

UNIVESITE SAAD DAHLAB-BLIDA



FACULTÉ DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE

L'EAU ET L'ENVIRONNEMENT

THÈME

**Impact des dépôts vaseux sur la qualité des eaux
des Barrages Hamiz et Keddara**

Préparé par :

AZRIL SAID

Encadré par :

M. REMINI B.

M. BENSAFIA

Plan de travail

- **Introduction**
- **Localisation des barrages étudiés**
- **Les analyses physico-chimiques et biologiques**
- **La grille d'évaluation de la qualité des eaux**
- **Les résultats Expérimentaux**
- **Interprétation des résultats**
- **Conclusion générale**

INTRODUCTION

La mobilisation des ressources hydriques continue à être l'une des principales priorités dans la stratégie de développement de l'Algérie. La limitation des eaux souterraines et le climat méditerranéen semi aride, imposent la construction de barrages réservoirs afin de satisfaire les besoins en eau.

Ces dernières années, les travaux d'acheminement des eaux du barrage ont bien progressé et désormais l'alimentation en eau ne pose plus de problème pour certaines populations, mais la qualité des eaux reste toujours une préoccupation de l'opinion publique.

les rejets des eaux usées d'origine urbaine et industrielle ont augmenté dans les oueds. Ceci constitue une menace pour la qualité des ressources en eau dans les barrages, En plus de ces rejets, les dépôts des sédiments dans les retenues de barrages génère l'eutrophisation des eaux .

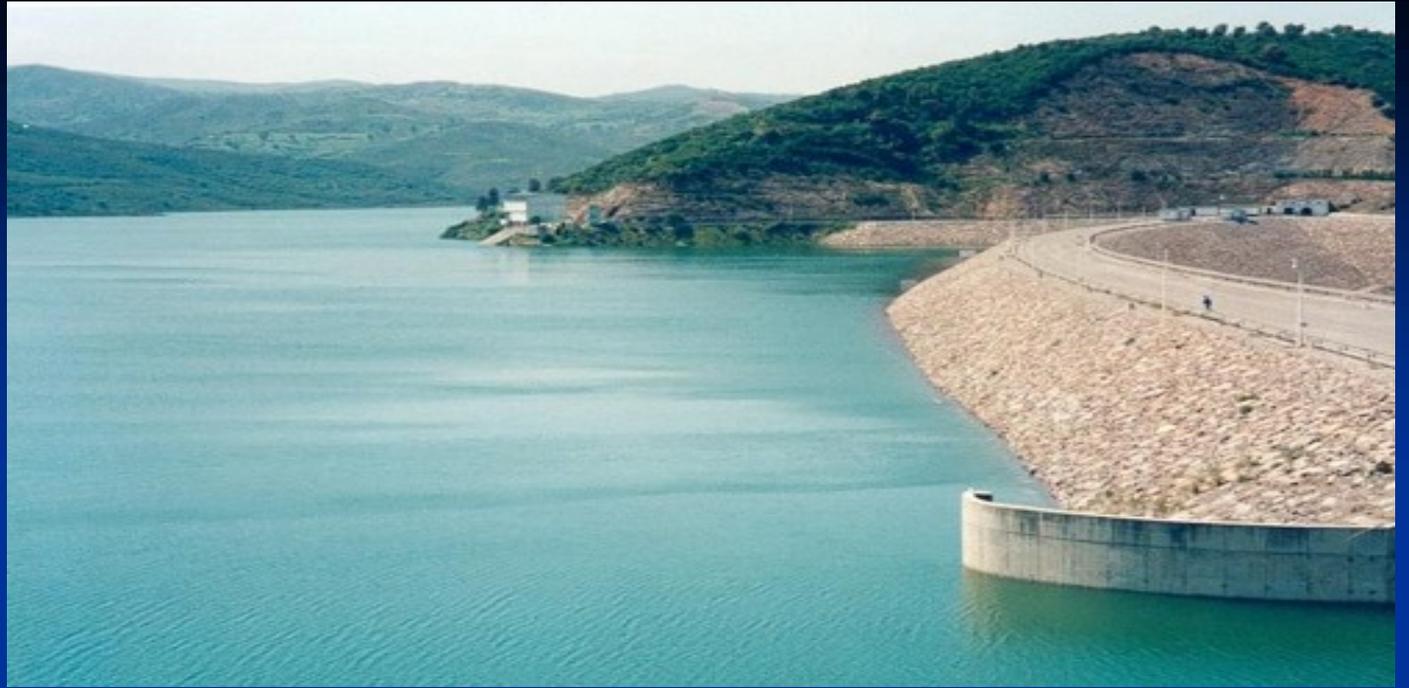
L'objectif de ce travail est l'étude de l'impact des dépôts vaseux sur la qualité des eaux d'un barrage, pour cela nous avons suivi l'évolution des différents paramètres physico-chimiques et biologiques à partir de des différents échantillons prélevés à chaque profondeur du barrage et la conformité des ces analyses aux normes de potabilité.

Localisation des barrages étudiés

1-Présentation du barrage de Keddara :

Situé dans la wilaya de Boumerdes à 8 km au sud de Boudouaou et à 35 km à l'est d'Alger, le barrage de Keddara forme la vallée de l'oued Boudouaou à 300 m à l'aval de la confluence des oueds Keddara et El-Had, la mise en eau du barrage a été lancée en 1985.

Le barrage de Keddara a été spécialement construit pour assurer l'approvisionnement en eau potable de la ville d'Alger et ses environs.



Barrage Kocklara (M. Bouamerdes)



Légende:

- Conduite 
- Réservoirs 
- Barrage 
- Station de Pompage 



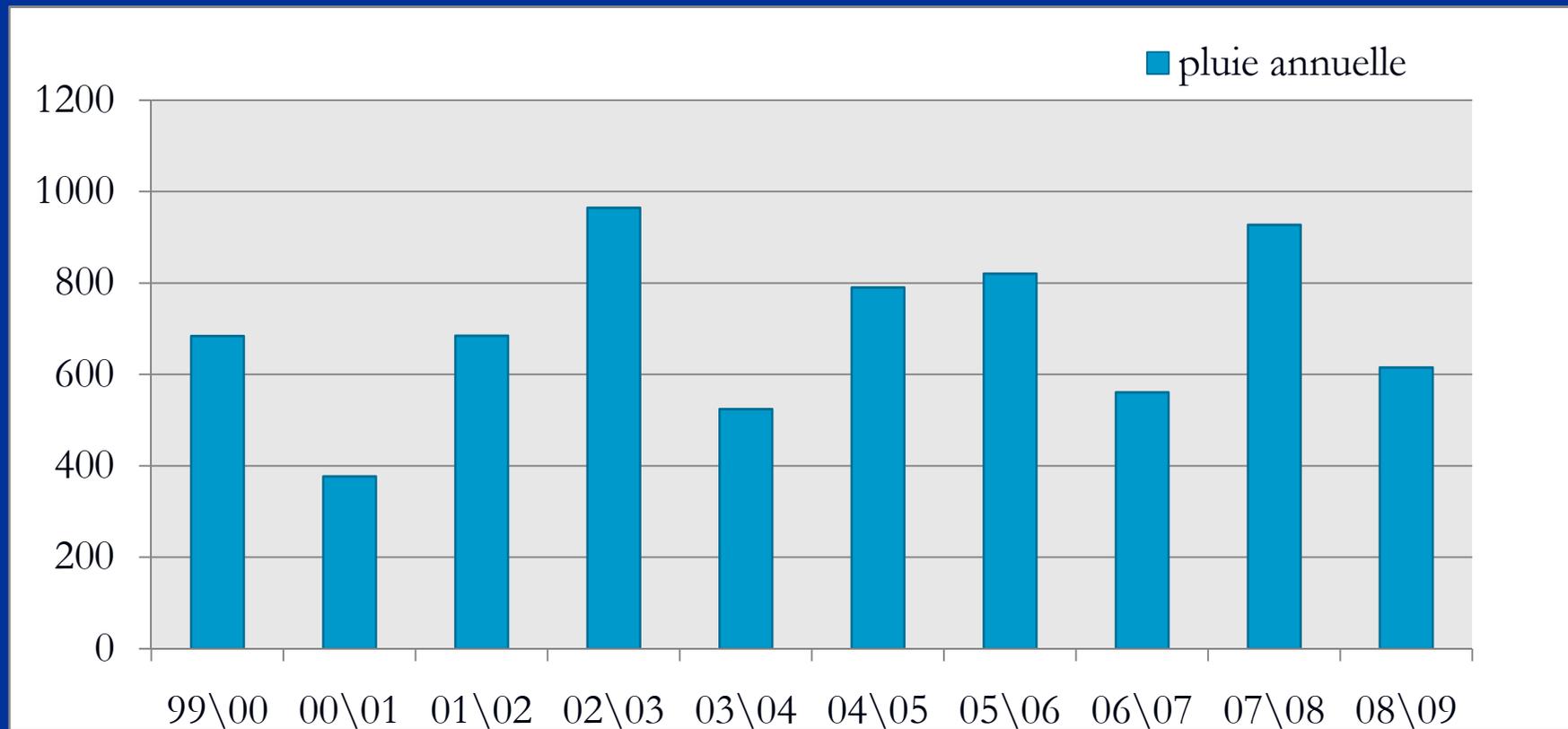
Les principales caractéristiques du barrage :

Oued	BOUDOUAOU
Type	TERRE
Hauteur.....	106,00 m
Longueur.....	468,00 m
Capacité initiale.....	145,60 hm ³
Capacité dernier levé (2004)	142,39 hm ³
Apport moyen annuel.....	32,30 hm ³ /an
Envasement	0,05 hm ³ /an
Surface du bassin versant.....	93 km ²

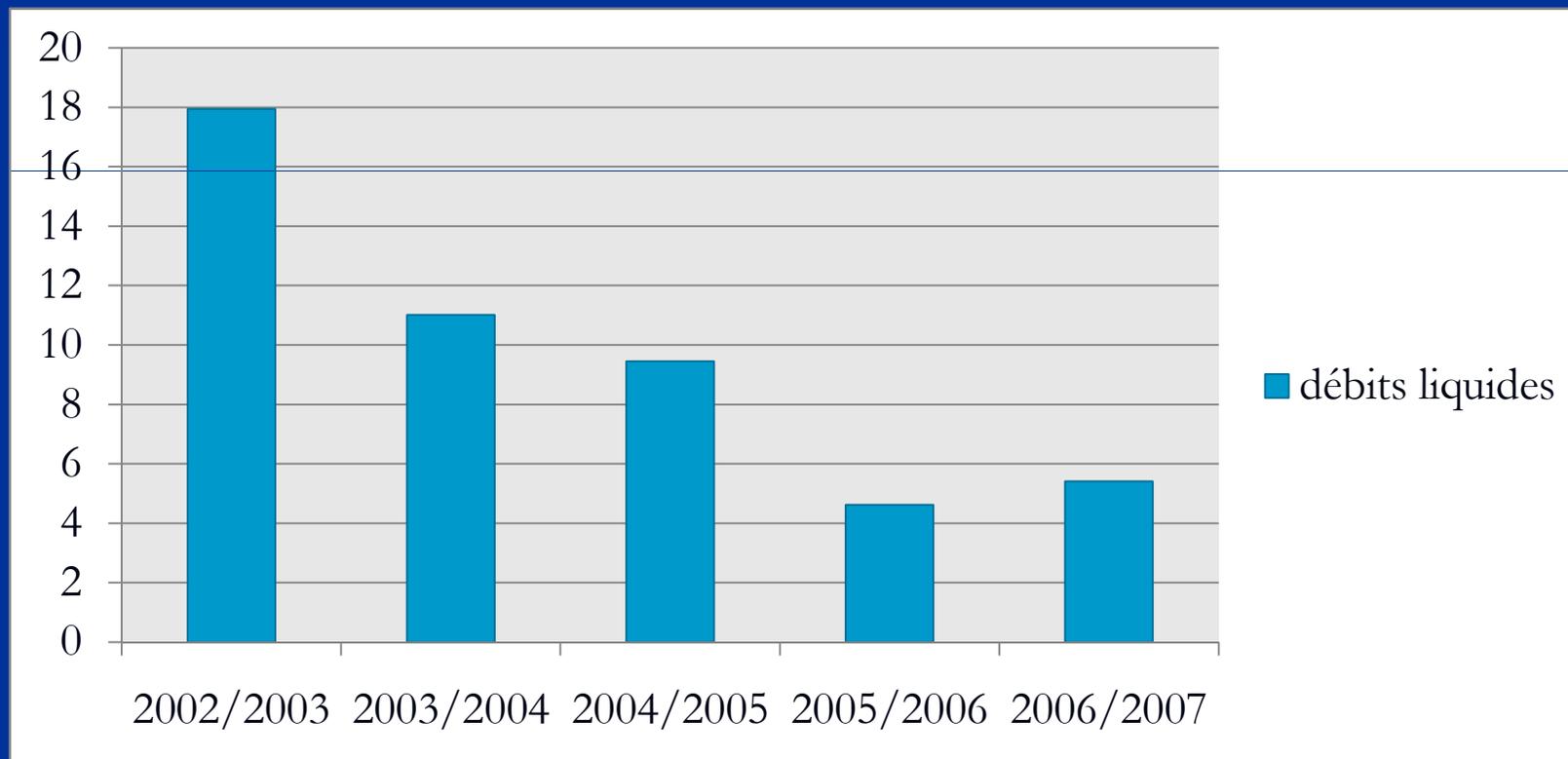
La région de Keddara est caractérisée par un climat méditerranéen, avec un été chaud et sec et un hiver humide et froid.

La température moyenne annuelle varie entre 16°C et 20°C.

La moyenne annuelle des précipitations pour le bassin versant de Keddara est de 695mm.



Les apports liquides de barrage montre que le niveau du plan d'eau a varié au cours les cinq années entre un minimum de 4,62hm³ et un maximum de 17,94 hm³.



Les affluents du barrage

Le bassin versant du barrage de Keddara est de 93 km². Il est alimenté par les affluents des oueds Keddara, El-Had et par les eaux excédentaires du barrage du Hamiz à travers une galerie de dérivation (Hamiz-Keddara de 3,2 km), qui permet de dériver vers le barrage de Keddara un volume de 15 hm³/an.

Il est aussi alimenté essentiellement par les transferts provenant du barrage de Beni-Amrane à l'aide d'une station de refoulement d'une capacité de 0.61 hm³/J , qui permettent de transférer vers Keddara un volume moyen annuel de 110 hm³ à travers une conduite de 30 km.

2-Présentation du barrage de Hamiz

Le barrage du Hamiz est construit à 35 km au SE d'Alger, un peu à l'amont du débouché dans la Plaine de la Mitidja de l'Oued Arbaatache qui, prenant ensuite le nom d'Oued Hamiz, draine l'extrémité orientale de la grande plaine algéroise. Il se situe ainsi à 25 km de la mer .



Barrage Hamiz (Wuboumendes)



Régularisant un bassin versant de 139 km², sur lequel tombent annuellement en moyenne 839 mm d'eau, l'ouvrage est utilisé pour l'irrigation des riches terres de la plaine de Mitidja .

La région de Hamiz est caractérisée par un climat méditerranéen, avec un été chaud et sec et un hiver humide et froid.

Caractéristiques hydrologiques :

Oued	Arbaatache
Type	Poids
Hauteur.....	50 m
Longueur.....	222 m
Capacité initiale.....	14 hm ³
Capacité après surélévation.....	21 hm ³
Envasement.....	0,35 hm ³ /an
Surface du bassin versant	139 km ²

Les analyses physico-chimiques et biologiques

ANALYSES DE LABORATOIRE

```
graph TD; A[ANALYSES DE LABORATOIRE] --> B[Les paramètres physico-chimiques]; A --> C[Paramètre microbiologique];
```

Les paramètres physico-chimiques

Température, pH, NH_4 , NO_3^- , NO_2

PO_4^{3-} , Silice, oxygène

dissous, matière organique.

Paramètre microbiologique

chlorophylle a

Evaluation de la qualité des eaux

Différents outils d'évaluation de la qualité des cours d'eau ont été utilisés, mais La qualité physico-chimique des eaux est évaluée selon la grille « multi-usages » d'évaluation de 1971 .

cette grille de qualité associe, pour une série de paramètres principalement physicochimiques, elle est construite sur la base d'une évaluation sommaire des aptitudes de l'eau aux principaux usages anthropiques et à la vie des poissons.

Chaque classe des paramètres est définie par un ensemble de valeurs seuils que les différents paramètres physico-chimiques ou biologiques ne doivent pas dépasser .

PARAMETRES	Bonne ou très bonne qualité	Qualité acceptable	Qualité médiocre	Mauvaise ou très mauvaise Qualité
O ₂ dissous mg/l	≥5	≥3	≥1	< 1
O ₂ dissous %	≥70	≥50	≥10	< 10
DBO ₅ mg/l	≤ 5	≤10	≤25	> 25
DCO mg/l	≤ 25	≤ 40	≤80	> 80
NO ₃ ⁻ mg /l	≤ 25	≤ 50	≤ 80	> 80
NH ₄ ⁺ mg/l	≤ 0,5	≤2	≤8	> 8
NO ₂ ⁻ mg/l	≤0,3	≤1	> 1	-
NTK mg/l	≤2	≤3	≤10	> 10
PO ₄ ⁻³ mg/l	≤0,5	≤1	≤2	> 2
MeST mg/l	≤70	-	> 70	-
Phosphore total mg/l	≤0,3	≤0,6	≤1	> 1
Conductivité	≤2000	-	> 2000	-
pH	≥6,5 et ≤8,5	-	< 6 ou > 8	-

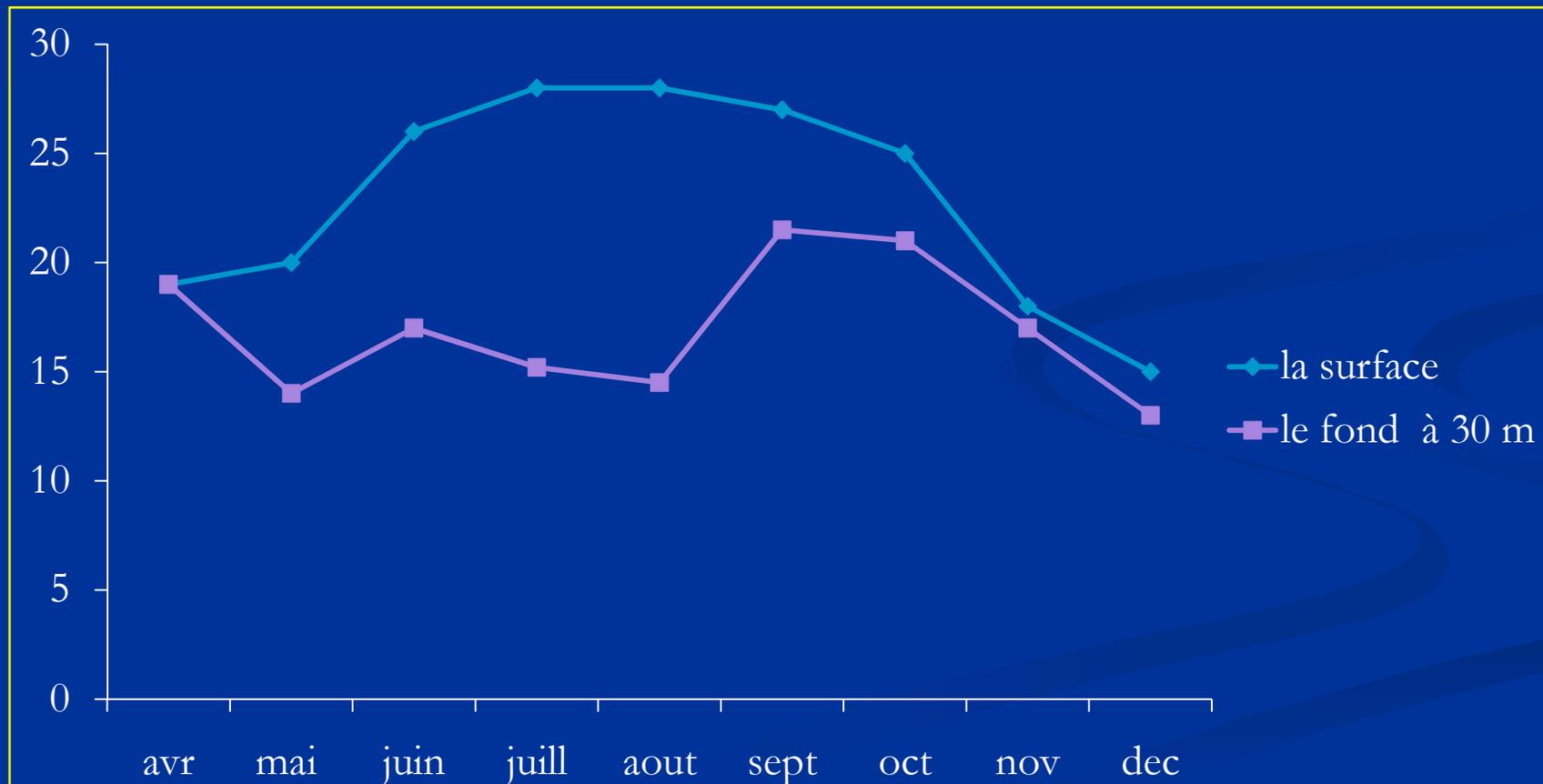
Les résultats Expérimentaux

Date	profondeur	Température	pH	Oxygène dissous	Chl a	Minéralisation	PO ₄	NO ₃	NO ₂	NH ₄	Silice	M.O	Volume
		°C		(mg/l)									
12/04/2011	0	19	8,2	10,2	6,3	434	0,01	2,6	0,000	0	5,6	3,4	128
	-5m	23	8,1	9,6	10,3	676	0,161	2,7	0,000	0	5,4	3,4	
	-10m	22	8,0	9,4	6,5	605	1,110	2,7	0,000	0	5,6	3,3	
	-20m	21	8,0	9,6	6,95	603	1,061	2,6	0,007	0	5,6	3,1	
	-30m	19	8,0	9,3	4,3	610	0,292	2,5	0,007	0	5,4	3,1	
16/05/2011	0	20	8,0	9,5	24,7	475	0,13	6,8	0,072	0,022	0,4	3,3	136
	-5m	20	8,1	9,5	7,12	622	0,13	4,4	0,062	0,023	0,4	3,7	
	-10m	18	8,2	9,5	3,9	615	0,17	4,2	0,072	0,062	1,5	3,3	
	-20m	15	8,1	9,5	15,3	590	0,20	4,7	0,096	0,024	3,6	2,7	
	-30m	14	8,0	9,5	3,6	595	0,22	4,8	0,000	0,027	3,2	2,8	
14/06/2011	0	26	8,0	9,5	10,3	425	0,160	1,6	0,000	0	0,4	3,2	141
	-5m	23	8,1	9,5	5,9	536	0,113	1,7	0,003	0	0,9	4,6	
	-10m	20	8,0	9,5	1,4	580	0,151	2,5	0,000	0,009	2,4	2,1	
	-20m	19	8,0	9,5	0,6	588	0,120	3,3	0,000	0	4,3	1,0	
	-30m	17	8,0	9,5	3,9	588	0,415	3,2	0,000	0,011	5,1	3,3	

