



LE ROLE DE LA VASE DANS L'ACCELERATION DE L'EUTROPHISATION DES EAUX DE BARRAGES. ETUDE EXPERIMENTALE

BENSAFIA D.¹, REMINI B.²

¹Département des sciences de l'eau et de l'environnement, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université Saad Dahlab-Blida 9000, Algérie.

²Laboratoire Larhyss de Biskra, Département des sciences de l'eau et de l'environnement, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université Saad Dahlab-Blida 9000, Algérie.

bensafiadjillali@yahoo.fr , reminib@yahoo.fr

RESUME

L'eutrophisation des retenues de barrages est la conséquence d'une richesse excessive en éléments nutritifs en particulier le phosphore et l'azote, provoquant ainsi, un développement massif des algues. Il en résulte une altération de la qualité de l'eau qui affecte ses usages, dont notamment la production de l'eau potable. La présence de la vase peut-elle avoir un effet sur l'accélération de l'eutrophisation des eaux de retenues surtout lorsqu'on sait que le phénomène de l'envasement est considérable dans la région de l'Afrique du nord ? Pour répondre à cette interrogation, nous avons procédé à une série d'expériences consistant à la mise en place de cinq bacs de 12 litres chacun remplis d'eau de robinet, et dans lesquels nous avons introduit des vases de deux barrages de qualités différentes. L'évolution des paramètres physiques (température, pH, turbidité) et chimiques (phosphate, azote total et silicates) a été suivie durant une période de 5 mois. Les résultats obtenus montrent que les sédiments servent de véhicule aux nutriments qui provoquent le dépôt de la matière organique issue de la dégradation des espèces végétales et animales du milieu aquatique, provoquant ainsi une évolution du pH, un appauvrissement du milieu en silicates, une augmentation de l'évaporation, de l'azote et phosphore qui entrent aussi dans la composition de la cellule vivante. La température est un facteur très important car l'apparition des algues n'a été observée qu'à une température de 20°C.

Mots clés : Barrage-Envasement –Eutrophisation – Etude expérimentale, nutriments minéraux.

ABSTRACT

The eutrophication of water of dams is the consequence of an excessive wealth of nutritive elements in particular phosphorus and the nitrogen, thus causing an anarchistic development of the algae. It results a deterioration from the quality of the water which rough which affects its uses of which in particular that of the production of drinking water. Can the presence of the mud especially have an effect in accelerating eutrophication of water-dams' when it is known that the silting is considerable in the North Africa area? To answer this interrogation, we proceeded to a series of experiments consisting with the installation of five vats of 12 liters each one filled with water of tap and into which we introduced muds of two dams of different qualities. The evolution of the physical parameters (temperature, pH, turbidity) and chemical (phosphate, total nitrogen and silicate) was surveyed during 5 months.

The results show that sediments serve as a vehicle for nutrients that cause the deposition of organic matter resulting from the degradation of plant and animal species of the aquatic environment, causing a change in pH, depletion of the medium silicates, an increase of evaporation, nitrogen and phosphorus are also included in the composition of the living cell. The temperature is very important because the appearance of algae was observed at a temperature of 20 °C.

Keywords : Dam, Silting, Eutrophication, Experimental Study, nutrients.

INTRODUCTION

L'Algérie dispose actuellement, de plus de 70 grands barrages d'une capacité totale de 7 milliards de m³ d'eau. Or ce volume d'eau est fortement menacé par les dépôts de vase évaluée à 50 millions de m³/an (Remini, 2011). Ces dépôts constituent une conséquence directe de l'érosion des bassins versants du nord algérien. La quantité de terre érodée a été estimée en 1980 par Demmak (1980) à 180 millions de tonnes par année et menace directement une vingtaine de barrages (fig. 1).



Figure1 : Erosion dans le bassin de Chellif (Remini, 2011)

En plus du problème de la réduction de la capacité des barrages, la qualité des eaux de ces barrages est menacée par le phénomène de l'eutrophisation suite aux rejets des eaux usées d'origines urbaine et industrielle dans les oueds, entraînant des déséquilibres écologiques par la prolifération de la végétation aquatique et l'appauvrissement du milieu en oxygène dissous. Suivant ce processus qui peut affecter les retenues, les barrages peuvent être classés suivant leurs concentrations en éléments nutritifs et leur production biologique (Bachmann, 1950; Landner et al., 1986; Loehr et al., 1974). Plusieurs tronçons d'oueds sont déjà pollués (Tafna, Mekerra, Chellif, Soummam et Seybouse) (Remini, 2007). Si ces rejets persistent encore, des retenues de barrages comme Beni Bahdel, Bakhada, Ouizert, Bouhanifia, Fergoug, Oued Lekhel, Hammam Grouz et Oued Harbil seront également polluées. En plus de ces rejets, les dépôts des sédiments dans les retenues de barrages génèrent l'eutrophisation des eaux de retenues, surtout lorsqu'on sait que le taux d'envasement des barrages en Algérie avoisine les 50 millions de m³ /an. Selon plusieurs auteurs, l'effet des sédiments sur la qualité des eaux de retenues n'est pas encore maîtrisé, et est largement controversé.

L'eutrophisation est l'enrichissement d'une eau en sels minéraux (nitrates et phosphates notamment) entraînant des déséquilibres écologiques comme la prolifération de la végétation aquatique et l'appauvrissement du milieu en oxygène dissous. Ce processus peut affecter les retenues de barrages. Ces dernières sont classées suivant leurs concentrations en éléments nutritifs et leur production biologique (Bachmann, 1950). Le vieillissement passera d'une retenue d'un état de faible niveau nutritif (oligotrophique) à un état intermédiaire (mésotrophique), puis à un état final de haut niveau nutritif (eutrophique).

