



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



Université Abbès Laghrou 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

DISTRIBUTION ET FLUX DU SILISIUM DANS LE BASSIN VERSANT DE SEYBOUSE (Nord-Est Algérien)

Présenté par : - M^{elle} Allague Nor-el-houda

Devant le jury :

Encadreur : Mr Ziouch Omar Ramzi (MCB) (Université Abbes Laghrou Khenchela)
Président : Melle Halimi Samia (MCB) (Université Abbes Laghrou Khenchela)
Examineur : Mr Boulabeiz Mahrez (MAA) (Université Abbes Laghrou Khenchela)

Jun 2017

REMERCIEMENT

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

Je tiens à exprimer mes remerciements à tous ceux qui m'ont aidé lors de la réalisation de ce travail. Que ceux que j'ai pu oublié me pardonnent

Je tiens à remercier tout d'abord **M^r Ziouch Omar Ramzi** pour m'avoir suivi et encadré efficacement pendant six mois, sa disponibilité de tous les jours et des nombreux et fructueux conseils ont fortement contribué à créer l'excellence conditions de travail.

Mes sincères remerciements s'adressent aux membres de Jury : **M^r Boulabeiz Mahrez** et **M^{elle} Halimi Samia** qui ont accepté de lire et juger ce travail.

Mes remerciements vont aussi

A tous les enseignants (es) chercheurs et responsables de laboratoire des Sciences de la mer à l'université BADJI MOKHTAR-ANNABA et en particulier le Professeur. **Ounissi Makhlouf**

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

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.

Mes vifs remerciements à tous les amis qui m'ont aidé et encouragé pour réaliser ce mémoire et tous mes collègues de promotion master écologie et environnement.

Mes sincères remerciements s'adressent également à ma famille, mon père, ma mère mes frères et sœurs qui n'ont pas hésité de m'aider et m'encourager moralement et matériellement jusqu'à la fin de cette mémoire.

DÉDICACES

Je dédie ce travail à mes plus chers êtres au monde :

Ma mère **Djamaa** et mon père **Bachir** pour leur amour, leur tendresse, et pour leur soutien moral et matériel durant toutes les étapes de ma vie.

Je les remercie de m'avoir toujours laissé la liberté de mes choix, de m'avoir fait confiance et de m'avoir soutenu car sans eux je n'aurais jamais pu faire, et surtout grâce à eux je suis ce que je suis.

A mes frères **Bassi, Balaid et Abdelghanie**

A mes sœurs **Zoulikha, Aicha, Thaldja, Zehor et Rahima**

A mon marie **Ali**

Chacun de vous est responsable du bonheur que j'éprouve aujourd'hui

Ce travail est dédié

À mon Encadreur **Ziouch Omar Ramzi**, qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études et mes recherches. J'espère que, du monde qui est sien maintenant, il apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part d'un étudiant qui a toujours prié pour le salut de son âme. Puisse **Dieu**, le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde !

A mon très cher oncle **Amar**.

A tous mes oncles **Ali, Elarbi**

A mes chères amies

Amina, Amel, Naima, Fatma, Sara, Hana, Houda, Afaf, Fouzia, Sora, Iman, Ahlèm, Walida, merci de votre présence, soutien et de m'avoir encouragé à aller plus loin.

A tous les autres que je n'ai pas cités mais à qui je pense aussi.

Merci à tous de m'aider à devenir meilleur.

A tous les étudiant de ma promotion à qui je souhaite beaucoup de succès.

AllagueNor-El-Houda

Sommaire

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLAUX

LISTE DES ABRÉVIATIONS

| | |
|--|----|
| INTRODUCTION | 01 |
| CHAPITRE I : INTÉRÊT DE SILICIUM | |
| 1- Définition du Silicium..... | 05 |
| 2-le Silicium dissous | 06 |
| 3-Cycle biogéochimique du Silicium..... | 07 |
| 4- Le Silicium particulaire..... | 09 |
| 4.1- La Silice litho génique..... | 09 |
| 4.2- La Silice bio génique..... | 10 |
| 4.2.1- La composition chimique de la Silice bio génique..... | 10 |
| 4.2.2-Les fonctions de la Silice bio génique..... | 10 |
| 5- Le Silicium et les diatomées..... | 11 |
| 5.1- Les diatomées..... | 11 |
| 5.1.1- Phylogénie des diatomées..... | 11 |
| 5.1.2- Description physique..... | 12 |
| 5.1.3- Formation du frustule..... | 13 |
| 5.1.4- Adsorption et transport de l'acide orthosilique..... | 14 |
| 5.2- Le concept de limitation nutritive..... | 15 |
| CHAPITRE II: MATÉRIÈLE ET MÉTHODES | |
| 1-Le milieu..... | 17 |
| 1.1-La situation géographique du bassin versant de Seybouse..... | 17 |
| 1.1.1-Sous-Bassin de Bouhamdane..... | 19 |
| 1.1.2- Le Bassin de Guelma..... | 20 |
| 1.1.3- Le Bassin du Mellah..... | 20 |
| 1.1.4. Le Bassin de la basse Seybouse..... | 20 |
| 1.2- Le réseau Hydrographique..... | 21 |
| 1.3- Anthropisation et occupation du sol..... | 22 |
| 1.3.1- Population..... | 22 |
| 1.3.2- Agriculture..... | 22 |
| 1.3. 3-Barrages et irrigation..... | 22 |
| 1.3.1- L'industrie..... | 23 |
| 1.3.5- Les effluents urbains..... | 24 |

| | |
|--|----|
| 1.3.6- Le couvert végétal..... | 24 |
| 1.2- La géologie..... | 26 |
| 1.2.1- La basse Seybouse..... | 26 |
| 1.2.2- La moyenne Seybouse..... | 27 |
| 1.2.3-La haute Seybouse..... | 28 |
| 1.3- La pluviométrie..... | 29 |
| 2- Echantillonnage et méthode d'analyse des éléments chimiques..... | 30 |
| 2.1- Echantillonnage..... | 30 |
| 2.2- Transport des échantillons..... | 34 |
| 3- Méthode d'analyse chimique..... | 34 |
| 3.1- Dosage du Silicium..... | 34 |
| 3.2- Mode Opératoire..... | 35 |
| CHAPITRE III : INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS ET DISCUSSION | |
| 1. Interprétation des résultats..... | 36 |
| 1.1- Environnement physique | 36 |
| 1.1.1- La température..... | 37 |
| 1.1.2- La salinité..... | 38 |
| 1.1.3- La Conductivité électrique (CE)..... | 39 |
| 1.1.4- Le débit..... | 40 |
| 1.2- Distribution de Si dans le bassin versant de Seybouse..... | 41 |
| 1.2.1-Barrage de Foumelkhanga..... | 41 |
| 1.2.2-Barrage de Bouhamdane..... | 42 |
| 1.2.3- Estuaire..... | 43 |
| 1.3- Approximation du flux et du bilan du silicium dans le bassin de Seybouse..... | 44 |
| 1.3.1- Flux de Silicium en amont et en l'aval des barrages..... | 44 |
| 1.3.2- Flux de Silicium en amont de l'estuaire et à l'embouchure..... | 45 |
| 2-Discussion | 45 |
| CONCLUSION | 48 |
| RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES | 49 |
| ANNEXES | |
| RÉSUMÉ | |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1: Schéma des impacts d'activités anthropiques dans les bassins versants (barrages; rejets domestiques et industriels) sur le chimisme des eaux continentales et ses répercussions sur le fonctionnement et la productivité côtière..... | 03 |
| Figure 2: Position du silicium dans la classification périodique. Situé dans la colonne IVA..... | 05 |
| Figure 3: Cycle biogéochimique du silicium en milieu terrestre (Meunier et al, 2001).... | 07 |
| Figure 4. Estimation des flux de carbone en milliards de tonnes entre les différents réservoirs. Les données représentées en rouge sont d'origine anthropique. Tiré du 4ème rapport du GIEC (groupe d'expert sur l'évolution du climat, 2007)..... | 08 |
| Figure 5. Cellules de diatomée centrique (<i>Thalassiosira weissflogii</i> , A) et pennale (<i>Phaeodactylum tricornutum</i> , B) observées au microscope électronique à balayage. Tesson et al. (2009a) | 13 |
| Figure 6. Représentation schématique faisant apparaître les composants siliceux de la paroi cellulaire des diatomées. D'après Zurzolo and Bowler (2001) | 14 |
| Figure 7. Schéma du métabolisme du silicium (Si) chez les diatomées. Redessiné d'après Thamatrakoln (2006) | 15 |
| Figure 8. Carte de situation géographique du bassin de Seybouse (ABH, 2009) | 18 |
| Figure 9. Carte du découpage administratif du bassin versant de la Seybouse (Cahiers de l'agence A.B.H. 1999)..... | 19 |
| Figure 10. Profil en long de l'Oued Seybouse (d'après Ghachi A., 1986)..... | 22 |
| Figure 11. Couvert végétal du bassin de l'oued Seybouse (d'après Mebarki, 2005) | 25 |
| Figure: 12. Carte des précipitations annuelles moyennes de l'Est algérien modifiée..... | 29 |
| Figure 13. Station 1 A l'amont 1 du Barrage de foug elkhangha (Oued Sbihi)..... | 30 |
| Figure 14. Station 2 A l'amont du barrage de foug elkhangha (Oued Sedrata)..... | 30 |
| Figure 15. Station 3: A l'aval du Barrage de foug elkhangha | 31 |
| Figure 16. Station 4: A l'amont du barrage de Bouhamdane..... | 31 |
| Figure 17. Station 5: A l'aval du barrage de Bouhamdane. | 31 |
| Figure 18. Station 6 : A l'amont de l'estuaire (station rivière)..... | 31 |
| Figure 19. Station 7 : A l'aval de l'estuaire (embouchure)..... | 31 |

| | |
|---|----|
| Figure 20: Carte géographique qui représente le bassin de Seybouse et les stations d'échantillonnage..... | 32 |
| Figure 21. Le Multi paramètre wtw 1970i..... | 33 |
| Figure 22. Variations de la Température en amont et en aval des barrages, en amont et en aval de l'estuaire d'oued Seybouse durant la période d'étude..... | 37 |
| Figure 23. Variations de la salinité en amont et en aval des barrages, en amont et en aval de l'estuaire d'oued Seybouse durant la période d'étude..... | 38 |
| Figure 24. Variations de la conductivité électrique en amont et en aval des barrages, en amont et en aval de l'estuaire d'oued Seybouse durant la période d'étude..... | 39 |
| Figure 26. Variations de débit en amont et en aval des barrages, en amont et en aval de l'estuaire d'oued Seybouse durant la période d'étude..... | 40 |
| Figure 27. Variations des teneurs de Silicium en amont et en aval des barrages, en amont et en aval de l'estuaire d'oued Seybouse durant la période d'étude..... | 42 |

Liste des Tableaux

Tableau 1. Comparaison des propriétés physiques des atomes de carbone et de silicium et de leurs liaisons possibles. Tableau tiré de **Werner (1977)**.....09

Tableau 2. Les Barrages de bassin versant de Seybouse (**ABH, 1999**).....23

Tableau 3. Les stations d'échantillonnage et leurs caractéristiques.....33

Tableau 4. Les paramètres physiques mesurés in-situ en saison sèche (Le 08/09/2016) et en saison humide (Le 13/4/2017)..... 36

Tableau 5: Les paramètres physiques mesurés in-situ en saison sèche et humides, les minimums, les maximums et les moyennes sont aussi calculés.....36

Tableau 6. Teneurs des Silicates SiO_4 (μM) en amont et en aval des barrages, en amont et aval de l'estuaire et taux de rétention (R%). Rétention (-) ; production (+).....43

Tableau 7. Teneurs des Silicates SiO_4 (t/an) en amont et en aval des barrages, en amont et aval de l'estuaire et taux de rétention (R%). Rétention (-) ; production (+).....45

Liste des abréviations

ABH : Agence des Bassins Hydrauliques

ANRH : Agence National des Ressources Hydriques

C : carbone

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

CO₂ : Dioxyde de carbone

d : densité

g /hab/j : gramme/ habitant/jour

g : gramme

(H₄SiO₄): l'acide orthosilicique

Kg : Kilogramme

LABEA : Laboratoire des analyses biogéochimiques des environnements aquatiques

(LCHF) : Laboratoire Central d'Hydraulique de France

m : mètre

m³/j: mètre³/jour

mg/l : milligramme/litre

min : minute

ml /hab/j : milligramme/habitant/jour

mm: millimeter

N: Azote

P: Phosphore

P.S.U: Practical Salinity Unit

Q : Débit : mètre cube par seconde ou $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ou m^3 /s

SDV : Vésicules de déposition de silice

Si : Silicium

Si(OH)₄ = SiO₄ : ion silicium

Si/C: Rapport silicium sur carbone

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

SiO₂: Le dioxyde de silicium

St : Station

T: Température

t/an : tonne/ans

TDS : Substances dissoutes solides ou salinité des eaux douces (mg l^{-1} ou mg/l)

μM : Micromole par litre ou $\mu\text{mole l}^{-1}$ ou $\mu\text{atg. l}^{-1}$

% : pourcent

Introduction

INTRODUCTION

Les activités anthropiques représentent la principale source de pollution de la mer Méditerranée, bien que de nombreuses incertitudes demeurent quant à leur contribution respective, aux différents flux (rivières, atmosphère, sources diffuses et ponctuelles) et au sort des polluants qu'elles génèrent (AEE, 1999, Margat et Vallée, 1999).

La méditerranée connaît en conséquence, des modifications rapides de son chimisme directement lié aux apports issus des activités agricole, domestique et industrielles (Turley, 1999 Bèthoux et *al.*, 2002). L'environnement côtier peut donc être hautement contrôlé par l'enrichissement en nutriment d'origine fluviale et estuarienne.

Au cours des dernières décennies l'activité humaine a considérablement changé l'hydrologie et le chimisme des eaux des rivières et des eaux côtières méditerranéennes par suite de la rétention d'eau dans les barrages (Lehner et *al.*, 2011, Ounissi et *al.*, 2008, 2014).

On peut noter également que les barrages divisent les écosystèmes et perturbent la biodiversité du continuum aquatique (Kummu et *al.*, 2007). C'est à dire le déclin et la disparition des espèces migratrices (Jackson et Marmulla, 2001, WCD, 2000). Des systèmes de passage à poissons ont été développés afin de fournir un moyen d'atténuer ces barrières sur les espèces migratrices (Clay, 1995).

La construction des barrages modifient deux éléments essentiels de la géomorphologie du système: la capacité de la rivière à transporter les sédiments, et la quantité de sédiments disponibles pour le transport (Grant et *al.*, 2003). En outre, les barrages piègent une grande partie des sédiments et donc des nutriments liés à ceux-ci (C, N, P et Si), ce qui diminue la quantité de nutriments disponibles en aval (Kummu, 2007).

Soulignant le fait que les ressources en eau en Méditerranée sont rares et les pressions anthropiques sur les rivières deviennent particulièrement importantes. Par ailleurs, la construction des barrages sur les rivières et les prélèvements d'eau pour l'irrigation ont évolué depuis les années 1960 et ont largement réduit le débit des rivières d'au moins 20% ce qui a profondément modifié le fonctionnement naturel des cours d'eau méditerranéens (Humborg et *al.*, 2008, Ludwig et *al.*, 2009). Or, rien n'est plus important au fonctionnement du littoral que les quantités et la durée des apports d'eau douce, rapportent (Montagna et *al.*, 2002). En outre, le transfert des nutriments à la mer joue un rôle clé dans l'équilibre hydrologique, du carbone, des nutriments dissous (azote,

phosphore et silicium), des sédiments et de la biodiversité des eaux de surface (Meybeck, 2003 ; Ounissi et *al.*, 2008, 2014, 2016).

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

Ces modifications biogéochimiques sont responsables de nombreux impacts négatifs: perte d'habitat et de la biodiversité, augmentation de la prolifération d'espèces phytoplanctoniques nuisibles, eutrophisation, hypoxie (Billen et Garnier, 2007 ; Cloern et *al.*, 2001; Howarth et *al.*, 1996; Rabalais et Turner, 2001; Ragueneau et *al.*, 2006; Turner et *al.*, 2003, Ziouch., 2014; Aounallah., 2015, Ounissi et *al.*, 2008, 2014, 2016). Dans le même contexte, Turner et *al.*, (2003) rapportent que la diminution du rapport Si/N occasionne de sévères modifications du réseau trophique côtier y compris les ressources halieutiques.