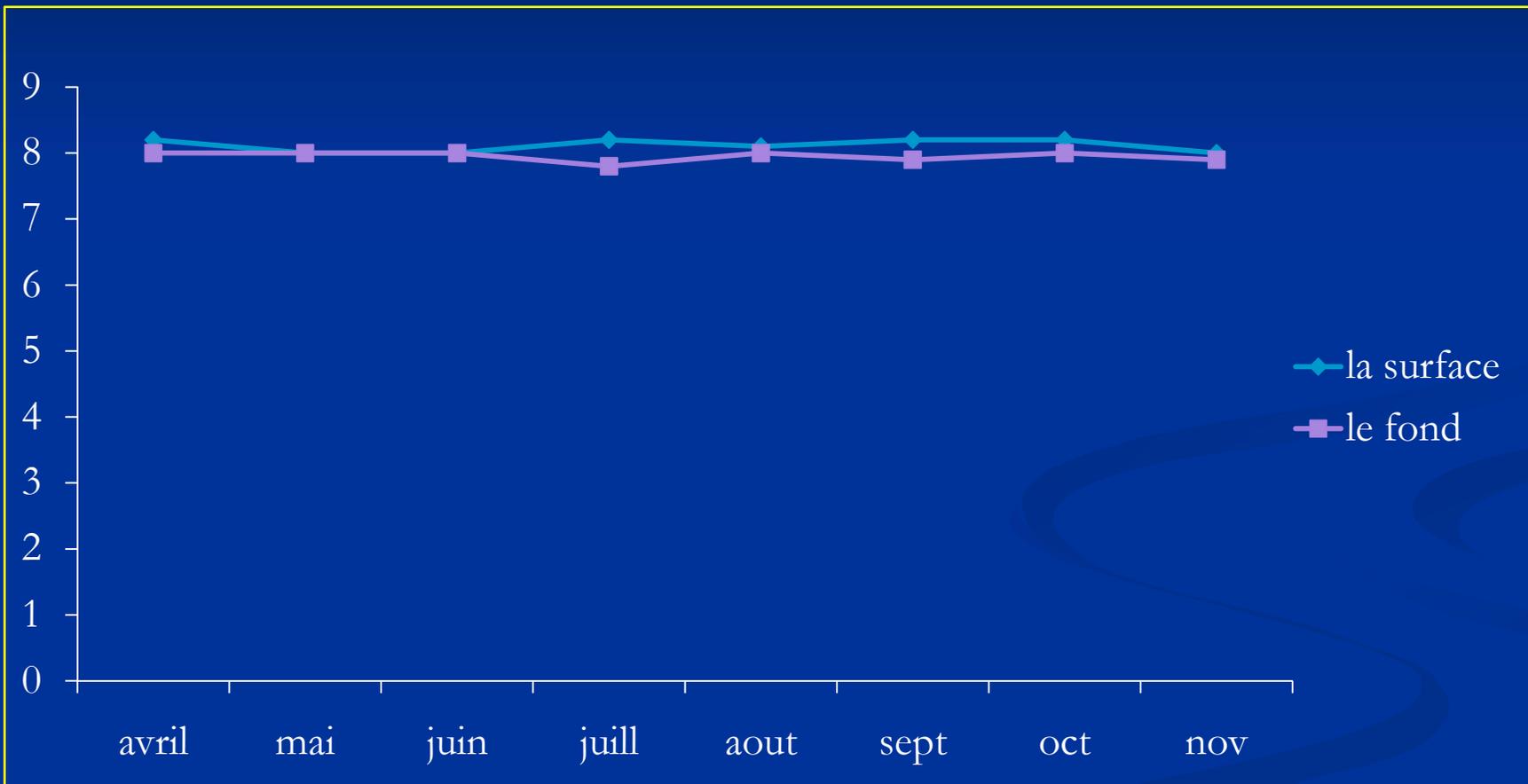
Date	Profondeur	Température	pH	Oxygène dissous	Chl a	Minéralisation	PO ₄	NO ₃	NO ₂	NH ₄	Silice	M.O	Volume
		°C		(mg/l)	(µg/l)	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
15/08/2011	0	28	8,1	8,6	10,2	439	0,360	1,2	0,069	0	0,9	3,1	131
	-5m	27	8,1	10,1	12,6	566	0,271	1,3	0,034	0	0,9	3,2	
	-10m	22	8,0	6,6	8,3	576	0,621	2,9	0,003	0	2,6	4,5	
	-20m	20	8,2	5,0	14,06	567	0,771	3,6	0,001	0,011	0,2	3,3	
	-30m	14,5	8,0	3,6	7,9	581	0,902	3,6	0,003	0	0,4	2,8	
21/09/2011	0	27	8,2	2,6	1,83	469	0,812	1,4	0,14	0,010	0,2	3,5	118
	-5m	27	8,1	6,1	2,24	469	0,773	0,8	0,147	0,013	0,4	4,3	
	-10m	25,5	8,2	6,1	1,65	495	0,532	0,8	0,165	0,047	0,6	3,8	
	-20m	23	8,0	5,7	0,189	518	0,634	1,3	0,141	0,041	1,7	3,7	
	-30m	21,5	7,9	5,6	1,919	518	0,692	1,6	0,137	0,032	2,4	3,0	
12/10/2011	0	25	8,2	6,9	2,45	444	0,855	0,8	0,120	0	1,1	5,4	111
	-5m	24	8,0	6,2	2,32	465	0,510	1,8	0,126	0	0,9	5,1	
	-10m	24	8,0	5,3	1,123	439	0,66	2,0	0,137	0	1,1	6,2	
	-20m	20	8,0	4,3	1,917	451	0,882	1,8	0,0308	0	0,9	5,2	
	-30m	21	8,0	3,7	1,052	448	1,002	1,8	0,0480	0	2,4	4,5	
21/11/2011	0	18	8,0	9,2	1,83	422	0,589	2,9	0	0,0642	2,1	4,4	99
	-5m	18	8,0	8,9	2,24	415	0,411	0,5	0	0,214	2,6	0,9	
	-10m	18	8,0	8,7	1,65	406	0,682	0,2	0	0,642	3,1	2,6	
	-20m	18	8,0	8,3	0,189	423	0,753	0,6	0,093	0,0642	0,7	2,5	
	-30m	17	7,9	7,7	1,919	429	0,801	1,1	0,093	0,856	0,6	5,9	

Interprétation des résultats

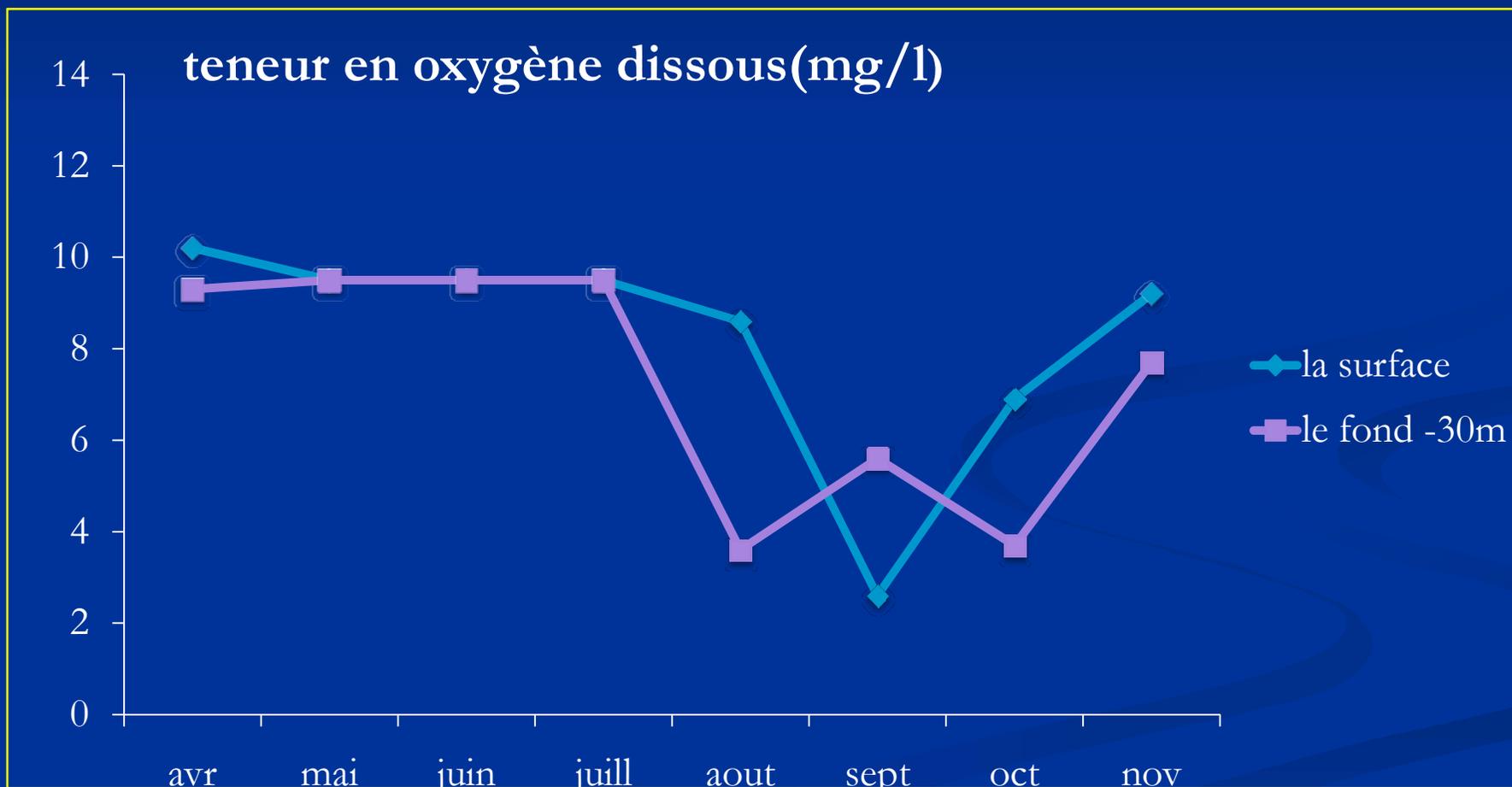
1-La variation mensuelles de la Température



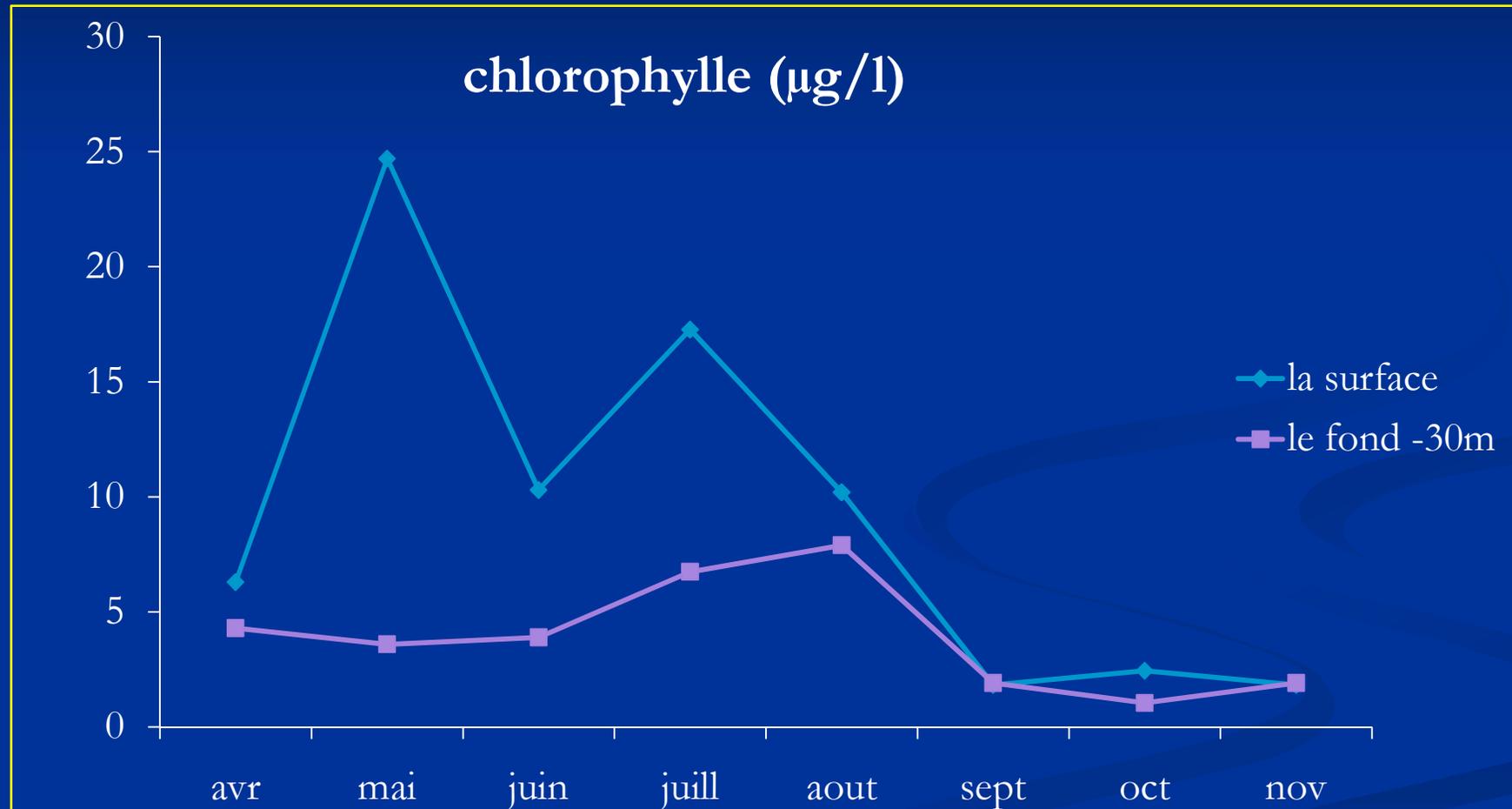
2-La variation mensuelles de pH:



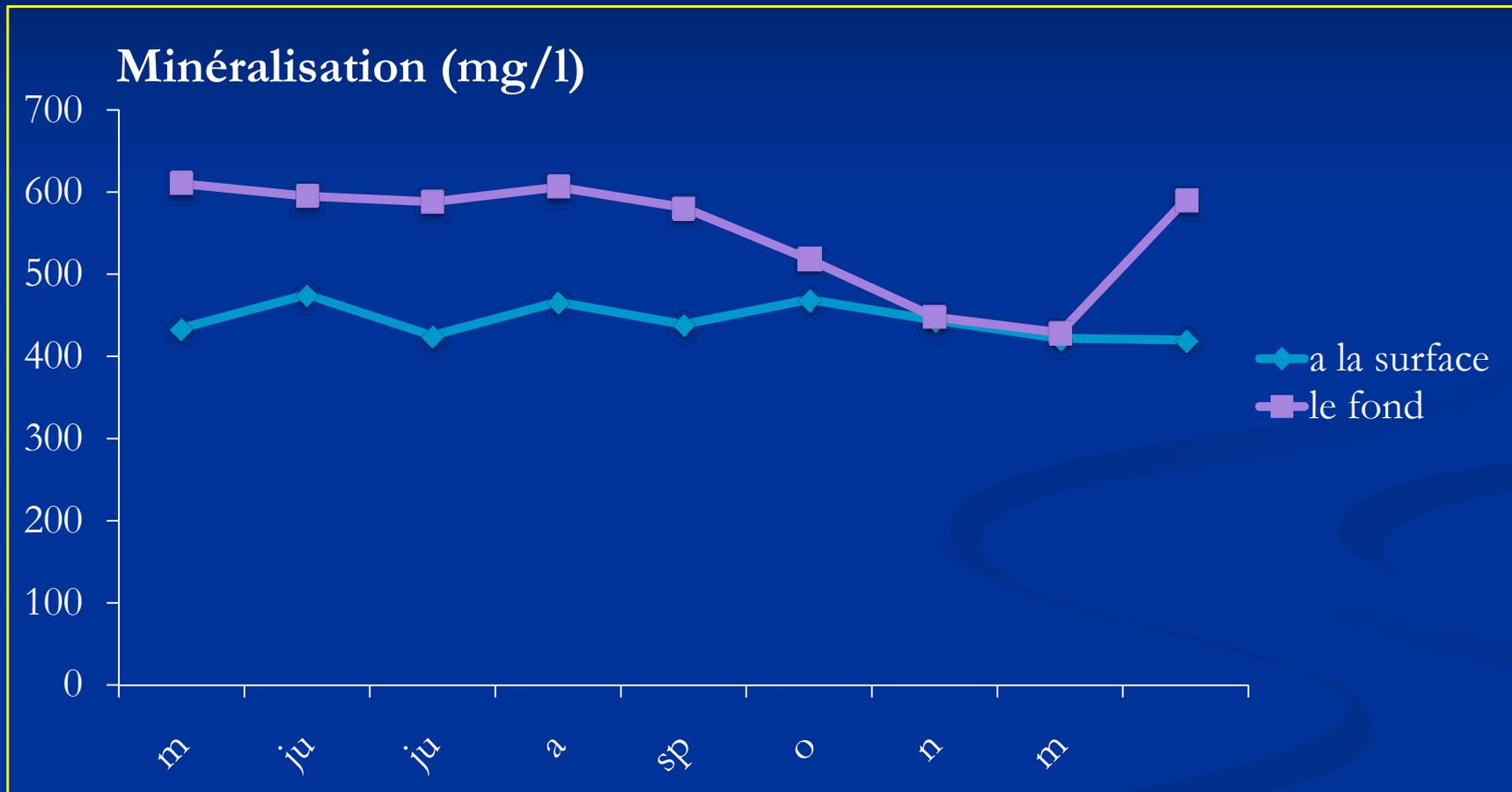
3-L' Oxygène dissous :



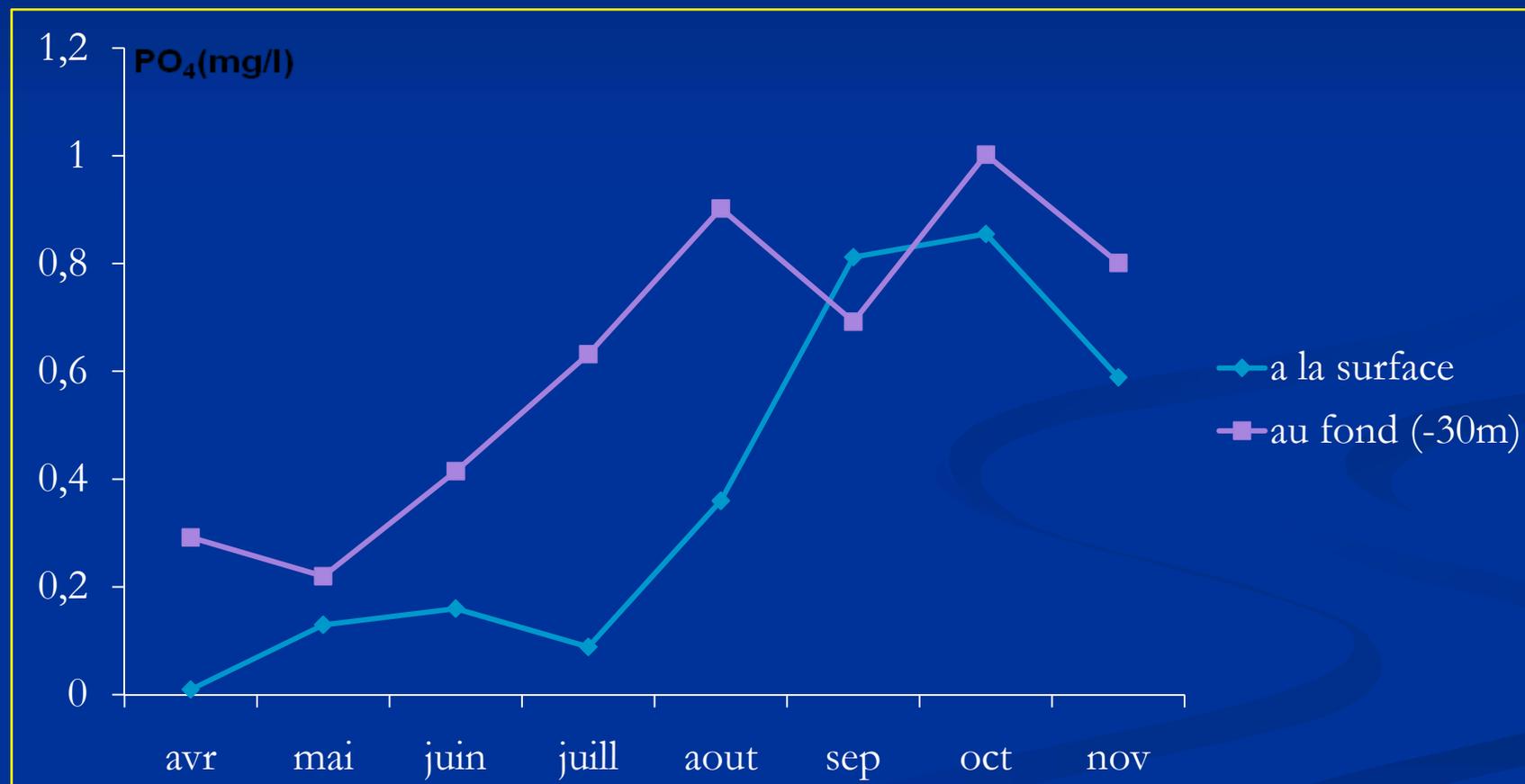
3-les teneurs de la Chlorophylle a



4-La Minéralisation



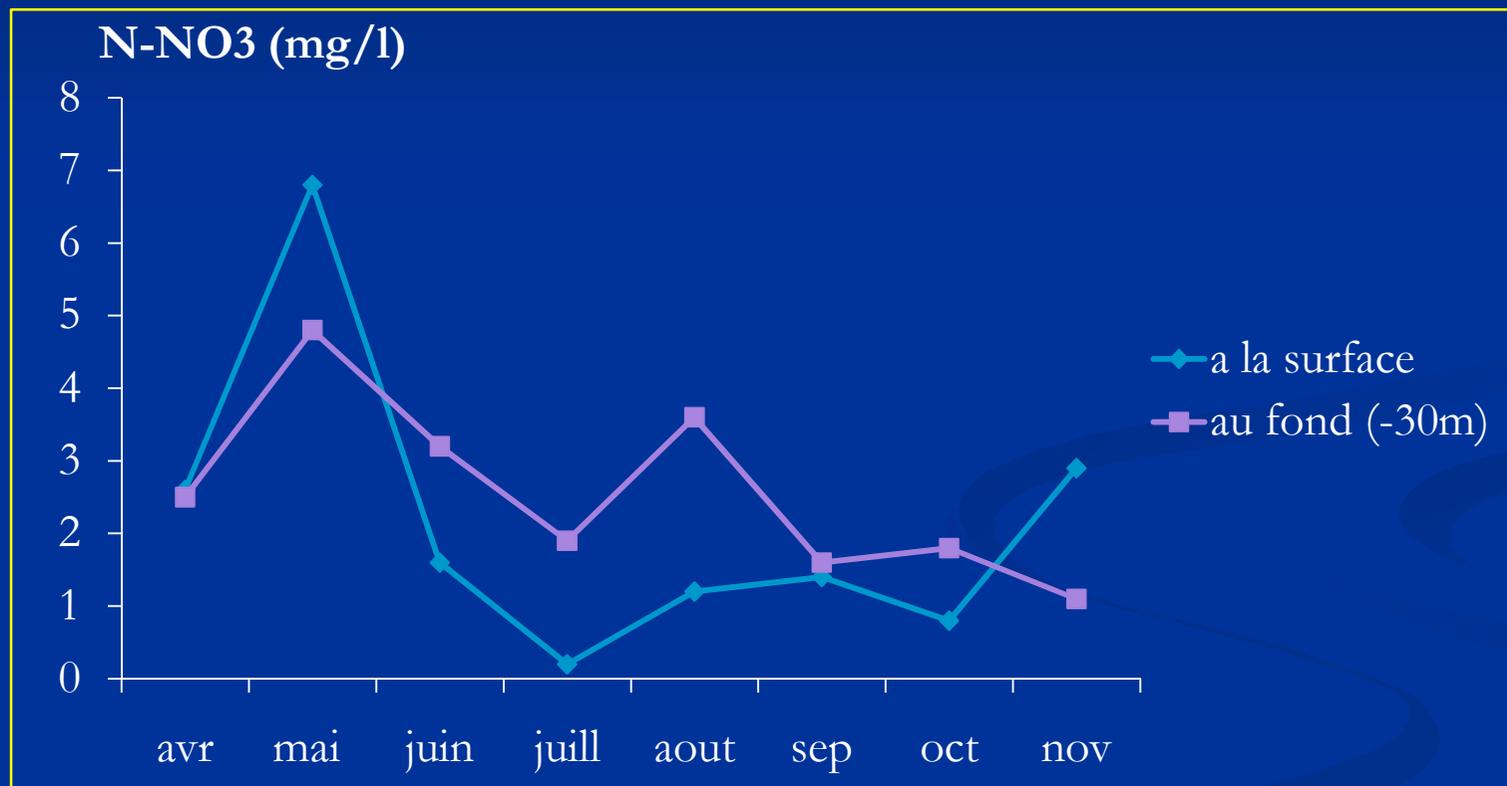
5-Les Ortho phosphates (PO_4^{-3}):



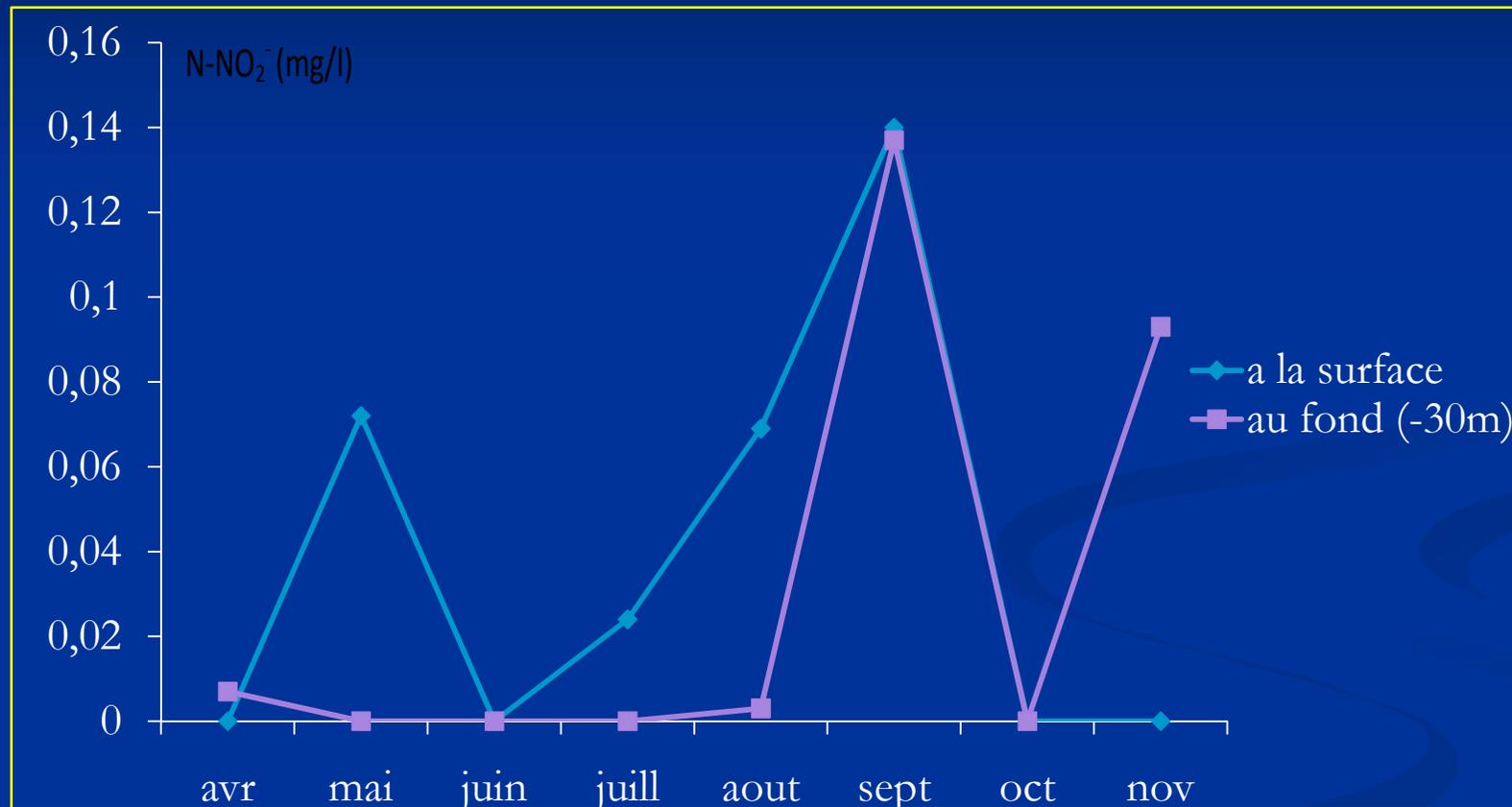
Les Formes d'azote

l'azote rentre dans la composition des cellules algales et il constitue au minimum 3 à 4 % de poids sec cellulaire. Plusieurs sources d'azote sont dispensables aux algues: les nitrates (NO_3), les nitrites (NO_2) et les ions de l'ammonium (NH_4).