C'est au cours de ce vieillissement que les sédiments entrants affectent le plus la qualité de l'eau (C.I.G.B., 1980). Le phosphore et l'azote sont des substances nutritives limitant le cycle de croissance de la végétation dans la retenue. Le phosphore est transporté en solution dans les retenues et se fixe aux sédiments. Une fois sédimenté dans la retenue, les sédiments libèrent le phosphore (en quantités variables selon le pH) et contribuent au processus d'eutrophisation (Bachmann, 1950). Selon Thornton et al. (1980), la turbidité et la formation

d'algues sont inversement proportionnelles. L'accroissement de la turbidité a un impact sur le développement biologique du fait d'une modification de la température. La diminution de la pénétration de la lumière par l'abondance de sédiments en suspension a un effet direct sur l'activité photosynthétique.

Afin d'étudier l'impact de la présence de la vase (en quantité et en qualité) présente dans un milieu aqueux sur l'eutrophisation, nous avons procédé à une série d'expériences consistant à la mise en place de cinq bacs de 12 l chacun remplis d'eau de robinet, et dans lesquels nous avons introduit des vases de qualité et quantité différentes. Un bac témoin (contenant uniquement de l'eau) a été aussi installé. Nous avons utilisé, pour cette étude expérimentale, les vases des barrages de Beni-Amrane et de Hamiz.

MATERIEL ET METHODES

Vases utilisées

Nous avons utilisé des échantillons de vase des barrages de Beni Amrane et de Hamiz. Les échantillons de vases ont été prélevés au niveau des vannes de fond de ces deux ouvrages. D'une capacité de 16 millions de m³, le barrage de Beni Amrane est situé dans la wilaya de Boumerdes à 70 km à l'est d'Alger (fig. 2 et 3). Il a été mis en exploitation en 1988 pour le transfert de l'eau vers le barrage de Keddara. Le barrage de Hamis, d'une capacité de 21 millions de m³ a été mis en exploitation en 1935 (fig.2 et 4). Ces deux barrages sont actuellement menacés par l'envasement puisqu'ils sont envasés à plus de 50% de leurs capacités initiales.



Figure 3 : Une vue du barrage de Hamiz (Source ANBT)

Après le prélèvement des échantillons de vase des barrages de Beni Amrane et Hamiz, et leur passage à l'étuve à 105°C pendant 24h (pour les mettre dans les mêmes conditions d'humidité), on a procédé au lavage et à la préparation des cinq bacs à utiliser. Les bacs ont été gradués à l'aide d'un papier millimétré (pour mesurer l'évaporation) et ont été couverts de papier kraft (afin d'éviter l'effet de l'intensité lumineuse introduite à travers les parois latérales des bacs (fig. 5).

Vase du barrage de Beni Amrane Masse:1,5 kg Quantité d'eau ajoutée: 11 litres C=136 g/l	Vase du barrage de Beni Amrane Masse:3 kg Quantité d'eau ajoutée: 11 litres C=273 g/l	Vase du barrage de Hamiz Masse:1,5 kg Quantité d'eau ajoutée: 11 litres C=136 g/l	Vase du barrage de Hamiz Masse: 3 kg Quantité d'eau ajoutée: 11 litres C=273 g/l	Bac témoin Quantité d'eau ajoutée: 11 litres C=0
Bac 1	Bac 2	Bac 3	Bac 4	Bac 5

Figure 5 : Caractéristiques des bacs installés.

On est ensuite passée à la préparation du mélange (eau, vase), en mettant la vase dans deux litres d'eau contenus dans le bac, La vase s'imbibe d'eau et se répartit uniformément dans ce dernier. On a enfin ajouté 11 litres d'eau dans chaque bac, la quantité et la qualité de vase mise dans les bacs n'étant pas la même (tableau 1).

Tableau 1 : Caractéristiques des bacs installés pour l'expérience

Numéro du bac	Origine de la vase (barrage)	Quantité de la vase (kg)	Quantité d'eau ajoutée (litre)	Concentration en vase (g/l)
1	Beni Amrane	1,5	11	136,36
2	Beni Amrane	3	11	272,73
3	Hamiz	1,5	11	136,36
4	Hamiz	3	11	272,73
5	/	0	11	0

Le bac 5 est un bac témoin, il nous a permis de suivre l'évolution de la qualité d'eau hors de la présence de la vase. Les cinq bacs sont disposés dans le même secteur du laboratoire pour les mettre dans les mêmes conditions atmosphériques.

Dans le but de compenser la perte d'eau par évaporation au cours de l'expérience, on a procédé trois fois à des additions d'eau dans les bacs. Les ajouts d'eau dans les cinq bacs ont été effectués comme suit : 4 litres au 46^{ème} jour ; 2,5 l au 70^{ème} j et 3,5 l au 101^{ème} j.

Techniques de mesure

Sept paramètres ont été suivis pour évaluer l'importance relative de la vase sur l'état trophique de l'eau:

- La température ambiante été mesurée avec un thermomètre. Celle de l'eau a été prise grâce à un thermocouple de l'appareil HANNA instruments (modèle HI 9023).
- Les mesures d'évaporation ont été réalisées à l'aide d'un papier millimétré placé sur les bacs, qui a permis par la suite de lire les déficits des niveaux d'eau. En multipliant les valeurs obtenues par la surface du bac (1000 cm²), on obtient le volume d'eau perdu chaque fois par bac.
- Les dosages chimiques des éléments suivants : phosphates, azote et silicates ont été réalisés au sein des laboratoires de l'ANRH de Bir Mourad Raïs-Alger.
- Les mesures du pH ont été réalisées avec un pH-mètre du type HANNA instruments (modèle HI 9023).
- La turbidité a été mesurée au laboratoire de l'ANRH de Bir Mourad Raïs, par un turbidimètre à faisceau lumineux. De nombreuses analyses et des essais ont été réalisés dans le but de caractériser les échantillons de vase et d'eau:
- Les paramètres chimiques et minéralogiques de la vase ont été déterminés au laboratoire du CRD (Centre de Recherche et de Développement) de Boumerdès, à l'aide d'analyses de diffractométrie et de fluorescence des rayons X.

