

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université Abbès Laghrour Khenchela
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département d'Ecologie et Environnement

Réf :...../.....

Mémoire de fin d'étude
Présenté en vue de l'obtention du diplôme de
Master Académique
Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : *Ecologie et environnement*
Spécialité : *P.D.E.S.P*

Thème

**DISTRIBUTION ET FLUX DU PHOSPHORE (P) DANS LE
BASSIN VERSANT DE SEYBOUSE
(NORD-EST ALGERIEN)**

Présenté par :

- MESSAADIA Adel

Devant le jury :

Président	Mr LARBAA Rabah	(MCB, Université Abbès Laghrour Khenchela)
Encadreur	Mr ZIOUCH Omar Ramzi	(MCB, Université Abbès Laghrour Khenchela)
Examineur	Mr DIFALLAH Tarak	(MCB, Université Abbès Laghrour Khenchela)

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2017/2018

قال الله تعالى :

يَرْفَعُ اللَّهُ
الَّذِينَ آمَنُوا
مِنْكُمْ وَالَّذِينَ
أوتُوا الْعِلْمَ
دَرَجَاتٍ

(المجادلة: 11)



REMERCIEMENT

Au terme de ce travail, mes vifs remerciements et ma profonde gratitude s'adresse à notre Dieu, le grand créateur qui m'a donné de la patience, du courage et de la volonté afin d'atteindre ce travail.

Je tiens à remercier vivement mon promoteur Monsieur **Ziouch Omar Ramzi** pour ses précieux conseils, son amabilité de superviser et critiquer fructueusement le déroulement de cette étude, je lui exprime ici, ma vive reconnaissance.

Mes sincères remerciements s'adressent aux membres de Jury : **M^r Larbaa Rabah** et **M^r Difallah Tarak** qui m'ont fait l'honneur d'accepter de lire et juger ce travail et de siéger au jury, qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

Mes remerciements les plus sincères vont aux enseignants du département de l'écologie pour leur conseil et intérêt qu'ils ont porté à cette étude.

Mes remerciements, vont à l'ensemble du personnel de Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de kenchela

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à toutes les personnes qui ont constitué à sa réalisation.

Un grand merci à tous,

Adel.

DEDICACES

Je dédie cette thèse à : Ma chère mère que Dieu ait pitié d'elle, et mon cher père pour tout ce qu'ils ont fait pour moi et de l'éducation que j'ai reçu de leur part,

Tout spécialement à ma femme, pour son soutien et sa compréhension.

Mes filles Aya, Hadil et Razane,

Mes frères et mes sœurs et leurs familles,

Ma famille,

La famille de ma femme,

Je ne peux oublier toutes les personnes avec qui j'ai partagé de merveilleux moments en dehors de la thèse et avec lesquelles j'ai noué une forte amitié. Il m'est impossible de les nommer tous, mais ils se reconnaîtront bien là. Je leur dis un grand merci pour les moments passés ensemble, ainsi que pour leur soutien durant les moments difficiles.

Sommaire

LISTE DES FIGURES	I
LISTE DES TABLAUX	II
LISTE DES ACRONYMES ET DES SYMBOLES	III
INTRODUCTION	01
CHAPITRE I : INTÉRÊT DU PHOSPHORE	
1-Définition.....	04
2-Entrée du phosphore dans les écosystèmes naturel.....	05
3-Origine et source du phosphore.....	06
4- Forme des matières phosphorées.....	07
5- Utilisation du phosphore.....	10
6- Rôle du phosphore.....	10
6.1- Dans l'environnement.....	10
6.2- Les Dans les milieux aquatique.....	11
7- Cycle du phosphore.....	11
7.1- Cycle du phosphore en milieu terrestre.....	12
7.2- Cycle du phosphore en milieu aquatique.....	13
CHAPITRE II: MATÉRIELS ET MÉTHODES	
1-Le milieu.....	15
1.1-La situation géographique du bassin versant de Seybouse.....	15
1.1.1-Sous-Bassin de Bouhamdane.....	16
1.1.2- Le Bassin de Guelma.....	17
1.1.3- Le Bassin du Mellah.....	17
1.1.4- Le Bassin de la basse Seybouse.....	17
1.2- L'organisation du réseau hydrographique.....	18
1.2.1- L'artère principale.....	18
1.2.2- Les affluents de l'oued Seybouse.....	21
1.2.2.1- Oued Cherf.....	21
1.2.2.2- Oued Bouhamdane.....	21
1.2.2.3- Moyenne Seybouse.....	21
1.2.2.4- Oued Mellah.....	21
1.2.2.5- Basse Seybouse et l'oued Ressoul.....	22
1.3- Anthropisation et occupation du sol.....	22
1.3.1- Population	22
1.3.2- Agriculture.....	22

1.3. 3- Barrages et irrigation.....	22
1.3.4- L'industrie.....	23
1.3.5- Les effluents urbains.....	23
1.3.6- Le couvert végétal.....	24
1.4- La géologie.....	25
1.4.1- La basse Seybouse.....	25
1.4.2- La moyenne Seybouse.....	25
1.4.3-La haute Seybouse.....	25
1.5- La pluviométrie.....	26
2- Echantillonnage et méthode d'analyse des éléments chimiques.....	27
2.1- Echantillonnage.....	27
2.2- Transport des échantillons.....	30
3- Méthode d'analyse chimique.....	31
3.1- Dosage du Phosphates	31

CHAPITRE III: RESULTATS ET DISCUSSION

1. Interprétation des résultats.....	32
1.1- Environnement physique.....	32
1.1.1- La température.....	33
1.1.2- La salinité.....	34
1.1.3- La Conductivité électrique (CE)	35
1.1.4- Le débit.....	36
1.2- Distribution du PO ₄ dans le bassin versant de Seybouse.....	38
1.2.1-Barrage de Foum elkhanga.....	38
1.2.2-Barrage de Bouhamdane.....	40
1.2.3- Estuaire.....	40
1.3- Approximation du flux et du bilan du PO ₄ dans le bassin de Seybouse.....	41
1.3.1- Flux du Phosphore en amont et en l'aval des barrages.....	41
1.3.2- Flux de Phosphore en amont de l'estuaire et à l'embouchure.....	42
2-Discussion	43

CONCLUSION	47
-------------------------	-----------

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

RÉSUMÉ

Liste des acronymes et des symboles

ABH : Agence de Bassin Hydrographique

ADN : Acide désoxyribonucléique

AEE : Agence Européenne de l'environnement

AMP: adénosine monophosphate

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

ARN : Acide ribonucléique

ATP : Adénosine triphosphate

C: Carbone

Ca(H₂PO₄)₂: Monocalcium phosphate monohydrate

CE : Conductivité électrique (micro-simens ou $\mu\text{S}/\text{cm}$)

d : densité

g : gramme

g /j : gramme/jour

H₂PO₄⁻: Dihydrogen phosphate

Kg : Kilogramme

L/S : Litre /Seconde

LABEA : Laboratoire des analyses biogéochimiques des environnements aquatiques

m : Mètre

m³/j: Mètre cube/jour

m³/s: Mètre cube/seconde

mg/l : Milligramme/litre

ml /hab/j : Milligramme/habitant/jour

mm: Millimeter

min : Mminute

N: Azote

NaPO₄: Phosphate de sodium

Na₃PO₄: Trisodium phosphate

P: Phosphore

P₂O₅: ion Polyphosphate

Ph: Potentiel hydrogène

PO₄: Orthophosphates

PO₄³⁻: ion Phosphate (PO₄)

P.S.U.: Practical Salinity Unit

Q : Débit : mètre cube par seconde ou m³ s⁻¹ ou m³ /s

S : Salinité

Si : Silicium

Si/N/P : Rapport standard de Redfield de la composition atomique de l'eau et des organismes aquatiques

S1: Station 1

t/an : tonne/ans

T: Température

XIX: 19^{ème}

XX: 20^{ème}

µm: Micromole par litre ou µmole l⁻¹ ou µatg. l⁻¹

% : pourcent

Liste des Figures

N°	Titres	Page
1	Schéma représentatif des formes du phosphore	8
2	Cycle du phosphore dans la biosphère	13
3	Carte de situation géographique et du découpage administratif du bassin versant de la Seybouse	16
4	Carte des réseaux hydrographiques du bassin versant de Seybouse	19
5	Profil en long de l'Oued Seybouse	20
6	Carte des précipitations annuelles moyennes de l'Est algérien (établie d'après A.N.R.H., données moyennes de 60 ans, période du 1er septembre 1921 au 31 août 1960 et du 1er septembre 1986 au 31 août 1989), modifiée	26
7	Station 1 A l'amont 1 du Barrage de foug elkhanga (Oued Sbihi)	27
8	Station 2 A l'amont du barrage de foug elkhanga (Oued Sedrata)	27
9	Station 3: A l'aval du Barrage de foug elkhanga	28
10	Station 4 : A l'amont du barrage de Bouhamdane	28
11	A l'aval du barrage de Bouhamdane.	28
12	Station 6 : A l'amont de l'estuaire (station rivière)	28
13	Station 7 : A l'aval de l'estuaire (embouchure)	28
14	Carte géographique qui représente le bassin de Seybouse et les stations d'échantillonnage	29
15	Le Multi paramètre wtw 1970i	30
16	Variations de la température en amont et en aval des barrages, en amont et en aval de l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016.2017	33
17	Variations de la salinité en amont et en aval des barrages, en amont et en aval de l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016.2017.	34
18	Variations de la conductivité électrique en amont et en aval des barrages, en amont et en aval de l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016.2017	35
19	Variations de débit en amont et en aval des barrages, en amont et en aval de l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016.2017	37
20	Variations des teneurs du Phosphore en amont et en aval des barrages, en amont et en aval de l'estuaire d'oued Seybouse durant la période d'étude	39

Liste des tableaux

N°	Titres	Page
1	Position du Phosphore dans la classification périodique	4
2	Les Barrages de bassin versant de Seybouse	23
3	Les stations d'échantillonnage et leurs caractéristiques	30
4	Résumé de la méthode d'analyse du phosphore	31
5	Les paramètres physiques mesurés in-situ en saison sèche (Le 08/09/2016) et en saison humide (Le 13/4/2017)	32
6	Les paramètres physiques mesurés in-situ en saison sèche et humides, les minimums, les maximums et les moyennes sont aussi calculés	32
7	Teneurs des PO ₄ (μM) en amont et en aval des barrages, en amont et aval de l'estuaire et taux de rétention (R%). Rétention (-) ; production (+).	41
8	Teneurs des PO ₄ (t/an) en amont et en aval des barrages, en amont et aval de l'estuaire et taux de rétention (R%). Rétention (-) ; production (+)	42
9	Les valeurs du rapport N/P, Si/N et Si/P à l'embouchure durant la période d'étude	45

1. Introduction

Les activités anthropiques représentent la principale source de pollution de la mer Méditerranée, bien que de nombreuses incertitudes demeurent quant à leur contribution respective, aux différents flux (rivières, atmosphère, sources diffuses et ponctuelles) et au sort des polluants qu'elles génèrent (AEE, 1999, Margat et Vallée, 1999). La méditerranée connaît en conséquence, des modifications rapides de son chimisme directement lié aux apports issus des activités agricole, domestique et industrielles (Turley, 1999 Bèthoux et al., 2002). L'environnement côtier peut donc être hautement contrôlé par l'enrichissement en nutriment d'origine fluviale et estuarienne.

La pollution des milieux aquatiques continentaux et marins a une histoire. Les années 1940 à 1970 sont marquées par les rejets massifs d'eaux usées urbaines ou industrielles non traitées qui se traduisent à partir des années 1970-1980 par l'eutrophisation de nombreux lacs et fleuves. Le rôle des nutriments, respectivement le phosphore (P) (Vollenweider, 1968) et l'azote (N) dans l'eutrophisation des eaux de surface et de nappes est maintenant reconnu (Schouman et al., 2011). Les réglementations européennes successives sur les nitrates (91/676/EEC), les objectifs de traitement des rejets urbains (91/271/EEC) et actuellement la directive cadre sur l'eau (2000/60/EC), ont contribué à la diminution des flux de nutriments vers le milieu aquatique (EEA, 2010). Pour le phosphore, ces réductions sont liées à des politiques de restriction des rejets qui ciblent préférentiellement les pollutions d'origines ponctuelles: rejets de stations d'épuration, rejets urbains par temps de pluie, suppression progressive des phosphates des lessives et poudres de lave vaisselle (Lee et al., 1978 ; EEA, 2010).

Parallèlement et depuis une trentaine d'années, ces mesures de réduction des flux d'origines ponctuelles se sont accompagnées de mesures de contrôle et d'atténuation des pollutions diffuses centrées principalement sur les pollutions diffuses agricoles. Malgré ces mesures, une partie des flux de pollutions diffuses restent mal cadrées (Dorioz et al., 2011, Arousseau et al., 2007) et de nouvelles pressions sur les bassins versants associées aux changements climatiques (modification des régimes hydrologiques, des intensités de précipitation et des températures) perturbent les régimes d'exportation des flux de phosphore et leur impact potentiel sur les milieux récepteurs. Ces nouvelles pressions imposent de renforcer les mesures de contrôle et d'atténuation des flux de pollutions diffuses (Dorioz et al., 2011).

Le phosphore provenant pour l'essentiel du bassin versant via les affluents, les stratégies de maîtrise de l'eutrophisation des plans d'eau nécessitent des interventions au niveau des territoires et des activités qu'ils supportent (Pilleboue, 1987; Michaud et al., 2007). Mettre au point de telles stratégies suppose de caractériser et quantifier le fonctionnement des bassins versants concernés en tant que « système de transfert du phosphore », d'analyser notamment l'ensemble des structures dont le fonctionnement et l'organisation déterminent, l'origine des flux hydrochimiques transférés, leurs trajets à l'exutoire, la nature, l'intensité et les régimes d'exportations des flux (Dorioz et Poulenard, 2007). En fin le « système de transfert du phosphore » permet de caractériser l'impact de cette charge externe sur le milieu récepteur.

Au cours des dernières décennies l'activité humaine a aussi considérablement changé l'hydrologie et le chimisme des eaux des rivières et des eaux côtières méditerranéennes par suite de la rétention d'eau dans les barrages (Lehner et al., 2011, Ounissi et al., 2008, 2014). Soulignant le fait que les ressources en eau en Méditerranée sont rares et les pressions anthropiques sur les rivières deviennent particulièrement importantes. Par ailleurs, la construction des barrages sur les rivières et les prélèvements d'eau pour l'irrigation ont évolué depuis les années 1960 et ont largement réduit le débit des rivières d'au moins 20% ce qui a profondément modifié le fonctionnement naturel des cours d'eau méditerranéens (Humborg et al., 2008, Ludwig et al., 2009). Or, rien n'est plus important au fonctionnement du littoral que les quantités et la durée des apports d'eau douce, rapportent Montagna et al., (2002). En outre, le transfert des nutriments à la mer joue un rôle clé dans l'équilibre hydrologique, du carbone, des nutriments dissous (azote, phosphore et silicium), des sédiments et de la biodiversité des eaux de surface (Meybeck, 2003 ; Ounissi et al., 2008, 2014, 2016).

Conjointement à la réduction des débits et du Silicium (Si) retenu en grandes proportions dans les barrages, les flux en azote (N) et en phosphore (P) ont de 3 à 5 fois augmenté (Dürr et al., 2009 ; Ludwig et al., 2009 ; Meybeck, 2003) et les rapports Si/N/P sont ainsi modifiés. Ludwig et al., (2009) pensent que la diminution du flux de Si des rivières à la Méditerranée est plutôt reliée à la réduction des débits des rivières fortement soumises à la régulation par les barrages; parallèlement, les apports anthropiques ont fait plus que 5 fois augmenter les flux à la mer de N et de P. Les apports des rivières en nutriments jouent un rôle décisif pour la productivité et le fonctionnement des eaux côtières qui reçoivent les apports d'eau douce (Bosc et al., 2004).

Les rapports Si/N/P modifiés occasionnent d'importants impacts sur le fonctionnement et la productivité des eaux côtières. Il s'agit en particulier de développement d'espèces nuisibles de dinophycées phytoplanctoniques, non exigeantes vis-à-vis du Si alors que l'abondance des diatomées diminue. Le réseau trophique se trouve affecté par la diminution des copépodes zooplanctoniques, élément clés dans les réseaux trophiques marins. (Billen et Garnier, 2007 ; Cloern et al., 2001; Howarth et al., 1996; Ragueneau et al., 2006; Turner et al., 2003, Ziouch., 2014; Aounallah., 2015, Ounissi et al., 2008, 2014, 2016). Ces modifications biogéochimiques sont responsables de nombreux impacts négatifs, entre autres la modification dans la composition du phytoplancton qui se répercutent sur l'ensemble du système côtier y compris la baisse des ressources halieutiques côtières.

En conséquence, les pêcheries côtières soumises à des apports continentaux réduits en eau et en Si, connaissent d'importantes baisses de débarquements (Cloern, 2001; Howarth et al., 1996; Wahby et Bishara, 1981; Turner et al., 2003). En Turquie, par exemple le stock d'Anchois, patrimoine précieux de la nation, est réduit d'une façon inquiétante. De même, la construction du barrage d'Assouan sur le Nil a eu de graves conséquences sur la production côtière pélagique et démersale. Wahby et Bishara (1981) rapportent que le débarquement des sardines a diminué de 95% et les prises de Crevettes ont connues une baisse dramatique dans les côtes adjacentes au Nil. On rapporte aussi des baisses de débarquements de poissons dans les côtes californiennes à la suite de la construction du barrage du Hoover en 1936 (Turner et al., 2003), pour ne citer que ces exemples.

La présente étude s'insère dans le cadre d'un programme de surveillance environnementale portant sur le transfert de matières de bassin côtier de Seybouse au littoral. Elle vise donc à évaluer le flux du phosphore (P) à la mer et se focalise sur les effets des barrages et de la zone estuarienne sur la biogéochimie de cet élément nutritif.

Le mémoire est assigné en trois chapitres dont le premier est strictement documentaire et qui forme un essai de synthèse sur l'intérêt du phosphore dans les écosystèmes aquatiques. Le deuxième chapitre décrit le milieu étudié et les méthodes d'échantillonnage et d'analyses chimiques. Le troisième chapitre expose et interprète les résultats d'hydrologie et la répartition du phosphore dans le continuum aquatique. Le travail s'achève par une conclusion.

1. Définition:

Le phosphore est l'élément chimique de numéro atomique 15, de symbole P. C'est un membre du groupe des pnictogènes. Le Phosphore (P) est un élément essentiel de tous les organismes vivants. Chez les végétaux, il joue un rôle essentiel dans de nombreux processus biologiques comme la croissance, la photosynthèse et la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique (Marschner, 1995). Il entre dans la composition des acides nucléiques et donc dans la composition de l'ADN où est inscrit le code génétique, ainsi que dans celle de l'ARN qui permet la transcription de l'information génétique en protéines. Il est impliqué dans les transferts d'énergie à l'intérieur des cellules par l'intermédiaire de molécules telles que l'ATP. Il entre dans la composition des phospholipides qui contrôlent la stabilité et les propriétés des membranes cellulaires (Marschner, 1995).

Tableau 1 : Position du Phosphore dans la classification périodique. Situé dans la colonne VA

Tableau périodique des éléments

Le tableau périodique des éléments est présenté avec le Phosphore (P) mis en évidence dans la colonne 15 (VA). Le tableau inclut des légendes pour les symboles chimiques et les états de la matière.

Légende des symboles :

- C → Solide à l'état naturel
- N → Gazose à l'état naturel
- Br → Liquide à l'état naturel
- Rf → Artificiel (non naturel)

Structure électronique :

- S → Symbole atomique
- N → Nom de l'atome
- C → Couleur de l'atome
- W → Valeur - Masse atomique relative
- M → Masse - Masse atomique relative
- G → Masse - Masse atomique relative
- E → Note - Note chimique

Le terme phosphore (P) englobe les innombrables composés phosphatés présents dans l'environnement. Au delà de cette diversité, le phosphore présente quelques caractéristiques clés qui expliquent sa dynamique et son impact. Le phosphore est présent dans des molécules essentielles au déroulement de nos processus vitaux majeurs tels que la respiration, le transfert d'énergie (ATP) et la reproduction (ADN). Dans les milieux naturels, le phosphore est peu abondant et constitue souvent le premier des facteurs limitant de la production végétale.

Cependant, son abondance naturelle a été quasiment modifiée par l'homme, par son essor industriel et son système de production agricole (Miller, 1983; Conley *et al.*, 2000; Sierra *et al.*, 2002 ; Ramade, 2003).

Le phosphore (P) a été vu comme l'élément qui limite la croissance du phytoplancton dans les lacs (Schindler, 1971), la mer des Sargasses (Cotner *et al.*, 1997) et les eaux côtières (Downing, 1997).

2. Entrées de P dans les écosystèmes naturels :

La production primaire des milieux terrestres est limitée par la faible disponibilité du P pour les plantes. Elles ne peuvent en effet prélever leur P que sous forme d'ions orthophosphate (PO_4), soit directement par voie racinaire, soit par l'intermédiaire des champignons mycorhiziens (Rausch et Bucher, 2002). Cependant, étant donnée la forte affinité de cet ion pour les composants du sol et la faible vitesse de libération de P par altération des roches, il n'est présent qu'à de très faibles concentrations dans la solution des sols non fertilisés.