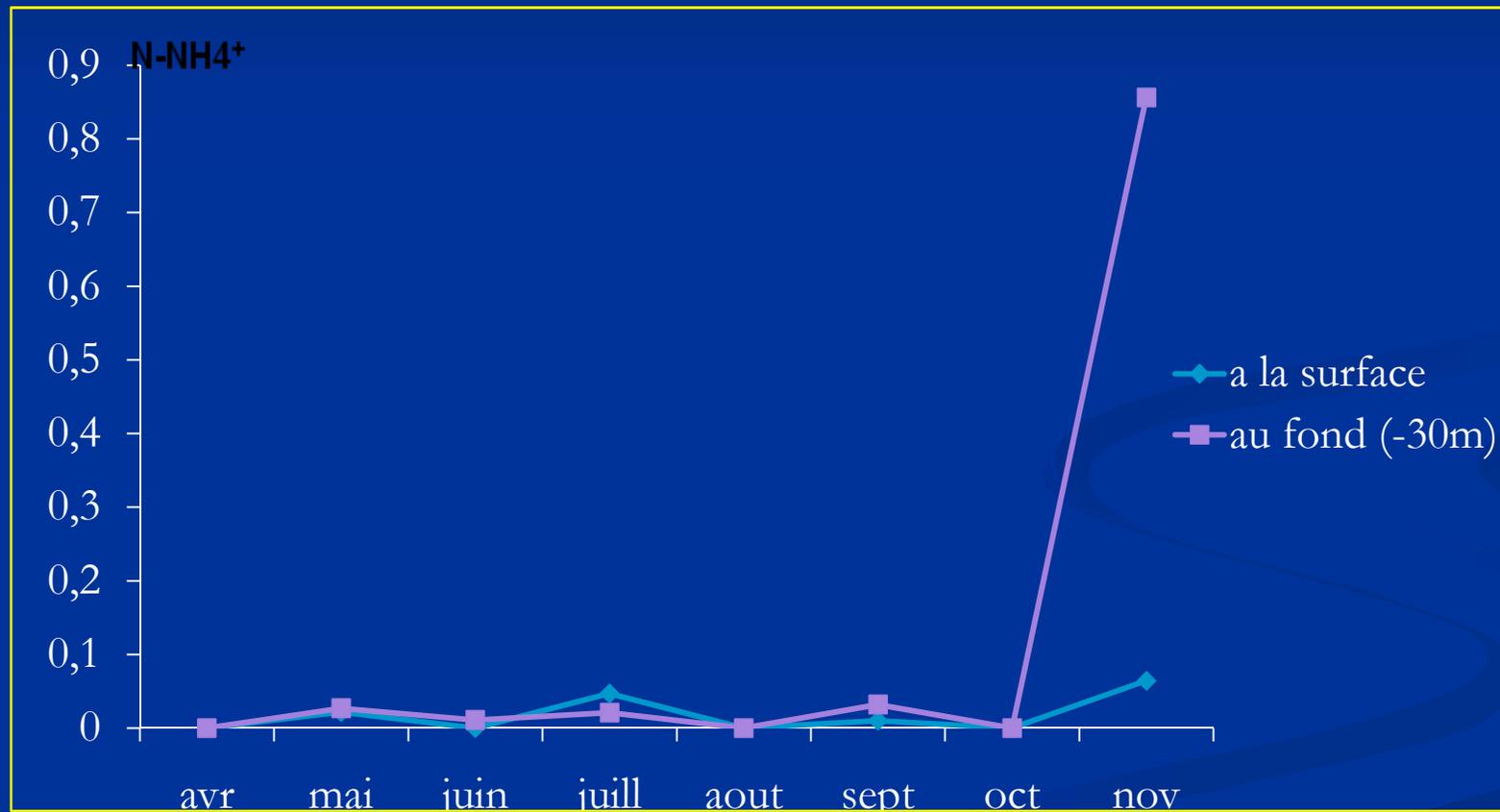
6-les teneurs des Nitrates (NO_3)



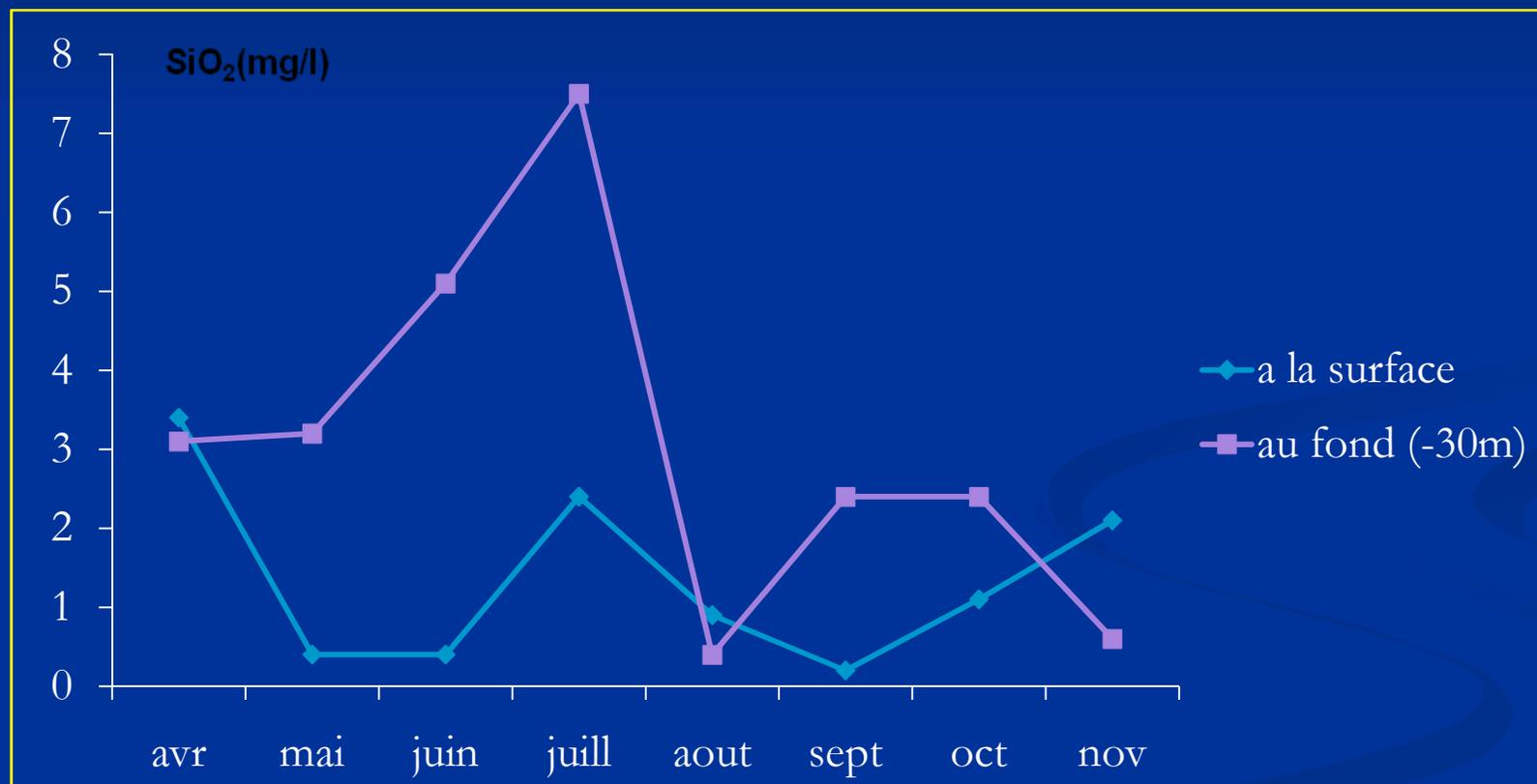
7-les teneurs des nitrites (NO_2)



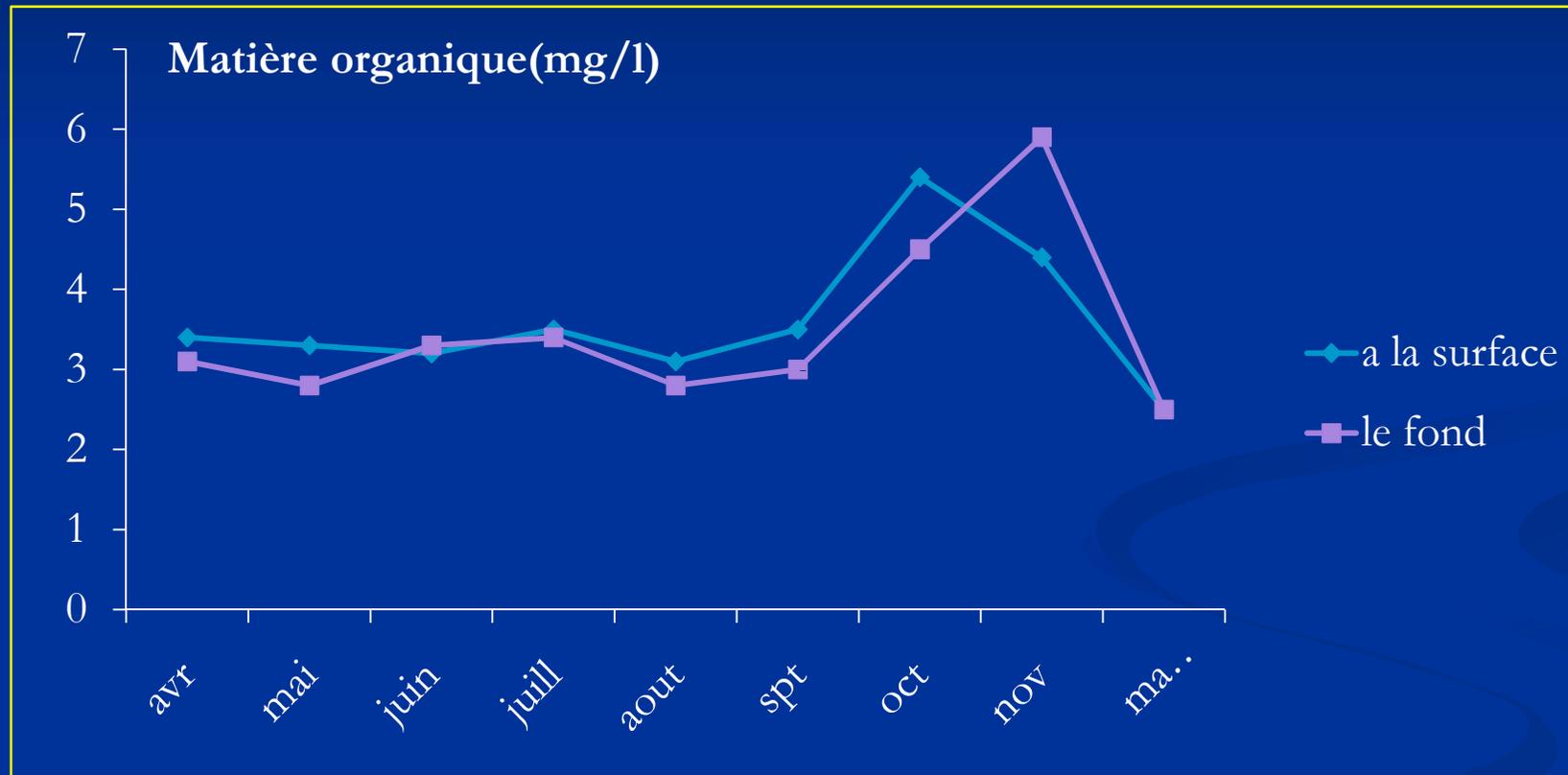
8-L'azote ammoniacal (NH_4)



9-La variation mensuelle de la Silice (SiO_2) :



10-La variation mensuelle de la Matière organique :



CONCLUSION

Les barrages de Keddara et Hamiz étant destinés en grande partie à l'alimentation en eau potable de ville d'Alger et ses environs, ils sont donc importants de préserver la qualité de son eau et d'adapter les moyens de lutte contre ses pollutions.

A travers des résultats obtenus lors de l'étude expérimentale, nous pouvons retenir que la qualité physico-chimique et biologique de l'eau sont très bonnes pour l'ensemble des paramètres analysés. Ainsi la température de l'eau varie entre 13 et 28°C et évolue d'une façon saisonnière, les concentrations des nitrates mesurées sont très faibles, L'azote ammoniacal est négligeable.

Les concentrations de l'orthophosphates sont faibles, Les valeurs du pH obtenues sont voisines de la neutralité. Donc l'eau distribuées du barrage très oxygénée et de bonne qualité et conformés aux normes de potabilité de l'OMS.

En fin j'espère que ce sujet soit poursuivi sur différentes types des barrages, sur des périodes plus longues .

*MERCI POUR VOTRE
ATTENTION*

I-1. Introduction :

Le processus de l'envasement dans les barrages constitue un problème qui influe sur la gestion de l'eau emmagasinée dans la retenue du fait qu'il diminue le volume d'eau utile du barrage.

Ce problème de sédimentation est lié au phénomène de l'érosion hydrique dans le bassin versant qui lui-même est conditionné par certains paramètres tels que la nature des sols, la couverture végétale, la pente des versants, la quantité des précipitations et leurs intensités etc..

L'érosion dans les bassins versants est généralement importante et les quantités transportées sont extrêmement variables. On définit l'importance de ce phénomène par le taux annuel de l'érosion en $t/km^2.an$. Ce paramètre peut varier de quelques dizaines à plusieurs milliers [13].

En Algérie les concentrations moyennes de sédiments transportées par l'eau des oueds varient de 50 à 150 g/l et les valeurs maximales peuvent atteindre 600g/l et plus. L'étude de l'érosion spécifique effectuée sur 30 bassins versants Algériens donne des valeurs variant de 30 à 3350 $t/km^2/an$ [14].

I-2- Problèmes posés par l'envasement

Parmi les problèmes que pose l'envasement des retenues de barrages, on peut retenir les inconvénients majeurs qui sont :

1. Réduction de la capacité ;
2. Obturation des organes de vidange ;
3. La remise en cause de la sécurité de l'ouvrage ;
4. Envasement des canaux d'irrigation ;
5. Dégradation de la qualité de l'eau [32].

I-2-1- Réduction de la capacité

Cette réduction de la capacité de stockage de l'eau est sans aucun doute la conséquence la plus dramatique de l'envasement : chaque année le fond vaseux évolue et se consolide avec occupation d'un volume considérable de la retenue.

La quantité de sédiments déposés dans les 110 barrages Algériens était évaluée à $560 \cdot 10^6 m^3$ en 1995 soit un taux de comblement de 12,5 %; elle était de $650 \cdot 10^6 m^3$ en l'an 2000, soit un taux de comblement de 14,5 %. A titre d'exemple, la capacité initiale du barrage de GHRIB (Médéa) était de $280 \cdot 10^6 m^3$ en 1939 et n'était plus que de $109 \cdot 10^6 m^3$ en 1977 [32].

Les barrages de OUED EL FODDA, GHEUB, BOUHANIFIA, K'SOB et FOUM EL GHERZA ne pourront plus garantir les quantités d'eau potable et d'irrigation nécessaires (tableau 1).

Tableau-I -1. Capacités de certains barrages Algériens en l'an 2010.

Barrages	Capacité initial (10 ⁶ m ³)	Quantité de vase en 2010 (10 ⁶ m ³)
Fergoug '	18	31
Zardezas	31	37
Oued El Fodda	228	82
Ghrib	280	227
K 'Sob	11,6	11,1
Foum El Gherza	47	35,5

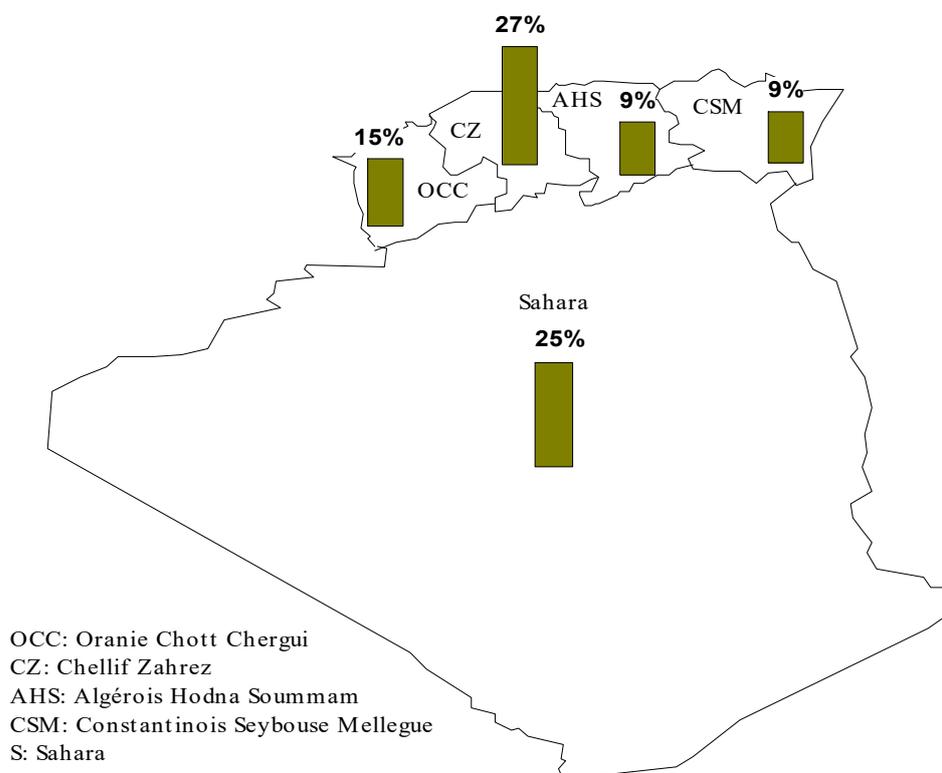


Figure-I-1. Répartition du taux de comblement annuel des grands barrages dans les bassins hydrographiques [41].

I-2-2. Obturation des organes de vidange

Un autre danger présenté par l'envasement est celui du non fonctionnement des Organes de vidange de fond, et de ce fait toute opération de vidange de la retenue est Impossible.[32]

I-2-3. Sécurité de l'ouvrage

Indépendamment du problème de la diminution de la capacité du réservoir, l'envasement pose celui de la stabilité de l'ouvrage : on sait que pour une variation linéaire de la hauteur de la vase, la poussée progresse au carré de la hauteur.

I-2-4. Envasement des canaux d'irrigation

Le dépôt des sédiments dans une retenue de barrage destinée à l'irrigation, pose le problème de comblement du réseau (des canaux) d'irrigation se trouvant à l'aval du barrage. En effet dans les pays arides et semi-arides, l'irrigation se fait généralement par de l'eau chargée en sédiments, c'est ainsi que ces particules fines vont se déposer dans les canaux réduisant leurs sections mouillées et bien sûr le débit d'eau véhiculée. Le curage et le nettoyage des canaux deviennent des opérations quotidiennes.

I-2-5. Dégradation de la qualité de l'eau

Les sédiments véhiculent des produits chimiques (nitrates, sulfates...) provenant en particulier des apports en éléments fertilisants pour les cultures, et se déposant dans les réservoirs, entraînant ainsi une dégradation de la qualité de l'eau et favorisant l'eutrophisation de ces réservoirs.

I-3. Processus de l'envasement des barrages

I-3-1.érosion :

I-3-1-1.Définition :

Erosion vient de (éroder) : verbe latin qui signifie (ronger). [4]

L'érosion est un phénomène résultant de l'action de l'eau de ou des vents qui provoque l'enlèvement des couches supérieures des sols, et la dégradation des roches quand le sous-sol affleure.[28]

L'érosion au sens large est un phénomène géologique de tous temps et de tous lieux sous l'action de l'eau de pluie, de l'eau de mer, de la glace, du vent. elle contribue avec d'autres phénomènes naturels plus ou moins catastrophiques à la modification du paysage, ces autres phénomènes pouvant d'ailleurs avoir une conséquence directe sur le cycle érosion-transport-sédimentation. [4]

I-3-1-2. Différents types d'érosion:**A) Erosion hydraulique :****a) Définition :**

L'érosion du sol est une forme de dégradation au même titre que la compaction, la réduction des taux en matière organique, la détérioration de la structure du sol, le drainage souterrain, insuffisant, la salinisation et l'acidification du sol. Toutes ces formes de dégradation, sérieuses en elles-mêmes, accélèrent l'érosion du sol. C'est un processus naturel sur toutes les terres. Les agents de l'érosion sont l'eau et le vent, chacun provoquant une perte importante de sol chaque année dans le monde entier.[5]

b) Méthode de lutte contre l'érosion hydrique :

Les méthodes de lutte contre l'érosion et la sédimentation reposent sur l'étude de leur nature et de leur évolution[43].

A. Les interfluves :

Les moyens de lutte contre l'érosion dans les interfluves peuvent être classés dans les catégories suivantes :

- Procédés agro-techniques ;
- Restauration des forêts ;
- Procédés hydrotechnique ;

• Procédés agro-techniques :

L'un des procédés agro-techniques les plus efficaces est le choix des cultures adaptées, en tenant compte de leur capacité à protéger le sol.

Les herbes pérennes protègent de l'érosion et forment une couche fixant le sol, restaurent sa structure, et améliorant la capacité d'absorption et réduisant l'érodabilité.

Une autre méthode de protection consiste à cultiver selon les directions perpendiculaires à l'écoulement, parallèlement aux courbes de niveau

• Restauration des forêts :

Lorsque la reforestation est possible, c'est un moyen efficace de conservation des sols. Les différents types de plantations ci-après sont importants :

- Ceinture forestière sur les terres agricoles pour régulariser le ruissellement, améliorer l'infiltration et protéger l'érosion éolienne.
- Bandes de forêts et bouquets d'arbres à l'intérieur du réseau hydrographique (dessin des chenaux d'écoulements) le long des ravines pennies et des vallées soumises à une forte érosion.