- Les analyses granulométriques des vases ont été effectuées au LCTP (Laboratoire de Contrôle des Travaux Publics) à Hussein Dey- Alger. Ces analyses font l'objet de deux normes: la norme NF 94-056 concerne l'analyse granulométrique par tamisage des éléments de dimensions supérieures à 80 micron m. La norme NF P 94-057 traite de l'analyse granulométrique par sédimentation des éléments passant à travers le tamis de 80 μm d'ouverture.
- Les caractéristiques physico-chimiques sont fournies par l'ANRH régionale de la wilaya de Blida.

Caractéristiques des eaux de barrages

Puisqu'ils sont les deux éléments essentiels pour provoquer l'eutrophisation d'une eau stagnante, nous nous sommes intéressés à la présence de l'azote totale et le phosphore totale dans les eaux des barrages de Hamiz et de Beni Amrane.

Azote total

Le maximum est enregistré en février (1,95 mg/l) et le minimum en juillet - Août (0,03mg/l). A partir de la concentration moyenne (0,78 mg/l), nous avons calculé la charge moyenne contenue dans les 22,46 Mm³ formant la côte part du réservoir de Hamiz. Pour le barrage de Hamiz, cette charge correspond à un apport de 11,5 tonnes par an.

Pour les eaux du barrage de Beni Amrane, l'apport maximal (134,0 g/s) a lieu en février ; l'apport minimal (0,04 g/s) en septembre. L'apport moyen annuel est de 21,32 g/s, ce qui équivaut à une charge de 663 tonnes/an.

Phosphore total

Il a été calculé de la même manière que pour l'Azote. La charge totale en phosphore apportée au barrage par le Hamiz est de 0,89 tonnes par an. Par contre pour le barrage de Beni Amrane, L'apport maximal (3,71g/s) a lieu en février ; l'apport minimal (0,00 g/s) en avril. L'apport moyen est de 0,452 g/s, ce qui équivaut à une charge annuelle de 14,06 tonnes/an.

Caractéristiques des vases

Analyses chimiques et minéralogiques

Les caractéristiques chimiques réalisées ont révélé les résultats portés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Caractéristiques chimiques des vases (Remini, 2006)

Elément	Vase BA %	Vase HZ %	Elément	Vase BA %	Vase HZ %
SiO ₂	48,07	49,47	SO ₃	0,06	0,01
Al ₂ O ₃	9,98	16,51	ZrO ₂	0,0086	0,0075
Fe ₂ O ₃	4,71	5,91	SrO	0,0363	0,0255
CaO	13,40	6,45	Rb ₂ O	0,0119	0,0154
MgO	1,54	1,42	PbO	<0,001	<0,001
MnO	0,051	0,061	ZnO	0,0192	0,0256
Na ₂ O	0,51	0,68	CuO	0,0129	0,0099
K ₂ O	1,28	2,22	NiO	<0,001	<0,001
P ₂ O ₅	0,155	0,262	BaO	0,0258	0,0290
TiO ₂	0,573	0,809	Cl	0,023	0,013
Cr ₂ O ₃	0,038	0,043	V	0,013	0,015
			PAF	20,00	16,40
			Total	100,47	100,34

BA: Barrage de Beni Amrane; HZ: Barrage de Hamiz

La détermination de la fraction minérale totale (pourcentage semi-quantitatif des minéraux non-argileux et des minéraux argileux) a révélé les résultats suivants (tableau 3).

Tableau 3 : Caractéristiques minéralogiques des échantillons de vase (Remini, 2006)

		Vase BA	Vase HZ
Minéraux argileux %	Kaolinite	25	30
	Illite	25	25
	Chlorite	25	20
	Interstrat. I-M	25	25
Minéraux non argileux %	Quartz	30	17
	Calcite	20	8
	Dolomite	2	T
	Orthoclases	1	T

Ces résultats nous montrent bien que les deux vases sont mal cristallisés.

Granulométrie

Les résultats des analyses granulométriques ont montré que la vase de Beni Amrane a un pourcentage élevé de sable (>40%) qui donne à la vase un aspect moins humide. La vase de Hamiz est composée essentiellement d'argile (50%) ; elle est de texture très fine. Imbibée d'eau dans les secteurs immergés, elle possède une teneur en eau élevée. La vase de Beni Amrane a tendance à sédimenter plus facilement que la vase de Hamiz. On a remarqué que la vase de Beni Amrane est plus compacte (bacs 1 et 2), que celle de Hamiz (bacs 3 et 4, tableau 4).

Tableau 4 : Volume occupé par la vase dans les différents bacs

N° du bac	Concentration en vase (g/l)	Volume de la vase dans le bac (litre)
1	136,36	2,6
2	272,73	3,4
3	136,36	2,8
4	272,73	4,5

Tests d'humidité

Cette méthode consiste à peser les échantillons avant et après leur passage à l'étuve (105°C), et à déterminer le pourcentage d'humidité renfermé dans la vase.

Les résultats ont révélé que la teneur en eau dans la vase du barrage de Hamiz (46,05%) est largement supérieure à celle du barrage de Beni Amrane (25,43%), ce qui explique la forte densité de l'échantillon de Beni Amrane par rapport à celui de Hamiz.

Caractéristiques de l'eau

Afin de bien déterminer l'impact de la vase sur l'état trophique des barrages dans notre étude expérimentale, et pour mettre tous les bacs dans les mêmes conditions, on a opté pour l'utilisation de la même eau (qualité et quantité). On a utilisé l'eau du robinet qui possède l'identifié physico-chimique suivante (tableau 5).

Tableau 5 : Caractéristiques physico-chimiques de l'eau du robinet utilisée

Elément		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
Concentration (mg/l)		75	14	30	1	19	103
Normes de Potabilité (mg/l)	ADE	200	150	200	12	200	400
	OMS	/	50	200	10	250	400

Elément		M - O	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄	pH
Concentration (mg/l)		3,4	11	0,09	0,45	8,5
Normes de Potabilité (mg/l)	ADE	50	0,1	0,5	6,5-8,5	400
	OMS	50	0,1	0,5	6,5-8,5	400

En comparant les concentrations de cette eau à la norme de potabilité fixée par l'OMS et l'Algérienne des eaux, nous pouvons conclure que cette eau est acceptable pour la consommation.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Température

La température et la disponibilité en eau contrôlent la production primaire respectivement à 31% et 52%, alors que l'énergie lumineuse n'est importante que pour 5% seulement (Leveque, 2001). Les résultats de mesures de température sont portés sur la figure 6.