Newman (1995) montre que la vitesse de libération de P par l'altération des roches varie entre 0.01 et 1 kg P ha⁻¹ an⁻¹, mais que dans certains cas elle pourrait atteindre 5 kg ha⁻¹ an⁻¹. Dans le même article, il montre que les quantités de P arrivant de l'atmosphère sur les écosystèmes terrestres varient entre 0.01 et 2 kg P ha⁻¹ an⁻¹ et qu'environ les mêmes quantités de P quittent l'écosystème par voie atmosphérique (sous forme de pollens ou de poussières). Enfin, bien que le P contenu dans les météorites soit considéré comme assez facilement assimilable (Mautner et Sinaj, 2002) et que les quantités de météorites atteignant la surface terrestre soient comprises entre 30-150 kT an⁻¹, les quantités totales de P ainsi apportées ne dépassent pas 1 mg P ha⁻¹ an⁻¹ et donc ne sont pas significatives (Newman, 1995).

Considérant ces faibles apports de P par altération des roches et par voie atmosphérique, Newman (1997) analyse le bilan P de différents systèmes de production céréalières dans lesquels aucun apport de P n'était effectué (une ferme de l'Égypte ancienne des bords du Nil, une exploitation médiévale anglaise, une exploitation située dans les prairies d'Amérique du Nord au XIX^{ème} siècle et une exploitation chinoise du début du XX^{ème} siècle) et celui d'une ferme anglaise du XX^{ème} siècle cultivée de façon intensive et dans laquelle les engrais minéraux sont apportés régulièrement. Il conclut qu'aucun de ces systèmes ne peut être durable, puisque l'exploitation anglaise du XX^{ème} siècle accumule du P dans ses sols, conduisant à une augmentation des risques de pertes en P vers les eaux superficielles, et que

les autres systèmes consomment environ dix fois plus de P qu'il n'en rentre par altération ou par apport de sédiments, conduisant à une dégradation inéluctable du sol.

Cette analyse est malheureusement encore d'actualité dans de nombreux agro systèmes tropicaux, où la carence en P limite fortement la production végétale et dans lesquels l'absence totale d'apport d'engrais P est une des causes primaires de la dégradation des sols (Smaling et al., 1997; Fairhurst et al., 1999).

3. Origine et source du phosphore :

La principale source naturelle du phosphate est la pierre. Il est généralement libéré par l'érosion. Durant son parcours vers la mer, la molécule du phosphate pourra être absorbée par des plantes ou des animaux puis retourne au sol ou à l'eau par le biais de la décomposition végétale, animale ou par voie urinaire. Le cycle du phosphore est par la suite perturbé avec l'arrivée de l'agriculture et de l'urbanisation (Idrissi, 2006).

L'origine du phosphore dans les eaux usées est déduite de la connaissance des sources de phosphore naturel et de son utilisation. Il ayant des origines diverses (Cann et al, 1999), elle est multiple puisque le phosphore peut provenir :

- ✓ Du métabolisme humain: un homme excrète entre 1 et 2 g . jr⁻¹ dont une moitié provient des excréta par jour. C'est l'apport principal en phosphore dans les cours d'eau.
- ✓ Des produits lessiviels et de nettoyage à base de polyphosphates: 1 à 2 g . jr⁻¹ et par habitation en diminution.
- ✓ Les effluents d'eaux résiduaire d'industries agro-alimentaires, d'abattoirs, de laverie industrielles, d'industries de traitement de surface et d'industries chimiques spécialisées. Ils véhiculent une quantité de composés phosphorés à peu près équivalente à celle des eaux usées domestiques, pour des régions relativement urbanisées.
- ✓ Les rejets agricoles ou d'origine naturelle sont retenus dans les sols. Les eaux de surface peuvent éventuellement en contenir en raison de l'érosion et du ruissellement entraînant des particules de sol dans les cours d'eau.

Les sources anthropiques de phosphore peuvent avoir un caractère diffus ou ponctuel. Tous les secteurs génèrent à la fois des sources ponctuelles et diffuses de phosphore, ainsi, le phosphore d'origine urbaine ne doit pas être assimilé uniquement aux sources ponctuelles de même que le phosphore agricole ne peut être résumé au seul phosphore diffus. Les apports ponctuels de phosphore agricole proviennent essentiellement des industries agroalimentaires et des élevages. Ils sont faits en grande quantité et en un seul point généralement sous forme minérale (pollution ponctuelle massive): c'est le cas par exemple des industries

agroalimentaires, d'ateliers de conditionnement et des entrepôts d'engrais. Ils peuvent être aussi en petite quantité mais en de multiples points et de manière chronique, souvent sous forme organique (pollution ponctuelle dispersée): rejets non contrôlés de déjections animales provenant des bâtiments d'élevage ou du stockage des effluents ou d'aliments, jus d'ensilage et déversement de produits utilisés pour le nettoyage des machines de traite et des cuves de stockage du lait, eaux de ruissellement des cours de fermes, aires d'attente de salles de traite, aires d'exercice de stabulation.

D'après Cann (1990), les rejets agricoles sont moins bien connus que les rejets urbains et domestiques pour plusieurs raisons: La croissance extrêmement rapide de la production agricole, qui génère ces rejets très importants de nutriments s'est faite dans les dernières années. Le problème est donc relativement récent. La dispersion de l'activité agricole sur un vaste territoire donne un caractère diffus à ces rejets. Ils sont donc moins perceptibles directement et des mécanismes d'épuration en limitent les effets. Les caractéristiques des transferts d'azote et de phosphore (flux, concentration, vitesse, formes) varient en fonction de diverses variables du milieu comme la pluie, la température, l'humidité. Contrairement aux rejets urbains et industriels qui sont relativement constants. Ainsi, les rejets d'origine agricole sont insuffisamment connus alors qu'ils représentent une part croissante des apports de phosphore dans les milieux aquatiques, par contre, les rejets domestiques sont souvent mentionnés comme la source principale de phosphore.

4. Forme des matières phosphorées :

Les microorganismes n'interviennent qu'exceptionnellement sur l'état d'oxydation du phosphore, qui se trouve le plus souvent sous forme H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} ou PO_4^{3-} . La plupart des transformations auxquelles est soumis cet élément dans le milieu marin, peuvent, en fait, être considérées comme des transferts.

Les phosphates sont des composés phosphorés. Dans la nature, le phosphore (P) est généralement présent sous forme de molécules de phosphates. Dans l'environnement, le phosphore est présent sous différentes formes. On distingue les formes dissoutes des formes particulières, comme le montre la figure n°1.

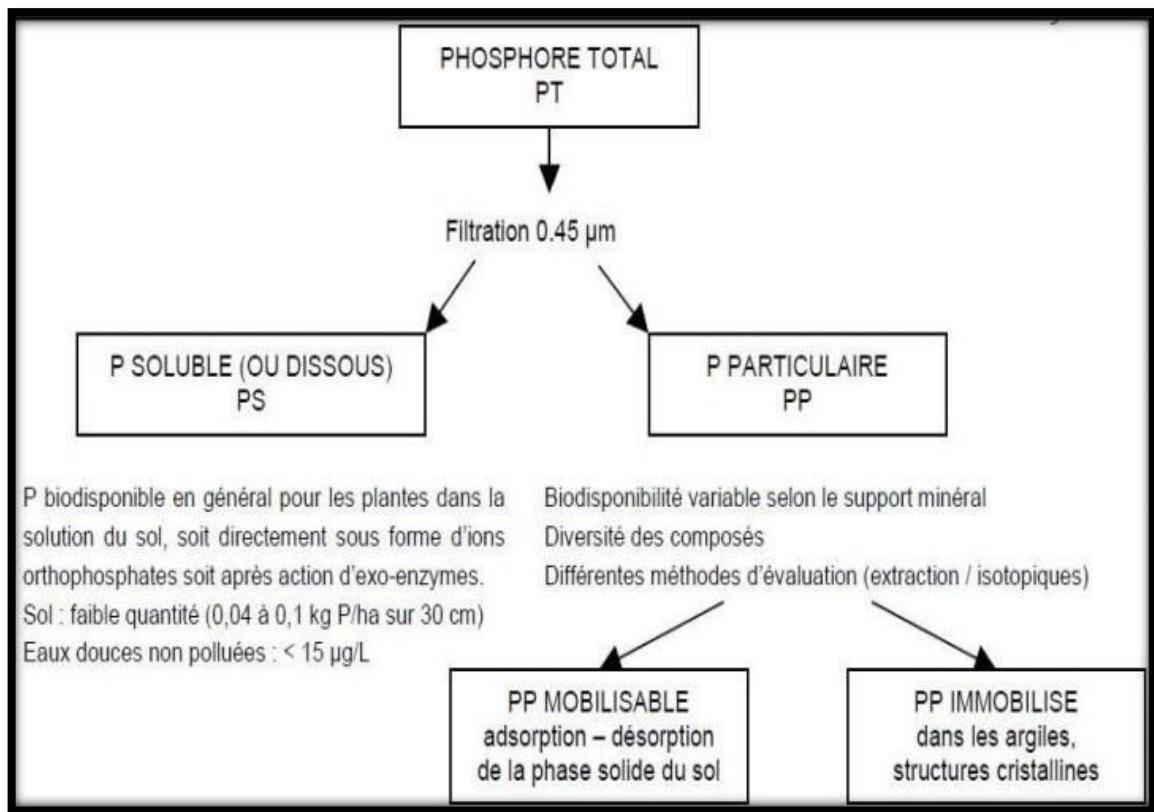


Figure 1 : Schéma représentatif des formes du phosphore (Lefebvre, 2003).

Les relations du phosphore avec le sédiment (sédiment des cours d'eau et sol) régissent la plus grosse part des apports à partir du stock sédimentaire. Les mécanismes chimiques et biologiques (action bactérienne) de réduction des complexes fer-phosphate et calcium-phosphate dans les sédiments jouent un grand rôle dans la régulation des échanges eau-sédiment. De plus, le comportement physico-chimique du phosphore est complexe et dépend d'un certain nombre de conditions de milieu.

Des phosphates ajoutés au sol auront un comportement différent selon le pH: quand il est élevé, le phosphore est fixé sous forme de phosphate de calcium, et quand il est acide, le phosphore précipite pour donner des oxydes de fer, d'aluminium ou de magnésium. Cependant, une partie du phosphore reste toujours relativement disponible. La disponibilité est maximale quand le pH est d'environ 6,5. Les ions phosphates constituent la seule forme de phosphore assimilable par les végétaux.

Par ailleurs, les teneurs en phosphore ne sont pas toujours exprimées sous la même forme, ce qui rend les comparaisons parfois difficiles. Les phosphates sont des composés phosphorés. Dans la nature, le phosphore (P) est généralement présent sous forme de molécules de phosphates.

- **Forme dissoute:** Le phosphore dissous (ou soluble) est présent dans l'eau et la solution du sol sous forme minérale ou organique (Lemercier, 2003).
- **Formes minérales:** Ce sont les ions orthophosphates (PO_4^{3-}) libres ou associés à la matière organique ou non sous forme de colloïdes, les différents anions de l'acide phosphorique H_2PO_4^- et HPO_4^{2-} et les polyphosphates .
- **Formes organiques:** Les Trioses phosphates, acides nucléiques, phospholipides, acides phosphoriques de sucre et leurs formes dégradées sont les formes organiques du phosphore.
- **Formes particulières:** Le phosphore particulaire regroupe toutes les formes de phosphore liées aux minéraux, à des débris divers ou incorporées dans les organismes. Les phytines ou phytates (inositols polyphosphates) constituent la principale forme de phosphore organique particulaire dans les sols (Tate, 1984). Selon Brookes *et al.* (1984), le phosphore microbien représenterait 2 à 24% du phosphore organique du sol.

On distingue deux formes principales du phosphore (Auby *et al.*, 1994):

- **le phosphate** (PO_4^{3-}) correspond à la fraction de phosphore qui se trouve sous forme minérale dissoute (eaux filtrées sur $0,45 \mu\text{m}$).
- **le phosphore total** (PT) résulte de l'analyse d'eaux non-filtrées. Cette fraction rassemble le phosphore organique et minéral, dissous et particulaire.

Par ailleurs, les teneurs en phosphore ne sont pas toujours exprimées sous la même forme, ce qui rend les comparaisons parfois difficiles. En effet, le phosphore peut être évalué :

- en **P**, dans les différents secteurs de l'activité humaine et en limnologie (étude des lacs et des eaux douces) ;
- en **PO₄**, pour la forme "ortho" et libre dans l'eau réagissant directement au réactif de colorimétrie ;
- en **P₂O₅**, l'anhydride orthophosphorique en agronomie ;
- en microatome-gramme en océanographie.

Ainsi les unités de phosphore (et/ou phosphates) changent, du bassin versant à la rivière, puis en mer.

5. Utilisations du phosphore :

Les emplois du phosphore sont nombreux. Une grande quantité de phosphore naturel est brûlée puis transformée en acide orthophosphorique. Les sels de cet acide ont des utilisations diverses :

- NaH_2PO_4 , est un composant des lessives avec phosphate (en mélange avec le bicarbonate de sodium) et intervient dans le traitement des eaux de chaudière pour éviter l'entartrage,
- Na_3PO_4 est un composant des produits de nettoyage des boiseries.
- Le phosphore entre également dans la composition d'engrais sous forme de phosphates.
- Les phosphates naturels ne sont pas une source de phosphore pour les végétaux car trop peu solubles. Ils sont transformés en phosphate monocalcique, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, plus solubles.
- Enfin, la présence du phosphore (phosphore rouge) sur les frottoirs qui enflamment les allumettes.

6. Rôles du phosphore :

6.1. Dans l'environnement

Le phosphore est un constituant essentiel de la matière organique et il est un nutriment indispensable pour les organismes vivants. Cependant, il doit être considéré comme un polluant lorsqu'il est présent à de fortes concentrations dans l'environnement. Des teneurs dans l'eau supérieures à $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ doivent constituer un indice de pollution (Rodier *et al*, 1996).

Le phosphore (p) est à la base de la composition de toutes les cellules des organismes vivants. Êtres humains, animaux, plantes et microorganismes, tous dépendent entièrement du phosphore pour vivre et se reproduire. Le matériel génétique des organismes vivants est constitué par les acides nucléiques (ADN et ARN) qui contiennent du phosphore. Cet élément entre également dans la composition des protéines.

Chez les plantes, le phosphore intervient comme élément nutritif indispensable à un grand nombre de processus biochimiques tels que la respiration ou la production d'énergie (photosynthèse).

Le phosphore favorise le développement des racines et l'accroissement de la masse des radicelles, permettant une alimentation suffisante et une croissance rapide, donc un développement précoce des plantes. De plus, le phosphore est impliqué dans la fructification et la reproduction des végétaux ainsi que dans la rigidité des tissus des végétaux, ce qui les rend plus résistants. Ainsi, conjugué à l'azote, le phosphore est un facteur essentiel de la croissance des plantes, il agit plus sur la qualité et la précocité.

Dans le règne animal, le phosphore est également impliqué dans les processus énergétiques (formation et dégradation du glycogène des muscles, synthèse des protéines). Le phosphore est également impliqué dans la régulation d'équilibres biologiques internes. En effet, une insuffisance de cet élément dans l'alimentation animale peut conduire à des troubles divers: infécondité, hématurie de parturition, moindre résistance à certaines maladies comme l'entérite paratuberculeuse. L'effet des composés phosphorés utilisés à hautes concentrations dans l'industrie sur la santé humaine (phosphore blanc qui est par exemple un constituant de la mort-aux-rats, P rouge, P noir, etc.) peuvent avoir des effets très toxiques sur l'homme. Les concentrations normalement observées dans l'eau ou dans l'habitat semblent ne pas présenter de risque direct pour la santé humaine (Carpenter et al., 1998).

En agronomie le phosphore est un élément incontrôlable de la fertilité des sols. Il est massivement employé dans différents formules de fertilisants chimiques intensives, ainsi, le phosphore est un élément plastique, énergétique et génétique de la matière vivante (Vanden Bossche, 1999).

6.2. Dans les milieux aquatiques

Il est présent dans les eaux sous différentes formes : forme dissoute ou particulaire, organique ou minéral. Il n'est pas toxique mais il provoque l'eutrophisation lorsqu'il est en excès dans l'eau. Le phosphate est la forme sous laquelle le phosphore peut être assimilé par les êtres vivants, en particulier les algues. La prolifération de ces dernières peut avoir de nombreux effets néfastes, telles par exemple, l'augmentation de la turbidité de l'eau, la diminution de l'aspect esthétique et la réduction des activités de loisirs.

Certaines algues (algues bleues ou cyanophytes) peuvent produire des substances qui empoisonnent le zooplancton, les poissons, les oiseaux aquatiques, le bétail et les humains. Présentes à forte densité, les algues font augmenter les coûts de traitement de l'eau potable à la suite d'une mauvaise odeur et goût désagréable dont elles sont responsables (Chambers et al, 2001).

7. Cycle du phosphore :

Le phosphore est un élément biogène d'une grande importance écologique car il n'existe qu'en faible quantité tant dans les biotopes terrestres qu'aquatiques. Le phosphore minéral reste un élément assez rare dans la biosphère dont il ne représente en masse qu'environ 1% de la composition en corps simple de la lithosphère. Il constitue en effet un des composants essentiels de la matière vivante dans laquelle il se rencontre à un taux relativement élevé. Il intervient indispensablement à l'édification des nucléotides et partant, des acides nucléiques

ainsi que des adénylates énergétiques (ATP, ADP, AMP). Il tend de ce fait à devenir un facteur limitant primordial dans de nombreux écosystèmes dont il conditionne ipso facto la productivité (Christian Lévêque, 1996). Le cycle du phosphore se distingue des autres importants cycles biogéochimiques (azote, soufre, carbone, oxygène et eau) par le fait qu'il ne comporte pas de composante gazeuse en quantité significative et qu'il n'affecte presque pas l'atmosphère (Beaudin et al, 2008).

La lithosphère est la source ultime de tout le phosphore de la biosphère. Bien que l'apatite soit l'un des minéraux primaires les plus facilement altérés, le phosphore est parmi les minéraux les moins biodisponibles (George, 2007). Cet élément relativement rare dans la biosphère possède un cycle qui passe par deux phases: l'une qui se déroule dans les écosystèmes terrestres, l'autre dans les écosystèmes aquatiques (Claude et al., 2012).

7.1. Cycle du phosphore en milieu terrestre :

Tout le phosphore de notre planète provient, à l'origine, principalement de roche magmatique et pour une très faible part des météorites (ISMA, 1980). Les roches phosphatées (apatites) s'altèrent lentement et leurs P, dissous dans l'eau des ruisseaux, des rivières et des fleuves, ces derniers vont progressivement enrichir l'eau de mer et des océans en cet élément contribuant à l'apparition de la vie (Baeyens, 1967 ; Pierzynski et al., 1994).

Le stock de phosphore disponible pour les êtres vivants est entièrement contenu dans la lithosphère. Les principales sources de phosphore inorganique sont constituées par des roches lignées, comme les apatites, et des dépôts de phosphates sédimentaires (phosphorites par exemple). Le phosphore minéral est, en définitive, un élément rare dans la biosphère dont il ne constitue que 1% de la teneur totale en corps simple; il tend de ce fait à devenir un facteur limitant primordial dans de nombreux écosystèmes dont il conditionne la productivité. Ce phosphore inorganique est mis en circulation par lessivage et dissolution dans les eaux continentales. Il est ainsi introduit dans les écosystèmes terrestres et absorbé par les végétaux qui l'incorporent dans divers substances organiques et le font ainsi passer dans les réseaux trophiques. Puis les phosphates organiques sont restitués.

Au sol avec les cadavres, déchets et excréments produits par les êtres vivants, attaqués par les micro-organismes et retransformés en orthophosphates minéraux, à nouveau disponibles pour les plantes vertes et autres autotrophes (Ramade, 2003).

7.2. Cycle du phosphore en milieu aquatique :

Le phosphore est introduit dans les écosystèmes aquatiques continentaux par le ruissellement. Les fleuves ramènent plus tard dans la mer qu'ils fertilisent perpétuellement par leur apport d'eaux riches en phosphates minéraux solubles (5 à 10%) et particulaires (90 à 95%). Ce transport intervient surtout lors des crues. Les 77 phosphates (solubles et particulaires) permettent donc la prolifération des algues marines et du phytoplancton, ce qui explique pourquoi les eaux littorales et, de façon générale, celles du plateau continental sont les plus productives.

D'une manière générale dans les eaux naturelles, les teneurs en phosphates dissous sont faibles: elles sont de $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$ pour les orthophosphates (PO_4^{-3}) et de $0,025 \text{ mg.L}^{-1}$ pour le phosphore dissous incluant les formes organiques, Les végétaux n'utilisent que la forme minérale dissoute.