En Méditerranée, il est admis que le Silicium (Si) peut non seulement réduire la productivité, mais induire aussi des changements de communautés phytoplanctoniques avec dominance d'espèces nuisibles non-siliceuses. De même, il à été démontré que la diminution des diatomées et des copépodes dans les zones côtières est reliée à la réduction des apports en Silicium des rivières (Cloern, 2001; Turner et *al.*, 1998; Turner et *al.*, 2003, Ounissi et *al.*, 2008, 2014, 2016). Ces modifications dans la composition du phytoplancton se répercutent sur l'ensemble du système côtier y compris la baisse des ressources halieutiques côtières (**Figure 1**).

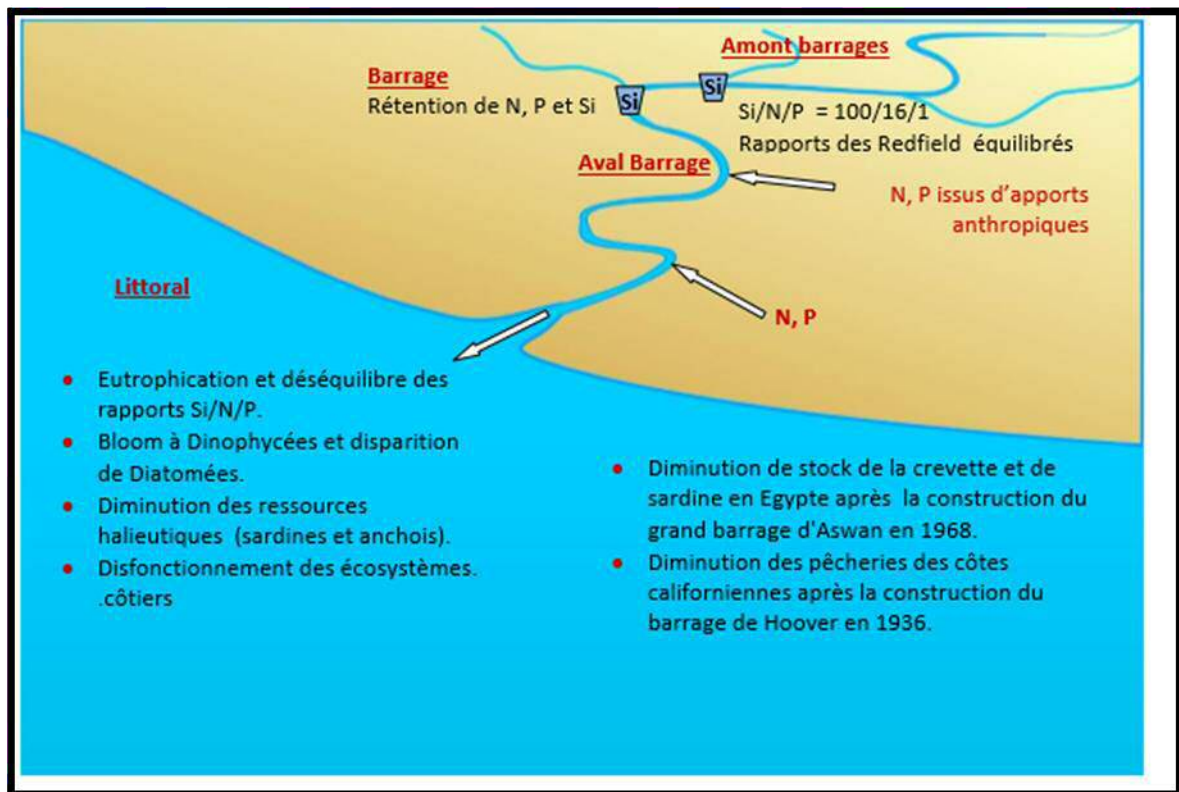


Figure 1. Schéma des impacts d'activités anthropiques dans les bassins versants (barrages ; rejets domestiques et industriels) sur le chimisme des eaux continentales et ses répercussions sur le fonctionnement et la productivité côtières.

A l'amont des barrages, dans les hauts bassins, par suite des faibles apports anthropiques, la chimie des eaux n'est pas affectée et l'on y trouve des rapports de Redfield équilibrés (Si/N/P de l'ordre de 100/16/1). Ici le Si est plus abondant que l'azote et subvient largement aux besoins des diatomées ($\text{Si/N} \geq 1$). Les barrages ont un effet direct sur la rétention de N, P et Si.

A l'aval des barrages, les rejets anthropiques introduisent dans les estuaires et les embouchures d'importantes masses de N et de P cependant que la perte de Si (restant tributaire seulement des lessivages des sols), n'est pas compensée à l'aval des barrages. Le chimisme des eaux d'estuaires introduites aux eaux côtières est altéré avec des rapports de Redfield modifiés.

Le rapport Si/N souvent < 1 occasionne d'importants impacts sur le fonctionnement et la productivité des eaux côtières. Il s'agit en particulier de développement d'espèces nuisibles de dinophycées phytoplanctoniques, non exigeantes vis-à-vis du Si alors que l'abondance des diatomées diminue. Le réseau trophique se trouve affecté par la

diminution des copépodes zooplanctoniques, élément clés dans les réseaux trophiques marins.

En conséquence, les pêcheries côtières soumises à des apports continentaux réduits en eau et en Si, connaissent d'importantes baisses de débarquements (Cloern, 2001; Howarth et *al.*, 1996; Wahby et Bishara, 1981; Turner et *al.*, 2003). En Turquie, par exemple le stock d'Anchois, patrimoine précieux de la nation, est réduit d'une façon inquiétante.

De même, la construction du barrage d'Assouan sur le Nil a eu de graves conséquences sur la production côtière pélagique et démersale. Wahby et Bishara (1981) rapportent que le débarquement des sardines a diminué de 95% et les prises de Crevettes ont connues une baisse dramatique dans les côtes adjacentes au Nil.

On rapporte aussi des baisses de débarquements de poissons dans les côtes californiennes à la suite de la construction du barrage du Hoover en 1936 (Turner et *al.*, 2003), pour ne citer que ces exemples.

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

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

Chapitre I.

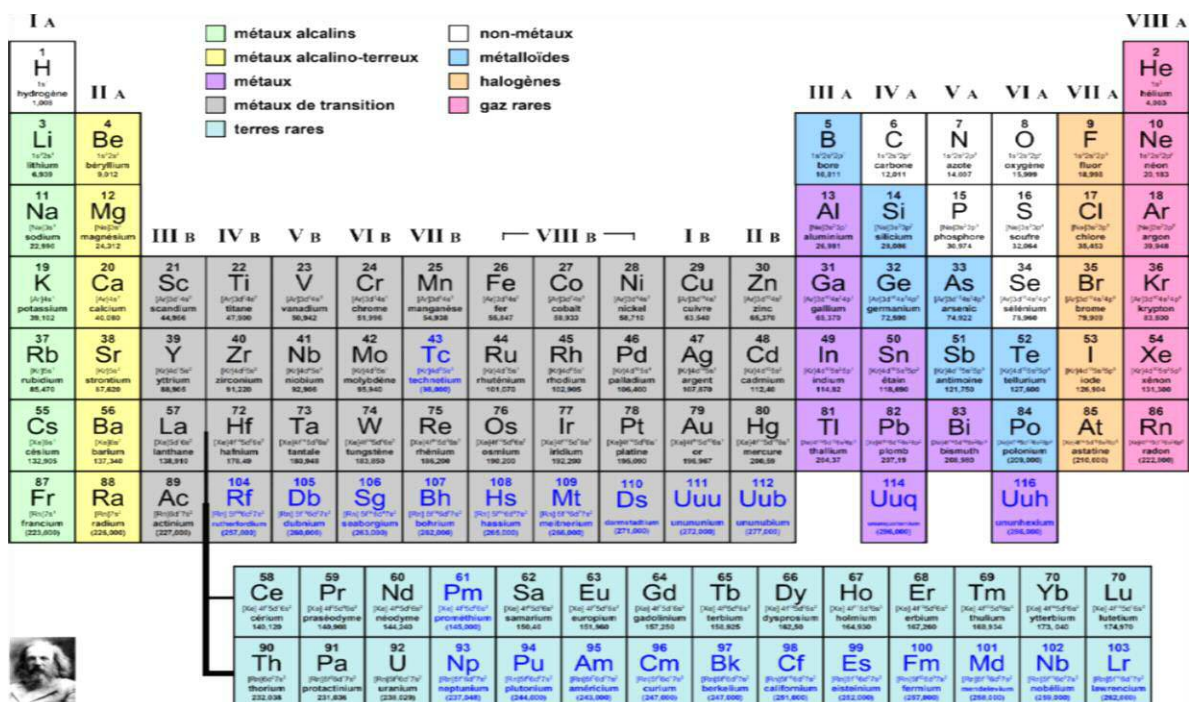
Intérêt de Silicium

CHAPITRE I : INTÉRÊT DE SILICIUM

1. Définition

L'origine du nom Silicium vient du mot latin "*Silicis*" signifiant "*Silex*" (Quéguiner, 2007) (symbole Si, numéro atomique 14) est l'élément le plus abondant de l'écorce terrestre (après l'oxygène) formant 28,8% (Wedepohl, 1995 ; Wollast and McKenzie, 1983). Il est présent dans plus de 370 minéraux composants les diverses roches, le Si est l'un des composants de base de la plupart des sols. Les sols ont une énorme portée de teneur en Si allant de <1% en poids de Si dans Histosols Par exemple, (Bennet et *al.*, 1991, Komor, 1994, Steinmann and Shotyk, 1997a, b) jusqu'à 45% en poids de Si dans des Podsoles très anciens développés dans les sables quartzitiques (Skjemstad et *al.*, 1992). Dans le même contexte, Summerfield, (1983) rapporte que quelques horizons enrichis en Si sont presque entièrement construits par Si ($SiO_2 > 95\%$ en poids).

Le silicium ne se trouve pas à l'état natif, mais sous forme de silice et de silicates. 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 %) (Quéguiner, 2007).



Le silicium a reçu relativement peu de l'attention des chercheurs par rapport à d'autres éléments. En 1811 fut découvert par **Gay-Lussac** et **Thénard**, et en 1823 le silicium fut séparé de ses composés dans un état de pureté par le chimiste suédois **Jöns Jakob Berzelius**, mais dès 1787, **Antoine Laurent de Lavoisier** en avait soupçonné son existence.

Environ 40% des minéraux courants contiennent du silicium : le quartz, les variétés de quartz (comme l'onyx, le silex et le jaspe) sont des cristaux de silice naturels, le dioxyde de silicium est le principal constituant du sable. Les silicates (comme les silicates d'aluminium, de calcium et de magnésium) sont les principaux constituants des argiles, des sols et des roches

Du point de vue écologique, au premier échelon de la chaîne alimentaire, le développement du phytoplancton est conditionné par la présence des sels nutritifs minéraux dissous tels que le phosphore (P), l'azote (N) et la silice (Si). Les sels azotés sont les nitrates (NO_3) et l'ammonium (NH_4) qui fournissent aux végétaux l'azote nécessaire à la synthèse des acides aminés, constituants essentiels des protéines. Le phosphore utilisable par les végétaux est sous forme de phosphate (PO_4); il est utilisé en outre pour la synthèse des molécules riches en énergie. La silice dissoute dans les eaux est pour 95 % sous forme d'acide silicique (ou silicate) $\text{Si}(\text{OH})_4$; elle est nécessaire aux algues siliceuses comme les silicoflagellés, les radiolaires et les diatomées (**Quéguiner, 2007**).

2. Le Silicium dissous

Le silicium dissous dans l'eau est présent sous différentes formes chimiques (acide orthosilicique $\text{Si}(\text{OH})_4$) éventuellement disponibles pour les diatomées, qui sont des microalgues unicellulaires ayant la particularité d'être entourées d'une paroi siliceuse appelée frustule. Les diatomées sont la principale source de silice biogénique à l'échelle de la planète, le métabolisme du silicium constitue chez ces microalgues un métabolisme majeur au même titre que celui du carbone ou de l'azote. En effet, le silicium est indispensable à leur croissance et à la division cellulaire. Il est donc d'intérêt majeur pour les biogéochimistes (**Quéguiner, 2007**).

Une limitation en silicates semble en effet provoquer un ralentissement du cycle cellulaire qui va jusqu'à l'arrêt après quelques heures de carence stricte (**De La Rocha et al., 2010; Vrieling et al., 1999**). Cet arrêt de la croissance montre que le silicium est un élément indispensable pour les diatomées et contrôle donc leur production primaire.

Sur un autre plan économique l'utilisation du silicium est vaste, par exemple on l'utilise pour réaliser des transistors, des microprocesseurs, des circuits mémoires...etc.

3. Cycle biogéochimique du silicium

Son cycle biogéochimique a été peu étudié, Le cycle global du Si joue un rôle important dans de nombreux processus biogéochimiques tels que la régulation du CO₂ atmosphérique via la nutrition des organismes aquatiques (Sommer et *al.*, 2006). Le cycle du silicium se divise en un cycle continental et un cycle marin (Exley 1998). Le stock continental a été estimé à environ $3,8 \cdot 10^{17}$ kg et le stock océanique à environ $2,5 \cdot 10^{15}$ kg (Lucas 2007).

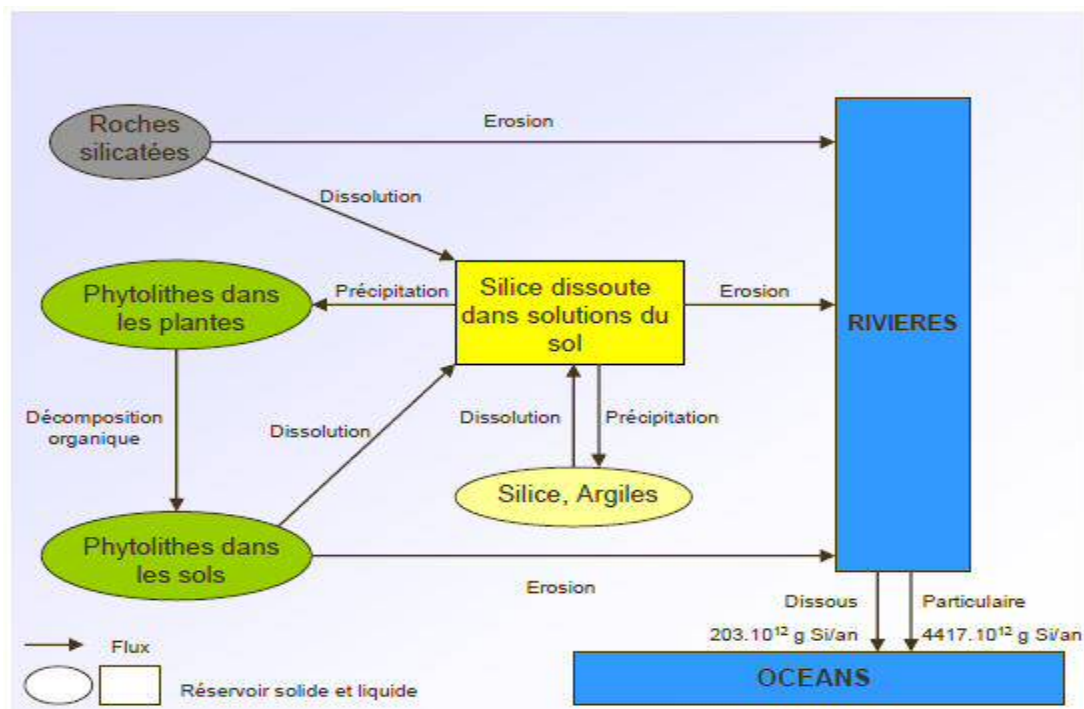


Figure 3. Cycle biogéochimique du silicium en milieu terrestre (Meunier et al2001).

Le cycle terrestre alimente le cycle marin en silicium soluble via les rivières (Exley 1998). Le cycle biogéochimique du Si dans les écosystèmes terrestres est moins étudié que dans les écosystèmes aquatiques (Dixit et *al.*, 2001 ; Dixit et Van Cappellen, 2002 ; Van Cappellen et Qiu, 1997 I, II ; Van Cappellen et *al.*, 2002) probablement parce qu'il était supposé moins soumis à des perturbations directes d'origine anthropique et ne constitue pas un facteur limitant eu égard à son abondance dans les eaux douces.

Cet élément retient de nouveau l'attention des Biogéochimistes. On sait depuis les travaux de Walker et *al.*, (1981) et de Berner et *al.*, (1983) que l'altération superficielle des

silicates exerce un contrôle important sur la teneur en CO₂ de l'atmosphère consommé par les algues Planctoniques.

Le silicium joue un rôle primordial dans le cycle global de la matière en particulier dans le cycle du carbone.

