

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 : *Ecologie et environnement*

Thème

TRANSPORT DES MATIÈRES NUTRITIVES À TRAVERS L'ESTUAIRE DE SEYBOUSE (NORD-EST ALGERIEN)

Présenté par :

- CHENAKER Houda
- SIFI Hana

Devant le jury :

Président Mr MOUDJARI Zoubir (MAA, Université Abbès Laghrour Khenchela)
Encadreur Mr ZIOUCH Omar Ramzi (MCB, Université Abbès Laghrour Khenchela)
Examinatrice M^{elle} DALI Naouel (MAA, Université Abbès Laghrour Khenchela)

Promotion : Juin 2017

"بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ"

** وَمَا تَوْفِيقِي إِلَّا بِاللَّهِ

عَلَيْهِ تَوَكَّلْتُ

وَإِلَيْهِ أُنِيبُ **

Remerciements

Nous remercions Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant toutes ces années d'étude.

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier ceux qui nous ont aidé à le réaliser, et qu'ils trouvent ici le témoignage de nos profondes Reconnaissances.

Nos profondes gratitudes s'adressent avant tout au Monsieur: **Ziouch Omar Ramzi**, Notre encadreur, qui a accepté de diriger notre travail et nous a accordé toute son attention et sa patience pour l'accomplir, nous le remercions pour sa disponibilité, ses précieux conseils scientifiques, son encouragement ainsi que sa gentillesse qui nous a permis de mener à bien ce travail.

Également à nos jurys:

Monsieur **Moudjari Zoubir**, qui nous a fait l'honneur de présider le jury de soutenance. Sans oublier son aide, et ses précieux conseils scientifiques.

Melle Dali Nawel, qui a en la bienveillance d'accepter de Juger ce travail aussi, Nous adressons notre remerciement à Monsieur **Kachi Slimane** pour son aide permanente.

Mes respectueux remerciements vont à Monsieur **Ounissi makhlof**, Professeur au département des Sciences de la mer de l'Université Badji mokhtar -Annaba- et directeur du laboratoire, Sans oublier la doctorante **Melle Aicha** pour son aide permanente à l'exécution des analyses au laboratoire.

Ainsi que Monsieur **Boulabeiz Mahrez** pour sa disponibilité, son aide et ses précieux conseils.

Nous exprimons également notre profond remerciement et notre vive Gratitude à nos enseignants du département science de la nature et de la vie -Khenchela- .

En fin, un remerciement spécial a tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à l'élaboration de ce travail: ma sœur **Soumia Arrouf** et les doctorants **Chenaker Hicham** et **Ouldjaoui Mounia, Hassad Sara**

Et enseignante **Ounnas Miyada** .enseignante **Dib Donia**.....

Dédicaces

Je remercie « **ALLAH** » le tout grand Et le tout puissant
Pour m'avoir donné la volonté, la patience et le courage
Pour finir mon étude universitaire et réaliser ce Modeste travail,
Fruit de plusieurs années.

A ceux qui n'ont jamais cessé de m'encourager, et me conseiller.
A ceux qui n'ont jamais été avares ni de leur temps ni de leurs
Connaissances pour satisfaire mes interrogations.

Je dédie ce modeste travail avec vif plaisir à ceux qui
sont les plus proches à mon cœur, qui mon toujours aimer et qui ont fait
toute leurs force pour que je sois toujours heureuse.

Mes très chers parents. Qui mon se tenus durant toute ma vie, sans eux je
serai rien

A mes **frères**

A ma **sœur**

A toute ma **grande famille**

A mes **amis**

A tous **les étudiants d'écologie**

A tous **mes professeurs...**

CHENAKER HOUDA

Dédicaces

Plus que jamais je dédie ce modeste travail à mes parents

Et j'aimerais qu'il soit le témoignage de leurs consécration et leurs fois e moi.

A celui qui n'a cessé de me procurer son aide durant mes Années d'étude :

À toi **mon père**, je dédie ce travail qui est le

Fruit de ta patience et de ton éducation.

A celle qui m'a imprégné de l'essence de son être, de sa Générosité,

Et de sa gentillesse n'a jamais cessée d'être là pour Moi:

C'est à toi **ma mère** que je dois ce travail.

Je le dédie aussi a, ma tante décédée **Ramadhan**

Pour Mon frère jumeau **Abd elghafour**

Pour mes sœurs : **Khadîdja ; Chahinaz ; Sara**

Ma sœur et Mon ami d'enfance **Hanan et Ilham**

A tous mes amies surtout **Oum kalthom, Houda ; Halima ; Fatima,**

Lila ; Ismahan; Assai; Houda; Hasna; Zohra;

Ma cousine **Dounia et dorsaf**

A tous **les étudiants d'écologie**

SIFI HANA

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Liste des abréviations

I

Liste des figures

II

Liste des tableaux

III

Liste des annexes

IV

Introduction..... 01

Chapitre I : Généralités sur les estuaires et les nutriments N, P, Si..... 04

I. les estuaires 04

1. Définition del'estuaire..... 04

2. La classification des estuaires..... 05

2.1. Classification d'après la structure saline..... 06

2.1.1. Les estuaires à coin salé..... 06

2.1.2. Estuaire partiellement mélangé..... 06

2.1.3. Estuaire bien mélangé 07

2.1.4 .Estuaire en zone aride..... 07

2.2. Classification d'après la propagation de la marée 09

2.2.1 .Un estuaire hyper synchrone 09

2.2.2 .Un estuaire est synchrone 09

2.2.3. Un estuaire est hypo synchrone..... 09

3. Les caractéristiques des estuaires..... 10

II. les nutriments : Azote –Phosphore- Silicium..... 12

1. Azote..... 12

1.1 .Définition d'azote..... 12

1.2. Forme d'azote dans l'eau..... 13

1.3. Cycle de l'azote..... 14

1.3.1. La fixation de l'azote atmosphérique..... 15

1.3.1.1 .Par les Bactéries symbiotiques et par les Cyanobactéries..... 15

1.3.1.2. Transformation de N₂ par des phénomènes météorologiques..... 15

1.3.2. La minéralisation de l'azote..... 15

1.3.2.1 .La nitrification..... 15

1.3.2.1.1. L'ammonisation-Action Des Bactériesammonifiantes..... 16

1.3.2.1.2. La nitrosation -Action des Bactéries Nitreuses.....	16
1.3.2.1.3. La nitrattion - Action Des Bactéries Nitriques.....	16
1.3.3 .La dénitrification.....	16
2. Phosphore.....	17
2.1. La définition du phosphore.....	18
2.2 .Sources et formes des matières phosphorées.....	19
2.3. Cycle du phosphore.....	19
2.3.1. Le phosphore dans les soles.....	20
2.3.2. Le phosphore dans les écosystèmes aquatiques.....	21
3. Silicium.....	22
3.1. Définition de silicium.....	22
3.2. Cycle du silicium.....	23
3.2.1. Lessivage selon la réaction.....	23
3.2.2.Élimination dans les fonds marins sous forme de boues à diatomées.....	23
Chapitre II: Matériel et méthode.....	25
1. Présentation de la zone d'étude	25
1.1. Situation géographique de l'estuaire Seybouse.....	25
1.2. L'organisation du réseau hydrographique : l'oued Seybouse etses .principaux.....	26
1.2.1.L'artère principale.....	26
1.2.2. Les affluents de l'oued Seybouse caractérisés par leurs profils en long.....	29
1.2.2.1. Oued cherf.....	29
1.2.2.2 .Oued bouhamdane.....	29
1.2.2.3 .Moyenne Seybouse.....	29
1.2.2.4. Oued mellah.....	29
1.2.2.5.Basse Seybouse et Oued Ressoul.....	30
1.3. Hiérarchisation du réseau hydrographique.....	30
2. Anthropisation et occupation du sol du bassin de Seybouse.....	33
2.1. La population.....	33
2.2. Agricultures et irrigation	33
2.3. Les barrages.....	33
2.4. L'industrie.....	34
2.5. Les zones humides.....	35
2.6. La végétation du bassin versant de Seybouse.....	37

2.7. Géologie.....	38
3. L'échantillonnage et méthode d'analyse des éléments chimiques.....	39
3.1. L'échantillonnage et mesure les paramètres physico-chimique.....	39
Chapitre III: Interprétation des résultats et discussion	43
1. Résultats des analyses physicochimiques.....	43
1.1. Variation des paramètres physiques.....	43
• La température	43
• La Salinité.....	44
• La conductivité électrique	47
• Le débit	48
1.2. Variation des paramètres chimiques.....	49
1.2.1. Variations des teneurs des fractions de l'azote inorganique dissous (NID).....	49
• Les nitrites (NO ₂).....	49
• Les nitrates (NO ₃ ⁻).....	50
• L'ammonium (NH ₄ ⁺).....	52
• L'azote inorganique dissous (NID).....	53
1.2.2. Variation des teneurs en phosphates (PO ₄ ³⁻).....	55
1.2.3. Distribution du silicium.....	56
2. Flux des nutriments (N-P-Si) en amont et aval de l'estuaire de Seybouse.....	57
Conclusion	67
Références bibliographique.....	69
Annexe	V
1. le logiciel utilisé	
2. Méthode d'analyse chimique	
3. L'occupation du sol du bassin de Seybouse	
Résumés	VI
1. Résumé en français	
2. Résumé en anglais	
3. Résumé en arabe	

Liste des abréviations

CE	: La conductivité électrique
S	: Salinité
T°C	: La Température en degré Celsius
µS /cm	: Micro siemens/ centimètre
P.S.U.	: Practical Salinity Unit
NH₄⁺	: Ammonium
NO₂⁻	: Les nitrites
NO₃⁻	: Les nitrates
PO₄³⁻	: Phosphate
Si(OH)₄	: Silicate
Q	: Le debit
ONS	: Office National des Statistiques
ABH	: Agence de bassins hydrographique Seybouse –Mallage Constantinois
N	: Azote
P	: Phosphore
Si	: Silicium
N₂	: Azote gazeuse
PH	: potentiel Hydrogène
NH₃⁺	: Ion ammoniac
SO₄²⁻	: Ion sulfate
ATP	: Adénosine triphosphate
ADN	: Acide désoxyribonucléique
PT	: Phosphore total
H₄SiO₄	: Acide silicique
SiO₂	: Silice dissoute
CO₂	: Dioxyde de carbone
C	: Carbone
V	: Volume
µM	: Micromole
mg /l	: Milligramme par litre
NID	: Azote inorganique dissous
DBO₅	: Demande Biologique en Oxygène

DCO	:	Demande chimique en Oxygène
MES	:	Matières en suspension
TDS	:	Total des Solides Dissous
AEP	:	Alimentation en Eau Potable
A.N.R.H	:	Agence nationale des ressources hydrauliques
Si /N/P	:	Rapport standard de Redfield de la composition atomique de l'eau et d'organismes aquatique
N/P	:	Rapport d'Azote sur Phosphore
Si/ N	:	Rapport de Silicium sur Azote
Si/ P	:	Rapport de silicium sur Phosphore
St	:	Station

Liste de figure

Figure 01 : Différentes parties constituant un estuaire.....	05
Figure 02 : Différents types des estuaires: estuaires à coin salé (A), estuaires partiellement mélangés (B), estuaires bien mélangés (C) et estuaires en zone aride (D)	08
Figure 03 : Les différents types d'estuaires selon la classification de Le Floch(1961)...	09
Figure 04 : Diagramme illustrant: (a) la structure floconneuse; (b) la structure en nid d'abeilles; et (c) la structure élémentaire.....	11
Figure 05 : Schéma représentatif d'un aspect hydro sédimentaire.....	12
Figure 06 : Un organigramme présentant les formes de l'azote.....	13
Figure 07 : Le cycle de l'azote	13
Figure 08 : Cycle globale de N dans le système sol-plante-atmosphère.....	14
Figure 09 : Différents transformation dans le cycle d'azote.....	17
Figure 10 : Schéma représentatif des formes du phosphore.....	18
Figure 11 : Cycle du phosphore dans la biosphère.....	20
Figure 12 : Cycle biogéochimique du silicium en milieu terrestre.....	24
Figure 13 : Localisation du bassin de la Seybouse.....	25
Figure 14 : Carte des réseaux hydrographiques du bassin versant de Seybouse.....	27
Figure 15 : Profil en long de l'oued Seybouse (d'après Ghachi, 1986).....	28
Figure16 : La carte des altitudes de l'estuaire de Seybouse.....	31
Figure 17 : La carte des pentes de l'estuaire de Seybouse.....	32
Figure 18 : La carte de l'occupation du sol de l'estuaire seybouse.....	36
Figure19 :Vues des stations de prélèvement en saison sèche. A gauche: Station 1 (amont estuaire). A droite : Station 2 (aval estuaire).....	39
Figure 20 :Vues des stations de prélèvement en saison humide. A gauche: Station 1 (amont estuaire) A droit : Station 2 (aval estuaire).....	39
Figure 21 : Multi paramètre 1970i.....	40

Figure 22: Mesure des paramètres physiques par multi paramètre 1970i.....	40
Figure23: Présentation de l'estuaire de Seybouse et position des stations échantillonnées.....	41
Figure 24: Variations des paramètres physiques des eaux de l'estuaire Seybouse en saison sèche.	45
Figure 25: Variations des paramètres physiques des eaux de l'estuaire Seybouse en saison humide.....	46
Figure 26 : Variations des teneurs en nitrites (μM) dans l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016/2017.	49
Figure 27: Variations des teneurs en nitrates (μM) dans l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016/2017.	51
Figure 28: Variations des teneurs en ion ammoniums (μM) dans l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016/2017.	52
Figure 29: Variations des teneurs en azote inorganique dissous (μM) dans l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016/2017.	53
Figure 30: Distribution des fractions de l'azote inorganique dissous dans 'estuaire de Seybouse durant la période sèche Septembre 2016.....	54
Figure 31 : Distribution des fractions de l'azote inorganique dissous dans l'estuaire de Seybouse durant la période humide Avril 2017.....	54
Figure 32: Variation des teneurs en phosphore μM dans l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016.2017.....	55
Figure 33 : Variation saisonnière des teneurs en silicate (μM) dans l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016/2017.	57
Figure 34: Flux en NH_4^+ (tonne /ans) à l'amont et à l'aval de l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016 /2017.....	58
Figure 35: Flux en NO_2^- (tonne /ans) à l'amont et à l'aval de l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016 /2017.....	59
Figure 36: Flux en NO_3^- (tonne /ans) à l'amont et à l'aval de l'estuaire de Seybouse .durant l'année 2016 /2017.....	59
Figure 37: Flux en NID (tonne/an) à l'amont et à l'aval de l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016 /2017.....	60

Figure 38: Flux en PO_4^{3-} (tonne/an) à l'amont et à l'aval de l'estuaire de Seybouse	60
durant l'année 2016 /2017.....	
Figure 39: Flux en SiO_4 (tonne/an) à l'amont et à l'aval de l'estuaire de Seybouse	61
durant l'année 2016 /2017.....	

Liste des tableaux

Tableau 01 :	Hiérarchisation du Chevelu hydrographique pour chaque sous bassin de la Seybouse (calculé par AutoCad).....	30
Tableau 02 :	Les barrages de l'estuaire de Seybouse.....	34
Tableau 03 :	Le couvert végétal sur le bassin de l'oued Seybouse.....	37
Tableau 04 :	La répartition des taux de couverture des hautes plaines.....	38
Tableau 05 :	Les stations d'échantillonnage et leurs caractéristiques.....	41
Tableau 06 :	Résumé des méthodes d'analyses des éléments chimiques (azote, phosphore, silicium).....	42
Tableau 07:	Mesure des paramètres physiques en amont de l'estuaire et à l'embouchure durant l'année 2016.2017.....	44
Tableau 08 :	Calcul des minimums, des maximums et des moyennes des paramètres physiques mesurés in-situ en saison sèche et saison humide.....	48
Tableau 09:	Valeurs des différentes formes de l'azote inorganique dissous (NID: $(\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)$) dans l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016.2017.....	55
Tableau 10:	Flux (F en μM) des nutriments à l'amont de l'estuaire et à l'embouchure pour la période sèche et humide % (R): rétention; (-): rétention; (+): production.....	61
Tableau 11:	Flux (F en t/an) des nutriments à l'amont de l'estuaire et à l'embouchure pour la période sèche et humide % (R): rétention; (-): rétention; (+): production.....	62
Tableau 12 :	Les valeurs du rapport N/P, Si/ N et Si/P à l'amont de l'estuaire et à l'embouchure durant la période d'étude.....	63
Tableau 13 :	Valeurs moyennes du rapport N/P dans quelques cours d'eau Méditerranéens (repris and modifié de EEA, 1999).....	65
Tableau 14 :	Valeurs moyennes de silicium, de l'azote et de rapport Si/N dans plusieurs rivières propre et anthropisés aux différentes périodes (repris et modifié de Vörösmarty <i>et al.</i> , 1998).....	65

Liste des annexes

Annexe 01 : Les logiciels utilisés (Arc Gis 10.3)

Annexe 02 : Méthode d'analyse chimique

Annexe 03 : L'occupation du sol du bassin de Seybouse



Introduction

Introduction

L'eau n'est pas un bien marchand comme les autres mais un patrimoine qu'il faut protéger, défendre et traiter comme tel. Une politique de l'eau efficace et cohérente doit tenir compte de la vulnérabilité des écosystèmes aquatiques situés à proximité de la cote, étant donné que leur équilibre est fortement influencé par la quantité et la qualité des eaux de rivières qui s'y jettent. La protection de l'état de l'eau à l'intérieur des bassins hydrographiques apportera des bénéfices économiques en contribuant à la protection des biocénoses, y compris les ressources halieutiques côtières (CE, 2000).

Margat and Treyer (2004) 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**).

Les estuaires et la plate forme continentale occupent jusqu'à 5,2 % de la surface de la terre et 2% du volume de l'océan mondial. Cependant, ils supportent d'importantes activités économiques: construction de barrages en aval, pêche, aquaculture, navigation et transport. Les estuaires sont ainsi soumis à de fortes pressions anthropiques directe et indirecte. Actuellement, environ de 60% de la population mondiale vivent le long des estuaires et de la côte (**Wolanski, 2007**).

En dépit de ces perturbations, la relation directe entre les apports hydriques, de nutriments fluviaux et la productivité biologique des écosystèmes marins est bien établit (**Budgen et al., 1982; Ziouch, 2014; Aounallah, 2015; Ounissi et al., 2014, 2016**). L'environnement côtier peut donc être hautement contrôlé par les enrichissements en nutriments d'origines fluviale et estuarienne.

Pour comprendre la dynamique des écosystèmes côtiers, il est important d'étudier l'état de trophie par les nutriments et la structure et la fonction du compartiment planctonique (**Ziouch, 2014**). Le plancton joue en effet, un rôle particulièrement important dans la dynamique des écosystèmes marins: contrôle sur la croissance du phytoplancton,

régénération des nutriments et cheminement de l'énergie et la matière, de la production pélagique au réseau trophique. L'importance du plancton au point de vue de l'économie générale de la mer a été reconnue pratiquement déjà par les pêcheurs italiens du Moyen Age : « *qui dit plancton, dit poissons* ».

De plus, les milieux estuariens offrent des potentialités unique au profit de l'homme : ils entretiennent la santé des écosystèmes par le piégeage des contaminants dans leurs sédiments (**Ridgway and Shimmiel, 2002**) alors qu'ils accueillent les poissons marins et les oiseaux migrateurs et leurs offrent les meilleures conditions de fraye et de nourriture. On constate qu'au gradient de salinité, qui caractérise les estuaires, se superposent une large variété d'habitats pour les populations marines, saumâtres et dulçaquicoles (**Attrill and Rundle, 2002**).

Les estuaires sont des zones de transition entre le continent et la mer formant ainsi des écosystèmes aquatiques particuliers, caractérisés par d'intenses processus d'échanges et de transformations chimiques, physiques et biologiques (**Telesh, 2004**) et constituent ainsi de véritables zones «filtres» de piégeage et de transformations des matières en transit (**Lisitzin, 1999**). En ce sens, les estuaires fonctionnent comme de véritables zones tampons entre le fleuve et la mer.

La connaissance de ces environnements écotones (**Attrill and Rundle, 2002**) suppose un suivi continu dans le temps et dans l'espace des paramètres hydrologiques entre le continent et l'effet de la marée (**Hardisty, 2007**). Toutefois, il faut signaler que la qualité des eaux dans ces milieux vulnérables ainsi que leurs cycles biogéochimiques sont liés dans une large mesure à la forte variabilité hydrologique et l'importance de l'anthropisation du bassin versant (**Elliot and McLusky, 2002**).

Dans la région méditerranéenne, ces hydro systèmes sont considérés comme fleuves à marée et sont donc peu connus sous la vocation d'estuaire. Dans un contexte local, les estuaires d'Algérie sont très peu connus, seulement deux ont été explorés: (**Pauc ,1989 & 2003**) pour l'estuaire du Mazafran, (**Khélifi -Touhami et al., 2006**) et **Ziouch ,2007**) pour l'estuaire du Mafrag.

Il est à souligner que la totalité de travaux et études portant sur la Seybouse, voire sa plaine, s'attachent essentiellement à d'autres problématiques et contextes, toute en traitant l'estuaire comme une rivière. La Seybouse en tant qu'estuaire, mentionné pour la première fois par (**Ziouch ,2014**), et avec ses multiples intérêts scientifiques, environnementaux et socio-économique va fournir certainement un nouveau champ d'investigation pour les

scientifiques de la région dont la méconnaissance de ce genre de milieux et l'actuel constat qui se concrète.

En complément aux travaux antérieurs qui ont fournis les premières observations hydrologiques sur l'estuaire (**Ziouch, 2014; Aounallah, 2015**), le présent travail s'attache pour la première fois à l'étude de l'effet de l'estuaire sur la distribution des masses d'eaux et des nutriments des eaux du bassin de Seybouse introduites du littoral adjacent. L'objectif est de déterminer les transformations hydro biogéochimiques des nutriments (N, P et Si) de l'estuaire dans l'esprit de la problématique de l'interaction continent-mer et des transferts de matières qui s'y produisent.

Ce manuscrit est structuré en trois chapitres dont le premier est strictement documentaire et qui forme un essai de synthèse sur les objets de l'étude (milieux estuariens et nutriments). 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 d'analyses des matières nutritives. Le travail s'achève par une conclusion.



**Chapitre I : Généralités sur les
Estuaires et les Nutriments (N, P, Si)**

Chapitre I : Généralités sur les estuaires et les nutriments (N, P, Si)

I. Les estuaires

1. Définition

L'estuaire est la débouchée d'un cours d'eau dans la mer qui représente un domaine intermédiaire où s'affrontent les influences marines et fluviales et constitue une catégorie originale de formes littorales. Il est caractérisé par la pénétration d'eaux, marines dans le cours aval des écosystèmes fluviaux (**Fairbridge, 1980**). Un estuaire est généralement divisé en trois parties (**Figure 1**). Les limites de ces dernières varient selon les saisons, le temps et les marées (**Rossignol, 1998**).

- *L'estuaire marin*, en contact direct avec la mer.
- *L'estuaire intermédiaire*, constitué d'un mélange d'eau douce et d'eau fortement salée.
- *L'estuaire fluvial*, d'eau douce, soumis à l'action quotidienne de la marée.

Un estuaire est une masse d'eau côtière semi-enfermée, qui a une connexion libre avec la mer et à l'intérieur de laquelle l'eau de mer est en dilution avec l'eau douce provenant du drainage terrestre (**Cameron and Pritchard, 1963**).

Les estuaires sont des écosystèmes très favorables à la vie de nombreux animaux et de nombreuses plantes parce que ce sont des lieux de contact. Ils constituent une zone de transition pour les poissons, de même qu'une aire de repos et de nidification pour les oiseaux (**Cameron and Pichard, 1963; Pirozzoli, 1993; Meire et al., 2005**). Ces écosystèmes ont une très grande importance économique.

Certains auteurs réservent le nom d'estuaire à la partie où l'on trouve des eaux salées (**Francis Boeuf and P. Roa Morales, 1947**), pour sa part (**Ottmann, 1965**) propose d'appeler estuaire, toute la zone où se manifestent les phénomènes dynamiques, et de les subdiviser en deux parties : l'une "marine", où se manifeste la marée saline; et l'autre "fluviale", où se manifeste la marée dynamique mais où les eaux restent douces.

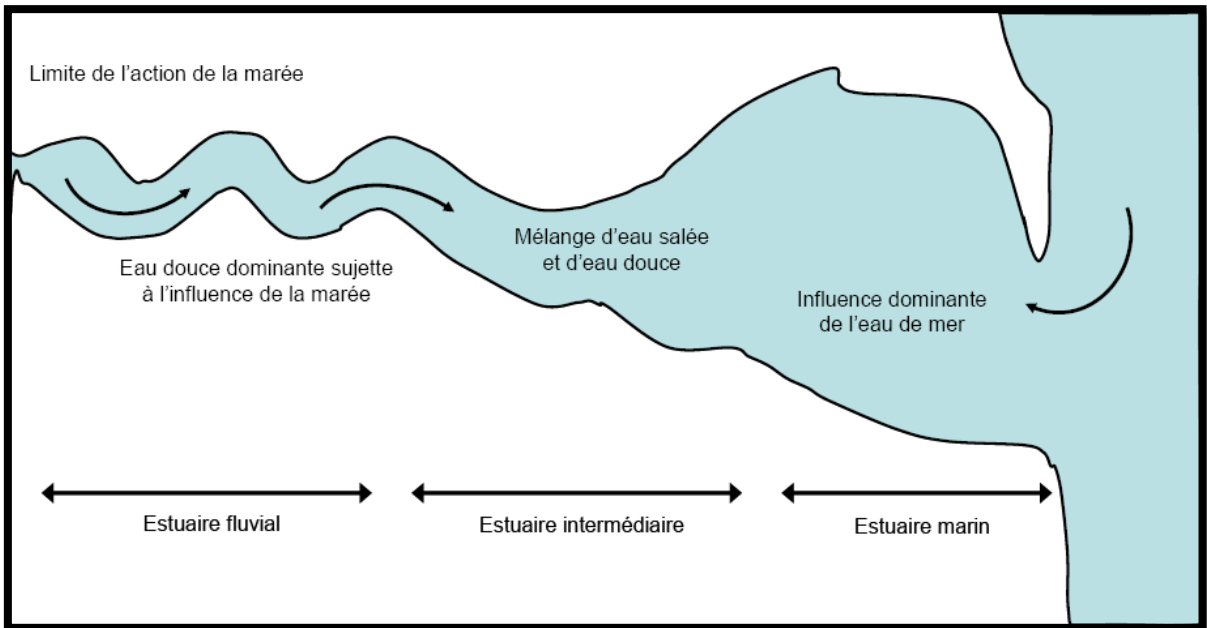


Figure 01 : Différentes parties constituant un estuaire (Fairbridge, 1980).

2. Classification des estuaires

Dans les estuaires l'eau douce apportée par les fleuves se mélange avec l'eau de mer sous l'effet combiné de la marée, de la circulation de densité et des courants dus aux vents. L'intensité du mélange conditionne l'apparition de gradients de salinité longitudinaux, verticaux et latéraux impliquant un courant résiduel.

Le mécanisme initiateur de cet écoulement peut se résumer ainsi; la salinité supérieure en aval de l'estuaire entraîne un gradient de densité aval-amont maximum au fond. Le courant près du fond est ainsi dirigé vers l'amont. L'équilibre dynamique, qui suppose un courant résiduel nul hors débit fluvial, est mis en place en raison de la pente de surface qui provoque un courant barotrope (uniforme sur la verticale) dirigé vers l'aval. Cet écoulement se superpose de façon non linéaire au courant alternatif de marée. La circulation résultante est dirigée vers l'aval en surface et vers l'amont près du fond.

Les conditions de mélange entre eau douce et eau de mer influencent largement les structures hydrodynamiques dans les estuaires. Différents types de circulation estuarienne ont été définis en fonction de l'intensité et de la variabilité de ces gradients de densité, donc de la structure saline par rapport à la circulation de marée. D'autres paramètres tels que la morphologie de l'estuaire, la température de l'eau et les conditions météorologiques agissent de manière secondaire sur l'écoulement en estuaire.

Les variations des débits fluviaux et des volumes d'eau introduits par la marée ont été utilisées pour établir une classification des estuaires. De manière générale, il est montré que plus ce rapport est grand (débit fluvial sur volume de flot), plus le mélange est faible et

par conséquent les gradients verticaux sont élevés. Ils seront donc maximum en période de morte eau et de crue, tandis qu'en vives eaux et en étiage la structure de l'estuaire sera plus homogène.

Nous décrivons ici la classification établie par (**Pritchard, 1955**). Il est important de remarquer qu'en raison de la forte variabilité des conditions de marées et de débits fluviaux, un estuaire pourra être classé dans une catégorie pour des conditions données et dans une autre pour des conditions différentes.

2.1. Classification d'après la structure saline

2.1.1. Les estuaires à coin salé

C'est le cas lorsque le fleuve par son débit a plus de puissance que la marée : l'eau douce fluviale s'écoule au-dessus de l'intrusion saline. Entre l'eau salée et l'eau douce, un fort gradient de densité et de salinité caractérise l'halocline. Des échanges diffusifs se produisent à l'interface mais ne perturbent pas fondamentalement la stratification et le gradient de salinité reste suffisamment élevé pour donner naissance à des courants de densité. Il en résulte une circulation résiduelle étagée qui représente le mouvement des masses d'eau, abstraction faite des allées et venues liées aux courants de flot et de jusant (**Van Veen, 1950**). L'écoulement se fait vers l'amont au fond, sur environ le tiers ou le quart de la hauteur de la tranche d'eau, avec une vitesse décroissante. A l'extrémité amont de l'intrusion marine, le point nodal est le point de convergence où s'annule le courant de fond qui remonte l'estuaire et le courant fluvial qui, sur toute la tranche d'eau, le descend.

2.1.2. Estuaire partiellement mélangé

Dans ce type d'estuaires, les courants d'eau salée sont suffisamment forts pour déplacer les sédiments plus loin. Ceux qui proviennent de la rivière ont floculé au contact de l'eau d'une salinité supérieure. La turbulence et les fortes concentrations de sédiments en suspension favorisent alors la floculation des boues. Un mélange de sédiments marins et fluviaux est ensuite transporté vers le large jusqu'à l'endroit où le mélange eau douce et eau salée est suffisamment faible pour les laisser se déposer.

2.1.3. Estuaire bien mélangé

Dans les estuaires bien mélangés, les courants de marée deviennent prépondérants face aux débits fluviaux, la turbulence est alors suffisamment importante pour mélanger toute la colonne d'eau. Les gradients verticaux de densité s'estompent. Ces estuaires sont généralement peu profonds avec un fort marnage. Il ne peut se développer de circulation résiduelle gravitationnelle mais des variations latérales de salinité peuvent apparaître. Si l'estuaire est très large et peu profond, la force de Coriolis est importante et peut provoquer

une circulation préférentielle avec un écoulement résiduel d'eau douce par un côté et l'entrée d'eau salée par un autre.

2.1.4. Estuaire en zone aride

Ce type d'estuaire est caractérisé par une évaporation à la source de l'estuaire et atteint des taux très importants et la salinité. Cette eau hyperchargée en sel atteint le large par le fond et est alors remplacée en surface par un écoulement côtier d'eau de mer.

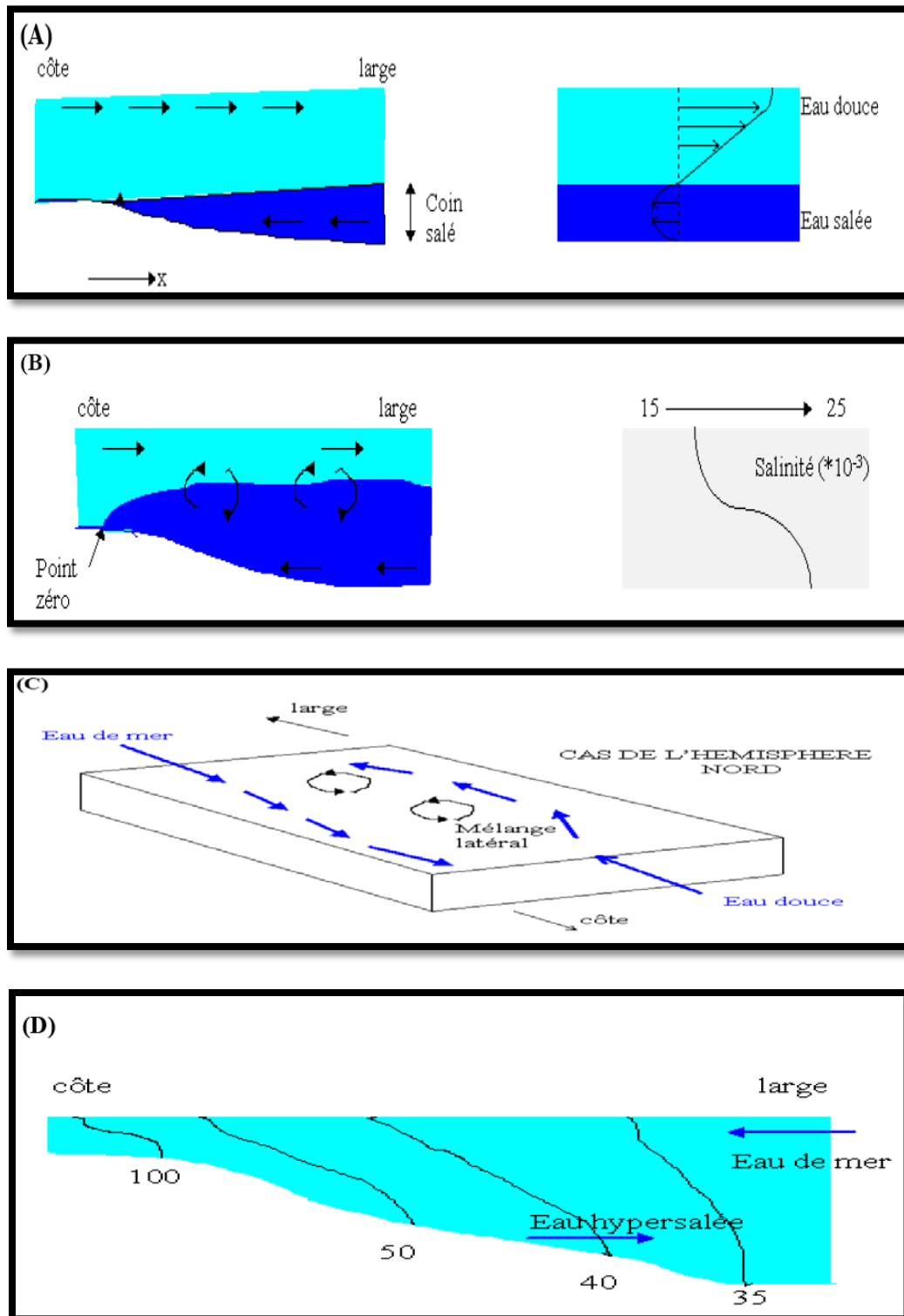


Figure 02 : Différents types des estuaires: estuaires à coin salé (A), estuaires partiellement mélangés (B), estuaires bien mélangés (C) et estuaires en zone aride (D) (Salomons and Forstner,1984).