Les ceintures forestières protègent les sols par différentes façons. Elles réduisent la vitesse du vent et améliorent le microclimat. Les ceintures forestières sont très efficaces lorsqu'elles sont plantées en lignes perpendiculaires au ruissellement (le long des courbes de niveau), l'écoulement peut alors disposer et l'infiltration favorisée. Cependant une mauvaise disposition des ceintures forestières peut être la cause d'une intensification du ruissellement et de la formation de nouvelles rivières.

- **Procédés hydrotechniques :**

Les procédés hydrotechniques de protection comportent certains types de structures et ne sont utilisés que si cela se justifie économiquement, ou si d'autres procédés sont révélés non efficaces. Ces procédés comportent les fosses d'infiltration, les barrages de rétention avec des grandes surfaces de retenues, des terrasses le long des courbes de niveau, etc....

B. Les cours d'eau :

L'érosion du réseau hydrographique est souvent la cause des difficultés et des pertes financières. Aussi est-il nécessaire de rechercher les moyens de protection contre l'érosion.

Il n'y a pas des méthodes universelles et l'on doit tenir compte des nombreux facteurs,

Notamment du prix et de la disponibilité sur place des matériaux de construction ainsi que des risques en cours.[5]

B) Erosion éolienne :

Erosion provoquée par le vent, comme l'érosion pluviale, elle débute lorsque le sol n'est plus protégé par une végétation permanente, et de la même façon, elle découpe la couche superficielle la plus riche en humus et en matières fines.

Elle atteint son maximum d'intensité dans les régions au climat semi-aride dont les sols de consistance sablonneuse ou limono-sablonneuse sont dépourvus d'éléments grossiers.

En générale une faible sensibilité à l'érosion est basée sur une proportion élevée d'agrégats d'un diamètre supérieur à 0.84mm [28].

I-4- Facteurs influents sur l'érosion :**I-4-1. Faible densité du couvert végétal :**

Le couvert végétale, en particulier celui des forêts annule par l'action des feuillages l'énergie cinétique des pluies, donc empêche le ruissellement.

La destruction des écosystèmes forestiers par les diverses actions anthropiques, la coupe, l'incendie, le supaturage en forêts, et la culture (les mauvaises pratiques agricoles qui laissent le sol à nu sur de vastes surfaces, celle-là détruit au total quelques 29.2 milliards de tonnes de terres cultivables dans le monde) constituent de nos jours les causes principales de la déforestation et par conséquence provoque une érosion catastrophique des sols.[28]

I-4-2. Nature des sols :

Les caractéristiques de classification pédagogiques d'un sol permettent de déterminer un coefficient de sensibilité à l'érosion, ces éléments de classification comprend la structure, la texture, la teneur en matière organique, la capacité de l'eau et la perméabilité [29].

I-4-3. Irrégularité climatique :

L'Algérie fait partie de la zone méditerranéenne subtropicale, caractérisée par l'agressivité, l'irrégularité des pluies et des crues.

Les crues sont violentes, brutales et épisodiques, les pluies d'automne sont les plus intenses et les plus dangereuses pour les sols, elles surviennent à une période où la couverture végétale est faible ou inexistante et les sols sont ameublie par les labours et après la période sèche de l'été.[29]

I-4-4. Relief :

L'Algérie est un pays montagneux, l'histoire géologique nous a montré que ses montagnes sont jeunes, les pentes sont fortes, l'attitude moyenne est d'environ 900 mètres. ces phénomènes favorisent l'accélération du phénomène de l'érosion.

I-5. Conséquences de l'érosion :

Le déclenchement et l'accélération de l'érosion menace et gravement les potentialités en eau et en sol, elle provoque :

- L'appauvrissement des terres agricoles sous l'action d'arrachement, de balayage des ruissellements intensifs de la surface du sol, en portant les grains et les matières organiques. On estime en Algérie 120 millions de tonnes en quantité moyenne des sédiments rejetés en mer chaque année [30].
- L'envasement des retenues de barrages et des infrastructures hydrauliques qui est la conséquence la plus grave dans les régions semi-arides où l'eau constitue le facteur limitant du développement économique.
- Rehaussement des lits de cours d'eau entraînant un accroissement des risques d'inondation et une menace pour les voies de communication [29].

I-6.Lutte contre l'érosion :

Pour contre l'érosion en Algérie, des moyens importants ont été consentis entre 1940 et 1977 pour revégétaliser l'amont des bassins versants, stabiliser les ravines, restaurer la productivité de terre et protéger les barrages de l'envasement, c'est la stratégie de défense et restauration des sols [31].

I-7-Transport solide :

I-7-1. Définition :

Le transport solide est par définition la quantité de sédiment transportée par un cours d'eau, il constitue la seconde phase de l'érosion. Il existe différents modes de transport solide dans les cours d'eau, ils dépendent essentiellement de la morphologie de cours d'eau et des terrains traversés. On définit deux modes de transport des sédiments : la suspension et le charriage(Figure1) [42].

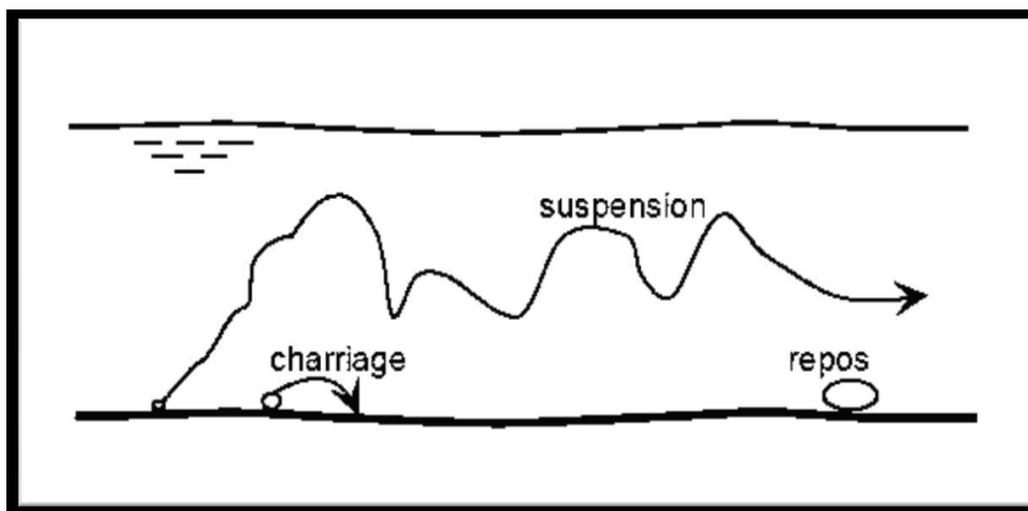


Figure I-2 : Mode de transport solide en hydraulique fluviale.

La répartition entre ces deux types du mécanisme dépend essentiellement de la dimension des matériaux rapportés à la vitesse de l'eau et à la turbulence de l'écoulement. En tout point d'une rivière, l'alimentation en débit solide est définie par les caractéristiques de son bassin versant.

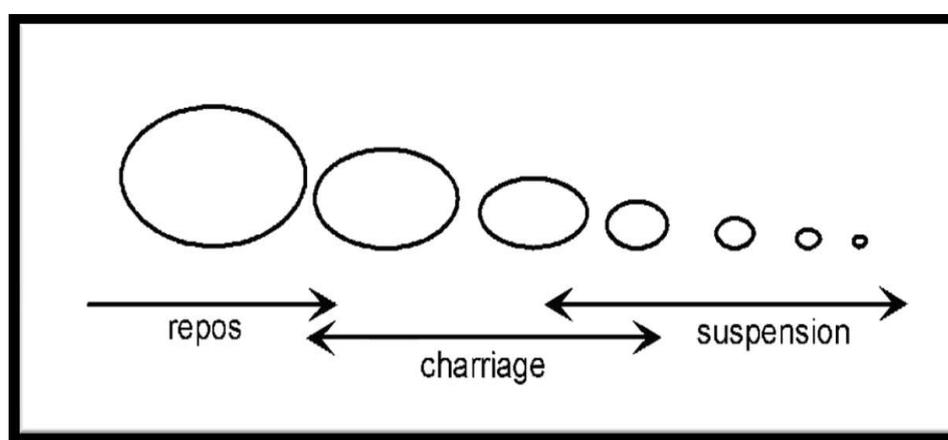


Figure I-3 : Mode de transport des sédiments selon leur taille.

a. Les transports solides par charriage [1]

Ils concernent les matières minérales en phase solide, plus particulièrement les plus gros éléments qui contribuent à la formation et à l'équilibre du lit, principalement la Pente. Ces éléments sont transportés sur le fond par roulement, glissement, saltation et aussi par suspension lorsque le débit liquide est très important.

Le débit charrié dans les retenues Algériennes est estimé entre 10 à 15% du débit en Suspension.

b. Les transports solides en suspension

Ils concernent les éléments fins du transport solide qui sont maintenus en suspension, par la turbulence de l'eau, créée par les matériaux du lit. La quantité de matériaux en suspension dépend uniquement des quantités d'éléments très fins, qui proviennent de l'érosion des bassins versants, due au ruissellement des eaux de pluie. Les concentrations d'éléments en suspension des oueds Algériens dépassent souvent les 100 g/l surtout pendant les premières pluies d'automne.

I-7-2. Les principaux facteurs dont dépendent les apports solides d'un bassin versant :

Les apports solides venant de l'amont, sont fonction essentiellement des facteurs suivants :

- Volume et intensité des précipitations.
- Géologie et nature du sol.
- Couverture du sol (végétation, fragment de roches).
- Utilisation et exploitation de sol (méthode de culture, exploitation forestiers, chantiers de construction).
- Géomorphologie et topographie.
- Réseau hydrographique (pente, forme, dimensions et tracé des canaux).
- Ruissellement.
- Caractéristiques des sédiments (granulométrie, minéralogique...).
- Hydraulique du lit (rugosité, rayon hydraulique...).

I-7-3. Quelques données sur le transport solide :**I-7-3-1. Données Algériennes :**

Les bassins versants du Tell algérien dominés par un climat semi-aride sont caractérisés par une pluviométrie saisonnière et interannuelle irrégulière. Cette irrégularité a un impact direct sur l'action érosive et notamment sur le transport solide en suspension. Ce dernier dépend de plusieurs facteurs dont l'agressivité des averses, l'état du sol et la turbulence de l'écoulement. Les valeurs de la dégradation spécifique varient d'un bassin à un autre et d'une région à l'autre. Nous citons par exemple, 1160 (t/km²/an) pour l'oued Mazafran (côtiers algérois),

2300 (t/km²/an) pour l'Isser à Lakhdaria, 490 (t/km²/an) pour oued Soummam à Sidi Aïch, 680 (t/km²/an) pour oued Medjerda à Souk Ahras et 150 (t/km²/an) pour la Macta au barrage Cheurf .

Les crues de l'automne et du printemps sont responsables de l'essentiel du transport solide. En effet, pendant l'été connu pour ces chaleurs intenses, le sol se dessèche, se fissure, se fragmente et voit son couvert végétal réduit, ce qui permet aux premières averses de l'automne de laver le sol de ces éléments fins détachés.

I-7-3-2. Données mondiale :

Tableau I-2 : Quelques données mondiales sur le transport solide. [30]

Pays	Rivières	Surface du bassin versant (Km²)	Volume spécifique moyen de transport solide (t/km²/an)
Chine	Jaune	715000	2640
	Yang King	1025000	491
		57000	7190
Inde	Domodar	200000	1400
	Kosi	61000	2800
	Mohunadi	132000	465
Iran	Sefid rud	55000	750

Soudan	Abbara	1000000	650
Afrique du nord	Agrioum	657	3400
	Sebou	3470	320
U.S.A	Colorado	35000	735
	Mississippi	2977000	50
Italie	Pô	53500	300
France	Isère	11750	615
	Eroc	990	700
	Durance	3580	150

I-8. Moyens de lutte contre l'envasement [1]

Pour prolonger la durée de vie des grands barrages, l'entretien de ces ouvrages est devenu aujourd'hui une nécessité pour les services d'hydraulique.

En plus de la diminution du volume utile des barrages, la stabilité de certains ouvrages est menacée par la forte poussée des vases. La rareté des sites favorables à la réalisation de nouveaux barrages a poussé les services d'hydraulique à entretenir les barrages en exploitation. Plusieurs méthodes (curatives et préventives) de lutte contre l'envasement ont été appliquées.

I-8-1. Aménagement des bassins versants

Dans l'ensemble des bassins versants, des techniques de lutte contre l'érosion ont été pratiquées, nous citons quelques-unes : le reboisement, la restauration des sols, la formation des banquettes, et la plantation de végétation à longue tiges dans les oueds.

Dans le cadre de la protection il est à noter que ces techniques constituent de véritables pièges à sédiments.

I-8-2. Installation des obstacles émergés dans les cours d'eau

L'année hydrographique en Algérie peut être répartie en deux saisons : sèche et Humide. La période sèche s'étend du mois de Mai au mois d'Octobre, elle est caractérisée par de faibles précipitations et les oueds sont à sec. Quant à la saison humide qui s'étale du mois de Novembre au mois d'Avril, il y a généralement un écoulement dans les rivières, et on assiste des fois à de fortes crues.

la technique consiste à réaliser un système d'obstacles émergés (en gabions) pour piéger des sédiments fins en amont de la retenue dans le cours d'eau principal).

I-8-3. Réalisation de barrage de décantation

La meilleure façon d'éviter l'envasement, c'est d'empêcher la vase d'arriver jusqu'au barrage. Cela peut se faire par la création de retenues pour la décantation des apports solides, ce qui revient à construire un autre barrage en amont du barrage principal.

L'exemple du barrage de Boughezoul (situé à l'amont du Ghrib) qui est exploité partiellement comme réservoir de décantation au barrage de Ghrib, a permis de retenir depuis sa création 35 millions de m³ de vase. Il a réduit ainsi l'envasement de Ghrib de près de 24%.

I-8-4. Soutirage des courants de densité

La pratique des soutirages, particulièrement lorsque la configuration de la retenue du barrage est favorable à l'apparition des courants de densité, conduit à l'évacuation d'un volume de vase avec évidemment une perte d'eau.

La forte concentration en sédiments dans les cours d'eau surtout en période de crues et la forme géométrique de la cuvette (de type canal) donnent naissance aux courants de densité à l'entrée d'une retenue et peuvent se propager jusqu'au pied du barrage. L'ouverture des vannes de fond au moment opportun peut évacuer une forte quantité en sédiment.

I-8-5. La technique du barrage de chasse

La technique de chasse consiste à évacuer une quantité des sédiments par les pertuis de vidange à l'arrivée des crues. Elle est appliquée souvent au barrage de Béni-Amrane. Le rendement des opérations de soutirage peut être augmenté par la création d'ondes de crues artificielles provenant d'un barrage de chasse réalisé à l'amont du barrage protégé. Cependant, la maîtrise de cette technique peut être néfaste et conduit forcément à un comblement rapide du barrage principal. Cette technique est envisagée surtout pour les réservoirs qui ont atteint un degré avancé d'envasement. Son inconvénient réside dans le choix du site de l'emplacement du barrage de chasse.

I-8-6. La technique de dragage des barrages

L'évacuation des dépôts sédimentaires des réservoirs peut s'effectuer sans recours à une source d'énergie, c'est-à-dire en tirant avantage du potentiel représenté par l'eau arrêtée (évacuation par les vannes de fond), ou bien à l'aide de l'énergie extérieure (dragage). [32]

La technique du dragage a été utilisée en Algérie depuis les années cinquante. L'opération de dragage est soumise à des conditions générales et particulières :

a. Conditions générales : ces conditions sont liées à la forme de la retenue et aux caractéristiques de la vase.

b. Forme de la retenue

Il existe deux types de retenues : moyenne et grande

Types de retenues		
	Moyenne	Grande
Profondeur maximum	15 à 20 m	40 m
Distance de transport	2000 à 3000 m	1 5000 m

Tableau I-3 : Conditions liées à la forme de la retenue et aux caractéristiques de la vase

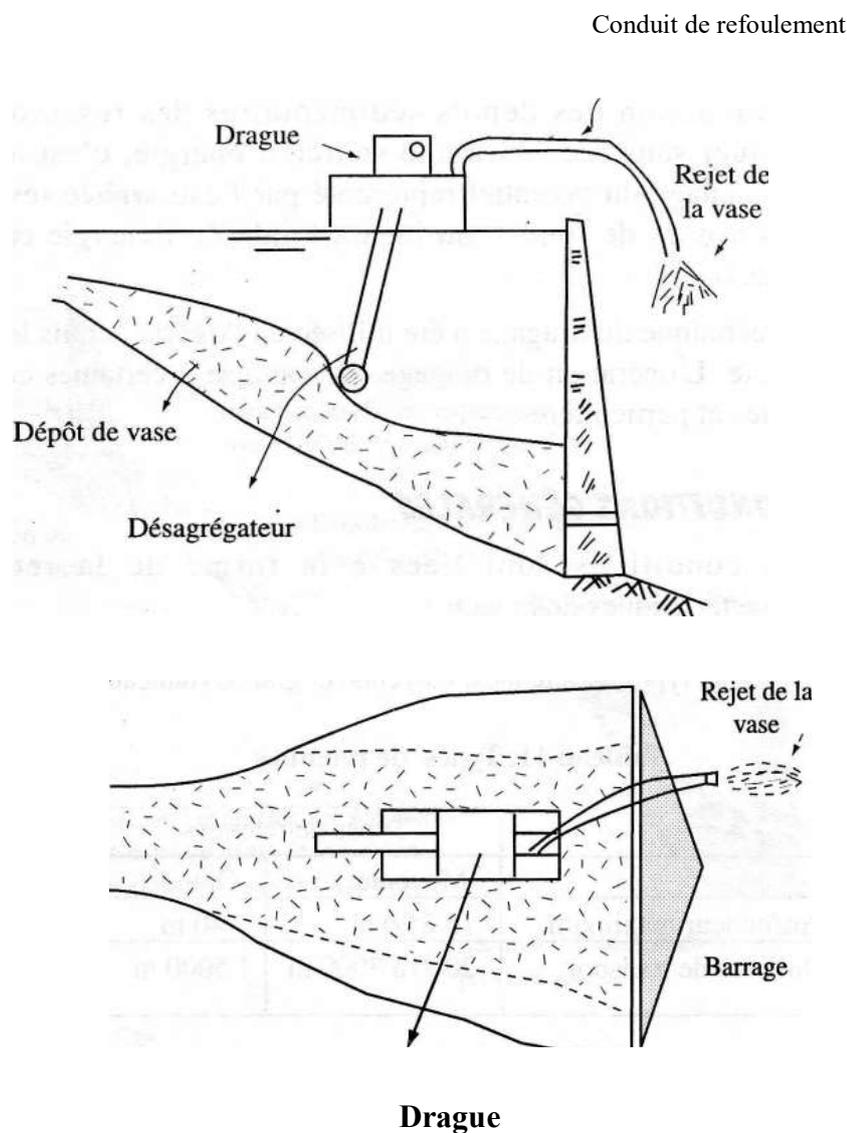


Figure I-4. Dévasement d'une retenue de barrage à l'aide d'une drague suceuse refouleuse.

I-8-7. Surélévation des barrages

La surélévation d'un barrage permet d'augmenter la capacité de la retenue et donc de compenser la valeur envasée. Dans ce contexte, la surélévation des barrages existants est une solution intéressante, lorsqu'elle est techniquement réalisable c'est-à-dire lorsque la stabilité du barrage n'est pas mise en jeu. Spécialement, si elle n'entraîne pas de contestations sociales.

Il existe deux méthodes pour surélever un barrage soit : en surélevant le corps du barrage ainsi que tous les ouvrages annexes, ou bien par des brochures mobiles.

La première technique a été réalisée sur cinq barrages :

Fergoug, Mefrouch, Bakhada, K'Sob, Zardezas.

- **Barrage du Hamiz** : l'envasement accéléré de la retenue a permis à l'administration en 1883 de surélever la digue du barrage de 7 m pour porter sa capacité à 23 millions de m³.
- **Barrage de K'sob** : du fait de la progression de l'envasement du barrage, la capacité a été réduite à moins de 4 millions de m³. En 1975, la hauteur du barrage a été portée à 43 m (15 m de plus) pour augmenter sa capacité à 31 millions de m³.
- **Barrage de Zardezas** : du fait de l'envasement accéléré, la capacité du barrage est passée à 7,5 millions de m³ en 1974. En 1977, la hauteur du barrage a été portée à 45 m (12,5 m de plus). Le volume ainsi obtenu est de 31 millions de m³. [12]

I-9.CONCLUSION :

L'importance du transport solide en Algérie se traduit par un comblement rapide des Retenues diminuant considérablement leur durée de vie. il importe donc, non seulement de prévoir le rythme de comblement de la retenue de façon aussi précise que possible de manière à prendre les dispositions économiques et sociales qui s'imposent mais aussi et surtout de développer certaines techniques d'études pour améliorer les méthodes de lutte contre l'alluvionnement [11].

Chapitre II : Sédimentation des Barrages

II-1. Introduction:

Les sédiments sont des matériaux issus de l'érosion éolienne des sols et l'érosion alluviale des bassins versant, transportés lors de l'écoulement des eaux par charriage ou remis en suspension et déposé dès que le débit du cours d'eau faiblit. Le sédiment peut avoir une nature minérale ou organique qui a un rapport direct avec sa propension à fixer les contaminants car les particules fines fixent plus les contaminants que les particules grossières.

II-2. Origine des sédiments:

Les particules solides que constituent les dépôts de sédiments peuvent être d'origine naturelle ou anthropique [2].

II-2-1. Origine naturelle :

Les particules peuvent être soit endogènes ou exogènes. Celles endogènes proviennent de la production autochtone du milieu, sont principalement constituées de matières organiques essentiellement composée des organismes aquatiques appartenant aux règnes animal ou végétal, alors que celles exogènes viennent d'un apport de matières allochtones ; sont principalement des particules minérales provenant d'une part de l'érosion éolienne des sols et d'autre part de l'érosion hydrique du bassin versant et des phénomènes de ruissellement. Les particules exogènes peuvent également être de nature organique, principalement des feuilles d'arbres transportées par le vent.

II-2-2. Origine anthropique :

Les particules peuvent être de nature organique ou minérale et proviennent des activités industrielles, urbaines et agricoles.

II-3. Composition minérale des sédiments:

C'est selon la provenance que la composition minérale des sédiments diffère. Donc les sédiments terrigènes sont Les blocs, les cailloux, les graviers et les sables, sont issus de l'érosion des sols ; leur nature chimique dépend principalement des terrains érodés. Les sables sont essentiellement quartzeux (silice SiO_2) ou silicatés (mica, feldspath), souvent accompagnés de minéraux lourds (amphiboles, grenats, disthène...) qui dépendent de la nature des sols érodés. On trouve aussi des sables calcaires. Enfin, les particules les plus fines telles que les limons, les boues et les vases, sont composées de minéraux argileux d'origine

Chapitre II : Sédimentation des Barrages

Terrigène, et aussi des squelettes d'organismes d'origine endogène. Les sédiments se caractérisent également par leur granulométrie [44].

II-4. Altération des sédiments :

La destruction des roches et des êtres vivant est à l'origine de la formation des différents Sédiments, les actions purement mécaniques des agents d'érosion produisent des fragments qui sont à l'origine des sédiments détritiques. Les phénomènes chimiques donnent des solutions de lessivage riches en métaux qui sont à l'origine des sédiments chimiques.

Le changement de température entraîne la dilatation et la contraction accompagnée d'une variation de volume grâce à la création des fissures ; d'un sédiment à l'autre, ça diffère dans les mêmes conditions. De plus, cette fissuration peut inclure d'eau qui, suite à la baisse de température, gèle en augmentant le volume et qui le fait éclater. L'eau qui pénètre est saline, et les sels qu'elle contient peuvent se développer en cristaux et produisent des craquelures. Enfin, le transport par l'eau, et accessoirement l'action du vent, use les matériaux et produit des éléments plus fins, Etant donné que les grossiers transportés s'entrechoquent et se brisent [45].

II-5. Transport des sédiments

Les sédiments ne peuvent être transportés sauf en présence de l'un des agents de transport tel que le vent, la gravité pure, la glace et l'eau [45].