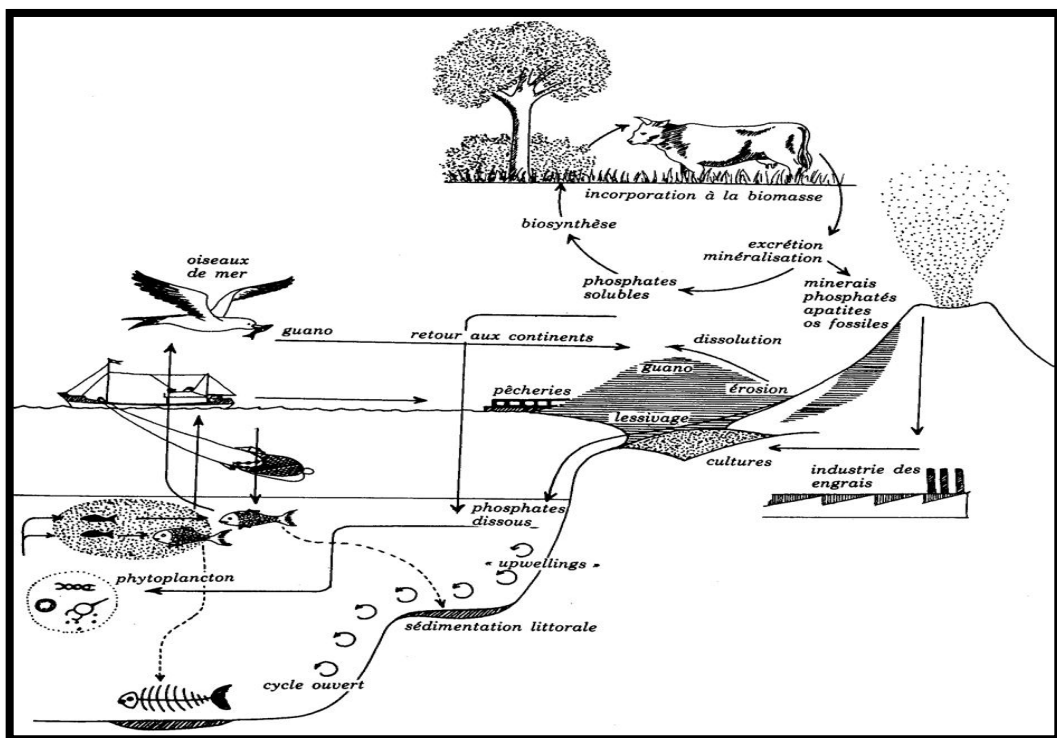


Figure 2 : Cycle du phosphore dans la biosphère (Ramade, 1984)

La quantité de phosphate disponible pour la production végétale, en milieu aquatique dépend donc des apports directs sous forme minérale et de la vitesse de transformation. Sous forme minérale soluble, du phosphore organique soluble ou particulaire, ce phosphore minéral est rapidement assimilé par les végétaux de sorte que les concentrations dans le non polluées

sont très faibles, Cela ne signifie pas qu'il n'existe pas de phosphate minéral mais qu'il est rapidement recyclé.

La biodisponibilité du phosphore traduit plus ou moins grande à quitter la phase particulaire. Pour la phase soluble assimilable par les végétaux. Elle constitue l'expression d'une dynamique globale du système et de l'ensemble des processus physico-chimiques et biologiques impliqués dans le cycle du phosphore.

Quant aux excréments des oiseaux, ils sont récoltés sur les falaises rocheuses où se trouvent les nids, et utilisés comme fertilisant phosphaté, le guano. Une autre partie minéralisée sous forme de sédiments à partir des cadavres des êtres vivants aquatiques accumulés dans les eaux peu profonde remonte par le phénomène d'upwelling (courants ascendants). Elle peut alors être incorporée dans les réseaux trophiques par le phytoplancton et passe alors par un cycle fermé. Mais la plus grande quantité de ce phosphore minéralisé se perd dans des sédiments très profonds. Elle est donc soustraite au recyclage et représente la partie ouverte du cycle de cet élément. Elle finira par se fossiliser sous forme de roches phosphatées au sein des plaques océaniques (Claude et al., 2012).

1. Le milieu

En Algérie, pays est où dominance semi-aride et où l'eau est au cœur des préoccupations de la société et des pouvoirs publics, la notion de bassin versant rentre de plus en plus dans le langage courant des ingénieurs et des décideurs. Le bassin est défini comme une entité topographique et hydrographique dans laquelle se produisent des entrées d'eau (sous forme de précipitations essentiellement, sans oublier les apports souterrains issus d'autres bassins) et où l'écoulement (et le transport de matériaux mobilisés par l'érosion) s'effectue suivant un système de pentes et de drains naturels en direction de l'exutoire ou embouchure du cours d'eau collecteur (Bravard J-P. et Petit F., 2000).

1.1. La situation géographique du bassin versant de Seybouse

Le bassin de Seybouse est un bassin exoréique situé dans la région Nord-Est de l'Algérie occupant une superficie de 6471 km² s'étend sur 240 km, couvrant au total environ de 0.288 % de la superficie de l'Algérie (Fig. 03), suivant une disposition sensiblement Sud-Ouest–Nord-Est, des confins des Garaet El Tarf et Guelif au Sud, jusqu'à la mer au Nord. L'oued Cherf prend naissance dans les Hautes Plaines (Berriche et Ain Babouche) et rencontre à l'Ouest de Guelma, l'oued Bouhamdane qui coule Sud-Ouest - Nord-Est, le long du versant Sud-tellien. Ces deux cours d'eau donnent lieu à l'oued Seybouse qui s'écoule d'Ouest en Est jusqu'à sa confluence avec l'oued Mellah, affluent issu du versant septentrional bien arrosé des Monts de Medjerda. Depuis, Seybouse change de direction pour rejoindre, plus au Nord, la mer Méditerranée, après avoir traversé la plaine côtière, comprise entre Dréan et Annaba (Mebarki A., 1982 et 1984). La majorité des apports de l'oued Bouhamdane sont captés par le barrage de Hammam Debagh alors que les eaux d'oued Cherf supérieur sont exploitées par le barrage de Foum El Khanga.

Le bassin de Seybouse couvre 68 communes dans 7 Wilaya (Fig. 3): Annaba, Tarf, SoukAhras, Skikda, Guelma, Oum el Bouaghi, Constantine, ses eaux représentent une source fondamentale de vie dans la région (ABH, 1999).

Le bassin de Seybouse est généralement divisé en 6 sous-bassins. Nous pouvons distinguer trois sous bassins principaux (Blayac.1912):

- Sous Bassin versant de Bouhamdane: 1136Km².
- Sous Bassin versant de la moyenne Seybouse: 818Km².
- Sous Bassin versant de la basse Seybouse: 1057Km²



Figure 3: Carte de situation géographique et du découpage administratif du bassin versant de la Seybouse (ABH, 1999).

1.1.1. Sous-Bassin de Bouhamdane

Il est traversé par oued Bouhamdane dont la longueur est estimée à 37,49Km (Fig. 3), qui est alimenté par plusieurs affluents dont les principaux sont:

- Oued Zenati 52,40 Km,
- Oued Dardar 10,53 Km,
- Oued Sabath 10,86 Km,
- Oued El Aria 10,79 Km (ABH, 1999).

La composition des couches lithologiques dominantes du secteur d'Oued Zenati est dominée par du grès, d'argiles et de marnes ne permettant pas d'infiltration d'une grande quantité d'eau. Du côté d'Oued Sabath c'est des Marno- calcaires.

1.1.2 Le Bassin de Guelma

Partant de Hedjaz Amar, la Seybouse grandisse et ceci par l'union du Bouhamdane et du Cherf débouche dans le Bassin de Guelma. Plusieurs cours d'eau viennent y affluer :

- Oued Boumia 12,70 Km,
- Oued Bou Sorra 16,32 Km,
- Oued El Maiz 10,16 Km,
- Oued Helia 18,41 Km,
- Oued Bou Djedra 10,07 Km (Fig. 3) (ABH,1999).

La constitution lithologique de la région de Guelma est globalement composée de terrains sédimentaires; entre Medjaz Amar et Bentabouche une apparition des Marno-calcaires, ces derniers sont fissurés ce qui permet la constitution de ressources aquifères importantes c'est le cas de celle qui se trouve à l'Ouest de Bouhachana (source de Oued Hlia) qui donne un débit de 60 l/s (Ghachi, 1986).

1.1.3. Le Bassin du Mellah

Son cours est principalement formé par la réunion de l'oued Sfa, Cheham et oued Ranem. Ce dernier porte le nom de oued R"biba, Sekaka avant de recevoir les eaux de l'oued Rhirane formé à son tour par la réunion oued Hammam et oued R"biba. Au Nord-Est, les oueds Bou Redine et maaza forment oued El Mellah en aval. Oued Ghanem (considéré comme le principal affluent de Mellah) se salit en traversant les terrains gypseux de la région d'Oued Cheham qui est peu perméable en saison sèche (Fig. 3).

Alors que les alluvions des terrasses de Bouchegouf semblent plus argileuses que celles de Guelma et sont moyennement perméables.

1.1.4. Le Bassin de la basse Seybouse

La Seybouse acquit un chemin entre Bouchegouf et Drean, de direction Sud-Nord c'est la dernière étape à franchir avant d'arriver à la mer. A ce niveau, la Seybouse est alimentée de l'Ouest par :

- Oued Ressoul: 17,56 Km.
- Oued Dardara: 25,56 Km.
- Oued Frarah: 12,76 Km.
- Oued Boudjema: 17,71 Km (ABH.1999).

1.2. L'organisation du réseau hydrographique: Oued Seybouse et ses principaux affluents

Le bassin versant Seybouse est constitué principalement du cours d'eau principal l'Oued Seybouse et ses majeurs affluents dont l'écoulement général est d'Ouest en Est pour l'Oued Bouhamdane et du Sud vers le Nord pour l'Oued Cherf, l'Oued Maiz, l'Oued Zimba, l'Oued Boussora, l'Oued H'lia et l'Oued Mellah (Fig.4). L'Oued Bouhamdane et l'Oued Cheref drainent respectivement des sous bassins de 1105km² et 1710km² à la station de Medjez Amar, point de confluence et naissance de l'Oued Seybouse. Le réseau hydrographique emprunte surtout les axes des principaux plissements dans les couches marneuses facilement érodables. D'autres affluents suivent le sens des failles affectant les formations mio-pliocènes.

1.2.1. L'artère principale

Deux zones montagneuses constituent les principales zones d'alimentation en eau du bassin versant de la Seybouse (Fig.4) :

- les Monts de la Medjerdah, avec le djebel Ras El Alia qui culmine à 1317 m, et le djebel Zaoura (1292m), sur le versant septentrional du Tell. Ils constituent une zone commune de partage des eaux et donnent naissance à trois artères hydrographiques:
- l'Oued Cherf formé par la rencontre de l'Oued Tiffech-Lahmimime et l'Oued Crab;
- l'Oued Zouamel dans le bassin amont de la Medjerdah;
- l'Oued R'biba pour l'Oued Mellah.

Une seconde zone montagneuse est constituée par le djebel Sidi Reghiss et la chaîne des Sellaoua. L'Oued Settara de direction Sud-ouest-Nord-est est issu de la rencontre de deux Oueds. Le premier issu de la rencontre des Oueds Dhimine et Mebdoua et le second des Oueds Ain Babouch et Ousseh. Tous ces cours d'eau sont alimentés à partir de cours d'eau secondaires assez denses issus du Djebel Sidi Reghiss et de la chaîne des Sellaoua.

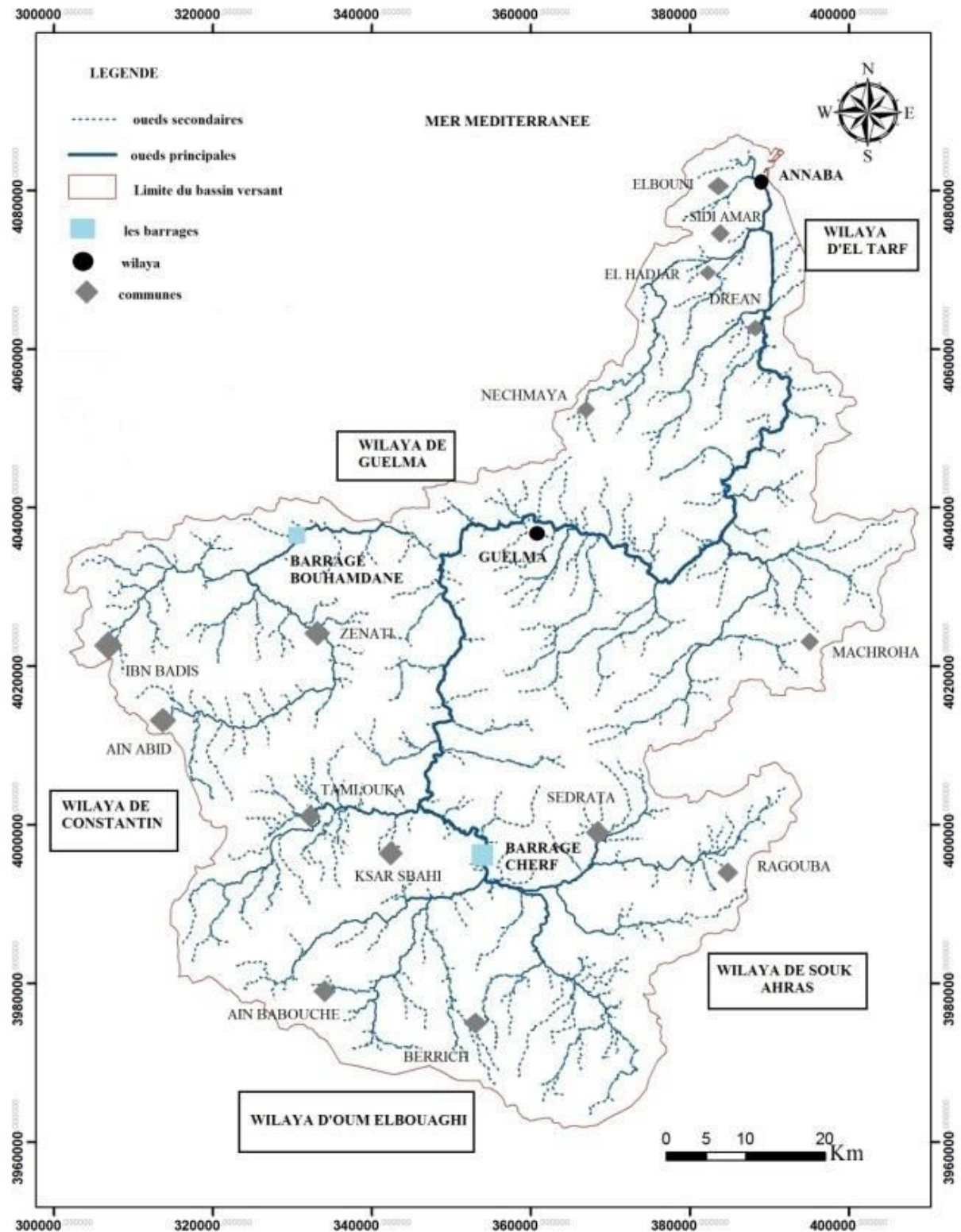


Figure 4: Carte des réseaux hydrographiques du bassin versant de Seybouse (d'après Chenaker et Sifi, 2017)

L'oued Cherf qui constitue le bassin amont de l'oued Seybouse résulte de la rencontre des oueds Cherf et Settara qui drainent respectivement 1099.4 km² et 668.4 km². Les oueds Lahmimime et oued Crab prennent leurs sources sur le piémont Sud des monts de la Medjerdah et forment l'oued Cherf après leur rencontre. Celui-ci reçoit des affluents issus des Hautes plaines: Oued Radran, oued Trouch et oued Ain Senoub (Louamri, 2013).

Les oueds ont un parcours en Hautes Plaines (oued Cherf, oued Trouch, oued Settara et oued M'gaisba) et en zone intermédiaire de transition avec le Sud-Tell.

L'oued Bouhamdane, principal affluent de rive gauche, se forme après la jonction des oueds Zenati et Sabath, rejoint l'oued Cherf à Medjez Ammar (Fig.4). Après la confluence, l'oued prend la dénomination d'oued Seybouse, et reçoit les écoulements des affluents issus des versants Nord et Sud de la vallée (oued Halia, oued Bou Sorra, oued Zimba) (Louamri, 2013).

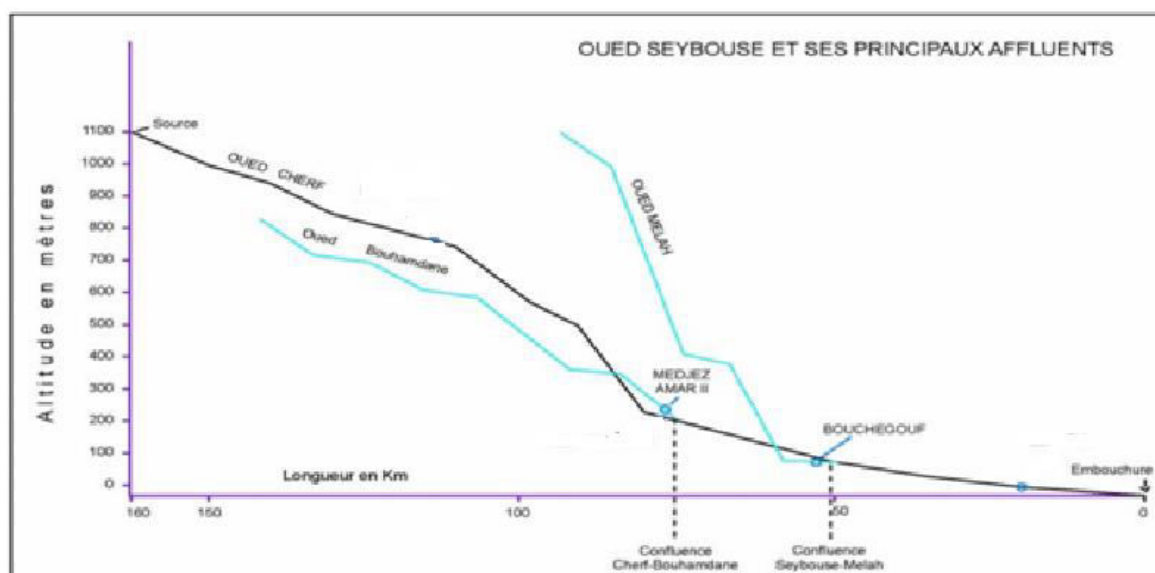


Figure 5 : Profil en long de l'Oued Seybouse (d'après Ghachi A., 1986).

Après sa confluence avec l'oued Mellah à l'aval de Bouchegouf (Fig.05, 06), la Seybouse parcourt dans son cours inférieur une zone de plaine littorale. Les oueds Ressoul, Dardar et Meboudja issus des moyennes montagnes affluent dans la Basse Seybouse.

La Basse Seybouse se caractérise par des pentes faibles et par un faible développement du chevelu hydrographique. Mais les affluents de rive gauche issus de la chaîne numidique sont assez importants (oued Ressoul et oued Dardar).

Les grandes artères de l'oued Seybouse présentent une organisation orthogonale liée à la tectonique (Louamri, 2013).

1.2.2. Les affluents de l'oued Seybouse caractérisés par leurs profils en long

1.2.2.1. Oued Cherf

Limité à la station de Aioun Settara, le bassin de l'oued Cherf est inclus dans presque totalité en Hautes Plaines, et draine un bassin de 1743km². Si on l'étend à sa confluence avec le Bouhamdane à Medjez Ammar (Fig.5), il intègre une zone de transition avec le Tell (Louamri, 2013).

1.2.2.2. Oued Bouhamdane

C'est un bassin sud-tellien au relief compartimenté. Le réseau hydrographique principal est constitué par les oueds Zenati, Sabath et Bouhamdane proprement dit. Les altitudes sont comprises entre 270m, à la station de Medjez Ammar II au niveau de la vallée et à 1281m au sommet du djebel Mzarat Sidi Chagref (Louamri, 2013).

1.2.2.3. Moyenne Seybouse

Le bassin de la Moyenne Seybouse est en fait constitué de bassins de surfaces modestes qui alimentent des oueds avec les écoulements des affluents issus des versants Nord et Sud de la vallée, perpendiculaires à l'oued principal, l'oued Seybouse (oued Helia, oued Bou Sorra, oued Boumia) (Louamri, 2013). Les apports de ces bassins de surfaces modestes ne peuvent pas être négligés. Ils sont très utiles dans le cadre des aménagements des ressources en eau à l'échelle des communes. Certains de ces bassins alimentent des retenues collinaires. Dans le bassin de la Moyenne Seybouse, les oueds ne sont pas équipés de stations hydrométriques.

1.2.2.4. Oued Mellah

Mellah est le principal affluent de rive droite de la Seybouse avec laquelle il conflue au débouché de la vallée de Guelma. Il doit son nom à la forte salinité des eaux dans le bassin aval. Celle-ci est due au lessivage des terrains gypsifères du Trias situés dans le bassin moyen. D'une superficie de 551km², il draine une zone montagneuse du versant septentrional du Tell (les Monts de la Medjerdah).

De par ses caractéristiques topographiques et morphométriques, le bassin peut être décomposé en trois zones différenciées. Le bassin amont est essentiellement montagneux et accidenté (Fig.07, 08), avec des sommets dépassant 1000m (djebel Ras El Alia 1317m, djebel Zaoura 1292 m).