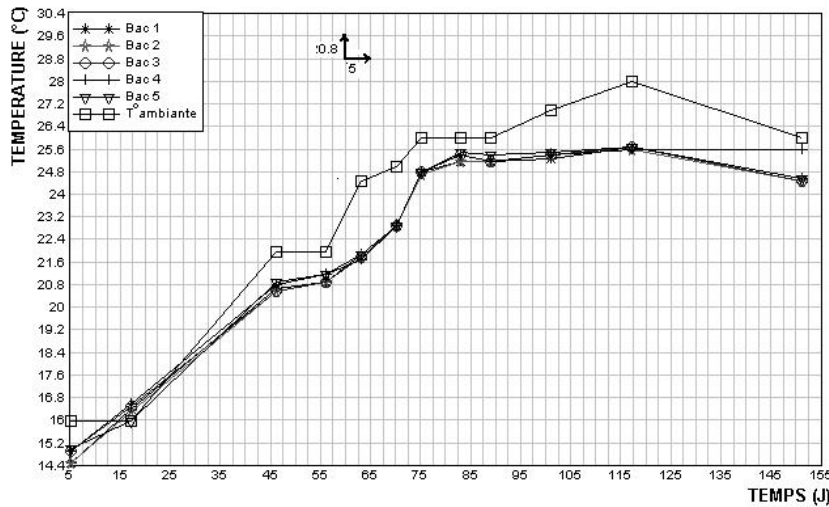


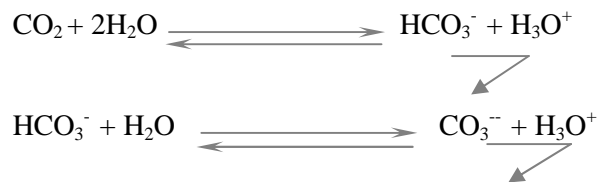
Figure 6 : Evolution des températures en fonction du temps dans les cinq bacs

La courbe représentant la température ambiante montre que la chaleur est saisonnière. Elle passe de 16°C au mois d'avril à 22°C-26°C au mois de juin -

juillet, et atteint 28°C vers la fin du mois de juillet; elle redescend à 26°C à la fin de l'expérience (septembre). Quant au niveau des eaux, on a déduit un équilibre thermique entre la température de l'air et celle de l'eau, du début à la 6^{ème} semaine de l'expérience. Le développement des premières cellules végétales a été observé à partir du 46^{ème} jour. Il coïncide avec la température de 22°C, ce qui nous permet d'affirmer le rôle important que joue la température à l'égard de la production primaire aquatique. En outre, les températures de l'eau ont montré une légère baisse de quelques degrés (1 à 3°C) par rapport à celle de l'air à partir de la 6^{ème} semaine.

pH

L'alcalinité ou l'acidité du milieu aqueux dépend essentiellement de la quantité de CO₂ présente et de l'importance de l'intensité photosynthétique (Dussart B., 1966). L'absorption du gaz carbonique par les végétaux est en effet proportionnelle à l'augmentation de la photosynthèse, qui entraîne une élévation du pH et une précipitation des carbonates selon les réactions suivantes :



Les résultats des mesures du pH obtenus, pour les différents bacs, sont illustrés par les courbes de la figure 7.

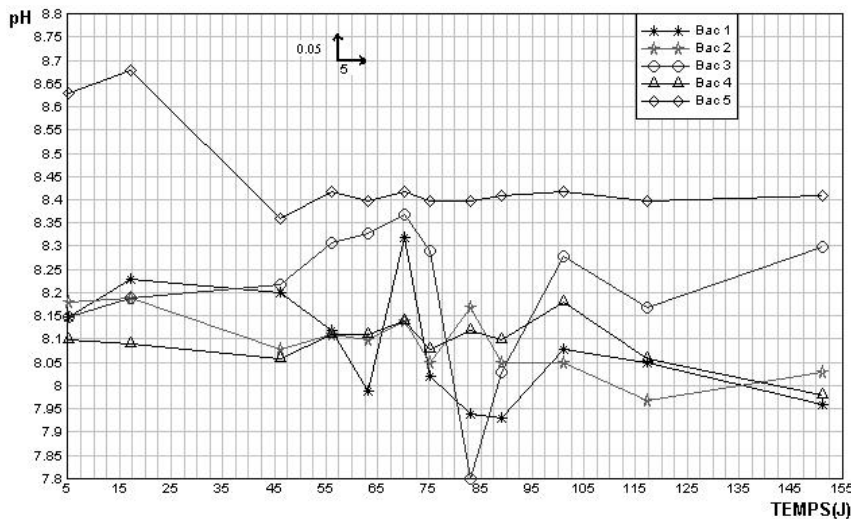


Figure 7 : Variations du pH en fonction du temps dans les cinq bacs

On observe qu'au début de l'expérience, le bac témoin présente une eau légèrement plus basique (8,6) que celle des autres bacs. Cela revient éventuellement à la qualité de l'eau utilisée (pH=8,5). Quant aux bacs 1, 2, 3 et 4, leur pH s'est stabilisé à une moyenne de 8,0. Cette faible diminution de pH par rapport au bac 5 est probablement due à la présence de la vase qui a normalement un pH moins basique que celui de l'eau. En revanche, dès le 46^{ème} jour, des fluctuations variées sont constatées au niveau de tout les bacs (7,8 à 8,4), excepté dans le bac 5 qui a enregistré un pH plus stable (8,4) jusqu'à la fin de l'expérience. Cela est dû à l'effet de la photosynthèse des végétaux qui ont fait leur apparition dans tous les bacs, à l'exception du bac témoin. Pendant l'expérience, le bac 3 a présenté une turbidité élevée et le pH le plus faible (7,8), qui est expliqué par l'inhibition de la photosynthèse au cours de cette période (figure 7),

Evaporation

Les principaux facteurs qui conditionnent le taux d'évaporation des plans d'eau sont la température de l'air, celle de l'eau, l'insolation, l'humidité de l'air et la vitesse du vent. On a représenté sur la figure 8 les différentes variations de l'évaporation d'eau cumulées dans les cinq bacs pendant toute la durée de l'expérience.

