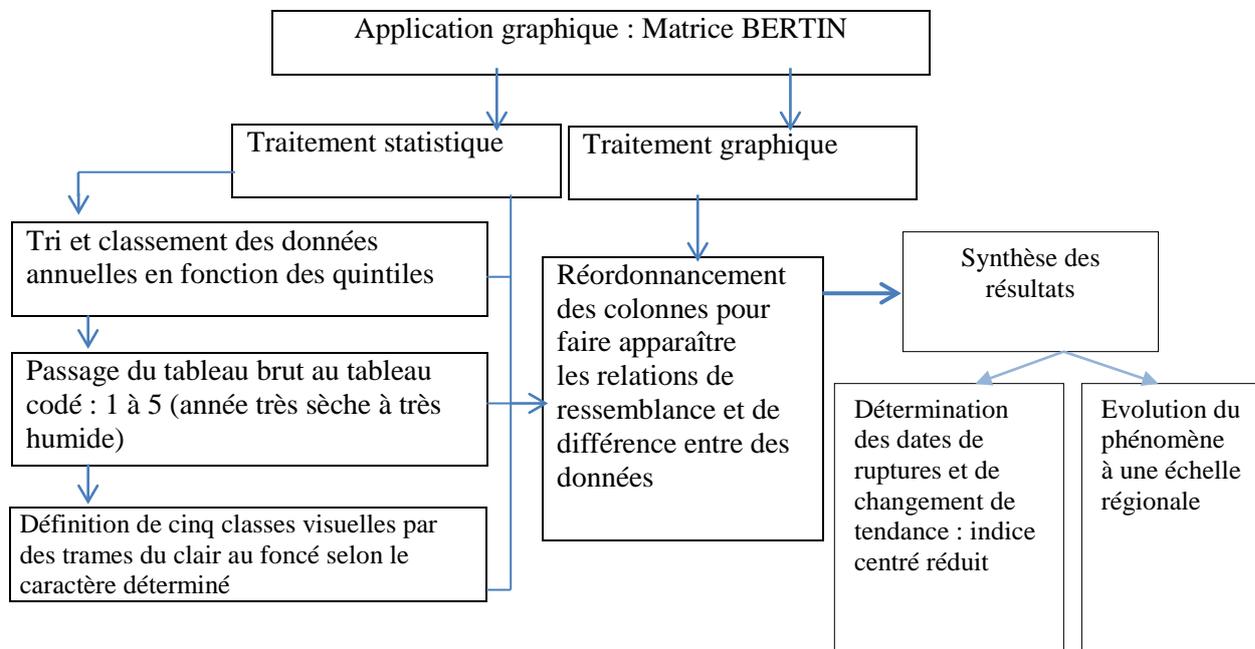


Figure 10. Schéma représentatif de la méthode de matrice.

Les apports hydrologiques aux barrages sont la résultante de l'interaction complexe des facteurs climatiques et physiographiques régissant les bassins versants [1]. Les résultats présentés sur la figure 11 mettent en évidence une forte variabilité des apports dans le temps et dans l'espace.

L'alternance d'années humides, normales et sèches est saisissante :

- La phase de 1990/1991 à 2001/2002 est marquée par une diminution progressive des années humides. Comme souligné plus haut, un volume stocké très faible est enregistré durant les trois années consécutives (1999/2000, 2000/2001 et 2001/2002).

-Sur les quatre années (2002/2003, 2003/2004, 2004/2005 et 2005/2006), on note une augmentation importante des apports, à l'exception du barrage Hammam Grouz qui se distingue par un affluent annuel négatif (2003/2004) engendré par un volume considérable de fuites karstiques (32.3 hm<sup>3</sup>).