Le bassin moyen est montagneux, mais nettement moins accidenté. Le bassin aval présente des reliefs moins élevés, Djebel Metelek (704m) et djebel El Maza (500m). Cependant, la

dénivelée brute du bassin est importante 1222m (Fig.07, 08). Près de 70% de la surface du bassin se situe à une altitude supérieure à 500m (Louamri, 2013).

1.2.2.5. Basse Seybouse et l'oued Ressoul

Le bassin de l'oued Ressoul à Ain Berda est localisé au sein de la Chaîne numidique. Le dessin du réseau hydrographique du bassin de l'oued Ressoul est très simple. Il est constitué de deux principales artères (oued Mouiya Berda et oued Dardara) (Louamri, 2013).

1.3. Anthropisation et occupation du sol

1.3.1. Population:

Un million cinq cent mille d'habitants (1.500.000) répartis en soixante huit (68) communes, et sept (07) wilayas. Trente trois (33) communes sont entièrement incluses dans le bassin et trente cinq (35) partiellement. La seule agglomération d'ANNABA représente 18% de la population totale du bassin (ABH, 2002).

1.3.2. Agriculture:

Les pratiques actuelles des cultures et de l'élevage influencent fortement le régime et la qualité des eaux. L'utilisation massive des engrais et des pesticides contribuent à la dégradation des eaux de surface et souterraine. Le transfert des engrais et pesticides vers la nappe se fait soit par infiltration sur l'ensemble de la surface cultivée, soit par rejet dans les puits perdus et gouffres. Les élevages intensifs des bovins (étables, fermes pilotes) et volailles (poulaillers), produisent une grande quantité de déjections azotées qui peuvent être aussi à l'origine de la pollution des eaux de surface et souterraines. Les nitrates sont des engrais azotés les plus utilisés dans l'agriculture, ce sont des sels très solubles qui sont soumis au processus de lessivage dans le sol et s'enfoncent progressivement pour atteindre la nappe (Becheri N, 2011).

1.3.3. Barrages et irrigation

Le bassin de la Seybouse compte 05 Barrages d'une capacité de 400 millions m³ et 64 retenues collinaires, 02 sont classées en Barrage de catégorie 1 (grands Barrages), d'une capacité totale de 377 hm³ et qui peuvent régulariser 110 hm³. 03 autres font partie de la catégorie 2 (moyens Barrages) (Tab. 2) (ABH, 1999).

Irrigation traditionnelle (gravitaire) dans le bassin du Haut Charef, et irrigation moderne (par aspersion) dans la basse Seybouse. Céréales et cultures maraîchères sont les principales spéculations des périmètres irrigués. La superficie irriguée dans le bassin de la SEYBOUSE est de 13976 Hectares (ABH, 1999).

Tableau 2 : Les Barrages de bassin versant de Seybouse (ABH, 1999).

Wilaya	Commune	Dénomination	Capacité (hm ³)	V. Régularisé (hm ³ /an)	Destination
41	Zouabi	Foum El Khanga	157	55	Irrigation
41	Tiffech	Tiffech	5,8	2,76	Irrigation
25	Ben Badis	El Haria	1,8	0,32	Irrigation
24	Bouhamdane	Hammam Debagh	220	55	AEP+Irrigation
24	Ain Makhlouf	Medjez El Bgare	2,86	2	Irrigation

1.3.4. L'industrie

Le bassin à vocation essentiellement agricole a connu, il y a longtemps, un développement industriel très important avec pour conséquences des rejets abondants, non traités dans les milieux physiques et en particulier dans l'eau de Seybouse. Les points de pollution potentielle prennent naissance de la ville de Guelma jusqu'à l'embouchure. Cependant il y a lieu de noter également que l'industrie se concentre au niveau de la région d'Annaba, et se positionne surtout en bordure de l'oued Meboudja qui se jette dans l'Oued Seybouse.

- Industries de Sidérurgie;
- Industrie chimique avec le complexe des engrais phosphatés et azotés (ASMIDAL actuellement FERTIAL);
- et enfin l'industrie agro-alimentaire présentée par de petites entreprises.

L'ensemble des rejets urbains et industriels se font directement dans les oueds, sauf celui de l'usine ASMIDAL qui envoie ces rejets au niveau de la mer (Aimène, 2007; Gouiz, 2006). L'industrie chimique est l'un des secteurs les plus consommateur d'eau en particulier pour la fabrication d'engrais chimiques à usage agricole. Le complexe d'Asmidal d'Annaba, par exemple utilise quotidiennement plus d'un Million de m³ d'eau (Fertial, com. pers. 2007) et qui sera rejeté par la suite dans l'environnement.

1.3.5. Les effluents urbains

Le traitement des eaux usées fait encore défaut dans la plupart des zones urbaines situées le long des côtes, environ 60% des déchets urbains rejetés en Méditerranée ne sont pas encore traités cependant que les frais de santé et autres pertes économiques, en particulier dans les zones touristiques du fait de la contamination des eaux côtières, sont plus élevés que l'investissement nécessaire pour atteindre une qualité acceptable du rejet des eaux usées (MEATT/PNUE, 1994). Les eaux à usages domestiques (de lavabo, de bain et de douche, de lave vaisselle), les apports physiologiques sont essentiellement les matières fécales et les urines humaines. Environ 30- 45 kg de matières fécales humides sont produites par personne

et par année, soit 10-15 kg de matières sèches fécales (Lentner et al., 1981). Selon Kafi-Benyahia. (2006), la production journalière moyenne par habitant d'urine et de matières fécales est respectivement de l'ordre de 1 060 ml /hab/j et 112 g /hab/j . D'autre part, Almeida et al., (1999) donnent les masses de matières en suspension, de matières organiques et azotées pour 1ml d'urine et 1g de matière fécale (Laak, 1974, Seigrist et al., 1976). On peut remarquer par ailleurs que l'urine constitue une source principale de matières azotées.

Trois stations d'épuration seulement sur l'ensemble du bassin de Seybouse traitant les effluents domestiques (Allelick, à Annaba traite actuellement 40 000 m³/j, Guelma et Sedrata). Une en construction à Oued Zenati (140.000 eq.hab: 35.000 m³/j) (AHB, 2013).

1.3.6. Le couvert végétal

Selon Dubreuil et Guiscafne (1974), la végétation intervient sous son aspect de couverture du sol, plus ou moins modifiée sous l'influence de l'homme. Deux classifications sont utilisées pour étudier le taux de recouvrement de la végétation: la classification de Tricart (1968) et celle de Dubreuil et Guiscafne (1974) développée au sein de l'ORSTOM. La méthode de Tricart (1968) prône la classification du couvert végétal par ordre de densité (ou d'efficacité) décroissante. Celle-ci aboutit pour l'ensemble du bassin de la Seybouse aux résultats suivants, élaborés à partir de la carte internationale du tapis végétal au 1/1000 000 feuilles Tunis-Sfax et Alger sur le bassin de l'oued Seybouse (Mebarki, 2005) .

- **Surfaces bien protégées:** le couvert forestier et les prairies. Les forêts de Chêne liège et de chêne vert se localisent préférentiellement dans la zone nord-tellienne mais également dans le bassin sud-tellien de l'oued Mellah (zone de Mechroha et Ain Seynour). Dans la zone sud-tellienne, c'est le pin d'Alep qui occupe les zones forestières. D'après Mebarki (2005), ces deux formations occupent moins de 20 % de la surface dans les bassins de l'Algérie orientale. La majorité de ces surfaces bien protégées est localisée dans les zones formant les reliefs qui constituent les lignes de partage des eaux entre le bassin de la Seybouse et les bassins côtiers constantinois, le bassin inférieur de la Seybouse maritime, le bassin de l'oued Mellah et le bassin de l'oued Bouhamdane;

- **Surfaces mal protégées ou nues** (terrains dénudés, steppe, broussailles) représentent autour de 25 % de la superficie totale du bassin;

- **Surfaces incomplètement protégées** (terres labourées et arboriculture extensive) occupent la majeure partie des Hautes Plaines, et une grande surface dans tous les bassins. Elles s'élèvent à 56 %.

Globalement, la zone tellienne est le domaine de la forêt de chêne vert et de chêne liège, plante calcifuge qu'on trouve sur les sommets gréseux alors que le domaine atlasique, est celui du domaine de pin d'Alep et de genévriers rouges. La zone des Hautes Plaines est le domaine de la céréaliculture associée à l'élevage. Le bassin amont de l'oued Cherf est très dénudé, alors que dans le Bas-Cherf, zone de transition avec le Tell, la végétation est plus diversifiée .

1.4. La géologie

Le bassin versant de la Seybouse est constitué par des formations sablo-argileuses de 2 à 20m d'épaisseur avec une perméabilité de l'ordre de 10^{-6} à $5 \cdot 10^{-5} m \cdot s^{-1}$, par contre au niveau du lit de l'oued, les formations sont constituées par des matériaux alluvionnaires, des limons et des cailloux (Debiech, 2002)

Le cadre géologique d'un bassin versant conditionne les écoulements des eaux de surface et souterraines. La zone d'étude fait partie de l'ensemble géologique du Tell d'Algérie. Cet ensemble s'étend de la région de Constantine à la frontière Algéro-Tunisienne. Sa structure est très complexe et essentiellement due à des mouvements Tertiaire, surtout Miocène. La zone d'étude est constituée de trois sous bassins qui sont, la basse, la moyenne et la haute Seybouse.

1.4.1. La basse Seybouse

Les études réalisées dans la région (Joleaud, 1936; Hilly, 1962; Vila, 1980; Lahondère, 1987; Gliezes, 1988; Hammor, 1992) monte l'existence de deux type de terrains; métamorphique et sédimentaire. L'échelle stratigraphique de ces terrains se répartit du paléozoïque au Quaternaire récent.

1.4.2. La moyenne Seybouse

On rencontre des terrains allant du Primaire jusqu'au Quaternaire (Bechiri N, 2011).

1.4.3. La haute Seybouse

D'une part une formation détritique poreuse constituant la majeure partie de la plaine et d'autre part une formation contenant des calcaires fracturés fortement karstifiés et minéralisés. Ces informations sont complétées par les données de sondages mécaniques réalisés dans la plaine.

- La tectonique cassante qui est à l'origine de la formation du fossé d'effondrement, très visible sur les deux feuilles géologiques, trois principales directions de failles affectent les formations calcaires : NW-SE, N-S et E-W.

- Les plis qui affectent la région et qui sont d'orientation NE-SW. (Brahmia A, 2000).

1.5. La pluviométrie

La pluviométrie dans le bassin de Seybouse varie considérablement entre le nord et le sud, en général, elle se caractérise par une forte intensité des précipitations en hiver et d'une diminution des amplitudes pluviométriques en été (ABH, 2013).

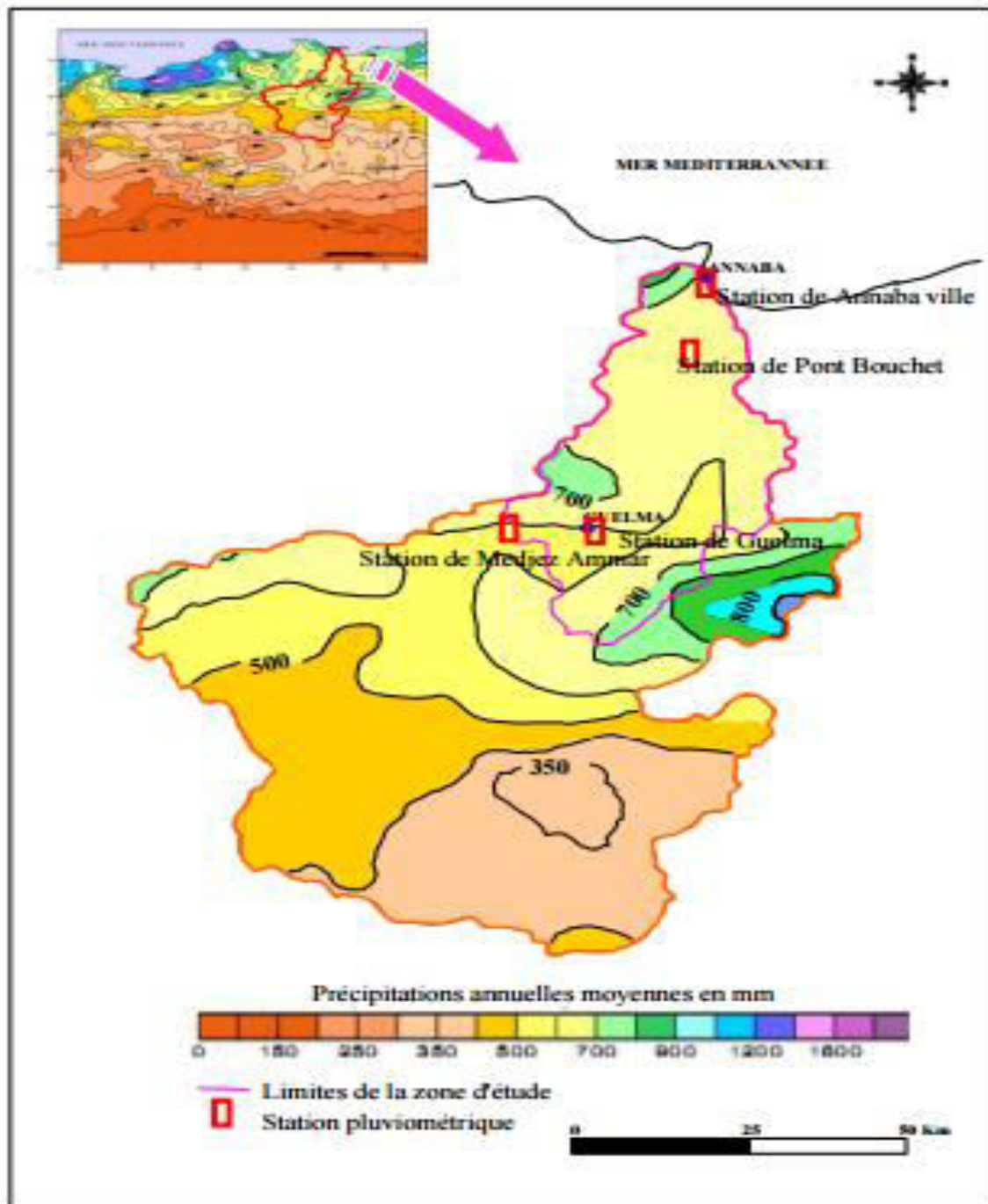


Figure 6 : Carte des précipitations annuelles moyennes de l'Est algérien (établie d'après A.N.R.H., données moyennes de 60 ans, période du 1er septembre 1921 au 31 août 1960 et du 1er septembre 1986 au 31 août 1989), modifiée.

Plusieurs facteurs interfèrent pour donner un paysage présentant un climat à fort contraste entre le Nord et le Sud du bassin dont les principaux sont l'importance du volume montagneux à proximité de la mer, relief très compartimenté et position par rapport aux vents humides du Nord.

Au Nord, la zone la plus arrosée étant le massif de l'Edough où la pluie moyenne annuelle est de l'ordre de 1141.57 mm à Séraïdi. Les précipitations annuelles diminuent du Nord vers le Sud (695.01 mm à les Salines, 643.75 à Annaba ville, 613.03 à pont Bouchet, 695.01 à Ain Berda, 545.58 mm à Guelma). Les lois de l'éloignement de la mer, l'orographie et l'exposition des versants aux vents humides justifient les variations pluviométriques d'une zone à l'autre de la région d'étude (ABH, 2013).

2. Echantillonnage et méthode d'analyse des éléments chimiques

2.1. Echantillonnage

L'échantillonnage a été effectué au cours de l'année 2016/2017 (septembre 2016 à avril 2017) dans sept (07) stations (Fig. 20) :

Station 1 : A l'amont 1 du barrage de foug elkhanga (Oued Sbihi)

Station 2 : A l'amont 2 du barrage de foug elkhanga (Oued Sedrata)

Station 3 : A l'aval du barrage de foug elkhanga

Station 4 : A l'amont du barrage de Bouhamdane

Station 5 : A l'aval du barrage de Bouhamdane

Station 6 : A l'amont de l'estuaire (station rivière)

Station 7 : A l'aval de l'estuaire (station embouchure)

Les prélèvements ont été effectués deux fois par an le 08/09/2016 (saison sèche) et le 13/04/2017 (saison humide).



Figure 7 : Station 1 A l'amont 1 du Barrage de foug elkhanga (Oued Sbihi).



Figure 8 : Station 2 A l'amont du barrage de foug elkhanga (Oued Sedrata).



Figure 9 : Station 3: A l'aval du Barrage de foug elkhanga.



Figure 10 : Station 4 : A l'amont du barrage de Bouhamdane.



Figure 11 : Station 5 : A l'aval du barrage de Bouhamdane.



Figure 12 : Station 6 : A l'amont de l'estuaire (station rivière).



Figure 13 : Station 7 : A l'aval de l'estuaire (embouchure).

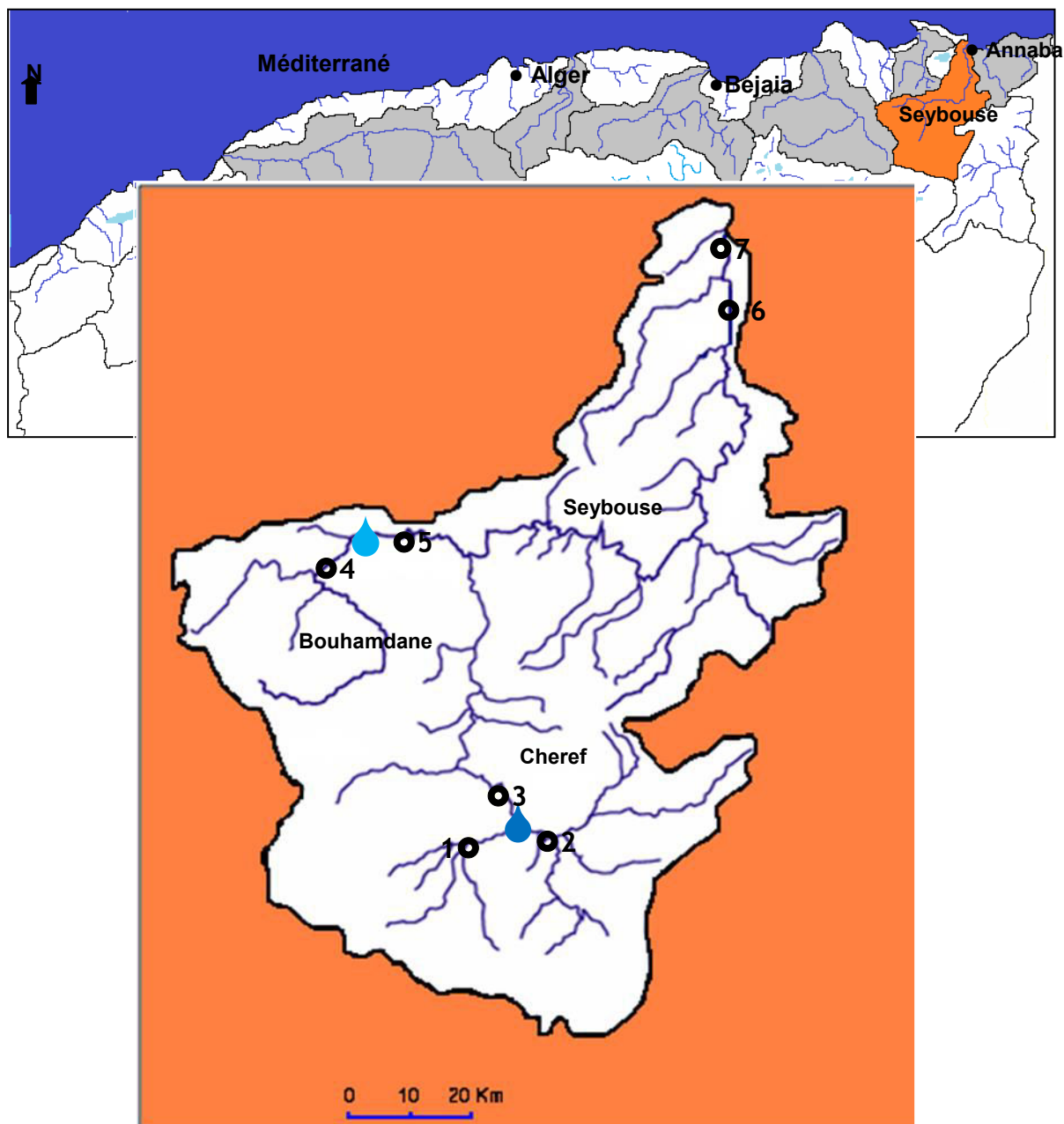


Figure 14 : Carte géographique qui représente le bassin de Seybouse et les stations d'échantillonnage; ◆: Barrage Bouhamdane, ◆: Barrage Charef, ●: Stations **1**: Pont ksar sbihi (amont barrage charef 1), **2**: Zouabi (amont barrage charef 2), **3**: Aval barrage charef, **4**: Amont Barrage bouhamdane, **5**: Aval barrage bouhamdane, **6**: Amont estuaire (Station rivière), **7**: Embouchure.

Les relevés de température (°C) et de salinité (Practical Salinity Unit ou P.S.U) et la conductivité électrique en (ms/cm) et le total des solides dissous (total dissolved solids) en mg/l ont été effectués à l'aide d'un Multi paramètre wtw 1970i (Fig. 14).