II-5-1 Transport par le vent:

Comme l'air a une densité un millier de fois inférieure à l'eau, sa capacité de transport est beaucoup plus faible et les matériaux grossiers sont laissés sur place, formant un "pavement". Le vent possède par contre un bon pouvoir de classement et le transport s'effectue essentiellement par saltation et collisions inter granulaires des grains sableux, avec le matériau fin exporté plus loin. Ceci explique l'homogénéité granulométrique des dépôts éoliens. Contrairement à leurs équivalents marins, les courants aériens n'ont pas la limitation imposée par la surface de la mer et les dunes éoliennes ne sont limitées en hauteur que par la force des vents et l'apport en sable.

II-5-2. Transport par gravité pure:

C'est un mode de transport se trouvant dans les régions montagneuses et désertiques qui connaissent des différences d'altitude présentant des pentes, et distinguées de forte désagrégation mécanique des roches. Les éléments se déplacent sur une faible distance et s'accumulent en cônes d'éboulis. Ils sont non usés et de toute taille; les plus gros descendent plus loin et forment la frange du cône. Un certain granulo-classement horizontal s'établit. La

Chapitre II : Sédimentation des Barrages

porosité des éboulis est grande et la percolation des eaux bonne. Suite à de fortes pluies, l'action de l'eau s'ajoute à la gravité. La phase fine d'argile devient des coulées boueuses qui glissent sur les pentes et peuvent causer des dégâts considérables. Les autres éléments anguleux d'en vrac se trouvent emballés dans ces coulées.

II-5-3. Transport par la glace:

La glace résulte de la transformation de la neige dans un climat froid et humide par compaction et fusion. Elle s'écoule comme un fluide visqueux et forme un glacier, Les matériaux transportés sont fortement hétérométriques. Les éléments ne s'usent pas quand ils se choquent comme dans le cas du transport éolien ou aquatique, mais ils peuvent être broyés entre eux ou contre les parois de la vallée sous l'effet de la pression de la glace en formant farine glaciaire. La distance de transport est de quelques dizaines de km pour les glaciers de montagne mais elle peut dépasser la centaine de Km pour les grands systèmes glaciaires.

II-5-4. Transport par l'eau:

Le transport des sédiments par l'eau dépend du type d'écoulement selon qu'il s'agit d'eau sauvage ou canalisée. En générale l'eau transporte des matériaux par charriage, en suspension et en solution. Les matériaux détritiques sont transportés d'autant plus loin qu'ils sont plus petits en se choquant et s'usant au cours du transport en établissant un classement longitudinal.

On distingue deux types d'écoulement tels que l'écoulement canalisé des eaux qui coulent dans un ou plusieurs chenaux en fonction de la pente et de la vitesse. Et l'écoulement non canalisé des eaux sauvages qui correspondent au ruissellement suite à de fortes pluies sur une pente où l'érosion est importante mais la longueur du transport est faible. Les filets d'eau se rassemblent et forment un chenal. Il est développé en montagne et en particulier dans les bassins de réception des torrents, il évolue en de véritables coulées boueuses.

II-6. Mécanisme de transport des sédiments:

Pour qu'il y ait transport de sédiments, il faut que la force d'écoulement dans le système des forces appliquées à la particule soit prépondérante, ce système est composé de : -La force hydrodynamique de l'écoulement qui se compose en :

- une force de flottabilité verticale ascendante appelée portance.
 - une force de frottement de l'eau sur les sédiments, dans le sens de l'écoulement appelée traînée
- la force de gravité à laquelle la particule est soumise.
- la force de frottement de la particule en contact avec le fond.

Chapitre II : Sédimentation des Barrages

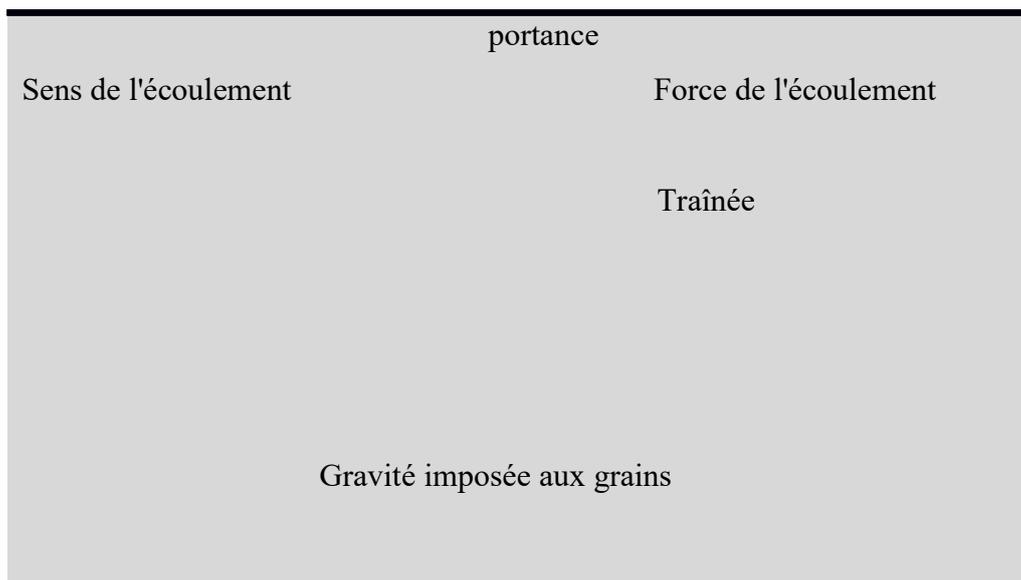


Figure : II-1 : Système des forces appliquées à une particule

II-6-1. Dépôt des sédiments:

Pour une taille donnée des grains, les sédiments transportés par charriage arrêtent de continuer leur déplacement et regagnent le fond dès que la contrainte tangentielle de dépôt critique est atteinte. Lorsque la contrainte tangentielle de dépôt critique est atteinte, les sédiments vont alors retomber sur le lit. Mais cette contrainte dépend de la taille du grain. Les gros grains retombent dès que la gravité est plus forte que la portance mais ils peuvent rester en suspension au niveau de la couche de charriage grâce à l'action des tourbillons. On en déduit que dans ce cas la contrainte tangentielle de dépôt critique est supérieure à la contrainte de cisaillement critique. Il apparaît alors un phénomène de retard de dépôt. Les grains de taille différente ne vont pas atteindre le fond au même moment [44].

II-6-1-1. Sédiments pollués :

La pollution des sédiments est due à la présence des contaminants issus des rejets anthropiques industriels, urbains et agricoles. Les contaminants qui sont à l'origine de cette pollution sont généralement classés en trois grands groupes.

II-6-1-2. Les éléments nutritifs :

Sont notamment le phosphore et des composés azotés comme l'ammoniaque. Ils proviennent des rejets d'eaux usées urbaines et d'effluents agricoles et industriels. Ils sont à l'origine de l'eutrophisation des milieux.

Chapitre II : Sédimentation des Barrages

II-6-1-3. Les micropolluants organiques :

Ils représentent le troisième grand groupe de contaminants noté HAP, il comprend les hydrocarbures polycycliques aromatiques, pesticides et solvants chlorés. Ces éléments sont souvent très toxiques, solubles ou adsorbés sur les matières en suspension. Ils peuvent poser problème lors de l'extraction des sédiments.

II-6-1-4. Les métaux lourds :

Une fois dépassé un seuil de tolérance, les métaux sont considérés comme toxiques. Ils sont alors incompatibles avec les phénomènes vitaux et certains d'entre eux ont des propriétés cancérigènes et mutagènes. Ils peuvent être fixés sur les particules minérales et les matières organiques des sédiments.

II-7. Distribution des sédiments dans les retenues de barrages :

La capacité utile d'un réservoir diminue au cours du temps suite aux dépôts successifs des sédiments sur le fond de la retenue, mais la question qui se pose, c'est de quelle manière ces particules solides se sont réparties et distribuées dans l'ensemble de la retenue, surtout lorsqu'on sait que ce phénomène complexe dépend de certains

Paramètres tels que :

- La forme géométrique de la retenue : petite, grande...
- La pente du fond de la retenue,
- La profondeur de la retenue,
- L'apport solide de la retenue.

Généralement la quantité des sédiments en suspension est égal 5 à 10 fois le volume de celui en dépôt. Les dépôts des sédiments dans un réservoir sont ainsi composés: la quantité volumineuse, qui est portée près du lit, se dépose à l'entrée du réservoir ; la matière en suspension est transportée plus loin et se dépose d'une manière plus ou moins uniforme sur tout le réservoir.

On distingue deux types de distribution des sédiments :

1. Distribution des sédiments par courants de densité.
2. Distribution des sédiments par envasement des sédiments grossiers et décantation des particules fines. [1].

Chapitre II : Sédimentation des Barrages

II-8. La sédimentation des retenues Algériennes :

Dans le contexte Algérien, la sédimentation dans les retenues constitue sans doute la conséquence la plus grave de l'érosion hydrique, où l'eau présente deux facteurs : son insuffisance et sa répartition inégale.

En effet, la sédimentation ne représente qu'une fraction minime du volume du réservoir, mais le rejet de ces vases dans le milieu, lors d'opération d'exploitation comme les vidanges peut avoir des conséquences nuisibles pour le milieu et perturber les usagers de l'eau .

En Algérie, la problématique est bien différente. La plupart des grands barrages sont implantés en zone septentrionale, dans des bassins versants qui présentent un relief jeune et tendre, et des sols peu couverts. Les précipitations se caractérisent à leur tour par deux éléments qui sont :

La rareté où la mauvaise répartition dans le temps et dans l'espace, et l'intensité.[40]

Trente-sept barrages en exploitation actuellement totalisent une capacité initiale de 3,9 milliards de mètres cubes pour un volume régularisé garanti de 1,7 milliards de mètres cubes d'eau .

En 1990, le volume envasé était de 430 millions de mètres cubes soit 11% de la capacité disponible (levés bathymétriques 1986, actualisés). Il est estimé à 933 millions de mètres cubes en 2010 pour les seuls barrages existants aujourd'hui, soit 24% de la capacité actuelle.

D'après les résultats du suivi des barrages effectué par L'A.N.B.T (l'agence nationale des barrages et Transfère) , il ressort que quelques barrages finiront par périr (exemples : Fergoug, Boughzoul, Zardezas) si des dispositions radicales ne sont pas prises, d'autres (Ghrib, Bouhanifia, Hamiz,..) ne pourront plus garantir les quantités d'eau potable et d'irrigation nécessaires.[40]

Chapitre II : Sédimentation des Barrages

II-9. Conclusion:

Les sédiments dans les fonds sont d'origines diverses selon leurs provenances .la destruction des roches après avoir subi une altération chimique ou mécanique dès le transport fait partie de leurs formation ainsi que la destruction des êtres vivants. A cet effet la composition minérale des sédiments diffère. Ils se trouvent suivant des gammes hétérométriques pour lesquelles, des différents auteurs se sont intervenus pour les mettre en classes. Toutefois l'érosion alluviale accessoirement l'érosion éolienne des bassins versant présente un facteur prépondérant de l'envasement des lits. Indépendamment des rejets industriels, urbains et agricoles et l'érosion, les sédiments et notamment ce plus fins présentent un agent d'emport et de support des micropolluants tels que les éléments nutritifs.

Chapitre III: Eutrophisation des Barrages

III-1. Introduction

L'eutrophisation est le vieillissement naturel d'un plan d'eau qui s'enrichit excessivement en sels nutritifs bio disponibles, essentiellement l'azote et le phosphore. Elle est caractérisée par une prolifération accrue d'algues et de macrophytes dans la tranche d'eau supérieure appelée «Epilimnion» et se trouve fréquemment associée à une désoxygénation dans la tranche d'eau inférieure «hypolimnion», à la fois cause et conséquence de ce phénomène.

Nous savons que les processus qui déterminent le dépôt des sédiments dans les plans d'eau sont l'érosion, la [sédimentation](#), la consolidation, etc... ; mais elles sont relatives pour chaque plan d'eau, en fonction de sa morphologie, de son étendue, de sa situation géographique et géologique et aussi de son bassin versant.

Les éléments essentiels du cycle biogéochimique qui sont déposés sur le fond d'un plan d'eau sont composés de matériels détritiques organique et minéral qui sont d'origine allochtone ou autochtone.

Lorsque ces éléments tombent au fond, il sont adsorbés puis progressivement retenus par le sédiment lors des différentes phases de la diagénèse (formation des roches compactes à partir des roches meubles). Mais ils peuvent, dans certaines conditions, être remis en suspension par le vent, ce qui entraîne la formation d'algues nuisibles observées dans plusieurs plans d'eau.

III-2 Définition de l'eutrophisation :

L'eutrophisation correspond à un développement important d'algues dans un écosystème aquatique en réponse à un apport excessif de d'éléments fertilisants, principalement du phosphate et du nitrate, provenant des rejets des activités humaines. L'eutrophisation peut ainsi être qualifiée de pollution nutritionnelle. [5]

III-3. Manifestation du phénomène d'eutrophisation :

A l'origine, l'eutrophisation est un phénomène naturel d'enrichissement des eaux en sels nutritifs. Aux apports naturels se sont ajoutés les apports anthropiques (nitrate, phosphate) dont l'augmentation rapide et récente a fortement contribué à amplifier ce phénomène et à rompre l'équilibre de l'écosystème.

On observe alors une prolifération intense d'algues, et c'est tout l'écosystème aquatique qui

Chapitre III: Eutrophisation des Barrages

se trouve perturbé. La biomasse végétale générée se trouve momentanément en excédent par rapport aux capacités d'assimilation du zooplancton, et des poissons planctonophages. Ces accumulations de biomasse induisent la pullulation de bactéries responsables de la décomposition de la matière organique morte. Par leur intense respiration, ces bactéries épuisent l'oxygène nécessaire au bon fonctionnement de l'écosystème. La raréfaction de l'oxygène provoque alors la disparition de certaines espèces de poissons, d'invertébrés et conduit à une perte de la diversité biologique.

Les débris organiques s'accumulent produisant ce qui devient visible dans les vieux plans d'eau : la vase. L'activité chlorophyllienne des végétaux aquatiques induit aussi des [variations cycliques et journalières de la valeur du pH [5



photot-III-01- Photographie d'un cours d'eau eutrophe

III-4. Evolution de la pollution trophique :

C'est un processus naturel très lent qui peut s'accomplir à un rythme constant et durer des dizaines voire des centaines de milliers d'années. Mais de nos jours, ce processus est considérablement accéléré par l'influence humaine qui s'explique

Chapitre III: Eutrophisation des Barrages

par les activités industrielle, agricole et domestique. L'homme rejette dans son environnement des quantités importantes d'éléments nutritifs qui viennent perturber les cycles biogéochimiques naturels. Parmi ces éléments, l'azote et le phosphore constituent pour tout végétal, des facteurs stimulant tout particulièrement la croissance comme le montre la figure III-01 où sont remarquées les principales étapes de l'eutrophisation ou degré de trophie [7].

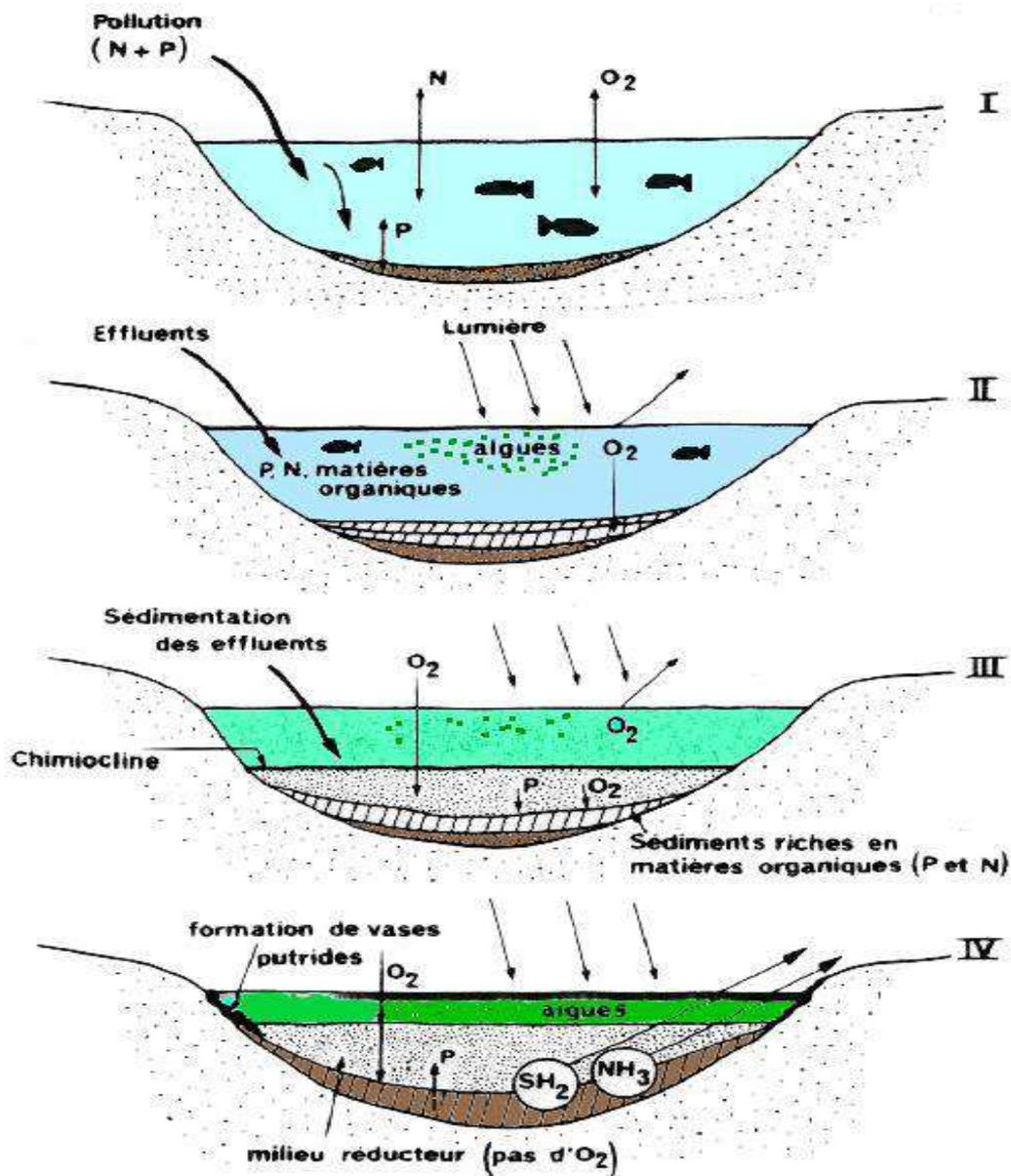


Figure-III-01- Schémas des principales phases de l'eutrophisation des eaux [28]

I : pollution Croissante

Chapitre III: Eutrophisation des Barrages

II: prolifération des algues

III : décomposition anaérobie

IV: dégradation extrême du milieu avec simplification des espèces présentes.

III-4-1. Le degré de trophie :

Il permet de classer les plans d'eau en trois grands types représentant les trois stades d'évolution, où son contrôle peut être axé sur l'obtention d'un degré de trophie.

- oligotrophe, du grec : peu nourri.
- mésotrophe, du grec : moyennement nourri.
- eutrophie, du grec : bien nourri.

III-4-2. Facteurs influençant le phénomène :

III-4-2-1. Facteurs liés au bassin versant :

- **Facteurs naturels**

La situation géographique, le climat, l'hydrologie, la géologie ainsi que la topographie et la géochimie sont des facteurs naturels, qui, étroitement lié au bassin versant, déterminent l'ampleur de l'eutrophisation des plans d'eau.

- **Facteurs humains**

L'homme, en modifiant par ces travaux un bassin versant, peut engendra un transfert en sels nutritifs vers un plan d'eau plus important que ceux d'aux facteurs naturels.

- **Facteurs anthropiques**

- ❖ sources ponctuelles ;
- ❖ sources diffuses et occupation du sol.

III-4-2-2. Facteurs liés au plan d'eau

- Profondeur moyenne du plan d'eau ;
- temps de rétention de l'eau ;
- rôle des sédiments dans la dynamique du cycle.[7]

Chapitre III: Eutrophisation des Barrages

III-4-2-3 Facteurs déterminant la production

- **Production primaire**

L'activité des producteurs se traduit par une production de matière organique appelée « production primaire (g de carbone / m²) » : c'est la quantité de sucre formé lors de la photosynthèse qui peut être le meilleur moyen de mesurer la production primaire.[7]

- **Production secondaire**

C'est l'eutrophisation accélérée.

III-4-2-4. Facteurs essentiels

- la lumière ;
- la température ;
- les gaz et les sels minéraux (figure 02).

Chapitre III: Eutrophisation des Barrages

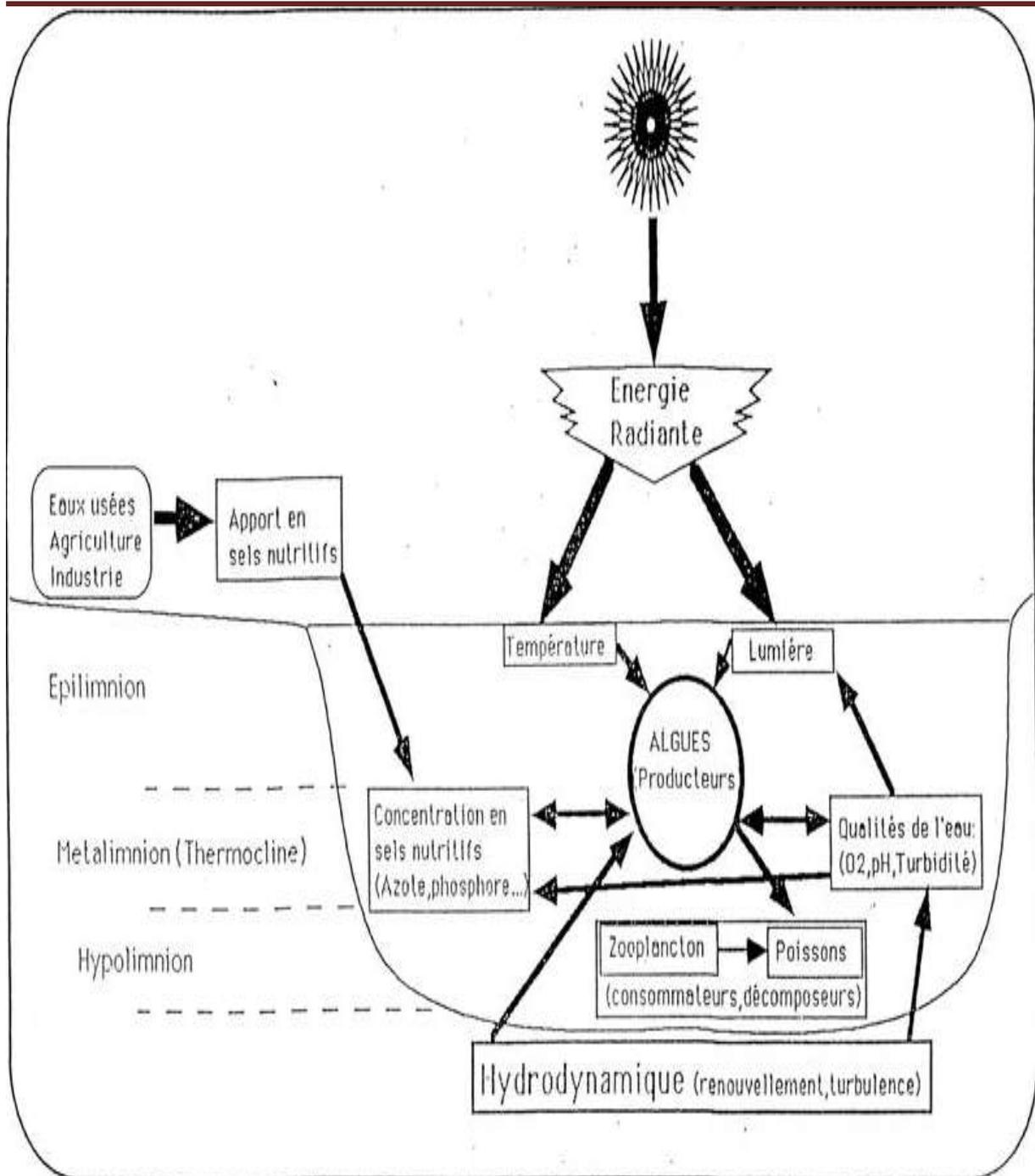


Figure 4 : Représentation schématique des principaux facteurs participant à l'évolution de la qualité des eaux d'un plan d'eau (d'après R. CABRIDENC) [CHI,95].

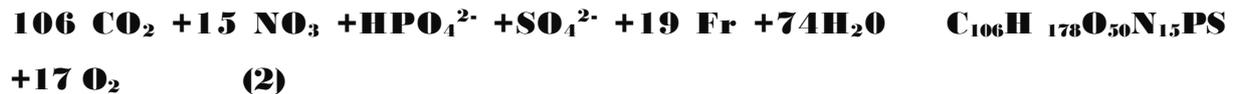
Chapitre III: Eutrophisation des Barrages

III-5. Notion d'élément nutritif limitant

La croissance autotrophe des plantes aquatiques est basée sur l'équation décrivant la photosynthèse :



Pour des espèces d'algues, on peut formuler l'équation :



Cette équation donne une relation entre les éléments les plus importants:



En pratique, on constate que la production primaire est contrôlée par quelques éléments, à savoir : l'azote et le phosphore .