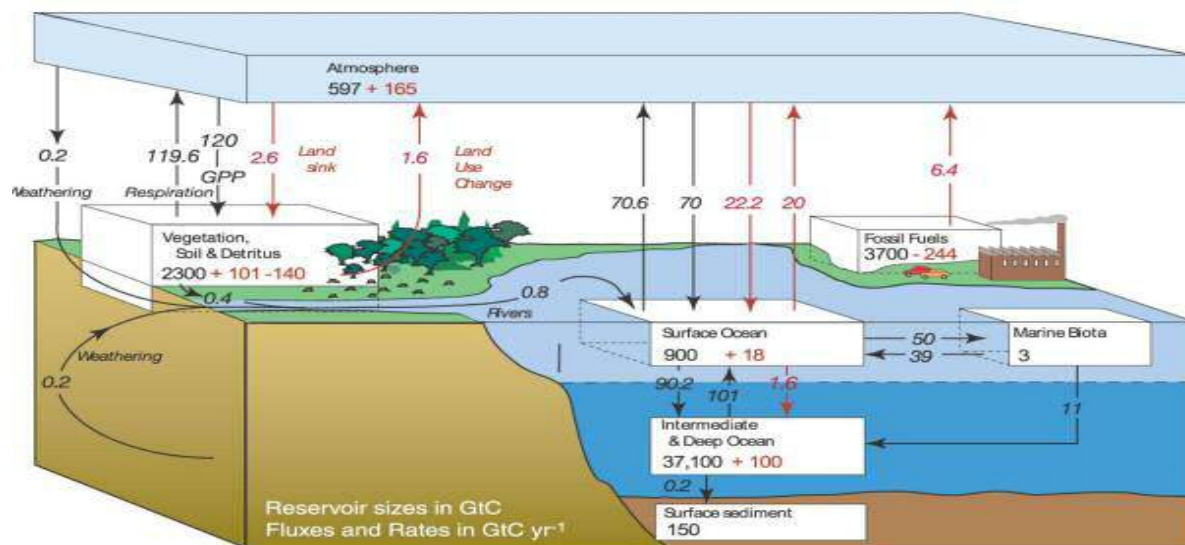
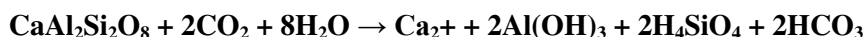


Figure 4. Estimation des flux de carbone en milliards de tonnes entre les différents réservoirs. Les données représentées en rouge sont d'origine anthropique. Tiré du 4^{ème} rapport du GIEC (groupe d'expert sur l'évolution du climat, 2007).

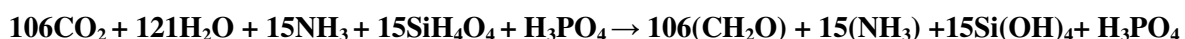
Il contribue doublement à l'élimination du carbone atmosphérique par :

(1) Lessivage selon la réaction :



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

(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 CO₂ 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 :



L'élimination biologique du carbone par les diatomées se fait à raison de 1mole de Silicium pour 7 moles de carbone. 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 importante 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 Carbon is to biosphere, Silica is to lithosphere*" (Sommer et *al.*, 2006).

Tableau 1. Comparaison des propriétés physiques des atomes de carbone et de silicium et de leurs liaisons possibles. Tableau tiré de Werner (1977).

| | Carbone | Silicium |
|--|--|---|
| Numéro atomique | 6 | 14 |
| Masse molaire (g.mol⁻¹) | 12 | 28.1 |
| Energies de liaison (kcal.mol⁻¹) | C-C : 85 C-O : 85 C-H : 99 C-Cl : 81 | Si-Si : 53 Si-O : 108 Si-H : 77 Si-Cl : 91 Si-C : 63 |
| Rayon covalent | 0.077 nm | 0.117 nm |
| Rayon ionique | C 4+ : 0.015 nm | Si 4+ : 0.041 nm |
| Longueur de liaison | C-C : 0.154 nm C-O : 0.143 nm C=O : 0.122 nm C=C : 0.133 nm | Si-Si : 0.234 nm Si-O : 0.164 nm |
| Configuration électronique | 1s ² 2s ² (6) 2p ² 3s ² | 1s ² 2s ² (14) 2p ⁶ 3p ² |

Une méthode simple de quantification de la consommation de CO₂ par l'altération des silicates consiste à mesurer la teneur en ions hydrogénocarbonates (bicarbonates) et/ou en acide silicique dans des rivières, à l'exutoire de bassins versants constitués de roches silicatées (Gaillardet et *al.*, 1999).

4. Le Silicium Particulaire

4.1. La silice lithogénique (LSi)

On ne considère plus les silicates comme des sels d'acides siliciques, mais comme des assemblages de tétraèdres quasi réguliers (Si, Al)O₄, dont les centres sont occupés par des ions silicium ou aluminium, et les sommets par des ions oxygène. Dans les tecto-silicates, les tétraèdres forment une charpente tridimensionnelle (Si, Al)_xO_{2x}, dans laquelle

chacun des atomes d'oxygène est commun à deux tétraèdres. Quand les centres des tétraèdres sont tous des atomes Si, les charpentes, électriquement neutres, ont pour formule SiO_2 .

La silice composant les roches ainsi que les différentes formes de silicates sont regroupées sous le terme de silice lithogénique. Bien entendu, compte tenu de l'existence des différentes formes cristallines, la silice lithogénique présentera des propriétés chimiques variables en particulier vis-à-vis de la dissolution par les solvants basiques. Le rôle géochimique des silicates est essentiel car ils représentent plus de 90 % en poids de l'écorce terrestre. Les nombreuses données statistiques sur la composition chimique de la partie superficielle, en particulier celles qui ont été obtenues par Clarke et Washington (1924).

4.2. La silice biogénique (bSiO_2)

4.2.1. Composition chimique de la silice biogénique

La silice biogénique correspond à la fraction de silice particulaire fabriquée par les organismes vivants. Vrieling *et al.*, (2003) indiquaient que la silice biogénique a sans doute été le biominéral le moins bien étudié. Pourtant la silice est le composé chimique le plus abondant de la croûte terrestre. La silice assure de nombreuses fonctions dans les systèmes naturels: des premiers eucaryotes jusqu'aux plantes supérieures les plus évoluées, cette silice assure en effet les fonctions de support, de protection ou encore de renforcement des structures. Chez les microorganismes unicellulaires la fonction plausible de la silice biogénique serait d'assurer la robustesse de la cellule vivante, notamment vis-à-vis des prédateurs. Dans le milieu marin, la silicification concerne en particulier le frustule externe des diatomées, l'endosquelette siliceux des silicoflagellés et des radiolaires. La silice biogénique présente une structure amorphe, c'est-à-dire non cristalline dans laquelle des atomes d'aluminium peuvent parfois se substituer à des atomes de silicium.

Dans la silice biogénique, les tétraèdres désordonnés sont coordonnés à des molécules d'eau. Selon Mortlock & Froelich (1989), la formule générale de la silice biogénique est $(\text{SiO}_2, 0,4\text{H}_2\text{O})$.

4.2.2. Les fonctions de la silice biogénique

Les diatomées diffèrent des autres groupes du phytoplancton par leur paroi cellulaire silicifiée dont la fonction et le rôle dans la réussite de leur évolution font toujours l'objet de débats. Les différentes fonctions qui ont été suggérées pour la paroi cellulaire siliceuse

incluent la protection contre le rayonnement UV, la protection contre le broutage par le zooplancton, le rôle de ballast permettant de mieux contrôler la position des organismes au sein de la colonne d'eau (Villareal, 1988), ou encore un rôle efficace de pH tampon permettant la conversion enzymatique de bicarbonate en CO₂, une étape essentielle dans l'acquisition du carbone inorganique par les diatomées (Milligan & Morel, 2002). Raven (1983) a par ailleurs suggéré qu'il est énergétiquement moins coûteux pour la cellule d'élaborer une paroi cellulaire faite de silice plutôt que de polysaccharides. Hamm *et al.*, (2003) ont exploré le potentiel de protection du frustule et son utilité pour la défense contre les prédateurs des diatomées.

Grâce à la mise au point d'une méthode biophysique directe (micro-aiguilles de verre calibrées) et à la simulation numérique alliée à la méthode des éléments finis Hamm *et al.*, (2003) ont évalué les forces à développer nécessaires pour briser les frustules de cellules vivantes de trois espèces représentatives des populations de bloom: deux diatomées centriques (*Thalassiosira punctigera* et la diatomée de grande taille *Coscinodiscus granii*) et la diatomée pennée *Fragilariopsis kerguelensis*. D'une manière générale les frustules montrent une grande résistance qui est attribuée à leur architecture tridimensionnelle et aux propriétés mécaniques de la silice biogénique. *Th. punctigera* résiste ainsi à des forces allant de 180 jusqu'à 260 µN (micronewton) pour des cellules de diamètre décroissant de 100 à 50 µm. Cette relation inverse entre la résistance mécanique et la taille se retrouve également entre espèces différentes: Les cellules de *C. granii* (130 µm de diamètre) sont écrasées pour des forces inférieures (jusqu'à 90 µN) à celles nécessaires pour briser la résistance de *Th. punctigera*. Les frustules de *F. kerguelensis* (30 µm) montrent une résistance exceptionnelle jusqu'à 730 µN. Hamm *et al.*, (2003) évaluent les pressions auxquelles ont résisté les frustules entre 1 et 7 Pascal ce qui équivaut à des poussées de 100 à 700 tonnes m⁻². Les frustules des diatomées semblent donc bien constituer une protection mécanique pour les cellules et l'évolution parallèle de la course aux armements entre les diatomées et leurs prédateurs spécialisés a sans doute exercé une influence considérable dans la structuration des réseaux trophiques et celle des cycles biogéochimiques.

5. Le Silicium et les diatomées

5.1. Les diatomées

5.1.1. Phylogénie des diatomées

Les diatomées sont classiquement divisées en deux groupes fonctionnels basés sur leurs morphologies: les diatomées pennales, qui sont des cellules allongées à symétrie

bilatérale, et les diatomées centrales, qui sont des cellules à symétrie radiale. La systématique a permis d'affiner cette classification en divisant les diatomées en 3 classes : les Coscinodiscophyceae (diatomées centrales), les Fragilariophyceae (diatomées pennales non-raphées) et les Bacillariophyceae (diatomées pennales raphées). La classification des espèces de diatomées s'est longtemps uniquement basée sur les caractéristiques morphologiques des cellules et notamment de la paroi cellulaire silicifiée présentant des ornements et appelée 'frustule'. Grâce aux outils moléculaires, il est désormais possible d'une part, d'estimer l'âge des diatomées, celui-ci se situerait entre 250 et 180 MA **selon Medlin et al., (2000)** et d'autre part de préciser la classification des diatomées. Ainsi, en 2010, environ 10 000 espèces de diatomées étaient décrites et certains auteurs estiment leur nombre à plus de 200 000 (**Mann & Droop, 1996**). **Medlin et al., (1997)** suggèrent que l'extinction de masse coïncidant avec les limites Permien/Triassique (250 MA) aurait bénéficié aux diatomées et expliquerait leur diversité actuelle. En revanche, l'apparition du processus de silicification daterait d'environ 130 MA. En effet, les fossiles les plus anciens de diatomées silicifiées seraient datés d'au moins 120 MA, cette caractéristique aurait donc été acquise au cours même de l'histoire évolutive des diatomées chez les diatomées centrales (**Raven & Waite, 2004**). Cela coïncide avec l'histoire géologique de la Terre et la chute des teneurs en silicium dans les Océans. Les données fossiles nous renseignent également sur l'apparition possible des diatomées pennales qui remonterait à environ 70 MA (**Raven & Waite, 2004**). Il est ainsi largement admis que les diatomées pennales 'descendent' des diatomées centrales ce qui est confirmé par la datation de leur origine. Ce processus de silicification serait apparu au sein même des diatomées du fait que leur groupe soeur, les Bolidophyceae (**Guillou et al., 1999**), n'en soit pas pourvu. En résumé, l'ancêtre commun des diatomées 'serait' une espèce dite centrée qui n'aurait acquis la silicification que tardivement et à partir de laquelle se seraient différenciées les diatomées pennales. Pour une revue détaillée de la phylogénie, voir **Medlin et al., (2000)**.

5.1.2. Description physique

Les diatomées sont donc de petites cellules dont la taille peut varier de quelques μm pour les plus petites espèces à plus de 2 mm pour l'espèce géante (*Ethmodiscus rex*) (**Sarthou et al., 2005**). Certaines espèces peuvent former des chaînes pouvant mesurer plusieurs mm. Les formes benthiques possèdent un raphé qui leur sert de lien avec l'extérieur mais également de moyen de locomotion. Certaines espèces présentent des protubérances (épines, soies) à la surface du frustule. Ce dernier est très ornémenté et parcouru de pores permettant une détermination spécifique. Le volume des cellules est

proportionnel à la taille (plus précisément au cube du rayon 1) et varie donc de quelques μm^3 au mm^3 (Geider et *al.*, 1986). Ce volume est occupé par le protoplaste qui est entièrement contenu au sein des parois silicifiées. Les différents organites (mitochondries, chloroplastes) sont très souvent situés entre la paroi cellulaire et plusieurs grosses vacuoles et le compartiment intracellulaire peut être divisé en plusieurs ‘chambres’ communicantes. Ces vacuoles peuvent occuper un volume important (jusqu’à 61% du volume intracellulaire total) et semblent jouer un rôle dans le contrôle de la flottaison des cellules (contrôle du contenu ionique). La cytologie des diatomées est détaillée dans Round et *al.*, (1990).

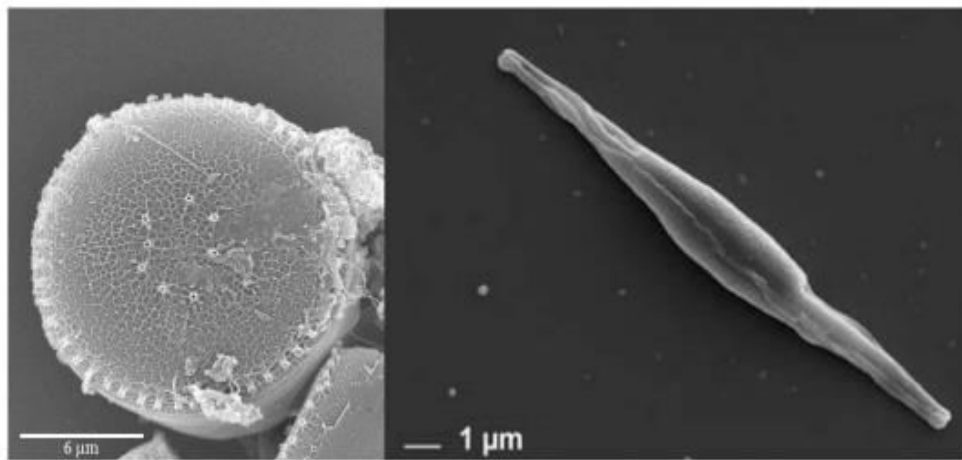


Figure 5. Cellules de diatomée centrique (*Thalassiosira weissflogii*, A) et pennale (*Phaeodactylum tricornutum*, B) observées au microscope électronique à balayage. Tesson et *al.*, (2009a).

5.1.3. Formation du frustule

Le frustule est fait de silice amorphe faiblement cristallisée et de composés organiques. Même s’il existe plus de 200 000 espèces, il semblerait que le frustule soit constitué des mêmes éléments: deux parties imbriquées telle une boîte de Pétri (Falciatore & Bowler, 2002), l’épithèque et l’hypothèque. La première représente la plus grande partie et reçoit l’hypothèque. Lors de la division asexuée, chaque thèque constitue l’épithèque de la cellule fille. Ainsi, la taille moyenne des cellules d’une même population tend à décroître. Chaque thèque est constituée d’une valve (la partie plane de la thèque) et de bandes intercalaires (‘girdle bands’). Ces bandes sont synthétisées à la fin de la division cellulaire (Zurzolo & Bowler, 2001). Les dernières bandes, appelées bandes pleurales, semblent particulières et différentes des autres.