-La période 2006/2007 – 2012/2013 se caractérise par une réduction généralisée des apports, en particulier pendant l'année 2007/2008 et 2012/2013 (la plus basse valeur des moyennes mobiles des indices centrés réduits atteint est -1.13)

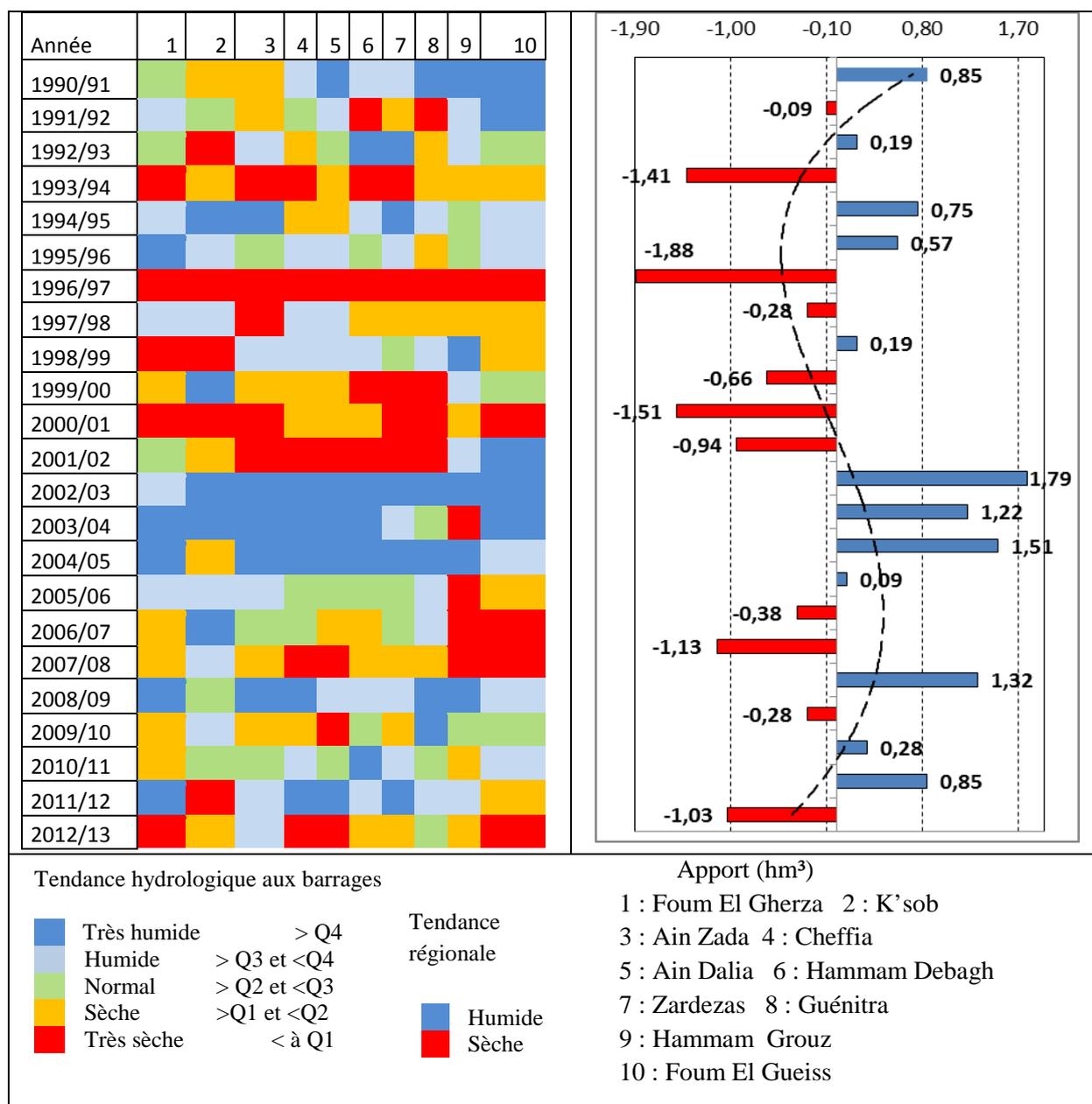


Figure 11. Matrice MGCTI appliquée aux apports hydrologiques observés dans les barrages [1990-2013]