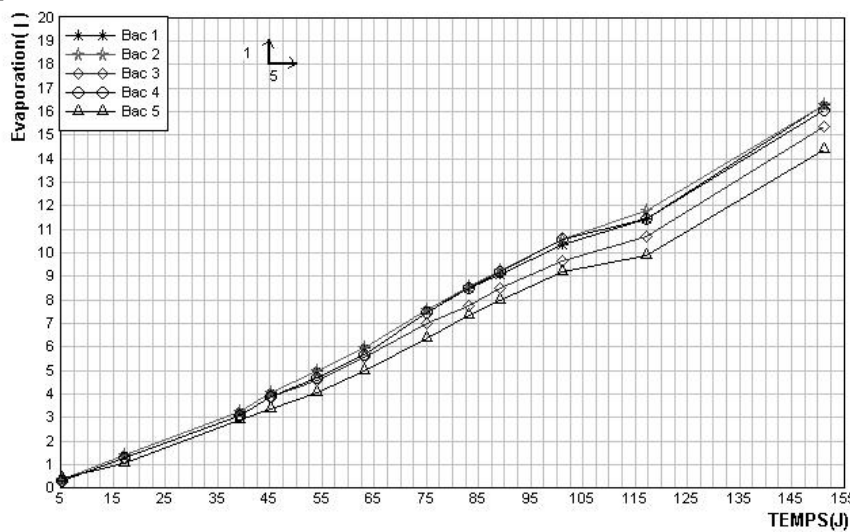


Figure 8 : Evolution de l'évaporation en fonction du temps dans les différents bacs

Les résultats obtenus montrent que l'évolution de l'évaporation dans les bacs 1, 2 et 4 est quasiment la même, avec une moyenne de 0,1 l/j du début jusqu'au

101^{ème} jour. Ensuite, et pendant tout le reste de l'expérience, les courbes ont enregistré une moyenne de 0,12 l/j.

Quant au bac 3, en raison de sa turbidité élevée (figure 4), l'évaporation a été relativement moins importante puisqu'elle a été en moyenne de 0,093 l/j pendant les 101 premiers jours et qu'elle est passée à 0,114 l/j pendant le reste de l'expérience. En revanche, au niveau du bac témoin, nous avons enregistré une perte minimale d'eau. Il a marqué un déficit de 14,4 l pendant les 151 jours de l'expérience, présentant ainsi une moyenne de perte d'eau de 0,087 l/j du début au 101^{ème} jour et de 0,104 l/j jusqu'à la fin de l'expérience. Nous pouvons donc affirmer que l'augmentation de la turbidité ralentit l'évaporation en diminuant le taux de pénétration de la lumière à travers l'eau, ainsi qu'en réduisant l'augmentation de la température de l'eau. Par conséquent, on conclut qu'une absence totale de vase est favorable à la réduction de l'évaporation.

Turbidité

La turbidité est la propriété d'une eau d'être d'aspect trouble. C'est l'inverse de la limpidité. Toutefois, une forte turbidité diminue l'intensité de l'énergie lumineuse, et entraîne une réduction de la production primaire (Mayet, 1994). Les courbes représentées sur la figure 4, traduisent les différents résultats de la turbidité des cinq bacs au cours de la période expérimentale.

La turbidité des cinq bacs a été faible pendant les 46 premiers jours ; elle a pris des valeurs comprises entre 0,2 et 3 NTU, qui témoignent la clarification de l'eau durant cette période. Dès la 7^{ème} semaine, on a constaté des fluctuations dans tous les bacs à l'exception du bac témoin qui n'a pas dépassé une turbidité de 0,6 NTU pendant toute l'expérience. Quant à l'effet de la présence de vase, mis à part le bac témoin, on a enregistré des turbidités peu élevées pour tous les bacs, allant jusqu'à 35,3 NTU pour le bac 3. Durant la 6^{ème} semaine, on a remarqué une apparition de larves bactériennes dans les bacs 3 et 4, qui ont provoqué la perturbation de la stabilité de l'interface eau - sédiment.

Les eaux des deux bacs qui contiennent de la vase de Hamiz sont plus turbides que celles contenant la vase du barrage de Beni Amrane. Cela est dû probablement d'une part à la densité de la vase de Hamiz qui est relativement faible par rapport à celle de Beni Amrane, et d'autre part à la présence des larves. Notons aussi que le bac 3 a enregistré une turbidité très importante, qui a atteint 35,3 NTU. Cela est expliqué par le développement intense des larves.

En revanche, après la 10^{ème} semaine et jusqu'au terme de l'expérience, les courbes de la figure 9 démontrent que les eaux sont redevenues de plus en plus claires. Cette transparence est due à l'effet de la mortalité du phytoplancton et du zooplancton qui ont sédimenté par la suite, et probablement à la minéralisation totale du milieu.

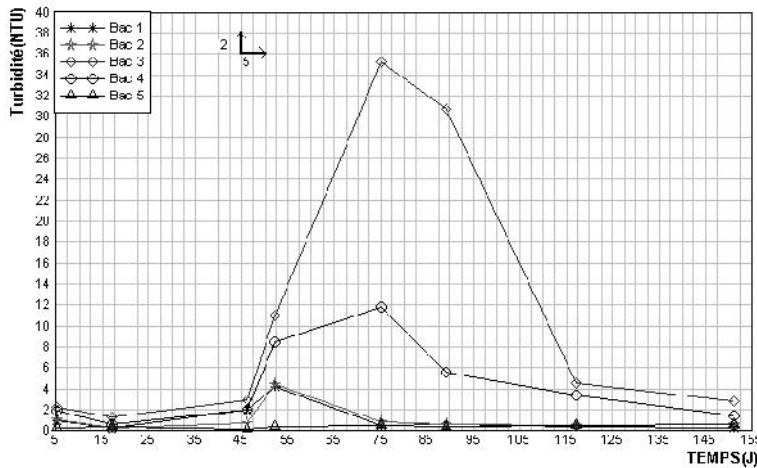


Figure 9 : Evolution de la turbidité en fonction du temps dans les cinq bacs

Phosphore

Les résultats des différents dosages portant sur des orthophosphates effectués sur les échantillons d'eau des cinq bacs, sont portés sur la figure 10.