Ces paramètres facilement mesurables et utiles pour la détermination de l'état chimique des polluants dans l'eau (Mesure in situ).



Figure 15 : Le Multi paramètre wtw 1970i.

Des difficultés pratiques nous ont empêché l'usage du courantomètre dans les stations d'échantillonnage pour l'estimation des vitesses des courants d'eaux. Les vitesses ont été calculées en jetant un objet flottant sur une distance connue. En connaissant la surface de la section mouillée, le débit des eaux a donc été approximé de façon intuitive. L'unité utilisée le plus couramment pour le débit est le mètre cube par seconde (m^3/s).

Tableau 3 : Les stations d'échantillonnage et leurs caractéristiques.

Station	Coordonnées	Altitude (m)
St1	36°03'10.90"N 7°19'41.52"E	754
St2	36°04'28.33"N 7°29'39.34"E	753
St3	36°06'57.90"N 7°22'56.84"E	712
St4	36°28'14.52"N 7°08'35.83"E	378
St5	36°27'59.50"N 7°15'46.98"E	272
St6	36°47'55.87"N 7°46'27.60"E	7
St7	36°51'56.00"N 7°46'10.90"E	1

Les échantillons d'eau sont ensuite conservés dans des bouteilles en Polyéthylène bien propres et rincées auparavant avec cette même eau. Ces bouteilles bien remplies sans bulles d'air sont ramenées au laboratoire pour effectuer les différentes analyses.

2.2. Transport des échantillons

Après le prélèvement, les échantillons sont transportés immédiatement au laboratoire de recherche du département de biologie marine (Laboratoire des analyses biogéochimiques des environnements aquatiques (LABEA)), de l'Université Badji Moukhtar d'Annaba. Les

échantillons prélevés sont conservés au froid dans les conditions préconisées par [Rodier et al \(2005\)](#).

3. Méthode d'analyse chimique

3.1. Dosage des phosphates (PO_4^{3-})

La méthode d'analyse chimique est succinctement résumée dans le tableau 06.

Tableau 4 : Résumé de la méthode d'analyse du phosphore.

Eléments	Méthodes	Références
Phosphate (PO_4^{3-})	Dosage spectrophotométrique : ($\lambda = 885 \text{ nm}$)	Aminotand chaussepied (1983)

La température des échantillons doit être comprise entre 15 et 30C°. On procède comme suit :

- Préparer le mélange-réactif.
- Mesurer 50 ml d'échantillon.
- Ajouter 5 ml de mélange-réactif et homogénéiser aussitôt.
- Attendre 5 min et mesurer l'absorbance à 885 nm en cuves de 3 cm de trajet optique, par apport à l'eau distillée.

Les concentrations des phosphates sont déterminées à l'aide de la courbe d'étalonnage, l'équation linéaire $\text{DO} = aC + b$ dont $a= 0,0227$, $b= 0,013$ et $R^2=0,9974$.

Les teneurs en PO_4^{3-} sont exprimées en Micromoles par litre ($\mu\text{m. l}^{-1}$) ou (μM).

1. Interprétation des résultats :

1.1. Environnement physique :

Les résultats de mesures des différents paramètres sont configurés ci-dessous (Tab. 5). Leur présentation graphique pour chacun des paramètres permet de mieux montrer les éventuelles variations et peuvent faciliter les interprétations.

Tableau 5 : Les paramètres physiques mesurés in-situ en saison sèche (Le 08/09/2016) et en saison humide (Le 13/4/2017).

		T (°C)	S (P.S.U)	CE (us/cm)	Débit (m³/s)
Saison sèche	S1	15,7	1,6	3380	0,2
	S2	18,4	1,1	2440	0,2
	S3	18,7	1,3	2780	1
	S4	21,7	1	2210	0
	S5	15	0,1	735	0,5
	S6	25,4	0,9	2050	0,5
	S7	26,7	4,6	8 120	0
Saison humide	S1	13,4	1,9	3740	0,5
	S2	14	1	2190	0,5
	S3	12,9	1,4	2950	1
	S4	21	0,6	1554	1
	S5	18,8	0,2	858	2
	S6	18,3	1,2	2560	2
	S7	19,5	1,9	3780	7

Tableau 6: Les paramètres physiques mesurés in-situ en saison sèche et humides, les minimums, les maximums et les moyennes sont aussi calculés.

		T (°C)	S (P.S.U)	CE (us/cm)	Débit (m³/s)
Saison sèche	Min.	15	0,1	735	0
	Max.	26,7	4,6	8 120	1
	Moy.	20,22	1,51	3102	0,34
Saison humide	Min.	12,9	0,2	858	0,5
	Max.	21	1,9	3780	7
	Moy.	16,84	1,17	2519	2
Période d'étude	Moy. générale	18,53	1,34	2815	1,17

1.1.1. La température :

L'un des facteurs qui influe sur la vitesse des réactions chimiques et qui joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique et surtout bactérienne, est la température. Par définition la température de l'eau est un facteur qui entraîne d'importantes répercussions écologiques et joue un rôle dans la solubilité des sels et des gaz. Une température trop élevée favorise la croissance des microorganismes (Moussa, 2005; OMS, 2006).

La température de l'eau de l'Oued Seybouse durant la période d'étude est d'une moyenne de 18,53 °C, un maximum de 26,7 et un minimum de 12,9°C. Il est à noter que les valeurs de températures enregistrées augmentent d'amont en aval quelque soit la saison ce qui se traduit par le passage depuis le climat des zones internes semi-aride vers le climat Méditerranéen. Ainsi on constate que les valeurs élevées de la température (25,4, 26,7 C°) sont enregistrés en période sèche. Les températures mesurées tout au long du continuum aquatiques variant considérablement mais elles ne dépassent pas les normes des eaux de surfaces 30°C (Rodier, 1996). (Fig. 15, Tab. 05, Tab. 06).

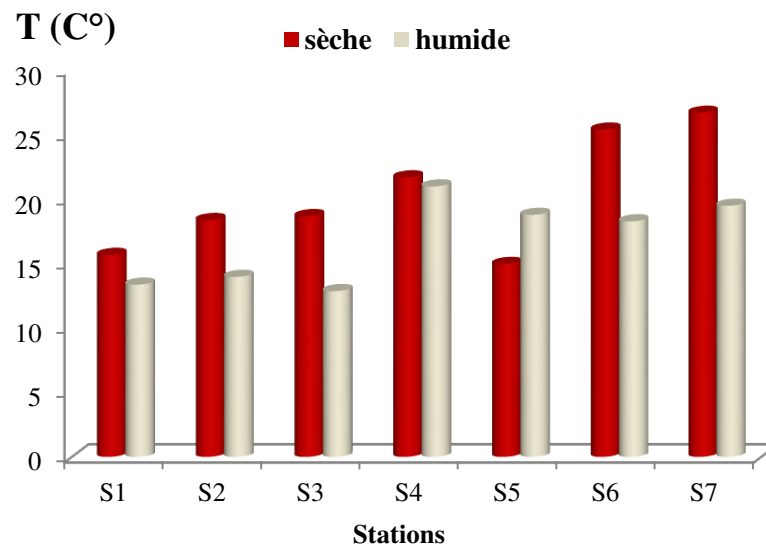


Figure 16 : Variations de la température en amont et en aval des barrages, en amont et en aval de l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016.2017.

1.1.2. La salinité :

La salinité est une propriété de l'eau qui est fondamentale à l'étude des milieux aquatiques. Elle correspond à la masse de sels contenue dans 1 kg d'eau, elle s'exprime en UPS: Unité Pratique de Salinité, qui équivaut approximativement à 1 mg/g de sel. La salinité de l'eau de mer est en moyenne de 35 UPS, soit 35g/kg, celle des eaux saumâtres est de 5 à 18 UPS et celle des eaux douces est inférieure de 0,5 UPS (Aminot. A et Chaussepied. M, 1983).

La salinité des eaux d'oued Seybouse varie durant la période d'étude en moyenne de 1,51 P.S.U pour la saison sèche et 1,17 P.S.U en période humide. C'est la station embouchure qui présente les teneurs en salinités les plus importantes variant entre 4,6 P.S.U (saison sèche) et 1,9 P.S.U (saison humide) avec une moyenne de 1,34 P.S.U. Les valeurs élevées sont en effet le résultat des intrusions marines dans l'Oued lorsque le débit s'affaiblit. Les pénétrations marines ne se font sentir véritablement qu'en période sèche ou les précipitations sont très faibles en cette époque de l'année (Fig. 16, Tab. 05, Tab. 06).

L'augmentation de la salinité des eaux de la station aval au niveau de l'embouchure est la conséquence à la fois des intrusions marines et des activités industrielles et spécialement au niveau de la commune de Sidi Salem (Necib and Rezig , 2011) (exp: effluent du complexe FERTIAL qui montre des salinités parfois comparables à celles du littoral (Ounissi et al., 2008).

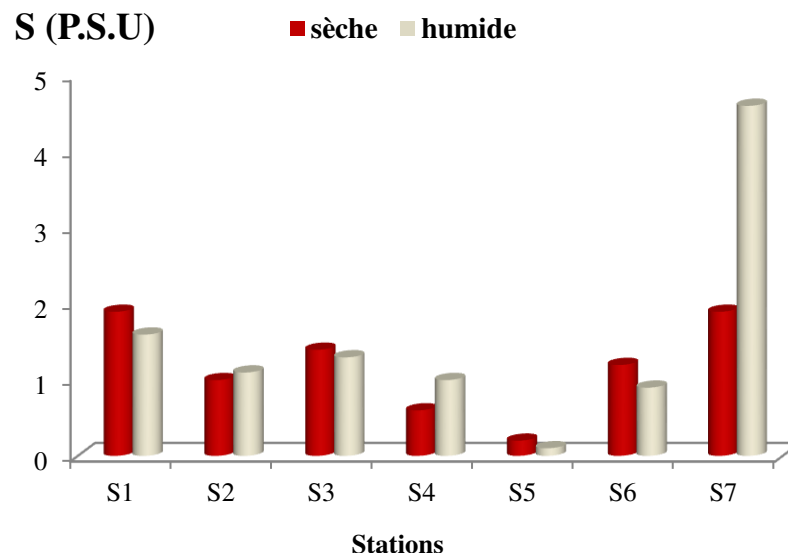


Figure 17 : Variations de la salinité en amont et en aval des barrages, en amont et en aval de l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016.2017

1.1.3. La Conductivité électrique (CE) :

La conductivité électrique est proportionnelle à la quantité des sels ionisables dissous, elle constitue un bio-indicateur du degré de minéralisation de l'eau (Nisbet and Verneaux, 1970). En effet, la conductivité électrique est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. La plupart des sels minéraux en solution sont de bons conducteurs. Par contre, les composés organiques sont de mauvais conducteurs. La conductivité électrique standard s'exprime généralement en millisiemens par centimètre (mS/cm) à 20 °C. La CE d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Beaudry et Henry, 1984).

Les eaux d'Oued Seybouse présentent des valeurs de conductivité électrique fluctuent dans l'intervalle [735 - 8120] $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec un moyenne de 2810 $\mu\text{S}/\text{cm}$ durant la période d'étude. Certaines valeurs de la conductivité électrique des eaux de l'Oued Seybouse sont supérieures à 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, donc ces eaux sont de minéralisation élevée.

L'Oued Seybouse transporte des sels, donnant une grande conductivité. Ces sels provenant des rejets industriels du complexe FERTIAL et spécialement au niveau de la commune de Sidi Salem (Necib A. et Rezig H., 2011), ainsi l'intrusion des eaux marines pourraient être la cause de ces fortes valeurs notamment dans la station embouchure où la conductivité atteint son maximum de 8120 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en saison sèche.

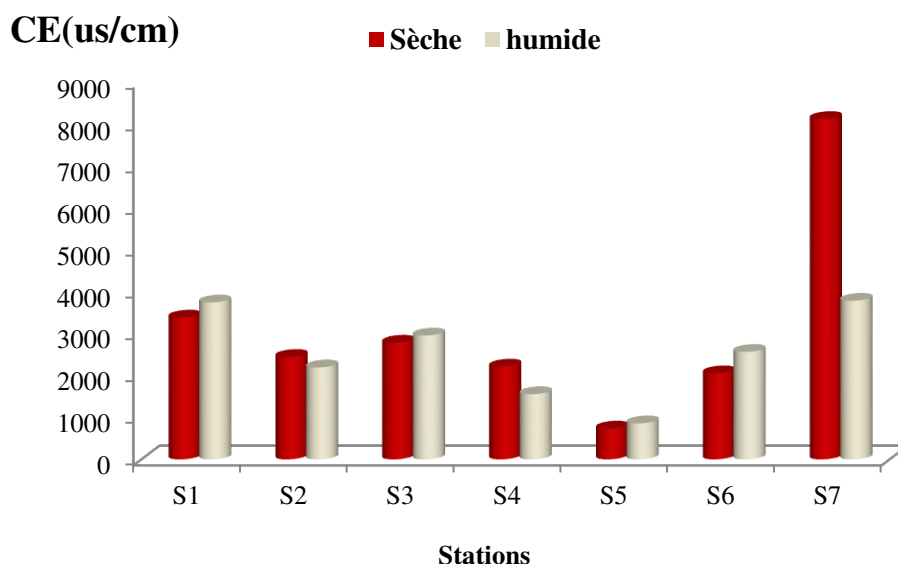


Figure 18 : Variations de la conductivité électrique en amont et en aval des barrages, en amont et en aval de l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016.2017

Les directives du conseil des communautés européennes (DCCE, 1975) relatives à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine indiquent pour la conductivité un niveau guide de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20 °C. La réglementation algérienne précise la norme de qualité de 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20 °C (JORA, 2011). Les eaux de la séquence étudiée ne sont pas destinées à la consommation, mais peuvent être utilisés pour l'irrigation des placettes agricoles. Une conductivité de l'eau supérieure à 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ fait considérer une eau comme difficilement utilisable dans les zones irriguées (Rodier, 2005) et c'est le cas de nos eaux. Pour les eaux de surface continentale les normes algériennes donnent un seuil à ne pas dépasser qui est de 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (J.O.R.A, 1993). Dans le cas des eaux de l'Oued Seybouse et dans l'ensemble des stations échantillonnées ce seuil est largement dépassé. Ces eaux seraient donc impropres à l'irrigation des terres agricoles.

1.1.4. Le débit :

Le débit d'une rivière résulte de l'association de grandeurs géométriques, forme du fond et hauteur d'eau, et vélocimétriques, distribution des vitesses d'écoulement sur la section en travers. C'est la grandeur définissant le mieux l'état hydrologique du bassin-versant. C'est également la grandeur caractéristique de la ressource en eau (eau potable, irrigation, hydro-électricité) et du risque. La variabilité du débit des rivières est directement liée aux conditions météorologiques et à la régulation par les barrages.

D'un point de vue écologique, les apports des rivières méditerranéennes jouent un rôle clé dans la fertilisation et la productivité des côtes adjacentes. Cependant, il est certain que les apports en eau et les éléments associés (nutriments et sédiments) à la Méditerranée ont connu d'importants changements tant qualitatifs que quantitatifs durant ces décennies (Ludwig et al., 2009).

Le débit de l'Oued Seybouse varie de 0 m^3/s en période d'étiage à 100 m^3/s en période de crue, mais pendant les périodes de fortes averses, il peut atteindre des valeurs exceptionnelles de l'ordre de 1217 m^3/s par exemple (observées le 28/03/1973, ANRH-Constantine).

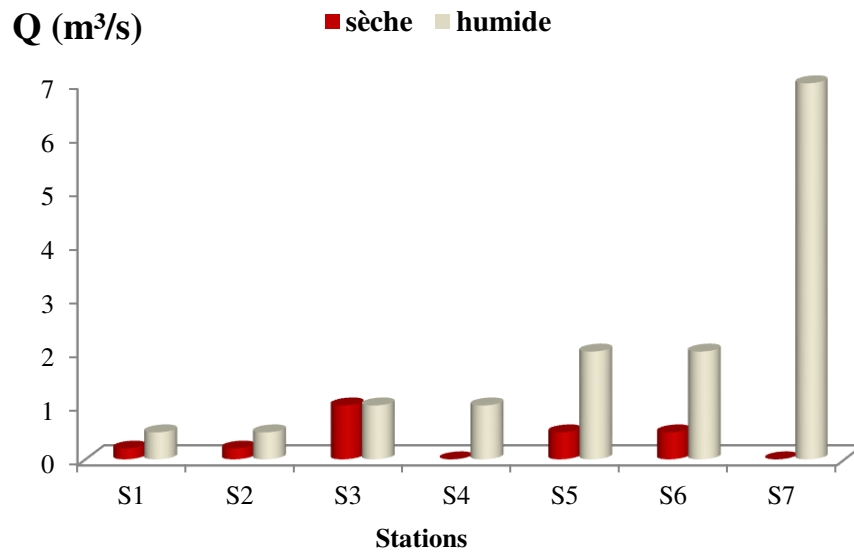


Figure 19 : Variations de débit en amont et en aval des barrages, en amont et en aval de l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016.2017

Durant la période d'étude, le débit d'oued Seybouse est très variable avec des valeurs extrêmes de $0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en période sèche jusqu'à $7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pendant la période humide (Fig. 18). Les débits enregistrés durant la saison humide sont toujours supérieurs à ceux enregistrés en saison sèche dans toutes les stations. A l'amont du barrage de foug elkhanga, le débit varie entre $0,2$ et $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ avec un débit moyen de $0,35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ alors qu'à l'aval du barrage le débit moyen de $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. A l'amont du barrage de Bouhamdane le débit varie entre 0 et $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ avec un débit moyen de $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ alors qu'à l'aval du barrage le débit moyen est $1,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. A l'amont l'estuaire (station rivière) le débit varie entre $0,5$ et $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, avec un débit moyen de $1,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ alors qu'à l'aval de l'estuaire (station embouchure) le débit moyen est $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Fig. 18).

1.2. Distribution du PO₄ dans le bassin versant de Seybouse :

Les phosphates font partie des anions facilement fixés par le sol, leur présence dans les eaux naturelles est liée à la nature des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique (Beaudry and Henry, 1984). Le phosphate c'est un élément essentiel à la vie aquatique. Les fortes concentrations en phosphates rencontrées dans l'estuaire indiquent un enrichissement d'origine domestique et agricole, ainsi que des apports directs des activités industrielles. Les phosphates sont considérés comme principal responsable du phénomène d'eutrophisation des eaux de surface (Hakmi, 2006).

1.2.1. Barrage de foug elkhanga :

Les teneurs en PO₄ des eaux du barrage de foug elkhanga construit sur la branche d'oued Cheref varient considérablement entre saison sèche et humide et entre amont et aval du barrage. En saison sèche des fortes teneurs en Phosphore variant en effet entre 2 et 5 µM en amont 2 et amont 1 respectivement avec une moyenne de 4µM, en aval les concentrations sont évaluées seulement à 2 µM (Fig. 19; Tab. 7). En période humide les teneurs en PO₄ oscillent entre 2 et 5 µM avec une moyenne de 3,5 µM en amont, par contre les teneurs ne représentent que 2 µM en aval du barrage (Fig. 19; Tab. 7).

On constate que les teneurs des phosphores s'avèrent toujours inférieures en aval qu'on amont et par conséquent il y a une rétention du Phosphore au niveau du barrage quelque soit la période, en effet, le taux de rétention varie entre 0,23 µM (7%) en saison humide et 1,5 µM (42%) en saison sèche (Tab 7). Donc il est important de souligner qu'à la sortie du barrage les teneurs du Phosphore sont modifiées (2 µM en saison sèche et 3 µM en saison humide) avec une moyenne s'élevant à 3 µM durant toute la période d'étude (Fig. 19; Tab. 7).