2.2. Classification d'après la propagation de la marée

D'après la propagation de la marée, un estuaire peut être: hyper synchrone ; synchrone ou hypo synchrone (Larras, 1965).

2.2.1. Un estuaire hyper synchrone

Est un estuaire où l'effet du rétrécissement d'aval en amont de la section transversale, est supérieur à l'effet de la dissipation d'énergie par l'écoulement: l'amplitude de la marée augmente de l'aval vers l'amont de l'estuaire avant de se dissiper à l'amont.

2.2.2. Un estuaire est synchrone

Lorsque l'effet du rétrécissement est égal à celui de la dissipation d'énergie par l'écoulement: l'amplitude de la marée reste constante dans l'estuaire.

2.2.3. Un estuaire est hypo synchrone

Lorsque l'effet du rétrécissement est inférieur à celui de la dissipation d'énergie par l'écoulement: l'amplitude de la marée décroît dans l'estuaire.

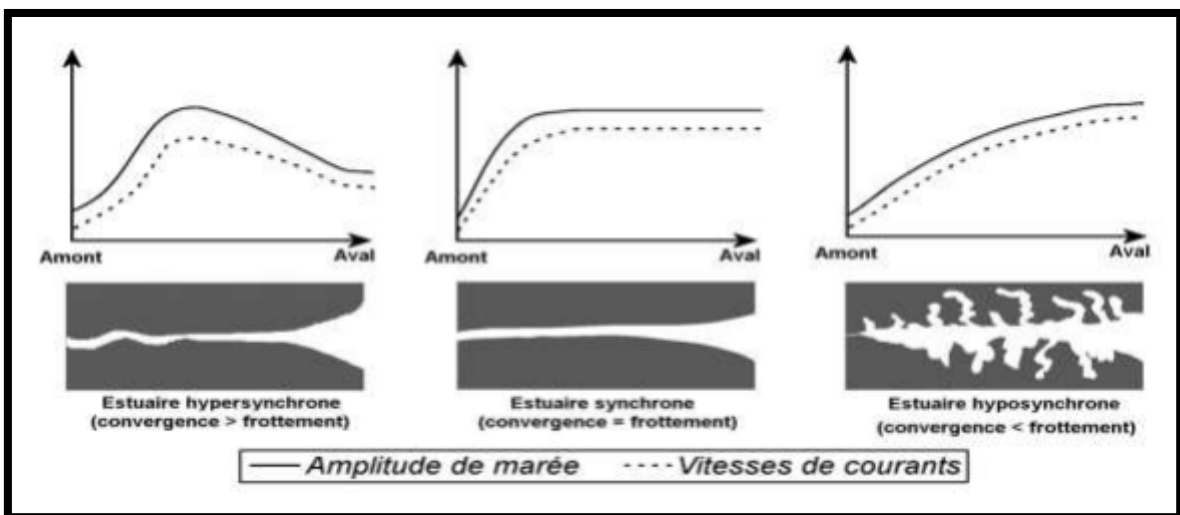


Figure 03 : Les différents types d'estuaires selon la classification de Le Floch (1961).

L'équilibre entre les trois phénomènes (frottement, convergence, réflexion), qui dépend de la hauteur d'eau et de la topographie, est très complexe, donc difficile à préciser sans modèle numérique. Cet équilibre va permettre de décrire l'estuaire. En général, le frottement ne devient prépondérant que dans les zones peu profondes à l'amont. Un estuaire peut être hyper synchrone dans une partie et hypo synchrone dans une autre. Il peut aussi changer de catégorie en fonction des conditions de marée et de débit fluvial.

3. Caractéristiques des estuaires

Le déversement de la rivière, les vagues et les marées sont les trois principaux facteurs hydrodynamiques qui forment et la répartition des sédiments dans les estuaires. (**Boyd *et al.*, 1992; Dalrymple *et al.*, 1992**)

Ces facteurs, combinés à la morphologie, forment divers degrés de stratification verticale, la classification de l'estuaire en fonction du type de mélange se produit, très stratifié, partiellement et bien mélange (**Dyer, 1973**).

Les fleuves apportent à la mer des substances en solution, des quantités importantes de sables, de boues, voire de galets lorsque leur régime est torrentiel. A leur embouchure par suite de la diminution de la vitesse du courant, à cause de l'onde de marée et de la différence de densité entre les eaux douces et marines, les sables et silts en suspension se déposent (**Van Mierlo, 1899**).

La vase est un dépôt caractéristique des estuaires, mais aussi des certains lacs et de nombreux fonds marins, littoraux ou de grande profondeur (**Ottmann, 1965**). La vase est un mélange complexe variable dans l'espace et dans le temps qu'il ne faut pas confondre avec l'argile, dont la composition est exclusivement minérale.

Selon (**Short, 1999; Green and Mac Donald, 2001; Masselink and Hughes, 2003**), La morphologie des estuaires contrôle l'espace d'hébergement et détermine les Courants. Les débits, les vents et les marées, modulés par le changement climatique, sont Les trois principaux paramètres hydrodynamiques agissant les mouvements des sédiments dans un estuaire.

Une quantité importante de sédiments transite dans les estuaires. Ces sédiments ont plusieurs origines : ils proviennent soit d'apports fluviaux, soit d'apports marins soit de l'érosion des rives et du fond même de l'estuaire. En ce qui concerne les vases (sédiments de diamètre inférieur à 63 μ m), le transport s'effectue en suspension. La caractéristique la plus remarquable de transport des sédiments fins cohésifs est la présence d'un maximum de turbidité, appelé « bouchon vaseux » (**Glangeaud, 1938**). D'autres processus hydro sédimentaires affectent également le comportement des sédiments fins en suspension dans les estuaires tel que la turbulence, la floculation, la vitesse de chute, etc.

Le comportement des matériaux cohésifs, à la différence de celui des matériaux granulaires, dépend plus des forces de surface des particules que des forces de volume comme la gravité. Ces forces superficielles sont de nature uniquement physico-chimique.

Ce sont les minéraux argileux des dimensions inférieurs à 2 μ qui déterminent presque entièrement les propriétés des matériaux cohésifs. L'étude des propriétés de ces

petites particules minérales permet de mieux comprendre le comportement de ces matériaux (**Terzaghi, 1961**).

Les cations qui se trouvent dans les couches adsorbées forment le **complexe d'adsorption**. On donne souvent à l'argile le nom de l'élément, H, Ca, ou Na par exemple, qui prédomine dans le complexe d'adsorption. Lorsque la dimension des particules diminue, les substances adsorbées occupent une part croissante du volume totale.

Sous l'action de son propre poids ou d'une charge, la teneur en eau d'un sédiment diminue, on dit alors que le sol se **consolide**. Ainsi, après consolidation, la structure floconneuse originale d'un sédiment, se transforme d'abord en **structure en nid d'abeilles** et finalement en **structure élémentaire**

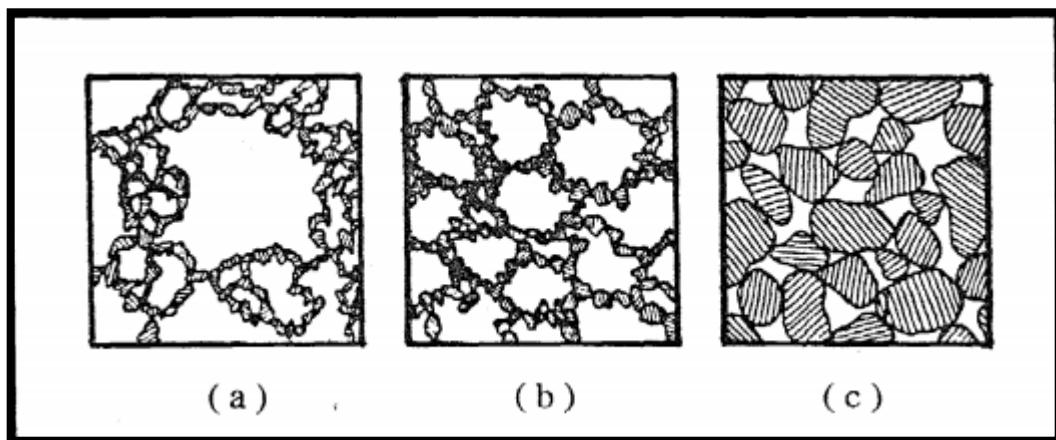
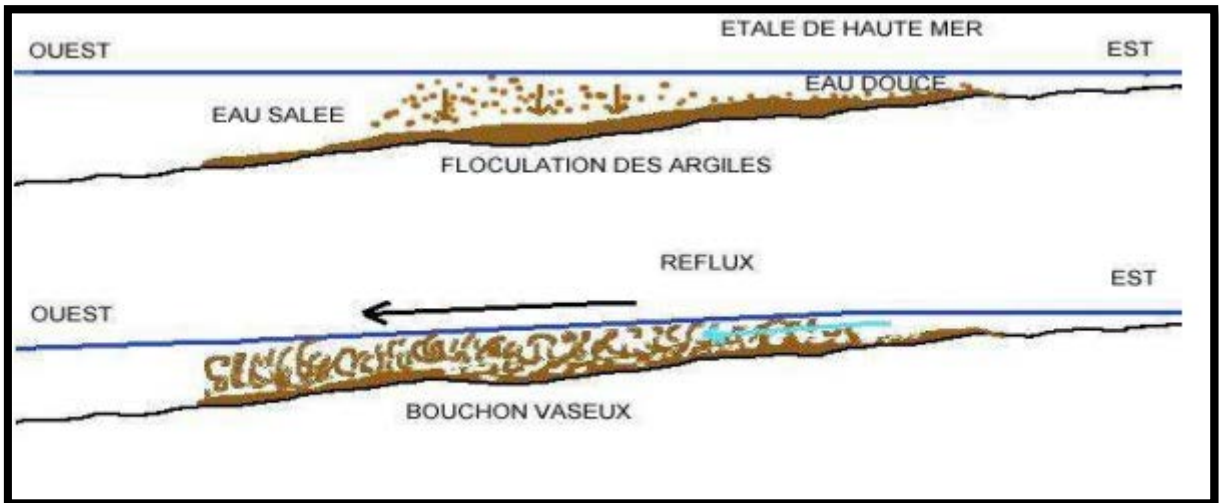


Figure 04 : Diagramme illustrant: (a) la structure floconneuse; (b) la structure en nid d'abeilles; et (c) la structure élémentaire (**Terzaghi and Peck., 1961**).

Au cours de la marée la force du fleuve s'oppose ou se conjugue à la puissance du flot ou du jusant (Le jusant est un terme maritime qualifiant la période pendant laquelle la marée est descendante).

Au cours du cycle lunaire qui est de 28 jours, l'amplitude de la marée varie fortement. Il en résulte donc une alternance de vives eaux et de mortes eaux. En vives eaux l'amplitude maximale aux embouchures varie selon l'estuaire considéré.

On observe aussi un aspect hydro sédimentaire. L'interaction des courants de surface et les frottements induits par les courants sur le fond entraînent autour du point nodal la formation d'un stock sédimentaire désigné par les termes «bouchons vaseux» ou «maximum de turbidité». Le bouchon vaseux est un endroit dans l'estuaire où les sédiments fins en suspension sont fortement concentrés (**Figure 05**).



Source: Océan Géo Encyclopédie universelle édition Gallimard.

Figure 05: Schéma représentatif d'un aspect hydro sédimentaire.

II. Les nutriments: Azote. Phosphore. Silicium

1. Azote

1.1. Définition d'azote

L'azote (N) est l'un des éléments essentiels à la vie. C'est aussi l'élément le plus abondant dans l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère du système terrestre (**Massad, 2009**).

Cet élément est celui qui est sans doute le mieux connu des agriculteurs car ils interviennent fortement sur son cycle par la fertilisation azotée ou la pratique de certaines cultures. L'azote minéral est présent à profusion sur notre planète, puisque sa forme gazeuse, N_2 , L'azote atmosphérique représente la plus grande partie de l'air que nous respirons. En revanche, les ions nitrate, NO_3^- , seule forme d'azote minéral assimilable par les plantes avec les ions ammonium, sont très instables et sont facilement lessivables.

L'azote organique est un élément plastique constituant de toutes les cellules animales ou végétales. Il joue également un rôle important comme métabolite puisqu'on en trouve dans les acides aminés, chainons de base de toutes les protéines. Il entre aussi dans la construction des acides nucléiques sous forme de bases puriques et pyrimidiques (**Claude F et al., 2012**).

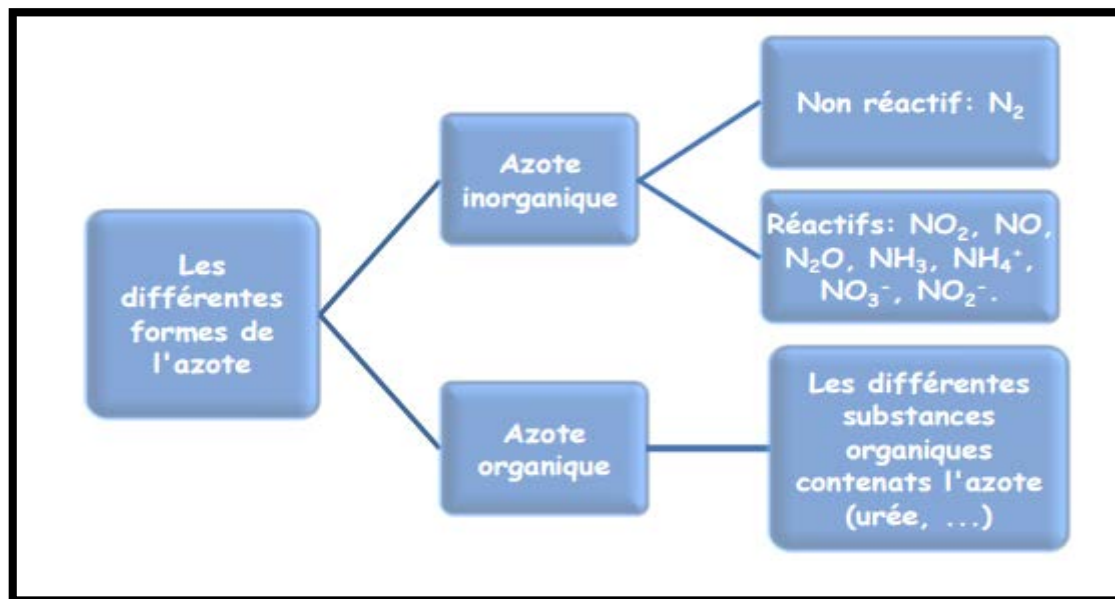


Figure 06 : Un organigramme présentant les formes de l'azote.

1.2. Formes d'azote dans l'eau

La forme d'azote dans les eaux de surface dépend de plusieurs facteurs qui sont : le pH, la concentration d'oxygène dissous et les communautés biologiques présentes. Toutes les formes d'azote libérées dans les eaux de surface peuvent se transformer en nitrates sous l'action des bactéries.

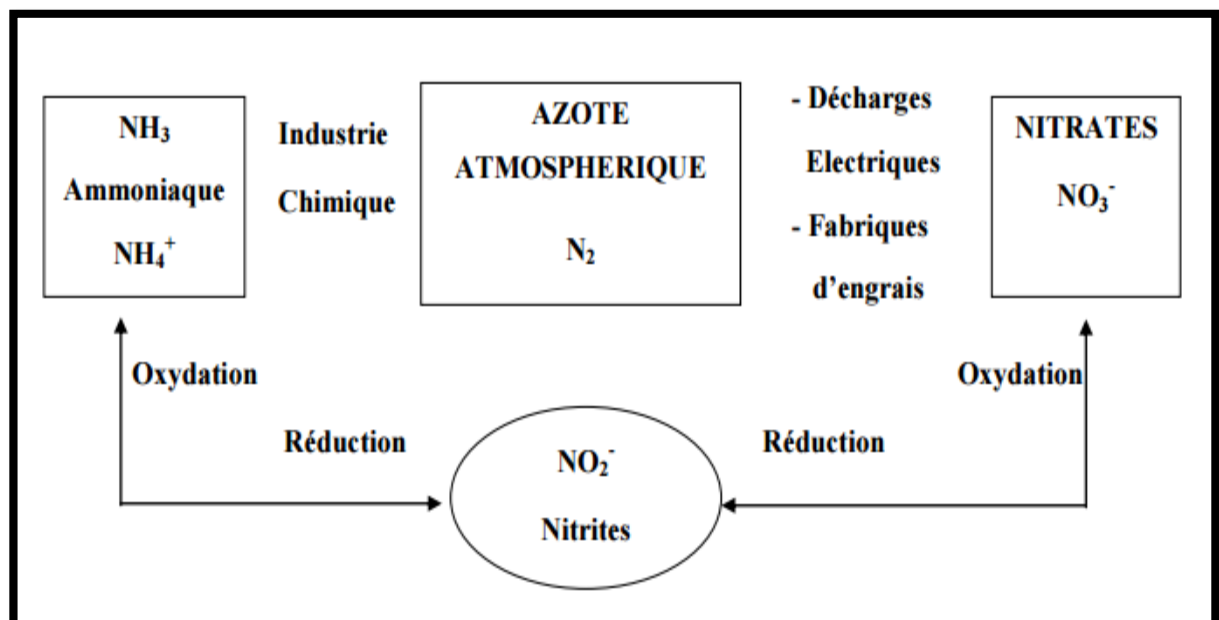


Figure 07 : Le cycle de l'azote (Bchitou, 2001).

Des nitrates peuvent également aboutir directement dans les eaux de surface par les dépôts atmosphériques, le ruissellement superficiel et l'infiltration d'eau souterraine dans les cours d'eau et les lacs.

Une plus grande quantité d'azote (sous forme de nitrates) pénètre dans les eaux de surface beaucoup plus par des sources diffuses, comme les dépôts atmosphériques et le ruissellement des eaux agricoles et domestiques, que par des sources ponctuelles comme les effluents d'eaux usées municipales ou les rejets industriels (**Bchitou, 2001**).

1.3. Cycle de l'azote

C'est certainement un des cycles les plus complexes et les plus parfaits à la fois. Cependant, malgré le grand nombre et la diversité des organismes qui interviennent, il assure une circulation rapide de l'azote dans les divers écosystèmes. Cet élément suit dans une grande mesure le carbone avec lequel il est associé dans toutes les substances protéiques. Cependant, il en diffère par plusieurs points essentiels. En particulier, alors que les organismes vivent aux dépens d'une atmosphère riche en azote (et pauvre en gaz carbonique).

Cet élément, à la différence du gaz carbonique, ne peut être utilisé tel quel que par un nombre assez restreint d'être vivants. En outre, alors que les produits de dégradation des composés carbonés sont finalement rejetés sous forme d'anhydride carbonique, il n'en est pas de même pour l'azote dont une faible quantité seulement est directement éliminée sous forme gazeuse. Enfin, l'intervention des êtres vivants dans le cycle de l'azote présente un haut degré de hiérarchisation : certaines catégories d'organismes, et elles seules, sont aptes à intervenir à phase de ce cycle (**Ramade, 2003**).

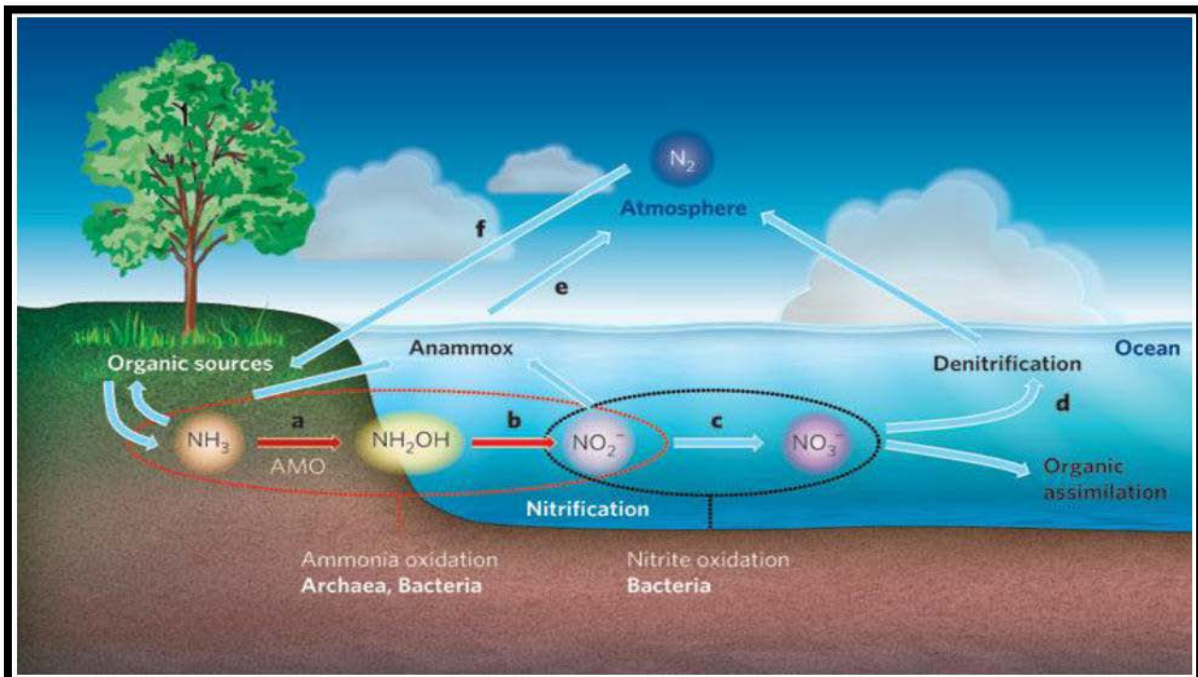


Figure 08: Cycle globale de N dans le système sol-plante-atmosphère (**USD, 2013**)

1.3.1. La fixation de l'azote atmosphérique

1.3.1.1. Par les Bactéries symbiotiques et par les Cyanobactéries

L'azote moléculaire gazeux peut être réduit en ammoniac par des micro-organismes. Ceux-ci sont quelquefois localisés dans la rhizosphère des racines c'est le cas des fixateurs libres comme *Azotobacter* (Bactérie aérobie) ou *Clostridium* (Bactérie anaérobie). On les trouve aussi dans des nodosités situées sur les racines ou les tiges de certains groupes floristique pour les fixateurs symbiotiques tels que *Rhizobium* (Bactérie des Légumineuses) ou *Frankie* (Bactérie symbiotique des *Casuarina* et des aulnes). Ils peuvent aussi vivre dans le milieu aquatique comme les Cyanobactéries (appelées aussi les Cyanophycées). Certains de ces organismes flottent grâce à des cellules spécialisées, les hétérocystes, et captent ainsi l'azote de l'air pour équilibrer de façon optimale leur rapport N/P (Claude *et al.*, 2012).



Dans les écosystèmes où le pH est élevé, l'ammonium se transforme en ammoniac gazeux:



3.1.1.2. Transformation de N₂ par des phénomènes météorologiques

En altitude, de multiples rayonnements transforment l'azote atmosphérique en NH₃⁺ et en oxydes d'azote. Cela se produit également lors des orages car l'énergie colossale libérée par les éclaires agit de la même façon.

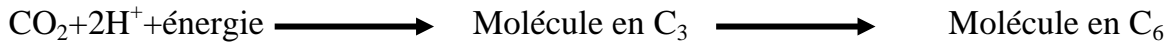
A ces actions photochimiques et électriques s'ajoute l'influence de certaines précipitations. Le proverbe ne dit-il pas que « neige de février vaut du fumier » ! Cela se justifie par le fait que les flocons en tombant lentement emprisonnent de l'azote qu'ils incorporent au sol (Claude *et al.*, 2012).

1.3.2. La minéralisation de l'azote

1.3.2.1. La nitrification

A la mort des êtres vivants, des micro-organismes autotrophes vis-à-vis de l'azote dégradent progressivement les protéines en azote minéral ammoniacal, puis nitreux et enfin nitrique. Ces trois étapes mettent en œuvre l'oxydation de ces différents substrats par des bactéries aérobies qui en retirent l'énergie nécessaire à leur chimiosynthèse. Le résultat de ces couplages oxydoréductase est semblable à celui qui résulte de la photosynthèse, c'est-à-dire des molécules en C₃ qui sont reprises ensuite par les différents métabolismes. On

parle ici de chimiosynthèse, car l'énergie provient de réaction chimique et non des photons. (Claude *et al.*, 2012).



1.3.2.1.1. L'ammonisation-Action Des Bactéries ammonifiantes

Si le sol est suffisamment aéré, des enzymes bactériennes catalysent l'oxydation des acides aminés contenus dans les protéines en décomposition ce qui libère de l'ammoniac ou des ions NH_4^+ (Claude *et al.*, 2012).



1.3.2.1.2. La nitrosation –Action des Bactéries Nitreuses

D'autres Bactéries autotrophes aérobies, telles que Nitrosomonas Europe, utilisent l'ammoniac ou les ions ammonium dans un couplage oxydoréductif et les transforment en acide nitrique ou en ions NO_2^- selon les réactions suivantes : (Claude *et al.*, 2012).



1.3.2.1.3. La nitratisation – Action Des Bactéries Nitriques

L'acide nitreux très instable ou les ions NO_2^- provenant de la nitrosation sont récupérés par des bactéries de type Nitrobacter qui les oxydent en acide nitrique ou en ions NO_3^- . Ceux-ci se combinent aussitôt à des cations du sol pour donner des nitrates que les plantes vont enfin pouvoir absorber (Claude *et al.*, 2012).

1.3.3. La dénitrification

Lorsque les sols ne sont pas aérés les nitrates sont perdus pour les plantes car des bactéries anaérobies les métabolisent en nitrites, en oxyde d'azote ou en azote libre N_2 .

Ainsi la Bactérie Pseudomonas transforme les nitrates en ammoniac, Nitrococcus dénitrificans en oxyde d'azote. Quant à Thiobacillus dénitrificans qui est en même temps autotrophe vis-à-vis du soufre et de l'azote, elle dégrade le soufre et les nitrates respectivement en ions SO_4^{2-} et en N_2 (Claude *et al.*, 2012).

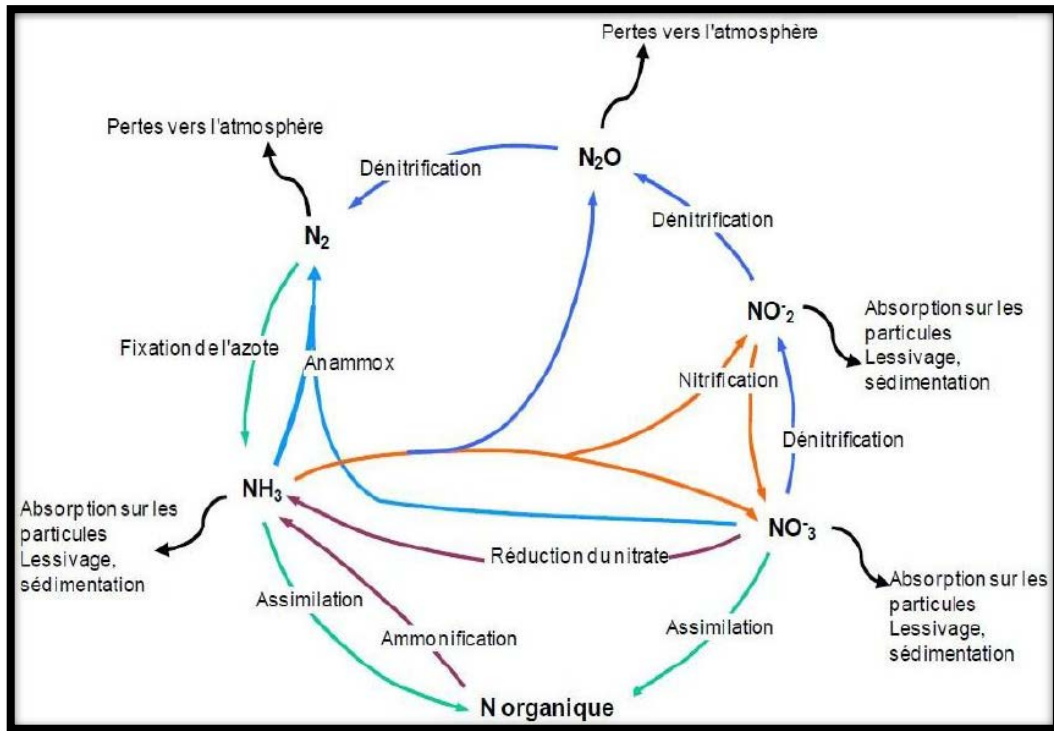


Figure 09: Différents transformation dans le cycle d'azote (Lefebvre, 2003).

2. Le phosphore

2.1. La définition du phosphore

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 *et al.*, 1983 ; Conley *et al.*, 2000 ; Sierra *et al.*, 2002).

Cet élément constitue par ailleurs un des composants essentiels de la matière vivante ou il se rencontre à des taux relativement élevés: citons pour mémoire l'importance capitale au point de vue biologique de diverses molécules phosphorylées comme les nucléotides ou les phosphatidylipides par exemple (Ramade, 2003).

Le phosphore (P) a été vu comme l'élément qui limite la croissance du phytoplancton dans les lacs (Schindler, 1977), la mer des Sargasses (Cotner *et al.*, 1997) et les eaux côtières (Downing, 1997).

2.3. Sources et formes des matières phosphorées

Le phosphore dissous (ou soluble) est présent dans l'eau et la solution du sol sous forme minérale ou organique (**Lemercier, 2003**) :

- Formes minérales : Ions ortho phosphates (PO_4^{3-}) libres ou associés à de 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 poly phosphates ;
- Formes organiques : Trioses phosphates, acides nucléiques, phospholipides, acides phosphoriques de sucre et leurs formes dégradées

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.

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.

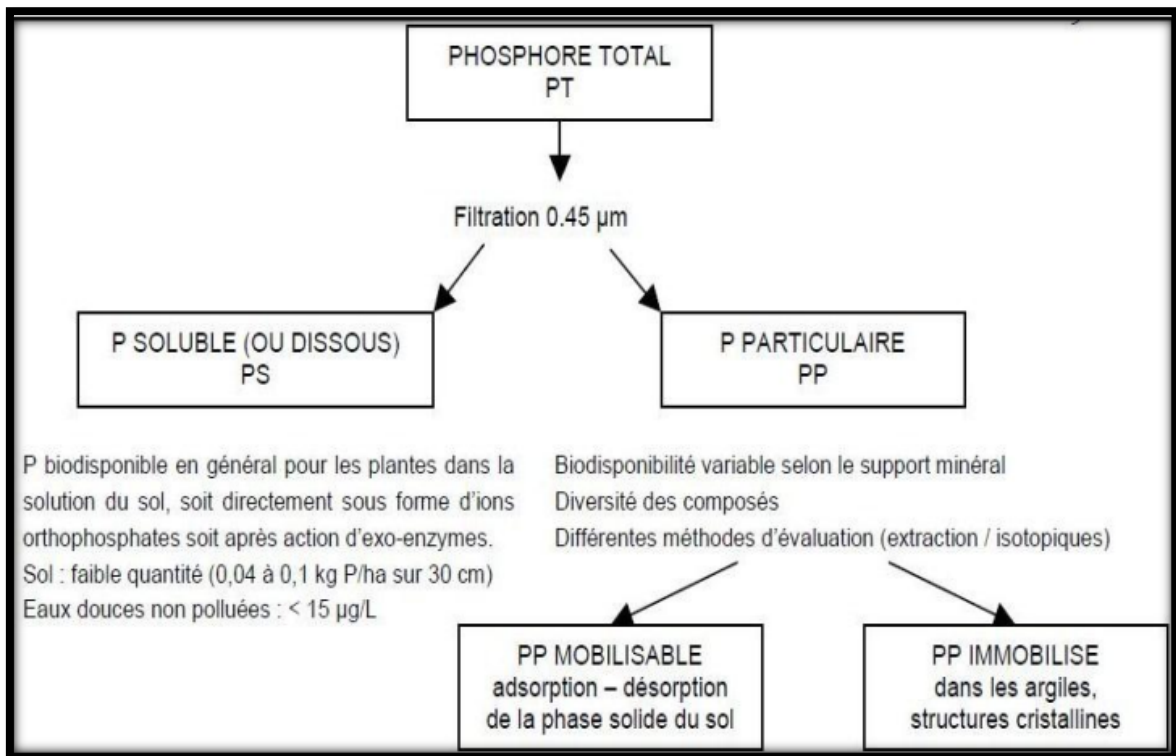


Figure 10: Schéma représentatif des formes du phosphore (**Lefebvre, 2003**).

2.4. Cycle du phosphore

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 and autres, 2008A**).

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**).

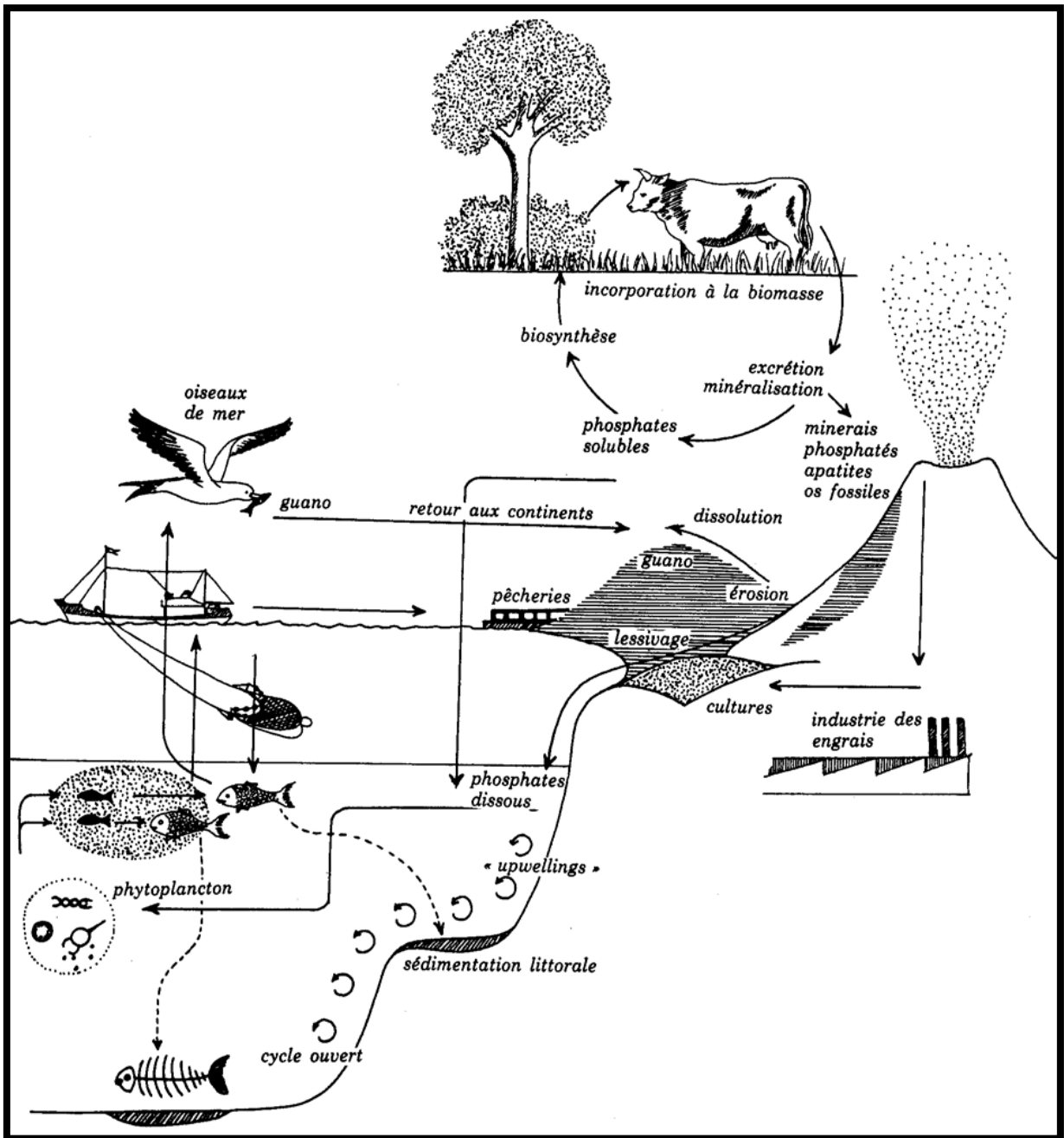


Figure 11: Cycle du phosphore dans la biosphère (Ramade, 1984)

2.4.1. Le phosphore dans les soles

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 diverses 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 ortho phosphates minéraux, à nouveau disponibles pour les plantes vertes et autres autotrophes (**Ramade, 2003**).