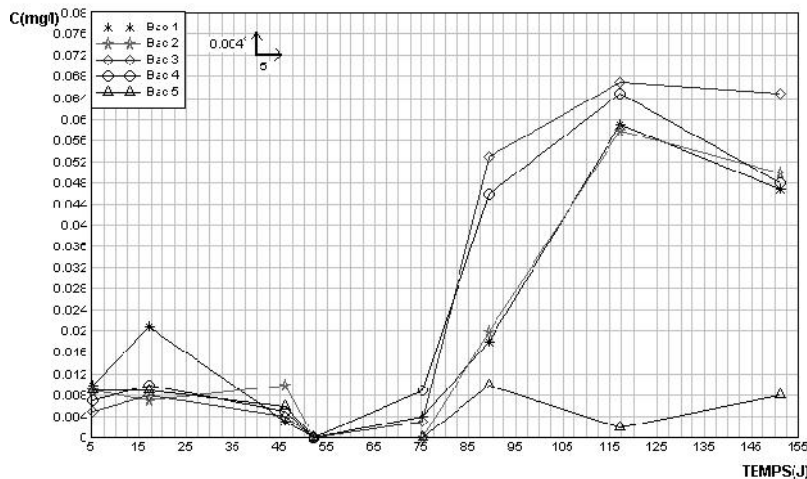


Figure 10 : Variations de la concentration des phosphates en fonction du temps dans les cinq bacs.

On remarque que les concentrations des PO_4^{3-} , durant les premières semaines étaient faibles, variant de 0,005 à 0,021mg/l, et cela jusqu'au 46^{ème} jour. Puisque les différences entre les teneurs en orthophosphates des bacs 1, 2, 3 et 4 et celle du bac 5 qui ne contient pas de vase, ne sont pas considérables, on peut alors estimer que l'eau du robinet utilisée est la principale source des phosphates

présents. Notons que, les premières apparitions d'algues dans les différents bacs n'ont été observées que dès la 6^{ème} semaine, notamment pour le bac témoin où on a remarqué quelques taches vertes sur les parois du bac, indiquant la présence d'une petite quantité d'algues vertes (fig. 11).



Figure 11 : Apparition des algues dans les différents bacs. La quantité varie selon la nature de la vase.

On peut alors suggérer que l'épuisement des PO_4^{3-} lors de la 7^{ème} semaine dans l'ensemble des bacs soit expliqué par l'assimilation du phosphore par les végétaux pour leur développement. On parle ici de la phase autotrophe, où les bactéries utilisent le phosphore et de nombreux d'autres composants minéraux pour l'élaboration des cellules vivantes.

Les courbes montrent qu'à partir du 75^{ème} jour, une augmentation de la concentration phosphorique est constatée dans les différents bacs (figure 10). En effet, dans les bacs 1, 2, 3 et 4, le relargage du phosphore qui a atteint 0,067mg/l, est plus considérable que dans le bac témoin, qui n'a pas dépassé la teneur de 0,01mg/l. Cette importante différence est probablement dû à l'effet de la présence des végétaux dans les bacs 1, 2, 3, 4 alors que le bac 5 n'en contient pas. Le phénomène de relargage du phosphore indiquerait la présence des bactéries hétérotrophes qui, en minéralisant la matière organique (débris des organismes vivants), dégagerait les PO_4^{3-} .

On a aussi remarqué, que le développement des algues est plus abondant dans le bac 4 qui contient de la vase de Hamiz à la concentration de 272,73mg/l, que dans les autres bacs. Ceci est expliqué, d'une part par l'augmentation de la teneur en P_2O_5 dans la vase de Hamiz, plus forte que celle de Beni Amrane, et d'autre part par l'importance de la quantité de vase présente, car le bac 3 contient la même vase que celle du bac 4, mais avec une concentration de 136,36mg/l. Ainsi, on a constaté que dans le bac 2 qui renferme la vase de Beni Amrane à la concentration de 272,73mg/l, l'importance des végétaux est légèrement plus grande que dans le bac 1 qui contient la même vase, mais avec une

concentration de 136,3mg/l. Ceci est expliqué par la présence de plus de vase dans le bac et automatiquement de plus de phosphore.

L'importance des analyses réalisées consiste en la possibilité de classification du milieu de chaque bac, d'après son degré de trophie. On montre clairement l'implication de la présence de la vase sur l'enrichissement des eaux en phosphore. Les taux élevés sont probablement dû au phénomène de relargage du phosphore à partir des sédiments et à la biodégradation des algues présentes (tableau 6).

Tableau 6 : Evolution de l'état trophique des eaux de barrages en fonction de la teneur en phosphore

Temps(j)	Bac 1		Bac 2		Bac 5 (Témoin)	
	C (mgP/l)	Etat trophique	C (mgP/l)	Etat trophique	C (mgP/l)	Etat trophique
5	0,01	Mésotrophe	0,009	Oligotrophe	0,009	Oligotrophe
17	0,021	Mésotrophe	0,007	//	0,009	Oligotrophe
48	0,003	Ultra-oligo.	0,01	Mésotrophe	0,005	Oligotrophe
52	0	//	0	Ultra-oligo.	0	Ultra-oligo.
75	0,004	//	0	//	0	Ultra-oligo.
89	0,018	Mésotrophe	0,02	Mésotrophe	0,01	Mésotrophe
117	0,059	Eutrophe	0,058	Eutrophe	0,002	Ultra-oligo.
151	0,047	Eutrophe	0,05	Eutrophe	0,008	Ultra-oligo.