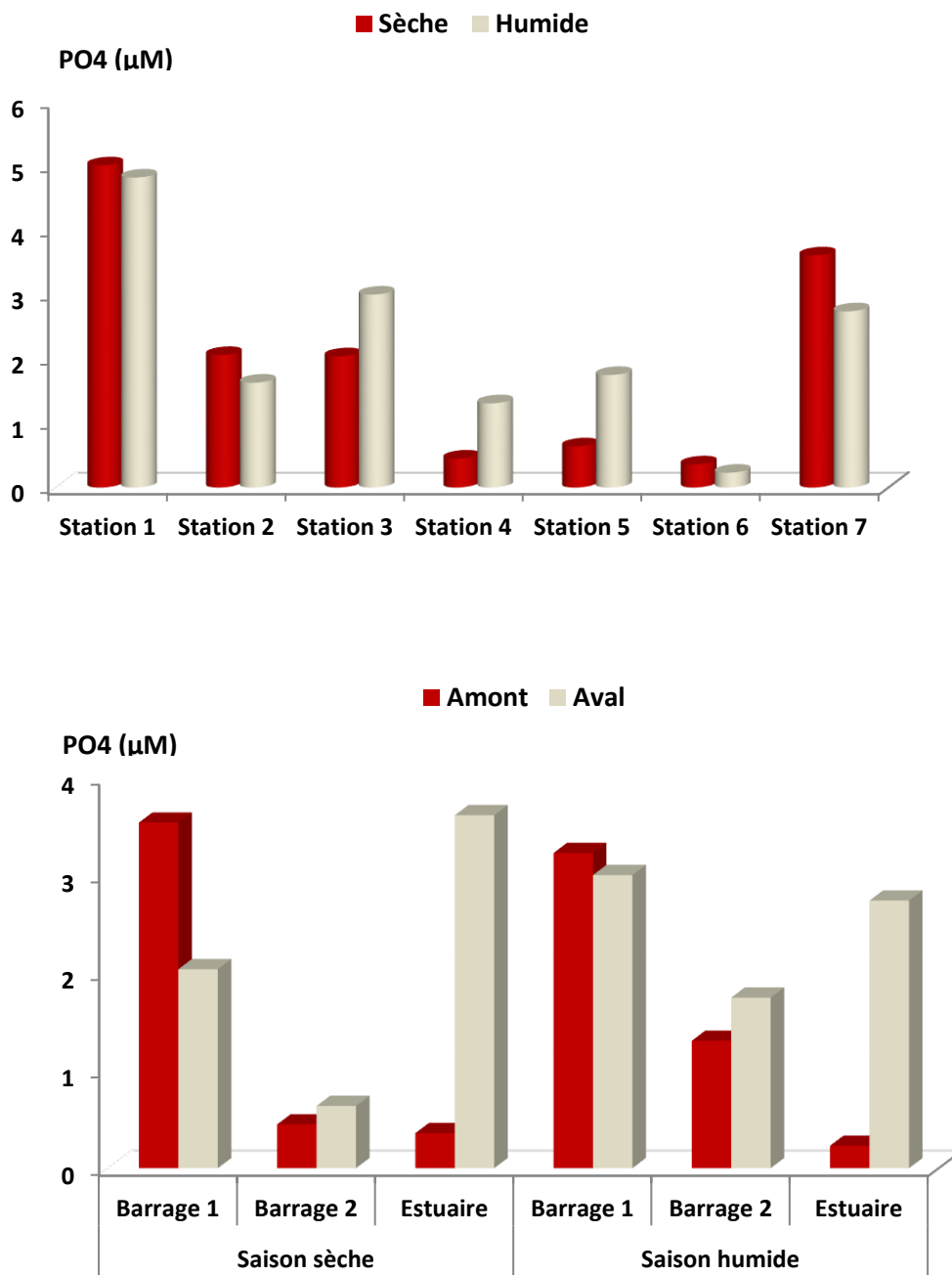


Figure 20 : Variations des teneurs du Phosphore en amont et en aval des barrages, en amont et en aval de l'estuaire d'oued Seybouse durant la période d'étude.

1.2.2. Barrage de Bouhamdane :

Les teneurs en PO_4 des eaux introduites au barrage de Bouhamdane construit sur oued Bouhamdane sont de l'ordre de $0,45 \mu\text{M}$ durant la saison sèche, alors que les teneurs enregistrées en aval représentent $0,64 \mu\text{M}$. En saison humide les concentrations en PO_4 semblent plus importantes et varient entre $1,31 \mu\text{M}$ en amont et $1,75 \mu\text{M}$ en aval du barrage (Fig. 19; Tab. 7). Il est à noter que le sous bassin de foug elkhanga est plus riche en Phosphore que celui de Bouhamdane.

Paradoxalement au barrage de Foug Elkhanga qui se révèle comme un véritable réservoir de PO_4 , le barrage de Bouhamdane suit un comportement différent vis-à-vis les ions PO_4 ou il y a effectivement une production du Phosphore au niveau du barrage durant toute la période d'étude, en effet, le taux de production varie entre $0,44 \mu\text{M}$ (34%) en saison humide et $0,19 \mu\text{M}$ (42%) en saison sèche (Tab 7).

Les teneurs des PO_4 des eaux de la sortie de barrage de Bouhamdane ont augmenté comparées aux valeurs d'entrée du barrage ($1,75 \mu\text{M}$ en saison humide et $0,64 \mu\text{M}$ en saison sèche) avec une moyenne de $1,20 \mu\text{M}$. On constate que les Phosphates ont été soumis à une production dans le barrage (Fig. 19; Tab. 7).

1.2.3. Estuaire :

Au niveau de l'estuaire de Seybouse les concentrations des ions phosphates ont fluctué remarquablement avec le cycle hydrologique, elles varient durant la saison sèche entre $0,36 \mu\text{M}$ à la station rivière (amont estuaire) et $3,61 \mu\text{M}$ à la station embouchure (Fig. 19; Tab. 7). En période humide les teneurs en PO_4 sont de l'ordre de $0,23 \mu\text{M}$ en amont de l'estuaire, par contre les teneurs représentent $2,74 \mu\text{M}$ à la station embouchure (Fig. 19; Tab. 7).

Il est important de signaler que la partie estuarienne de Oued Seybouse en temps qu'entité fonctionne comme véritable zone de production des ions PO_4 durant la période d'étude, en effet, le taux de production varie entre $2,51 \mu\text{M}$ (1091%) en saison humide et $3,25 \mu\text{M}$ (903%) en saison sèche (Tab 7).

Il semble que ces teneurs notamment à l'embouchure, peuvent être reliées à l'activité agricole qui est devenue intensive (200 kg/hectare de fertilisants), industrielle et domestique en particulier. Ces fortes teneurs à l'embouchure peuvent être expliquées aussi par la remise en suspension des ions de phosphates à partir du sédiment.

Tableau 7 : Teneurs des PO₄ (μM) en amont et en aval des barrages, en amont et aval de l'estuaire et taux de rétention (R%). Rétention (-) ; production (+).

PO ₄ (μM)		Amont	Aval	Production/Rétention	Pourcentage de Production/Rétention
Saison sèche	Barrage 1	3,54	2,04	-1,50	-42
	Barrage 2	0,45	0,64	0,19	42
	Estuaire	0,36	3,61	3,25	903
Saison humide	Barrage 1	3,23	3	-0,23	-7
	Barrage 2	1,31	1,75	0,44	34
	Estuaire	0,23	2,74	2,51	1091

Le taux de rétention (R%) est calculé comme suite : $R\% = - (E - S)/E \cdot 100$ (Où E est teneur à l'entrée de l'estuaire et S est la teneur à la sortie de l'estuaire)

1.3. Approximation du flux et du bilan du PO₄ dans le bassin de Seybouse:

Le suivi des concentrations en PO₄ dans l'Oued Seybouse durant la période Septembre 2016 jusqu'à avril 2017 a permis d'estimer le flux du phosphore introduit à la côte (tab. 8). Les valeurs positives des flux signifient une production ou l'amont est inférieur à l'aval et les valeurs prenant une charge négative signifient une consommation c'est-à-dire que le flux à l'amont est supérieur à l'embouchure.

1.3.1. Flux du phosphore en amont et en l'aval des barrages :

Même s'il y a une rétention du phosphore en terme de concentration au niveau du barrage de Foug Elkhanga durant toute la période d'étude (Tab. 7), Le barrage reçoit un flux variant entre 1,43 et 3,26 t/an et il déverse un flux de 2,06 et 3,03 t/an en saison sèche et humide respectivement, ce qui fait qu'il agit comme producteur de 0,63 t/an (44%) en saison sèche et un consommateur de 0,23 t/an (7%) du phosphore en période humide. Contrairement, le barrage de Bouhamdane agit comme un producteur du phosphore quelque soit la période. En saison sèche, le tributaire de Bouhamdane qui l'alimente se trouve à sec, donc le barrage ne reçoit aucun flux du phosphore (0 t/an) durant cette période alors qu'il produit un flux de 0,32 t/an (100%). En saison humide il reçoit un flux du phosphore de 1,33 t/an et déverse 3,53 t/an comme s'il produit un flux de 2,21 t/an ce qui correspond à un pourcentage de 167%.

Tableau 8 : Teneurs des PO₄ (t/an) en amont et en aval des barrages, en amont et aval de l'estuaire et taux de rétention (R%). Rétention (-) ; production (+).

PO ₄ (t/an)		Amont	Aval	Production/Rétention	Pourcentage de Production/Rétention
Saison sèche	Barrage 1	1,43	2,06	0,63	44
	Barrage 2	0	0,32	0,32	100
	Estuaire	0,18	0	-0,18	-100
Saison humide	Barrage 1	3,26	3,03	-0,23	-7
	Barrage 2	1,32	3,53	2,21	167
	Estuaire	0,46	19,34	18,89	4070

Le taux de rétention (R%) est calculé comme suite : $R\% = - (E - S)/E \cdot 100$ (Où E est teneur à l'entrée de l'estuaire et S est la teneur à la sortie de l'estuaire)

1.3.2. Flux du phosphore en amont de l'estuaire et à l'embouchure:

L'estuaire est une zone frontalière où l'eau douce rencontre l'eau de mer, ce milieu de transition joue un rôle important en tant que témoin des échanges entre les milieux continentaux et côtiers. Ces caractéristiques très complexes de l'estuaire changent remarquablement avec le cycle hydrologique, en effet, l'estuaire de Seybouse reçoit en saison sèche et humide un flux variant entre 0,182 et 0,464 t/an respectivement et il déverse un flux de allant de 0 à 19,34 t/an, ce qui fait qu'il acte comme producteur de 18,89 t/an (4 070%) en saison humide et un consommateur de 0,182 t/an (100%) du phosphore en période sèche (Période de fermeture de l'embouchure). Le flux du phosphore au niveau de l'estuaire est très variable et contrôlé surtout par le débit qui est à son tour tributaire à la fois des précipitations et de la phase estuarienne.

2. Discussion

Ce travail vise principalement à estimer le transfert du P du bassin versant de Seybouse aux eaux côtières et déterminer les effets des barrages et de la zone estuarienne sur les transformations biogéochimiques du P depuis l'amont du bassin jusqu'à l'embouchure. L'examen des résultats permet de constater que les teneurs et les flux des ions phosphatés d'Oued Seybouse se trouvent modifiées considérablement tout au long du continuum aquatique avant de rejoindre la mer. Ces changements biogéochimiques sont en relation surtout avec la régulation des débits des rivières et à la modification des activités agricoles, domestiques et industrielles et se traduisent en particulier par l'augmentation des teneurs en éléments d'origines anthropiques (N et P), ces modifications ayant des impacts sur les cycles biogéochimiques et à la structure du réseau trophique côtier, qui serait aujourd'hui généralisée à l'ensemble des côtes mondiales (Humborg *et al.*, 2008 ; Turner *et al.*, 1998 ; 2003) et les côtes algériennes et notamment le golf de Annaba soumis à l'influence des apports de Seybouse n'échappe pas de ce constat (Ounissi *et al.*, 2008; Ziouch, 2014; Aounallah, 2015; Ounissi *et al.*, 2014, 2016). En dépit de ces perturbations, la relation directe entre les apports hydriques et de nutriments fluviaux et la productivité biologique des écosystèmes marins est universellement bien établie (Budgen *et al.*, 1982; Estrada, 1996; Tsai *et al.*, 1997, Daskalov, 1999).

La teneur en P des eaux naturelles est normalement très faible, l'essentiel étant présent dans le sédiment. Le P subit une série de dépôts et de reprises sur son parcours au sein même du bassin versant. Durant la période d'étude et en termes de concentrations, le PO_4 est en grande partie retenu dans le barrage de Foug Elkhanga ($0,87\mu\text{M}$, 26%). Cette chute des valeurs à l'aval traduit la consommation accrue par les algues au niveau du barrage. Par contre le barrage de Bouhamdane se comporte comme un producteur de PO_4 ($0,32\mu\text{M}$, 36%). De même, au niveau de l'estuaire la station embouchure représente toujours des fortes valeurs ($3,18\mu\text{M}$ en moyenne) ce qui traduit une qualité médiocre des eaux à cette station embouchure, donc on assiste à une véritable production de quantités de PO_4 qui sera déversées en mer ($2,88\mu\text{M}$, 976%) ce qui explique non seulement l'origine anthropique du PO_4 mais aussi les processus de remise en suspension des ions de phosphates à partir du sédiment. Il semble que ces fortes teneurs notamment à l'embouchure, peuvent être reliées à l'activité agricole qui est devenue intensive (200 kg/hectare de fertilisants), industrielle et domestique en particulier. En termes de flux qui semble être en relation étroite avec le débit, les barrages produisent un flux annuel moyen qui varie entre 0,20 et 1,27 t/an pour le barrage de Foug Elkhanga et le barrage de Bouhamdane respectivement en raison peut-être des lâchers de

barrages pour des fins agricoles. Pour la partie estuarienne, elle se comporte comme un véritable producteur de PO_4 à la cote adjacente en période humide avec un flux de 18,89 t/an tandis qu'à la période sèche qui correspond à la phase de fermeture de l'embouchure (Débit = $0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), l'estuaire acte comme un consommateur d'un flux de PO_4 0,18 t/an. Les flux reçus aux embouchures varient par conséquent avec les phases estuariennes.

A titre de comparaison, des estimations des flux des nutriments au littoral d'Annaba par la Seybouse (Ounissi *et al.*, 2008) ont permis d'évaluer les flux introduits à la côte, le golfe d'Annaba reçoit annuellement près de 10000 tonnes de N et 3000 tonnes de P dont 60% reviennent à Seybouse. Les eaux de la Seybouse se situent ainsi dans la classe passable de la grille de qualité des eaux. En 2006, la Seybouse est fortement polluée par l'ammonium et dans une moindre mesure par les phosphates. En 2007 et en terme de charge en composés phosphorés la Seybouse est très chargée par le phosphore total et les teneurs fluctuent énormément avec une moyenne annuelle de 2,24 mg. l^{-1} (mauvaise qualité) (Ounissi *et al* 2008). Les fortes quantités de l'aval peuvent être mise sur le compte d'un largage a partir des matières en suspension MES qui peuvent piéger jusqu'à 80% du phosphore dissous et en libèrent imprévisiblement des quantités variables selon les conditions chimiques, encore peu connues.

Le P, le N et le Si sont des sels nutritifs qui contrôlent la production et le fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Avant d'aboutir à la mer, les nutriments d'origine continentale, transitent un continuum aquatique diversifié incluant zones humides, rivières, barrages, apports ponctuels anthropiques et aboutissent aux embouchures où se produisent d'intenses transformations biogéochimiques et physico-chimiques d'immobilisation, de rétention et d'échanges avec la nappe et l'atmosphère (Billen and Garnier, 2007; Conley *et al.*, 1993; Turner *et al.*, 1998)

Par ailleurs, et d'un point de vue écologique les besoins des algues en azote N et en phosphore P sont satisfaits avec un rapport molaire $\text{Si/N/P} = [\text{SiO}_4/(\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-) / \text{PO}_4^{3-}]$ de l'ordre de **16/16/1**. Les valeurs du rapport N/P s'écartent fortement de la valeur d'équilibre en toute saison (Tab. 12). Cette altération du rapport N/P traduit une dominance de l'azote par rapport au phosphore apporté par les fertilisants agricoles. A l'embouchure les valeurs de N/P sont en moyenne altérées (48) sous l'influence des apports anthropiques (enrichis en azote qu'en phosphates) (Tab. 12). En revanche, les faibles valeurs Si/P et Si/N (enrichis en azote et en phosphates qu'en Silicium) qui peut être expliqué par des rejets anthropiques d'une part et la rétention du silicium dans les barrages d'autre part.

Tableau 9: Les valeurs du rapport N/P, Si/N et Si/P à l'embouchure durant la période d'étude. (Repris et modifié : [Chenaker et Sifi, 2017](#)).

Embouchure	Saison sèche	Saison humide	Période d'étude
N/P	69	27	48
Si/N	0,2	0,6	0,4
Si/P	11	16	13,5

En définitive, on assiste à un genre de production ou récompensations des fractions de l'azote et du phosphore suite à un apport par les activités anthropiques (rejets agricoles, industriels et urbains) comme ça été déjà démontrée par des travaux antérieurs ([Conley et al., 1993](#); [Billen and Garnier, 2007](#) ; [Seitzinger et al., 2005](#); [Ludwig et al., 2010](#); [Statham, 2012](#)) par contre il y a une rétention et un piégeage de l'élément d'origine naturelle ([Ounissi and Bouchareb, 2013](#); [Ziouch, 2014](#); [Aounallah, 2015](#); [Taamallah et al., 2016](#); [Allague, 2017](#)) qui reste toujours tributaire à l'hydrologie et qui n'aboutit à la mer qu'avec un flux minime qui ne dépasse pas 264 t/an (études conjointes: [Allague, 2017](#); [Chenaker et Sifi, 2017](#)).

Les rapports molaires Si/N/P ont souvent été utilisés pour une évaluation de la santé côtière et marine, c'est un sujet clé de la recherche côtière qui se concentre maintenant sur les modification des teneurs et des rapports de N, P et Si et leurs effets sur la composition du phytoplancton ([Howarth and Marino, 2006](#); [Bilen and Garnier, 2007](#); [Glibert et al., 2013](#)). Dans des conditions optimales, le rapport de Redfield est équilibré (C/Si/N/P=100/16/16/1), mais à cause de l'anthropisation (fertilisants agricoles, rejets domestiques et industriels) qui augmente les teneurs en N et P au niveau de l'estuaire de Seybouse d'une part ([Chenaker et Sifi, 2017](#)) et la diminution et la rétention de Si tout au long du bassin versant (barrages et estuaire) d'autre part ([Allague, 2017](#)), le rapport de Redfield se trouve fortement modifié. Ce déséquilibre provoque d'importants impacts sur le fonctionnement et la productivité des eaux côtières. Il s'agit en particulier de développement d'espèces nuisibles de dinophycées, non exigeantes vis-à-vis du Silicium alors que l'abondance des diatomées diminue. ce qui affecte l'ensemble du réseau trophique marin et notamment le stock halieutique ([Humborg et al., 2008](#); [Turner et al., 1998](#) ; [Ounissi et al., 2008](#) ; [Ziouch, 2014](#); [Aounallah, 2015](#); [Ounissi et al., 2014, 2016](#)).

Les eaux relâchées à partir de l'estuaire et déversées dans la mer ont été ainsi modifiées tout au long du continuum aquatique représentant des teneurs très faible en termes de Si et des valeurs très élevées en N et P, ce qui implique que Seybouse fonctionne comme un véritable égout et connaît un dysfonctionnement qui retentit sur le littoral adjacent.

Ces études hydrologiques devront constituer un élément crucial dans l'aide à la décision pour une gestion intégrée du bassin de Seybouse et du littoral d'Annaba selon une perspective de gestion durable des environnements continentaux et côtiers et de leurs ressources renouvelables.

Conclusion

A la lumière des résultats obtenus, on constate que le PO_4 montre des concentrations et des flux très variables dans l'espace et dans le temps. On considère que les eaux du bassin versant de Seybouse sont caractérisées par des teneurs moyennement élevées en PO_4 , particulièrement à l'embouchure.

Les eaux du sous bassin de Foum Elkhanga sont plus riches en PO_4 que celles du sous bassin de Bouhamdane, en particulier aux amonts des barrages où la concentration est 4 fois plus élevée à Foum Elkhanga qu'à Bouhamdane.

Le barrage de Foum Elkhanga fonctionne comme un consommateur de PO_4 avec un taux de rétention moyenne de $0,87\mu\text{M}$ (26 %) tandis que le barrage de Bouhamdane se comporte comme un producteur de PO_4 avec un taux de production de $0,32\mu\text{M}$ (36 %), l'estuaire aussi produit d'avantage $2,88\mu\text{M}$ (976 %) en moyenne de PO_4 .

On constate que les Phosphates ont été soumis à une production au niveau du barrage de Bouhamdane et également au niveau de l'estuaire pour aboutir finalement à des valeurs moyennes maximales de l'ordre de $3,18\mu\text{M}$ à l'embouchure.

En termes de flux qui est en relation étroite avec le débit, le barrage de foum elkhanga et Bouhamdane produisent en moyenne entre $0,2\text{ t/an}$ (9%) et $1,27\text{ t/an}$ (192%) respectivement, alors que l'estuaire produit $9,35\text{ t/an}$ (2922%); on peut considérer que l'estuaire fonctionne comme de véritable producteur du PO_4 à la zone côtière.

D'un point de vue biogéochimique, les barrages et l'estuaire devraient jouer un rôle crucial dans les modifications des cycles biogéochimiques des nutriments. Ces conditions hydrologiques et biogéochimiques devraient avoir de sévères impacts sur le système rivière et sur le fonctionnement et la production des ressources renouvelables du littoral récepteur.