2.4.2. Le phosphore dans les écosystèmes aquatiques

Le ruissellement entraîne dans les eaux douces puis dans les océans les phosphates dissous (PO_4^{3-}). Le phytoplancton les capte et les met à profit pour se développer. Dans les conditions normales, le phosphore est insuffisant pour assurer une photosynthèse maximale des algues et leur développement est assez limité. Parfois au contraire, sous l'action de l'homme le phosphore est excédentaire dans l'eau. Le dérèglement du rapport N/P conduit alors à une prolifération anormale de certaines algues ou bactéries et à une eutrophisation des eaux.

Comme dans la biosphère continentale, le phosphore minéral capté par les algues s'incorpore sous forme organique dans les réseaux trophique aquatiques. Il passe progressivement du phytoplancton au zooplancton, puis se concentre dans les Mollusques, les poissons, les mammifères et les oiseaux de mer.

Une petite partie du phosphore des océans retourne sur les continents grâce à la pratique de la pêche ou par les excréments des oiseaux de mer, le poisson est un des aliments qui contient en effet le plus de 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**).

3. Le silicium

3.1. Définition de silicium

Le silicium, l'élément le plus abondant de la croûte terrestre après l'oxygène, constitue sous forme de tétraèdres (SiO_4) la charpente de la silice, l'oxyde le plus répandu à la surface de la terre, et des minéraux silicatés (feldspaths, amphiboles, pyroxènes) qui représentent plus de 75% des roches exposées à la surface de notre planète. Il est présent dans plus de 370 minéraux composants les diverses roches (**Wedepohl, 1995; Wollast and McKenzie, 1983**).

Le silicium ne se trouve pas à l'état natif, mais constitue sous forme de silice et de silicates, l'élément le plus abondant à la surface du globe, formant environ 28%, après l'oxygène. Le silicium naturel correspond en réalité à un mélange de trois isotopes stables ^{28}Si (92,27 %), ^{29}Si (4,68 %) et ^{30}Si (3,05 %).

Des Nombreuses études ont visé à caractériser le cycle mondial du silicium, mais ce n'est que récemment (**Mackenzie and Garrels, 1966A,B; Wollast and Mackenzie, 1983**) que l'importance du cycle biogénique de cet élément dans les environnements terrestres a été reconnu (**Meunier *et al.*, 1999; Derry *et al.*, 2005**). Le rôle du cycle du silicium à l'échelle du globe et des temps géologiques est aujourd'hui bien établi: acquisition de la composition moyenne de la croûte continentale, cycle sédimentaire, relation entre cycle du silicium et du carbone.

La partie biologique océanique de son cycle est également très documentée (**Tréguer *et al.*, 1995**). La composante biologique continentale de ce cycle est beaucoup moins bien connue. Le peu d'intérêt porté aux aspects biologiques du cycle du silicium en milieu continental vient de ce que le silicium n'était pas jusqu'ici, en raison de son abondance, considéré comme un nutriment limitant, et que son rôle dans la physiologie végétale n'était pas encore clairement identifié. Malgré tout, on sait depuis longtemps qu'il est un composant essentiel des rhyolithes et plusieurs études récentes ont montré la nécessité de mieux connaître sa bio géochimie continentale (**Lucas *et al.*, 1993 ;Conley, 2002 ;Basile-Doelsch *et al.*, 2005**). Cet intérêt récent a plusieurs origines: le recyclage biologique est susceptible de jouer un rôle essentiel quant à la nature des minéraux secondaire formés

dans les sols; il joue un rôle physiologique encore mal connu mais certain pour un grand nombre de plantes; il participe aux bilans globaux; la silice biogène est enfin susceptible de servir de traceur des processus d'altération ainsi que de marqueur des paléo-environnements.

La silice dissoute est présente dans les eaux naturelles principalement sous forme d'acide silicique H_4SiO_4 ou $Si(OH)_4$ (**Stumm and Morgan 1981**). La Silice dissoute (SiO_2) provient principalement de l'altération des minéraux silicatés. Elle peut aussi exister sous forme de rhyolithes, on parle alors de silice biogénique ou de bio-opale (**Bartoli, 1983; Bartoli, 1985; Semhi et al., 2000; Conley et al., 2002; Michalopoulos and Aller, 2004; Cary et al., 2005 ; Derry et al., 2005**)

3.2. Cycle du silicium

Cet élément retient de nouveau l'attention des bios géochimistes, depuis la mise en évidence de son rôle majeur dans le contrôle du CO_2 atmosphérique consommé par les algues planctoniques. Le silicium dissous de l'eau est présent sous différentes formes chimiques éventuellement disponibles pour les diatomées. L'acide ortho silicique $Si(OH)_4$ est la forme soluble du silicium ayant une biodisponibilité particulièrement élevée. Le silicium joue un rôle primordial dans le cycle global de la matière en particulier dans le cycle du carbone. Il contribue doublement à l'élimination du carbone atmosphérique par :

3.2.1. Lessivage selon la réaction



Où le carbone est transféré et stocké dans les biogéosystèmes marins (**Berner, 1995; Kemp et al., 2001**).

3.2.2. Élimination dans les fonds marins sous forme de boues à diatomées.

(**Rousseau et al., (2002)** montrent expérimentalement que les espèces de diatomées sont différemment silicifiées où le rapport Si/C varie entre 0,2 et 0,74. En fait, le rôle de la mer dans l'archivage global du carbone est directement couplée au cycle global du silicium, car les diatomées (plancton végétal de taille microscopique), utilisant le Si dans leurs carapaces, forment actuellement 60% du phytoplancton global (**Ragueneau et al., 2000 ; Tréguer et al., 1995; Yool and Tyrrell, 2003**). Les diatomées absorbent le CO_2 atmosphérique dissous dans l'eau de mer et les sels nutritifs (N, P et Si) pour fabriquer leur propre matière organique et leur enveloppe formée essentiellement de Si selon la réaction :

$$106CO_2 + 121H_2O + 15NH_3 + 15 SiH_4O_4 + H_3PO_4 \longrightarrow 106(CH_2O) + 15(NH_3) + 15 Si(OH)_4 + H_3PO_4$$

L'élimination biologique du carbone par les diatomées se fait à raison de 1 mole de Si pour 7 moles de C. En conséquence, toute augmentation des apports en Si à la mer s'accompagne d'une augmentation du flux du carbone dans les sédiments marins et implique donc l'élimination de quantités importantes de carbone atmosphérique (Comme le montre la réaction 2).

Les variations des flux de Si des rivières à la mer sont dépendant de la lithologie, du taux d'érosion, du climat et de la production des diatomées (Conley, 1997). Enfin, on a pu dire en effet que "What Carbonis to biosphère, Siliçais to lithosphère" (Sommer *et al.*, 2006).

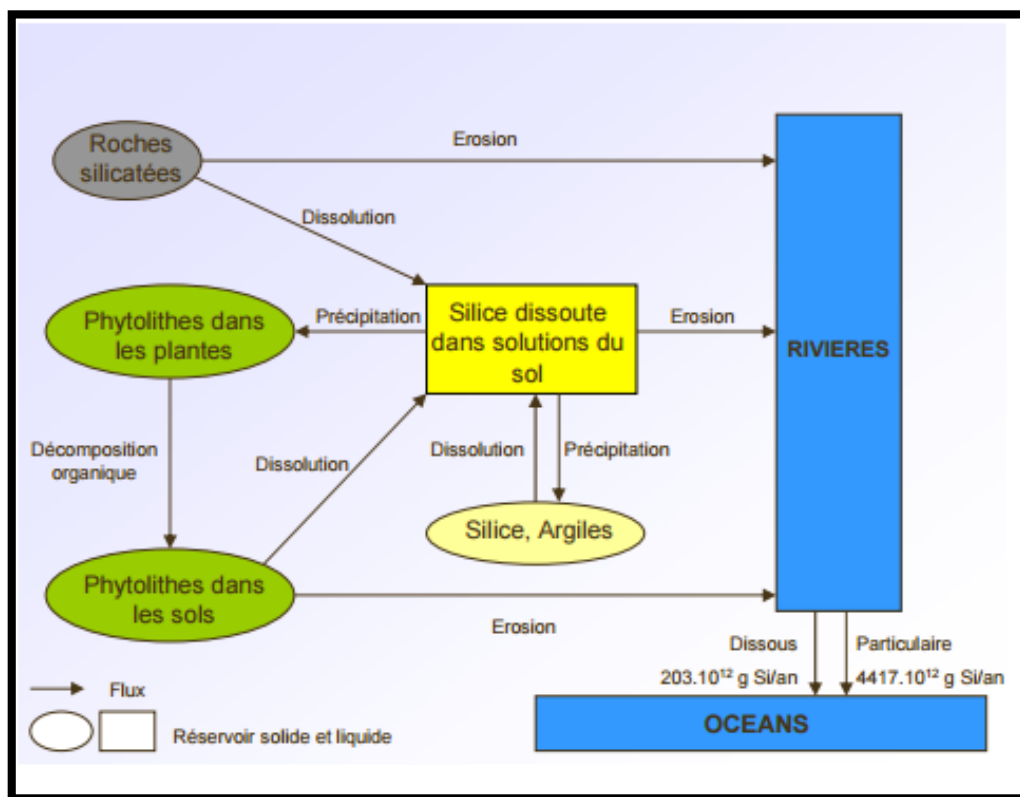


Figure 12: Cycle biogéochimique du silicium en milieu terrestre (Meunier *et al.*, 2001).



Chapitre II : Matériel et méthode

ChapitreII:Matériel et méthode

1. Présentation de la zone d'étude

1.1.Situation géographique de l'estuaire Seybouse

L'estuaire de Seybouse est situé dans la région Nord-est de l'Algérie(Fig.13),avec une longueur de 11Km (**Ziouch, 2014**), ce dernier s'étend depuis près de la ville d'El Hadjar ($36^{\circ}47'55.87''\text{N}$, $7^{\circ}46'27.60''\text{E}$) jusqu'à son embouchure, qui se trouve à Sidi Salem ($36^{\circ}51'56.00''\text{N}$ $7^{\circ}46'10.90''\text{E}$) près de la ville d'Annaba. Il constitue l'aval du deuxième grand Oued en Algérie après l'Oued Chélif (**ABH, 1999**).

Son bassin versants'étend sur 6471 km² pour une longueur de 240 km. Depuis sa source de la haute plaine de Sellaoua et de Heracta, la Seybouse draine des reliefs assez simples avec des écoulements très longs, puis elle continue dans l'Atlas tellien fortement accidenté et de structure très complexe ou le réseau hydrographique est rarement adapté à la structure: les oueds sont torrentiels, le profil en long est irrégulier et tendu, assurant l'évacuation rapide des eaux (Fig.16, 17). Cependant l'existence de dépressions renfermant des nappes alluviales aquifères traversées par la Seybouse permettent de régulariser l'écoulement de cet oued, du fait de la quantité importante des précipitations d'hiver reçues par cette chaîne montagneuse (**Ghachi, 1982**).Dans la partie haute du bassin, elle traverse des terrains très fracturés et quelques dépressions renfermant une nappe alluviale permettant une régulation des ruissellements d'eau, elle draine ensuite les bas reliefs.

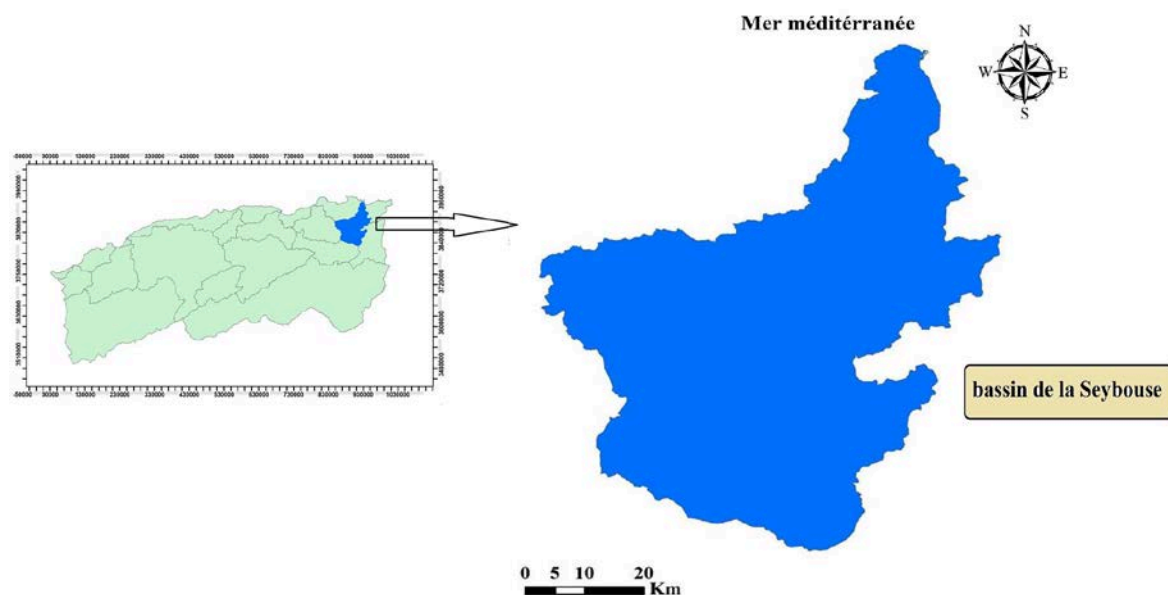


Figure 13: Localisation du bassin versant de la Seybouse

Lorsque l'Oued atteint la plaine d'Annaba, il rejoint la Meboudjaet dépose une charge importante de sédiments et provoque des inondations avant de se déverser dans la Méditerranée (**Jabriet *al.*, 2003**).

L'Oued Seybouse parcourt près de 86 communes sur 7 wilayas de l'est du pays : Annaba, El Tarf, Skikda, Oum El Bouaghi, Constantine, Souk Ahras et Guelma (**ABH, 2002**).

On distingue trois sous bassins principales (Blayac.1912):

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

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.14). 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(Fig.16, 17). 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.14) :

- 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.

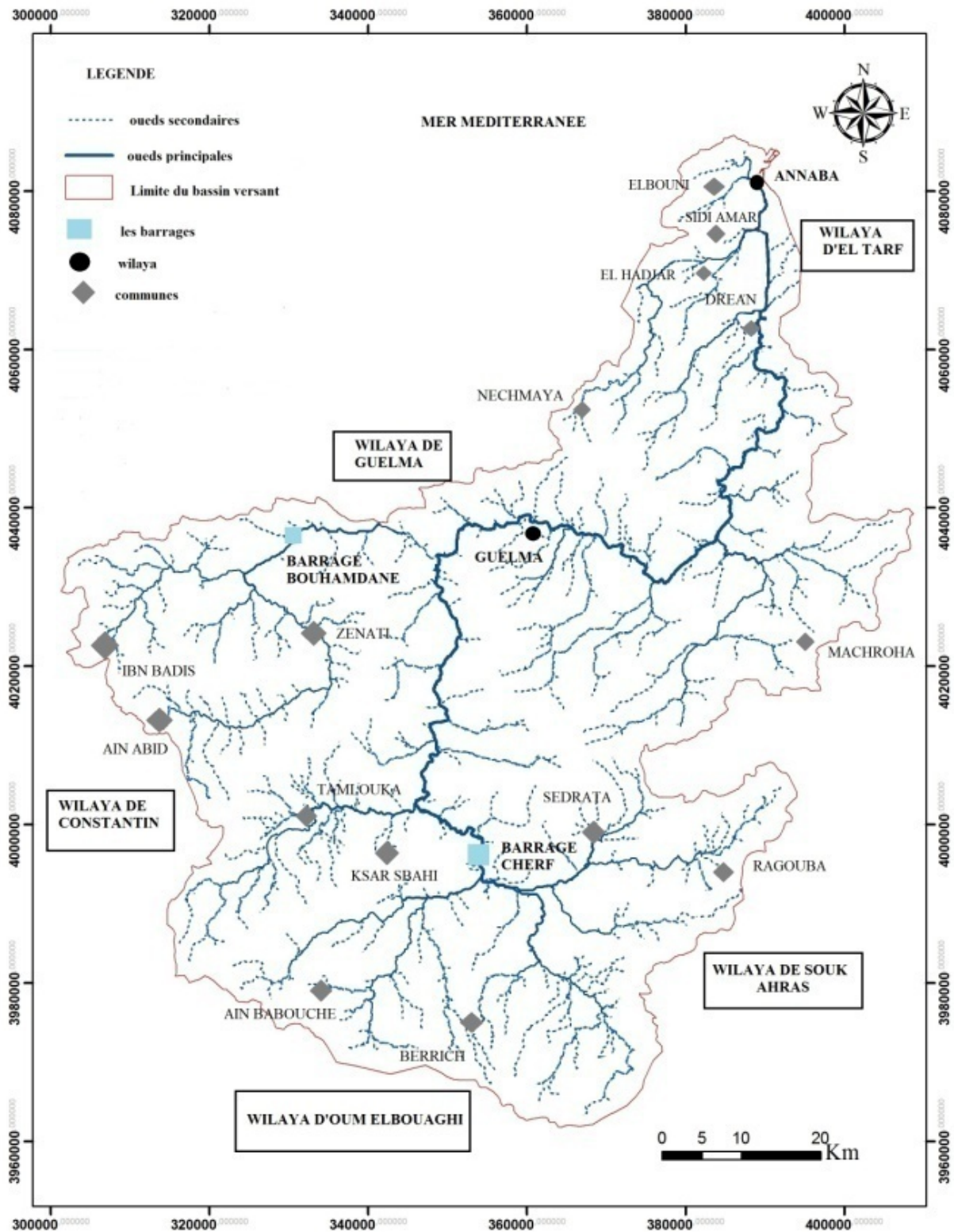


Figure 14: Carte des réseaux hydrographiques du bassin versant de Seybouse

L'oued Cherf qui constitue le bassin amont de l'oued Seybouse résulte de l'entrecroisement 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.14, 15). 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).

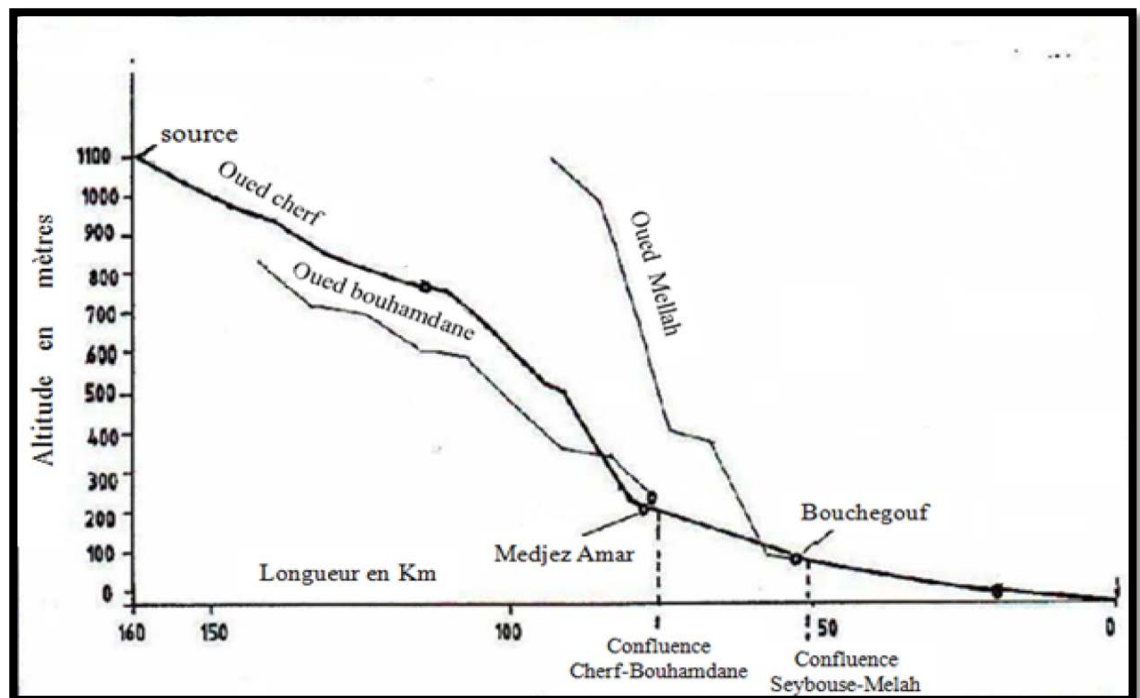


Figure 15: Profil en long de l'oued Seybouse (d'après Ghachi, 1986)

Après sa confluence avec l'oued Mellah à l'aval de Bouchegouf (Fig.14, 15), 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 sa presque totalité en Hautes Plaines, et draine un bassin de 1743 km². Si on l'étend à sa confluence avec le Bouhamdane à Medjez Ammar (Fig.14, 15), 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 551 km², 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.16, 17), 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.16, 17). 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 Derdara) (Louamri, 2013).

1.3. Hiérarchisation du réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est constitué de l'ensemble des chenaux qui drainent les eaux de surfaces vers l'exutoire du bassin versant (Fig.14, Tab. 1).

L'étude de chevelu hydrographique servant surtout à comparer des bassins entre eux. La Seybouse présente un chevelu hydrographique de 4714 Km (Tab. 1). Le tableau présente la totalité de réseau hydrographique pour chaque sous bassin. (Sayad, 2015).

Tableau 01: Hiérarchisation du Chevelu hydrographique pour chaque sous bassin de la Seybouse (calculé par AutoCad). (Sayad, 2015).

	S /bassin charef amont	S /bassin charef aval	S /bassin oued bouhamdane	S /bassin Seybouse moyenne	S /bassin melleh	S /bassin de la basse Seybouse
Chevelu hydrographique (km)	890	981	1040	415	440	950
Longueur totale du Chevelu hydrographique de la Seybouse (km)	4716					

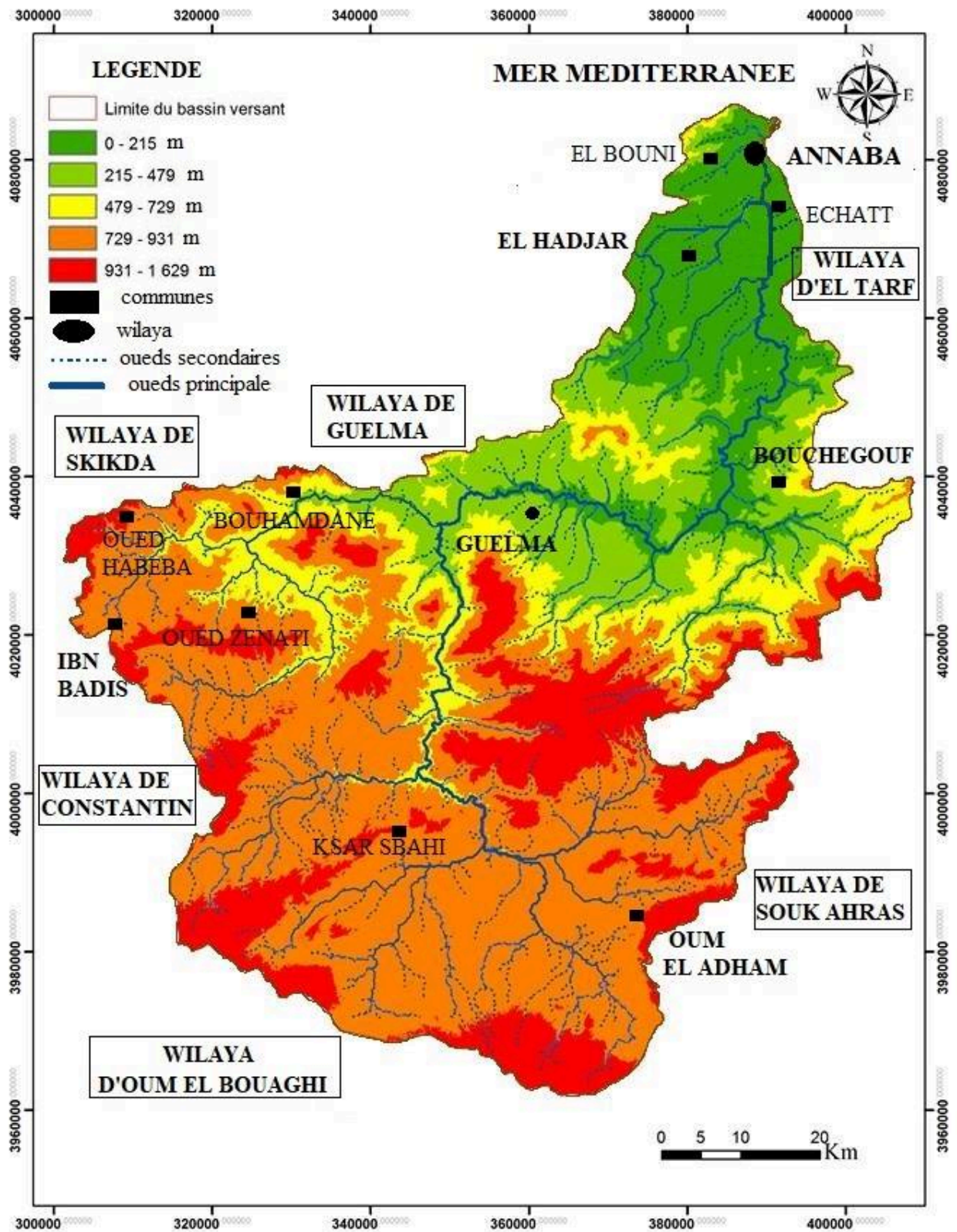


Figure16: Carte des altitudes du bassin versant de la Seybouse

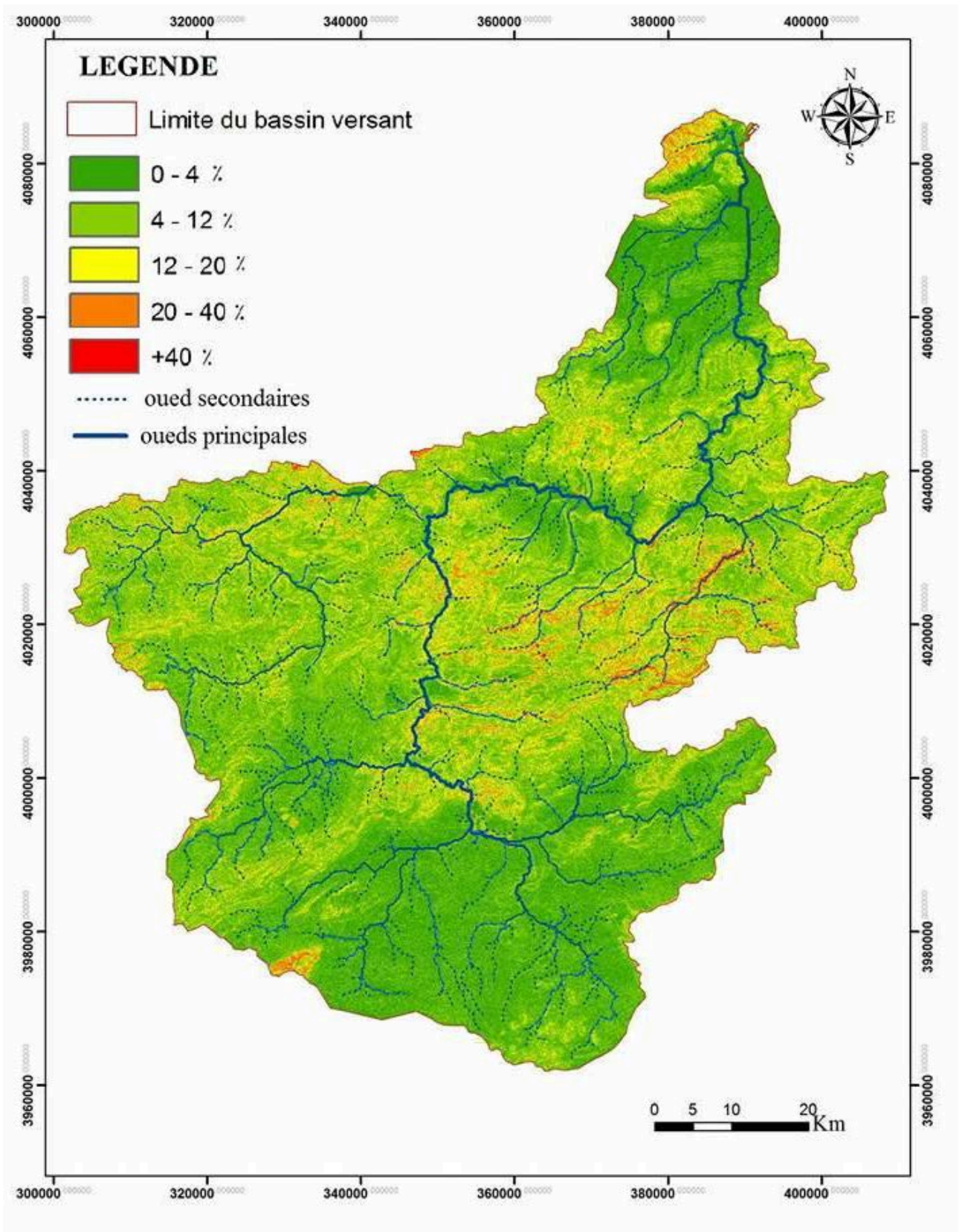


Figure 17: Carte des pentes du bassin versant de laSeybouse

2. Anthropisation et occupation du sol du bassin de Seybouse

2.1. Lapopulation

D'après l'Office National des Statistique (ONS,2008)la population du bassin de Seybouse estégaleà 1508896habitants, répartis en 68communes et 7 wilayas. 30 communes sont entièrement incluses dans le bassin et 38 partiellement.Le nombre de population de chaque wilaya est (Fig.18):

Guelma: 455911, Annaba: 719311, El Tarf: 151634, Souk Ahras: 133433,Constantine: 50478, Skikda: 8369 et Oum el bouaghi: 141394.

La population estfortement concentrée dans les agglomérations les plus importantes, en effet, la seule agglomération d'Annaba représente 18% de la population totale de bassin (ABH ,1999).(Annexe3)

2.2. Agriculture et irrigation

Sur le bassin versant de Seybouse s'exercent d'importantes activités agricoles (céréales, cultures maraichères et arboricoles) qui s'intensifient de la zone interne vers la bonde littorale (Fig.18). La dotation à ces cultures est de 75.87.

La superficie irriguée dans le bassin de Seybouse est de 13976 Ha (ABH ,2002).Selon (ABH , 2013), irrigation traditionnelle (Gravitaire) dans le bassin du haut Cherf et irrigation moderne (par Aspersion) dans la basse Seybouse. Céréales et cultuels maraichères sont la principale spéculation des périmètres irrigués qui sont Guelma Bouchegouf (12900Ha) bounamoussa (4500Ha)(Annexe3).

2.3.Les barrages

Lebassin de la Seybouse compte 05 barages (Tab. 2), dont 02 sont classés en barrage de catégorie 1 (grands barrages), c'est le barrage de bouhamdane et le barrage d'el cherf, d'une capacité totale de 377hm³ et qui peuvent régulariser 110hm³. Les trois autres font partie de la catégorie 2 (moyens barrages). 64 retenues collinaires sont essentiellement destinées à satisfaire les besoins en eau d'irrigation.Ces ouvrages ont une capacité totale de 7.5 hm³(ABH ,2002).

Concernant les deux grands barrages du bassin, on a :

Celui de Hammam Debbagh sur l'Oued Bouhamdane situé dans la Wilaya de Guelma avec une capacité de 184 millions de m³ et un envasement de 530.000 m³/an (0,28%); il dessert Guelma en eau potable pour environ 20 millions de m³/an et l'irrigation du périmètre de Guelma-Bouchegouf pour 35 millions de m³/an sur une superficie de 9.940ha dans le périmètre de Bouchegouf.

Celui de Oued Cherf sur l'Oued Cherf, situé dans la Wilaya de Souk Ahras avec une capacité de 152 millions de m³ et un envasement de 520.000 m³/an (0,34%); il est affecté à l'irrigation des périmètres de Ksar Sebahi et Sedrata sur une superficie équipée de 3.517ha avec un volume régularisable de 30 millions de m³/an(ABH,2009).

Trois barrages catégorie 2 ont été construits dans le bassin versant de l'Oued Seybouse(Tab. 2) avec une capacité total est 10,46 hm³(ABH,2002):

- Barrage : Tiffech (5,8 hm³),
- Barrage El Haria (1,8 hm³),
- barrage Medjz el Bgar (2,86 hm³).

Tableau 02 : les barrages de l'estuaire de Seybouse(ABH,2002).

Barrages					
Commune	Wilaya	Dénomination	Capacité hm ³	v. Régularisé (hm ³ /an)	Destination
Zouabi	41	Foum el khanga ou cherf	157	55	Irrigation
Tiffech	41	Tiffech	5.8	2.76	Irrigation
Ben badis	25	EL Haïra	1.8	0.32	Irrigation
Bouhamdane	24	Hammam debagh	220	55	AEP+Irrigation
Ain makhlouf	24	Medjez el bgare	2.86	2	Irrigation
Total			387.46	115.08	

2.4.L'industrie

Les industries dans le bassin de la Seybouse sont principalement regroupées dans le sous bassin de la Seybouse maritime (Fig.18). C'est autour des villes importantes d'Annaba, El-Hadjar, EL Bouni et sidi Amar que le tissu industriel est le plus dense. Le complexe industriel d'El-Hadjar et l'unité de production d'engrais (ASMIDAL) sont les plus grands consommateurs d'eau. Notons que cette dernière possède une unité de dessalement d'eau de mer que satisfait environ 85% de ses besoins(ABH,2002).La pollution industrielle est liée principalement aux rejets industriels non traités et notamment les rejets des zones industrielles de Bouchegouf et d'El Hadjar dont les volumes ne sont pas connus avec précision(A.N.R.H,2011).Dans l'ensemble du bassin on trouve 86 unités industrielles, mais huit seulement ont leur propre station d'épuration (Khatim, 2008).