III-5-1. Cycle de l'azote

L'azote atmosphérique N_2 peut-être fixé par les algues et se transforme en azote organique, qui par ammonification dans l'eau devient ammonium (NH_4^+). L'ammonium se transforme en nitrites (NO_2^-) puis en nitrates (NO_3^-) par nitrification. Les nitrates se transforment par la suite, en azote par dénitrification. Ce sont les bactéries qui provoquent ces différentes transformations, dans la phase anaérobie.

Les micro-organismes vont à la recherche de l'oxygène qui se trouve combiné à l'azote sous forme de nitrates (NO_3^-) --> nitrites (NO_2^-) --> ammonium (NH_4^+) .

III-5-2. Cycle du phosphore

L'algue assimile le phosphate sous forme de PO_4^{3-} par Minéralisation des polyphosphates-orthophosphates et les matières organiques. Les micro-organismes hétérotrophes (zooplancton) se nourrissent de micro-organismes autotrophes. Ce sont ces zooplanctons qui donnent de la matière organique et le cycle recommence.

Le zooplancton donne de la matière organique en mourant ou en se décomposant par les poissons. (voir figure 4). [7]

Chapitre III: Eutrophisation des Barrages

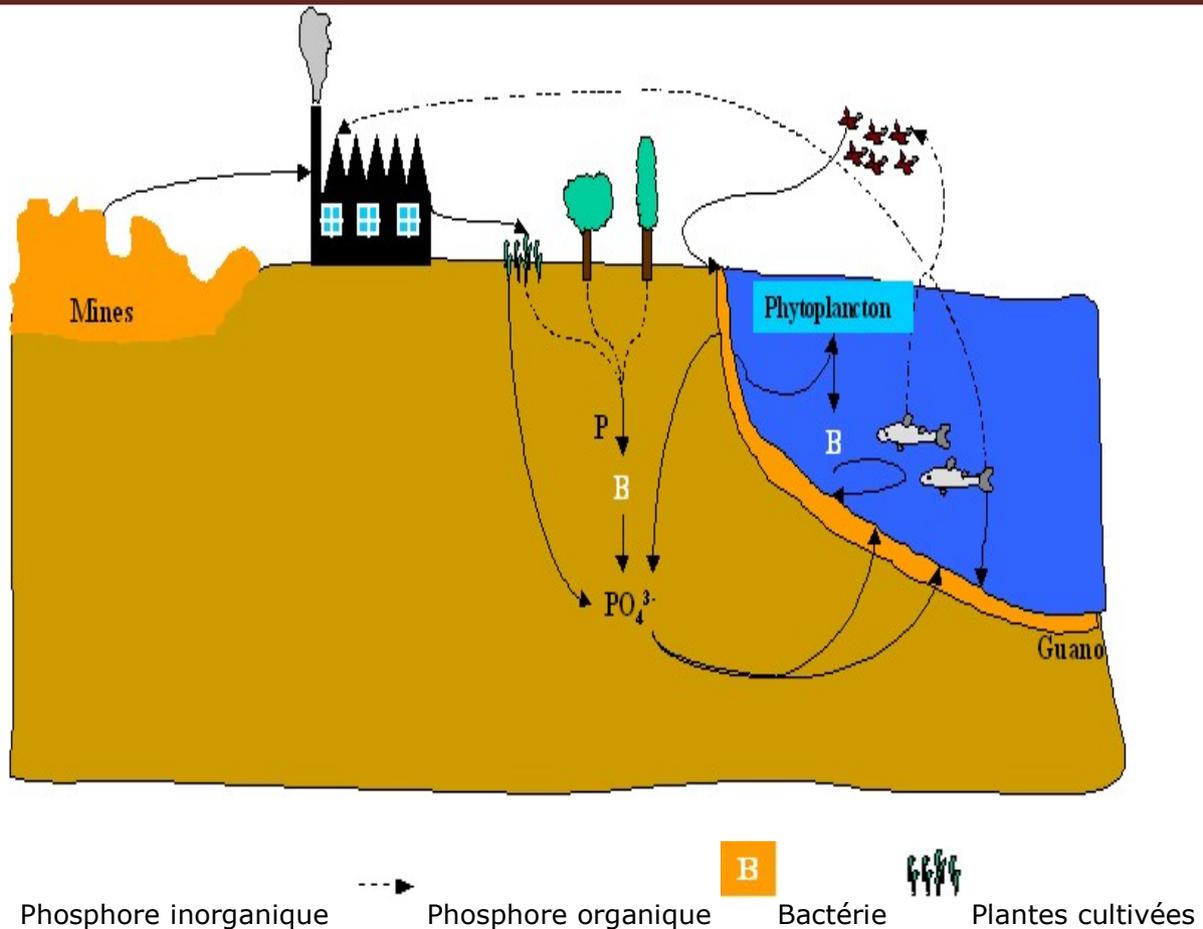


Figure-03 : cycle de phosphores.

III-6. Les conséquences de l'eutrophisation :

L'eutrophisation est une forme de pollution dont les conséquences s'observent aussi bien sur les écosystèmes aquatiques, que sur les usages des eaux.

III-6-1. Effets sur la santé humaine :

Certaines cyanobactéries qui prolifèrent dans les eaux douces produisent des toxines nocives pour l'homme. On distingue tout d'abord les hépatotoxines, les plus recherchées, qui provoquent des gastro-entérites, qui agissent sur le foie en étant cancérigènes. D'autres agissent sur le système nerveux (les neurotoxines) ou provoquent des allergies et des irritations cutanées par simple contact (les dermatotoxines) [6].

III-6-2. Effets délétères sur l'écosystème aquatique

Chapitre III: Eutrophisation des Barrages

- les végétaux morts colmatent les fonds des plan d'eau, ce qui détruit l'habitat de nombreux espèces,
- la carence en oxygène provoque la disparition de certaines espèces de poissons, d'invertébrés et conduit à une perte de la diversité biologique,
- la putréfaction des végétaux et la production de toxines peuvent aussi être nocives pour les espèces vivant dans l'eau [6].

III.6.3. Perturbation de la qualité de l'eau distribuée et de la production d'eau potable :

Les eaux de surface, majoritairement les retenues, sont le siège des phénomènes d'eutrophisation avec développement de cyanobactérie De ce fait, on assiste :

- une complication du processus de traitement des eaux potables dû au contrôle soutenu de l'eau brute à traiter, mais encore à l'ajustage permanent du dosage des réactifs,
- un risque d'apparition de toxines produites par les cyanobactéries lors du pompage de l'eau,
- une nécessité d'éliminer les éventuelles toxines présentes notamment par traitement des eaux par oxydation (ozonation, chloration) et /ou par l'emploi de charbon actif,
- un risque d'odeur et de mauvais goût dans l'eau distribuée induit par les matières organiques, et une augmentation de la production des boues.
- La prolifération de macro ou micro algues diminue la transparence de l'eau
- Colmatage des filtres au niveau des stations de traitement [6].

III-7.Conclusion

L'eutrophisation est considérée comme indésirable dans un plan d'eau, car elle engendre des caractéristiques rarement compatibles avec les utilisations auxquelles il est destiné (alimentation en eau potable, irrigation, loisirs, etc) ; les sels nutritifs sont les éléments majeurs de l'anoxie inévitable de la couche inférieure d'une retenue, ainsi que la stratification thermique des eaux qui se manifestent au niveau de la thermocline et la très faible réaération naturelle de ces eaux dites dormantes, d'où la réduction des apports de ces sels au réseau hydrographique et le blocage du phosphore dans les sédiments constitue un moyen réel de la maîtrise du phénomène d'eutrophisation et de désoxygénation du plan d'eau. Quand nous constatons que ces mécanismes se pérennisent malgré la mise en oeuvre des mesures de réduction des pollutions phosphorées sur le bassin versant.[7].

○ Introduction :

Les barrages sont colonisés naturellement par une variété d'organismes vivants pour la plupart invisibles à l'œil.

On distingue : les bactéries, les algues, le zooplancton et les poissons.

IV-1- les bactéries :**IV-1-1- La forme et les dimensions**

Il existe différentes formes de bactéries, chaque forme ayant une appellation particulière :

- les bactéries sphériques appelées coques, de 1 à 2 μm de diamètre ○
- les bactéries en forme de bâtonnets appelées bacilles de 1 à 10 μm ◻
- les bactéries incurvées appelées vibrions 
- les bactéries en forme de fuseau appelées fusiformes 
- les bactéries spirilles. 

IV-1-2- Composition bactérienne

Le principal composant est l'eau, elle représente environ 80% du poids de la bactérie.

L'analyse sur un poids sec donne les résultats suivants :

- ✦ Carbone 50%
- ✦ Azote 15%
- ✦ Hydrogène 10%
- ✦ Oxygène 20%
- ✦ Phosphore 3%
- ✦ Soufre
- ✦ Mg^{++} , Mn^{++} , Zn^{++} , Cr, Na^+ , K^+ ... etc. [7]

IV-1-3- Besoins nutritifs

Les bactéries sont des organismes vivants, qui ont besoin de trouver dans leur environnement tous les éléments qui constituent leur structure cellulaire, c'est-à-dire : C, H, O, N, P, S...

Ces éléments se trouvent sous forme de molécules plus ou moins complexes : sucres, amidon, cellulose, protéines, matières grasses, hydrocarbures... Les bactéries se nourrissent donc de matières organiques.

Pour se nourrir, les bactéries fabriquent des enzymes qui vont permettre la dégradation des macromolécules et leur transformation en molécules plus simples. [11]

Il existe deux types d'enzymes :

- Celles excrétées en dehors de la cellule (enzymes exocellulaires) qui vont permettre de couper les grosses molécules en molécules plus petites capables de passer à travers la membrane bactérienne.
- Les enzymes endocellulaires qui restent à l'intérieur de la cellule, elles transforment les petites molécules pour les besoins nutritionnels et énergétiques de la bactérie. [8]

IV-1-4- Les facteurs physico-chimiques influent sur le développement des bactéries:**1. Température**

La plupart des bactéries se développent dans une gamme de température recouvrant 30 à 40°C.

On définit plusieurs classes de bactéries suivant la gamme de température dans laquelle elles se développent :

- ⊕ Bactéries psychrophiles se développent jusqu'à une température inférieure à 20°C.
- ⊕ Bactéries mésophiles se développent dans une gamme de température comprise entre 10° et 45°C.
- ⊕ Bactéries thermophiles se développent à une température supérieure à 45°C.[11]

2. pH

La plupart des bactéries se développent lorsque le pH est compris entre 5.5 et 9. Il existe néanmoins des bactéries acidophiles se développant à des pH très bas, jusqu'à un pH = 1, et des bactéries alcalinophiles. [12]

3. Les facteurs chimiques

De nombreux produits chimiques sont des agents toxiques pour les bactéries.

Ils peuvent agir de différentes manières :

- ⊕ Soit ils arrêtent la croissance des bactéries mais ne les tuent pas, ils sont appelés bactériostatiques.
- ⊕ Soit ils détruisent les cellules bactériennes, ce sont des agents bactéricides.

Les produits chimiques à base de chlore, de phénols, de métaux lourds et de détergents sont des agents potentiellement bactéricides ou bactériostatiques, selon la dose à laquelle ils sont employés. [8]

IV-2- Les poissons :

1- La répartition verticale des poissons dans les retenues ou les rivières :

Au sein d'une rivière ou d'un plan d'eau douce, les poissons se répartissent verticalement, entre la surface de l'eau et le fond. On distingue ainsi 4 catégories de poissons :

➤ Les poissons de fond

- ✦ chabot
- ✦ barbeau
- ✦ brème

➤ Les poissons de surface

- ✦ ablette
- ✦ vandoise

➤ Les poissons de pleine eau

- ✦ truite
- ✦ rotengle
- ✦ perche

➤ Les poissons de bord des rives

- ✦ brochet
- ✦ épinoche mâle

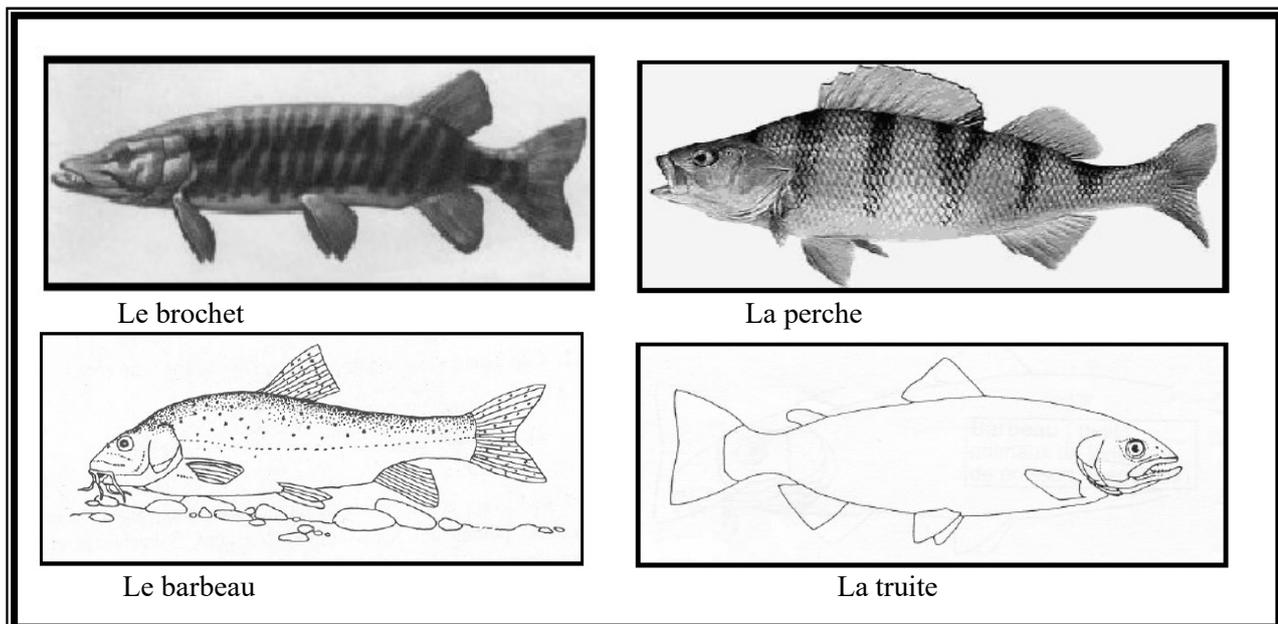


Figure IV -1 : quelques espèces de poisson d'eau douce

2 - La nourriture des poissons :

De nombreux poissons sont carnivores. Ils mangent des œufs d'autres poissons, des vers, des crustacés ou des poissons plus petits qu'eux. D'autres, comme la carpe et la vandoise, sont omnivores. Ils se nourrissent aussi d'herbes aquatiques [9].

IV-3- les algues :**1- Définition :**

Les algues, ou phycophytes (du gr .phukos=algue ; phton=plantes), sont les thallophytes chlorophylliens, c'est dire des organismes capables de photosynthèse [11].

Elles élaborent en présence de lumière, grâce aux pigments assimilateurs contenus dans les plastes, leurs propres molécules organiques à partir des éléments minéraux du milieu (eau, gaz carbonique). Elles sont donc autotrophes.

On distingue dans les populations algales aquatiques deux grands ensembles ; le premier est constitué d'espèce qui flottent ou nagent en pleine eau ; elles sont en général microscopiques et souvent unicellulaires. Elles forment la partie végétale et productrice du plancton ou phytoplancton (du gr. Plankton=errant). Le second ensemble appelé phytobenthos (du gr benthos=fond), est constitué par des espèces fixées au fond. [2]



Photo- IV-1 : l'écume d'algues ou le tapis d'algues

2- Classification :

Ce sont les pigments chlorophylliens ou non, présents dans leurs tissus, qui permettent de classer les algues en groupes, plus au moins homogènes [2].

2-a- Les algues rouges :

Sur trois milliers de représentants, quelques espèces d'algues rouges sont présentes en eaux douces, mais la plupart sont marines .on les rencontre en particulier sur les côtes tropicales et subtropicales. Leur couleur varie du noirâtre à de multiples nuances de rouge : brun rouge, lie-de-vin, rouge sang, rouge vif, rose violacé, rose. Ces teintes découlent de la présence de phycoérythrine rouge, ou de phycocyanine bleue qui masquent la chlorophylle a.

Les autres caractéristiques des algues rouges portent sur la présence de synapses, des perforations des parois entre les cellules, obturées par des bouchons évoquant des têtes de rivet, et sur la composition chimiques des parois cellulaires, riches en gélose ou carraghénane selon les espèces . Les réserves carbonées produites par la photosynthèse sont constituées d'un amidon particulier, l'amidon floridéen, toujours situé hors des chloroplastes. [11].



Photo-IV-2 : algue rouge

2-b- Les algues brunes :

Les plastes bruns de ces algues, qui comptent quelque 1500 espèces, contiennent trois chlorophylles (a, c1etc2), plus ou mois masquées par divers pigments jaunes et oranges, en particulier la fucoxanthine. Les parois des celluloses sont riches en un polysaccharide particulier, l'acide alginique, présent sous forme l'alginates (sels de l'acide alginique).le pyrénioïde (corpuscule contenu dans le plaste et impliqué dans photosynthèse), quand il existe, fait saillie à la surface des chloroplastes, et les composés carbonés de réserve produits par la photosynthèse sont dissous dans des vacuoles. L'amidon est toujours absent chez les phéophycées.

Par ailleurs, le cytoplasme des cellules contient de petites vacuoles spécialisées, les physodes remplies de composés phénoliques.

2-c- Les algues vertes :

Les algues vertes, réunissant entre 6000 et 7000 espèces, constituent le plus grand groupe d'algues. La forme fossile la plus ancienne connue date de deux milliards d'année. Comme les végétaux supérieurs, elles possèdent deux chlorophylles (a et b)

.leur réserve carbonées issues de la photosynthèse sont constituées d'amidon accumulé dans les plastes, et leur parois cellulaires ont la cellulose pour principal composant.

Les algues vertes unicellulaires, *cosmopolites*, sont majoritairement des algues d'eau douce, et constituent une grande part du phytoplancton .



Photo-VI-3 : Algue verte

2-d- les cyanobactéries ou les algues bleues:

Cyanobactéries est le non scientifique que l'on donne aux algues bleues qui flottent à la surface des étangs. Les premières espèces identifiées étaient de couleur bleue, et c'est de là que les algues tiennent leur non. Les espèces identifiées depuis sont de diverses couleurs, allant du vert olive au rouge. [13].

Les algues bleues peuvent être unicellulaires ou pluricellulaires, dans ce dernier cas, leurs cellules s'arrangent en amas de type colonies ou, le plus souvent en filaments composés de cellules alignées (ces filaments sont appelés *trichomes*).[3]' .

Elles sont composées de cellules, qui peuvent contenir des poisons, les toxines cyanobactériennes (les cyanotoxines).

3 – Composition chimique des algues:

La composition chimique des algues varie suivant le lieu de récolte, la saison, la culture et l'espèce. En général, les algues se composent de 80% à 90% d'eau, une fois séchées elles n'en contiennent que 10% à 20%.

Les glucides, les protéines et les sels minéraux ne représentent que 80 à 90% du poids sec. Les lipides sont minoritaires avec une teneur de 1 à 20% (composition pour 100g d'algue sèche).

De nombreuses vitamines sont présents dans les algues, notamment la vitamine A et B. les vitamines C, E et B12 sont moins présent chez les autres végétaux supérieurs.

En générale, les algues comme tous les végétaux contiennent un grand nombre de vitamines nécessaires pour la nutrition de l'homme [14].

4 – Utilisation des algues:

Elles sont employées directement à l'état fraîche ou séchées dans beaucoup de disciplines telles que : l'agriculture, en élevage, en alimentation humaines, en thérapeutique...etc .

Généralement les algues récoltent à l'état sauvage. Actuellement elles font l'objet d'une aquaculture bien organisée dans le nombreux pays d'Asie, la production totale en 1993 était de 6.3 millions de tonnes (en valeur de 5.4 milliards us dollars). Les principales espèces sont les algues brunes (68% en volume) et algues rouges (21%) [16].

Les principales utilisations sont :

4 – 1- En médecine:

Les algues occupent une partie importante dans la médecine moderne; elles sont utilisées en thalassothérapie contre des cas de rhumatismes ou des problèmes locomoteurs, aussi pour leur propriétés vermifuge (exemple: algue rouge calcaire: *Corallina officinalis*). La diététique propose différentes algues à utiliser sous forme de tisanes, de décoction etc. [15].

4 - 2 – En agriculture et élevage :

Les algues sont employées pour amender des terres trop pauvres en chaux ; aussi comme engrais liquide ou poudre ; liquide. Ces engrais sont produits à partir d'algues brunes: *Fucus*, *Laminaria* et surtout *Ascophthlum* et quelques espèces d'algues rouges.

L'élevage moderne introduit de nos jours les algues dans le régime alimentaire des animaux sous forme de farine obtenue à partir des algues brunes. Ils sont recommandés dans l'élevage de poules pondeuses à cause des résultats obtenues dans ce domaine.

4 -3- En alimentation humaine:

Les Asiatiques sont les grands consommateurs des algues et ceci est depuis long temps, ils les utilisent comme des salades ou bien cuites en soupe ou comme légumes. Par exemple: *Palmaria* est fréquemment utilisées comme "amuse-gueule"

Pour les buveurs de bière, ou sous forme d'infusion ou de comprimés en diététique.

Certaines espèces sous formes de poudre servent de condiment pour les sauces de soupes ou du potage. [15]

4 -4 - En épuration :

De nombreuses études montrent que les algues sont souvent présentes dans les milieux pollués. Des récentes recherches ont permis d'isoler de nombreuses espèces dans les stations d'épuration à la surface des lits bactériens et dans les effluents de sortie.

Ces algues appartenant essentiellement aux groupes suivants: *Chlorophycées*, *Cyanophycée*, *Diatomées*, *Euglénophycées* et *Xanthophycées*.

Elles seraient susceptibles de participer à l'élimination des polluants organiques selon différents processus : métabolisation, absorption, adsorption au niveau de membranes, libération d'oxygène dans les milieux. En outre, du fait de leurs besoins nutritionnels, elles peuvent assimiler les sels minéraux et participer à la désalinisation des effluents, et donc jouer un rôle non négligeable dans l'épuration tertiaire. [17]

IV-4- Les zooplanctons**1- Définition :**

Les zooplanctons sont de petits animaux qui flottent librement dans la colonne d'eau des lacs et des océans et dont la distribution se détermine principalement par les courants et le brassage d'eau. La communauté de zooplancton de la plupart des lacs varie en taille, allant de quelques dizaines de microns (les protozoaires) à >2 mm (le macro zooplancton).

Le zooplancton joue un rôle déterminant dans les réseaux trophiques aquatiques parce qu'il représente une source de nourriture importante pour les poissons et les invertébrés

Prédateurs mais aussi parce qu'il broute intensément les algues, les bactéries, les protozoaires et d'autres invertébrés.

Les communautés de zooplancton sont généralement diversifiées (>20 espèces) et elles se produisent dans presque tous les lacs et bassins. La présence du zooplancton est rarement importante dans les rivières et les cours d'eau parce qu'il ne peut maintenir des vitesses de croissance nette positive devant les pertes subies en aval [27].

2- Facteurs environnementaux influent sur les zooplanctons: [29]

Les zooplanctons sont sensibles aux variations d'un grand nombre de facteurs environnementaux y compris la température de l'eau, la lumière, la chimie (particulièrement le pH, l'oxygène, la salinité, les contaminants toxiques), la disponibilité de nourriture (algues, bactéries) ainsi que la prédation de la part des poissons et des invertébrés.



Figure IV-2 : quelques espèces de zooplancton

IV-5- La chaîne alimentaire:

Dans un milieu, les êtres vivants sont liés entre eux par des relations alimentaires: ils se nourrissent, en effet, d'animaux, de végétaux... Parmi ces relations, on distingue la chaîne alimentaire.

1- Définition:

La chaîne alimentaire est la relation alimentaire la plus simple. Elle est formée d'une succession d'êtres vivants dans laquelle chaque individu est mangé par le suivant. Dans cette chaîne alimentaire, chaque être vivant occupe une place précise et constitue un maillon de la chaîne. [6]

Le phytoplancton est le premier maillon des chaînes alimentaires aquatiques. Le zooplancton, qui se nourrit de phytoplancton, constitue à son tour l'alimentation d'autres animaux comme les poissons, et même du plus gros des mammifères, la baleine bleue.