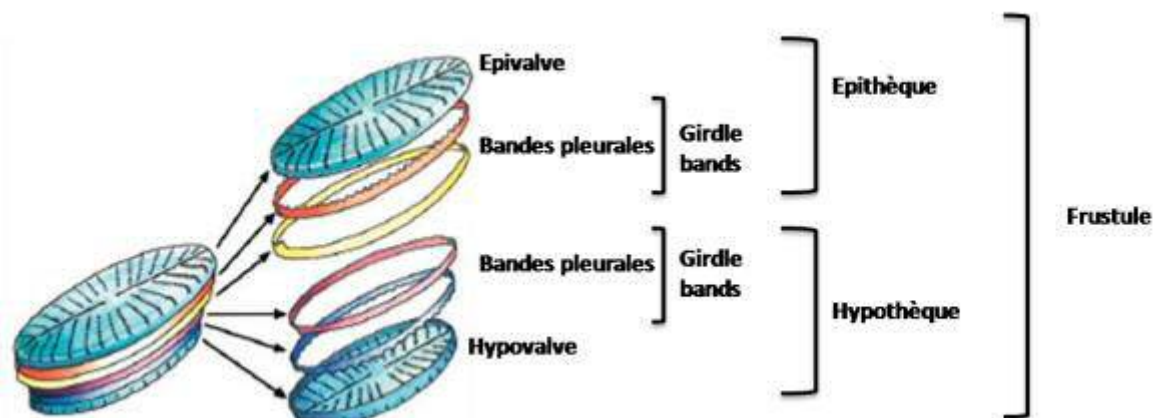


Figure 6. Représentation schématique faisant apparaître les composants siliceux de la paroi cellulaire des diatomées. D'après Zurzolo and Bowler (2001).

5.1.4. Absorption et transport de l'acide orthosilicique (H_4SiO_4)

Si au pH de l'eau de mer (environ 8), deux formes de silicium dissous existent et sont disponibles pour les diatomées, c'est l'acide orthosilicique (H_4SiO_4) qui est utilisé par les diatomées, celui-ci est la forme prédominante dans les océans (Del Amo & Brzezinski, 1999). L'espèce très particulière de diatomée *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin, dont l'habitat naturel sont les eaux saumâtres côtières qui peuvent montrer de très fortes valeurs de pH (disponibilité accrue en $SiO(OH)_3^-$), semble s'être adaptée à ces conditions extrêmes (Del Amo & Brzezinski, 1999). L'absorption du silicium est un mécanisme actif chez les diatomées permettant de pallier les faibles teneurs dans le milieu. Ce transport actif fait intervenir des transporteurs ioniques Na^+ pour absorber cette molécule neutre qu'est le H_4SiO_4 (pour une revue détaillée des mécanismes d'absorption du silicium par les diatomées, voir Martin-Jézéquel et *al.*, 2000). En effet, des transporteurs de silice, appelés SIT, ont été retrouvés sur leur membrane et sembleraient propre aux diatomées.

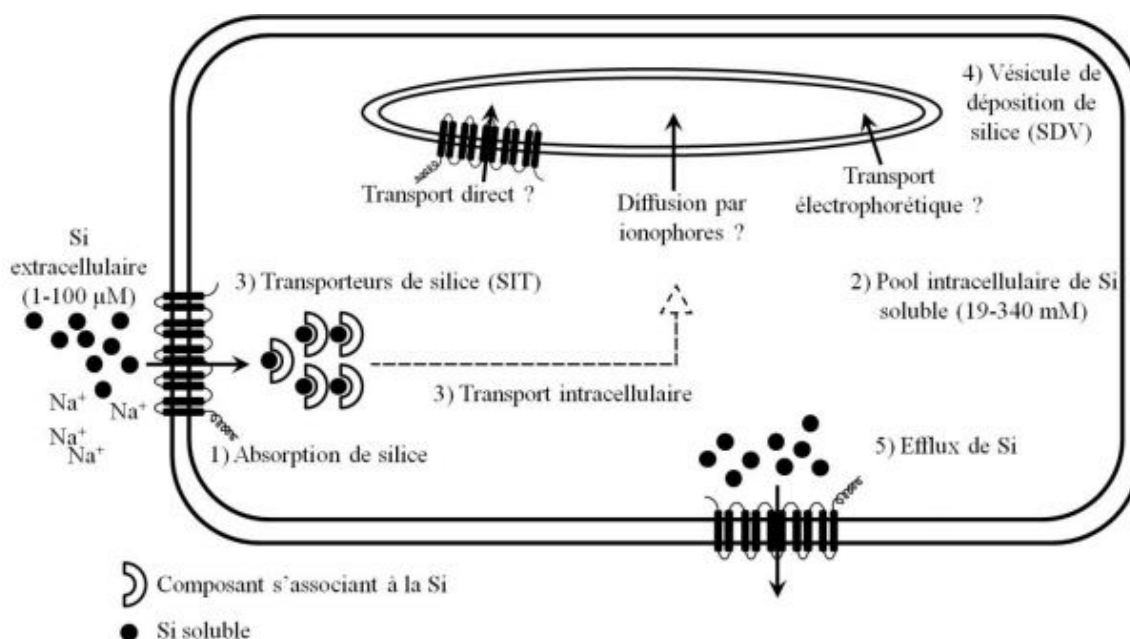


Figure 7. Schéma du métabolisme du silicium (Si) chez les diatomées. 1) Le Si extracellulaire (acide silicique) est co-transporté avec le sodium (Na^+) à travers la membrane plasmique grâce à des transporteurs de Si (SIT). 2) L'acide silicique à des niveaux sursaturés est maintenu sous une forme soluble en s'associant à des composants ayant une affinité pour la silice. 3) L'acide silicique est transporté au travers du cytoplasme vers la vésicule de dépôt de silice (SDV) ou il est polymérisé en silice et incorporé à la nouvelle paroi cellulaire. 4) Le mécanisme par lequel l'acide silicique entre dans la SDV est inconnu, mais pourrait se faire via un transport direct par les SIT, une diffusion par ionophores ou un transport électrophorétique. 5) L'efflux d'acide silicique a lieu également via les SIT permettant un contrôle de la concentration en Si intracellulaire. Redessiné d'après Thamtrakoln (2006).

5.2. Le concept de limitation nutritive

Les conditions de croissance des diatomées semblent être primordiales à la sédimentation massive des cellules. Qu'il s'agisse de l'intensité lumineuse (Janknegt et *al.*, 2009), du pH (Hervé et *al.*, 2012), de la disponibilité en nutriments (e.g en azote (Shifrin & Chisholm, 1981), en fer (De La Rocha et *al.*, 2000) ou silicium (Martin-Jézéquel, 1992)) ou les conditions de croissance des diatomées influent sur leur composition biochimique et leur flottabilité (Richardson & Cullen, 1995).

En effet, dans les conditions optimales, les diatomées absorbent les nutriments dans des rapports stoechiométriques théoriques $\text{C/N/P} = 106/16/1$ (Redfield et *al.*, 1963) de même que de l'acide silicique dans les rapports $\text{Si/N} = 1$ et $\text{Si/C} = 0,09-0,13$ (Brzezinski, 1985). La disponibilité du CO_2 ne constitue pas un facteur limitant pour la croissance phytoplanctonique dans l'Océan (Goldman, 1999). En revanche, des limitations par la disponibilité des éléments biogènes associés (N, P, Si) sont communément reportées. Dans ces conditions, les rapports C:N:P:Si du phytoplancton qui doit s'adapter pour faire face à

une limitation par un ou plusieurs sels nutritifs sont généralement différents des rapports de Redfield et Brzezinski.

Les diatomées, tributaires de l'acide silicique pour la construction de leur frustules, peuvent être limitées par la disponibilité de cet élément. Ce dernier est en effet généralement sous saturé dans la colonne d'eau, ses apports provenant essentiellement du lessivage des sols et du dépôt atmosphérique (Moore et *al.*, 2002).

Chapitre II

Matériels et méthodes

CHAPITRE II: MATÉRIÈLE ET MÉTHODES

1. Le milieu

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

1.1. La situation géographique du bassin versant de Seybouse

Le bassin de Seybouse est un bassin exoréique situé dans la région Nord-Est de l'Algérie occupant une superficie de 6471 km² s'étend sur 240 km, couvrant au total environ de 0.288 % de la superficie de l'Algérie (Fig. 8), suivant une disposition sensiblement Sud-Ouest–Nord-Est, des confins des Garaet El Tarf et Guelif au Sud, jusqu'à la mer au Nord. L'oued Cherf prend naissance dans les Hautes Plaines (Berriche et Ain Babouche) et rencontre à l'Ouest de Guelma, l'oued Bouhamdane qui coule Sud-Ouest - Nord-Est, le long du versant Sud-tellien. Ces deux cours d'eau donnent lieu à l'oued Seybouse qui s'écoule d'Ouest en Est jusqu'à sa confluence avec l'oued Mellah, affluent issu du versant septentrional bien arrosé des Monts de Medjerda. Depuis, Seybouse change de direction pour rejoindre, plus au Nord, la mer Méditerranée, après avoir traversé la plaine côtière, comprise entre Dréan et Annaba (**Mebarki A., 1982 et 1984**). La majorité des apports de l'oued Bouhamdane sont captés par le barrage de Hammam Debagh alors que les eaux d'oued Cherf supérieur sont exploitées par le barrage de Foum El Khanga.

Le bassin de Seybouse couvre 68 communes dans 7 Wilaya (Fig. 9): Annaba, Tarf, SoukAhras, Skikda, Guelma, Oum el Bouaghi, Constantine, ses eaux représentent une source fondamentale de vie dans la région (**Cahiers de l'agence A.B.H. 1999**).

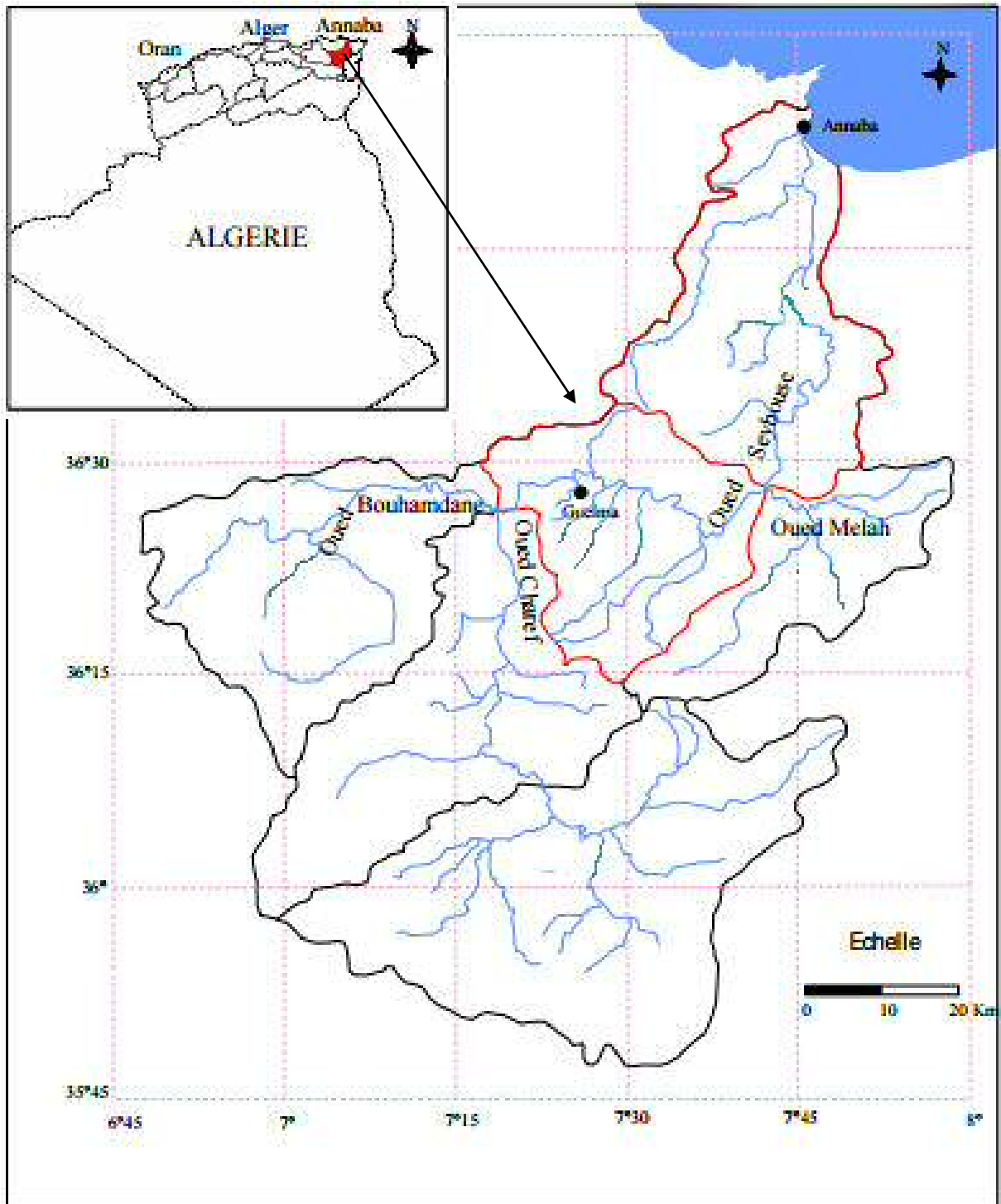


Figure 8. Carte de situation géographique du bassin de Seybouse (ABH, 2009).



Figure 9. Carte du découpage administratif du bassin versant de la Seybouse (Cahiers de l'agence A.B.H. 1999).

Le bassin de Seybouse est généralement divisé en 6 sous-bassins. Nous pouvons distinguer trois sous bassins principaux (Fig. 9) (Blayac.1912):

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

1.1.1. Sous-Bassin de Bouhamdane

Il est traversé par oued Bouhamdane dont la longueur est estimée à 37,49Km (Fig. 9), qui est alimenté par plusieurs affluents dont les principaux sont:

- Oued Zenati 52,40 Km,

- Oued Dardar 10,53 Km,
- Oued Sabath 10,86 Km,
- Oued El Aria 10,79 Km. (Cahiers de l'agence A.B.H. 1999).

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

1.1.2 Le Bassin de Guelma

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

- Oued Boumia 12,70 Km,
- Oued Bou Sorra 16,32 Km,
- Oued El Maiz 10,16 Km,
- Oued Helia 18,41 Km,
- Oued Bou Djedra 10,07 Km. (Fig. 9) (Cahiers de l'Agence A.B.H.1999).

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

1.1.3. Le Bassin du Mellah

Son cours est principalement formé par la réunion de l'oued Sfa, Cheham et oued Ranem. Ce dernier porte le nom de oued R"biba, Sekaka avant de recevoir les eaux de l'oued Rhirane formé à son tour par la réunion oued Hammam et oued R"biba. Au Nord-Est, les oueds Bou Redine et maaza forment oued El Mellah en aval. Oued Ghanem (considéré comme le principal affluent de Mellah) se salit en traversant les terrains gypseux de la région d'Oued Cheham qui est peu perméable en saison sèche (Fig. 9).

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

1.1.4. Le Bassin de la basse Seybouse

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

- Oued Ressoul: 17,56 Km.
- Oued Dardara: 25,56 Km.

- Oued Frarah: 12,76 Km.
- Oued Boudjemaa: 17,71 Km. (Cahiers de l'Agence A.B.H.1999).

1.2. Le réseau Hydrographique

Oued Seybouse est le deuxième grand oued en Algérie après l'Oued Chelif, il draine un vaste bassin versant d'une superficie 6471 km² pour une longueur de 240 km et un débit annuel de 441 millions de m³ (Sayad, L., 2015).

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 où le réseau hydrographique est rarement adapté à la structure (Fig. 9, 10): les oueds sont torrentiels, le profil en long est irrégulier et tendu, assurant l'évacuation rapide des eaux. 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 S., 1982).

Il résulte de la confluence de l'oued Charef et l'Oued Bouhamdane dans la région de Guelma, passant par Chihani et la plaine d'Annaba où l'écoulement devient régulier et lent et recevant l'Oued Meboudja avant de se jeter finalement dans la Méditerranée (Fig. 9, 10).

Selon l'Agence des Bassins hydrographiques (ABH, 2002), le débit est très variable selon la pluviométrie de l'année. La pluviométrie reçue par le bassin versant varie de 450 à 735 mm par an selon les sous bassins. Par exemple, durant l'année sèche 2002, le débit annuel s'est abaissé jusqu'à 5 m³/s (Ounissi M., 2004). Les données de l'année 1976 permettent de retenir un débit moyen annuel de 15 m³/s, ce qui correspond à un flux de l'ordre de 500 millions m³/an (ABH, 2002). Le débit moyen annuel de la Seybouse et de ses principaux affluents, s'accroît progressivement d'amont en aval (Mirbek, 2002). Les eaux de l'oued recèlent un mélange d'apports pluviométriques, domestiques, industriels et agricoles (Khaled-Khodja. S, 2004).