Une caractérisation de la pollution des eaux résiduaires de la Zone de El Hadjar, située à 10 km de la ville de Annaba à l'aval du bassin et qui comprend des unités de

sidérurgie, une cimenterie, une usine de papier et plastiques et des unités agro-alimentaires, a montré une forte concentration des matières en suspension variant entre 30-598 mg/litre (norme 30 mg/l)(**Hazourliet al., 2007**).

Les industries agroalimentaires (production laitière, conserves de tomates, sucre...), l'industrie manufacturière et l'industrie lourde à Annaba pour la production d'acier d'environ 1,0 millions de tonnes/an, de 115.000 tonnes/an de bobines d'acier et tôles laminées à chaud et à froid par Arcelor Mittal, ainsi que les engrais phosphatés et azotés par Fertiberia/Asmidal(**ABH, 2012**). Le volume global alloué à ces industries est de 44895 m³/j.(**Annexe 3**).

2.5. Les zones humides

Selon (**Hani et al., 2002, Hani et al., 2003**) le bassin versant Seybouse renferme plusieurs zones humides dont la plus importante est le lac de Fetzara qui couvre une superficie 5.800 hectares, aux quelles se rajoutent plusieurs milliers d'hectares des terres inondables en saison hivernale constituant ainsi de vastes prairies humide représentative et rare de type de zone humide naturelle de la région méditerranéenne.

Vers la fin de la saison hivernale, d'importants effectifs d'Anatidés regagnent le lac Fetzara venant des sites Ramsar, les lacs Oubeira et Tonga, qui, au vu de l'augmentation excessive de leurs niveau d'eau, rend difficilement accessible l'alimentation pour les Anatidés herbivores. Le lac Fetzara est une zone humide d'importance internationale vu que la moyenne des effectifs des oiseaux d'eau et particulièrement des Anatidés et de la Foulque hivernants recensés au niveau du site dépasse habituellement 20.000 oiseaux par an, un effectif record de 44.500 a été atteint en 1990. Le lac abrite, habituellement, 1% de la population mondiale du canard siffleur et de l'Oie cendrée.

Outre l'intérêt qu'elle représente pour l'alimentation en eau des populations et pour répondre aux besoins sans cesse croissants de l'agriculture et de l'industrie, cette zones humide offre un lieu d'hivernage et de nidation pour beaucoup d'espèces d'oiseaux et pour le développement d'une flore d'une richesse reconnue sur le plan international. Ce site subit aujourd'hui une pression anthropique progressive qui devient inquiétante. En effet, l'exploitation en continu de plusieurs certaines de forages a entraîné une dégradation de la qualité des eaux et a influencé négativement l'équilibre hydrodynamique des aquifères. Elle a eu également pour conséquence une diminution des débits des sources et l'apparition de biseaux salés menaçant même à brève échéance et l'exploitation des nappes et le bon fonctionnement des zones humides.

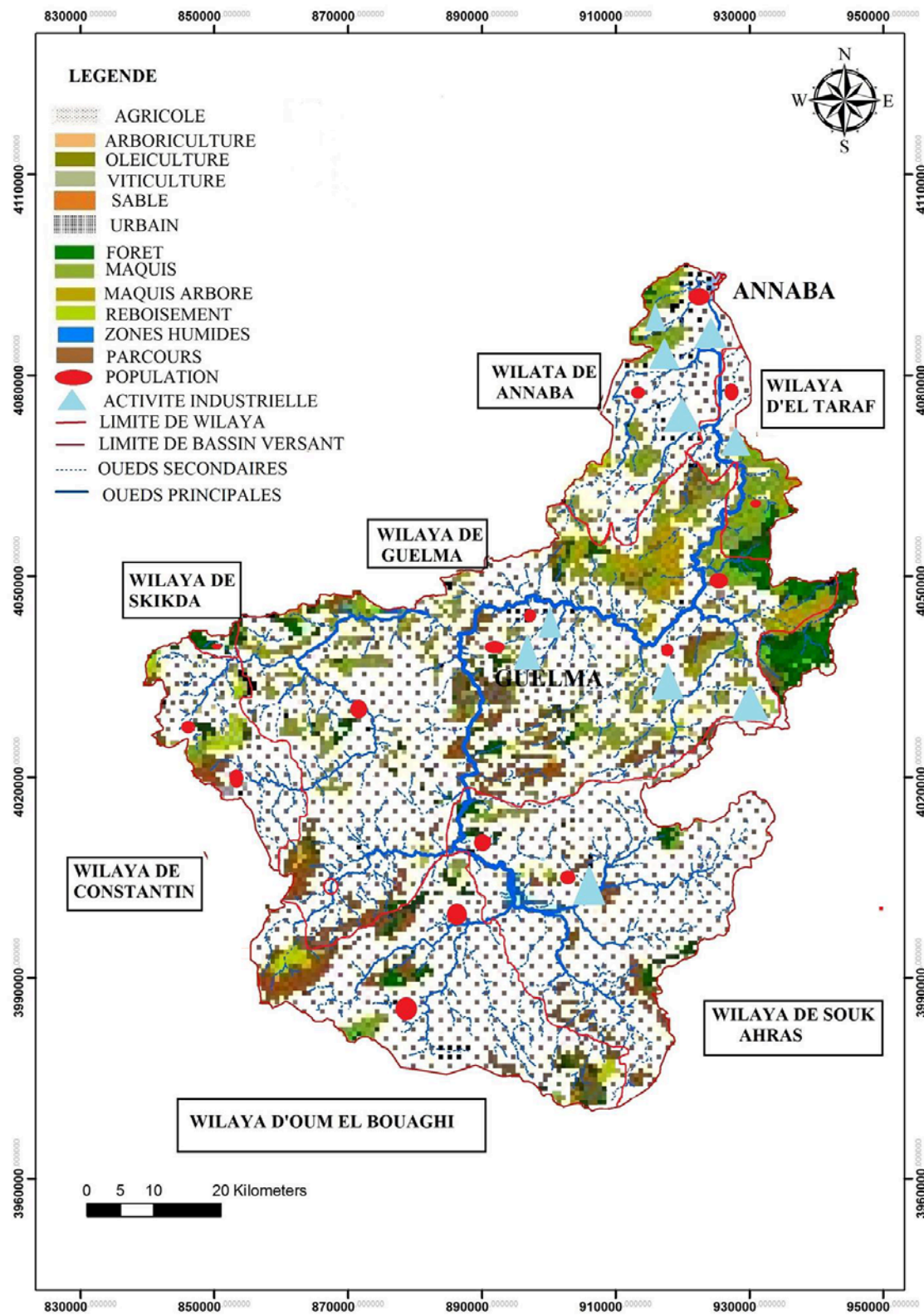


Figure 18: Carte de l'occupation du sol du bassin versant de la seybouse

2.6. La végétation du bassin versant de Seybouse

La végétation intervient sous son aspect de couverture du sol, plus ou moins modifiée sous l'influence de l'homme (**Dubreuil and Guiscafne, 1974**). Deux classifications sont utilisées pour étudier le taux de recouvrement de la végétation: la classification de (**Tricart, 1968**) et celle de (**Dubreuil and Guiscafne, 1974**) développée au sein de l'office de la recherche scientifique et technique outre-mer (ORSTOM). La classification du couvert végétal par ordre de densité (ou d'efficacité) décroissante (**Tricart, 1968**) est la plus fréquemment utilisée.

La répartition du couvert végétal à travers le bassin de Seybouse offre une couverture faible à moyenne a pour conséquences hydrologiques la faible résistance à l'érosion sur les versants à l'exemple du bassin de l'oued Mellah d'une part, et d'autre part la faible rétention souterraine. Mais certains sous-bassins sont relativement bien protégés comme celui de l'oued Bouhamdane (Fig.18). Dans ce bassin, les zones avec un couvert végétal naturel (chêne liège, maquis, reboisement) couvrent 31.7% de la surface du bassin dont 19.5% sont exploités comme terrains de parcours. D'après (**Mebarki, 2005**) le couvert végétal sur le bassin de Seybouse est résumé dans le tableau suivant:

Tableau 03: Lecouvert végétale sur le bassin de l'oued Seybouse (**Mebarki, 2005**)

surfaces bien protégées	Représentent le couvert forestier et les prairies
les surfaces mal protégées ou nues (terrains dénudés, steppe, broussailles)	représentent autour de 25 % de la superficie totale du bassin
les 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 %.

Les forêts de Chêne liège et de chêne vert se localisent préférentiellement dans la zone nord-tellienne. Dans la zone sud-tellienne, c'est le pin d'Alep qui occupe les zones forestières. D'après (**Mebarki, 2005**) 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 (Fig.18). Le bassin de l'oued Cherf, situé en totalité dans le domaine des Hautes Plaines, la répartition des taux de couverture est la suivante :

Tableau 04: La répartition des taux de couverture des hautes plaines (Mebarki,2005)

surfaces bien couvertes	(prairies) : 2.6%
surface offrant une couverture moyenne	(céréales-jachère) : 73.4 %
surfaces offrant une faible couverture	24%

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 Plainnes 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.

Le bassin de l'oued Mellah est le plus boisé (chêne liège), à cause des effets conjugués de l'altitude et de la pluviométrie. Selon (Ghachi, 1986), le taux de recouvrement de ce bassin est de 35%. Mais la répartition du couvert végétal est loin d'être simple, le même sous-bassin présente les trois types de couverture qui se différencient de l'amont à l'aval avec une prédominance des zones de cultures(Fig.18).

2.7.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).

3. l'échantillonnage et méthode d'analyse des éléments chimiques

3.1. l'échantillonnage et mesure les paramètres physico-chimique

L'échantillonnage a été effectué au cours de l'année 2016/2017 (Septembre 2016 à Avril 2017) dans deux stations à l'amont de l'estuaire (station rivière) et à son aval (station embouchure) (Fig. 23). Les prélèvements ont été effectués deux fois par ans le 08/09/2016 (saison sèche) et le 13/04/2017 (saison humide) (Fig. 19, 20).



Figure 19: Vues des stations de prélèvement en saison sèche. A gauche: Station 1 (amont estuaire). A droite : Station 2 (avalestuaire)



Figure 20: Vues des stations de prélèvement en saison humide. A gauche: Station 1 (amont estuaire) A droite : Station 2 (avalestuaire)

Les relevés de température ($^{\circ}\text{C}$) 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. 21). Ces paramètres facilement mesurables (Fig. 22) et utiles pour la détermination de l'état chimique des polluants dans l'eau (Mesure in situ).



Figure21: Multi paramètre 1970i

Le débit (Q) est défini comme étant un volume (V) de liquide qui s'écoule à travers une section donnée d'un canal ou d'une conduite par une unité de temps (t) ou $Q = v/t$. Le débit est très variable selon la pluviométrie de l'année. L'unité utilisée le plus couramment pour le débit est le mètre cube par seconde (m^3/s).



Figure 22: Mesure des paramètres physiques par multiparamètre 1970i

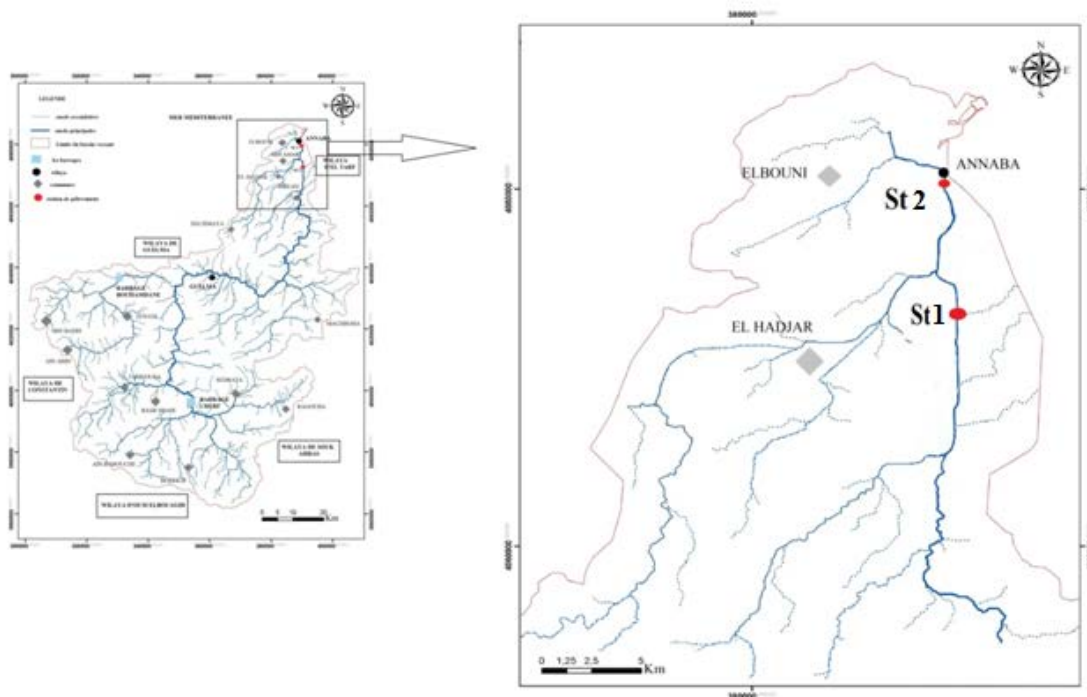


Figure 23:Présentation de l'estuaire de Seybouse et position des stations échantillonnées

Des difficultés pratiques nous ont empêchées l'usage du courantomètre dans les deux stations pour l'estimation des vitesses des courants et des débits des eaux. Le débit des eaux de l'estuaire de Seybouse a donc été approximé de façon intuitive.

Tableau05 : Les stations d'échantillonnage et leurs caractéristiques

Station	Coordonnées	Altitude (m)
St 1	36°47'55.87''N 7° 46'27.60''E	7
St 2	36°51'56.00''N 7° 46'10.90''E	1

Les méthodes d'analyses chimiques sont succinctement résumées dans le tableau 06. Les teneurs en sels nutritifs et en matières organiques sont exprimées en Micromoles par litre ($\mu\text{m. l}^{-1}$) ou (μM).

Tableau 06: Résumé des méthodes d'analyses des éléments chimiques (azote, phosphore, silicium)

Eléments	Méthodes	Références
Azote ammoniacal (NH_3^+ , NH_4^+)	Dosage spectrophotométrique ($\lambda = 630\text{nm}$)	Parsons <i>et al.</i>, (1989)
Nitrate (NO_3^-)	Dosage spectrophométrique ($\lambda = 543\text{ nm}$)	Parsons <i>et al.</i>, (1989)
Nitrite (NO_2^-)	Réduction des nitrates en nitrites et dosage spectrophométrique des nitrites ($\lambda = 543\text{ nm}$)	Parsons <i>et al.</i>, (1989)
Phosphate (PO_4^{3-})	Dosage spectrophotométrique : ($\lambda = 885\text{ nm}$)	Aminotand chaussepied (1983)
Ortho silicates ($\text{Si}(\text{OH})_4$ ou SiO_4)	Dosage spectrophotométrique ($\lambda = 810\text{ nm}$)	Aminot and Chaussepied (1983)
Azote inorganique dissous (NID)	($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$)	Parsons <i>et al.</i>, (1989) and Rodier (1996).

- Les fractions de l'azote inorganique dissous NID (NH_4 , NO_3 , NO_2) ont été mesurés selon les méthodes standards de Parsons et al. (1989) et Rodier (1996). L'azote inorganique dissous NID représente la somme des trois ions $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$. (**Annexe2**).



Chapitre III : Interprétation des Résultats et discussion

Chapitre III: Interprétation des résultats et discussion

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

1. Résultats des analyses physicochimiques

Les paramètres physico-chimiques des eaux à l'amont de l'estuaire de Seybouse (Station rivière) et à son aval (Embouchure) ont été étudiés. Certains paramètres ont été mesurés in-situ tel que: la température, la salinité, la conductivité électrique et ce à l'aide d'un analyseur multi-paramètres de terrain, les autres paramètres tel que l'azote inorganique dissous (Nitrite, Nitrate, Ammonium), les phosphates et les silicates ont été analysés au laboratoire des analyses biogéochimiques des environnements aquatiques (LABEA) au département de biologie marine de l'université Badji Mokhtar Annaba, les résultats peuvent être en effet représentés comme suite:

1.1. Variation des paramètres physiques

- **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**).

Les variations des températures des échantillons d'eau sont représentées dans les tableaux 07 et 08. La température des eaux de l'estuaire de Seybouse a beaucoup fluctué entre la saison sèche et la saison humide, en fait, elle varie entre 25,4°C en amont de l'estuaire et 26,7°C à son aval l'embouchure avec une moyenne de 26,1°C, en saison humide elle oscille entre 18,3°C en amont de l'estuaire et 19,5°C en aval l'embouchure avec une moyenne de 18,9°C. Il est à noter que les températures enregistrées dans les stations de l'estuaire de Seybouse ne dépassent pas les normes des eaux surfaces 30°C (**Rodier, 1996**) et la norme de 25°C (**JORA, 2011**). La température de l'eau est influencée par la température ambiante qui reste directement dépendante des conditions météorologiques (Fig. 24, 25).

Tableau 07: Mesure des paramètres physiques en amont de l'estuaire et à l'embouchure durant l'année 2016.2017

		St 1	St 2
		Amont de l'estuaire	Embouchure
Saison sèche	Température (°C)	25,4	26,7
	Salinité (PSU)	0,9	4,6
	Conductivité électrique (µS/cm)	2050	8120
	Débit (m ³ /s)	0,5	0,1
Saison humide	Température (°C)	18,3	19,5
	Salinité (PSU)	1,2	1,9
	Conductivité électrique (µS/cm)	2560	3780
	Débit (m ³ /s)	2	7

- **La Salinité**

Les salinités des eaux de l'estuaire Seybouse varient remarquablement entre la saison sèche et la saison humide, un minimum de 0,9 PSU est enregistré en amont de l'estuaire et un maximum de 4,6 PSU à l'embouchure en saison sèche avec une moyenne de 2,8 PSU, en saison humide la moyenne est de 1,55 PSU, un minimum de 1,2 PSU en amont de l'estuaire et un maximum de 1,9 à l'embouchure ont été enregistrés durant les campagnes d'échantillonnage (Tab. 07, 08; fig. 24, 25).

Il semble qu'on transitant le continuum aquatique, les eaux d'oued Seybouse se chargent d'avantage en sels dissous d'origine naturelle mais aussi anthropique dans une certaine mesure car les rejets domestiques directes, les activités agricoles et surtout industriels augmentent dans le bas bassin près de la région de Annaba.

Les valeurs de salinités élevées sont en effet le résultat des intrusions marines dans l'estuaire lorsque le débit de l'oued s'affaiblie notamment en saison sèche ou les précipitations sont très faibles en cette époque de l'année. 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**)).

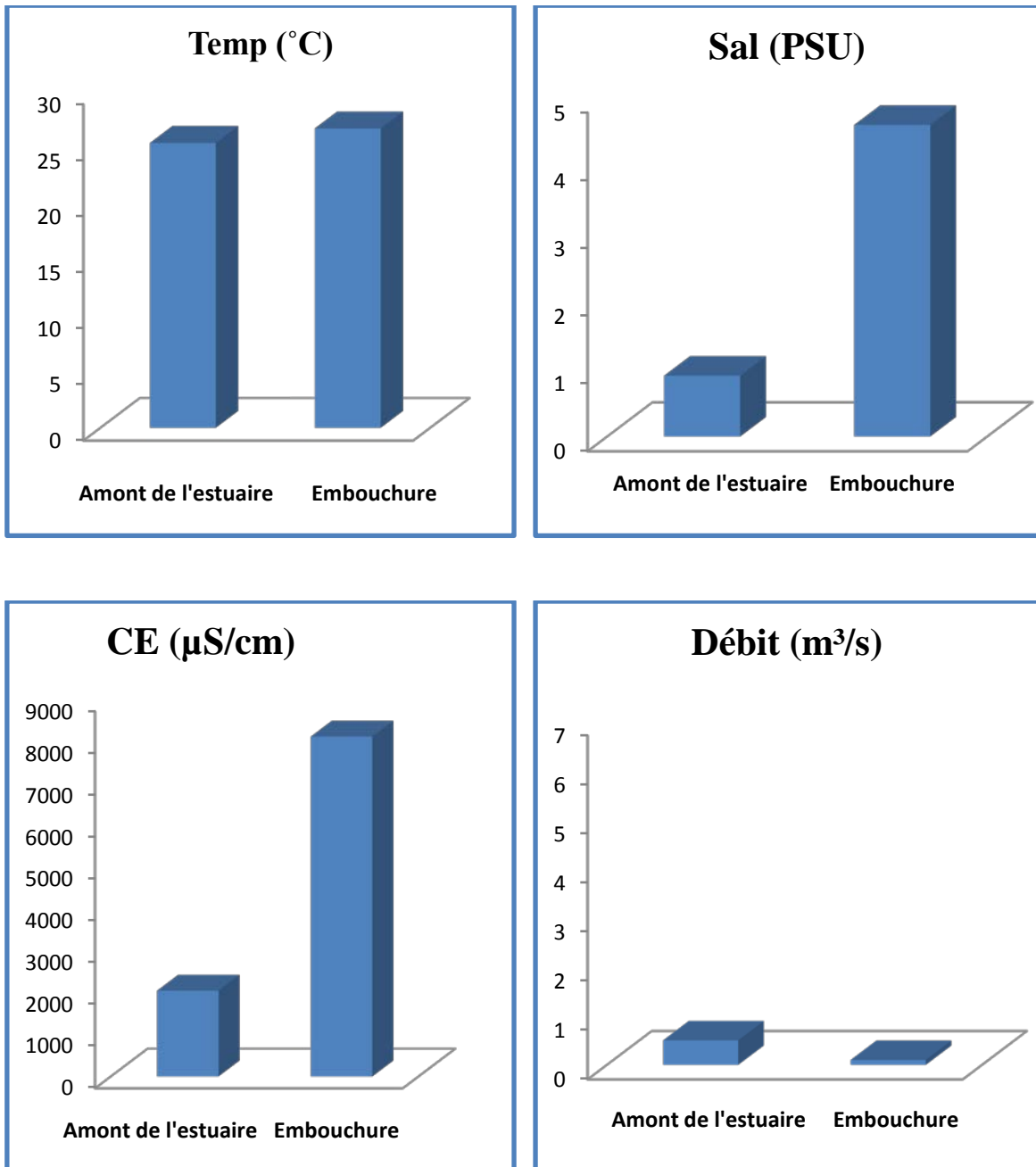


Figure 24: Variations des paramètres physiques des eaux de l'estuaire Seybouse en saison sèche.

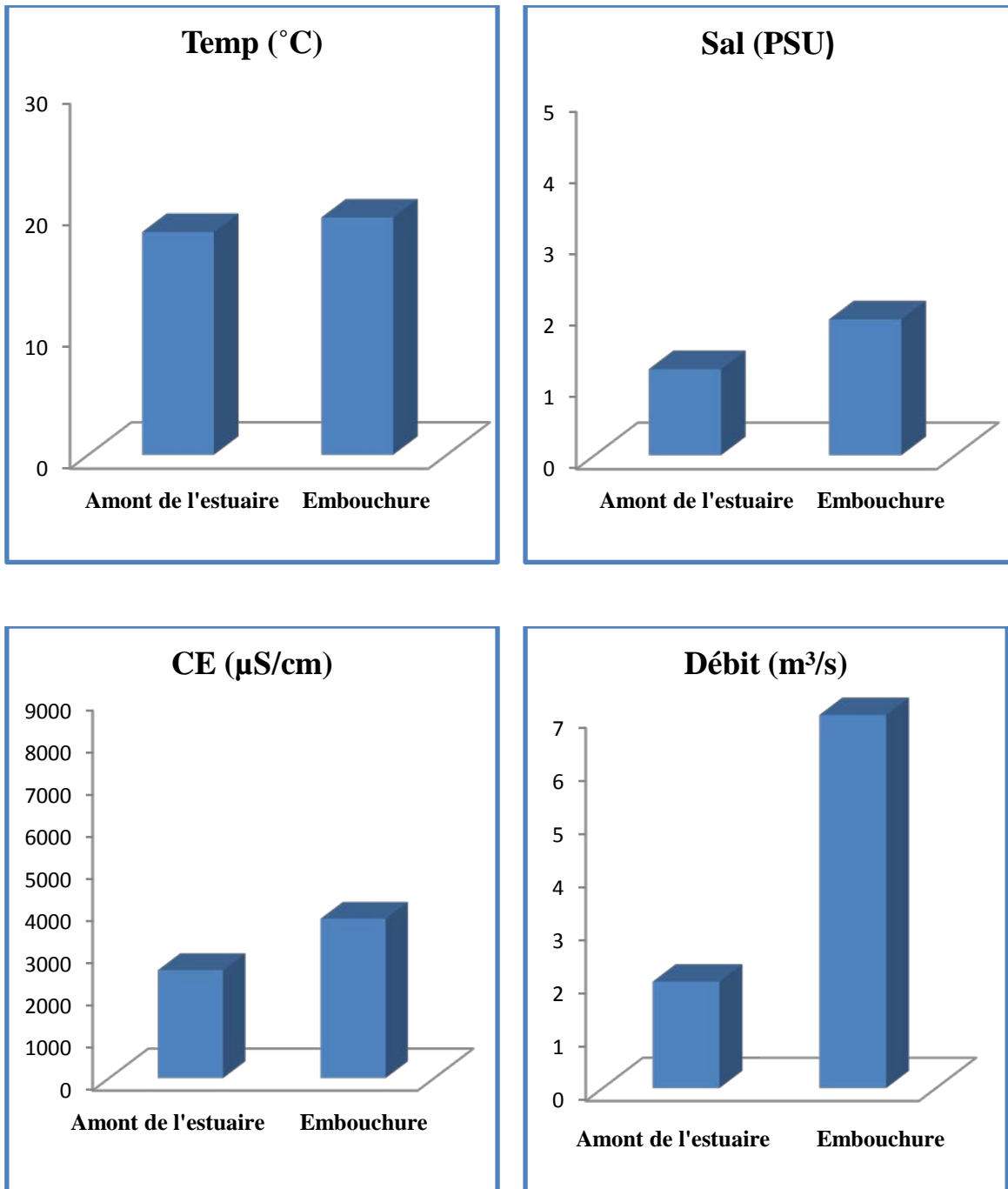


Figure 25: Variations des paramètres physiques des eaux de l'estuaire Seybouse en saison humide.

- **La conductivité électrique**

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**).

Les résultats obtenus montrent que les valeurs de la conductivité électrique fluctuent entre un minimum de 2050 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à l'amont de l'estuaire et un maximum de 8120 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à l'embouchure avec une moyenne de 5085 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en saison sèche, un minimum de 2560 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à l'amont de l'estuaire et un maximum de 3780 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à l'embouchure avec une moyenne de 3170 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ont été aussi enregistrés en saison humide (Tab: 07, 08). Ces valeurs témoignent d'une minéralisation forte des eaux dans cette partie estuarienne d'oued Seybouse.

Cette forte minéralisation est due d'une part au contact avec les roches lors du cheminement d'eau à travers les différentes formations géologiques à travers le long trajet de l'Oued, et de l'intrusion de l'eau de mer d'autre part. Ces valeurs très élevées de la conductivité électrique notamment en période sèche, dépassant les normes 3500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (**ABH, 2009**) traduisent une minéralisation excessive.

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 utilisées 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 de 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à ne pas dépasser pour les eaux d'irrigation (**JORA, 1993**). Dans le cas des eaux de l'estuaire Seybouse ce seuil est dépassé dans la majorité des mois. Ces eaux seraient donc impropres à l'irrigation des terres agricoles.

Tableau 08 : Calcule des minimums, des maximums et des moyennes des paramètres physiques mesurés in-situ en saison sèche et saison humide.

		T (°C)	S (P.S.U)	CE (µS/cm)	Débit (m ³ /s)
Saison sèche	Min.	25,4	0,9	2050	0,1
	Max.	26,7	4,6	8120	0,5
	Moy.	26,05	2,75	5085	0,3
Saison humide	Min.	18,3	1,2	2560	2
	Max.	19,5	1,9	3780	7
	Moy.	18,9	1,55	3170	4,7

- **Le débit**

Le débit de l'Oued Seybouse varie de 0 m³/s en période d'étiage à 100 m³/s en période de crue, mais pendant les périodes de fortes averses, il peut atteindre des valeurs exceptionnelles de l'ordre de 1217 m³/s par exemple (observées le 28/03/1973, ANRH-Constantine).

Durant la période d'étude, le débit de l'estuaire de Seybouse est fortement conditionné par le cycle hydrologique, il varie entre un minimum de 0,1 m³/s à l'aval et un maximum de 0,5 m³/s à l'mont de l'estuaire et avec une moyenne de 0,3m³/s en saison sèche, en présence d'apport d'eau douce par les précipitation relativement importante en saison humide le débit augment un peut et varie entre un minimum de 2 m³/s à l'amont et un maximum de 7 m³/s à l'embouchure en saison humide, avec un moyenne de 4,7 m³/s.

La variabilité du débit montre que le régime d'écoulement de l'estuaire Seybouse est directement liée aux conditions météorologiques (apports de l'ensemble du bassin versant, à la hauteur de précipitations, à la durée et à la répartition spatiale des précipitations) d'une part, et contrôlé par la régulation par les barrages et par les intrusions marines d'autre part. Il ne faut pas négliger par ailleurs qu'il y a une grande portion de flux d'eau soustraite par pompage directe des agriculteurs au rives de l'oued Seybouse pour des fins d'irrigation surtout en saison sèche. Les eaux de l'oued recèlent un mélange d'apports pluviométriques, domestiques, industriels et agricoles.

1.2. Variation des paramètres chimiques

1.2.1. Variations des teneurs des fractions de l'azote inorganique dissous (NID)

- Les nitrites (NO_2^-)

Dans le cycle de l'azote, Les nitrites (NO_2^-) ou l'azote nitreux, représentent une forme moins oxygénée et moins stable, elle représente la forme du passage entre les ions nitrates et l'azote ammoniacal l'ammonium

En général, cette forme est minoritaire par rapport aux autres formes d'azote inorganique. Les ions nitrites constituent une forme transitoire de l'azote minéral dissous, dépassant en grande partie sous forme d'ammonium dans les conditions d'hypoxie et se transforment inversement en nitrate lorsque le milieu s'enrichit en oxygène. Il constitue le stock convertible ou réserve potentielle d'ammonium ou de nitrate tout dépend des conditions d'oxydoréduction du milieu.

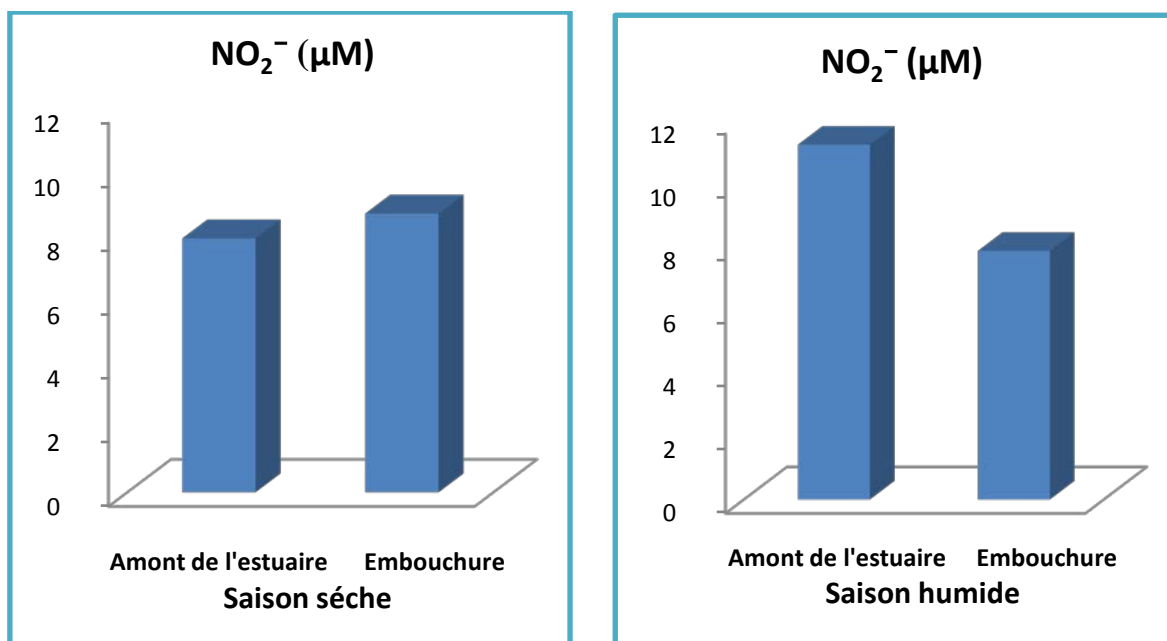


Figure 26 : Variations des teneurs en nitrites (μM) dans l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016/2017.

L'azote nitreux est toujours remarquablement abondant dans les eaux de Seybouse ou la moyenne de l'ordre de $8 \mu\text{M}$ à l'amont de l'estuaire (station rivière) et $8,7 \mu\text{M}$ à son aval (station de l'embouchure) en saison sèche. En saison humide les ions nitrites sont toujours abondants ou la moyenne est de l'ordre de $11,2 \mu\text{M}$ à l'amont de l'estuaire est presque 2 fois plus chargé en nitrites qu'en aval de celui-ci (l'embouchure) ou la concentration est de l'ordre de $7,9 \mu\text{M}$. Cet élément peut donc être toxique à ces concentrations exagérées (la moyenne à l'embouchure de $7,9 \mu\text{M}$). On peut comprendre que le littoral récepteur devrait recevoir d'énormes masses de nitrites ayant pour effet une toxicité pour la faune, si ce stock n'était pas converti en nitrate (Fig. 26).

Les teneurs en nitrites dans les échantillons d'eau de l'estuaire de Seybouse montrent que l'ion nitrite est une forme minoritaire de l'azote minéral dissous NID, sa fraction au sein du NID est de l'ordre de 14% à l'amont de l'estuaire et 4% à l'embouchure en saison sèche. En saison humide cette forme oxydée NO_2^- constitue toujours la forme minoritaire de l'azote inorganique dissous avec un pourcentage de 16% et 13% à l'amont de l'estuaire et à l'embouchure respectivement (Fig. 31).

- **Les nitrates (NO_3^-) :**

Les fortes teneurs en nitrates caractérisent les eaux côtières soumises aux influences dulçaquicoles. L'ion nitrate provient également de l'oxydation d'ammonium par les bactéries nitrifiantes lorsque l'eau est bien oxygénée. Son abondance indique une bonne oxygénation de l'eau tandis que sa raréfaction en milieu estuarien peut être attribuée à la déficience en oxygène dissous où a une importante dilution marine.

En règle générale, les nitrates caractérisent les eaux dulçaquicoles où cet élément constitue l'essentiel du stock de l'azote inorganique dissous. Les influences anthropiques modifient cependant l'importance de l'azote oxydé en particulier les eaux domestiques fortement enrichies en ammonium. Les eaux faiblement concentrées en nitrates expriment leur mauvaise qualité.