Temps(j)	Bac 3		Bac 4		Bac 5 (Témoin)	
	C (mgP/l)	Etat trophique	C (mgP/l)	Etat trophique	C (mgP/l)	Etat trophique
5	0,005	Oligotrophe	0,007	Oligotrophe	0,009	Oligotrophe
17	0,008	//	0,01	Mésotrophe	0,009	Oligotrophe
48	0,004	//	0,005	Oligotrophe	0,005	Oligotrophe
52	0	Ultra-oligo.	0	Ultra-oligo.	0	Ultra-oligo.
75	0,003	//	0,009	Oligotrophe	0	Ultra-oligo.
89	0,053	Mésotrophe	0,046	Mésotrophe	0,01	Mésotrophe
117	0,067	Eutrophe	0,065	Eutrophe	0,002	Ultra-oligo.
151	0,065	Eutrophe	0,048	Eutrophe	0,008	Ultra-oligo.

Azote Kjeldahl

Les analyses effectuées pour le dosage de l'azote Kjeldahl dans les différents bacs d'expérience ont permis de tracer les courbes de la figure 12.

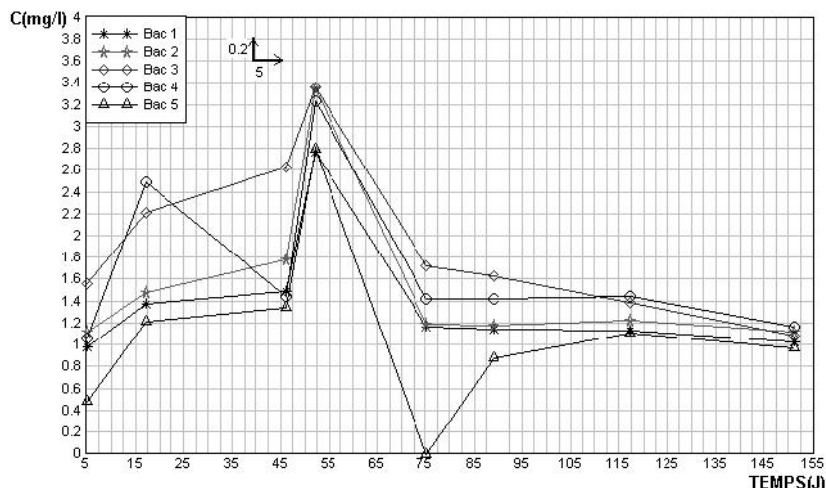


Figure 12 : Evolution de l’azote Kjeldahl en fonction du temps dans les cinq bacs

Au début de l'expérience, la teneur en azote est plus importante dans les bacs 3 et 4 que dans les bacs 1 et 2. Ceci, peut être dû à la différence de la qualité entre les deux vases. En revanche le bac 5 présente une faible concentration en azote (0,5mg/l) qui est certainement liée à l'absence de vase dans ce bac.

On note dans tous les bacs une nette augmentation de l’azote entre le 46^{ème} et le 52^{ème} jour. Ce constat est lié au début de déclenchement de la vie végétative dans les différents bacs. On suggère que cette augmentation de la quantité d'azote est due à la conversion de l'azote atmosphérique en azote dissous (sous forme soluble) par les bactéries autotrophes. En revanche, dans la période qui a succédé à la 7^{ème} semaine et jusqu'au 75^{ème} jour, on constate une diminution de la teneur en azote dans tous les bacs. Cette période est marquée par un développement des végétaux dans les cinq bacs. Cette décroissance de la teneur est expliquée par l'assimilation de l'azote par les algues au cours de leur développement.

Notons aussi, que le bac témoin à fait exception avec un épuisement total de l'azote et du phosphore lors du 75^{ème} jour (figure 11), qui explique l'infime croissance algale remarquée dans ce bac. L'absence des sels nutritifs inhibe le processus de production.

Durant les onze dernières semaines de la période expérimentale, on a constaté une stabilité et une certaine convergence des différentes concentrations vers une moyenne de 1,1mg/l pour tous les bacs. Ceci est corrélé avec l'arrêt de la production primaire qui est la principale consommatrice d'azote et de phosphore.

Silice

La silice entre dans l'élaboration des enveloppes siliceuses de certaines espèces de la flore aquatique (diatomées), dans la formation des squelettes d'un certain nombre d'espèces de la faune aquatique (éponges), ainsi que dans la constitution de la vase où les silicates sont les principaux constituants des argiles (Mabed et Chalal, 1994; Sigg et al., 2000).

La figure 13, qui représente les variations de la teneur en silicates en fonction du temps, montre que la concentration a baissé respectivement dans les bacs 1, 2, 3 et 4 avec des valeurs de 14,31 ; 13,14 ; 12,87 et 7,22 mg/l. Ceci peut être dû au dépôt des silicates qui est accéléré par l'effet de décantation des particules de vase et par l'assimilation des silicates par les planctons qui entrent dans la composition de leurs organismes.

Dans le bac 5 la présence des silicates était souvent plus importante, puisqu'elle a varié entre 29,24 mg/l et 10,9 mg/l durant la période d'expérimentation. Cette différence est expliquée par l'absence des particules de vase qui favorisent la sédimentation des silicates.

Par ailleurs, l'augmentation de la turbidité dans les bacs 3 et 4 (figure 12) a causé une élévation de la concentration en silicates qui est expliquée par l'adsorption des silicates aux particules argileuses en suspension.