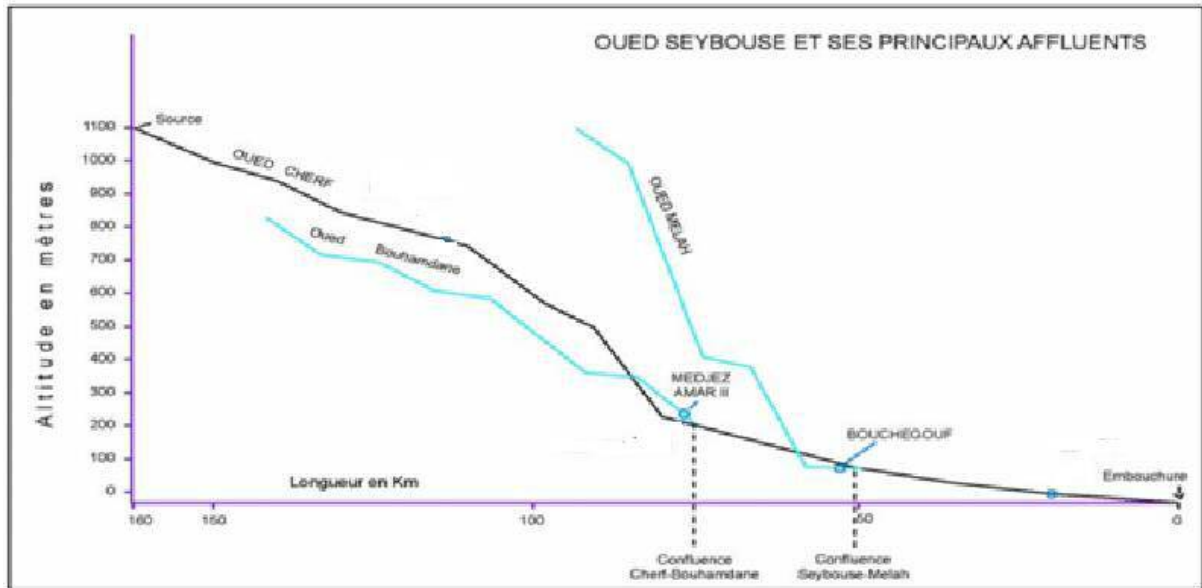


Figure 10. Profil en long de l'Oued Seybouse (d'après Ghachi A., 1986).

1.3. Anthropisation et occupation du sol

1.3.1. Population:

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

1.3.2. Agriculture:

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

1.3. 3. Barrages et irrigation

Le bassin de la Seybouse compte cinq (5) Barrages d'une capacité de 400 millions m³ et 64 retenues collinaires, deux sont classées en Barrage de catégorie 1 (grands Barrages), d'une capacité totale de 377 hm³ et qui peuvent régulariser 110 hm³. Les trois autres font partie de la catégorie 2 (moyens Barrages) (Tab. 2). (AHB1999).

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

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

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

1.3.4. L'industrie

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

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

L'ensemble des rejets urbains et industriels se font directement dans les oueds, sauf celui de l'usine ASMIDAL qui envoie ces rejets au niveau de la mer (Aimène, 2007; Gouiz, 2006). L'industrie chimique est l'un des secteurs les plus consommateur d'eau en particulier pour la fabrication d'engrais chimiques à usage agricole. Le complexe

d'Asmidal d'Annaba, par exemple utilise quotidiennement plus d'un Million de m³ d'eau (Fertial, com. pers. 2007) et qui sera rejeté par la suite dans l'environnement.

1.3.5. Les effluents urbains

Le traitement des eaux usées fait encore défaut dans la plupart des zones urbaines situées le long des côtes, environ 60% des déchets urbains rejetés en Méditerranée ne sont pas encore traités cependant que les frais de santé et autres pertes économiques, en particulier dans les zones touristiques du fait de la contamination des eaux côtières, sont plus élevés que l'investissement nécessaire pour atteindre une qualité acceptable du rejet des eaux usées (MEATT/PNUE, 1994). Les eaux à usages domestiques (de lavabo, de bain et de douche, de lave vaisselle), les apports physiologiques sont essentiellement les matières fécales et les urines humaines. Environ 30- 45 kg de matières fécales humides sont produites par personne et par année, soit 10-15 kg de matières sèches fécales (Lentner et *al.*, 1981). Selon Kafi-Benyahia. (2006), la production journalière moyenne par habitant d'urine et de matières fécales est respectivement de l'ordre de 1 060 ml /hab/j et 112 g /hab/j . D'autre part, Almeida et *al.*, (1999) donnent les masses de matières en suspension, de matières organiques et azotées pour 1ml d'urine et 1g de matière fécale (Laak, 1974, Seigrist et *al.*, 1976). On peut remarquer par ailleurs que l'urine constitue une source principale de matières azotées.

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

1.3.6. Le couvert végétal

Selon Dubreuil et Guiscafre (1974), la végétation intervient sous son aspect de couverture du sol, plus ou moins modifiée sous l'influence de l'homme. Deux classifications sont utilisées pour étudier le taux de recouvrement de la végétation: la classification de Tricart (1968) et celle de Dubreuil et Guiscafre (1974) développée au sein de l'ORSTOM. La méthode de Tricart (1968) prône la classification du couvert végétal par ordre de densité (ou d'efficacité) décroissante. Celle-ci aboutit pour l'ensemble du bassin de la Seybouse aux résultats suivants, élaborés à partir de la carte internationale du tapis végétal au 1/1000 000 feuilles Tunis-Sfax et Alger sur le bassin de l'oued Seybouse (Mebarki, 2005) (fig.11):

- **Surfaces bien protégées:** le couvert forestier et les prairies. Les forêts de Chêne liège et de chêne vert se localisent préférentiellement dans la zone nord-tellienne mais également dans le bassin sud-tellien de l'oued Mellah (zone de Mechroha et Ain Seymour).

Dans la zone sud-tellienne, c'est le pin d'Alep qui occupe les zones forestières. D'après **Mebarki (2005)**, ces deux formations occupent moins de 20 % de la surface dans les bassins de l'Algérie orientale. La majorité de ces surfaces bien protégées est localisée dans les zones formant les reliefs qui constituent les lignes de partage des eaux entre le bassin de la Seybouse et les bassins côtiers constantinois, le bassin inférieur de la Seybouse maritime, le bassin de l'oued Mellah et le bassin de l'oued Bouhamdane;

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

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

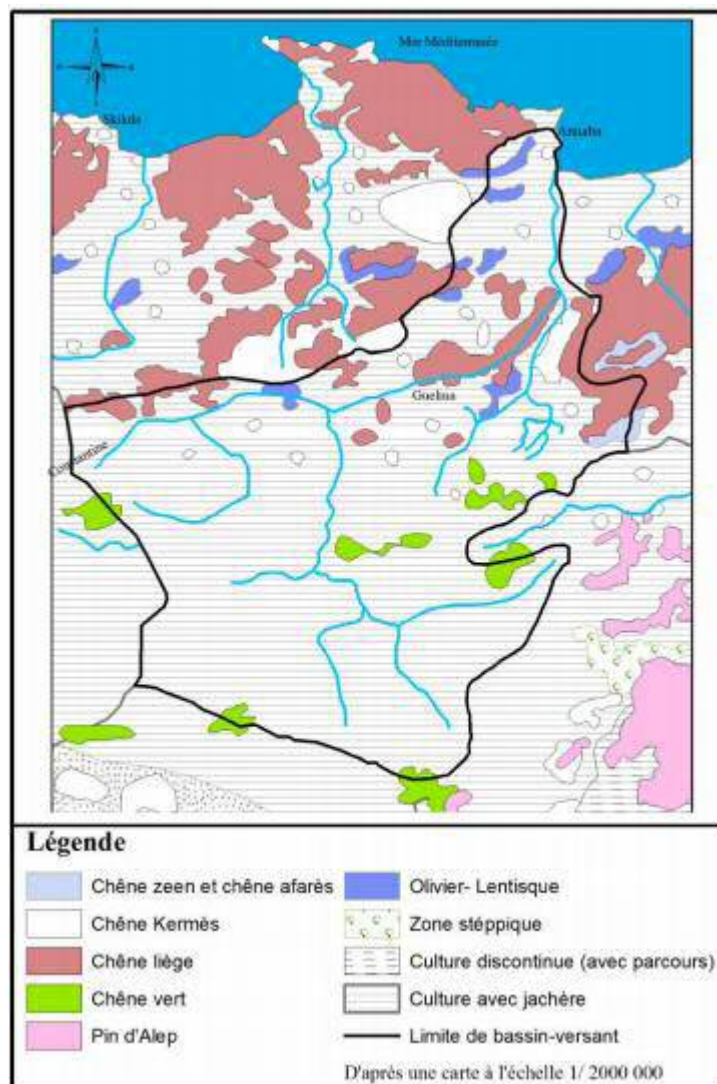


Figure 11. Couvert végétal du bassin de l'oued Seybouse (d'après **Mebarki, 2005**).

Globalement, la zone tellienne est le domaine de la forêt de chêne vert et de chêne liège, plante calcifuge qu'on trouve sur les sommets gréseux alors que le domaine atlasique, est celui du domaine de pin d'Alep et de genévriers rouges. La zone des Hautes Plaines est le domaine de la céréaliculture associée à l'élevage. Le bassin amont de l'oued Cherf est très dénudé, alors que dans le Bas-Cherf, zone de transition avec le Tell, la végétation est plus diversifiée (Fig. 11).

1.2. La géologie

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

1.2.1. La basse Seybouse

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

A. Formations métamorphiques

Le paléozoïque

Il affleure à l'ouest dans les massifs de l'Edough, de Bellieta et de Boukhadra. Il est constitué essentiellement par des gneiss ceintures par des micaschistes (Hilly, 1962 ; Caby, 1992 ; Ahmed Said, 1993). On peut distinguer les trois séries superposées suivantes:

- La série inférieure, représentée par des gneiss riches en biotite et sillimanite d'une épaisseur 70m, cette formation constitue le cœur de l'anticlinal du massif l'Edough ;
- La série intermédiaire, caractérisée par des schistes et des micaschistes riches en biotite, muscovite et du grenat et par fois avec des feldspaths souvent visibles à l'œil nu.
- La série supérieure, constituée par un ensemble de gneiss ocellés, schistes satinés, micaschistes, grenat et amphibolites.

B. Formations sédimentaire

a – Le Mésozoïque

Dans la partie sud, au niveau de Guelma et de Bouchegouf est constitué par :

- le trias, formé par une association de dolomies, calcaire dolomitiques et de gypse
- le Jurassique, représenté par des dolomies noires et des schistes calcaires ;

- le Crétacé qui comporte des calcaires dolomitiques riche en foraminifères et des débris de rudistes.

b- Le Cénozoïque : Il est représenté par:

- **Eocène inférieur** représente par une série transgressive formée par des calcaires massifs à faciès épinéritique ;

- **Oligocène** qui comporte des niveaux d'argiles numidiennes rencontrées dans le mont de Cheffia, au Sud-Est de Bouteldja et dans les djebels Koursi, Bourdim et Oum El-Agareb.

- **Mio-Pliocène** représenté par les faciès suivants :

* faciès fluviatil ; bien développé dans la plaine de Annaba, il est formé essentiellement de galet de sable et d'argile le long des Oueds ;

* faciès marin, caractérisé par des marnes bleues avec des intercalations calcaires ;

* faciès continentale : est lié aux dépôts des fosses d'effondrement. En effet la prospection par sismique réflexion a mis en évidence l'existence de deux fosses (SONATRACH, 1969 ; Srojexport, 1975).

- la fosse de Ben-Ahmed, orientée S-N.

- la fosse de Ben-M'hidi, orientée SW-NE.

c- Quaternaire

- **Quaternaire récent** : correspond à la basse et à la moyenne terrasse.

* La moyenne terrasse est représentée par des terrasses alluvionnaires des Oueds de 20m, correspond aussi à la terre cultivable (terre, argile, sable).

* Basse terrasse est formée par des alluvions du niveau des eaux actuelles des Oueds. Ces terrasses sont plus limoneuses que sableuses et sont parsemées de marécages.

1.2.2. La moyenne Seybouse

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

a. Trias: C'est la formation géologique la plus ancienne datée dans la région. Elle affleure uniquement à l'extrémité de Nador sous trois faciès :

● Trias inférieur: constitué d'argile d'aspect schisteux affleurant au Nord du massif de Nador.

● Trias moyen: formé de calcaires lités à cassures, contenant quelques bancs de calcaires vermiculés (calcaires à fucoides).

● Trias supérieur: se rencontre à l'Est de Dj. Debagh, caractérisé par des alternances de marne et de schiste de faibles épaisseurs.

b. Néritique: Il est caractérisé par un faciès Jurassique-Crétacé plus au moins karstifié. Il apparaît aussi sous forme de fenêtre au Djebel Mahouna, Djebel Debagh, Nador et plus à l'Ouest au Djebel Taya.

Jurassique. Les terrains du Jurassique sont représentés par des dolomies noires avec des schistes calcareux de faibles épaisseurs dans la région de Djebel Debagh.

Crétacé.

- Le Crétacé inférieur est représenté par des calcaires massifs ou lissés et de dolomie à Algues d'âge Aptien. On le rencontre à Hammam Bredâa et Djebel Debagh.
- Le Crétacé moyen est représenté par des calcaires massifs ou lithiques et calcaranites.
- Le Crétacé Supérieur est caractérisé par des niveaux calcaires dolomitiques riches en Orbitolines et des débris à Rudiste datant du Cénomaniens-Vraconien et d'épaisseur limitée.

C .Le Mio-Pliocène.

Les argiles à gypse grise probablement d'âge Massylien renfermant des intercalations marno-calcaires et de gypse en couches minces ou en masses litées. Les argiles rouges à conglomérats roulés rouges également témoignent de l'activité d'une phase d'érosion intense en milieu rubéfiant. La mollasse de Guelma bien développée au Sud est une épaisse série de grès jaunâtre friable rarement grossier avec des intercalations d'argiles marneuses grises ou jaune parfois gypseuses (Bechiri N, 2011).

D. Le Quaternaire. Il occupe le centre du sous bassin, il est représenté par :

Le Quaternaire ancien. Il s'agit de tufs et calcaire lacustre, le calcaire tuffacé de couleur grise ou blanc-rosée cet ensemble affleure au Sud de Guelma aux environs de Ben Djarah et aux alentours du village d'Héliopolis.

Le Quaternaire actuel. Il est représenté par les alluvions du lit de l'Oued Seybouse. (Bechiri N, 2011).

1.2.3. La haute Seybouse

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

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

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

1.3. La pluviométrie

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

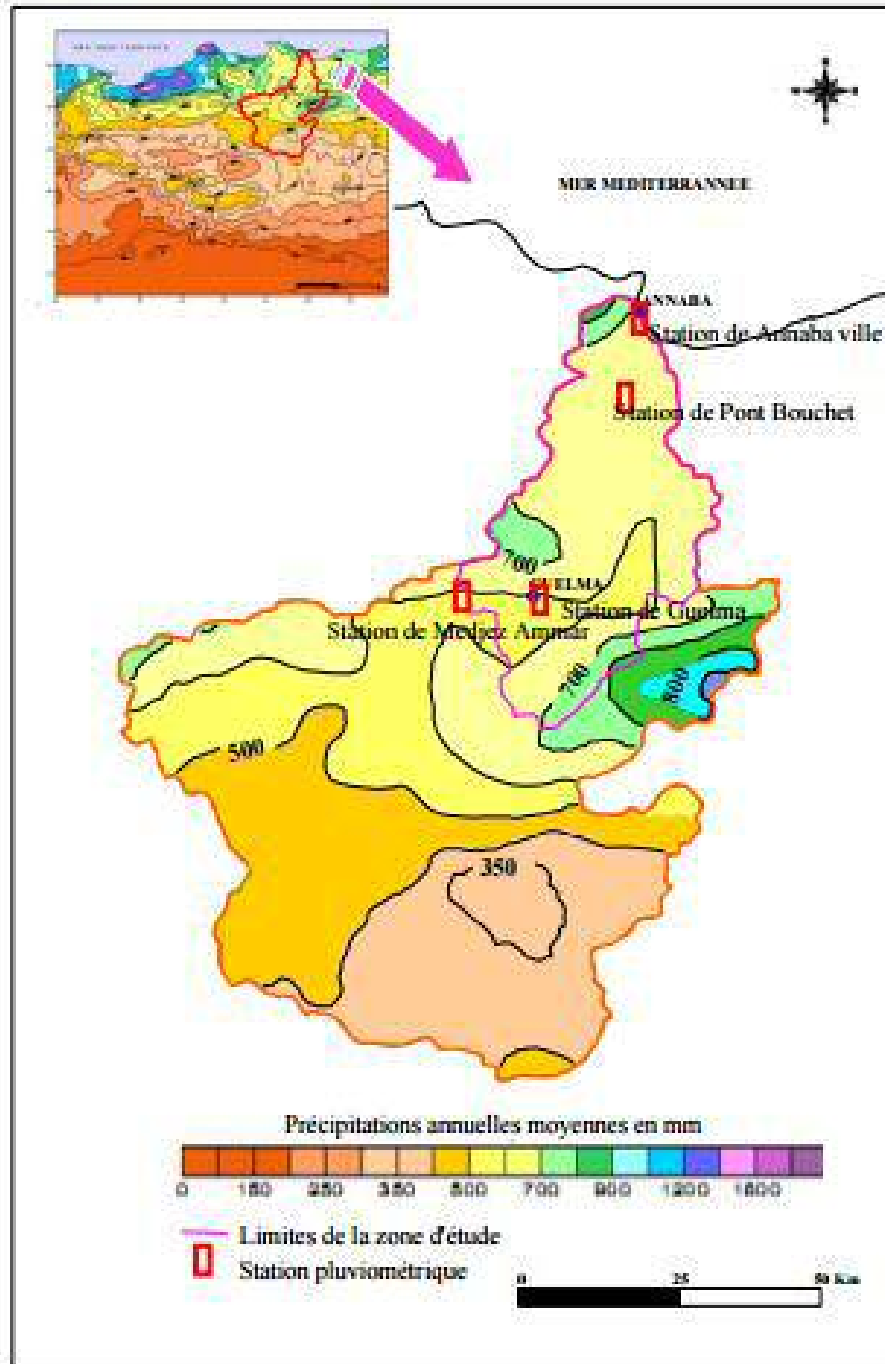


Figure: 12. Carte des précipitations annuelles moyennes de l’Est algérien (établie d’après A.N.R.H ., données moyennes de 60 ans, période du 1er septembre 1921 au 31 août 1960 et du 1er septembre 1986 au 31 août 1989), modifiée.