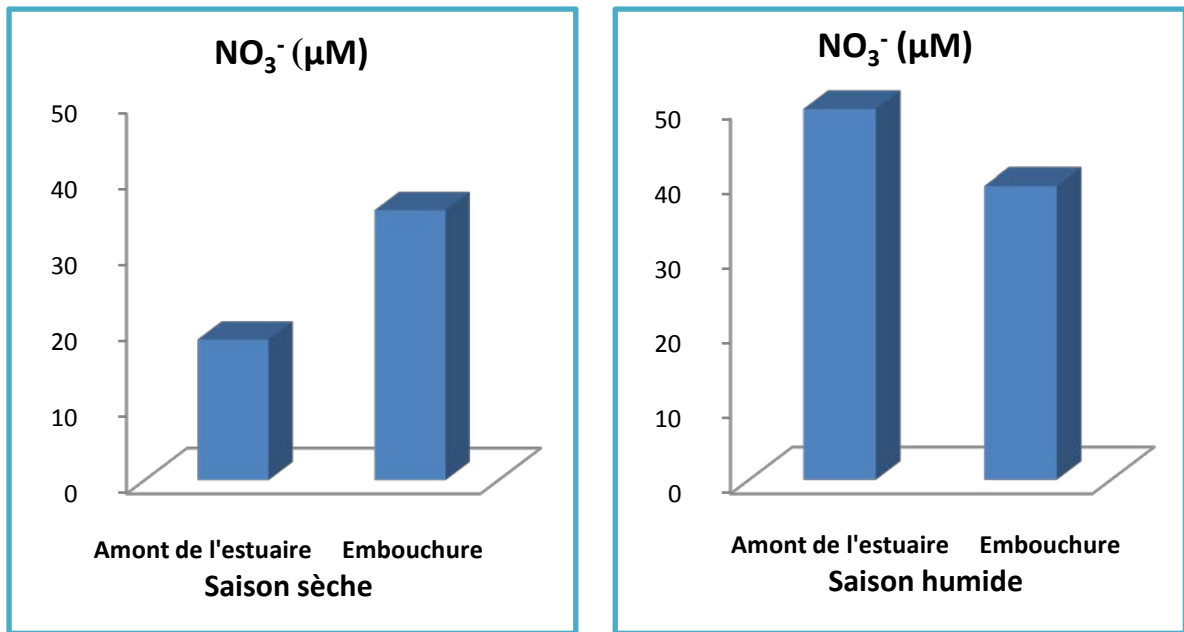


Figure 27: Variations des teneurs en nitrates (μM) dans l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016/2017.

Comme pour les nitrites, les ions nitrates durant la saison sèche apparaissent plus abondants à l'aval (l'embouchure) qu'en amont de l'estuaire peut être en raison de l'oxydation d'une fraction de l'ammonium (Fig. 27), au contraire de la saison humide les nitrates apparaissent abondants en amont de l'estuaire qu'en son aval avec une moyenne de $49,6\mu\text{M}$. Or, si l'azote minéral évolue de façon conservative dans son trajectoire amont-aval, on s'aperçoit que le rajout en nitrate au niveau de l'aval est due à la fraction de l'ammonium supposée sujette à oxydation sous forme de nitrate et de nitrite. Au cours de son écoulement amont-aval, les eaux subissent des transformations chimiques d'oxydoréduction très rapides et très vives aboutissant à l'oxydation de l'ammonium parvenu à l'aval.

Le pourcentage des différentes formes de l'azote minéral dissous dans les échantillons d'eau de l'estuaire de Seybouse montrent que l'ion nitrate est une forme majoritaire au sein du NID en saison humide, en effet sa fraction est de l'ordre de 73 % à l'amont de l'estuaire et 67 % à l'embouchure en saison sèche. En saison sèche cette forme oxydée NO_2^- ne constitue qu'une fraction minime au sein de l'azote inorganique dissous avec un pourcentage de 33 % et 14 % à l'amont de l'estuaire et à l'embouchure respectivement (Fig. 30).

- **L'ammonium (NH_4^+):**

Les ions NH_4^+ constituent la forme réduite des composés minéraux azotés. Ils sont peu représentés dans les milieux ouverts (Océan et cours d'eau), préférentiellement utilisés par les algues et les microphytes.

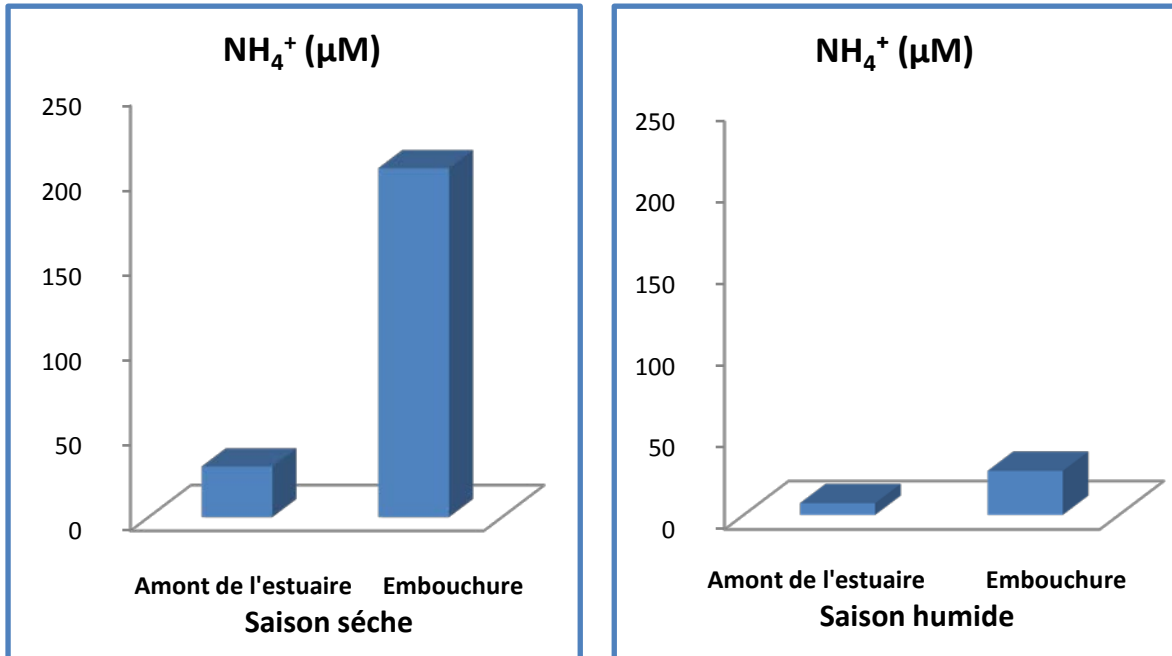


Figure 28: Variations des teneurs en ion ammoniums (μM) dans l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016/2017.

Les teneurs de l'ammonium (NH_4^+ : azote réduit) sont toujours plus élevées dans la station embouchure (Fig. 28). En saison sèche en particulier, les teneurs d'ammonium fluctuent énormément entre 29,8 μM à la station amont et un maximum de 205 μM à l'embouchure. Les fortes valeurs d'ammonium à l'embouchure peuvent être expliquées par la réduction des fractions oxydées et l'effet de l'intrusion des masses d'eau marines.

L'ammonium y représente avec un pourcentage de 53% à l'amont et 82% à l'embouchure (Fig. 30) de l'azote inorganique dissous (NID) en saison sèche. De même, en saison humide à la station amont de l'estuaire, les teneurs de l'ammonium sont inférieures qu'en l'aval (Fig. 28). L'ammonium y forme 11% à l'amont et 20% à l'embouchure (Fig. 31) de l'azote inorganique dissous. Il s'agit d'une très forte pollution par cet élément d'azote réduit. L'azote ammoniacal est la forme d'azote la plus toxique pour les êtres vivants. Sa présence dans l'eau est liée soit aux rejets urbains et industriels, soit à la réduction des formes azotées (nitrates et nitrites) en conditions réduites.

Les eaux de l'estuaire de Seybouse sont très riches en ammonium en particulier, en saison sèche à l'embouchure (jusqu'à 205 μ M). Ces teneurs anormalement élevées sont enregistrées en relation semble-t-il avec la fertilisation des terrains agricoles pour les différentes cultures comme les légumes. L'intervention du zooplancton, à travers l'excrétion azotée, peut également expliquer une part de ces concentrations.

- **L'azote inorganique dissous (NID)**

L'azote inorganique dissous NID représente la somme des ions $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$. Les valeurs du NID fluctuent largement au cours des périodes de l'étude (Fig. 29) en effet, elles varient entre 56 μ M à la station amont et 5 fois plus importantes (249 μ M) à l'embouchure durant la saison sèche. Par contre durant la saison humide, les valeurs du NID sont presque comparables entre la station amont (67,87 μ M) et aval (74,13 μ M).

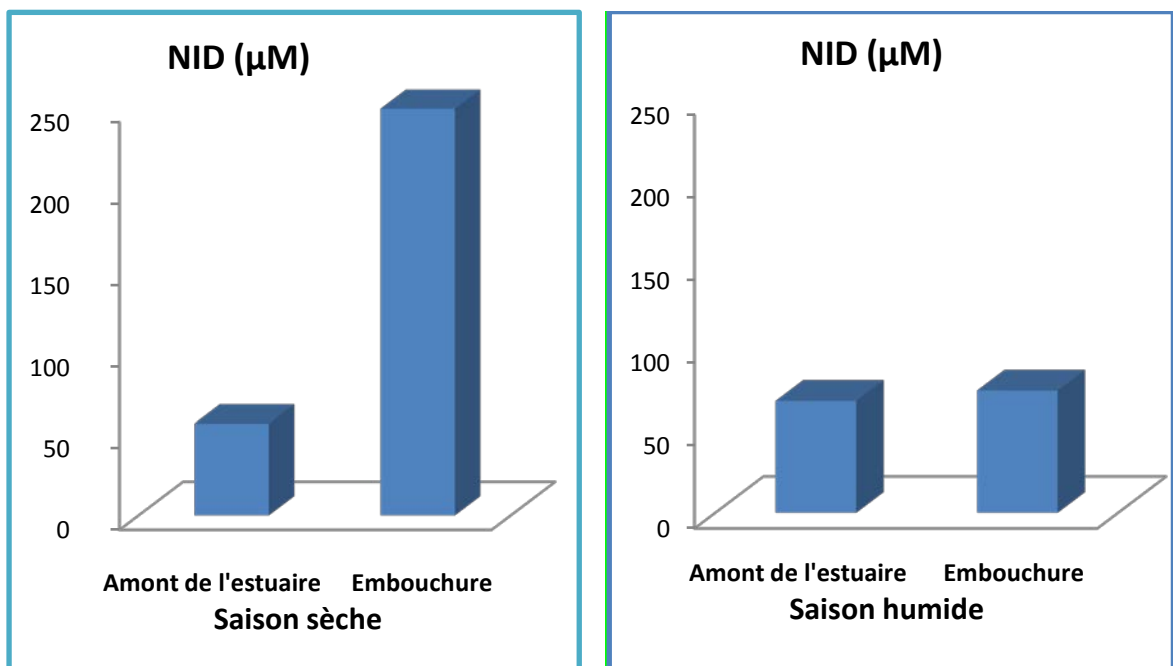


Figure 29: Variations des teneurs en azote inorganique dissous (μM) dans l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016/2017.

D'un point de vue spatial, les valeurs les plus élevées sont généralement rencontrées à la station embouchure à la différence de la station amont de l'estuaire. La distribution temporelle montre que les valeurs les plus élevées en période sèche (Fig. 29) qu'en saison humide ou on rencontre des valeurs un peu plus faibles.

Au sein du NID, les ions de nitrates dominent en moyenne à 73 % à l'amont et 67 % à l'aval et les nitrites représente 16% a l'amont et 13% à l'embouchure, les ions de l'ammonium représente 11 % à l'amont de l'estuaire et 20% à l'embouchure (fig. 30, 31; Tab. 09).

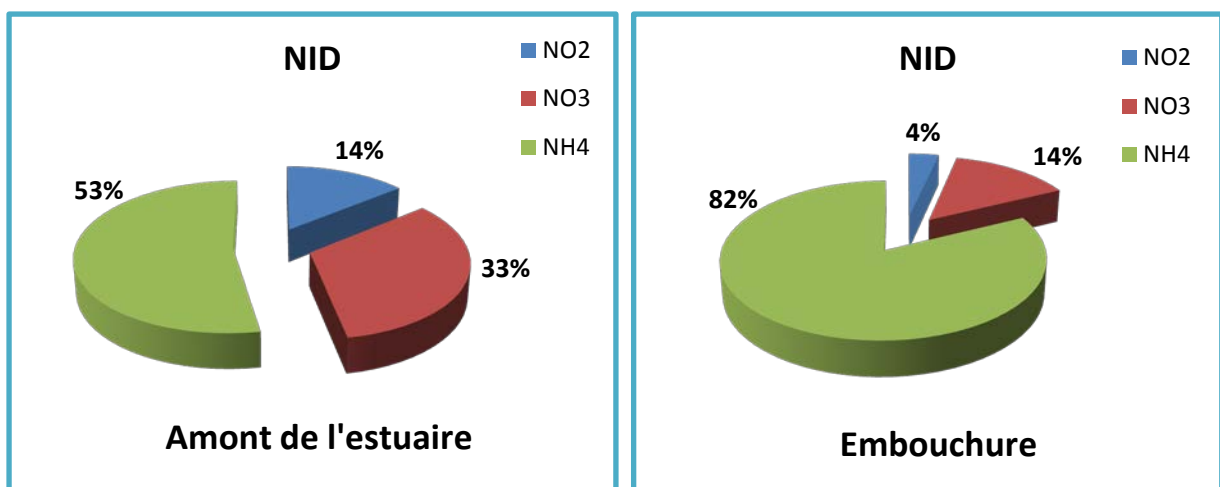


Figure 30 : Distribution des fractions de l'azote inorganique dissous dans l'estuaire de Seybouse durant la période sèche Septembre 2016.

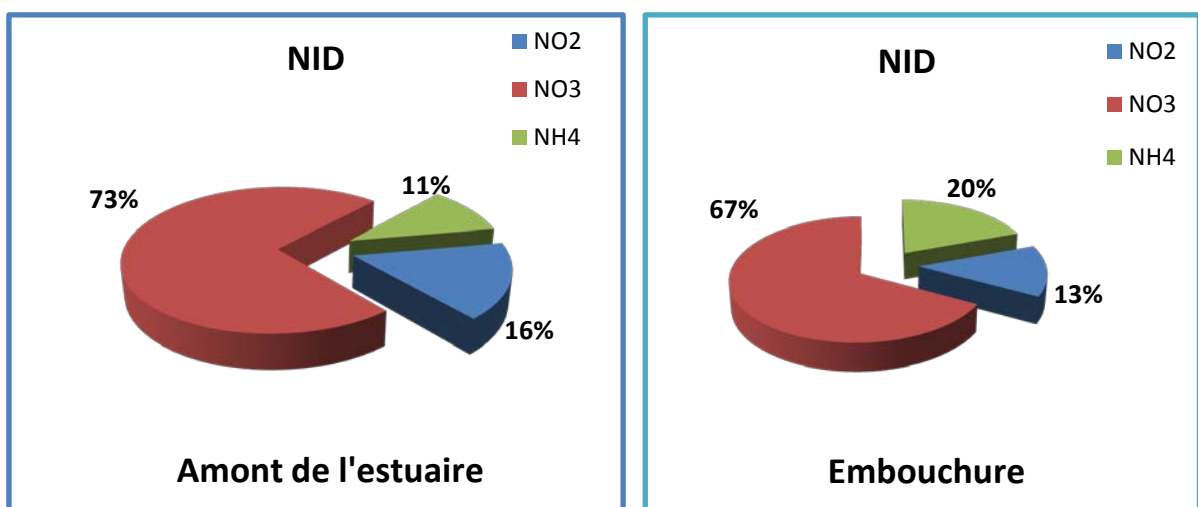


Figure 31 : Distribution des fractions de l'azote inorganique dissous dans l'estuaire de Seybouse durant la période humide Avril 2017.

Tableau 09: Valeurs des différentes formes de l'azote inorganique dissous (NID: $(\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)$) dans l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016.2017.

Saison sèche	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	SiO_4	NID	% NH_4^+	% NO_2^-	% NO_3^-
Amont de l'estuaire	29.8	8	18.5	0.36	82	56	53%	14%	33%
Embouchure	205	8.7	35.5	3.61	40	250	82%	4%	14%
Saison humide	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	SiO_4	NID	% NH_4^+	% NO_2^-	% NO_3^-
Amont de l'estuaire	7.2	11.2	49.4	0.23	68	68	11%	16%	73%
Embouchure	27	7.9	39.2	2.74	43	74	20%	13%	67%

1.2.2. Variation des teneurs en phosphates (PO_4^{3-})

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**).

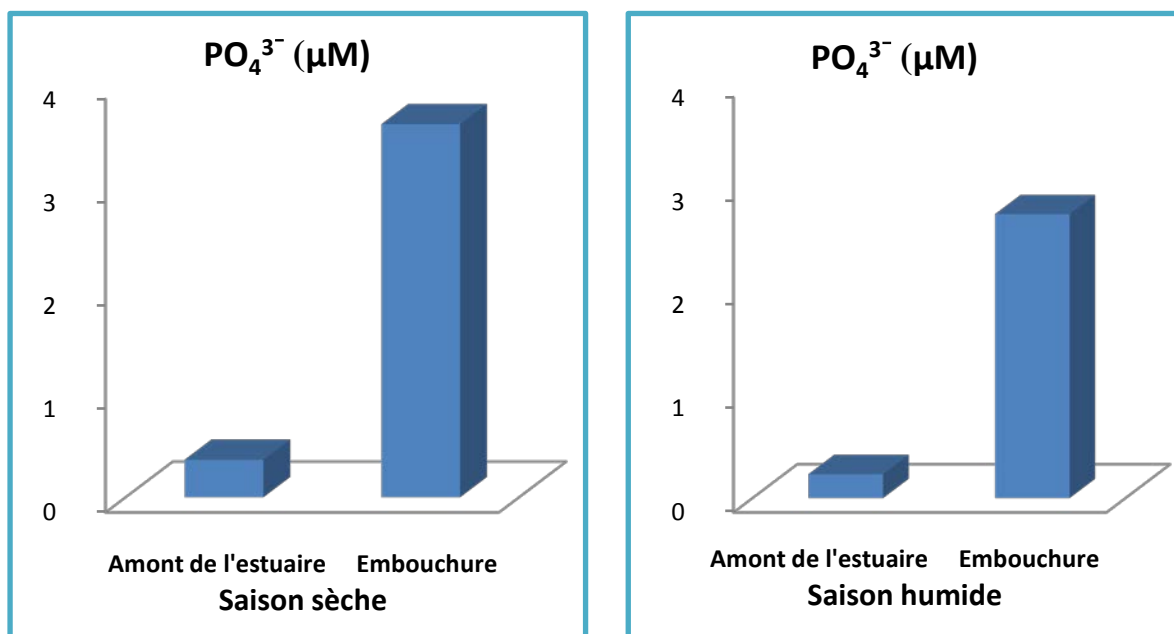


Figure 32: Variation des teneurs en phosphore μM dans l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016.2017

La teneur en Phosphore des eaux naturelles est normalement très faible, l'essentiel étant présent dans le sédiment. Le phosphore subit une série de dépôts et de reprises sur son parcours au sein même du bassin versant.

Durant la période d'étude, les teneurs en phosphates varient considérablement entre amont et aval, en effet, les concentrations varient entre $0,36 \mu\text{M}$ à l'amont de l'estuaire et $3,61 \mu\text{M}$ à l'embouchure en saison sèche, et une valeur de $0,23 \mu\text{M}$ à l'amont de l'estuaire et $2,74 \mu\text{M}$ à son aval en saison humide et traduisent une qualité médiocre des eaux à cette station embouchure (Fig. 32). 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. Ces fortes teneurs à l'embouchure peuvent être expliquées aussi par la remise en suspension des ions de phosphates à partir du sédiment.

Globalement, durant la période d'étude les teneurs en ions phosphates reflètent une tendance bien claire entre la station amont et embouchure et varient en moyenne entre $0,3 \mu\text{M}$ et $3,2 \mu\text{M}$ respectivement pour les deux stations.

1.2.3. Distribution du silicium

Le silicium est un autre élément aussi important que l'azote et le phosphore. Il peut même devenir un facteur limitant de la fertilité d'un écosystème lorsqu'il recèle de forts peuplements de diatomées.

Contrairement aux autres éléments d'origine quasiment anthropique, le suivi de la répartition du silicium dans l'estuaire montre que durant la saison sèche à l'amont de l'estuaire, les teneurs en Si(OH)_4 sont élevées avec une valeur allant jusqu'à $82 \mu\text{M}$ (Fig. 33) par contre à l'embouchure la concentration ne représente que la moitié ($40 \mu\text{M}$). Les tendances des Si(OH)_4 semblent varier inversement avec le cycle hydrologique de l'Oued Seybouse, en effet, durant la saison humide, les teneurs en silicates sont presque deux fois élevées à l'amont de l'estuaire avec des valeurs allant jusqu'à $68 \mu\text{M}$ par contre à l'embouchure les teneurs sont de l'ordre de $43 \mu\text{M}$. Il semble que les processus de consommation emportent sur les apports ce qui affaiblit le stock du Si(OH)_4 .

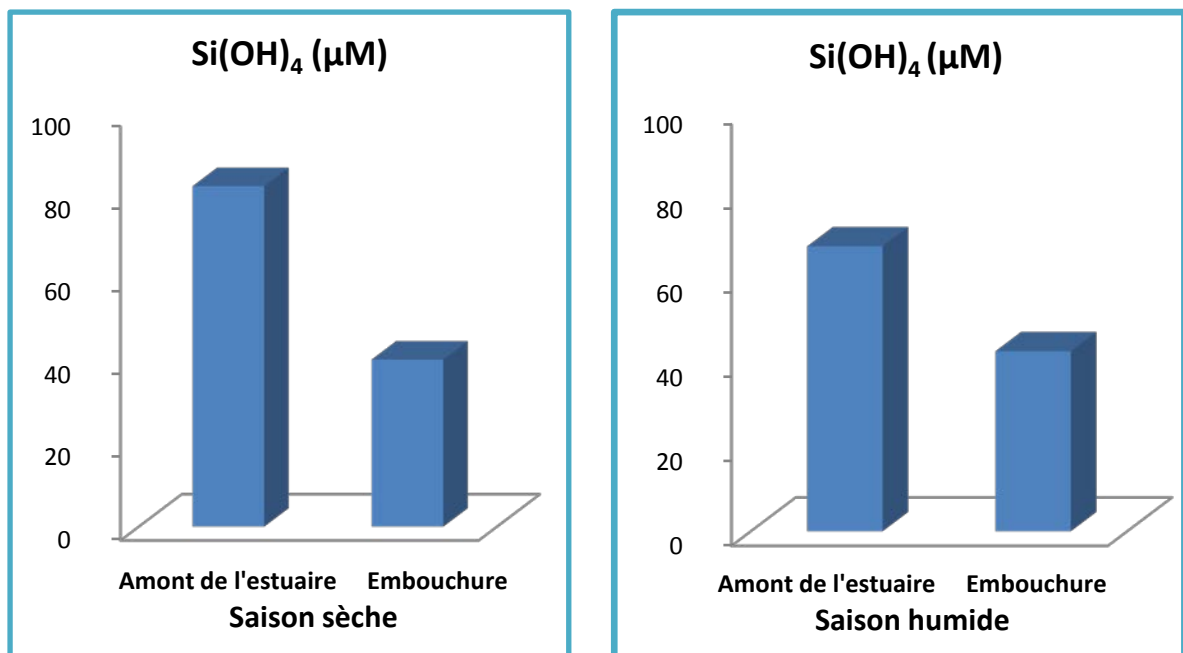


Figure 33 : Variation saisonnière des teneurs en silicate (μM) dans l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016/2017.

L'appauvrissement général en période sèche et humide au niveau de l'embouchure s'explique en effet par une consommation phytoplanctonique (par les diatomées) bien que les teneurs n'arrivent pas à l'épuisement en raison d'un apport sédimentaire. Les besoins en silicium pour les diatomées sur le plan biologiques et écologiques, comparées à celles de l'azote sont identiques (**Jaques and Tréguier, 1986**), soit une mole de silicate pour une mole d'azote (1-1).

2. Flux des nutriments (N-P-Si) en amont et aval de l'estuaire de Seybouse

Le phosphore, l'azote et le silicium 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**)

En revanche, les apports de rivières à la mer contribuent substantiellement à l'augmentation des apports de nutriments, provoque des enrichissements et de sévères situations d'eutrophisations côtières (Cloern, 2001; Conley *et al.*, 2000; Nixon, 1995; Seitzinger *et al.*, 2005 ; Ziouch, 2014; Aounallah, 2015; Ounissi *et al.*, 2014, 2016, pour ne citer que ces exemples). Les flux de nutriments entre l'amont de l'estuaire et l'embouchure étudiée sont présentés dans les tableaux 10 et 11 et les graphiques 34, 35, 36, 37, 38 et 39.

L'ensemble des résultats obtenues en termes de concentrations des matières nutritives: NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} et $\text{Si}(\text{OH})_4$ dans l'estuaire de Seybouse durant la période sèche (septembre 2016) et humide (avril 2017) a permis d'évaluer le flux de ces nutriments introduits à la côte.

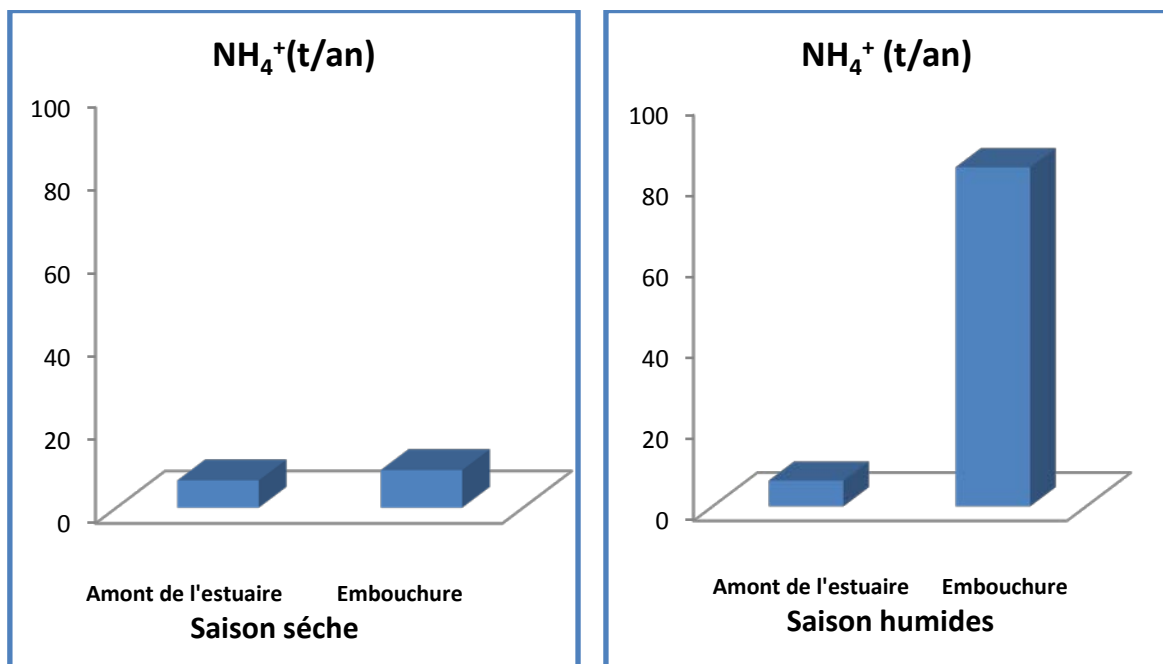


Figure 34: Flux en NH_4^+ (tonne /ans) à l'amont et à l'aval de l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016 /2017

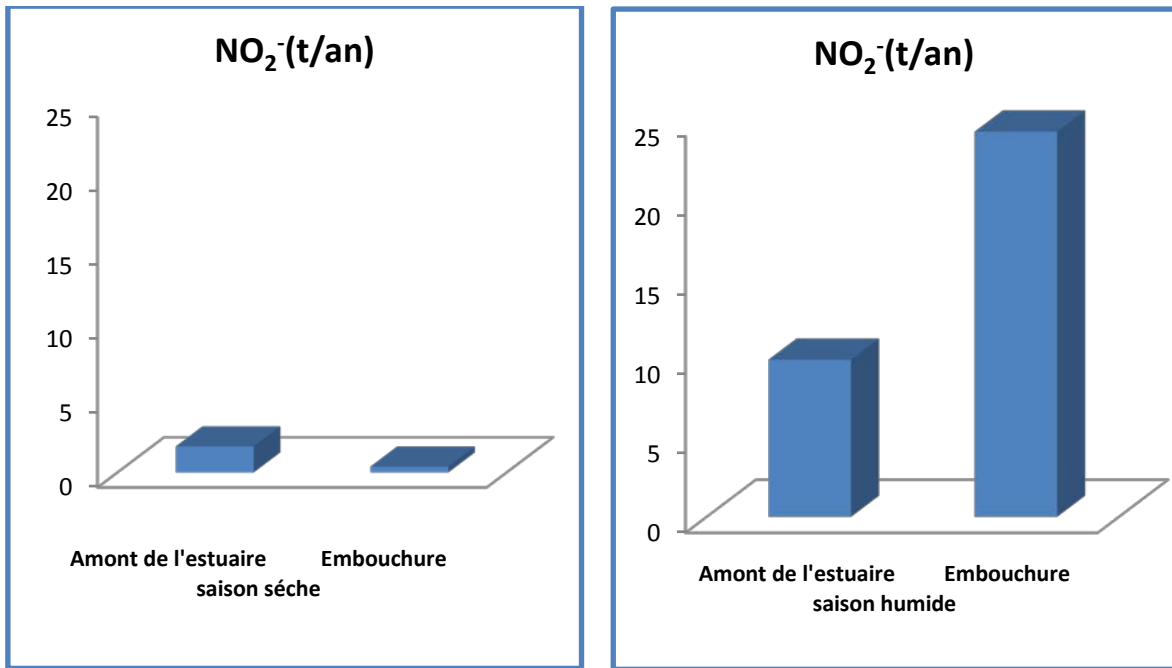


Figure 35: Flux en NO₂⁻ (tonne /ans) à l'amont et à l'aval de l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016 /2017

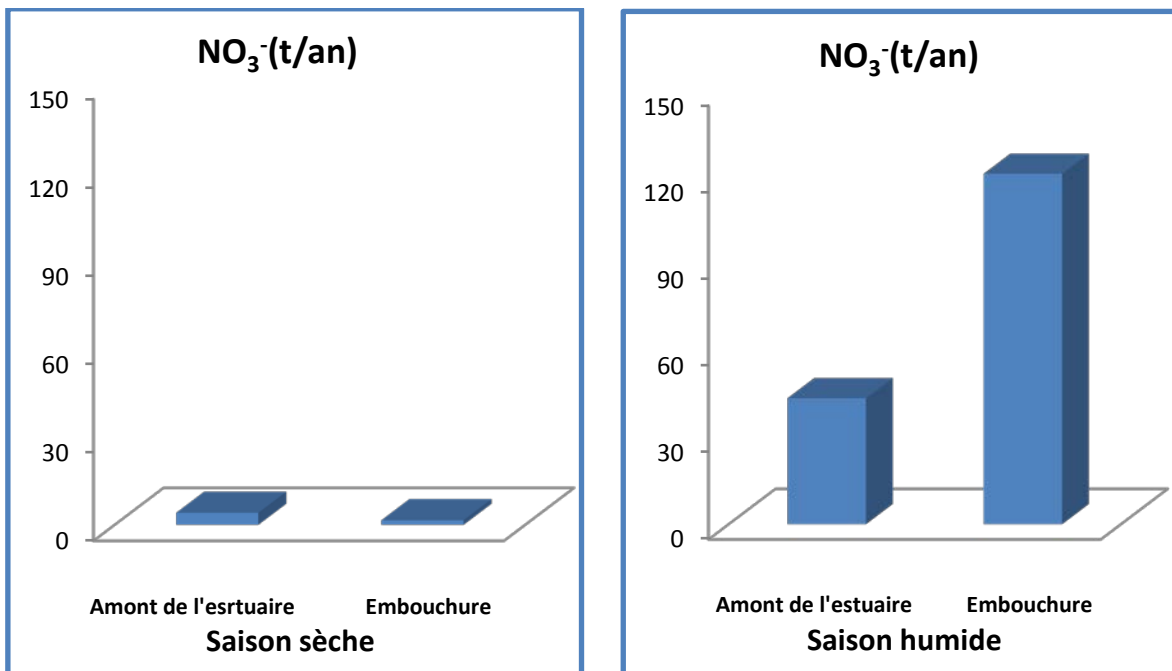


Figure 36: Flux en NO₃⁻ (tonne /ans) à l'amont et à l'aval de l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016 /2017

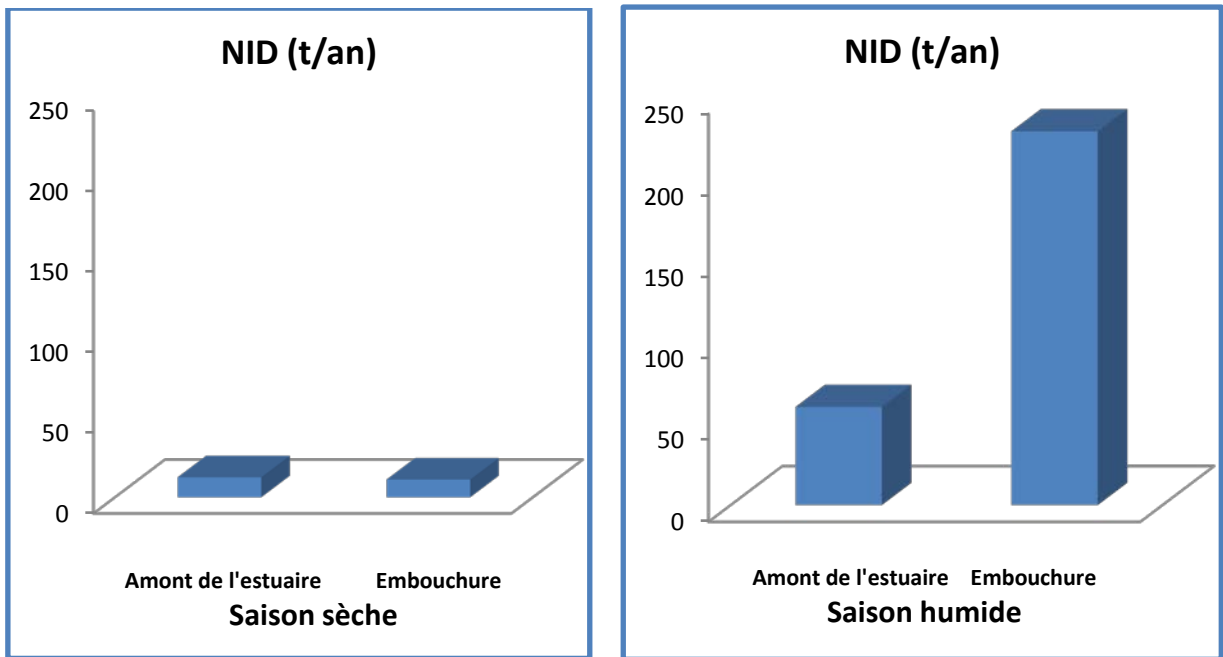


Figure 37: Flux en NID (tonne/an) à l'amont et à l'aval de l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016 /2017