Références Bibliographiques

A

- **Agence de Bassins hydrographiques Seybouse-Mellag-constantinois (ABH) ; 1999 :** Bassin de la Seybouse. Actualisation. Les cahiers de l'agence.
- **Agence de Bassins hydrographiques Seybouse-Mellag-constantinois (ABH) ; 2002 :** Bassin de la Seybouse. Actualisation. Les cahiers de l'agence, 7 : 32p.
- Agence de bassin hydrographique) Constantinois-Seybouse-Mellegue (ABH) : **2013.**
- **AEE ; 1999 :** State and pressure of the marine and coastal Mediterranean environment. Environmental assessment series : 137 p.
- **Ahmed Said Y., Leake B.E et Rogers G., 1993 :** The petrology, geochemistry and petrogenesis of the Edough igneous rocks, Annaba, NE Algeria. Journal of African Earth Science, 17, (n°1), 111-123.
- **Allague N; 2017 :** Distribution et flux du silicium dans le bassin versant de seybouse (Nord-Est Algérien), These de Mastèr, Université Abbès Laghrour Khenchela.
- **Almeida M.C., Butler D et Friedler E; 1999:** At-source domestic wastewater quality. London. Urban Water, 1: 45-55.
- **Aminot A., Chausspièd M., 1983 :** Manuel des analyses chimiques en milieu marin. 395p.
- **Aimène B., 2007 :** Suivis de quelques paramètres physico-chimiques de la qualité des eaux de la séquence finale de Oued Seybouse et sa zone alluviale, Mémoire de fin d'étude ing., P5-6, P17-18, 31 p.
- **Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, qualité des eaux superficielles,** (ANRH-Constantine) ; **2011 :**
- **Aounallah O., 2015 :** Distribution and fluxes of biogeochemical variables in the Seybouse River Estuary, SW Mediterranean. Advances in Environmental Biology 9 (11), 101-108.
- **Auby I., Manaud F., Maurer D., Ifremer G.T., 1994 :** Etude de la prolifération des algues vertes dans le bassin d'ARCACHON. IFREMER - CEMAGREF - SSA – SABARC. Ed. , Agence de l'eau Adour Garonne, 270p.

B

- **Baeyens, J., 1967.** Nutrition des plantes de culture : physiologie appliquée aux plantes agricoles. Ed. Nauwelaerts, Louvain. pp. 219 – 321, 274 - 286.
- **Beaudin, I., Michaud, A., Beudet, P., Giroux, M., 2008.** La mobilité du phosphore : du sol au cours d'eau. Fiche technique n 1. Québec, Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, 8p.
- **Beaudry T., Henry T.M., 1984 :** Chimie des eaux, édition. Les griffons d'argiles, 1ère, édition, INC Canada. 537 pp.
- **Bechiri N ; (2011) :** Evolution du chimisme des eaux de surface et Souterraines dans le bassin versant de la Seybouse (Nord-Est Algérien) mémoire de magistère université Badji Mokhtar Annaba 12-52.
- **Béthoux J.P., Morin P., Rinz-pino D.P; 2002 :** Temporal trends in nutrients ratios: chemical evidence of Mediterranean Ecosystem changes driven by human activity. Deep-sea Research II, **49**: 2007-2016.
- **Blayac J. (1912) ;** Esquisse Géologique du bassin de la Seybouse et de quelques régions voisines. Jourdan, Alger, 491 pages.
- **Billen G., Garnier J., 2007 :** River basin nutrient delivery to the coastal sea: assessing its potential to sustain new production of non-siliceous algae. Mar. Chem. 106: 148-160.
- **Bosc, E., Bricaud, A., Antoine, D., 2004 :** Seasonal and inter-annual variability in algal biomass and primary production in the Mediterranean Sea, as derived from 4 years of SeaWiFS observations. Global Biogeochem. Cy. 18. DOI: 10.1029/2003GB002034
- **Brahmia A ; 2000 :** étude de la structure profond du système aquifère du fosse d'effondrement de Terraguelt (Haute Seybouse) thèse de doctorat université Badji Mokhtar Annaba 16P.
- **Bravard J. P., PETIT F., 2000 ;** Les cours d'eau. Dynamique du système fluvial, Paris, A. Colin, Collection U. Géographie, 222 p.
- **Brookes P.C., Powlson D.S., Jekinson D.S., 1984 :** Phosphorus in soil microbial biomass. *Soil biol. Biochem.*, 14 : 319-329.
- **Budgen, G.L., Hargrave, B.T., Sinclair, M.M., Tang, C.J., Therriault, J.C., Yeats, P.A., 1982 :** Freshwater runoff effects in the marine environment: the Gulf of St Lawrence example, Canadian Technical Reports on Fisheries and Aquatic Sciences, 1078: 1–89

C

- **Caby R ; Hammor D., 1992** : Le massif de l'Edough (Algérie) : Un "Métamorphic Core Complex" d'âge miocène dans les Maghrébides. C. R. Acad. Sci. Paris, t .314, Série II, p. 829- 835.
- **Cann C., Bordenave P., Saint-Cast P., Benoist J.C ; 1999** : Transfert et flux de nutriments Ñ importance des transports de surface et de faible profondeur. Actes du colloque pollution diffuses : du bassin versant au littoral, ploufragan ,22 : 125-140.
- **Cann C ; 1990** : Le phosphore : de l'agriculture vers l'eau. Informations techniques du c.e.m.a.g.r.e.f. n°80. 8p.
- **Carpenter S. R., Caraco N., Correll D. L., Howarth R. W., Sharpley A. N., Smith V.H.1998** : Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecol. Applic.* 8: 559-568.
- **Chambers P.A ., Guy M., Roberts E.S., Kent R., Charlton M.N., Gagnon C., Grove G et Foster N ; 2001** : Environnement Canada, *Ottawa* (Ont.). 271 p.
- **Chenaker, H., et Sifi, H. 2017** : Transport des nutriments (N, P, Si) à travers l'estuaire de Seybouse. Mémoire de master, Université Abbes Laghrour Khanchela.
- **Christian Lévêque 1996** : Ecosystème Aquatique. 76-78
- **Clay C.H., 1995**: "Design of Fishways and Other Fish Facilities" - 2 nd ed.- Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, U.S.A.,
- **Cloern J.E., 2001** : Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 210: 223-253.
- **Conley, D.J., Schelske, C.L., Stoermer, E.F., 1993** : Modification of the biogeochemical cycle of silica with eutrophication. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 101: 179-192.<http://dx.doi.org/10.3354/meps1011>
- **Conley D.J., Kaas H., Mohelenberg F., Rasmussen B., Windolf J., 2000** : Characteristics of Danish Estuaries. *Estuaries* 23(6), 820-837.
- **Cotner, J.B., Ammerman, E.R.P., Bentzen, E., 1997**, Phosphorus-limited bacterioplankton growth in the Sargasso Sea, *Aquat. Microb. Ecol.* 13, 141–149.

D

- **Daskalov, G. 1999** : Relating fish recruitment to stock biomass and physical environment in the Black Sea using generalized additive models. *Fisheries Research*, 41:1–23.
- **Derradji F., Kherici N., Romeo M., Caruba R., 2004** : Aptitude des eaux de la vallée de la Seybouse à l'irrigation (Nord-Est algérien). Ed, Science et changements planétaires / Sécheresse. Volume 15, Numéro 4, 353-60, Étude de cas, 5p.
- **Downing, J.A.**, Marine nitrogen:phosphorus stoichiometry and the global N:P cycle, *Biogeochemistry* 37 (1997) 237–252.
- **Dorioz J.M., Arousseau P., Bourrié G; 2007** : Le phosphore dans l'environnement: bilan des connaissances sur les impacts, les transferts et la gestion environnementale. *Océanis*, 33, 1-2.
- **Dorioz J.M. et Poulenard J., 2007** : Le système de transfert du phosphore dans les bassins - versants ruraux : flux et stocks, rôle de l'hydrologie et relations avec l'occupation de sols. *Océanis*, 33, 1-2, p. 123-145.
- **Dorioz J.-M., Gascuel-Oudoux C., Merot P. and D. Trevisan. (2011)**: Landscape control on diffuse pollution: a critical review on some investigations on phosphorus – retaining landscape features, pp 141154. In van Bochove, E, P.A. Vanrolleghem, P.A. Chambers, G. Thériault, B. Novotná and M.R. Burkart (eds.), 2011. *Issues and Solutions to Diffuse Pollution: Selected Papers from the 14th International Conference of the IWA Diffuse Pollution Specialist Group, DIPCON 2010. Conférence sur la pollution diffuse 2010 inc.*, Québec, Québec, CANADA. 495 p
- **Dubreuil P et Guiscafre J., 1974** : La planification du réseau hydrométrique minimal, *Cah. O.R.S.T.O.M., Sér. Hydrol.*, vol. VIII, no 2, 1974.
- **Durr, H.H., Meybeck, M., Hartmann, J., Laruelle, G.G., Roubéix, G.G., 2009** : Global spatial distribution of natural riverine silica inputs to the coastal zone. *Biogeosci. Discuss.* 6, 345–401.

E

- **EEA, 2010** : Distribution and targeting of the CAP budget from a biodiversity perspective. Technical report No 12/2009. European Environment Agency, Copenhagen
- **Estrada, M. 1996** : Primary production in the northwestern Mediterranean, *Scientia Marina*, 60(2): 55–64.

F

- **FAIRHURST, T.; LEFROY, R. D. B.; MUTERT, E. & BATJES, N. 1999** : The importance, distribution and causes of phosphorus deficiency as a constraint to crop production in the tropics. *Agroforestry Forum* 9, 2-7.

G

- **Ghachi S, 1982** : Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie, le bassin de Seybouse. P8-9, P13-17, p21.
- **Ghachi A. (1986)** ; Le bassin de la Seybouse: hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie. Office des publications universitaires, 508 pages.
- **Gleizes G., Bouleton J., Bossière G et Collomb P., 1988** : Données lithologiques et pétrostructurales nouvelles sur le massif cristallophyllien de l'Edough (Est Algérien). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 306, (II), 1001-1008.
- **Glibert, P.M., Kana, T.M., Brown, K., 2013** : From limitation to excess: the consequences of substrate excess and stoichiometry for phytoplankton physiology, trophodynamics and biogeochemistry, and the implications for modeling. *Journal of Marine Systems* 125, 14-28. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmarsys.2012.10.004>.
- **Gouiez H ; 2006** : Apport en sels nutritifs et en Matières organiques oxydables au littoral d'Annaba par Oued Seybouse et l'estuaire de la Mafrag. Mémoire de Magister, Université d'Annaba. 30p.
- **Grant G.E., Schmidt J.C., Lewis, S.L; 2003** : “ A geological framework for interpreting downstream effects of dams on rivers”. In: O'Connor, J.E., Grant, G.E. (Eds.), *A Peculiar River – Water Science and Application*, 7. American Geophysical Union, p.203–219.

H

- **Hakmi, A., 2006** : Traitement de l'eau de la source Bousfer Oran .Mémoire de Licence. Université des sciences et de la technologie Oran.
- **Howarth RW., Billen G., Swaney D., Townsend D., Jaworski N., Lajtha K., Downing J.A., Elmgren R., Caraco N., Jordan T., Berendse E., Freney J., Kudoyarov V., Murdoch P., Zhao-Liang Z., 1996** : Regional nitrogen budgets and riverine N & P fluxes for the drainages to the North Atlantic Ocean: Natural and human influences. *Biogeochemistry* 35: 75-139.

- **Howarth R.W., Marino R., 2006** : Nitrogen as the limiting nutrient for eutrophication in coastal marine ecosystems: evolving views over three decades. *Limnol. Oceanogr.*, 51: 364-376.
- **Humborg C., Rahm L., Conley D.J., Tamminen T., Bodungen V.o.n., 2008** : Silicon and the Baltic Sea. Long-term Si decrease in the Baltic Sea-A conceivable ecological risk? *J. Mar. Syst.*, 73: 221- 222.
- **Hilly J., 1962** : Etude géologique du massif de l'Edough et du Cap de fer (Est-Constantinois). *Bull. Serv. Carte. Géol. Algérie, Nouvelle série, n° 19.*
- **Hammor D., 1992** : Du Panafricain au Miocène : 600 millions d'années d'évolution polycyclique dans le massif de l'Edough (Algérie Nord Orientale). Retraces par la pétrologie, la tectonique et la géochronologie (U/Pb, Rb/Sr, Sm/Nd et ³⁹Ar/⁴⁰Ar). Thèse de l'USTLanguedoc, Univ de Montpellier II, 205 p.

I

- **Idrissi ,Laila ; 2006** : Etude et développement de nouvelles méthodes électrochimiques pour la détermination des ions ortho phosphate, nitrite, nitrate et ammonium, thèse de doctorat, chimie analytique université Mohammed AGDAL Faculté des Sciences, Rabat – Maroc,p212.
- **ISMA, 1980.** Guide sur la fertilisationphosphatée. Ed. J. Duculot, Gembloux, 60p.

J

- **Jackson D.C., Marmulla G; 2001** : “ The influence of dams on river fisheries, in: G. Marmulla (Ed.), *Dams, Fish and Fisheries. Opportunities, challenges and conflict resolution*” FAO, Fisheries Technical Paper 419, Rome, Italy, p1–44.
- **Joleaud L ; 1936** : Etude géologique de la région de Bône-la Calle, *B.S.G.A (2), n°12,* 199 p.
- Journal Officiel de la République Algérienne (**JORA**) N° 01 ; **1993**
- Journal Officiel de la République Algérienne (**JORA**) N° 01 ; **2011**

K

- **Khaled-Khodja S., Ounissi M., Saker I-E., Kennouche M., Laabed S., Gouiez H., 2004** : Impacts des activités anthropiques sur la qualité des eaux de l'oued Seybouse (Algérie), Université Jijel.
- **Kummu M., Varis O; 2007** : Sediment-related impacts due to upstream reservoir trapping, the Lower.

L

- **Laak R; 1974** : Relative pollution strengths of undiluted waste materials discharged in households and the dilution waters used for each. In: J. H. T. Winneberger, Manual of grey water treatment practice. Michigan, USA: Ann Arbor., 68-78.
- **Lahondère J. C. 1987** : Les séries ultra-telliennes d'Algérie Nord oriental et les formations environnantes dans leur cadre structural. Th. Doct. Es-Scie. Univ. Paul Sabatier, Toulouse, France 238p.
- **Lefebvre S., 2003** : Interface eau-sédiments des cours d'eau en région agricole: Rôle dans les cycles biogéochimiques, Thèse de Doctorat, Université de Rennes 1., 288.
- **Lentner C; Wink A; 1981**: Units of measurement, body fluids, Composition of the body, Nutrition. Geigy Scientific tables. Ciba-Geigy, Basle.
- **Louamri A ; 2013** : Le bassin versant – versant de la seybouse (Algérie orientale): hydraulique et aménagement des eaux, Thèse de Doctorat, Université de constantine 1.
- **Lemercier B., 2003** : La pollution par les matières phosphorées en Bretagne Sources, transfert et moyens de lutte. Ed. Direction Régionale de L'environnement. Bretagne. 83p.
- **Ludwig W; Dumont E., Meybeck M., Heussner S., 2009** : River discharges of water and nutrients to the Mediterranean and Black Sea: Major drivers for ecosystem changes during past and future decades. Prog. Oceanogr., doi:10.1016/j.pcean.2009.02.001.

M

- **Margat J., Vallee D ;1999** : Ressources en eau et utilisations dans les pays méditerranéens : Repères et statistiques, ed. Plan bleu. 200p.
- **Margat J ; 2004** : L'eau dans le bassin méditerranéen: situation et prospective, Les fascicules du Plan Bleu, Ed.MAP Technical Report Series No. 158, Athena, 366p
- **Marschner H ; 1995** : Mineral nutrition in higher plants. Academic Press, London.
- **Mautner M. N ; Sinaj S ; 2002** : Water-extractable and exchangeable phosphate in Martian and carbonaceous chondrite meteorites and in planetary soil analogs. Geochimica Cosmochimica Acta 66, 3161-3174.
- **Mebarki A., 1982**, Le bassin du Kébir-Rhumel (Algérie). Hydrologie de surface et aménagement des ressources en eau, thèse doctorat de 3 è cycle, Université de Nancy II, 304 p. (Edition: **Mebarki A., 1984**, Ressources en eau et aménagement en Algérie. Le bassin du Kébir-Rhumel, Office des Publications Universitaires, Alger, 302 p.).
- **Mebarki A., 2005** : Hydrologie des bassins de l'Est algérien: ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse d'Etat, Université Mentouri de Constantine, 360 p.

- **Meybeck M., 2003** : Global analysis of river systems: from Earth system controls to Anthropocene syndromes. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 358: 1935-1955.
- **Michaud A.R., Giroux M., Landry C., Deslandes J., Beaudin I. et Lauzier R. (2007)** : Prévention des transferts diffus de phosphore en bassins-versants agricoles : perspectives Québécoises et de l'état du Vermont. *Océanis*, 33, 1-2, p.285-320
- **Miller, A.R., 1983**. The Mediterranean Sea, A. Physical aspects. In: *Ecosystems of the world. Estuaries and enclosed seas*. B. H. Ketchum (ed), 26: 219-239. *Journal of Marine Science*, 58: 460– 468.
- **Montagna, P.A., Alber, M., Doering, P., Connor, M.S., 2002** : Freshwater inflow: Science, policy and management. *Estuaries*, 25: 1243-1245.
- **Moussa, M.D.H., 2005** : Caractéristiques physico-chimiques, bactériologiques et impact sur les eaux de surface et les eaux souterraines. 11 9p.

N

- **Necib A., Rezig H., 2011**: La bio-indication de la pollution aquatique par les algues (cas de l'Oued Seybouse, l'Oued Bounamoussa, le Lac des oiseaux et le Lac El-Mellah, Mémoire de Master, Université Badji Mokhtar-Annaba, 67 p.
- **Newman E. I; 1997** : Phosphorus balance of contrasting farming systems, past and present. Can food production be sustainable? *Journal of Applied Ecology* 34, 1334-1347.
- **Newman E. I; 1995** : Phosphorus inputs to terrestrial ecosystems. *Journal of Ecology* 83, 713-726.
- **Nisbet. M et Verneau. J, 1970** : Composant chimiques des eaux courantes, discussions et propositions des classes entant que base d'interprétation des analyses chimiques. *Annale de limnologie* : 1.6 fasc 2, 161-190p.

O

- **OMS : Organisation Mondiale de la Santé, 2006** : La guerre de l'eau -The water conflict - La guerradelagua. www.fsa.ulaval.ca/personnel/vernag/eh/f/cause/eau.htm/ Mise à jour du: 02-04-2010. Con.
- **Ounissi M., Khaled-Khodja S., Saker I-E., Kennouche M., Laabed S., Gouiez H., 2004** : Impacts des activités anthropiques sur la qualité des eaux de l'oued Seybouse (Algérie), Université Jijel.

- **Ounissi M., Khammar H., Ziouch O., Saker I., Haridi A., 2008** : Apports d'azote et de phosphate au littoral d'Annaba par les effluents urbains, industriels et par la rivière Seybouse (Algérie). In: International Conference on Rapid Urbanization and Land Use Conflicts in Coastal Cities, vol. 13, INOC, Izmir, Turkey, pp. 181-186.
- **Ounissi M., Bouchareb N., 2013**: Nutrient distribution and fluxes from three Mediterranean coastal rivers (NE Algeria) under large damming. *Comptes Rendus Geoscience* 345 (2), 81-92.
- **Ounissi M., Ziouch O. R., Aounallah O., 2014** : Variability of the dissolved nutrient (N, P, Si) levels in the Bay of Annaba in relation to the inputs of the Seybouse and Mafragh estuaries. *Marine pollution bulletin* 80 (1), 234-244. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.12.030>.
- **Ounissi M., Laskri H., Khélifi-Touhami M., 2016** : Net-zooplankton abundance and biomass from Annaba Bay (SW Mediterranean Sea) under estuarine influences. *Mediterranean Marine Science* 17 (2), 519-532.

P

- **Philippo, P., Pommery, J. et Thomas, P., 1981** : Evolution d'une eau de surface au cours des traitements de potabilisation ; comportements des espèces métalliques au contact des matières humiques. *Journal français d'hydrologie*. 12,1,7-27.
- **Pierzynski, G.M., Sims, J.T., AND Vance, G.F., 1994**. *Soils and environments quality*. Ed. Lewis publishers, pp. 103-141.
- **Pilleboue E; 1987** : Origines, bilans et mécanismes de transfert du phosphore et de l'azote d'un bassin versant vers un lac. Thèse Paris VI. 251 p

R

- **Ramade, F., 1984**. *Elément d'écologie – écologie fondamentale*. Ed. McGraw-Hill, pp. 256-259.
- **Ramade F., 2003** : *Elément d'écologie écologie fondamentale*. Ed. Dunod, Paris, 690 p.
- **Ragueneau O., Conley D.J., Leynaert A., Longphuir S.N., Slomp C.P., 2006** : Responses of coastal ecosystems to anthropogenic perturbations of silicon cycling. In: Unger, D., Humborg, C., Tac Ad, N., It-tekkot, V. (Eds.), *The silicon cycle. Human Perturbations, Impacts on aquatic systems*. SCOPE Series, 66, pp. 296.
- **Rausch C; Bucher M; 2002** : Molecular mechanisms of phosphate transport in plants. *Planta* 216, 23-37.

- **Rodier J., Bazin C., Broutin J.P., Chambon P., Chapsaup H, Rodi L., 1996** : L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Ed. Dunod, Paris, 30-1086.
- **Rodier J., Bernard L, Nicole M et coll., 2005** : L'analyse de l'eau, 9ème Edition, Paris, Dunod, 1529 p.