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

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

2. Echantillonnage et méthode d'analyse des éléments chimiques

2.1. Echantillonnage

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

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

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

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

Station 4 : A l'amont du barrage de Bouhamdane

Station 5 : A l'aval du barrage de Bouhamdane

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

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

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



Figure 13. Station 1 A l'amont 1 du Barrage de foug elkhanga (Oued Sbihi).



Figure 14. Station 2 A l'amont du barrage de foug elkhanga (Oued Sedrata).



Figure 15. Station 3: A l'aval du Barrage de foug elkhanga.



Figure 16. Station 4 : A l'amont du barrage de Bouhamdane.



Figure 17. Station 5 : A l'aval du barrage de Bouhamdane.



Figure 18. Station 6 : A l'amont de l'estuaire (station rivière).

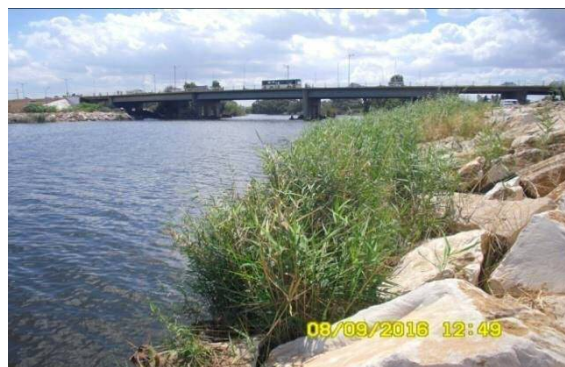


Figure 19. Station 7 : A l'aval de l'estuaire (embouchure).

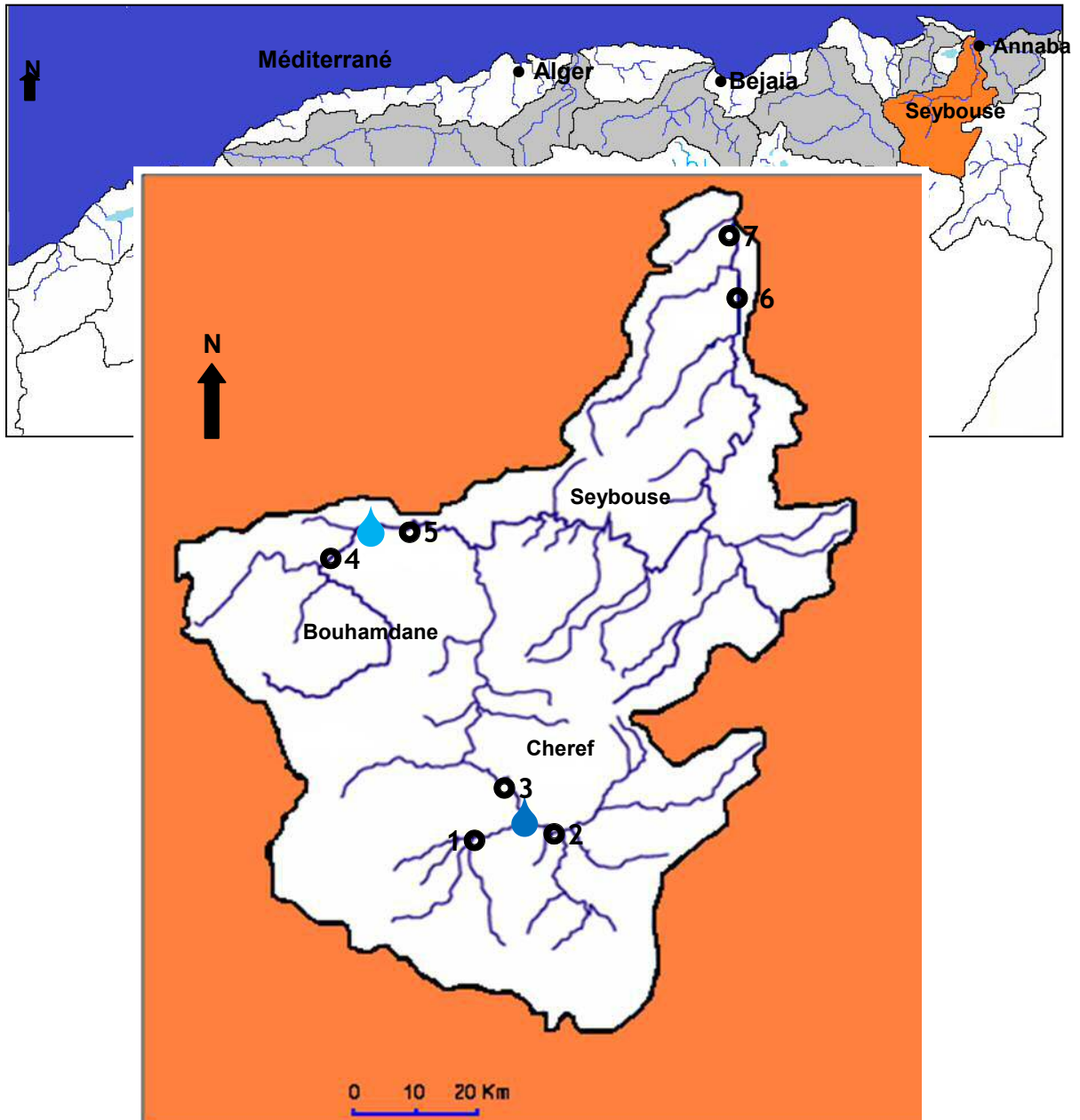


Figure 20: Carte géographique qui représente le bassin de Seybouse et les stations d'échantillonnage; ◆: Barrage Bouhamdane, ◆: Barrage Charef, ●: Stations **1**: Pont ksar sbihi (amont barrage charef 1), **2**: Zouabi (amont barrage charef 2), **3**: Aval barrage charef, **4**: Amont Barrage bouhamdane, **5**: Aval barrage bouhamdane, **6**: Amont estuaire (Station rivière), **7**: Embouchure.

Les relevés de température (°C) et de salinité (Practical Salinity Unit ou P.S.U) et la conductivité électrique en (ms/cm) et le total des solides dissous (total dissolved solids) en mg/l ont été effectués à l'aide d'un Multi paramètre wtw 1970i (Fig. 21).



Figure 21. Le Multi paramètre wtw 1970i.

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

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

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

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

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

2.2. Transport des échantillons

Après le prélèvement, les échantillons sont transportés immédiatement au laboratoire de recherche du département de biologie marine (Laboratoire des analyses biogéochimiques des environnements aquatiques (LABEA)), de l'Université Badji Moukhtar d'Annaba. Les échantillons prélevés sont conservés au froid dans les conditions préconisées par Rodier (2005).

3. Méthode d'analyse chimique

3.1. Dosage du Silicium

L'analyse est effectuée selon la méthode de Parsons et Strickland (1972). Le dosage colorimétrique est fondé sur la formation du complexe sili-comolybdique qui après réduction, donne une coloration bleue intense. On n'utilisera pas de flacons en verre mais exclusivement du plastique (polyéthylène, polypropylène), et ne jamais filtrer l'échantillon sur filtre en fibre de verre, pour éviter la contamination d'échantillons par le verre (Aminot et Chaussiped, 1983). Les teneurs sont données en micromole par litre ou μM .

Réactifs

Réactif 1 : Réactif au Molybdate

Pour 500 ml de réactif :

Dissoudre 4g de paramolybdate d'ammonium en poudre fine dans 300ml d'eau distillée. Ajouter 12ml d'acide chlorhydrique concentré ($d=1.18$) mélanger et compléter à 500ml de l'eau distillée. Cette solution conservée en flacon de polyéthylène et à l'abri de la lumière, reste stable plusieurs mois.

Réactif 2 : Réducteur

Ce réactif réducteur est obtenu en mélangeant successivement les réactifs ci-dessous dans l'ordre et les proportions suivantes :

- 100ml de solution de métol-sulfite.
- 60ml de solution d'acide oxalique.
- 60ml d'acide sulfurique à 50%.
- Compléter avec l'eau distillée pour obtenir 300ml de solution. Cette solution doit être préparée juste avant l'utilisation et ne se conserve pas.

Solution de Metol-Sulfite

Dans 500ml d'eau distillée :

Dissoudre 6g de sulfite de sodium anhydre.

Ajouter 10g de métol (sulfate de p-méthylaminophénol).

Cette solution se détériore rapidement et doit être renouvelée toutes les deux à trois semaines.

Solution d'Acide Oxalique

Agiter 50g d'acide oxalique avec 500ml d'eau distillée, cette solution est stable indéfiniment.

Solution d'Acide Sulfurique à 50% en volume

Ajouter avec précaution et en mélangeant au fur et à mesure 250ml d'acide sulfurique concentré ($d=1,18$) à 250ml d'eau distillée.

3.2. Mode Opérateur

La température des échantillons doit être comprise entre 18 et 25°C.

- Introduire dans une éprouvette en polyéthylène de 50ml, 10ml de réactif1.
- Ajouter 25ml d'échantillon, boucher et mélanger.
- Attendre 10 min et ajouter le réactif 2 pour compléter à 50ml et mélanger aussitôt.
- Attendre 2 à 3 heures et mesurer l'absorbance.

Chapitre III

Interprétation des résultats

CHAPITRE III. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. Interprétation des résultats

1.1. Environnement physique

Les résultats de mesures des différents paramètres sont configurés ci-dessous (Tab. 4). Leur présentation graphique pour chacun des paramètres permet de mieux montrer les éventuelles variations et peuvent faciliter les interprétations.

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

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

Tableau 5: Les paramètres physiques mesurés in-situ en saison sèche et humides, les minimums, les maximums et les moyennes sont aussi calculés.

| | | T (°C) | S (P.S.U) | CE (us/cm) | Débit (m ³ /s) |
|------------------------|---------------|--------|-----------|------------|---------------------------|
| Saison sèche | Min. | 15 | 0,1 | 735 | 0 |
| | Max. | 26,7 | 4,6 | 8 120 | 1 |
| | Moy. | 20,22 | 1,51 | 3102 | 0,34 |
| Saison humide | Min. | 12,9 | 0,2 | 858 | 0,5 |
| | Max. | 21 | 1,9 | 3780 | 7 |
| | Moy. | 16,84 | 1,17 | 2519 | 2 |
| Période d'étude | Moy. générale | 18,53 | 1,34 | 2815 | 1,17 |

1.1.1. La température

Du point de vue physico-chimique, la température joue un rôle primordial dans la solubilité des gaz et des sels, donc sur la conductibilité. Elle permet de différencier entre les eaux qui circulent en profondeur et celles qui circulent près de la surface (Philippo *et al.*, 1981). La température est le facteur cinétique le plus important de toutes les réactions chimiques et biologiques dans les milieux aquatiques, une température supérieure à 15°C favorise le développement des microorganismes, intensifie la biodégradation et les mauvaises odeurs (Beaudry et Henry, 1984).

La température de l'eau de l'Oued Seybouse durant la période d'étude est d'une moyenne de 18,53 °C, un maximum de 26,7 et un minimum de 12,9°C.

Ainsi nous constatons que les valeurs élevées de la température (25,4, 26,7 C°) sont enregistrés en période sèche.

Les températures mesurées tout au long du continuum aquatiques variant considérablement mais elles ne dépassent pas les normes des eaux de surfaces 30°C (Rodier, 1996). (Fig. 22, Tab. 4, Tab. 5).

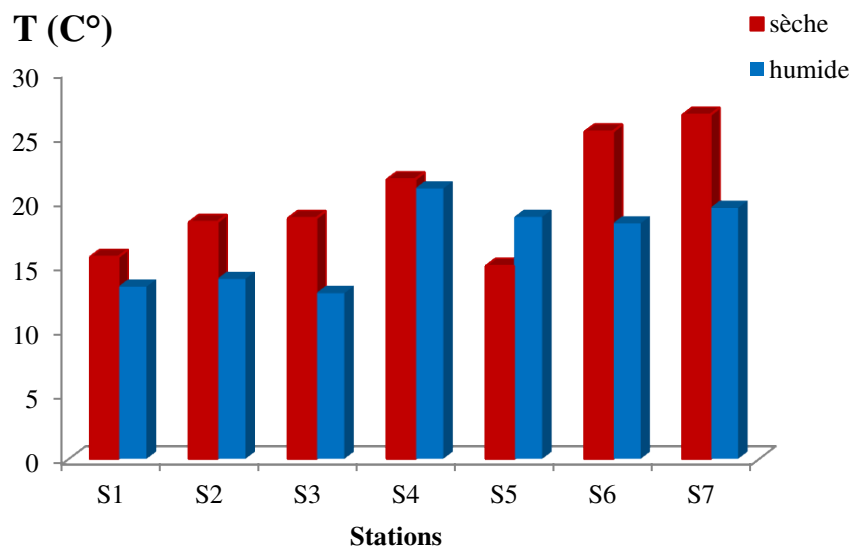


Figure 22. Variations de la température en amont et en aval des barrages, en amont et en aval de l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016.2017.

1.1.2. La salinité

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

La salinité des eaux d'oued Seybouse varie durant la période d'étude en moyenne de 1,51 P.S.U pour la saison sèche et 1,17 P.S.U en période humide. C'est la station embouchure qui présente les teneurs en salinités les plus importantes variant entre 4,6 psu (saison sèche) et 1,9 psu (saison humide) avec une moyenne de 1,34 psu. Les valeurs élevées sont en effet le résultat des intrusions marines dans l'Oued lorsque le débit s'affaiblie. Les pénétrations marines ne se font sentir véritablement qu'en période sèche. (Fig. 23, Tab. 4, Tab. 5).

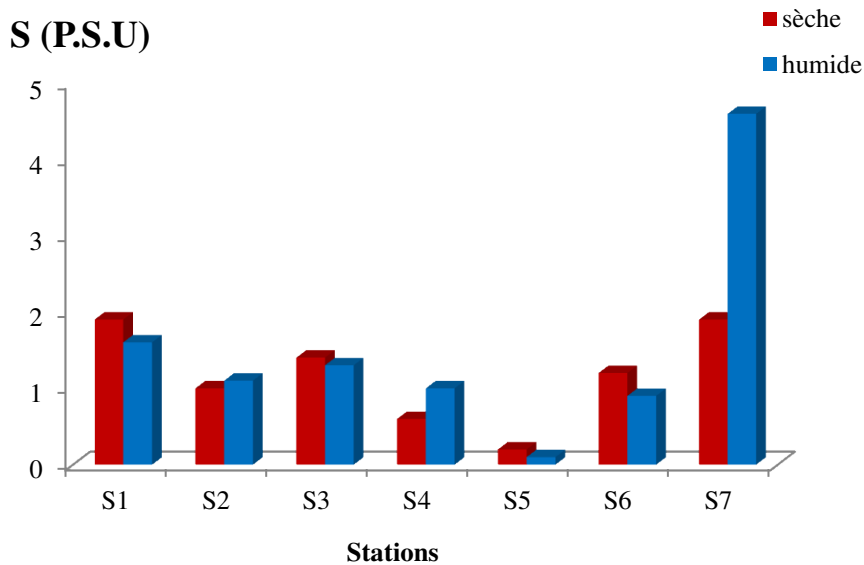


Figure 23. Variations de la salinité en amont et en aval des barrages, en amont et en aval de l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016.2017.