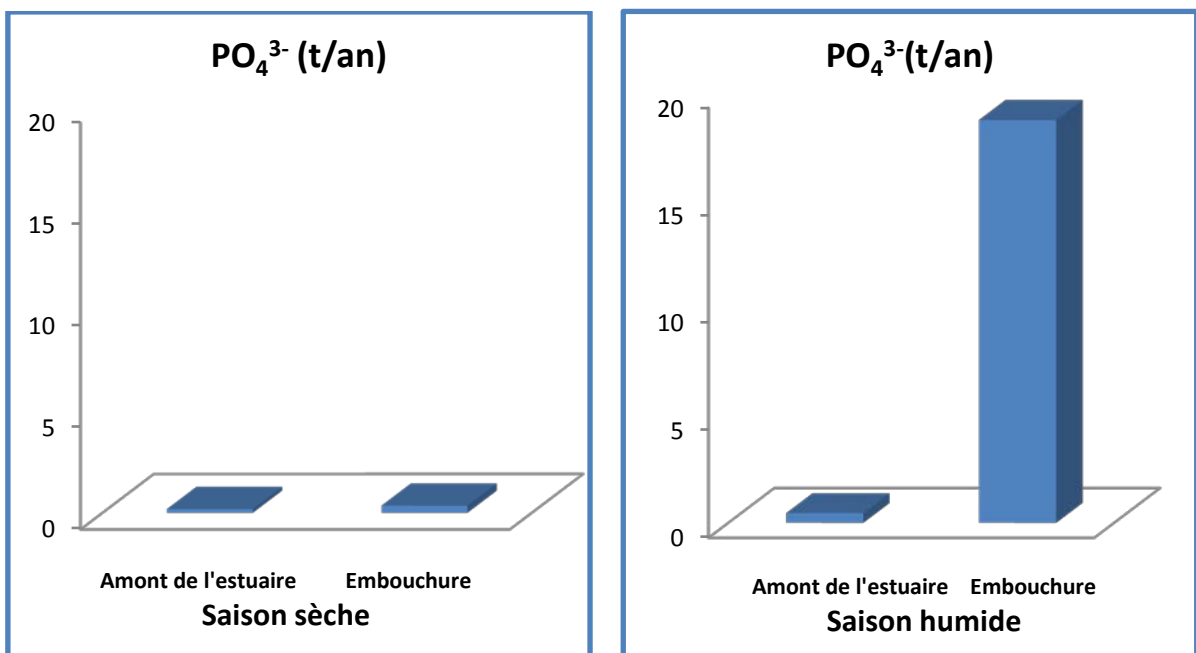


Figure 38: Flux en PO₄³⁻ (tonne/an) à l'amont et à l'aval de l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016 /2017

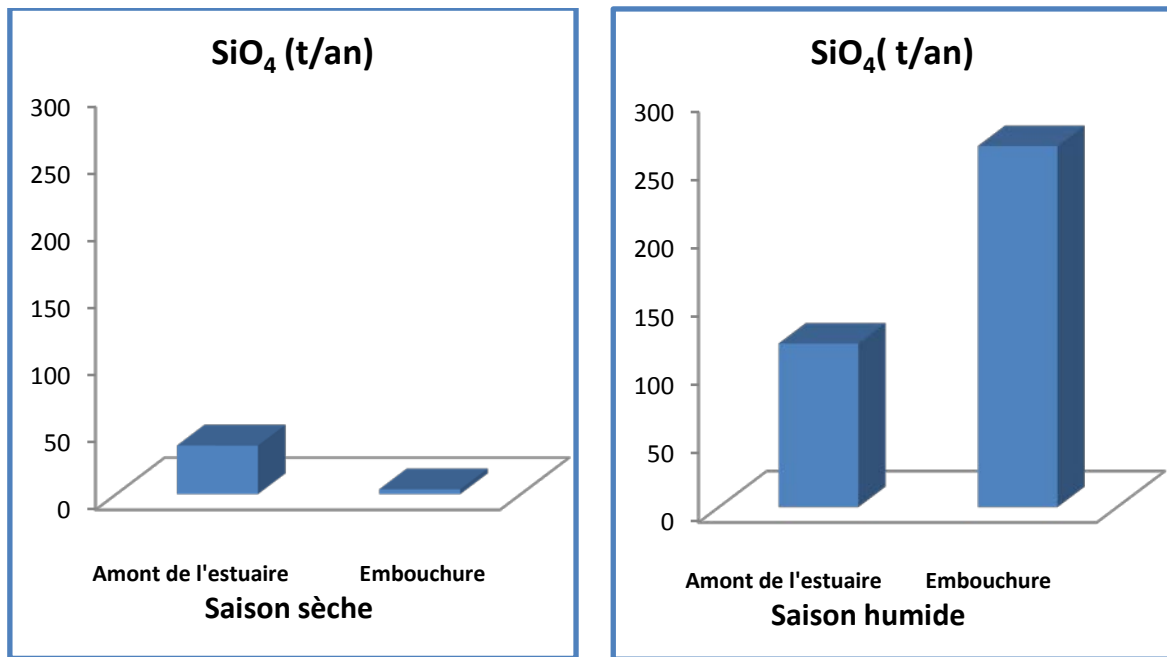


Figure 39: Flux en SiO₄ (tonne/an) à l'amont et à l'aval de l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016 /2017

Les flux des nutriments au niveau de l'amont de l'estuaire et à l'embouchure durant la saison sèche et humide sont présentés dans les tableaux 10 et 11. 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.

Tableau 10: Flux (F en μM) des nutriments à l'amont de l'estuaire et à l'embouchure pour la période sèche et humide % (R): rétention; (-): rétention; (+): production.

	(μM)	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NID	PO ₄ ³⁻	SiO ₄
Saison sèche	Amont de l'estuaire	29,8	7,9	18,5	56	0,4	82
	Embouchure	205	8,7	35,5	250	3,6	40
	Production/Rétention	175	0,8	17	193	3,3	-42
	R %	589	9,8	92	343	903	-51
Saison humide	Amont de l'estuaire	7,2	11,2	49	68	0,2	68
	Embouchure	27	7,8	39	74	2,7	43
	Production/Rétention	19,8	-3,4	-10	6,3	2,5	-25
	R %	275	-30	-21	9,2	1091	-37

En termes de concentrations (μM), les teneurs en azote minéral dissous, phosphates et silicates ont révélé des variations considérables entre la station amont de l'estuaire et l'embouchure et entre saison sèche et humide (Fig. 26, 27, 28, 29, 30, 31; Tab. 10). En saison sèche, tous les éléments d'origine presque anthropique montrent des teneurs en amont de l'estuaire inférieures à l'embouchure ce qui traduit une forte production en cette époque de l'année, en effet, il y a une production de $175 \mu\text{M}$ (589 %), $0,8 \mu\text{M}$ (9,8 %), $17 \mu\text{M}$ (92 %) pour NH_4^+ , NO_2^- et NO_3^- respectivement. L'estuaire produit également $193 \mu\text{M}$ (343 %) en NID et $3,3 \mu\text{M}$ (903%) en PO_4^{3-} (Tab. 10).

En saison humide, l'estuaire suit le même comportement producteur des matières d'origine anthropiques avec $2,5 \mu\text{M}$ (1091 %), $19,8 \mu\text{M}$ (275 %) $6,3 \mu\text{M}$ (9,2 %) respectivement pour PO_4^{3-} , NH_4^+ et NID sauf parmi les formes minérales azotées, les deux fractions oxydées sont largement préférentiellement retenues à des taux variant entre $3,4 \mu\text{M}$ (30 %) et $10 \mu\text{M}$ (21 %) pour NO_2^- et NO_3^- respectivement (Tab. 10). Paradoxalement aux autres nutriments, l'élément d'origine naturelle montre toujours une rétention au niveau de l'estuaire durant toute la période d'étude, la rétention des ions SiO_4 varie en effet entre $25 \mu\text{M}$ (37 %) et $42 \mu\text{M}$ (51 %) respectivement (Tab. 10).

Tableau 11: flux (F en t/an) des nutriments à l'amont de l'estuaire et à l'embouchure pour la période sèche et humide % (R): rétention; (-): rétention; (+): production.

		(t/an)	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	NID	PO_4^{3-}	SiO_4
Saison sèche	Amont de l'estuaire	6,6	1,8	4,1	12	0,18	36	
	Embouchure	9,1	0,4	1,6	11	0,35	3,6	
	Production / Rétention	2,5	-1,4	-2,5	-1,4	0,17	-33	
	R %	37,8	-78	-60,9	-11	94	-90	
Saison humide	Amont de l'estuaire	6,4	9,9	34,7	60	0,45	120	
	Embouchure	83,6	24	121	229	18,6	264	
	Production / Rétention	77,2	14	86,5	169	18,3	145	
	R %	1206	145	248	282	4033	121	

On constate en revanche une variabilité claire des flux (t/an) en relation avec les débits (Fig. 34, 35, 36, 37, 38 et 39; Tab. 11). En saison sèche, l'estuaire produit $2,5 \text{ t/an}$ (37,8 %) de NH_4^+ et $0,17 \text{ t/an}$ (94 %) de PO_4^{3-} . Par ailleurs, il y a une rétention de $1,4 \text{ t/an}$ (78 %) de NO_2^- , $2,5 \text{ t/an}$ (61 %) de NO_3^- , $1,4 \text{ t/an}$ (11 %) de NID et 33 t/an (90 %) de SiO_4 . En saison humide et suite à un débit relativement fort, l'estuaire se comporte comme un producteur de toutes les matières nutritives durant cette période de l'année avec 169 t/an (282 %) de NID, $18,3 \text{ t/an}$ (4033 %) et 145 t/an (121 %) de SiO_4 (Tab. 11).

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; Aouallah, 2015; Taamallah et al., 2016**) 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.

Les masses de SiO_4 déjà réduites naturellement dans nos estuaires et par le faible écoulement et par la nature géologique des roches et sédiments pauvres en Si (moyennes mondiale 150 μM (**Tréguer et al., 1995**)). Le Si est d'avantage amoindrit par de fortes éliminations dans les barrages (32 % au niveau du barrage de Fom Elkhanga construit sur la branche cheref et 54 % au niveau du barrage de Hammam Debagh construit sur la branche Bouhamdane) (étude conjointe: **Allague, 2017**). 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 Silicates.

A titre de comparaison, d'après (**bouchareb ,2013**), Les masses de SiO_4 entrant aux barrages sont retenues à des proportions variant entre 50% à Zerdaza, 64% à Zit-Amba et 67% à Beni-Haroun. Ces piégeages sont bien inférieurs à ceux de NID (51 à 93%) et de PID (68 à 97%).

Des estimations des flux des nutriments, ont été faites dans des études précédentes pour suivre les apports en 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 d'azote et 3000 tonnes de phosphates dont 60% reviennent à Seybouse. Et d'après (**Ben Djedid, 2009**), le flux au golfe d'Annaba à environ 6120 tonnes de silicium via Mafrag et 2522 tonnes de silicium via Seybouse. D'après (**Guillaud, 1983**), le flux du silicium dans l'estuaire de la Seine (France) est d'environ 38000 t/an.

Tableau 12 : Les valeurs du rapport N/P, Si/ N et Si/P à l'amont de l'estuaire et à l'embouchure durant la période d'étude.

	Saison sèche		Saison humide	
	Amont estuaire	Embouchure	Amont estuaire	Embouchure
N/P	156	69	295	27
Si/N	1,5	0,2	1	0,6
Si/P	228	11	294	16

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 $N/P = [(NH_4^+ + NO_3^- + NO_2^-)/PO_4^{3-}]$ de l'ordre de 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. Les valeurs de N/P sont en moyenne altérées en particulier à l'amont de l'estuaire où $N/P = 223$ et 48 à l'amont et à l'embouchure respectivement sous l'influence des apports anthropiques (enrichis en azote qu'en phosphates) tel que des rejets des eaux usées urbaines et industrielles, des effluents des oueds et du lessivage des terres agricoles. En revanche, les faibles valeurs N/P impliquent que l'estuaire Seybouse connaît un dysfonctionnement qui retentit sur le littoral adjacent.

Les besoins en silicium pour les diatomées sur le plan biologiques et écologiques, comparées à ceux de l'azote sont identiques (**Jaques and Tréguer, 1986**), soit une mole de silicate pour une mole d'azote (1/1). Ces besoins sont largement satisfaits à l'amont de l'estuaire durant la saison sèche et humide où la valeur de Si/N est en moyenne de l'ordre de 1,3 (Tab. 12), par contre il ne l'est pas pour les eaux de l'embouchure de Seybouse $Si/N = 0,3$ pour toute la période d'étude où le rapport de Redfield est déséquilibré.

On constate une diminution du rapport Si/N et une augmentation des rapports N/P. L'impact des rejets anthropique se traduit ici par l'augmentation de N par rapport aux masses de P et de Si introduites dans le milieu marin. Le niveau d'anthropisation peut être estimé à partir du rapport Si/N comme le montre les données de (**Vörösmarty et al., 1998**) consignées dans le tableau 14.

Les rapports molaires N/P/Si 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 modifications 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 ($Si/N/P=100/16/1$), 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 et la diminution et la rétention de Si tout au long du bassin versant (barrages et estuaire) d'autre part, 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., 2000; Turner et al., 1998 ; Ounissi et al., 2008 ; Ziouch, 2014; Aounallah, 2015; Ounissi et al., 2014, 2016**).

Tableau 13 : Valeurs moyennes du rapport N/P dans quelques cours d'eau Méditerranéens (**repris and modifié de EEA, 1999**).

Rivières	Rapport N/P	pays
Rhône	33,53	France
Ebre	181,46	Espagne
Pô	55,31	Italie
Axios	1,05	Grèce
Ceyhen	58,96	Turquie
Moulouya	35,47	Maroc
Mafrag	17	Algérie
Seybouse (Cette étude)	137	Algérie

Tableau 14 : Valeurs moyennes de silicium, de l'azote et de rapport Si/N dans plusieurs rivières propre et anthropisés aux différentes périodes (**repris et modifié de Vörösmarty et al., 1998**).

Qualité	Rivières et estuaire	Période	Si	N	Si/N
Propres	Amazone	1972	187	3,2	58,4
	Mackenzie	1978-1983	143	14	20
	Yokon	1978-1985	275	35	32,9
	zaire	1976	161	7,3	22,1
Anthropisés	Mississippi	1981-1987	108	114	1
	Po	1981-1984	120	147	0,7
	Rhine	1976-1978	130	310	0,4
	Seine	1976-1982	120	372	0,3
	Yellow (hwaughe)	1986	128	64	2
	Mafrag	2006	50	26	1,92
	Seybouse	2016-2017	58	112	0,52

En terme de comparaison avec d'autres cours d'eau Méditerranéens, l'estuaire de Seybouse paraît plus enrichi en azote inorganique (NID) qu'en phosphate ou le rapport N/P est de l'ordre de 137 qui dépasse largement celui de la plus part des cours d'eau Méditerranéens (Tab 13). Si on compare les résultats des valeurs moyennes du rapport Si/N avec quelques rivières mondiales, on se retrouve avec un rapport faible (Si/N=0,52). Il se positionne parmi les estuaires fortement anthropisés (Tab. 14).

Ce travail vise principalement à estimer le transfert de N, P et Si à travers l'estuaire de Seybouse aux eaux côtières et déterminer ces effets sur les transformations biogéochimiques des nutriments introduits à la mer. L'examen des résultats permet de constater que les teneurs et les flux des nutriments se trouvent fortement modifier avant de rejoindre la mer. Ces changements biogéochimiques des nutriments sont en relation surtout avec les apports continentaux et les phases estuariennes et se traduisent en particulier par l'augmentation des teneurs en éléments d'origines anthropiques (N et P) et la diminution des teneurs de l'élément naturel (Si), cette réduction des flux de Si à la mer ayant des impacts sur les cycles biogéochimiques et à la structure du réseau trophique côtier, serait aujourd'hui généralisée à l'ensemble des côtes mondiales (**Humborg *et al.*, 2000 ; Turner *et al.*, 1998 ; 2003**) et les côtes algériennes et notamment le golf de Annaba soumis à l'influence des apport de Seybouse n'échappe pas de ce constat (**Ounissi *et al.*, 2008; Ziouch, 2014; Aounallah, 2015; Ounissi *et al.*, 2014, 2016**).

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



Conclusion

Conclusion

A la lumière des résultats obtenus durant cette d'étude, on constate que les paramètres physicochimiques s'avèrent très variables dans l'espace et dans le temps. Les salinités des eaux de l'estuaire Seybouse varient remarquablement entre la saison sèche et la saison humide, un minimum de 0,9PSU est enregistré en amont de l'estuaire, les fortes valeurs sont enregistrées à l'embouchure avec un maximum de 4,6PSU en saison sèche. Les valeurs de la conductivité électrique témoignent d'une minéralisation forte des eaux de l'estuaire de Seybouse ou elles fluctuent entre un minimum de 2050 μ S/cm à l'amont de l'estuaire et un maximum de 8120 μ S/cm à l'embouchure. Le débit est fortement conditionné par le cycle hydrologique, il varie à l'embouchure entre un minimum de 0,1m³/s et un maximum de 7 m³/s en saison humide.

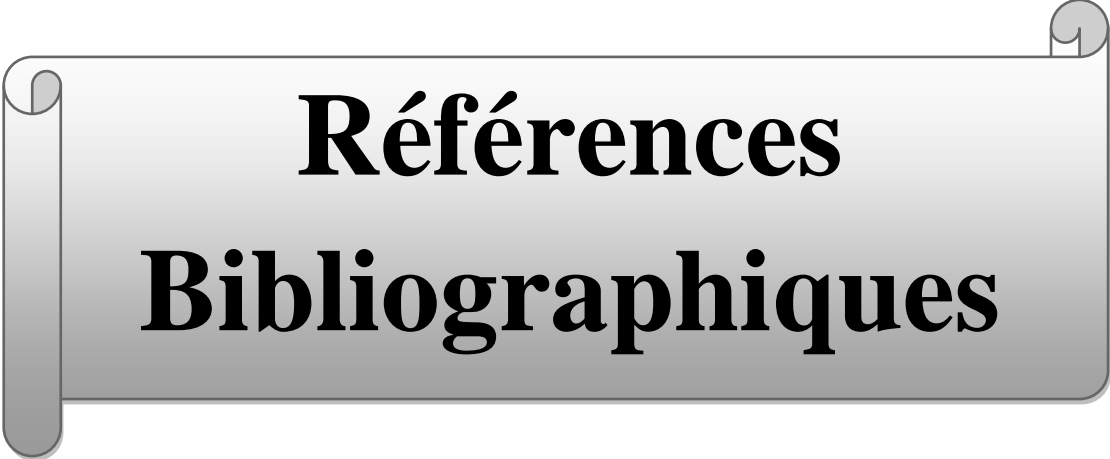
L'analyse des paramètres de la qualité générale des eaux de l'estuaire Seybouse montre que le NID est en moyenne plus abondant en embouchure (162 μ M) qu'en amont de l'estuaire (62 μ M). Au sein du NID, les ions nitrates dominent en moyenne à 70% en saison humide alors qu'en saison sèche c'est la forme réduite l'ammonium qui dominant (68%) les nitrites forment toujours la fraction minime. Le phosphore suit le même comportement du NID avec des fortes teneurs enregistrées à l'embouchure 3,2 μ M alors qu'en amont il ne représente que 1/10. Autrement dit, l'estuaire de Seybouse subit un enrichissement excessif en éléments nutritifs, due essentiellement aux apports domestiques, industriels et les activités agricoles. Contrairement aux éléments d'origine anthropique, le silicium dans l'estuaire montre une répartition inverse ou il varie entre 75 μ M et 42 μ M à l'amont de l'estuaire et à l'embouchure respectivement.

En termes de concentrations (μ M), tous les éléments d'origine anthropique montrent des teneurs en amont de l'estuaire inférieures à l'embouchure ce qui traduit une forte production, en effet, il y a une production de 100 μ M (176%) de NID et 3 μ M (997%) de phosphates, en revanche il y a une rétention en moyenne de 34 μ M (44%) du Silicium.

En termes de flux qui est en relation étroite avec le débit, l'estuaire produit en moyenne 84t/an (136%), 9t/an (2064%) et 56t/an (31%) de NID, PO₄³⁻ et SiO₄ respectivement.

L'estuaire de Seybouse paraît plus enrichi en NID qu'en PO_4^{3-} ou le rapport N/P est en moyenne de l'ordre de 137. La valeur moyenne du rapport Si/N se retrouve très faible (Si/N=0,52) ce qui nous permet de le positionner parmi les estuaires fortement anthropisés.

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



**Références
Bibliographiques**

Références bibliographiques**A**

Agence de bassin hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue, 2012.The Institutional and Economic Instruments for Sustainable Water Management in the Mediterranean Basin ; Institutional framework and decision-making practices for water management in Algeria :Towards the development of a strategy for water pollution prevention and control in the Seybouse River Basin”, March 2009.

Agence des bassins hydrographiques Seybouse-Mellag- Constantinois, 1999. Bassin de la Seybouse, Actualisation, Les cahiers de l’agence, 1: 7p.

Agence des bassins hydrographiques Seybouse-Mellag- Constantinois,2002.Bassin de la Seybouse, Actualisation, Les cahiers de l’agence, 7: 32p.

Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, qualité des eaux superficielles,2011.

Allegue, N.H., 2017. Distribution et flux du Silicium dans le bassin versant de Seybouse. Mémoire de master, Université Abbes Laghrour Khanchela.

Aminot, A., Chaussepied., 1983.Manuels des analyses chimiques en milieu marin. 395p.

Aounallah, O., 2015. Distribution and fluxes of biogeochemical variables in the Seybouse River Estuary, SW Mediterranean. *Advances in Environmental Biology* 9 (11), 101-108.

Attrill, M.J.,Rundle,S.D., 2002. Ecotone or Ecocline: Ecological Boundaries in Estuaries. *Estuaries, Coastal and Shelf Science*, 55: 929-936.

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.

Bartoli, F., 1983. The Biogeochemical cycle of silicon in two temperate Forest Ecosystem *Environmental Biogeochemistry. Ecol. Bull (Stockholm)* **35**: 469-476.

Bartoli, F., 1985. Crystallo chemistry and surface properties of biogenic opal. *Journal of Soil Science* **36**: 335-350.

Basile-Doelsch, I., Meunier, J.D., Parron, C.,2005.Another continental pool in the terrestrial silicon cycle. *Nature*, 433:399-402.

Bchitou, R., 2001. « Le suivi des métaux lourds dans les eaux et les sédiments du moyen Sebou : Elaboration d'un plan d'expérience afin d'éliminer le chrome », Thèse d'Etat, Faculté des Sciences Université Mohammed V-Agdal Rabat.

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.

Bendjedid , R., 2009. Le silicium dans les eaux naturelles de la région d'Annaba (eau souterraine, eau de surface et littoral) .Mémoire de magister, Université Badjimoukhtar Annaba.

Berner, E.K., Berner, R.A., 1995. Global Environment: Water, Air and Geochemical Cycles. Prentice Hall, 376p.

Billen, G., Garnier, J., 2007. River basin nutrient delivery to the coastal sea: assessing its potential

Boyd, R., Dalrymple, R., Zaitlin, B.A., 1992. Classification of clastic coastal depositional environments. *Sedimentary Geology* 80, 139-150.

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

Cameron, J.N., Pichards, D.W., 1963. Estuaries. In M.N. Hill (ed). *The sea: Ideas and observations*, vol 2, ch 15: 306-324 (Wiley-InterScience).

Cary Alexandre A., Dominique, M., Boegelin, J.L., Braun, J.J., 2005. Contribution of phytoliths to the suspended load of biogenic silica in the Nyong basin rivers (Cameroun). *Biogeochemistry* 74: 101-114.

CE, 2000. Directive Européenne 2000/CE/60. Journal officiel de la communauté européenne du 23 octobre 2000 sur la politique de l'eau. PE-LONS 36 39/1/100 REV 1, Bruxelles.

Cloern, J.E., 2001. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 210: 223-253.

Conley, D.J., 1997. Riverine contribution of biogenic silica to the oceanic silica budget. *Limnol. Oceanogr.*, 42: 774-777.

Conley, D.J., 2002. Terrestrial ecosystems and global biogeochemical silica cycle. *Global Biogeochemical Cycles* vol 16 N°4, 1121..

Conley, D.J., Kaas, H., Mohlenberg, H., Rasmussen, F.B., Windolf, J., 2000. Characteristics of Danish estuaries. *Estuaries*, 23: 820-837.

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>

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

Dalrymple, R.W., Zaitlin, B.A., Boyd, R., 1992. Estuarine facies models; conceptual basis and stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Research* 62, 1130- 1146. De la Laiterie de L'Edough (ANNABA-Algerie) et les objectifs Environnementaux des rejets. Thèse de doctorat en science, Université D'Annaba P: 51-52.

Derry, L.A., Kurtz, A.C., Ziegler, K., Chadwick, O.A., 2005. Biological control of terrestrial silica cycling and export fluxes to watersheds. *Letters to Nature* 433: 728-731

Downing, J.A., Marine nitrogen:phosphorus stoichiometry and the global N:P cycle, *Biogeochemistry* 37 (1997) 237–252.

Dubreuil, P., 1974. *Initiation à l'analyse hydrologique*, Paris, Masson-ORSTOM, 216 p.

Dyer, K.R., 1973. *Estuaries: a physical introduction*. London: John Wiley and Sons.

E

Elliot, M., Mclusky, D.S., 2002. The need for definition in understanding estuaries. *Estuaries, Coastal and Shelf Science*, 55: 815-827.

essential to sustain new production of non-siliceous algae. *Mar. Chem.*, 106: 148-160. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marchem.2006.12.017>.

F

Fairbridge, R.W., 1980. The estuary: its definition and geodynamic cycle. *Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries*. Eds. Olansson. Eds. Olansson E and Cato I.; John Wiley and Sons, 1-36.

Faurie, C., Ferra, C., Medori, P., Devaux, J., Hemptinne, J-L., 2012. *Ecologie Approche scientifique et pratique*. 6 éditions. TEC ET DOC .p: 239-240-241-242. *Geochemistry and Biogeochemistry* .Academicpress, San Diego, pp. 39–76.

G

Ghachi, A., 1986. *Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie: le bassin de la Seybouse*, Alger, O.P.U., 508 p.

Ghachi, S., 1982. *Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie, le bassin de Seybouse*. P8-9, P13-17, p21.

Glangeaud, L., 1938. Transport et sédimentation dans l'estuaire et l'embouchure de la Gironde (caractères pétrographiques des formations fluviales, saumâtres, littorales et rétiques). Bulletin de la Société Géologique Française. 5eme série, vol.8, pp. 149-157.

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>.

Green, M.O., Macdonald, I.T., 2001. Processes driving estuary infilling by marine sands on an embayed coast. Marine Geology 178, 11-37.

H

Hakmi, A., 2006. Traitement de l'eau de la source Bousfer Oran .Mémoire de Licence. Université des sciences et de la technologie Oran.

Hani, A., Djabri, L., Mania, J., Mudry, J., 2002. Impacts de la surexploitation de l'eau souterraine sur l'aquifère dunaire de Bouteldja, Algérie. Revue VECTEUR environnement, volume 35, numéro 6, novembre 2002.66-71.

Hani, A., Lallahem, S., Mania, J., Djabri, L., Kachi, S., 2003. Impact of aquifer intensive use on groundwater quality and on wetlands on coastal aquifer. Technologie de l'intrusion d'eau de mer dans les nappes aquifères côtières : Pays méditerranées TIAC'03 , Mars 2003, Alicante (Espagne). IGME. Madrid 2003. ISBN. 84-7840-470-8.777-784.

Hardisty, J., 2007. Assessment of tidal current resources: Case studies of estuarine and coastal sites. Energy&environment, 18 (2): 233-249.

Hazourli, S., Boudiba, L., Ziati, M., Larhyss Journal. ISSN 1112-3680, n° 06, Décembre 2007, pp. 45-55.

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 (1-2): 364-376.http://dx.doi.org/10.4319/lo.2006.51.1_part_2.0364.
<http://dx.doi.org/10.12681/mms.1474>.

Humborg, C., Rahm, L.b., Conley, D.J., Tamminen, T., Bodungen, V.O.N., 2008. Silicon and the Baltic Sea.

I

ISMA, 1980. Guide sur la fertilisation phosphatée. Ed. J. Duculot, Gembloux, 60p.

J

Jabri, A., Hani, R., Laouar, J., Mania, J., Mudry et A.Louhi .,2003 “Potential pollution of groundwater in the valley of the Seybouse River, north-eastern Algeria” *Environmental Geology*,” Volume 44, Issue 6,pp 738-744.

Jacques, G., Tréguer P., 1986. Ecosystème pélagiques marins .2. L’océan antarctique. Paris, Masson, coll. (Ecologie), 19: 243p.

K

Kemp, W.M., Brooks, M.T., Hood, R.R., 2001. Nutrient enrichment, habitat variability and tropic transfer efficiency in simple models of pelagic ecosystems. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 223: 73-87.

Khatim, K., 2008 .Atelier sur la protection des eaux du bassin de la Seybouse contre la pollution.INECO.

Khelifi-Touhami, M., Ounissi, M., Saker, I., Haridi, H., Djorfi, S., Abdenour, C., 2006. Hydrology of the Mafrag estuary (Algeria): Transport of inorganic nitrogen and phosphorus to the adjacent coast. *Journal of food, Agriculture & Environement*, 4(2): 219-239.

L

Larras, J., Embouchures, estuaires, lagunes et deltas, Ed. Eyrolles, Paris, 1965.

LE Floch, J.F., 1961. Propagation de la marée dynamique dans l'estuaire de la Seine et La Seine maritime. Thèse d'état, Université de Paris, 507 p.

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.P, 288.

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.

Lisitzin, A.P., 1999. The continental-ocean boundary as a marginal filter in the World Oceans. In: Gray, J.S., Ambrose Jr., W., Szaniawska, A. (Eds.), *Biogeochemical Cycling and Sediment Ecology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 69–103.

Louamri, A., 2013. Le bassin – versant de la Seybouse (Algérie orientale) : Hydrologie et Aménagement des eaux. Thèse de doctorat en sciences, hydrologie. Université de Constantine , P : 97-98-99-100-101-102.

Lucas, Y.,2001.The role of plants in controlling rates and products of weathering: importance of the biological pumping .*Ann Rev Earth Planetary Sci*, 29:135-163.

Ludwig, W., Bouwman, A.F., Dumont, E., Lespinas, F., 2010. Water and nutrient fluxes from major Mediterranean and Black Sea rivers: Past and future trends and their

implications for the basin-scale budgets. *Global biogeochemical cycles* 24 (4), 1-14.
<http://dx.doi.org/10.1029/2009GB003594>.

M

Mackenzie, F.T., Garrels, R.M., 1966A. Chemical mass balance between rivers and oceans. *Am. J. Sci.* 264, 507–525.

Mackenzie, F.T., Garrels, R.M., 1966B. Silica-bicarbonate balance in the ocean and early diagenesis. *J. Sed. Petrol.* 36, 1075- 1084.

Margat, J., Treyer, S., 2004. L'eau des méditerranéens : situation et perspectives. Plan Bleu PNUE/PAM, Sophia-Antipolis.

Massad, R.S., 2009. « Le point de compensation stomatique de l'ammoniac : Comprendre et modéliser la relation au métabolisme azote de la plante », Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie.

Masselink, G., HUGHES, M.G., 2003. Introduction to Coastal Processes Geomorphology. Hodder Arnold Publication, 896p.

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.

Meire, P., Ysebaert, T., Van Damme, S., Van Den Bergh, E., Maris, T., Struyf E., 2005. The Scheldt estuary: a description of a changing ecosystem. *Hydrobiologia* 540, 1–11.

Meunier, J.D., Alexandre, A., Colin, F., ET Braun, J.J., 2001. Intérêt de l'étude du cycle du silicium pour interpréter la dynamique des sols tropicaux. *Bull. Soc. géol.Fr.* **172**, 533-538.

Meunier, J.D., Colin, F., Alarcon, C., 1999. Biogenic silica storage in soils. *Geology* 27, 835–838.

Michalopoulos, P., Aller, R.C., 2004. Early diagenesis silica in the Amazon delta: Alteration, authigenic clay formation, and storage. *Geochimica et Geochimica Acta.* 68 (5): 1061- 1085.

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.

Ministère Du Développement Durable De L'environnement Et Des Parcs Du Québec (MDDEPQ), 2008. Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales : Cahier 7 – Méthodes de mesure du débit en conduit ouvert, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 248 p.

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

Nixon, S.W., 1995. Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns. *Ophélie*, 41: 199-219.

Nixon, S.W., AND M.E.Q., Pilson., 1983. Nitrogen in estuarine and coastal marine ecosystems, p. 565-648. In: E. J. Carpenter and D. G. Capone (Eds.). *Nitrogen in the Marine Environment*. Academic Press, NY.

O

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.

Ottmann, F., Introduction à la géologie marine et Littorale. Masson et Cie. Editeurs, 1965.

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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crte.2013.02.002>.

Ounissi, M., Khammar, H., Ziouch, O.R., Saker, I., Haridi, A., Khelifi-Touhami, M., Abdenour, C., 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 urbanisation and land use conflicts in coastal cities*, Chouikhi, A., Zibdah, A., Khalaf, A. (Eds.), INOC, Izmir, Turkey, 13, pp. 181-186.

Ounissi, M., Laskri, H., Khelifi-Touhami, M., 2016. Net-zooplankton abundance and biomass from Annaba Bay (SW Mediterranean Sea) under estuarine influences. *Mediterranean Marine Science* 17 (2), 519-532.

Ounissi, M., Ziouch, O.R., Aounallah, O., 2014. Variability of the dissolved nutrient (N,P,Si) concentration in the Bay on 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>.

P

Parsons, T.R., Maita, Y., Lalli, C.M., 1989. A manual of chemical and biological methods for sea water analysis. Pergamum Press, 173 p.

Pauc, H., 1989. L'intrusion saline et la dynamique des matériaux en suspension au contact fluvio-marin : régime de crue et régime d'étiage dans l'oued Mazafran (ouest algérois). *Marine geology*, 87: 95-102.

Pauc, H., 2003. Fonctionnement de l'estuaire microtidal méditerranéen: conséquences sédimentologiques et environnementales. Comm. Congrès de Bastia sur la méditerranée, du 14 au 21 avril 2003.

Pédro, G., 2007. cycles biogéochimiques et écosystèmes continentaux . Ed .Académie des sciences.p :64.

Pierzynski, G.M., Sims, J.T., AND Vance, G.F., 1994. Soils and environments quality. Ed. Lewis publishers, pp. 103-141.

Pirozzoli, P.A., 1993. Les littoraux : leur évolution. Nathan Ed., Paris, 191p.

Pritchard, D.W., 1955. Estuarine circulation patterns. Proceedings of the American Society of Civil Engineering. Vol. 81. pp 1-11.

R

Ragueneau, O., Treguer, P., Anderson, R.F., Brzezinski, M.A., 2000. Understanding the silicon cycle in the modern ocean: a prerequisite for the use of biogenic opal as a pale productivity proxy. Global Planet Change, 26: 317-365.