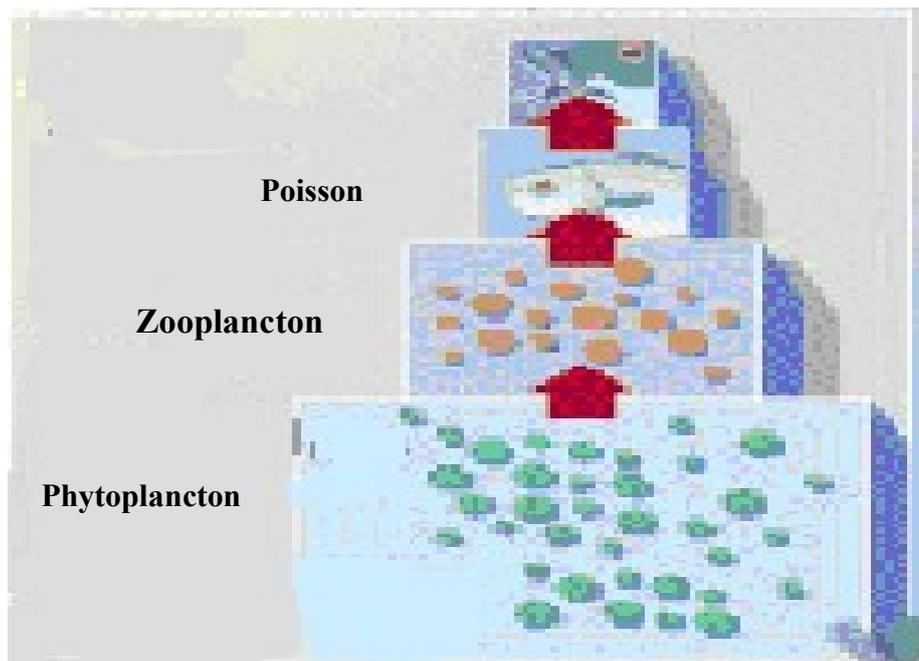


Figure IV-3 : Une chaîne alimentaire dans les eaux douces

Conclusion :

Un écosystème aquatique produit constamment de la matière vivante celle-ci est progressivement transformée en matière organique morte, qui est elle-même ensuite lentement minéralisée en partie ou en totalité.

Un écosystème aquatique peut être divisé en trois compartiments biologiques : les producteurs , essentiellement tous les végétaux qui utilisent tous la lumière solaire comme source d'énergie pour fabriquer par photosynthèse des matières organiques dont ils ont besoin pour croître, les consommateurs , ce sont soit des herbivores strictes comme certaines espèces du zooplancton, soit des espèces plus omnivores soit enfin des espèces strictement carnivores comme certains gros poissons, et enfin les décomposeurs , qui sont des micro-organismes, comme les bactéries aérobies, qui se nourrissent de toutes la matière organiques morte et biodégradable .

Un écosystème est également caractérisé par les échanges cycliques de matières qui s'établissent entre le biotope et la biocénose et qui constituent des cycles biogéochimiques dont les plus importants concernent d'eau, le carbone, l'oxygène, l'azote, le soufre et le phosphore.

V-1. Présentation du barrage de Keddara :**V-1-1.Introduction:**

L'Algérie, un pays en voie de développement connaît ces vingt dernières années un fort accroissement démographique, et une industrialisation de plus en plus active, notamment en la construction d'un grand nombre d'ouvrages hydrauliques.

Ces aménagements clés de la ressource en eau nécessaires au développement et au maintien d'importantes activités économiques dans les secteurs agricoles, agro-industriel et urbain. Parmi ces aménagements "le barrage de KEDDARA".

Le barrage de KEDDARA a été construit pour assurer l'approvisionnement en eau potable de la ville d'Alger et les villages environnants.[7]

V-1-2. Aperçu géographique :

Situé dans la wilaya de Boumerdes à 8 km au sud de Boudouaou et à 35 km à l'est d'Alger, le barrage de Keddara forme la vallée de l'oued Boudouaou à 300 m à l'aval de la confluence des oueds Keddara et El-Had, la mise en eau du barrage a été lancée en 1985.

Le barrage de Keddara a été spécialement construit pour assurer l'approvisionnement en eau potable de la ville d'Alger et ses environs.

La protection de cette eau est indispensable, non seulement contre la pollution primaire causée par les décharges d'effluents, mais aussi contre la pollution secondaire, résultant de l'eutrophisation accélérée est indispensable. [7]

Les principales caractéristiques du barrage sont les suivantes :

- Côte du niveau normale de la retenue 145 m.
- Cote du niveau de plus hautes eaux 147 m.
- Capacité de la retenue 145.6Mm³.
- Superficie du bassin versant 93 km².
- Surface du lac à la retenue normale 5.2 Km².
- La profondeur moyenne 25.5 m.
- La profondeur maximale au niveau du barrage 150 m.

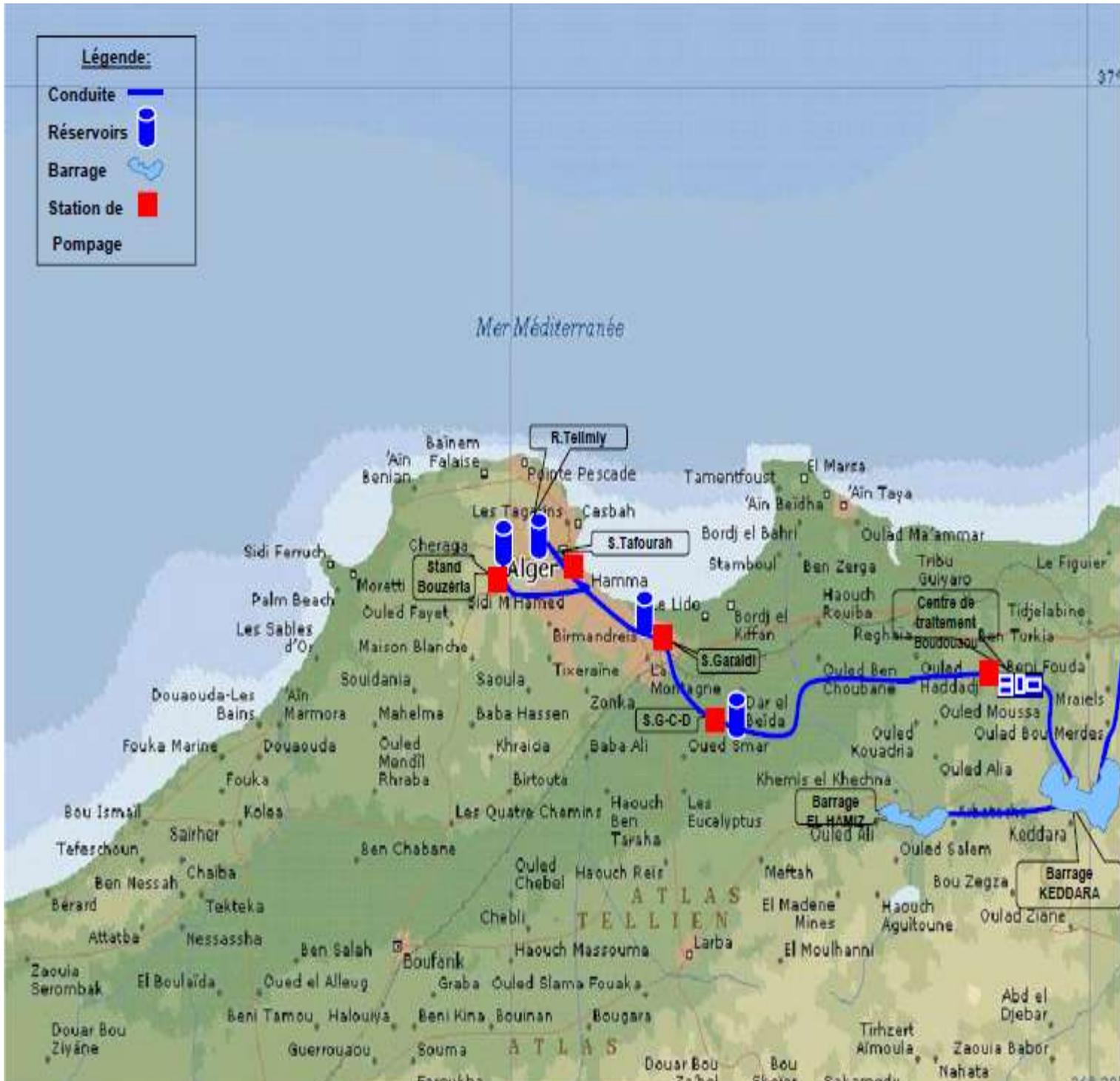


Figure V-1: carte de situation du barrage de KEDDARA.



Photo- V-1:Vue du barrage de KEDDARA.

V-1-3. Aperçu climatologie :

Les données météorologiques présentées dans ce travail sont fournies par le poste météorologiques de coordonnées suivantes:

X = 564.35 km

Y= 372.25 km

Z= 151 m

V-1-3-1.Température :

La région de keddara est caractérisée par un climat méditerranéen, avec un été chaud et sec et un hiver humide et froid.

La température moyenne annuelle varie entre 16°C et 20°C.

Tableau V-1: répartition annuelle de la température [46].

	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	out	annuel
2005/2006	20,1	0	12,08	11,23	10,46	10,82	15,18	18,93	21,70	21,70	27,89	26,62	16,40
2006/2007	24,3	22,60	18,39	13,01	12,65	13,93	13,09	16,00	20,45	24,49	27,74	27,74	19,54
2007/2008	0	0	14,29	12,13	12,34	13,71	14,04	17,43	18,94	25,56	27,09	27,28	15,2
2008/2009	24,5	20,9	14,69	11,61	11,68	11,70	13,69	15,10	21,81	25,56	25,56	26,79	18,64
2009/2010	23,2	20,94	17,84	13,41	12,38	14,06	14,77	16,96	18,84	22,96	27,15	27,05	19,10
2010/2011	22,1	15,15	15,15	13,69	12,07	11,36	14,81	18,25	20,48	23,37	27,15	28,29	18,49
2011/2012	24,7	20,88	16,97	12,8	11,42	7,76	-	-	-	-	-	-	-

V-1-3-2. Précipitation:

La moyenne annuelle des précipitations pour le bassin versant de Keddara est de 695mm.

Le régime des pluies mensuelles laisse apparaître une saison humide d'automne et d'hiver de septembre à mars, suivi d'un printemps chaud, avec quelques précipitations locales de courte durée et une saison sèche (juin – septembre) avec quelques orages locaux de courte durée. [46].

Tableau V-2: répartition annuelle de la précipitation (1999-2009).

année paramètre	99/00	00/01	01/02	02/03	03/04	04/05	05/06	06/07	07/08	08/09
PJmax (mm)	207	163,1	225,7	370,5	179,4	276,3	227,8	184,4	288,6	241,6
Totaux (mm)	684,6	377,4	685,1	965,2	524,5	790,3	820,8	561	927,9	615,7

PJmax : pluie journalière maximale

Figure-V-2: variation annuelle des précipitations du barrage de Keddara**V-1-4. Aperçu géologique :****V-1-4.1. Géologie régionale :**

La région de Keddara se trouve dans la partie Nord de l'Atlas tellien, à l'extrémité ouest du massif métamorphique qui prolonge le massif kabyle.

Ce massif fait partie des plus anciennes structures géologiques de la région. Les roches métamorphiques (schistes quartzitiques-chloritiques, micaschistes et séricitoschistes) sont d'origine antédévoniennne et sont présentés sur le site dans une structure de «Horst » orientée Nord-Est / Sud-Ouest [47].

V-1-4-2. Géologie du site du barrage :

La géologie du site du barrage est caractérisée par une tectonique cassante très intense et une altération superficielle très variable, mais parfois assez profonde [10].

V-5. Aperçu de la géomorphologie :

Un des traits caractéristiques du bassin versant de KEDDARA est la présence de fortes pentes malgré la faiblesse des altitudes absolues. 50% de la superficie du bassin est en dessous de 466 m et 12% à peine au-dessus de 700 m.

Ces fortes pentes se situent particulièrement entre 200 et 300 m d'altitude. Les zones situées au nord de Keddara et à l'est d'Arbaatache ont des pentes longues et modérées, permettant des cultures sur toute la longueur du versant, donc la spécificité des différents secteurs du bassin versant est :

- Le massif calcaire résistant de Bouzegza, aux pentes très fortes et couverture au sud par une végétation fermée.
- Le haut bassin des oueds El-Had et Keddara, aux pentes fortes, où le sol est à nu ou recouvert d'une maigre végétation.

- Le secteur NE et NW du bassins, aux longues pentes couvertes de cultures.

L'intensité de l'érosion variera, donc, sensiblement d'une partie à l'autre du bassin, malgré sa faible superficie.

Le ruissellement des eaux pluviales au niveau des fortes pentes où le sol est à nu, est favorable à l'entraînement vers l'aval d'une grande masse de sédiments riche, en sel nutritifs. [47]

V-1-5. Les affluents du barrage :

V-1-5-1. Bassin versant du barrage du keddara :

Le bassin versant du barrage de Keddara est de 93 km². Il est alimenté par les affluents des oueds Keddara, El-Had et par les eaux excédentaires du barrage du Hamiz à travers une galerie de dérivation (Hamiz-Keddara de 3,2 km), qui permet de dériver vers le barrage de Keddara un volume de 15 hm³/an. Il est aussi alimenté essentiellement par les transferts provenant du barrage de Beni-Amrane à l'aide d'une station de refoulement d'une capacité de 0.61 hm³/J (8 groupes de 1,2 m³/J de chaque dont 2 en réserve), qui permettent de transférer vers Keddara un volume moyen annuel de 110 hm³ à travers une conduite de 30 km.

V-1-5-2. La retenue de Béni-Amrane :

Cette retenue a été conçue pour permettre les stockages des eaux de l'oued "Isser", afin de faciliter le pompage de l'eau vers le réservoir de Keddara. Etant donné la grande quantité de sédiments transportés par l'oued Isser, le barrage est muni d'une vidange de fond de grande capacité qui permet leur élimination partielle. Ce dispositif permet, en outre, d'éliminer une partie des nutriments (azote, phosphore, matière organique, etc.) pour l'oued Isser. De ce fait, l'eau alimentant le barrage de keddara est de meilleure qualité que celle amenées initialement par l'oued Isser.

La capacité de ce pré réservoir est insuffisante pour stocker les eaux Isser qui arrivent avec un grand débit aux périodes de crues (période allant de Janvier à mai) amenant ainsi 80 % de l'apport annuel.

V-1-5-3. Le barrage du HAMIZ :

Le barrage du HAMIZ alimente le barrage de keddara grâce à une galerie souterraine de 3100 m de long. Elle véhicule gravitairement les eaux excédentaires du réservoir du HAMIZ vers celui de keddara. [47].

V-1-6. Les apports du barrage:

V-1-6-1. Les apports liquides:

La presque totalité des apports liquides a lieu en hiver lors des crues par les trois affluents.

On prend à titre d'exemple les apports liquides des années (2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007), niveau du plan d'eau a varié au cours ces cinq années entre un minimum de 4,62 hm³ et un maximum de 17,94 hm³.

Le tableau suivant regroupe les apports liquides totaux:

Tableau V-3: Apports annuels liquides à la retenue (hm³) [46].

années	Q max(m ³ /s)	Qmin(m ³ /s)	Q mens(m ³ /s)	Apport hm ³
2002/2003	223,03	0,00	0,58	17,94
2003/2004	176,07	0,00	0,35	11,01
2004/2005	55,28	0,02	0,30	9,45
2005/2006	17,52	0,00	0,01	4,62
2006/2007	67,80	0,00	0,17	5,41

Figure –V-3 : variation annuelle des apports liquides de barrage Keddara.

V-1-6-2. Les apports solides :

La qualité de l'eau de trois affluents qui alimentent la retenue a été suivie régulièrement avec une fréquence de prélèvements hebdomadaires depuis 1989.

Les échantillons d'eau ont été analysés pour déterminer, entre autre, les paramètres suivants, qui ont servi de base pour calculer les charges en sels nutritifs et en matières en suspension: orthophosphates, nitrates, nitrites, azote, oxygène dissous, transparence de l'eau au disque de Secchi et MES à 105°C [10].

IV.1.7.Conclusion :

Le barrage de Keddara est destiné en grande partie à l'alimentation en eau potable du grand Alger et ses environs, il est donc important de préserver la qualité de son eau et d'adapter les moyens de lutte contre sa pollution par apport à cet effet, nous préconisons la protection de la zone de la prise d'eau des relargages de fer, de manganèse et d'ammoniaque qui perturbent les traitements de potabilisation, par des techniques d'aération (localisée) ou par déstratification qui s'avèrent être un outil fiable et un pré-traitement efficace en amont des filières de potabilisation.

Ces techniques sont aujourd'hui une méthode reconnue pour lutter contre le processus d'eutrophisation.

V-2. Présentation de barrage de Hamiz :**V-2-1.Introduction :**

Le barrage du Hamiz est construit à 35 km au SE d'Alger, un peu à l'amont du débouché dans la Plaine de la Mitidja de l'Oued Arbaatache qui, prenant ensuite le nom d'Oued Hamiz, draine l'extrémité orientale de la grande plaine algéroise. Il se situe ainsi à 6 km du village du Fondouk, à 25 km de la mer.et 35 km de la ville d'Alger.

Régularisant un bassin versant de 139 km², sur lequel tombent annuellement en moyenne 839 mm d'eau, l'ouvrage est utilisé pour l'irrigation des riches terres de la plaine.

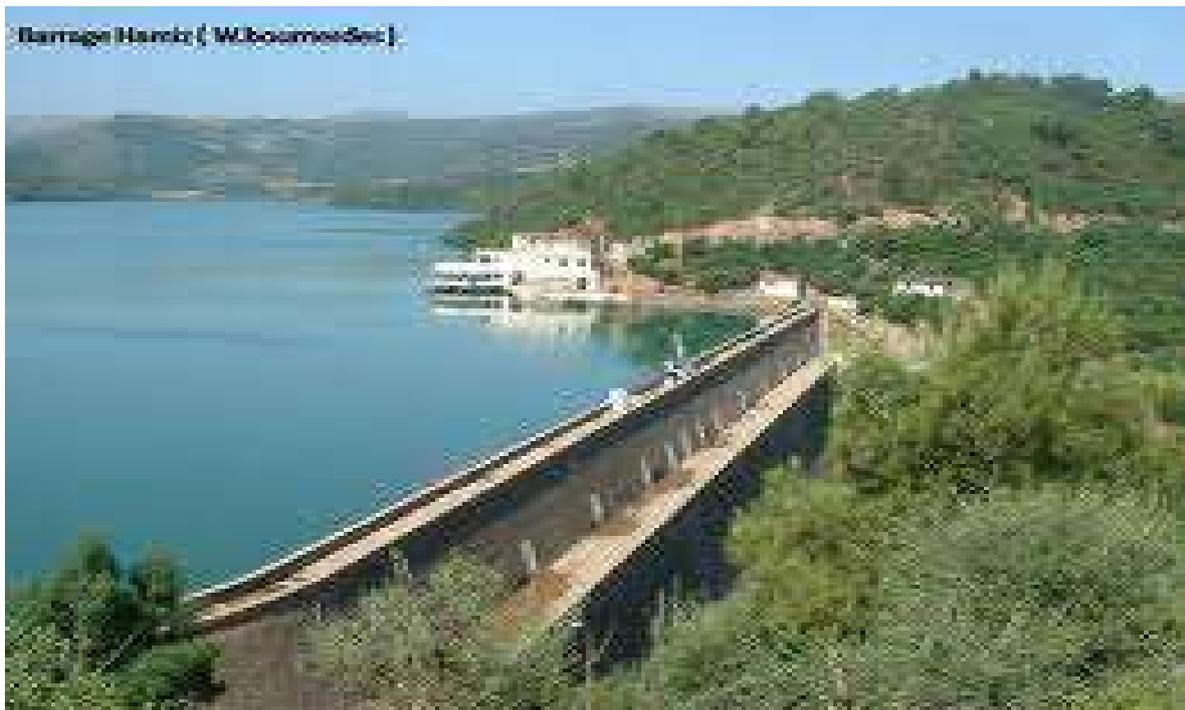
Ce barrage était caractérisé par un profil avec fuit amont de 0,27% à 0,048%. Il est fondé sur trois types de rochers différents : calcaires, les grés et les schistes, la fosse d'ancrage est obtenue par décapage du bed-rock d'une profondeur faible (de l'ordre de 0,50m) au de la couche du terrain naturel [47].

Ses caractéristiques étaient les suivantes :

Type	Poids
Hauteur.....	50 m
Longueur.....	222 m
Cote de fondation.....	129,00m
Cote de crête	167,00m
Longueur en crête	161,70m
Epaisseur à la bas	18,15m
Epaisseur en crête.....	6,65m
Cote de déversoir.....	164,00m

Caractéristiques hydrologiques :

Oued	Arbaatache
Capacité initiale.....	14 hm ³
Capacité après surélévation.....	21 hm ³
Apport moyen annuel.....	55 hm ³ /an
Envasement.....	0,35 hm ³ /an
Surface du bassin versant	139 km ²



Photot-V-2: Vue de barrage du HAMIZ

V-2-2. Aperçu climatologie :

Les données météorologiques présentées dans ce travail sont fournies par le poste météorologiques de coordonnées suivantes:

X = 558,55km

Y=367,4 km

Z=130 m. [45]

V-2-2-1.Température :

La région de Hamiz est caractérisée par un climat méditerranéen, avec un été chaud et sec et un hiver humide et froid.

V-2-2-2. Précipitation :

La saison des pluies va de septembre à mai, avec comme mois les plus humides, ceux de novembre et décembre et janvier, les pluies de juin-juillet-Aout sont très faible et n'apportent qu'une maigre contribution au total annuel.

L'écart des hauteurs annuelles de la zone du littoral et la de la zone de l'Atlas est de l'ordre de 270mm (de 580mm environ à cap Matifou et de 850mm au barrage du Hamiz).

Le relief accidenté dans la région du bassin versant peut avoir une influence importante sur la répartition de la pluviométrie [46].

Année paramètre	99/00	00/01	01/02	02/03	03/04	04/05	05/06	06/07	07/08	08/09
PJmax (mm)	168,5	286,5	278,5	376	199,8	287,9	238,4	210,5	290,7	274,3
Totaux (mm)	585,8	555,5	749,5	1016,6	624,2	753,2	714,3	608,8	1044,1	758,1

Tableau V-4: répartition annuelle de la précipitation (1999-2009).

V-2-3. Aperçu hydrologique :

La mise en service du barrage a permis de connaître le régime des apports mensuels et annuels. Les observations ont débuté en 1911[47].

Le régime de l'oued est intermittent. l'été, l'oued est sec, et l'hiver (saison des pluies) les crues sont violentes et rapides. La régularisation annuelle et inter-annuelle d'un tel régime de débit exige un réservoir de capacité importante. Ce n'est pas de la retenue du Hamiz dont la capacité déjà faible, diminue chaque année du fait de l'envasement.

V-2-4. Caractéristiques physiques du bassin versant :**a) Relief et topographie :**

Le bassin versant du Hamiz fait partie de l'Atlas de Tablat, prolongement occidental de massif du Djurjura. A l'est, il est dominé par la surélévation brusque de ce dernier massif qui constituera la Grande Kabylie. Au sud, il est limité par le

Djebel Tamesguida qui délimite la ligne de crête et dont le point culminant est à 1,138m..

b) la Géologie :

le terrain de couverture est constitué en quasi-totalité par des sédiments marneux friable. On distingue cependant trois unités géologiques principales :

- le flysch albo-aptien formant le terrain primaire.
- Les marnes avec lentilles calcaires du sénonien.
- Le flysch éocène-cretacé supérieur.

c) Le couvert végétal :

La région peu peuplée, possède une très maigre végétation. On distingue des massifs forestiers, la végétation est du type des maquis et des broussailles.

d) Hydrographie :

le réseau hydrographiques est dense dénotant ainsi la faible perméabilité des terrains de couverture. L'oued Arbaatache, oued principal qui deviendra l'oued Hamiz en aval du barrage est formé par la réunion de plusieurs oueds. Le plus long réseau formé par l'oued Arbaatache c'est l'oued Bi Labadie a 22km de long jusqu'au barrage.

Les principaux affluents sont :

- oued Tebeherine (7km de long jusqu'au confluent).
- oued Kroukrda (7,45km de long jusqu'au confluent).
- oued Ferrhiou (5km de long jusqu'au confluent).
- oued Bou Ziane (5,5km de long jusqu'au confluent).