1.1.3. La Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. La plupart des sels minéraux en solution sont de bons conducteurs. Par contre, les composés organiques sont de mauvais conducteurs. La conductivité électrique standard s'exprime généralement en millisiemens par centimètre (mS/cm) à 20 °C. La CE d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Beaudry et Henry, 1984).

Les eaux d'Oued Seybouse présentent des valeurs de conductivité électrique fluctuent dans l'intervalle [735 - 8120] $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec un moyenne de 2810 $\mu\text{S}/\text{cm}$ durant la période d'étude. La conductivité électrique est liée à la présence d'ions dans l'eau. Elle augmente avec la concentration des sels ioniques dissous.

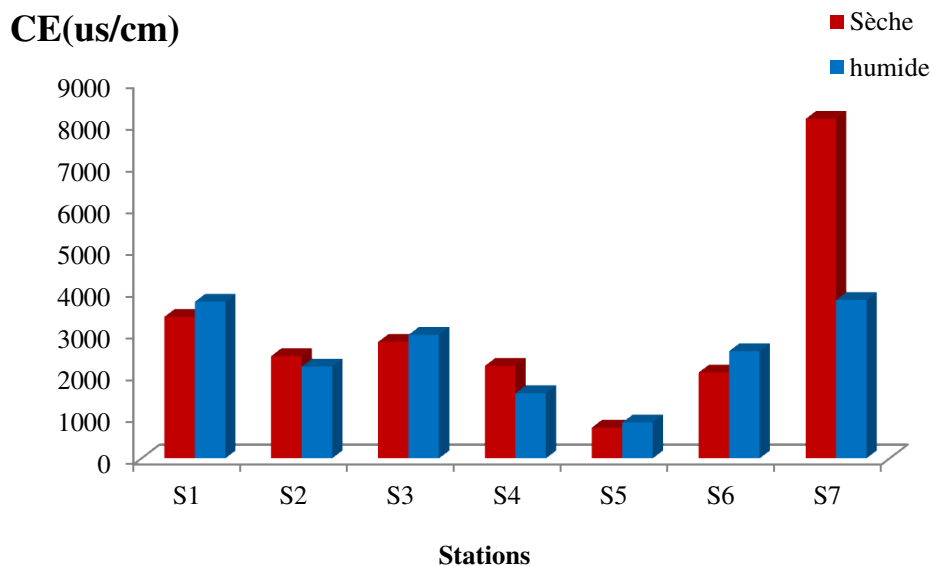


Figure 24. Variations de la conductivité électrique en amont et en aval des barrages, en amont et en aval de l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016.2017.

Certaines valeurs de la conductivité électrique des eaux de l'Oued Seybouse sont supérieures à 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, donc ces eaux sont de minéralisation élevée.

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

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 J., 2005) et c'est le cas de nos eaux.

Pour les eaux de surface continentale les normes algériennes donnent un seuil à ne pas dépasser qui est de 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (J.O.R.A, 1993). Dans le cas des eaux de l'Oued Seybouse et dans l'ensemble des stations échantillonnées ce seuil est largement dépassé. Ces eaux seraient donc impropres à l'irrigation des terres agricoles.

1.1.4. Le débit

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

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

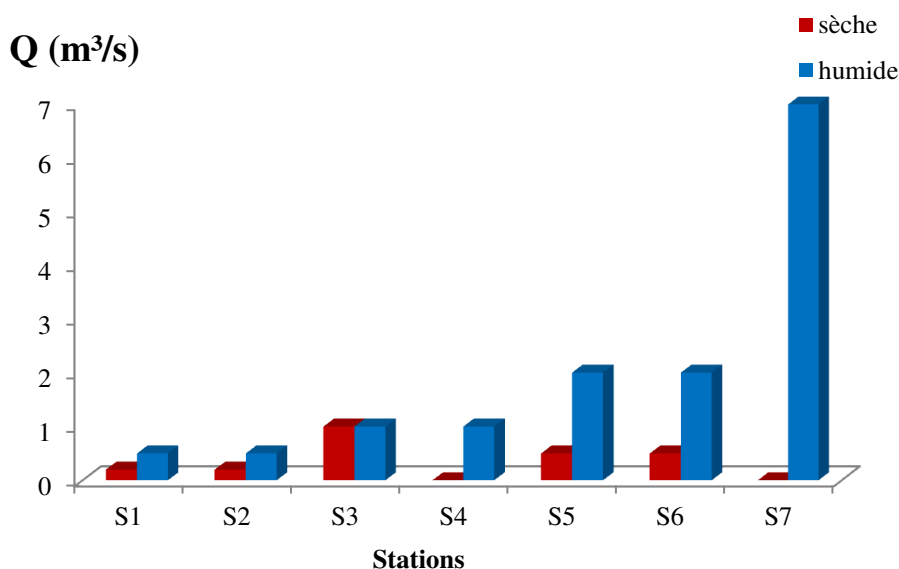


Figure 26. Variations de débit en amont et en aval des barrages, en amont et en aval de l'estuaire de Seybouse durant l'année 2016.2017.

Durant la période d'étude, le débit d'oued Seybouse est très variable avec des valeurs extrêmes de $0 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ en période sèche jusqu'à $7 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ pendant la période humide (Fig. 26). Les débits enregistrés durant la saison humide sont toujours supérieurs à ceux enregistrés en saison sèche dans toutes les stations. A l'amont du barrage de foug elkhanga, le débit varie entre 0,2 et $0,5 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ avec un débit moyen de $0,35 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ alors qu'à l'aval du barrage le débit moyen de $1 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. A l'amont du barrage de Bouhamdane le débit varie entre 0 et $1 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ avec un débit moyen de $0,5 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ alors qu'à l'aval du barrage le débit moyen est $1,25 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$.

A l'amont l'estuaire (station rivière) le débit varie entre 0,5 et $2 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, avec un débit moyen de $1,25 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ alors qu'à l'aval de l'estuaire (station embouchure) le débit moyen est $3 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (Fig. 26).

1.2. Distribution de Si dans le bassin versant de Seybouse

La principale source d'acide silicique des cours d'eau et des écosystèmes côtiers est liée à l'altération des roches des bassins versants. Les concentrations en Silicium varient ainsi en fonction de facteurs environnementaux tels que le type de roche (la géologie), le relief, la végétation et les temps de résidence de l'eau dans le sol et dans le lit de la rivière, ainsi que la température moyenne du bassin versant.

La solubilité de Silicium est liée à la température, au pH et à la composition des minéraux, la concentration saturante allant de $180 \mu\text{M}$ à 0°C à $5000 \mu\text{M}$ à 25°C (Rodier, 2009).

1.2.1. Barrage de foug elkhanga

Les teneurs en $(\text{SiOH})_4$ des eaux du barrage de foug elkhanga construit sur la branche d'oued Cheref varient considérablement entre saison sèche et humide et entre amont et aval du barrage. En saison sèche des fortes teneurs en Silicates variant en effet entre 168 et $153 \mu\text{M}$ en amont 1 et amont 2 respectivement avec une moyenne de $161 \mu\text{M}$, en aval les concentrations sont évaluées seulement à $83 \mu\text{M}$ (Fig. 27; Tab. 6). En période humide les teneurs en $(\text{SiOH})_4$ oscillent entre 75 et $126 \mu\text{M}$ avec une moyenne de $100 \mu\text{M}$ en amont, par contre les teneurs ne représentent que $85 \mu\text{M}$ en aval du barrage (Fig. 27; Tab. 6).

On constate que les teneurs des silicates s'avèrent toujours inférieures en aval qu'en amont et par conséquent il y a une rétention du Silicium au niveau du barrage quelque soit la période, en effet, le taux de rétention varie entre $15 \mu\text{M}$ (15%) en saison humide et $78 \mu\text{M}$ (49%) en saison sèche (Tab 6). Donc il est important de souligner qu'à la sortie du

barrage les teneurs de Silicium sont modifiées (83 μM en saison sèche et 85 μM en saison humide) avec une moyenne s'élevant à 84 μM durant toute la période d'étude (Fig. 27; Tab. 6).

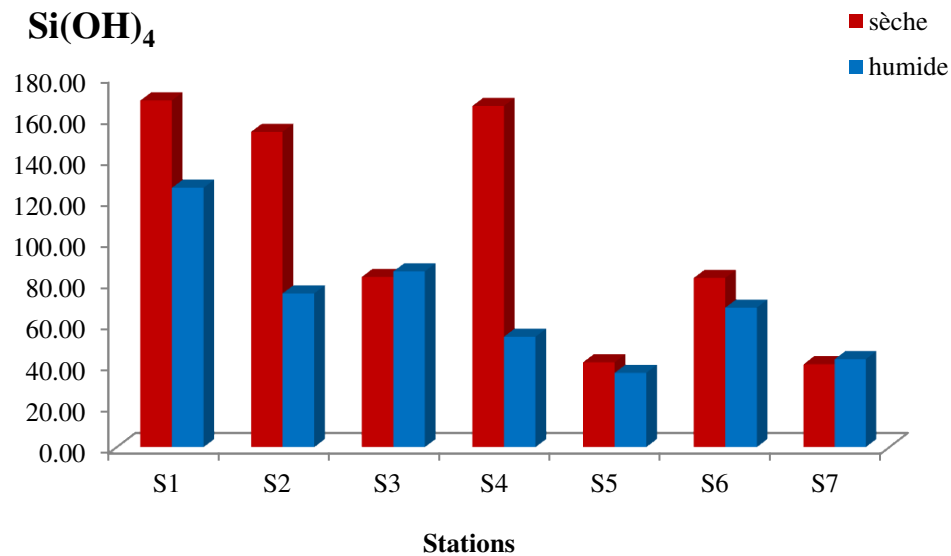


Figure 27. Variations des teneurs de Silicium en amont et en aval des barrages, en amont et en aval de l'estuaire d'oued Seybouse durant la période d'étude.

1.2.2. Barrage de Bouhamdane

Les teneurs en Si(OH)_4 des eaux introduites au barrage de Bouhamdane construit sur oued Bouhamdane sont élevées 166 μM durant la saison sèche, alors que les teneurs enregistrées en aval ne représentent que 1/4 (41 μM). En saison humide les concentrations en Si(OH)_4 semble moins importantes et varient seulement entre 54 μM en amont et 36 μM en aval du barrage (Fig. 27; Tab. 6). Il est à noter que le sous bassin de foug elkhanga est plus riche en Silicium que celui de Bouhamdane.

Tout comme le barrage de Foug Elkhanga, le barrage de Bouhamdane suit le même comportement vis-à-vis les ions Si(OH)_4 ou il y a effectivement une rétention du Silicium au niveau du barrage durant toute la période d'étude, en effet, le taux de rétention varie entre 18 μM (33%) en saison humide et 125 μM (75%) en saison sèche (Tab 6). Il est à mentionner que le taux de rétention des silicates au niveau du barrage de Foug Elkhanga est supérieur en moyenne que celui de barrage de Bouhamdane ce qui peut être expliqué par son temps de séjours relativement long.

Les teneurs des Si(OH)_4 des eaux de la sortie de barrage de Bouhamdane ont diminué comparées aux valeurs d'entrée du barrage (36 μM en saison humide et 41 μM en saison sèche) avec une moyenne de 39 μM . On constate que les Silicates ont été soumis à

une forte rétention dans le barrage (Fig. 27; Tab. 6). En règle générale les barrages agissent comme des filtres en piégeant de grandes masses de Silicium dissous.

Les masses de SiO_4 déjà réduites naturellement dans nos rivières 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 à des taux variant en moyenne entre 24 et 62% (Tab.6).

1.2.3. Estuaire

Au niveau de l'estuaire de Seybouse les concentrations des ions silicates ont fluctué remarquablement avec le cycle hydrologique, elles varient durant la saison sèche entre 82 μM à la station rivière (amont estuaire) et seulement 40 μM à la station embouchure (Fig. 27; Tab. 6). En période humide les teneurs en $(\text{SiOH})_4$ sont de l'ordre de 68 μM en amont de l'estuaire, par contre les teneurs ne représentent que 43 μM à la station embouchure (Fig. 27; Tab. 6).

Il est important de noter que la partie estuarienne de Oued Seybouse en temps qu'entité fonctionne comme véritable zone de piégeage et de consommation des ions $\text{Si}(\text{OH})_4$ durant toute la période d'étude, en effet, le taux de rétention varie entre 25 μM (37%) en saison humide et 42 μM (51%) en saison sèche (Tab 6). Il est à inscrire que Les eaux d'Oued Seybouse interceptées en amont par les deux grands barrages (Foum Elkhanga et Bouhamdane) qui sont affaiblies déjà en ions silicates, subissent d'avantage une rétention de cet élément au niveau de l'estuaire.

Les teneurs des $\text{Si}(\text{OH})_4$ des eaux à l'embouchure ont diminué comparées aux valeurs de l'amont de l'estuaire (43 μM en saison humide et 40 μM en saison sèche) avec une moyenne de 42 μM pour toute la période d'étude. On constate que les Silicates ont été soumis à une forte rétention dans les barrages et également dans l'estuaire pour aboutir finalement à des valeurs minimales de l'ordre de 42 μM à l'embouchure (Fig. 27; Tab. 6). 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.

Tableau 6. Teneurs des Silicates SiO₄ (μM) en amont et en aval des barrages, en amont et aval de l'estuaire et taux de rétention (R%). Rétention (-) ; production (+).

| SiO ₄ (μM) | Amont | Aval | Production/Rétention | Pourcentage de Production/Rétention | |
|-----------------------|-----------|------|----------------------|-------------------------------------|------------|
| Saison sèche | Barrage 1 | 161 | 83 | -78 | -49 |
| | Barrage 2 | 166 | 41 | -125 | -75 |
| | Estuaire | 82 | 40 | -42 | -51 |
| Saison humide | Barrage 1 | 100 | 85 | -15 | -15 |
| | Barrage 2 | 54 | 36 | -18 | -33 |
| | Estuaire | 68 | 43 | -25 | -37 |

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

Très généralement, les concentrations en Si(OH)₄ varient avec le cycle hydrologique de d'Oued Seybouse, on y constate de fortes valeurs pendant la période sèche par rapport a la saison humide peut être à cause de la température qui augmente l'évaporation et par conséquent augmente la concentration des silicates dans le bassin versant de Seybouse ou la température moyenne de est supérieure à 20 C°.

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

Le suivi des concentrations en Si(OH)₄ dans l' Oued Seybouse durant la période Septembre 2016 jusqu'à avril 2017 a permis d'estimer et d'évaluer le flux de Silicium introduit à la côte.

1.3.1. Flux de Silicium en amont et en l'aval des barrages

Même si ça été démontré qu'il y a une rétention du Silicium en terme de concentration au niveau des barrages (Tab. 6), l'ensemble des résultats en terme de flux ne montre pas une tendance bien claire. Le barrage de Foug Elkhanga reçoit un flux variant entre 57 et 89 t/an en saison sèche et humide respectivement et il déverse un flux semblable de 74 t/an, ce qui fait qu'il agit comme producteur de 16 t/an (29%) en saison sèche et un consommateur de 13 t/an (15%) du Silicium en période humide. Contrairement, le barrage de Bouhamdane agit comme un producteur de Silicium quelque soit la période. En saison sèche, le tributaire de Bouhamdane qui l'alimente se trouve à sec, donc le barrage ne reçoit aucun flux de silicium (0 t/an) durant cette période alors qu'il produit un flux de 18 t/an (100%). En saison humide il reçoit un flux de Silicium de 47 t/an et déverse 64 t/an comme s'il produit un flux de 16 t/an ce qui correspond à un pourcentage de 35%.

Il faut d'autre part souligner que le barrage Bouhamdane produit de grandes masses de Silicium en moyenne comparé à l'autre barrage en raison de lâchers qui se font régulièrement en période sèche pour des fins d'irrigation. Sur le plan quantitatif, les barrages reçoivent de 0 à 89 t/an de Silicium. Le flux libérés à l'aval varie entre un minimum de 18 t/an et un maximum de 75 t/an.