Ramade, F., 1984. Elément d'écologie – écologie fondamentale. Ed. McGraw-Hill, pp. 256-259.

Ramade, F., 2003. Eléments D'écologie écologie fondamentale. 3e édition. Dunod-paris. P: 416-428.

Ridgway, J., Shimmield, G., 2002. Estuaries as Repositories of Historical Contamination and their impact on Shelf Seas Estuarine, Coastal and Shelf Science, 55: 903-928.

Rodier, J., 1984. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Dunod, 1365 p.

Rodier, J., 1996. L'analyse de l'eau 'eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer', 8^{ème} Edition, Paris, Dunod, 1394p.

Rodier, J., Bernard, L., Nicole, M., coll., 2005, L'analyse de l'eau, 9^{ème} Edition, Paris, Dunod, 1529 p.

Rossignol, A., 1998. L'estuaire maritime et le golfe du Saint-Laurent, Carnet d'océanographie, Institut national de la recherche scientifique, Océanologie, Rimouski (Québec). 64 p

Rousseau, V., Leynaert, A., Daoud, N., Lancelot, C., 2002. Diatom succession, solidification and silica acid availability in Belgian coastal waters (southern North Sea). Mar. Ecol. Progr. Séries, 236: 61-73.

S

Salomons, W., Förstner, U., 1984. Metals in the hydro cycle. Springer- Verlag, Berlin Germaany.

Sayad, L., 2015. Le pouvoir Autoepurateur de L'oued Seybouse sur Les rejets

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.

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>.

Short, A.D., 1999. Handbook of Beach and Shore face Morph dynamics .Wiley, p. 392.

Sierra, J.P., 2002. Spatial distribution of nutrients in the Ebro estuary and plume. Continental Shelf Research 22 (2002) 361–378. Site web de l'Arcelor Mittal: <www.arcelormittal.com/tubular/annaba-51.html>.

Sommer, M., Kaczorek, D., Kuzyakov, Y., AND breuer J., 2006. Silicon pools and fluxes in soils and landscapes. J. Plant. Nutr. Soil. Sci., 169: 582-582.

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>.

Stumm, W., Morgan, j.j., 1981. *Aquatic chemistry*. New york, ny: john wiley and sons, inc.

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.

Taha, H., 2002. Evolution de la qualité des eaux (salinité, Azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline agricole et industrielle, application dans la basse plaine de Seybouse. Université de Franche-Comté.

Telesh, I.V., 2004. Plankton of the Baltic estuarine ecosystems with emphasis on Neva Estuary: a review of present knowledge and research perspectives. Marine Pollution Bulletin, 49: 206–219.

Terzaghi, K., Peck , R.B., Mécanique des sols appliquée, Ed. Dunod, Paris, 1961.

Treguer, P., Nelson, D.M., Van Bennekom, A.J., De Master, D.J., Leynaert, A., Queguiner, B., 1995. The Silica Balance in the World Ocean: A Reestimate. *Science* 268 (5209), 375-379.

Tréguer, P., Nelson, DM., Van,Bennkom, A.J., Demastre, D.J.,Leynaert, A.,Quéguiner, B.,1995.The balance of silica in the world ocean: a re-estimate.*Science*, 268:375-379.

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.

Turner, R.E., Qureshi, N., Rabalais, N.N., Dortch, Q., Justic, D., Shaw, R.F., Cope, J., 1998. Fluctuating silicate: nitrate ratios and coastal plankton food webs. *Proceedings of the National Academy of Science USA.*, 95: 13048-13051.

U

USDA (United Stat Department of Agriculture),2005.Germplasmresources information network (GRIN). Base de données en ligne.URL : <http://www.arsgrin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl>

V

Van Mierlo,C.J.,1899. La carte lithologique de la partie méridionale de la mer du Nord, *Bulletin de la société Belge de Géologie*, 13, 219-265.

VanVeen, J., 1950. Eb- en vloodschaarsystemen in de Nederlandsegetijwateren, *Tijdschrift Van hetKoninklijkNederlandschAardrijkskundigGenootschap*, 67, 303-325.

W

Wahby, S.D., Bishara,N.F.,1980. 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.

Wedepohl, K.H.,1995. The composition of the continental crust. *Geoch .Cosmoch. Acta.*, 59(7): 1217-1232.

Wolanski, E., 2007. Protective functions of coastal forests and trees against natural hazards. In Braatz S., Fortuna S., Broadhead J. and Leslie R (eds): 157 -17.

Wollast, R., Mackensie, F.T., 1983. The global cycle of silica. In: Aston, S.R. (Ed.), *Silicon* edited by: Aston, S. E., Academic Press, London, pp. 39-76.

Y

Yool, A., Toby Tyrrell, T., 2003. Role of diatoms in regulating the ocean's silicon cycle. *Global Biogeochem. CY.* 17(4): 1103. DOI: 10.1029/2002GB002018.

Z

Ziouch, O.R., 2007. Hydrologie et biogéochimie du complexe estuarien du Mafrag et de ses panaches littoraux. Mémoire de Magister, Université d'Annaba, 54p.

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.



Les Annexes

1. Les logiciels utilisés

1.1. SIG (systèmes d'information géographique)

- **Définition**

Les systèmes d'information géographique (SIG) sont, historiquement, nés du croisement de la cartographie assistée par ordinateur et des systèmes de gestion de base de données (SGBD). Appelés GIS (Géographique Information System) dans le monde anglophone, ils sont, depuis 1988, définis aux Etats-Unis comme des systèmes informatiques de matériels, de logiciels et de processus conçus pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation et l'affichage de données à référence spatiale afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion (C.N.I.G, 1990). Les S.I.G sont des ensembles de données repérées dans l'espace et structurées de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision.

1.2. Arc Gis 10.3

- **Définition**

Arc Gis Desktop comprend une suite d'applications intégrées: *ArcMap*, *ArcCatalog* et *ArcToolbox*. A l'aide de ces trois applications, on peut effectuer toutes les tâches SIG, de la plus simple à la plus avancée, y compris la cartographie, la gestion des données, l'analyse géographique, la mise à jour des données et le géo traitement. ArcMap représente l'application centrale dans ArcGIS Desktop. Il s'agit de l'application SIG utilisée pour toutes les tâches associées aux cartes, y compris la cartographie, l'analyse des cartes et la mise à jour. Dans cette application, on travaille avec des cartes. Ces dernières ont une mise en page contenant une fenêtre géographique avec un ensemble de couches, légendes, barres d'échelle, Flèches «Nord» et autres éléments.

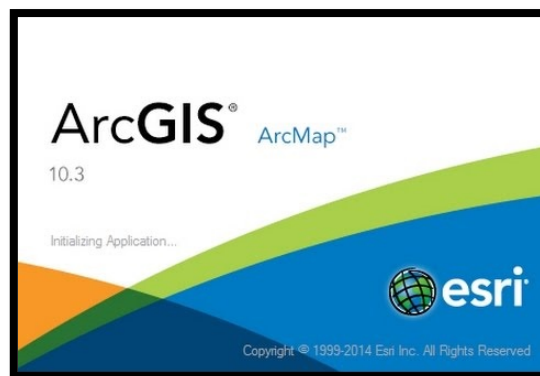


Figure 1: Logiciel Arc GIS version 10.3

1.3. La Méthode suivi pour l'utilisation d'une carte des réseaux hydrographique


Entrer la **carte (grand bassin algérien)** et télécharger Images (DEM) dans le programme de Arc GIS selon les étapes suivantes :

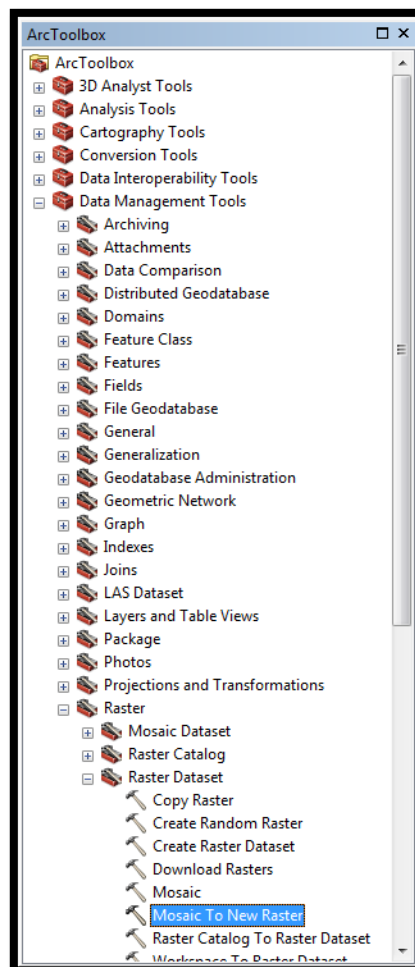
➤ **Première étape**

I. Utilisation de l'outil (Mosaic to New Raster) (données raster)

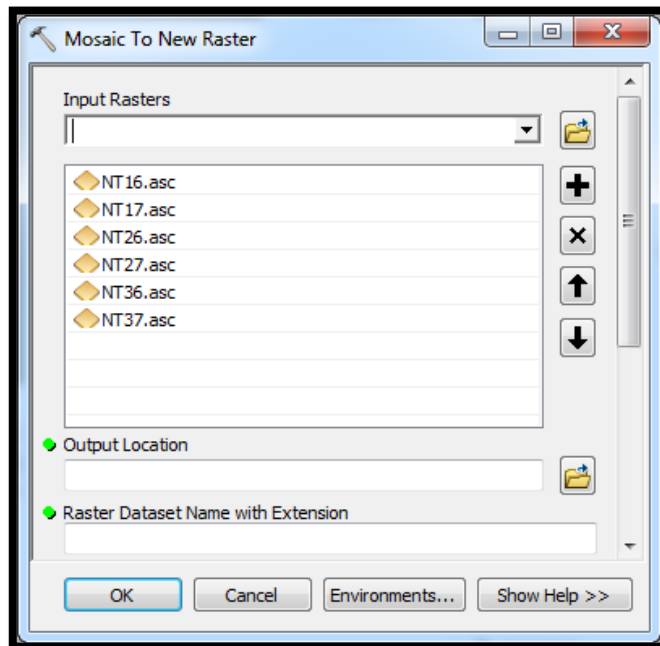
Comme pour l'outil **Mosaic**, l'outil **Mosaic to New Raster** est utilisé pour mosaïquer plusieurs entrées Raster. Toutefois, contrairement à l'outil **Mosaic**, l'outil **Mosaic to New Raster** enregistre les sorties dans un nouveau jeu de données raster vide qu'il crée à la volée.

Les rasters d'entrée ont le même nombre de bandes et la même profondeur de bits.

- 1- Ouvrir **ArcToolbox**  . Développer Outils **Data Management Tools** > **Raster**> **Raster Dataset** > Double-cliquez sur **Mosaic to New Raster**.



2-Pour **Input Rasters**, sélectionner **input raster datasets** que vous souhaitez mosaïquer ensemble dans la liste déroulante.

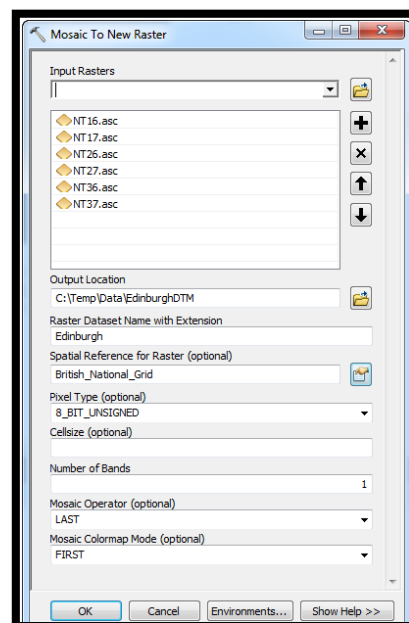


3-Pour **Output Location**, rechercher l'endroit où vous souhaitez enregistrer la sortie.

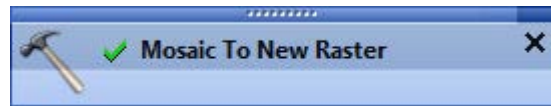
4-Pour **Raster Dataset Name with Extension**, entrer un nom pour le nouveau raster mosaïque

5-En option, entrer **Spatial Reference for Raster**


6-Entrer **Number of Bands** Entrer le nombre de bandes des rasters d'entrée (Nombre - 1-)

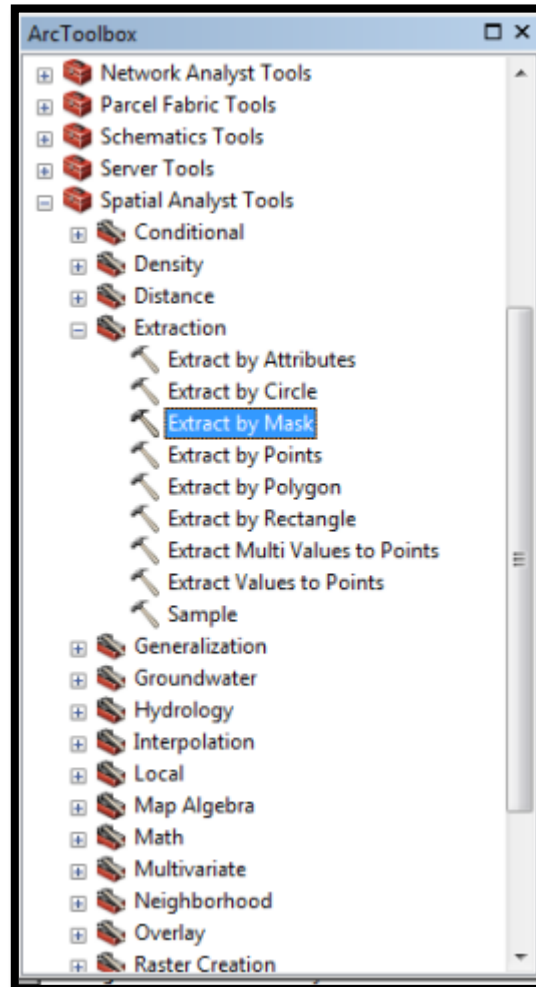


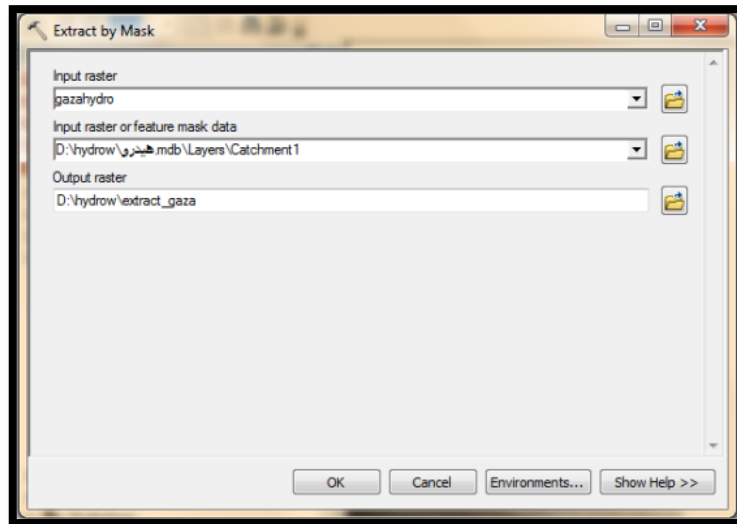
7-Appuyer sur **OK** pour lancer la fusion; Une fois terminé, un message s'affichera en bas à droite de votre fenêtre Arc GIS.



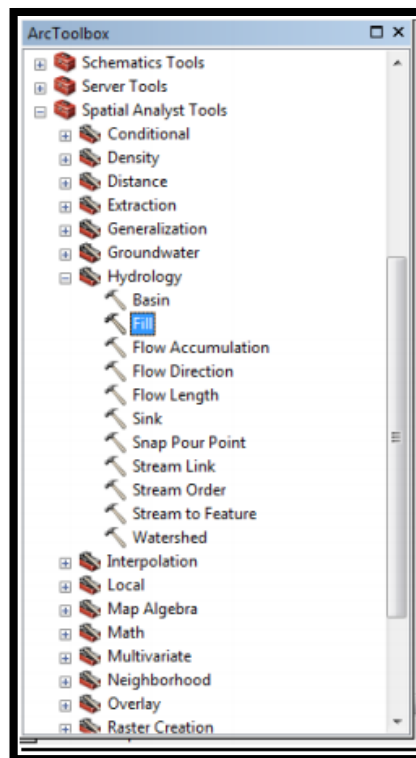
➤ **Deuxième étape :**

1. Ouvrir Arc Toolbox  . *Spatial Analyst Tools* > *Extraction* > double-clique sur *Extract by Mask*

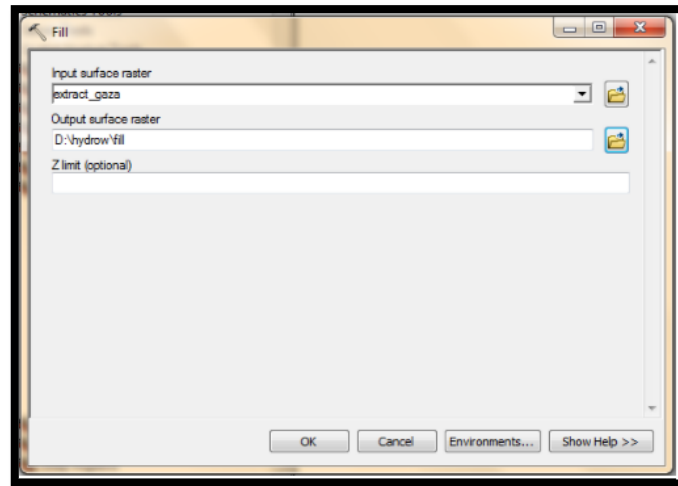




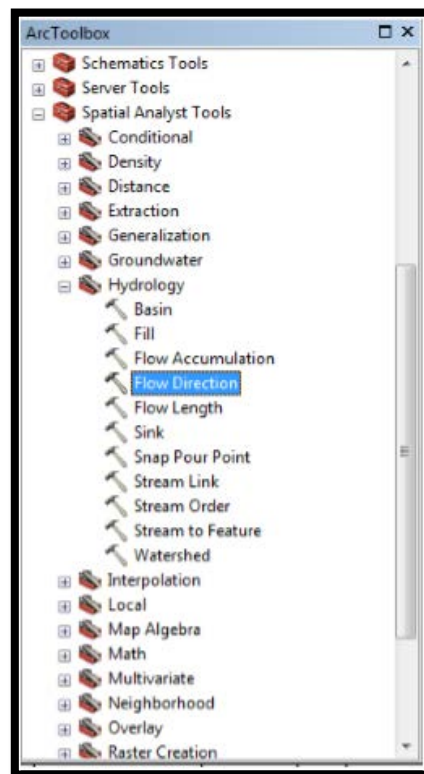
- **Troisième étape :**
- **Ouvrer Arc Toolbox > spatial analyst tools > hydrology >**
 - a) **Fill**



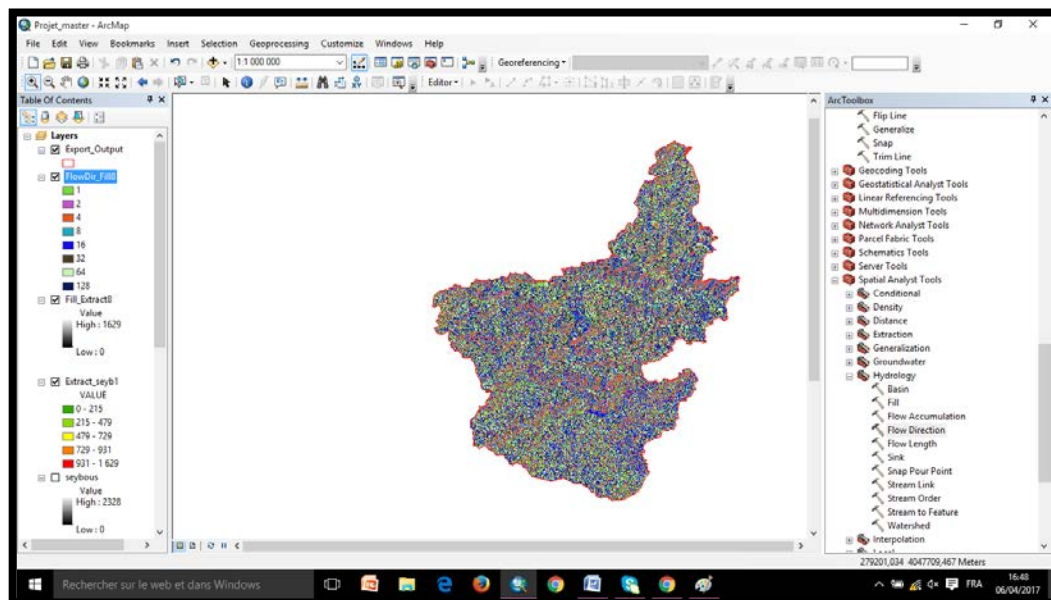
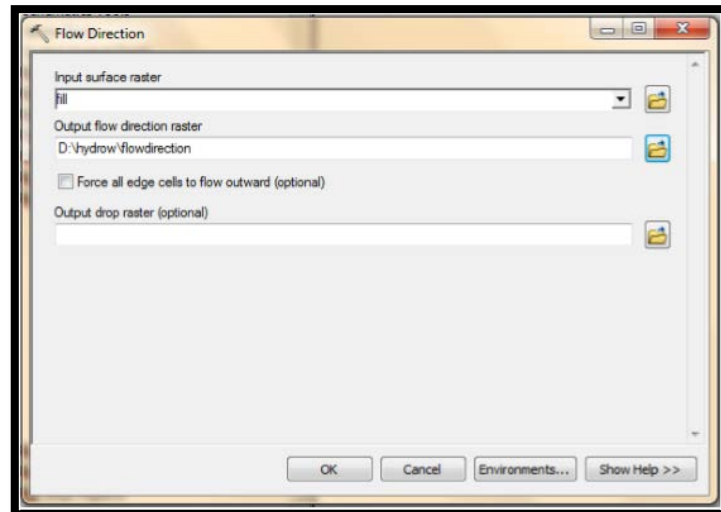
Entre dans la première option de classe qui a été tronqué et les coordonnées exactes de la deuxième option et déterminer le lieu de sortie



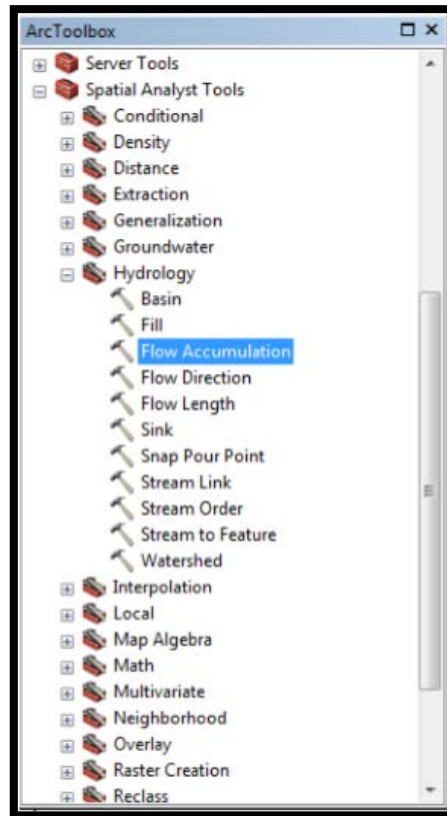
- **Flow Direction:**



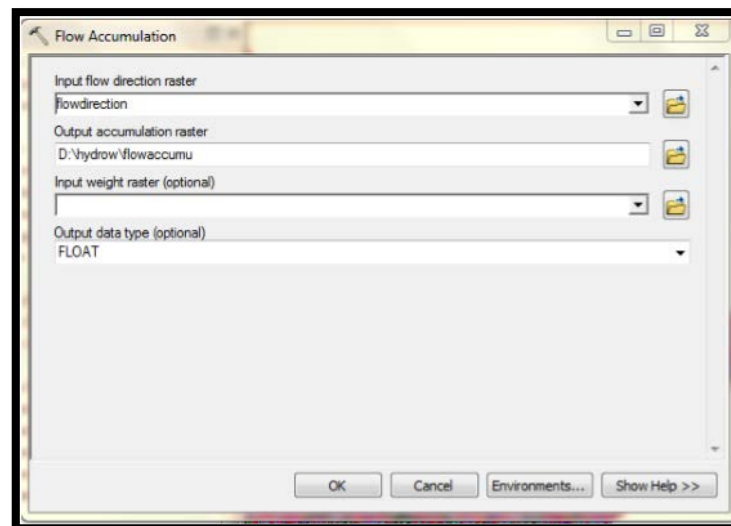
Entrer dans la première option de classe **fill**, ce qui était le résultat d'une étape précédente, et la deuxième option déterminer la place des sorties

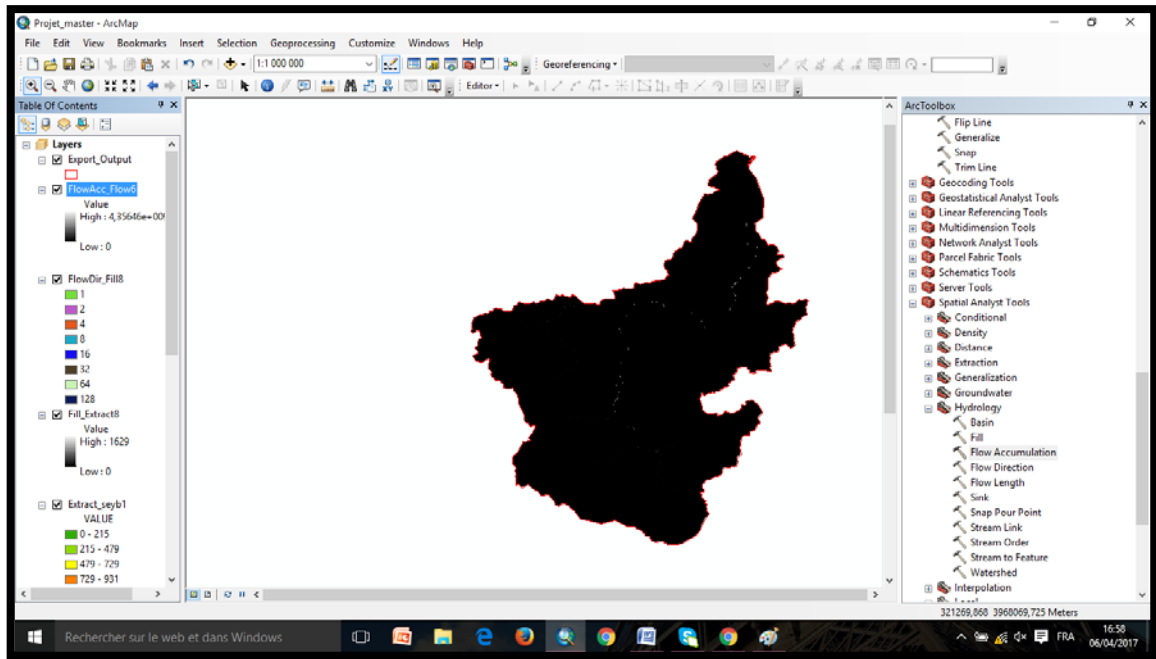


- **Flow Accumulation :**



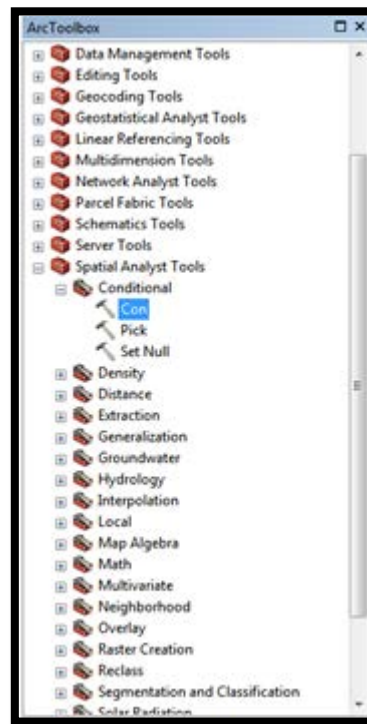
Dans la première option choisir couche **flow direction** et la seconde option déterminer le lieu de sortie

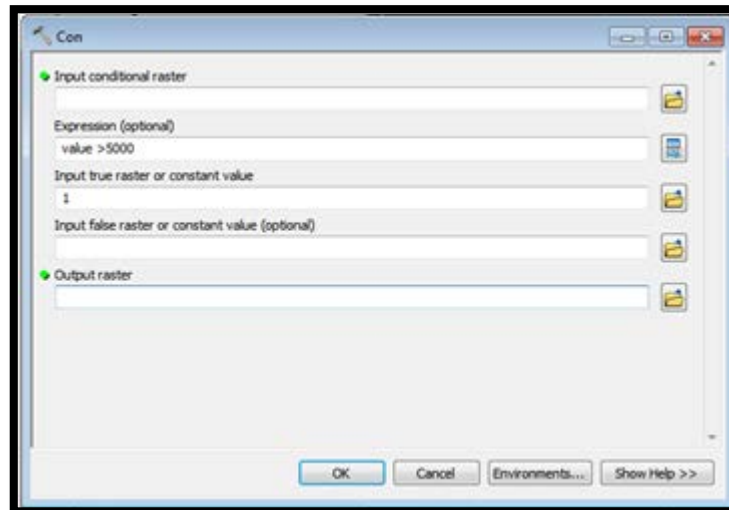




➤ **Afficher réseau hydrographique**

Ouvrir arc toolbox > conditional > con

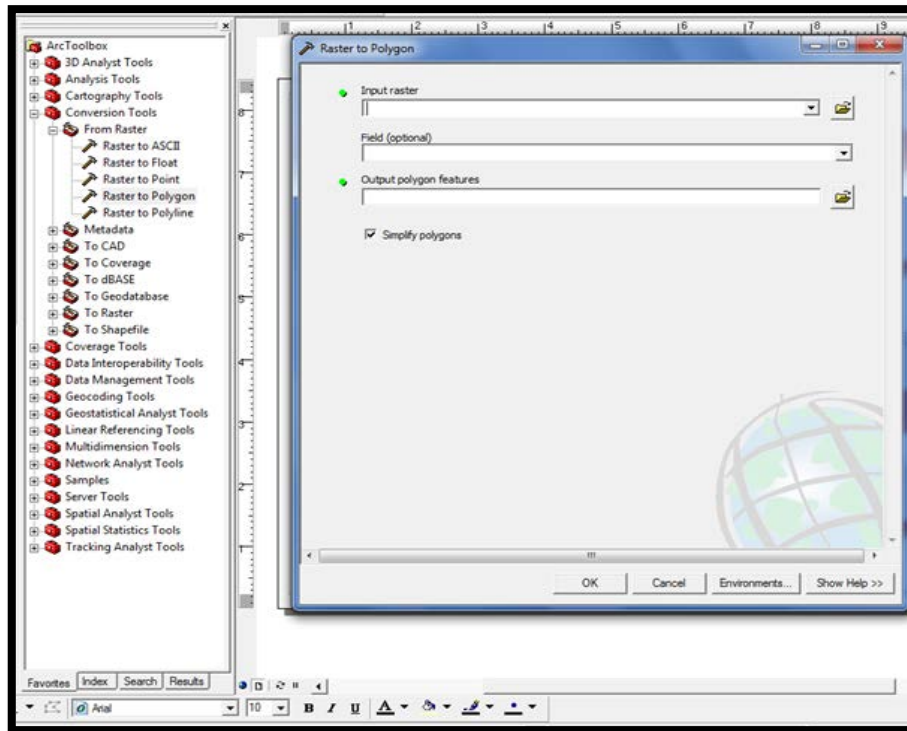




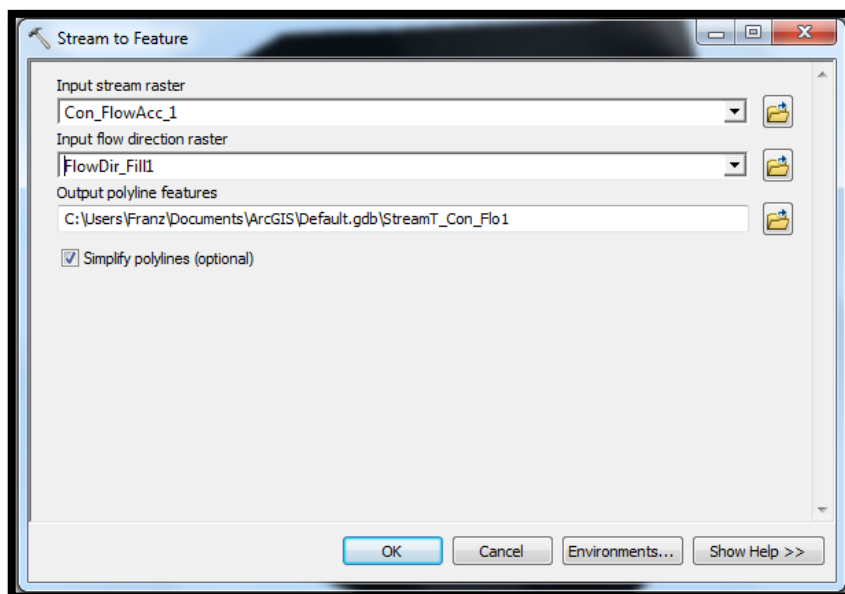
- **Input conditional raster** choisir la dernière image sur laquelle vous travaillez
- **Expression (optional)** : value >5000
- **Input true raster** : Entrez le nombre 01
- **Ok**
- **Puis supprimé la couche**
-
- **Convertir réseau d'eau dans les cours d'eau mode raster to mode vector**

ArcToolbox >conversion tools > from raster >raster to polygon

Et choisissez le raster que vous souhaitez modifier en polygone puis Appuyez sur **OK**



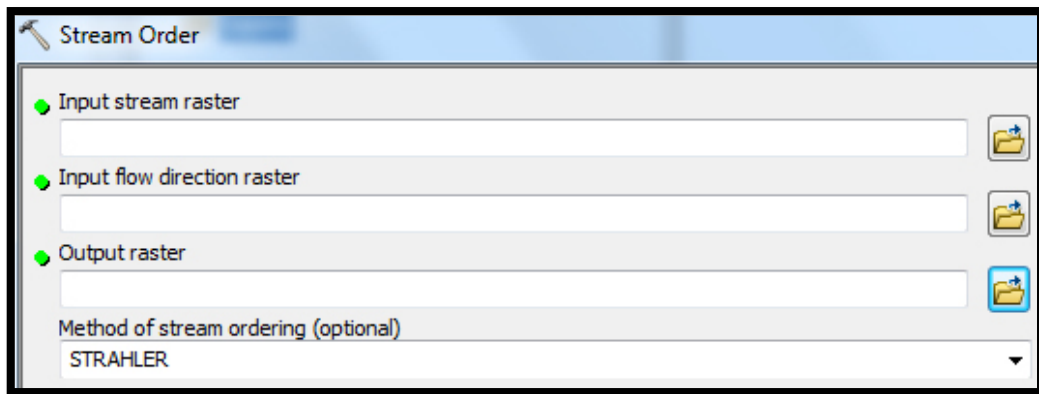
Ouvrer ArcToolbox > spatial analyst tools > hydrology > stream to feature



- Dans **input to feature** choisir l'image que vous avez fait la condition
- Pour **input flow directions raster** choisir la première image pour accomplir
- Puis ok

➤ **Classification des réseaux hydrographique**

Ouvrir **ArcToolbox** > spatial analyst tools > hydrology > stream Order





- Pour **input stream raster** choisir image con-flow acc-2
- Pour **input flow direction raster** choisir flowDir_fill
- Ok
-

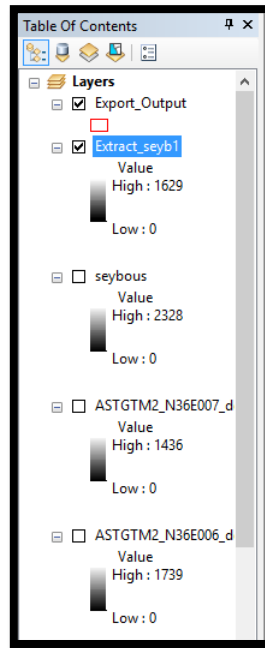
1.4. La méthode suivie pour l'utilisation une carte des altitudes

Entrez la **carte (grand bassin algérien)** et télécharger Images (**DEM**) dans le programme

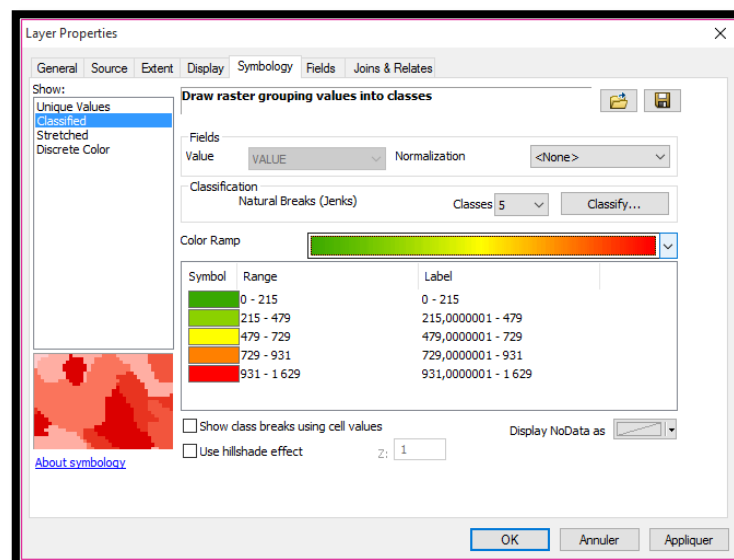
de arcgis par icône 

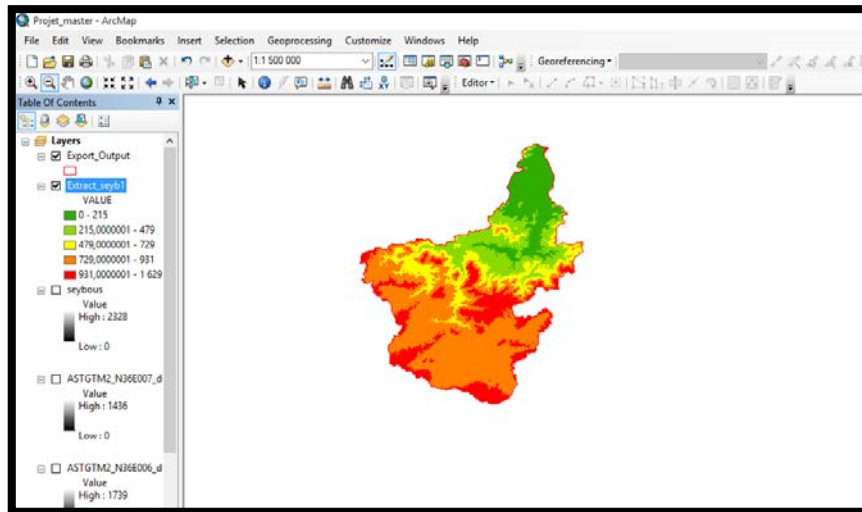
- 1- Ouvrir **ArcToolbox**  . Développer Outils **Data Management Tools** > **Raster**> **Raster Dataset** > Double-cliquez sur **Mosaic to New Raster**.
- 2- Ouvrir **ArcToolbox**  . *Spatial Analyst Tools* > *Extraction* > double-cliquez sur *Extract by Mask*

Dans **table of contents** double-cliquez sur dernière image sur laquelle vous travaillez



Puis aller sur **classified** dans **symbology** dans icône de **color ramp**, choisir les couler et cliquer sur ok





2. Méthodes d'analyses chimiques : (Rodier J., 1984)

Après le prélèvement, nous avons effectué nos analyses au laboratoire de recherche du département de biologie marine de l'Université Badji Moukhtar d' Annaba. Les échantillons sont prélevés et conservés au froid dans les conditions préconisées par Rodier (2005). Nous avons réalisée, au laboratoire, les dosages sur les échantillons d'eau filtrés.