**5.2. Une reprise progressive des pluies sur la dernière décennie**

La variation interannuelle de la pluviométrie enregistrée au site des barrages, est caractérisée par une alternance d'années humides, normales et sèches (fig. 12). Les résultats montrent l'existence de deux périodes distinctes :

- La première période débutant à partir des années 1990 et s'arrêtant au cours des années 2001, elle se démarque par une diminution généralement assez importante de la pluviométrie annuelle, cette phase

déficitaire présente 57 % d'années sèches et très sèches, 32% d'années humide et très humides et 11% d'années normales.

- Une phase à tendance humide a commencé en 2002/2003 ; elle se caractérise par une forte augmentation globale des pluies (7 années sur 11 ont une moyenne mobile positive), le maximum de précipitations est observé dans l'année 2003/2004 puisque l'indice régional atteint sa plus haute valeur (1.57).

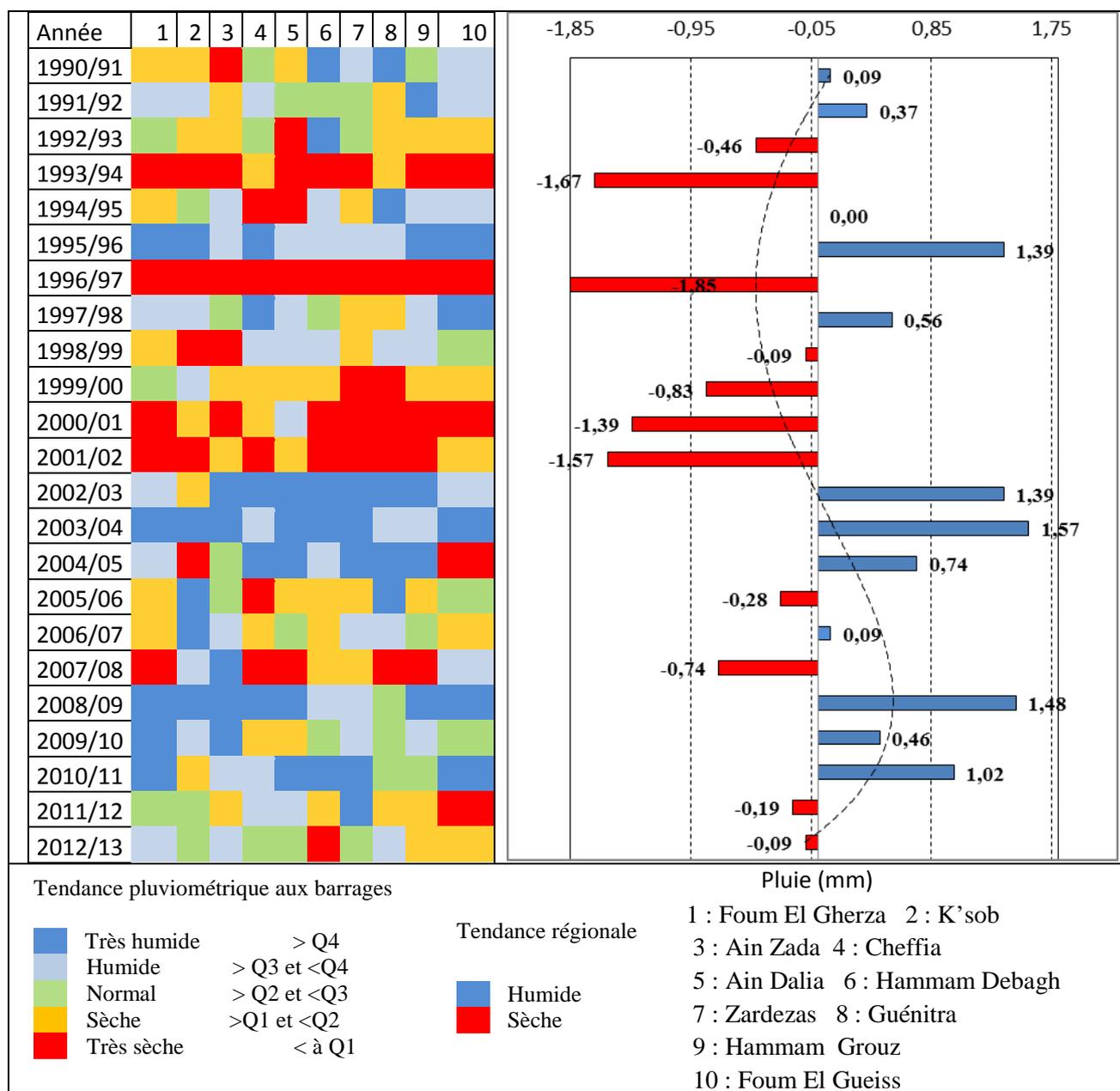


Figure 12 .Matrice MGCTI appliquée à la pluviométrie observée dans les barrages [1990-2013]

### 5.3. Le niveau des réserves aux barrages : une tendance à la hausse

Etant intimement lié à la pluviométrie et l'apport hydrologique, les réserves en eau aux barrages ont connu un rabattement important de leur niveau entre la période 1993 à 2002 (fig. 13). Pour le barrage Guénitra, la matrice indique un fléchissement prolongé du niveau d'eau pendant 8 années successives. Ce barrage a atteint son plus

bas niveau en 2001/2002 avec un taux de remplissage de 4.01 %.

Le remplissage sur l'ensemble des barrages connaît également une croissance évidente à partir des années 2003 suite aux augmentations sensibles des précipitations et des apports hydrologiques : un taux de près de 100 % est enregistré aux barrages Ain Dalia et Ain Zada (2003/2004), Hammam Debagh (2004/2005) et K'sob (2008/2009).