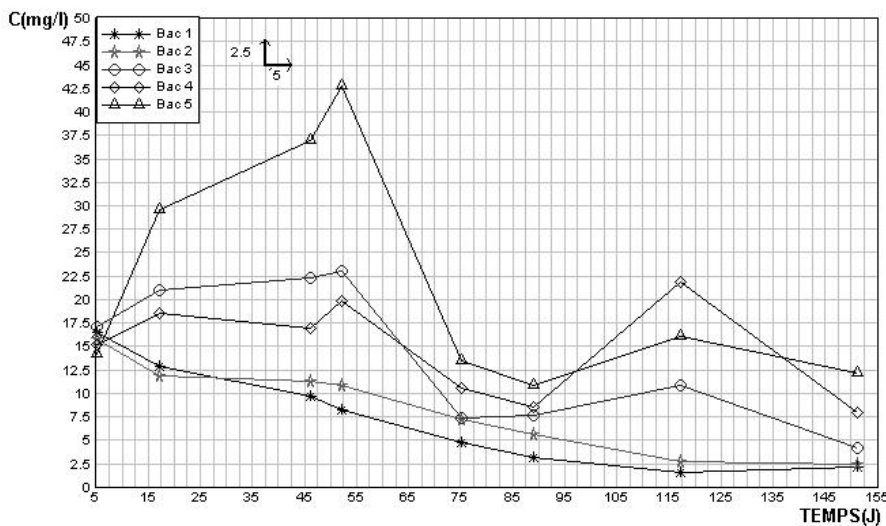


Figure 13 : Variations des teneurs en silicates en fonction du temps dans les cinq bacs

CONCLUSION

A l'issue de cette modeste étude sur l'effet de la présence de la vase sur l'envasement des barrages et à la lumière des résultats expérimentaux obtenus, nous pouvons dire que :

- Les sédiments servent surtout de véhicule aux nutriments qui causent le développement des espèces vivantes, qui à leur tour provoquent une élévation du taux de phosphates, un appauvrissement en silicates, une augmentation de la turbidité et de l'évaporation, ainsi qu'un déséquilibre dans les teneurs en azote et la valeur du pH en fonction de leur demande;
- La température est un facteur très important, car l'apparition des algues n'a été observée qu'à une température de 20°C. Elle n'explique pas l'absence d'eutrophisation au dessous de cette température, mais l'eutrophisation s'abaisse avec la diminution de la température;
- Une concentration élevée en phosphore dans les dépôts de vase augmente les taux de développement des végétaux, ce qui démontre que l'état trophique des plans d'eau dépend en grande partie du phosphore contenu dans les sédiments. Cependant, La répartition de la faune et la flore aquatique varie d'un site à l'autre selon la qualité des composants du tapis sédimentaire, ainsi que selon sa quantité;
- La minéralisation des algues mortes sédimentées provoque un relargage intense du phosphore qui donne à l'eau un caractère eutrophe ;
- En plus du phosphore, d'autres facteurs peuvent aussi limiter l'eutrophisation des eaux, telle la turbidité qui rompt le déroulement de la photosynthèse, induisant ainsi une inhibition de la prolifération algale.

Enfin, suite aux contraintes de temps, relativement court, certains aspects n'ont pas été abordés dans cette étude, tels que:

- La dégradation anaérobie de la matière organique;
- La fermentation.

Ainsi pour compléter ces résultats dans un avenir proche, il serait souhaitable de mener d'autres études, sur des durées plus longues et sur des volumes plus importants, et en prenant en considération les paramètres suivants:

- Utiliser des eaux de barrages qui ne sont pas moins chargées en éléments nutritifs que les sédiments;
- Effectuer des expériences sur des profondeurs plus élevées, afin de mieux constater le phénomène de désoxygénation et la stratification thermique ainsi que leurs répercussions sur la qualité de l'eau;
- Faire des analyses biologiques telles que la lecture des algues et leur dénombrement, qui sont un facteur de contrôle très efficace, ainsi que le dosage de la chlorophylle a;
- Suivre l'évolution de l'oxygène dissous, qui donne plus de détails sur l'anoxie des eaux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BACHMANN R.W. (1980). The role of agricultural sediments and chemicals in eutrophication, *Journal of water pollution control Federation*, Vol. 52, n°10, 2425-2431.
- C.I.G.B. (1980). Maîtrise de l'alluvionnement des revenus. Recommandations, Bulletin n°67, 159 p.
- DEMMAK A. (1980). Contribution à l'étude de l'érosion et du transport solide en Algérie septentrionale, Thèse de Doctorat, Université de Pierre et Marie Curie, Paris XI.
- DUSSART B. (1966). Limnologie "L'étude des eaux continentales", Paris, Ed. Gauthier Villars.
- LANDNER L., WAHLGREN U. (1986). Eutrophisation des lacs et des réservoirs en climat chaud, Rapport OCDE, 14p.
- LEVEQUE C. (2001). Ecologie de l'écosystème à la biosphère, Paris, Ed. Dunod.
- LOEHR R.C., JOHANSSON K.J. (1974). Phosphate removal from duck farm wastes, *Journal of Water Pollution Control Fed.*, Vol. 46, 1692-1714
- MAYET J. (1994). La pratique de l'eau, "traitements de l'eau aux points d'utilisation, comportement de l'eau dans les installations, origine des désordres et solutions", Paris, 2^{ème} Ed. du Moniteur.
- MABED A., CHALAL A. (1994). Etude de l'eutrophisation et des sédiments appliquée au barrage de Keddara : Relargage du phosphore. Mémoire de fin d'études Ingéniorat, Département de chimie industrielle, Université Houari Boumediene, Alger.
- REMINI B. (2011). Le soutirage des courants de turbidité : un moyen de réduire l'envasement, cas du barrage de l'Oued Fodda, Séminaire national d'hydraulique, Chlef, 23 et 24 novembre.
- REMINI B. (2006). Valorisation de la vase des barrages. Quelques exemples algériens, *Larhyss Journal* ; n° 5, juin, ISSN 1112-3680, 75-90.
- REMINI B. (2007). La problématique de l'eau en Algérie, Edition Office des Publications Universitaires, 162 p.
- SIGG L., BEHRA P., STUMM W. (2000). Chimie des milieux aquatiques, "chimie des eaux naturelles et des interfaces dans l'environnement, Paris Dunod, 3^{ème} éd.
- THORNTON K.W., KENNEDY R.H., CARROLL J.H., WALKER W.W., GUNKEL R.C., ASHBY S. (1980). Reservoir sedimentation and water quality, Proceeding of the symposium on surface water impoundments, ASCE, Minneapolis.