2.1. La Filtration :

La filtration : sert à séparer un mélange hétérogène liquide/solide. Le principe de cette séparation repose sur la granulation des composants (dimensions des particules).le papier filtre, doté d'une multitude de pores minuscules agit comme un tamis. Le diamètre des pores du filtre utilisé égale : (47 mm).

Les méthodes de la filtration sont présentées dans (la figure 01).



Figure 01 : la boîte du papier filtre



Figure 02 : Dispositif de filtration

2.2. Dosages des éléments chimiques

- **Dosage de l'azote ammoniacal ($\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3^+$)**

- **Principe**

En milieu légèrement basique, l'ammonium forme une monochloramine avec l'acide dichloroisocyanurique.

Cette dernière réagit avec le phénol pour former un composé de couleur bleu d'indophénol dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en ammonium. La réaction est accélérée par le nitroprussiate. Cette technique de mesure a été appliquée pour le dosage des faibles concentrations où l'erreur reste inférieure à 5%.

- **Réactifs**

- Réactif 1: Solution de phénol-nitroprussiate

Dissoudre à froid : 3,5 g de phénol et 40 mg de nitroprussiate de sodium dans 100 ml d'eau distillé ; ce réactif n'est stable qu'après quelques semaines au frais et à l'abri de la lumière.

- Réactif 2: Solution de dichloroisocyanurate

Dissoudre à froid : 28 g de citrate trisodique, 500 mg de dichloroisocyanurate et 1,4g de soude dans 100 ml d'eau distillée. Ce réactif se conserve au frais pendant 1 à 2 mois.

- **Dosage**

Une gamme d'étalonnage doit être réalisée au préalable puis on ajoute dans une cuve de spectrophotomètre : 2 ml de réactif 1, 100 ml \pm 1 ml d'échantillon ou d'étalon, 2 ml de réactif 2, Après 8h d'attente à l'obscurité, l'absorbance est lue avec un spectrophotomètre à 630 nm.

Les concentrations sont déterminées à l'aide de la courbe d'étalonnage, ayant pour équation linéaire : $DO = aC + b$ ou DO est la densité optique ; C la concentration ; a est la pente = 0,0166 ; b l'ordonnée à l'origine = 0,0223 et R^2 (0,9982) le coefficient de détermination mesurant la qualité de l'ajustement de la droite au nuage des couples de points DO et C .

- **Dosage des nitrates (NO_3^-)**

- **Principe**

L'échantillon, tamponné par une solution de chlorure d'ammonium, passe dans une colonne de cadmium traitée au cuivre qui sert à réduire les nitrates en nitrites. C'est donc la somme des nitrites présents dans l'échantillon plus ceux formés par la réduction des

nitrites qui est mesurée à l'aide des mêmes réactifs que ceux indiqués dans le dosage des nitrates. Le pourcentage d'erreur avec cette méthode est inférieur à 10%.

- **Réactifs**

- Réactif 1 : Solution de sulfanilamide

Dissoudre à froid : 2,5 g de sulfanilamide avec 13 ml de HCl concentré et 250 ml d'eau distillé

- Réactif 2 : Solution de N-Naphtyl-1-éthylène diamine

Dissoudre à froid : autant de milligrammes de N-Naphtyl-1-éthylène diamine que de millilitres d'eau distillée.

Cette solution est instable et ne peut pas être conservée longtemps.

- Solution de chlorure d'ammonium

Dissoudre à froid : 10 g de NH_4Cl dans 1 L d'eau distillée

- **Dosage**

Une gamme d'étalonnage doit être réalisée au préalable. L'échantillon ou l'étalon est injecté dans une boucle, préalablement rincée par l'échantillon ou l'étalon, et qui connectée au circuit via un système de valves.

L'absorbance est mesurée en continu par un spectrophotomètre à la longueur d'onde 543nm.

Les absorbances maximales sont relevées et les concentrations sont déterminées à l'aide de la courbe d'étalonnage, l'équation linéaire $\text{DO} = aC + b$ dont $a = 0,0429$, $b = 0,022$ et $R^2 = 0,9992$.

• **Dosage des nitrites (NO_2^-)**

- **Principe**

En milieu acide ($\text{pH} < 2$), les ions nitrites forment de l'acide nitreux HNO_2 qui réagit avec de la sulfanilamide pour former un complexe diazoïque. En présence de N-Naphtyl-1-éthylène diamine, il se forme un complexe rose dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en nitrites. Le pourcentage d'erreur avec cette méthode est inférieur à 5%.

- **Réactifs**

- Réactif 1: Solution de sulfanilamide

Dissoudre à froid: 2,5 g de sulfanilamide avec 13 ml de HCl concentré et 250 ml d'eau distillé

- Réactif 2: Solution de N-Naphtyl-1-éthylène diamine

Dissoudre à froid: autant de milligrammes de N-Naphtyl-1-éthylène diamine que de millilitres d'eau distillée.

Cette solution est instable et ne peut pas être conservée longtemps.

- Dosage

Une gamme d'étalonnage doit être réalisée au préalable. Puis, dans une cuve pour spectrophotomètre, on ajoute:

1 ml de réactif 1, 50 ml d'échantillon ou d'étalon, 8 minutes d'attente, 1 ml de réactif 2,

Après 15 minutes d'attente, l'absorbance est lue avec un spectrophotomètre à 543 nm.

Les concentrations sont déterminées à l'aide de la courbe d'étalonnage, l'équation linéaire

$DO = aC + b$ dont $a = 0,0421$, $b = 0,0237$ et $R^2 = 0,9959$.



Figure 03 : Dosage des éléments chimiques ($\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+ + \text{NH}_3^+$)

• Dosage des phosphates (PO_4^{3-})

La température des échantillons doit être comprise entre 15 et 30°C.

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 $DO = aC + b$ dont $a = 0,0227$, $b = 0,013$ et $R^2 = 0,9974$.



Figure 04 : dosage de l'élément chimique PO_4^{3-}

- **Dosage des silicates $\text{Si}(\text{OH})_4$ ou SiO_4**
- **Principe**

La solution d'heptamolybdate forme avec la silice dissoute (acide silicique) un complexe silicomolybdique qui donne, après réduction, une coloration bleue intense. Le pourcentage d'erreur en analyse flux continu est inférieur à 1%.

- **Réactifs**

Solution de molybdate d'ammonium

Dissoudre à chaud (50°C): 20 g de molybdate d'ammonium $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dans 500 ml d'eau distillé. A conserver à l'abri de la lumière.

Solution d'acide sulfurique à 4,5 M.

- R1 : Mélanger 12 ml de (2) et 120 ml de (1) et compléter à 500 ml avec de l'eau distillé
Ce réactif doit être préparé chaque jour.

- R2 : Solution d'acides oxalique et sulfurique

Introduire 800 ml d'eau distillé dans une fiole, ajouter avec précaution 100 ml d'acide sulfurique concentré.

Ajouter 30 g d'acide oxalique $(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ et compléter à 1L.

Ce réactif est stable 1 mois à température ambiante Solution d'acide ascorbique

Dissoudre à froid: 7,5 g d'acide ascorbique $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ dans 250 ml d'eau distillé. La dérive du signal dans un gradient de salinité est de -4 % entre l'eau douce et l'eau de mer.

Les concentrations des silicates sont déterminées à l'aide de la courbe d'étalonnage, l'équation linéaire $\text{DO} = aC + b$ dont $a = 0,0097$, $b = 0,008$ et $R^2 = 0,9986$.



Figure 05 : Dosage de l'élément chimique Si(OH)_4 ou SiO_4

3. L'occupation du sol du bassin de Seybouse

3.1. La population du bassin de Seybouse

Tableau 1 : le nombre de population du bassin de Seybouse (O.N.S 2008)

Wilaya	Commune	Population	Taux d'accroissement
Guelma	Guelma	120847	0.9
	Ben Djerrah	6553	4.6
	Guelaât Bous baâ	5635	1.5
	Nechmeya	9965	0.9
	Belkheir	17649	1.7
	Béni Mezline	4883	0.9
	Boumahra Ahmed	17834	1.6
	Djeballah Khémissi	4487	1.5
	Bouchegouf	25443	2.0
	Oued Fragha	7152	0.8
	Ain Ben Beida	9492	1.4
	Medjez Sfa	7707	0.2
	Oued Zénati	32870	1.9
	Bordj Sabath	10158	0.1
	Ain Regada	7688	0.5
	Ain Makhlouf	12300	1.1
	Tamlouka	18894	1.3
	Ain Larbi	7604	-0.2
	Medjez Ammar	7703	1.9
	Ras El Agba	2699	1.4
	Sellaoua Announa	3244	0.8
	Khézaras	10382	2.5
	Ain Sandal	4760	-0.7
	Bouhachana	5596	0.0
	Hammam Débagh	16391	2.1
	Bouhamdane	4394	-0.3
	Héliopolis	26328	1.6
	El Fedjoudj	9122	2.1
	Hammam N'Bails	16199	0.2
	Dahouara	7889	0.1
Oued Cheham	14043	1.8	
Annaba	El hadjar	37364	1.0
	El bouni	125265	1.2
	Seraidi	7626	0.6
	Ain berda	20611	1.7
	Annaba	257359	0.4
	Cheurfa	9875	0.5
	Oued el aneb	21088	2.0
	Sidi amar	83254	1.4

El Tarf	Besbes	46341	0.8
	Chebaita kokhtar	23135	1.0
	Chihani	10094	0.9
	Dréan	37686	1.7
	Chatt	34378	2.6
	Hammam beni salah	5235	0.7
Souk Ahras	Aïn Soltane	3091	-0.6
	Bir Bou Haouch	6380	1.4
	Hanancha	15790	-0.2
	Khemissa	3517	-0.3
	Mechroha	21802	2.5
	Oum El Adhaim	8539	1.1
	Ragouba	5160	0.2
	Safel El Ouiden	2731	-1.0
	Sedrata	53218	1.2
	Terraguelt	4376	-0.6
	Tiffech	6037	0.6
	Zouabi	2792	-1.8
Constantine	Ain Abid	31743	2.1
	Ibn badis	18735	3.1
Skikda	Ouled hbaba	8369	0.5
Oum el bouaghi	El Amiria	10416	0.6
	Ain babouch	16129	1.0
	Berriche	17609	0.8
	Oum el bouaghi	80359	3.0
	Zorg	2281	2.8
	Ain diss	2767	0.1
	Ksar sbahi	11833	0.7
La somme de population de 68 communes		1508896	

3.2. Terres agricoles irriguées du bassin de Seybouse

Tableau 2 : les terres agricoles irriguées de l'estuaire de Seybouse (A B H ,2002)

Secteur	communes	Superficie irriguée	culture	Ressources en eau	Dotation	Mode d'irrigation	Point de rejet
Ksar sbiha Ain babouche	Ksar sbiha Ain babouche	0	Maraîchère arboricole	Puits + barrage oued cherf	P.I	P.I	Oued SETTARA
Berriche	Berriche	10	Maraîchère	Retenue collinaire Oudene djedj	0.05	Submersion Aspersion	Oued Oudene djedj
Sedrata	Sedrata	150	céréalière	Bage oued cherf	P.I.	P.I.	oued hamimime

Bir bouhouche	Zouabi	0	Céréalière	Bage Oued Cherf	P.I.	P.I.	Oued cherf
Tiffech	Tiffech	360	Céréalière .Maraîchère .Industrielle	Retenue collinaire et Petit barrage Tiffech	0.2 2.99	Aspersion	Oued Tiffech
Bir bouhouche	Safel el ouiden	120	céréalière Maraîchère.	Forage et puits	P.I.	Aspersion Submersion	Oued
	Bir bouhouche	350	céréalière Maraîchère.	Retenue collinaire Bir bouhouche Barrage oued cherf	P.I P.I	Aspersion Aspersion	Oued
	Terraguelt	15	céréalière Maraîchère.	Forage Terraguelt	0.08	Aspersion	Oued
	Oum El adhaim	70	céréalière Maraîchère.	Retenue collinaire Oum El adhaim	P.I.	Aspersion	Oued
Ain makhoulf	Ain makhoulf	317	céréalière Maraîchère.	Bge Medjez El bgare	2	Aspersion	Oued cherf
Oued zenati	Oued zenati Tamlouka Ras Elagba	200	céréalière Maraîchère	6 Retenues collinaires Et fil d'eau	0.72	Aspersion	Oued zenati
Cherf	H.Boumedienne Medjez Amar	650	Céréalières arboriculture Maraîchère	Barrage Hammam debagh	3.9	Aspersion	Oued cherf
El Fedjoudj	El Fedjoudj	2355	Céréalière arboriculture Maraîchère	Barrage Hammam Debagh	14.1 3	Aspersion	Oued Seybouse
Guelma	Guelma	3500	Céréalière arboriculture Maraîchère	Barrage Hammam Debagh	21	Aspersion	Oued
Boumahra Ahmad	Boumahra.A Belkheir	2600	Céréalière arboriculture Maraîchère	Barrage Hammam Debagh	15.6	Aspersion	Oued Seybouse
Belkheir	Belkheir	11	Maraîchère	Retenue collinaire Medraoua	0.01	Aspersion	Oued
Bouhegouf	Bouhegouf Oued Fraga	880	Céréalière arboriculture Maraîchère	Barrage Hammam Debagh	5.28	Aspersion	Oued Seybouse
Medjez Sfa	Medjez Sfa	65	Maraîchère	Retenue collinaire Medhez Sfa	0.02	Aspersion	Oued
		36	Maraîchère et industrielle	Retenue collinaire Bir Chougrane et Ladraou	0.02	Aspersion	Oued
Ain Ben Beida Drean	Ain ben Beida Drean	0	Céréalière arboriculture	Barrage Hammam Debagh	P.I	Aspersion	Oued Seybouse

	Chetaiba Chihani		Maraîchère et industrielle				
Ain berda	Ain berda	400	Maraîchère et industrielle	21 Retenue collinaires Puits et fil d'eau	1.95 1	Aspersion	Oued Derdara
El-Hadjar Seybouse Nord et sud	El-Hadjar Sidi Amar	1446.5	Maraîchère et industrielle	Retenue collinaires et Barrage Bouna moussa	5.20 5	Aspersion	Oued Meboudja
Seybouse nord	El bouni	673	Maraîchère et industrielle	Retenue collinaire, forage, puits et fil d'eau	2.42 2	Aspersion	Oued Seybouse
Annaba	Annaba	82.5	Maraîchère et industrielle	Forage Puits et fil d'eau	0.29 5	Aspersion	Oued Boudjema
Total		13976			75.8 7		

3.3. les activités industrielles du bassin de seybouse

Tableau 3 : les activités industrielles de l'estuaire seybouse (ABH ,2002).

			Caractéristiques			A.E industrielle		
communes	Lieu d'implantat ion	Willa ya	Nom	Nature	Besoins	V. alloué	V. Recyc lé	V. Rejeté
Sedrata	Sedrata	41	C.A.P mansouri	Fabrication des cahiers	N.C	8	Néant	8
Sedrata	Sedrata	41	ENAQS	Serrurerie	18	15	7	N.C
Guelma	Guelma	24	EN-CYCMA	Fabrication et commercialisat ion de cycles et motocycles	350	300	263	96
Guelma	Guelma	24	ENA SUCRE	Raffinage de sucre	2000	1500	206	1000
Guelma	Guelma	24	ECVE	Céramique réfractaires	500	300	Néant	50
bouhamra	Bouhamra	24	ERC Boumahra	Elevage avicole	160	144	Néant	40
bouhamra	Bouhamra	24	EN AMARBRE	Transformation de marbres	N.C.	6	Néant	1.89
bouhamra	Bouhamra	24	Conserverie de tomate	Transformation de tomate	300	200	Néant	180
Héliopolis	Héliopolis	24	ERIAD Filiale Mermoura	Semoule ; blé dur	N.C.	20	Néant	20
Bouhegou f	Bouhagef	24	ERIAD	Semoule	N.C.	4	Néant	4

Bouhegou f	Bouhegouf	24	ERIAD dépôt	Dépote de semoule	N.C.	1	Néant	1
Bouhegou f	Bouhegouf	24	EPE les levures de l'Est	Fabrication de levures sèche et fraîche	N.C.	482	100	100
Drean	Drean	36	SACA (Privé)	Transformation de tomate	N.C.	35	Néant	28
Drean	Dean	36	LES AURS(Privé)	Transformation de tomate	N.C.	231	Néant	28
El-Hadjar	Z.I. Pt Bouchete	23	Sarl E.R.W.A. EST	Acierie	N.C.	6	Néant	5
El-Hadjar	Z.I. Pt Bouchete	23	EPBTP	Entreprise publique de bâtiments et de travaux publics	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.
El-Hadjar	Z.I. Pt Bouchete	23	EPE-ENCC	Charpenterie métallique ;cha uderonomie ; mécanique et usinage	N.C.	125	16	N.C.
El-Hadjar	Z.I.Pt Bouchete	23	TRANSE CANAL EST	Production tuyaux en béton armé	N.C.	20	8	
El-Hadjar	Z.I.Pt Bouchete	23	CHO-CO- TEK(Privé)	Chocolaterie et confiserie	15	13	Néant	9
El-Hadjar	Z.I.Pt Bouchete	23	ETS Khouatmia (Privé)	Transporte	2 à 4	2	Néant	2
El-Hadjar	Z.I.Pt Bouchete	23	S.N.C. Belkheri (Privé)	Confiserie	N.C.	30	Néant	N.C.
El-Hadjar	Z.I.Pt Bouchete	23	SAT.PAP ALIF (Privé)	Transformation du papier	N.C.	9	Néant	9
El-Hadjar	Z.I.Pt bouchete	23	M.T.A.	Maintenance ; transporte ; transite et agréege.	4	4	Néant	4
El-Hadjar	Z.I.Pt bouchete	23	C.M.P. Cheriak(Privé)	Mécanique de precision	N.C.	4	Néant	4
El-Hadjar	Z.I.Pt Bouchete	23	ETS Boutra (Privé)	Fabrication des sachets en plastique	N.C.	14	Néant	10
El-Hadjar	Z.I.Pt Bouchete	23	Sarl Rhumel Gum	Fabrication de Chewing-gum	N.C.	1	Néant	1
El-Hadjar	Z.I.Pt Bouchete	23	Sarl EST (Privé)	Transport Est	N.C.	2	Néant	2
El-Hadjar	Z.I.Pt Bouchete	23	SOFARM(Pri vé)	Fabrication article médicaux	N.C.	2	Néant	2
El-Hadjar	Z.I.Pt Bouchete	23	T.M.P.K (privé)	Transformation du plastique	N.C.	2	Néant	2

El-Hadjar	Z.I.Pt Bouchete	23	SIDER G.C.L.	Commercialisation de produits sidérurgique.	N.C.	1	Néant	1
El-Hadjar	Z.I.Pt Bouchete	23	E.N.G.I.	Production et distribution de gaz industriel	N.C.	840	Néant	600
El-Hadjar	Z.I.Pt Bouchete	23	E.P.T.R./EST	Réalisation des travaux routiers	N.C.	60	Néant	12
El-Hadjar	Z.I.Pt Bouchete	23	TREFIL EST ex E.N.T.P.L.	Transformation de produits longs (acier)	N.C.	10	Néant	10
Sidi Amar	Z.I. Sidi Amar	23	E.N.A.E.D.	Commercialisation d'équipement ménager et électro ménager	N.C.	1	Néant	
Sidi Amar	Z.I. Sidi Amar	23	EN SIDER	Sidérurgie	38880	24338	Néant	10429
Sidi Amar	Z.I. Sidi Amar	23	SARL PROCOMAC (privé)	Fabrication de Carrelage GRANITO	N.C.	1	1	1
Sidi Amar	Z.I. Sidi Amar	23	S.N.T.R.	Transport public et maintenance	7	10	Néant	4
Sidi Amar	Z.I. Sidi Amar	23	PLASTINATE(Privé)	Transformation du plastique	N.C.	1	Néant	1
Sidi Amar	Z.I. Sidi Amar	23	Sarl Vitre khezzane	Fabrication de pare brise ; vitres et miroirs	1	1	Néant	1
Sidi Amar	Z.I. Sidi Amar	23	E.P.E-T.V.E.	Transport des voyageurs	N.C.	2	Néant	2
Sidi Amar	Z.I. Sidi Amar	23	E.N.A.B.	Bois et dérivés	N.C.	1	Néant	1
Sidi Amar	Z.I. Sidi Amar	23	HIPPONE NATTES (privé)	Fabrication de nattes plastiques	N.C.	10	5	5
Sidi Amar	Z.I. Sidi Amar	23	S.N.C.SOFA MEST (Privé)	Fabrication de meuble	N.C.	1	Néant	1
Sidi Amar	Z.I. Sidi Amar	23	S.N.C. C.E.C.C.O. (privé)	Transformation du papier	N.C.	1	Néant	1
Sidi Amar	Z.I. Sidi Amar	23	Sarl S.T.C.M. (privé)	Torréfaction de café	N.C.	1	Néant	1
Sidi Amar	Z.I. Sidi Amar	23	G.I.P.C. CELPAP ENEPAC	Récupération et compactage des déchets papier et carton	N.C.	1	Néant	1
Sidi Amar	Z.I. Sidi Amar	23	PROCIM ex (PROSIDER)	Construction métallique et galvanisation	N.C.	5	Néant	5
El bouni	Z.I. Allelick	23	G.T.H ex (ETHAN)	Travaux hydrauliques	5	5	Néant	5
El bouni	Z.I. Allelick	23	S.N.V.I/URD	Unité de	N.C.	106	Néant	99

			801	rénovation et de la distribution de véhicules				
El bouni	Z.I. Allelick	23	FERROVAL	Construction de matériels et équipement ferroviaires	N.C.	102	Néant	102
El bouni	Z.I. Allelick	23	ORELAIT	Production et commercialisation du lait et des produits laitiers	N.C.	1296	Néant	666
El bouni	Z.I. Allelick	23	(Ex. EBAN) ETCA	Bâtiments et travaux publics	N.C.	9	Néant	9
EL BOUNI	Rte des salines	23	ORAVIEST	Production et commercialisation des Produits avicoles	88	80	Néant	80
El bouni	Gharbi aissa	23	G.A.E. - U.A.B.ANN ABA	Production et commercialisation des aliments de bétail	N.C.	4	Néant	4
EL bouni	Z.I. Sidi Salam	23	S.N.C. Zemouli frères	Boissons gazeuses	N.C.	1	Néant	1
El bouni	Z.I. SIDI Salam	23	ASMIDAL	Production des engrais phosphatés et azotés	10080	10080 93	3360	2800
EL bouni	Kherraza	23	Limonaderire BOCHRA (privé)	Boissons gazeuse	93	93	Néant	440
EL bouni	Annaba	23	Sarl SIPA (privé)	Conserverie alimentaire	137	67	Néant	65
Annaba	Annaba	23	NAFTAL	Stockage et distribution des produits pétroliers	N.C.	5	Néant	5
Annaba	Port Annaba	23	Centrale électrique	Production d'énergie électrique	N.C.	400	Néant	330
Annaba	Annaba	23	FERPHOS	Chargement de minerais et de Phosphates	161	161	Néant	161
Annaba	Annaba	23	O.N.C.V	Commercialisation des produits Vitivinicoles	N.C.	37	Néant	36
Annaba	Annaba	23	Imprimerie centrale	Impression et reliure	3	3	Néant	3
Annaba	Annaba	23	Boumaïza Saïd	Boissons gazeuses	N.C.	12	Néant	11
Annaba	Annaba	23	EMIB	Boissons gazeuses et bières	N.C.	1750	Néant	10
Annaba	Annaba	23	Ets Bicha et	Boissons	N.C.	17	Néant	11

Annexe 3

l'occupation du sol du bassin de Seybouse

			frère	gazeuses				
Annaba	Annaba	23	E.N.A.T.B.	Mobilier scolaire et administratif	500	867	Néant	N.C.
Annaba	Annaba	23	E.R.I.A.D. Moulin Seybouse	Semoulerie	N.C.	606	Néant	455
Annaba	Annaba	23	CARSCIS Lalaymai	Transformation de tomate	N.C.	52	Néant	42
TOTALE						44895		



Résumé

Résumé

L'estuaire de Seybouse est l'aval du deuxième Oued en Algérie qui draine l'un des principaux bassins versants du pays (6471 Km²). Sur ce bassin s'exercent d'importantes activités anthropiques issues d'un nombre de 1508896 habitants. Cette étude a concerné pour la première fois la distribution et le flux de l'azote, du phosphore et du silicium à travers l'estuaire 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 ces nutriments depuis l'amont de l'estuaire jusqu'à l'embouchure (carrefour ultime des sels nutritifs) dans le but de comprendre leurs transformations biogéochimiques sous l'effet de l'estuaire. L'analyse des paramètres de la qualité générale des eaux de l'estuaire montre que le NID est en moyenne plus abondant à l'embouchure (162 µM) qu'en amont de l'estuaire (62 µM) ce qui traduit une production de 100 µM (176%). Le phosphore suit le même comportement avec des fortes teneurs enregistrées à l'embouchure 3,2µM alors qu'en amont il ne représente que 1/10 (production de 3 µM (997%)). le silicium dans l'estuaire montre une répartition inverse ou il y a une rétention de 34 µM (44%), il varie en effet entre 75µM et 42µM à l'amont de l'estuaire et à l'embouchure respectivement. En termes de flux qui est en relation étroite avec le débit, l'estuaire produit en moyenne 84t/an (136%), 9t/an (2064%) et 56t/an (31%) de NID, PO₄³⁻ et SiO₄ respectivement. L'estuaire de Seybouse paraît plus enrichi en NID qu'en PO₄³⁻ ou le rapport N/P est en moyenne de l'ordre de 137. La valeur moyenne du rapport Si/N se retrouve très faible (Si/N=0,52) ce qui permet de le positionner parmi les estuaires fortement anthropisés. D'un point de vue biogéochimique, l'estuaire joue un rôle crucial dans les modifications des cycles biogéochimiques des nutriments. Ces conditions hydrologiques et biogéochimiques devraient avoir de sévères impacts sur le système estuarien et sur le fonctionnement et la production des ressources renouvelables du littoral récepteur.

Mots clés : Azote, Phosphore, Silicium, Estuaire.

Abstract

The estuary of the Seybouse is the downstream of the second Oued in Algeria which drains one of the major watersheds of the country (6471 km²). On this basin is exercised in important anthropogenic activities from a number of 1508896 inhabitants. This study was concerned for the first time the distribution and the flow of nitrogen, phosphorus and silicon through the estuary of Seybouse during the period between September 2016 (dry season) and April 2017 (wet season). It is to follow the evolution of these nutrients from the upstream end of the estuary to the mouth (Ultimate crossroads of nutrient salts) in order to understand their biogeochemical transformations under the effect of the estuary. The analysis of the parameters of the general quality of the waters of the Estuary shows that the DIN is on average more abundant at the mouth (162 μM) than upstream of the estuary (62 μM) which reflects a production of 100 μM (176%). The Phosphorus follows the same behavior with high levels recorded at the mouth 3,2 μM whereas upstream it represents only 1/10 (production of 3 μM (997%)). The silicon in the estuary shows a reverse distribution or there is retention of 34 μM (44%), it varies in effect between 75 μM and 42 μM to the upstream of the Estuary and the mouth respectively. In terms of flow which is in close relationship with the flow, the estuary produces on average 84t/year (136%), 9t/year (2064%) and 56t/year (31%) of DIN, PO_4^{3-} and SiO_4 respectively. The estuary of the Seybouse seems more enriched in DIN than in PO_4^{3-} or the Report N/P is on average of the order of 137. The average value of the report Si/N is found very low (Si/N=0.52) which allows to position among estuaries strongly anthropised. A point of view, biogeochemical the estuary plays a crucial role in the changes of the biogeochemical cycles of nutrients. these conditions the hydrological and biogeochemical should have severe impacts on the estuarine system and on the operation and the production of the renewable resources of the Coastline receiver.

Key- words: nitrogen, phosphorus, silicon, estuary.

المخلص

مصب النهر سيبوس ثاني أودية الجزائر التي تستنزف إحدى أكبر المستجمعات المائية في البلاد (6471 كم مربع). وتمارس على هذا الحوض الأنشطة البشرية حيث عدد السكان 1508896. وكانت هذه الدراسة المعنية لأول مرة على توزيع تدفق النيتروجين والفسفور والسيليسيوم عبر مصب النهر سيبوس خلال الفترة الممتدة بين سبتمبر 2016 (الموسم الجاف) و أبريل 2017 (الموسم الرطب). ومن متابعة تطور هذه المغذيات من المنبع مصب النهر إلى المصب (مفترق الطرق النهائي للأملح المغذية) من أجل فهم التحولات الكيميائية تحت تأثير المصب. تحليل المعايير النوعية العامة لمياه مصب النهر تظهر إن الأزوت الغير عضوي له متوسط أكثر وفرة في الفم (162 ميكرومول) على العكس عند مصب النهر (62 ميكرومول) مما ينم عن إنتاج 100 ميكرومول (176%). وكذلك الفسفور يتبع نفس السلوك مع كل المستويات المسجلة في الفم 3,2 ميكرومول بينما محتواه لا يمثل إلا 10/1 (إنتاج 3 ميكرومول (997%). وكذلك السيليسيوم يظهر في مصب النهر بتوزيع عكسي أو يحتفظ ب 34 ميكرومول (44%). هذا الأخير تتفاوت قيمه بين 75 ميكرومول و 42 ميكرومول من مصب النهر إلى الفم على التوالي. من حيث تدفق له علاقة وثيقة مع تدفق ومصب النهر تنتج متوسط 84 طن / السنة (136%), 9 طن / السنة (2064%) 9 طن / السنة (31%) من الأزوت الغير العضوي الفسفور و السيليسيوم على التوالي. مصب النهر سيبوس يبدو انه غني بالأزوت الغير عضوي أو التقرير N/P متوسطه 137. إن متوسط قيمة التقرير يبين Si/N منخفضا جدا (Si/N = 0.52) والذي يسمح بالنقل بين المصببات بقوة. و من وجهة النظر البيوجيوكيميائية مصب النهر يلعب دورا حاسما في تغييرات الدورات البيوجيوكيميائية للمغذيات. هذه الظروف الهيدرولوجية البيوجيوكيميائية لها آثار شديدة على النظام عند مصبات الأنهار و على إنتاج الموارد المتجددة على الساحل.

الكلمات المفتاحية : النيتروجين. الفسفور. السيليسيوم مصب النهر .