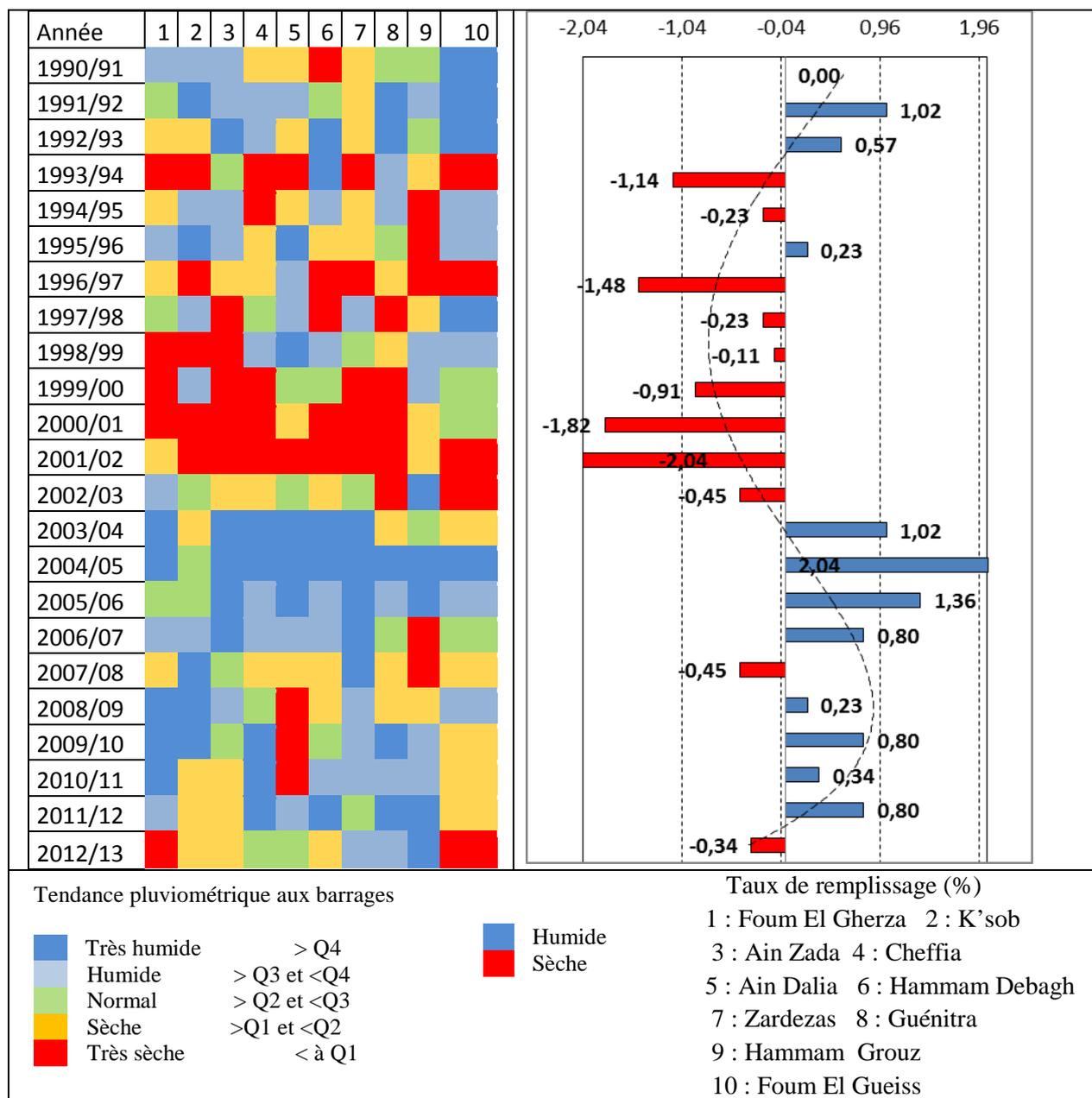


Figure 13. Matrice MGCTI appliquée sur le taux de remplissage des barrages [1990-2013]

## 6. Conclusion :

Avec un nombre croissant de barrages réalisés et mis en eau, la capacité totale installée dans l'Est algérien a atteint 3102 hm<sup>3</sup>, portée par 25 ouvrages (situation de 2015). Le bilan de régularisation, outil de suivi de l'évolution mensuelle et interannuelle des entrées et sorties des barrages, a mis en lumière le comportement et le fonctionnement des ouvrages hydrauliques en exploitation. La gestion de ces barrages dépend du régime aléatoire des apports hydrologiques, plus particulièrement dans les zones affectées par la semi-aridité. Les résultats de ces bilans mettent en évidence une forte perte en eau par évaporation (45.91 millions de m<sup>3</sup> en année moyenne, pour une superficie totale des retenues de 52.13 km<sup>2</sup>). Le volume de fuites d'eau, plus particulièrement sur les sites karstiques de Foum El Gherza (région de Biskra), ou celui de Hammam Grouz (haut Rhumel à Oued Athménia) a atteint un pic, respectivement de 7.36 hm<sup>3</sup> (année 1990/1991) et de 26.2 hm<sup>3</sup> (année 2004/2005).

Les résultats de la méthode statistique (matrice de Bertin) ont permis de déceler les différentes périodes humides et sèches. Le caractère sévère de la sécheresse apparaît entre 1990/1991 à 2001/2002 (caractère particulier au climat méditerranéen) et une phase humide survient à partir de l'année hydrologique 2002/2003 avec une plus grande fréquence d'années humides et très humides.