Il faut noter que de chaque repli descend un petit oued, ligne de grande pente pour le cheminement des eaux de ruissellement, d'où l'importance, la rapidité des crues, et l'importance de la turbidité des eaux d'écoulement [47].

VI-1. Introduction :

Le but de notre travail consiste à déterminer l'impact des dépôts vaseux sur la qualité des eaux des barrages de Hamiz et de Keddara, et pour contrôler la conformité de traitement utilisé aux normes nationales et internationales et détecter les agents responsables de la dégradation de leur qualité.

VI-2. Matériels utilisés:

Les équipements nécessaires pour les prélèvements sont les suivants:

- Glacière
- Appareil de mesure portable : pH-mètre, thermomètre, conductivité-mètres, appareil photo.
- Bouteille avec compte-gouttes pour formol à 35%.
- Flacons en verre
- bouteille de prélèvement (Bouteille de Dr Blasy)
- gants
- étiquette pour les flacons.
- pissettes pour le rinçage.

La bouteille de Dr Blasy:

Pour pouvoir réaliser des prélèvements à différentes profondeurs une bouteille avec une ouverture à chaque bout est utilisée. Les ouvertures se ferment avec des clapets qui sont reliés entre eux. On fait descendre la bouteille au fond avec une corde. Sur la corde il y a un poids (le messenger) qui peut coulisser. Quand la bouteille est bien au fond, on lâche le messenger, il tombe sur le clapet du haut et, comme ils sont reliés, celui du bas se ferme aussi.



Figure N°VI-01 La bouteille de Dr Blasy (préleveur)

VI-3. Paramètres à analyser:

VI-3-1. Les paramètres physico-chimiques: Les analyses ont porté sur les paramètres physico-chimiques et biologiques suivants : Température, pH, NH_4 , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , Silice, oxygène dissous et teneur en matière organique.

VI-3-2. Paramètres microbiologiques: chlorophylle a.

L'étude de la variabilité des paramètres retenus a été définie sur la base des données bibliographiques et des moyens disponibles.

Il est à noter que les analyses ont été réalisées au niveau des laboratoires de l'ANRH à (Bir-Mourad Raïs et Blida), les mesures de la température ont été effectuées in situ à l'aide d'un thermomètre à mercure.

IV-5. Evaluation de la qualité des eaux :

Différents outils d'évaluation de la qualité des cours d'eau ont été utilisés. La qualité physico-chimique des eaux est évaluée selon la grille d'évaluation de 1971 [36].

VI-5-1. La grille de qualité « multi-usages » de 1971 :

La grille de qualité associe, pour une série de paramètres principalement physicochimiques, des valeurs seuils à 5 classes de qualité. Cette grille dite « multi-usages » est construite sur la base d'une évaluation sommaire des aptitudes de l'eau aux principaux usages anthropiques et à la vie des poissons.

La qualité générale d'une eau est celle du paramètre important le plus défavorable. Cependant, deux paramètres secondaires sont nécessaires pour déclasser une eau.

Tableau VI.2. Grille de qualité de 1971 simplifiée [36].

PARAMETRES	Bonne ou très bonne qualité	Qualité acceptable	Qualité médiocre	Mauvaise ou très mauvaise qualité
O ₂ dissous mg/l	≥5	≥3	≥1	< 1
O ₂ dissous %	≥70	≥50	≥10	< 10
DBO ₅ mg/l	≤ 5	≤10	≤25	> 25
DCO mg/l	≤ 25	≤ 40	≤80	> 80
NO ₃ ⁻ mg /l	≤ 25	≤ 50	≤ 80	> 80
NH ₄ ⁺ mg/l	≤ 0,5	≤2	≤8	> 8
NO ₂ ⁻ mg/l	≤0,3	≤1	> 1	-
NTK mg/l	≤2	≤3	≤10	> 10
PO ₄ ⁻³ mg/l	≤0,5	≤1	≤2	> 2
MeST mg/l	≤70	-	> 70	-
Phosphore total mg/l	≤0,3	≤0,6	≤1	> 1
Conductivité	≤2000	-	> 2000	-
pH	≥6,5 et ≤8,5	-	< 6 ou > 8	-

Cinq classes de qualité sont aussi définies selon les lettres A, B, C, D et E [38] :

- A** : eau de bonne qualité, permettant généralement tous les usages.
- B** : eau de qualité satisfaisante, permettant généralement la plupart des usages.
- C** : eau de qualité douteuse, certains usages risquent d'être compromis.
- D** : eau de mauvaise qualité, la plupart des usages risquent d'être compromis.
- E** : eau de très mauvaise qualité, tous les usages risquent d'être compromis.

Chaque classe est définie par un ensemble de valeurs seuils que les différents paramètres physico-chimiques ou biologiques ne doivent pas dépasser [39].

Tableau VI-3 : Grille simplifiée pour l'évaluation de la qualité des eaux de rivière :

O ₂ dissous	DBO ₅	DCO	NH ₄ ⁺	Phosphore total	Coliformes fécaux
mg/l	mg O ₂ /l	mg O ₂ /l	mg NH ₄ /l	mg /l	par 100 ml
> 7	< 3	< 20	< 0,1	< 0,1	< 20
7 - 5	3 - 5	20 - 25	0,1 - 0,3	0,1 - 0,3	20 - 2000
5-3	5-10	25-40	0,5-3	0,3-0,5	2000-20
3-1	10 - 25	40 - 80	2 - 8	0,5 - 3	> 20000
< 1	> 25	> 80	> 8	> 3	-

Tableau VI-4 : Grille simplifiée pour l'évaluation de la qualité des eaux de lac :

O ₂ dissous	Phosphore total	PO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Chlorophyll a
mg/l	mg P/l	mg PO ₄ /l	Mg/l	µg/l
>7	< 0,1	< 0,2	< 10	<2,5

7 - 5	0,1 - 0,3	0,2 - 0,5	10 - 25	2,5 - 10
5 - 3	0,3 - 0,5	0,5 - 1	25 - 50	10 - 30
3 - 1	0,5 - 0,3	1 - 5	> 50	30 - 110
< 1	> 3	> 5	-	> 110

VI-6. Interpretation des resultats:

IV-6-1. La temperature:

Les variations de la temperature de l'eau sont étroitement liées a celles de l'air et à l'éclairment . la température joue un role important sur la croissance des organismes et notamment sur celle du phytoplancton. la figure (VI-02) représente la variation temporelle de la température de l'eau en surface et près du fond d'un barrage, les eaux du barrage sont relativement froides en hiver et se rechauffent progressivement en printemps et en été. Les températures maximales de 28°C ont été observées en juillet et en aout a la surface du barrage et 21°C au fond en septembre. A partir de ce mois d'aout la température de l'eau commence à diminuer, la valeur minimale 13°C est enregistrée au mois de mars.

Figure VI-02 Variation mensuelle des températures

La figure VI-3 ci-dessous représente les profils thermiques durant la periode d'étude. Les écarts thermiques entre la surface et le fond sont très faibles pendant les mois de novembre, mars et avril, Les écarts maximums et minimums se situent entre 2°C, et 14°C et sont observés aux mois d' avril, Mai, Juin, juillet et Aout. Ces valeurs mettent en évidence une stratification thermique nette.

Figure VI-03 Profils verticaux des températures

VI-6-2 le pH : La figure (IV-04) montre que les eaux du barrage sont toujours basiques et dépassent 7 unités de pH, ceci est le résultat d'une production végétale. et cette basification s'accroît, au cours de forte activité algale favorisée par les bonnes conditions climatiques notamment pendant la période de printemps.

Ainsi la valeur extrême du pH a été enregistrée au mois de mars. Les eaux du fond sont moins alcalines par rapport aux eaux de surface avec un pH qui varie entre 7,8 et 8,2 cette baisse sensible du pH au fond s'explique par une forte activité bactérienne responsable de la décomposition de la matière organique accumulée dans les eaux profondes du barrage .

Figure VI-4- Variation mensuelle du pH

La distribution du pH dans la colonne d'eau figure VI-05 est. généralement homogène avec une différence faible entre la surface et le fond.

Figure VI-05 Profils verticaux de pH

VI-6-3.Oxygène dissous: L'oxygène dissous dans les eaux de barrage, provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs; tels que la pression partielle en

oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments.

La figure VI-06 montre que les eaux sont oxygénées aussi bien en surface qu'au fond au mois d'avril, août, octobre et novembre à cause d'énergie lumineuse reçue, nécessaire au développement algal et à l'absorption de l'oxygène atmosphérique à l'interface eau\air. . Les teneurs en oxygène dissous en surface oscillent entre 2,6 et 10,2 mg/l aussi la concentration la plus élevée observée au mois d'avril elle due à la présence du phytoplancton qui libère l'O₂ pendant la photosynthèse. Par ailleurs, la valeur la plus faible en oxygène dissous est enregistrée au mois de septembre ceci peut être due à l'augmentation de la température et à la consommation accrue par les êtres vivants.

Figure VI-06 Variation mensuelle des teneurs en oxygène dissous.

La figure VI-07 révèle une faible stratification en mois de mai, juin, juillet, qui devient plus marquée en mois de août, octobre, mars . Tout fois le plus grand écart 5mg/l est apparu au mois d'août. Cet écart d'oxygénation surface-fond peut être due aux facteurs biologiques présents par une forte activité photosynthétique et par une intense activité bactérienne consommatrice d'oxygène.

Figure VI-7 Profils verticaux des teneurs en oxygène dissous.

VI-6-4. La Chlorophylle a : la teneur en chlorophylle a est nettement influencée par plusieurs facteurs tels que la composition spécifique, l'état physiologique des algues, la densité cellulaire, la lumière, la température et l'heure de la journée à laquelle est effectué le prélèvement [34].

D'après la figure VI-8 les teneurs en chlorophylle a présentent de grandes variations en surface que en profondeur.

Les teneurs en chlorophylle a comprises entre 8 et 25 μ g/l sont observées, au printemps (avril, mai) et en été. et une diminution forte des teneurs de chlorophylle a en surface a partir de mois de juillet.

Figure VI-8 Variation mensuelle des teneurs en chlorophylle a

La figure VI-09 ci-dessous traduit une nette stratification verticale de la chlorophylle a qui est très marquée aux mois de mai de juin et de juillet.

Au mois de mai, on remarque une augmentation de la chlorophylle a à 25m de profondeur qui est probablement due à la présence d'algues bleues dotées de vacuoles gazeuses leur permettant de se déplacer dans la colonne d'eau et de se placer dans les conditions favorables à leur développement .

Figure VI-09 Profils verticaux des teneurs en chlorophylle a ($\mu\text{g/l}$).

VI-6-5. Minéralisation : La minéralisation qui évalue la teneur en sels dissous de l'eau de la retenue du barrage KEDDARA est élevée mais ne présente pas de grande variation durant le cycle annuel. Ce résultat montre que pendant la période de sécheresse une grande sortie des apports liquides, a infiltré le sol et s'est enrichie en sels. Par ailleurs, l'évaporation provoque aussi une augmentation de la concentration des sels dans l'eau.

Les écarts de minéralisations observées entre la surface et le fond (figure VI-10) présentent une tendance à la baisse et s'annulent pour les mois d'octobre, novembre et un écart grand en mois de mars.

Figure VI-10 Variation mensuelle de la minéralisation

IV-6-6. Les ortho phosphates (PO_4^{3-}) : Ce sont les sels de l'acide ortho phosphorique constituant les minéraux nutritifs essentiels pour les végétaux autotrophes. Les ortho phosphates constituent la source majeure du phosphore utilisée préférentiellement par phytoplancton à des concentrations parfois très faibles.

les teneurs obtenues en ortho phosphates durant la période d'étude sont élevées, les fortes teneurs sont observées en automne où les apports par lessivage du bassin versant sont élevés, aussi les concentrations en P- PO_4 en profondeur sont supérieures à celles en

surface .Cette situation peut s'expliquer d'une part une assimilation accrue due aux fortes biomasses phytoplanctoniques particulièrement en période où les conditions climatiques sont favorables (Printemps, été) et d'autre part par la précipitation du phosphore a travers l'adsorption sur les oxydes et les hydroxydes ferriques et sur les particules d'argile [37].

Le phosphore est alors stockée sous cette forme dans les sédiments qui constituent un véritable réservoir de cet élément .durant les périodes ou les teneurs en oxygène au niveau du fond sont faibles, les sédiments peuvent relarguer une partie de phosphore de la vase.

Figure-VI-11.variations mensuelles des teneurs en phosphore

La figure VI-12 traduit les profils verticaux des teneurs en ortho phosphates. Cette figure fait apparaitre une distribution verticale presque uniforme allant d'aout à novembre, au mois d'avril et juillet on remarque une nette augmentation des concentrations en PO_4 en allant de la surface du plan d'eau à 10m de profondeur. Cette augmentation semble en relation avec un faible développement algal confirmé par les valeurs obtenues en chlorophylle a et une faible teneur de PO_4 remarquée au mois de mai et juin. Ceci est du à une assimilation de PO_4 par phytoplanctons car le phosphore joue un rôle important dans le développement des algues (production primaire) et la multiplication bactériennes.

La période variant de juillet à décembre, nous assistons à un enrichissement en ortho phosphates dans les eaux profondes qui est probablement dû au relargage d'une partie du phosphore à partir de la vase.

Figure VI-12 Profils verticaux de PO_4^{3-}

VI-6-7 Formes d'azote : l'azote rentre dans la composition des cellules algales et il constitue au minimum 3 à 4 % de poids sec cellulaire. Plusieurs sources d'azote sont dispensables aux algues. Celles-ci incluent les nitrates (NO_3), les nitrites (NO_2) et les ions de l'ammonium (NH_4) aussi bien que certains composés azotés organiques dissous notamment l'urée.

➤ **Nitrates (NO_3)** : L'azote des nitrates, constitue l'un des éléments nutritifs des plantes. Les nitrates se trouvant naturellement dans les eaux, proviennent en grande partie de l'action de l'écoulement des eaux sur le sol constituant le bassin versant [33].

Lors du rejet d'azote organique (protéines, acides aminés, urée...), les molécules sont tout d'abord transformées en ammonium (NH_4) qui est ensuite oxydé en nitrites puis en nitrates sous l'action de bactéries nitrifiantes. Ces processus d'oxydation, également appelés « nitrification », sont très sensibles à la présence de matières toxiques (métaux, pesticides) et aux températures basses [35].

La figure VI-13 montre que les teneurs en azote nitrique sont plus importantes en profondeur (-30m) qu'en surface à l'exception du mois de avril et mai. Les valeurs maximales en surface et en profondeur sont enregistrées au mois de mai. Nous assistons par la suite à une chute considérable des teneurs en nitrates, cette situation qui dure jusqu' à la fin de l'automne pour les eaux de profondeur, est liée probablement à la forte assimilation par les algues et aux faibles apports allochtones. Les teneurs en NO_3 représentent l'apport le plus important en azote dans les eaux du barrage, ce qui pourrait être relié à la bonne oxygénation de l'eau.

Figure VI -13 Variation mensuelle des teneurs en nitrates

L'influence de la profondeur sur l'évolution des nitrates dans les eaux du barrage (figure IV-14) met en évidence les phénomènes suivants :

- ❖ Une distribution verticale uniforme des nitrates les mois d'Avril et mars, ce qui peut être due aux apports hydriques qui engendrent un mélange de la colonne d'eau.
- ❖ Une augmentation des concentrations en nitrates jusqu' à une profondeur de 25m pour les mois de juin, juillet, aout et octobre, cette augmentation s'accompagne de la baisse des teneurs en azote ammoniacal (voir figure VI-18) et qui pourra s'expliquer par le phénomène nitrification favorisée par la bonne oxygénation de l'eau.
- ❖ une faibles fluctuations des teneurs en nitrates en allant de la surface vers les profondeurs des mois de mai, septembres et novembre, et cela peut s'expliquer par le fait que la dénitrification ne se produit pas de manière significative, vu que la concentration en oxygène dissous n'est pas nulle.

Par ailleurs, les algues utilisent les nitrates après les avoir réduits à l'état de nitrites puis d'ammonium.

Figure VI-14 Profils verticaux des teneurs en nitrates

- **les nitrites (NO_2)** : Les nitrites sont une forme de transition, soit de l'oxydation de N-NH_4^+ en nitrates N-NO_3^- , soit de la réaction inverse de réduction.

L'évolution mensuelle des teneurs en azote nitraux en surface est similaire à celle en profondeur. La concentration en NO_2 , sont plus élevées en surface qu'au fond du barrage .ceci semble être en relation avec les teneurs plus importantes en oxygène dissous en surface.

Figure VI -15 Variation mensuelle des teneurs en nitrites

Figure VI-16 Profils verticaux des teneurs en nitrites

- **L'azote ammoniacal :** L'évolution temporelle des teneurs en azote ammoniacal est illustrée par la figure VI-17. En surface les teneurs en N-NH_4^+ , sont généralement faibles, les fortes valeurs sont enregistrées près du fond pendant la période d'octobre et novembre. Ceci peut être expliqué par la dégradation bactérienne des biomasses algales après leur sédimentation au niveau du fond ou par le phénomène de dénitrification.

Figure VI -17 Variation mensuelle des teneurs en azote ammoniacal.

Les profils verticaux des teneurs en azote ammoniacal, traduit par la figure VI-18, font apparaitre trois étapes :

- Une diminution plus ou moins marquée des teneurs en N-NH_4^+ pendant la période de mai à juillet.
- Une concentration en N-NH_4^+ indétectable voire nulle pendant les mois avril, aout et octobre.
- Une augmentation progressive en fonction de la profondeur des mois de novembre et de mars.

Figure IV-19 Profils verticaux des teneurs en azote ammoniacal

VI-6-8. La Silice : La silice est rencontrée dans l'eau soit de l'état colloïdal, soit à l'état dissous chez les diatomées (algues vertes), la silice revêt une importance primordiale, elle peut constituer la majeure partie de la fraction minérale et 26 à 63% du poids sec [41] .

L'évolution temporelle de la silice (Si-SiO_2) montre un grand écart entre la surface et le fond de barrage (Figure VI-20).

En effet, les concentrations au niveau du fond sont plus élevées qu'en surface et sont probablement liées à la solubilisation de la silice à partir du sédiment de la base. et par leur utilisation par les diatomées.

Figure IV -20 Variation mensuelle des teneurs en Silice

VI-6-9. Matière organique : L'évolution temporelle des teneurs en matière organique est représentée par la figure VI-20.

Les concentrations en matière organique sont relativement élevées en surface qu'en profondeur. Les plus faibles concentrations sont observées en période du printemps tandis que les concentrations élevées sont obtenues en été et en automne.

Le cycle annuel étudié des matières organiques se caractérise par une augmentation progressive accompagnant le développement du phytoplancton avec un pic relevé au mois de novembre.

Figure VI -21 Variation mensuelle des teneurs en matières organiques

Date	Echantillon	Température °C	pH	Oxygène dissous (mg/l)	Chl a (µg/l)	Minéralisation mg/L	NO ₃ mg/L	NO ₂ mg/L	NH ₄ mg/L	Silice mg/L	M.O mg/L	Volume (Hm ³)
20/07/2011	0	28	8,2	9,5	17,27	466	0,2	0,024	0,047	2,4	3,5	141
	-5m	26	7,9	9,5	13,08	493	0,4	0,051	0,069	3,4	3,0	
	-10m	21	7,8	9,5	9,44	533	1,7	0,000	0,081	4,1	3,3	

	-20m	1 8, 5	7,8	9,5	11,6	586	2,0	0,000	0,022	6,0	3,3	
	-30m	1 5, 2	7,8	9,5	6,75	606	1,9	0,000	0,021	7,5	3,4	

VI-4. Les résultats Expérimentaux:

Date		Température °C	pH	Oxygène dissous (mg/l)	Chl a (µg/l)	Minéralisation mg/L	NO ₃ mg/L	NO ₂ mg/L	NH ₄ mg/L	Silice mg/L	M.O mg/L	Volume (Hm ³)
12/04/2011	0	1 9	8,2	10,2	6,3	434	2,6	0,000	0	5,6	3,4	128
	-5m	2 3	8,1	9,6	10,3	676	2,7	0,000	0	5,4	3,4	
	-10m	2 2	8,0	9,4	6,5	605	2,7	0,000	0	5,6	3,3	
	-20m	2 1	8,0	9,6	6,95	603	2,6	0,007	0	5,6	3,1	
	-30m	1 9	8,0	9,3	4,3	610	2,5	0,007	0	5,4	3,1	
16/05/2011	0	2 0	8,0	9,5	24,7	475	6,8	0,072	0,022	0,4	3,3	136
	-5m	2 0	8,1	9,5	7,12	622	4,4	0,062	0,023	0,4	3,7	
	-10m	1	8,2	9,5	3,9	615	4,2	0,072	0,062	1,5	3,3	

		8										
	-20m	1 5	8,1	9,5	15,3	590	4,7	0,096	0,024	3,6	2,7	
	-30m	1 4	8,0	9,5	3,6	595	4,8	0,000	0,027	3,2	2,8	
14/06/2011	0	2 6	8,0	9,5	10,3	425	1,6	0,000	0	0,4	3,2	141
	-5m	2 3	8,1	9,5	5,9	536	1,7	0,003	0	0,9	4,6	
	-10m	2 0	8,0	9,5	1,4	580	2,5	0,000	0,009	2,4	2,1	
	-20m	1 9	8,0	9,5	0,6	588	3,3	0,000	0	4,3	1,0	
	-30m	1 7	8,0	9,5	3,9	588	3,2	0,000	0,011	5,1	3,3	

Tableau N°VI-1- résultats des analyses

Date	Profondeur	Température °C	pH	Oxygène dissous (mg/l)	Chl a (µg/l)	Minéralisation (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NH ₄ (mg/L)	Silice (mg/L)	M.O (mg/L)	Volume (Hm ³)
15/08/2011	0	28	8,1	8,6	10,2	439	1,2	0,069	0	0,9	3,1	131

CHAPITRE VI

PARTIE EXPERIMENTAL

	-5m	2 7	8,1	10,1	12,6	566	1,3	0,034	0	0,9	3,2	
	-10m	2 2	8,0	6,6	8,3	576	2,9	0,003	0	2,6	4,5	
	-20m	2 0	8,2	5,0	14,06	567	3,6	0,001	0,011	0,2	3,3	
	-30m	1 4, 5	8,0	3,6	7,9	581	3,6	0,003	0	0,4	2,8	
21/09/20 11	0	2 7	8,2	2,6	1,83	469	1,4	0,14	0,010	0,2	3,5	118
	-5m	2 7	8,1	6,1	2,24	469	0,8	0,147	0,013	0,4	4,3	
	-10m	2 5, 5	8,2	6,1	1,65	495	0,8	0,165	0,047	0,6	3,8	
	-20m	2 3	8,0	5,7	0,189	518	1,3	0,141	0,041	1,7	3,7	
	-30m	2 1, 5	7,9	5,6	1,919	518	1,6	0,137	0,032	2,4	3,0	
12/10/20 11	0	2 5	8,2	6,9	2,45	444	0,8	0,120	0	1,1	5,4	111
	-5m	2 4	8,0	6,2	2,32	465	1,8	0,126	0	0,9	5,1	
	-10m	2 4	8,0	5,3	1,123	439	2,0	0,137	0	1,1	6,2	
	-20m	2 0	8,0	4,3	1,917	451	1,8	0,0308	0	0,9	5,2	
	-30m	2 1	8,0	3,7	1,052	448	1,8	0,0480	0	2,4	4,5	

21/11/20 11	0	1 8	8,0	9,2	1,83	422	2,9	0	0,0642	2,1	4,4	99
	-5m	1 8	8,0	8,9	2,24	415	0,5	0	0,214	2,6	0,9	
	-10m	1 8	8,0	8,7	1,65	406	0,2	0	0,642	3,1	2,6	
	-20m	1 8	8,0	8,3	0,189	423	0,6	0,093	0,0642	0,7	2,5	
	-30m	1 7	7,9	7,7	1,919	429	1,1	0,093	0,856	0,6	5,9	

Date	Profondeur	Température °C	Oxygène dissous (mg/l)	Chl a (µg/l)	Minéralisation mg/L	PO ₄ mg/L	NO ₃ mg/L	NO ₂ mg/L	N H ₄ m g/ L	Silice mg/L	M.O mg/L	Volume (Hm ³)
25/03/2012	0	15	6,8	4,13	420	0,185	2,0	0,1268	0, 04	1,4	2,5	142
	-5m	14,5	7,4	3,4	528	0,136	2,1	0,0377	0, 03 6	1,1	3,8	
	-10m	13,5	8,6	0,2	563	0,082	2,2	0,1131	0, 04 8	1,4	9,5	
	-20m	13	8,4	2,3	590	0,082	2,4	0,0445	0,	2,8	3,9	

									03			
	-30m	13	7,7	2,2	590	0,595	2,5	0,0617	6	0,8		
									0,		2,5	
									02			
									7			