S

- **Sayad L ; 2015** : Le pouvoir auto épurateur de l'Oued Seybouse sur les rejets de la laiterie de l'Dough (Annaba-Algérie) et les objets environnementaux des rejets thèse de doctorat université Badji Mokhtar Annaba 5P.
- **Seitzinger, S.P., Harrison, J.A., Dumont, E., Beusen, A.H.W., Bouwman, A.F., 2005** : Sources and delivery of carbon, nitrogen, and phosphorus to the coastal zone: An overview of global Nutrient Export from Watersheds (NEWS) models and their application. Global. Biogeochem. Cy., 19(4), 1-11. <http://dx.doi.org/10.1029/2005GB002606>.
- **Schindler, D.W., 1971**. Régimes de luminosité, de température et d'oxygène d'une sélection de lacs de la Région des lacs expérimentaux (RLE), nord-ouest de l'Ontario, Centre de documentation Can. J. Fish. 28: 157-170.
- **Schoumans, O.F. (Ed), W.J. Chardon (Ed), M. Bechmann, C. Gascuel-Oudou, G. Hofman, B.Kronvang, M.I. Litaor, A.Lo Porto, P. Newell-Price and G rubaek. (2011)**:Mitigation options for reducing nutrient emissions from agriculture. A study amongst European member states of cost action 869. Wageningen, Alterra, Alterra-Report 2141. 144p.;38 Fig.; 9 Photo's; 22 Tables; 368 Ref.; 1 Annex.
- **Siegrist R., Witt M and Boyle W. C;1976** : Characteristics of rural household wastewater. Journal of the Environmental Engineering Division, American Society of Civil Engineers, 102 (EE), 533-548.
- **Seirra J.P., Sánchez-Arcilla A., González Del Río J., Flos J., Movellán E., Mösso C., Martínez R., Rodilla M., Falco S., Romero I., 2002** : Spatial distribution of nutrients in the Ebro estuary and plume. Continental Shelf Research 22, 361-378.
- **Smaling, E. M. A.; NANDWA, S. M. & JANSSEN, B. H. 1997**: Soil fertility in Africa is at stake. In: Replenishing soil fertility in Africa. R. J. Buresh, P. A. Sanchez & F. Calhoun. (eds). SSSA, Madison, WI, p. 47-61.
- **Sonatrach; 1969** : Esquisse structurale de la plaine d'Annaba. Rapport A.N.R.H, inédit. Annaba, Algérie.

- **Statham, P.J., 2012** : Nutrients in estuaries-an overview and the potential impacts of climate change. *Science of the Total Environment*, 434, 213-227. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.09.088>.
- **Strojexport ; 1975** : Prospection géophysique de la plaine d'Annaba. Réinterprétation. Rapport A.N.R.H., inédit, Annaba, Algérie, P30.

T

- **Taamallah F.Z., Laskri H., Amira A.B., 2016** : Transport and retention of dissolved and suspended solids across the Mafragh catchment (Algeria). *Advances in Environmental Biology*, 10 (5), 177-186.
- **Tate K.R; 1984** : The biological transformation of phosphorus in soils. *Plant soil*, 76: 245-256.
- **Tate K.R; 1984** : The biological transformation of phosphorus in soils. *Plant soil*, 76: 245-256.
- **Tricart J., 1968** : Méthode de cartographie au 1/1 000 000 du contexte hydrologique élaborée au Centre de géographie appliquée de Strasbourg, Mélanges M. Pardé, Gap, pp. 671- 682.
- **Tsai, C.F., Chen, P.Y., Chen, C.P., Lee, M.A., Shiah, G.Y. & Lee, K.T. 1997** : Fluctuation in abundance of larval anchovy and environmental conditions in coastal waters off southwestern Taiwan as associated with the El Nino—southern oscillation. *Fisheries Oceanography*, 6: 238–249.
- **Turner R.E., Rabalais N., Justic D., Dortch Q., 2003** : Global patterns of dissolved N, P and Si in large rivers. *Biogeochemistry* 64: 297-317.
- **Turner, R.E., Qureshi, N., Rabalais, Q., Dortch, D., Justic, D., Shaw, R.F., Cope, J., 1998** : Fluctuating silicate: nitrate ratios and coastal plankton food webs. *Prog. Nat. Sci.* 95, 13048–13051.
- **Turley C. M., 1999** : The changing Mediterranean Sea. A sensitive ecosystem, *Progress in oceanography*, 44: 387 – 400.

V

- **Vanden Bossche H., 1999** : Devenir du phosphore apporté sur les sols et risques de contamination des eaux de surface. Cas des boues de stations d'épuration. Thèse de doctorat, université de rennes , 321p.

- **Vila J.M., 1980 :** La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens, Thèse doctorat d'état ès Sciences, Université de Paris VI, 2 tomes, 586 p.

W

- **Wahby S.D., Bishara N.F., 1981 :** The effect of the River Nile on Mediterranean water, before and after the construction of the High Dam at Aswan. In: River inputs to ocean systems, pp. 311–318. (UNESCO/ IOC/UNEP)
- **World Commission of Dams, Dams and development; 2000 :** a new framework for decision-making. Earthscan, London.

Z

- **Ziouch O.R., 2014 :** Nutrient distribution in the Bay of Annaba under the influence of the Seybouse and the Mafragh estuaries inputs (South-Western Mediterranean). These de Doctorat, université Badji Mokhtar Annaba.

Annexe I. Anthropisation et occupation du sol

Tableau 1 : L'activité industrielle (ABH1999).

Sous Bassin	Commune	Lieu d'implantation	Caractéristiques		AEP		
			Nom	Nature/Type	Besoins (m ³ /J)	Volume alloué (m ³ /J)	Volume recyclé (m ³ /J)
14-01	Sedrata	Sedrata	ENASQ	Serrurerie	18	15	0
14-04	Guelma	Guelma	SYCMA	Cycles, motocycles	325	325	0
14-04	Guelma	Guelma	ENA SUCRE	Sucrierie, Raffinerie	2000	2000	0
14-04	Guelma	Guelma	ECVE	Vaisselle	350	380	0
14-04	Bouchebouff	Bouchebouff	ERAID	Levure	1776	2100	0
14-04	B.Ahmed	B.Ahmed	Conserverie	Tomate	300	200	0
14-06	Annaba	Annaba	E.M.I.B	Boissons	N.C	1748	Néant
14-06	Annaba	Annaba	EL BOUSTEN	Tomate concentrée	N.C	25,32	Néant
14-06	Annaba	Annaba	ENCG	Raffinage d'huile	367,2	372,5	36,6
14-06	Annaba	Annaba	ERAID	Semoulerie	N.C	606	Néant
14-06	Annaba	Annaba	FERFOS	Phosphate			
14-06	Annaba	Annaba	ONAB	Aliment bétail	N.C	3	Néant
14-06	Annaba	Annaba	S.T.E	Pétrole +huile	N.C	3	
14-06	Annaba	Annaba	SONATRACH	Carburant	N.C	3	Néant
14-06	Annaba	Annaba	SONELGAZ	Energie électrique	N.C	33	
14-06	El Bouni	El Bouni	ASMIDAL	Engrais	8640	1278	
14-06	El Bouni	El Bouni	CHOCOTEK	Chocolat/confiserie			
14-06	El Bouni	El Bouni	EBAN	Bâtiment	N.C	23	Néant
14-06	El Bouni	El Bouni	FERROVIAL	Acierie	N.C	116,66	/
14-06	El Bouni	El Bouni	G.T.HEÐAN	Tuyaux B.A et P.V.C	N.C		Néant
14-06	El Bouni	El Bouni	O.N.C.V	Vins	N.C	65	Néant
14-06	El Bouni	El Bouni	ORELAIT	Lait et Dérivés	1296	2403	Néant
14-06	El Bouni	El Bouni	S.N.V.I	Distribution des véhicules	48,76	49	Néant
14-06	El Hadjar	El Hadjar	ENSIDER	Sidérurgie	38880	24338	
14-06	El Hadjar	El Hadjar	EPBTP	Cimenterie		1	
14-06	El Hadjar	El Hadjar	ERWA	Acierie		6	Néant
14-06	El Hadjar	El Hadjar	Transcanal /EST	Tube en béton	432	20	/
14-06	El Hadjar	Pont Bouchet	BELKHERI	Chocolat	Forage propre	6	Néant
14-06	El Hadjar	Pont Bouchet	E.N.G.I	Gaz industriel	Citernage	23	Néant
14-06	El Hadjar	Pont Bouchet	E.P.T.R EST	Route – autoroute-aérodrome	Forage propre	60	Néant
14-06	El Hadjar	Pont Bouchet	E.R.S.T	Traitement de ferraille	Puits+ Citerne	3	Néant
14-06	El Hadjar	Pont Bouchet	ENCC	Réservoirs métalliques	604,8	125	
14-06	El Hadjar	Pont Bouchet	ENTPL	Produits lourds (acier ...)	Citernage	3	

Sous Bassin	Commune	Lieu d'implantation	Caractéristiques		AEP		
			Nom	Nature/Type	Besoins (m³/J)	Volume alloué (m³/J)	Volume recyclé (m³/J)
14-06	El Hadjar	Pont Bouchet	ETS.BOUTRA	Fabrication de sachets	Puits	43	Néant
14-06	El Hadjar	Pont Bouchet	Ets Khouatmia	Transport	Forage propre	1	Néant
14-06	El Hadjar	Pont Bouchet	FETIMI Rabah	Usage domestique	Forage P	12	Néant
14-06	El Hadjar	Pont Bouchet	Khouatmia	Usage domestique	Forage propre	6	Néant
14-06	El Hadjar	Pont Bouchet	M.T.A	Transport/agréage	Forage propre	3,5	Néant
14-06	El Hadjar	Pont Bouchet	REALANE	Génie civil	Forage propre		Néant
14-06	El Hadjar	Pont Bouchet	S.A.R.L	Transport est (prive)	Forage propre	110	Néant
14-06	El Hadjar	Pont Bouchet	S.N.C Belkhiri	Confiserie	Forage propre	30	Néant
14-06	El Hadjar	Pont Bouchet	SARhumel Gum	Fabrication de chewing- gum	Forage propre		Néant
14-06	El Hadjar	Pont Bouchet	SAT PAT	Papier	Forage propre	9	Néant
14-06	El Hadjar	Pont Bouchet	SIDER G.C.L	Vente de produits sidérurgique	Citernage	0,5	Néant
14-06	El Hadjar	Pont Bouchet	SNVI	Pièce détachées	N.C	49	Néant
14-06	El Hadjar	Pont Bouchet	T.M.P.K	Matières plastiques	Forage propre	130	Néant
14-06	El Hadjar	Sidi Salem	ORAVIE	Production de poulet	8	8	Néant
14-06	Sidi Amar	Sidi Amar	PROSIDER	Transfo-synthétique	362,88	85	
14-06	Sidi Salem	Annaba	ENGI	Gaz naturel	406,08	107	Néant
TOTAL						36874,48	

Tableau 2 : L'irrigation dans le bassin versant de seybouse (ABH1999).

Sous Bassin	Secteur	Commune	Superficie irriguée (Ha)	Culture	Ressource en eau	Dotation	Mode d'irrigation	Point de rejet	Observation
14-01	Ksar Sbihi Ain Babouche	Ksar Sbihi Ain Babouche	0	Maraichères Arboriculture	Puits+ Forage Oued Chref	P.I	P.I	Oued SETTARA	+4000 Ha en projet
	Berriche	Berriche	10	Maraichères	Retenue collinaire Oudene Djedj	0,05	Submersion Asperision	Oued oudene Djedj	
	Sedrata	Sedrata	150	Céréalière et Maraichères	R.C.Oued El Hamimine	P.I	P.I	Oued hamimime	
	Bir Bouhouche	Zaoubi	0	Céréalière	Bage Oued Chref	P.I	P.I	Oued Chref	+800Ha en projet
	Tiffeche	Tiffeche	360	Céréalière Marai. Industrielle	R.C.et petit Barrage Tiffeche	0,2 2,99	Asperision	Oued Tiffech	
	Bir Bouhouche	Safel El ouden	120	Céréalière et Maraichère	Forage et Puits	P.I	Submersion Asperision	Châaba	
		Bir Bouhouche	35	Céréalière et Maraichère	R.C.Bir Bouhouche Brrage Oued Chref	P.I P.I	Asperision Asperision	Oued	+2800 Ha en cours
		Terragueit	15	Céréalière et Maraichère	Forage Terragueit	0 ,08	Asperision	Oued	
		Oum El Adhaim	70	Céréalière et Maraichère	R.C. Oum El Adhaim	P.I	Asperision	Oued	
14-02	Ain Makhlof	Ain Makhlof	317	Céréalière et Maraichère	Bge Medjez El Bgare	2	Asperision	Oued Cheref	
14-03	Oued Zenati	Oued Zenati Tamlouka Ras Elagba	200	Céréalière et Maraichère	6R.C.et Fil d'eau	0,72	Asperision	Oued Zenati	
	Cherf	H. Boumedienne Medjez Amar	650	Céréalière Arboriculture Maraichère	Barrage Hammam Debagh	3,9	Asperision	Oued Cheref	
	El Fdjoudj	2355	Céréalière Arboriculture Maraichère	Barrage Hammam Debagh	14,13	Asperision	Oued Seybouse		
	Guelma	3500	Céréalière Arboriculture Maraichère	Barrage Hammam Debagh	21	Asperision	Oued		

Sous Bassin	Secteur	Commune	Superficie irriguée (Ha)	Culture	Ressource en eau	Dotation	Mode d'irrigation	Point de rejet	Observation
14-04	Boumahra Ahmed	Boumahra A.Belkhier	2600	Céréalière Arboriculture Maraichère	Barrage Hammam Debagh	15,6	Aspersion	Oued Seybouse	
	Belkhier	Belkhier	11	Maraichère	R.C. Medraoua	0,01	Aspersion	Oued	
	Bouchegouf	Bouchegouf Oued Fraga	880	Céréalière Arboriculture Maraichère	Barrage Hammam Debagh	5,28	Aspersion	Oued Seybouse	
14-05	Medjez Sfa	Medjez Sfa	65	Maraichère	R.C. Medjez Sfa	0,02	Aspersion	Oued	
			36	Maraichère et Industrielle	R.C. Bir Chougrane et Ladraou	0,02	Aspersion	Oued	
	Ain Ben Beida Drean	Ain Ben Beida Drean Chetaiba Chihani	0	Céréalière Arboriculture Maraichère et Industrielle	Barrage Hammam Debagh	P.I	Aspersion	Oued Seybouse	+2960 Ha non équipés
	Ain Berda	Ain Berda	400	Maraichère et Industrielle	21R.C. et Puits et Fil d'eau	1,951	Aspersion	Oued Derdara	
	El Hadjar Seybouse Nord et Sud	El Hadjar Sidi Amar	1446,5	Maraichère et Industrielle	R.C.et Barrage Bounamoussa	5,205	Aspersion	Oued Meboudja Seybouse	
	Seybouse Nord	El Bouni	673	Maraichère et Industrielle	R.C. Forage, Puits et Fil d'eau	2,422	Aspersion	Oued Seybouse	
	Annaba	Annaba	82,5	Maraichère et Industrielle	Forage, puits et Fil d'eau	0,295	Aspersion	Oued Boudjema	
Total			13976			75,87			

Résumé

Cette étude a concerné la distribution et le flux du phosphore dans des sites stratégiques (Barrage Foum elkhanga, barrage Bouhamdane et estuaire) du bassin de Seybouse durant la période s'étendant entre Septembre 2016 (Saison sèche) et Avril 2017 (Saison humide). Il s'agit de suivre l'évolution de cet élément depuis l'amont du bassin versant jusqu'à l'embouchure dans le but de comprendre ces transformations biogéochimiques sous l'effet des barrages et de l'estuaire.

On considère que les eaux du bassin versant de Seybouse sont caractérisées par des teneurs moyennement élevées en PO_4 , particulièrement à l'embouchure.

Les eaux du sous bassin de Foum Elkhanga sont plus riches en PO_4 que celles du sous bassin de Bouhamdane, en particulier aux amonts des barrages où la concentration est 4 fois plus élevée à Foum Elkhanga qu'à Bouhamdane.

Le barrage de Foum Elkhanga fonctionne comme un consommateur de PO_4 avec un taux de rétention moyenne de $0,87\mu\text{M}$ (26 %) tandis que le barrage de Bouhamdane se comporte comme un producteur de PO_4 avec un taux de production de $0,32\mu\text{M}$ (36 %), l'estuaire aussi produit d'avantage $2,88\mu\text{M}$ (976 %) en moyenne de PO_4 .

On constate que les Phosphates ont été soumis à une production au niveau du barrage de Bouhamdane et également au niveau de l'estuaire pour aboutir finalement à des valeurs moyennes maximales de l'ordre de $3,18\mu\text{M}$ à l'embouchure.

En termes de flux qui est en relation étroite avec le débit, le barrage de foum elkhanga et Bouhamdane produisent en moyenne entre $0,2\text{ t/an}$ (9%) et $1,27\text{ t/an}$ (192%) respectivement, alors que l'estuaire produit $9,35\text{ t/an}$ (2922%); on peut considérer que l'estuaire fonctionne comme de véritable producteur du PO_4 à la zone côtière.

D'un point de vue biogéochimique, les barrages et l'estuaire devraient jouer un rôle crucial dans les modifications des cycles biogéochimiques des nutriments. Ces conditions hydrologiques et biogéochimiques devraient avoir de sévères impacts sur le système rivière et sur le fonctionnement et la production des ressources renouvelables du littoral récepteur.

Mots-clés : Le Phosphore, Barrage, Foum elkhanga, Bouhamdane, Oued Seybouse.

Summary

This study concerned the distribution and flux of phosphorus in strategic sites (Foum elkhanga dam, Bouhamdane dam and estuary) of the Seybouse basin during the period between September 2016 (dry season) and April 2017 (wet season). It is a question of following the evolution of this element from the upstream of the watershed until the mouth in order to understand these biogeochemical transformations under the effect of the dams and the estuary.

The waters of the Seybouse watershed are considered to be characterized by moderately high levels of PO₄, particularly at the mouth.

The waters of the sub-basin of Foum Elkhanga are richer in PO₄ than those of the sub-basin of Bouhamdane, especially at the top of the dams where the concentration is 4 times higher in Foum Elkhanga than in Bouhamdane.

The Foum Elkhanga dam operates as a PO₄ consumer with an average retention rate of 0.87 μM (26%) while the Bouhamdane dam behaves like a PO₄ producer with a production rate of 0.32 μM (36%).), the estuary also produces an advantage of 2.88 μM (976%) on average of PO₄.

Phosphates have been shown to be produced at the Bouhamdane dam and also at the estuary, eventually leading to maximum average values of 3.18 μM at the mouth. In terms of flows that are closely related to the flow, the foum elkhanga dam and Bouhamdane produce on average between 0.2 t / yr (9%) and 1.27 t / yr (192%) respectively, while Estuary produces 9.35 t / year (2922%); the estuary can be considered as a real producer of PO₄ in the coastal zone.

From a biogeochemical point of view, dams and the estuary should play a crucial role in changing the biogeochemical cycles of nutrients. These hydrological and biogeochemical conditions are expected to have severe impacts on the river system and the functioning and production of the renewable resources of the receiving littoral.

Keywords: Phosphorus, Dam, Foum elkhanga, Bouhamdane, Oued Seybouse.

المخلص

شملت هذه الدراسة توزيع وتدفق الفوسفور في المواقع الإستراتيجية (سد فم الخنجة، سد بوحمدان ومصب النهر) في حوض سيبوس خلال الفترة الممتدة ما بين سبتمبر 2016 (الموسم الجاف) وأفريل 2017 (الموسم الممطر). إنها مسألة تتبع تطور هذا العنصر من المنبع من مستجمعات المياه إلى المصب من أجل فهم هذه التحولات البيوكيميائية تحت تأثير السدود والمصب.

تتميز المياه في حوض سيبوس بتركيزات مرتفعة من الفوسفور، ولا سيما عند المصب. المياه في سد فم الخنجة أكثر ثراء بالفوسفور خاصة في الفم أين يصل تركيزه أربع مرات أكثر مما عليه في بوحمدان. سد فم الخنجة يعمل كمستهلك للفوسفور بمتوسط 0,87 ميكرومول (26%) بينما سد بوحمدان كمنتج للفوسفور بنسبة إنتاج تقدر بـ 0,32 ميكرومول (36%)، المصب أيضا ينتج الفوسفور بمتوسط يقدر بـ 2,88 ميكرومول (976%). نلاحظ ان الفوسفور يخضع للغنتاج على مستوى سد بوحمدان وبالضبط بالفم ليصل تركيزه في نهاية المطاف إلى الحد الأعلى من القيم حوالي 3,18 ميكرومول في المصب.

يبلغ متوسط إنتاج سد فم الخنجة وبوحمدان حوالي 0,20 طن/سنة (9%) و1,27 طن/سنة (192%) على التوالي، بينما المصب ينتج 9,35 طن/سنة (2922%). ويمكن اعتبار المصب بمثابة منتج للفوسفور في المنطقة الساحلية. ومن وجهة نظر بيوكيميائية كمية الإنتاج لها علاقة وطيدة مع تدفق السدود ، ينبغي أن تلعب دورا حاسما في التغيرات في الدورات الجيولوجية الكيميائية للمواد المغذية. ومن المتوقع أن يكون لهذه الظروف الهيدرولوجية والبيوكيميائية آثار خطيرة على نظام النهر وعلى أداء وإنتاج الموارد المتجددة للساحل المتلقي.

الكلمات المفتاحية: الفوسفور، سد، فم الخنجة، بوحمدان، واد سيبوس