## Références bibliographiques

- [1] MEBARKI A., 2005. Hydrologie des bassins de l'Est algérien : Ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse de Doctorat d'Etat. Université Mentouri de Constantine : 360 p.
- [2] NOUACEUR Z, TURKI I, LAIGNEL B ; 2013. Changements climatiques au Sahel : des conditions plus humides et plus chaudes en Mauritanie, Sécheresse vol. 24 : 85-95 p.
- [3] NOUACEUR Z, LAIGNEL B, 2015. Caractérisation des événements pluviométriques extrêmes sur la rive sud du bassin méditerranéen études du cas du « quart nord-est » algérien, XXVIIIe colloque de l'association internationale de climatologie : 573 – 578 p.
- [4] MEBARKI A., 2010. Hydrologie, barrages et transferts d'eau en Algérie orientale. Bulletin des sciences géographiques N°25 : 33-41 p.
- [5] MEILLAND P. JEHANNO P., 1992. Conception des évacuateurs vis-à-vis des problèmes de dissipation d'énergie, d'érosion et de cavitation. Houille blanche N° 2/3 : 175-181 p.
- [6] LOUAMRI A., MEBARKI A., LAIGNEL B. Variabilité interannuelle et intra-annuelle des

transports solides de l'Oued Bouhamdane, à l'amont du barrage Hammam Debagh (Algérie Orientale). hydrological sciences journal : 1-15 p.

[7] LABORDE J., REZAK S., BEHLOULI L., 2013. Les effets d'une baisse de la pluviométrie sur les volumes régularisables des ouvrages de stockage d'Algérie : 371-375 p.

[8] GIRARD G., 1966. Estimation de l'évaporation sur les réservoirs de barrages en région intertropicale semi-aride. Extrait de la publication no. 70 de l'A.I.H.S. Symposium de Garda : 233-244 p.

[9] THEROND R., 1980. Recherche sur l'étanchéité des lacs de barrage en pays karstique. Collection du centre de recherches et essais de Chatou. Editions Eyrolles Paris.

[10] BENFETTA H, REMINI B. 2008. Les fuites d'eau à travers le barrage algérien de Ouizert .Sécheresse, 19 (3) : 185-192 p.

[11] BENFETTA H, ACHOUR B., OUADJA A., 2017. Les fuites d'eau dans les barrages dans le monde: quelques exemples algériens. Larhyss Journal issn 1112-3680, n°31 : 195- 218 p.

[12] MESNEY M. 2004. Un grand barrage à haut risque. Saddam dam en Irak. Revue houille blanche. SHF France : 92-96 p.

[13] MIHOUBI N, MEBARKI A, LAIGNEL B., 2013. Hydrologie et bilans d'eau d'un barrage en zone karstique semi-aride : Hammam Grouz (Oued Rhumel, Algérie), Bulletin des sciences géographiques, N°28 : 37-44 p.

[14] MIHOUBI N, MEBARKI A., 2017. Bassin du haut-rhumel : contexte hydrogéologique et fuites d'eau du barrage de hammam grouz. Science et technologie D-N° 45 : 131-140 p.

[15] TOUMI A, REMINI B., 2004. Barrage de Foum El Gherza face au problème de fuites d'eau. Larhyss journal, issn 1112-3680, n° 03 : 25-38 p.

[16] GOUSKOV N., 1952. Eléments de techno géologie des Barrages Algériens et de Quelques ouvrages annexes. - le barrage de Foum-el-Gherza. XIXe Congrès géologique international : 13 p

**REMERCIEMENTS :** Ce travail, réalisé dans le cadre d'une thèse de doctorat, a bénéficié du soutien du projet de coopération PHC Maghreb (17 MAG 32), entre notre laboratoire (LASTERNE, Constantine) et nos partenaires de l'Université de Rouen (UMR CNRS 6143 M2C, et UMR IDEES CNRS 6226). Qu'ils soient tous remerciés pour cette fructueuse collaboration.