Tableau 7. Teneurs des Silicates SiO₄ (t/an) en amont et en aval des barrages, en amont et aval de l'estuaire et taux de rétention (R%). Rétention (-) ; production (+).

| SiO ₄ (t/an) | Amont | Aval | Production/Rétention | Pourcentage de Production/Rétention | |
|-------------------------|-----------|------|----------------------|-------------------------------------|-------------|
| Saison sèche | Barrage 1 | 57 | 73 | 16 | 29 |
| | Barrage 2 | 0 | 18 | 18 | 100 |
| | Estuaire | 36 | 0 | -36 | -100 |
| Saison humide | Barrage 1 | 89 | 75 | -13 | -15 |
| | Barrage 2 | 47 | 64 | 16 | 35 |
| | Estuaire | 120 | 264 | 144 | 121 |

1.3.2. Flux de Silicium en amont de l'estuaire et à l'embouchure

L'estuaire est une zone frontalière où l'eau douce rencontre l'eau de mer, ce milieu de transition joue un rôle important en tant que témoin dans les échanges entre les milieux continentaux et côtiers. Ces caractéristiques très complexes de l'estuaire changent remarquablement avec le cycle hydrologique, en effet, l'estuaire de Seybouse reçoit en saison sèche et humide un flux variant entre 36 et 120 t/an respectivement et il déverse un flux semblable allant de 0 à 264 t/an, ce qui fait qu'il agit comme producteur de 144 t/an (121%) en saison humide et un consommateur de 36 t/an (100%) du Silicium en période sèche. Le flux du Silicium au niveau de l'estuaire est très variable et contrôlé surtout par le débit qui est à son tour tributaire à la fois des précipitations et de la phase estuarienne.

2. Discussion

Ce travail vise principalement à estimer le transfert de Si dans le bassin versant de Seybouse aux eaux côtières et déterminer les effets des barrages et de la zone estuarienne sur les transformations biogéochimiques du Silicium depuis l'amont du bassin versant jusqu'à l'embouchure. L'examen des résultats permet de constater que les teneurs et les flux des ions silicates d'Oued Seybouse se trouvent fortement modifiées tout au long du continuum aquatique avant de rejoindre la mer. Avant d'aboutir aux barrages (à l'entrée), les eaux paraissent fortement chargées en Silicium avec une valeur moyenne 120 µM mais

bien moins concentrées à la sortie des barrages (61 μM) et beaucoup plus pauvre à l'embouchure (42 μM). Cette chute des valeurs traduit non seulement l'origine continentale du $\text{Si}(\text{OH})_4$ mais aussi la consommation accrue par les diatomées. Les processus d'absorption paraissent donc plus rapides que la régénération. En termes de concentrations le Silicium est en grande partie retenu dans les barrages et absorbé et consommé au niveau de l'estuaire. En termes de flux qui semble être en relation étroite avec le débit, les barrages produisent le Silicium issu de l'altération des roches et de l'érosion des sédiments, en raison peut-être des lâchers de barrages pour des fins agricoles. Les flux reçus aux embouchures varient avec les phases estuariennes.

Le Silicium est un élément clé pour l'écosystème aquatique, c'est l'un des éléments nutritifs nécessaires et spécifiques pour les diatomées. Il s'accumule en particule de silice biogénique pour former le frustule (Martin-Jézéquel et *al.*, 2000). Les diatomées sont des constituants importants de la communauté de phytoplancton et de l'écosystème aquatique et peuvent jouer un rôle important dans l'archivage de CO_2 atmosphérique dans l'océan profond (Tréguer et Pondaven, 2000 ; Ragueneau et *al.*, 2006). Elles sont la base de la chaîne alimentaire et participent aussi à une part majeure de la productivité primaire (Bottin, 2012). Cependant, la présence et ou la domination de ces espèces sont influencées par la disponibilité et l'abondance relative de Silicium par rapport à d'autres nutriments (Ragueneau et *al.*, 2006).

Au sein du système rivière, les barrages sont connus pour le piégeage et le recyclage des nutriments (Howarth and Marino, 2006). Cependant, peu de travaux ont été consacrés à la rétention de Si par comparaison à l'azote (N) et le phosphore (P), mais montrent clairement qu'une fraction substantielle de Si est retenue dans les barrages (Humborg et *al.*, 2006; Triplett et *al.*, 2008). Le piégeage de Si est généralement vu comme un fait négatif en raison de son rôle dans le développement des diatomées dans les eaux marines (Humborg et *al.*, 2000; Ounissi *et al.*, 2008 ; Ziouch., 2014; Aounallah., 2015; Ounissi et *al.*, 2014, 2016, pour ne citer que ces exemples).

La régulation des rivières par les barrages ainsi que l'eutrophisation des bassins de rivières ont sensiblement réduit le flux de silicium à la mer (Humborg et *al.*, 2008; Turner et *al.*, 1998). Si la rétention de N et P dans les barrages peut être compensée à l'aval des barrages par les apports anthropiques (fertilisants agricoles, rejets domestiques), il n'en n'est pas de même pour le Si qui reste tributaire de l'hydrologie. Les eaux marines reçoivent en conséquence des eaux avec un rapport de Redfield (Si/N/P) complètement déséquilibré, ce qui conduit aux modifications des peuplements phytoplanctoniques

avantageant ainsi les dianophycées non exigeantes vis-à-vis du Si ce qui conduit à une modification de la composition du phytoplancton 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).

Avec la construction incessante des barrages, la 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 cotes algériennes et notamment le golf de Annaba soumis à l'influence des apports de Seybouse n'échappe pas de ce constat (**Ounissi et al.**, 2008 ; **Ziouch.**, 2014; **Aounallah.**, 2015; **Ounissi et al.**, 2014, 2016).

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

Conclusion

5. Conclusion

A la lumière des résultats obtenus durant cette d'étude, on constate que le Silicium montre des concentrations et des flux très variables dans l'espace et dans le temps. On considère que les eaux de bassin versant de Seybouse, en termes de concentration sont caractérisées par des teneurs moyennement élevées en Silicium, particulièrement à l'amont des barrages mais ses teneurs sont réduites à l'aval des barrages et particulièrement à l'embouchure. Les teneurs les plus élevées sont remarquées en amonts des barrages et s'affaiblis en allant vers les avals des barrages, l'estuaire et l'embouchure. Le Silicium dissous est réduit entre $47\mu\text{M}$ (32 %) et $72\mu\text{M}$ (54%) pour le barrage de foug elkhanga et Bouhamdane respectivement, alors que le taux de rétention de l'estuaire est en moyenne $34\mu\text{M}$ (44%). On constate que les Silicates ont été soumis à une forte rétention dans les barrages et également dans l'estuaire pour aboutir finalement à des valeurs minimales de l'ordre de $42\mu\text{M}$ à l'embouchure. En termes de flux qui est en relation étroite avec le débit, le barrage de foug elkhanga et Bouhamdane produisent en moyenne entre 2 t/an (7%) et 17 (68%) respectivement alors que l'estuaire produit 54 t/an (11%) ; on peut considérer que les Barrages et l'estuaire fonctionnent comme de véritables producteurs de Si à la zone côtière. D'un point de vue biogéochimique, ils devraient jouer un rôle crucial dans les modifications des cycles biogéochimiques des nutriments. Ces conditions hydrologiques et biogéochimiques devraient avoir de sévères impacts sur le système rivière et sur le fonctionnement et la production des ressources renouvelables du littoral récepteur.

Résumés

Résumé

Le silicium est l'élément le plus abondant dans la croûte terrestre après l'oxygène, il se trouve dans les milieux aquatiques sous forme d'acide orthosilicique. Cette étude a concerné pour la première fois la distribution et le flux du silicium dans des sites stratégiques (Barrage Foum elkhanga, barrage Bouhamdane et estuaire) du bassin de Seybouse durant la période s'étendant entre Septembre 2016 (Saison sèche) et Avril 2017 (Saison humide). Il s'agit de suivre l'évolution de cet éléments depuis l'amont du bassin versant jusqu'à l'embouchure dans le but de comprendre ces transformations biogéochimiques sous l'effet des barrages et de l'estuaire. On considère que les eaux de bassin versant de Seybouse, en termes de concentration sont caractérisées par des teneurs moyennement élevées en Silicium, particulièrement à l'amont des barrages mais ses teneurs sont réduites à l'aval des barrages et particulièrement à l'embouchure. Les teneurs les plus élevées sont remarquées en amonts des barrages et s'affaiblis en allant vers les avals des barrages, l'estuaire et l'embouchure. Le Silicium dissous est réduit entre $47\mu\text{M}$ (32 %) et $72\mu\text{M}$ (54%) pour le barrage de foum elkhanga et Bouhamdane respectivement, alors que le taux de rétention de l'estuaire est en moyenne $34\mu\text{M}$ (44%). On constate que les Silicates ont été soumis à une forte rétention dans les barrages et également dans l'estuaire pour aboutir finalement à des valeurs minimales de l'ordre de $42\mu\text{M}$ à l'embouchure. En termes de flux qui est en relation étroite avec le débit, le barrage de Foum elkhanga et Bouhamdane produisent en moyenne entre 2 t/an (7%) et 17 (68%) respectivement alors que l'estuaire produit 54 t/an (11%) ; on peut considérer que les barrages et l'estuaire fonctionnent comme de véritables producteurs de Si à la zone côtière. D'un point de vue biogéochimique, ils devraient jouer un rôle crucial dans les modifications des cycles biogéochimiques des nutriments. Ces conditions hydrologiques et biogéochimiques devraient avoir de sévères impacts sur le système rivière et sur le fonctionnement et la production des ressources renouvelables du littoral récepteur.

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

Abstract

Silicon is the most abundant element in the earth's crust after oxygen, and is found in aquatic environments in the form of orthosilicic acid. For the first time, this study concerned the distribution and flow of silicon at strategic sites (Foum elkhanga dam, Bouhamdane dam and estuary) of the Seybouse basin during the period between September 2016 (Dry season) and April 2017 (Wet season). It is a question of following the evolution of this element from the upstream of the catchment to the mouth in order to understand these biogeochemical transformations under the effect of the dams and the estuary. Seybouse watershed waters are considered to be characterized by medium high silicon concentrations, particularly upstream of dams, but their contents are reduced downstream of dams and particularly at the mouth. The highest grades are observed upstream of the dams and weakened by going downstream from the dams, the estuary and the mouth. Dissolved silicon is reduced between 47 μM (32%) and 72 μM (54%) for the elkhanga and Bouhamdane foum dam, respectively, while the estuary retention rate is on average 34 μM (44%). It is noted that the silicates have been subjected to a high retention in the dams and also in the estuary to ultimately reach minimum values of the order of 42 μM at the mouth. The Foum elkhanga and Bouhamdane dam produces an average of 2 t / yr (7%) and 17 (68%) respectively, while the estuary produces 54 t / yr (11%); The dams and the estuary can be considered to function as true Si producers in the coastal zone. From a biogeochemical point of view, they should play a crucial role in changes in the biogeochemical cycles of nutrients. These hydrological and biogeochemical conditions are expected to have severe impacts on the river system and the functioning and production of the receiving coastal renewable resources.

Key words: Silicon, Dam, Foum elkhanga, Bouhamdane, Oued Seybouse.

الملخص

السيليسيوم هو العنصر الأكثر وفرة في قشرة الأرض بعد الأكسجين، ووجد في البيئات المائية في شكل حمض أورثوسيليسيك. وتتعلق هذه الدراسة للمرة الأولى بتوزيع وتدفق السيليكون في المواقع الإستراتيجية (سد فم الخنجة وسد بوحمدان ومصب النهر) في حوض سييوس خلال الفترة ما بين أيلول / سبتمبر 2016 (الموسم الجاف) وأبريل 2017 (الموسم الرطب). إنها مسألة متابعة تطور هذا العنصر من المنبع من مستجمعات المياه إلى المصب من أجل فهم هذه التحولات البيوكيميائية تحت تأثير السدود والمصب. وتعتبر المياه في سييوس تتميز بتركيزات عالية من السيليسيوم ، ولا سيما في أعالي السدود، ولكن محتوياتها تنخفض من أسفل السدود وخاصة عند المصب. يتم تقليل السيليسيوم الذائب بين 47 ميكرومول (32%) و 72 ميكرومول (54%) لفم الخنجة وبوحمدان ، على التوالي، في حين أن معدل الاحتفاظ في المصب بمتوسط 34 ميكرومول (44%). ويلاحظ أن السيليسيوم قد تعرض للاحتفاظ بنسبة عالية في السدود وأيضاً في المصب لتصل في نهاية المطاف إلى الحد الأدنى من القيم حوالي 42 ميكرومول في المصب. ويبلغ متوسط إنتاج سد فوم الخنجة وبوحمدان 2 طن / سنة (7%) و 17 (68%) على التوالي، بينما ينتج المصب 54 طن / سنة (11%). ويمكن اعتبار السدود ومصب الأنهار بمثابة منتجين صحيين في المنطقة الساحلية. بحيث كمية الإنتاج له علاقة وطيدة مع تدفق السدود ومن وجهة نظر بيوجيوكيميائية، ينبغي أن تلعب دوراً حاسماً في التغيرات في الدورات الجيولوجية الكيميائية للمواد المغذية. ومن المتوقع أن يكون لهذه الظروف الهيدرولوجية والبيوكيميائية آثار خطيرة على نظام النهر وعلى أداء وإنتاج الموارد الساحلية المتجددة المتكيفة.

*Références
bibliographiques*

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-A-

- Agence de Bassins hydrographiques Seybouse-Mellag-constantinois (ABH) 1999. Bassin de la Seybouse. Actualisation. Les cahiers de l'agence.
- Agence de Bassins hydrographiques Seybouse-Mellag-constantinois (ABH) 2002. Bassin de la Seybouse. Actualisation. Les cahiers de l'agence, 7 : 32p.
- Agence de Bassins hydrographiques Seybouse-Mellag-constantinois (ABH) 2009. Bassin de la Seybouse. Actualisation. Les cahiers de l'agence.
- ABH :(Agence de bassin hydrographique) Constantinois-Seybouse-Mellegue 2013.
- Ahmed Said, Y., Leake, B. E. et Rogers G., (1993). The petrology, geochemistry and petrogenesis of the Edough igneous rocks, Annaba, NE Algeria. *Journal of African Earth Science*, 17, (n°1), 111-123.
- Aimène B., 2007, Suivis de quelques paramètres physico-chimiques de la qualité des eaux de la séquence finale de Oued Seybouse et sa zone alluviale, Mémoire de fin d'étude ing., P5-6, P17-18, 31 p.
- Almeida, M.C., Butler, D. et Friedler, E. 1999. At-source domestic wastewater quality. *London. Urban Water*, 1: 45-55.
- Aminot A., Chausspiéd M., 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. 395p.
- A.N.R.H, 2003 Carte des précipitations annuelles moyennes de l'Est algérien, Ministère de l'Equipement, Alger, Ed. I.N.C.
- Aounallah, O., 2015. Distribution and fluxes of biogeochemical variables in the Seybouse River Estuary, SW Mediterranean. *Advances in Environmental Biology* 9 (11), 101-108.

-B-

- Beaudry, T., Henry, T., M., 1984. Chimie des eaux, édition. Les griffons d'argiles, 1ère , édition, INC Canada.537 pp.
- BECHIRI. N (2011): Evolution du chimisme des eaux de surface et Souterraines dans le bassin versant de la Seybouse (Nord-Est Algérien) mémoire de magistère université Badji Mokhtar Annaba 12-52.
- Bennet, P. C., Siegel, D. I., Hill, B. M., Glaser, P. H. (1991): Fate of silicate minerals in a peat bog. *Geology* 19, 328–331.
- Berner R.A., Lasaga A.C. and Garrels R.M. (1983) The carbonate-silicate geochemical cycle
- Berner, E.K., Berner, R.A., 1995. *Global Environment: Water, Air and Geochemical Cycles*. Prentice Hall, 376p.
- Bidle KD, Azam F (1999) Accelerated dissolution of diatom silica by marine bacterial assemblages. *Nature* 397:508-512.
- Bidle KD, Manganello M, Azam F (2002) Regulation of Oceanic Silicon and Carbon Preservation by Temperature Control on bacteria. *science* 298:1980-1984.
- Billen, G., Garnier, J., 2007. River basin nutrient delivery to the coastal sea: assessing its potential to sustain new production of non-siliceous algae. *Mar. Chem.* 106: 148-160.
- Blain S, Tréguer P et Rodier M (1999) Stocks and fluxes of biogenic silica in the western oligotrophic equatorial Pacific. *Journal of Geophysical Research* 104:3357-3367
- Blayac J. (1912). *Esquisse Géologique du bassin de la Seybouse et de quelques régions voisines*. Jourdan, Alger, 491 pages.
- Bottin,M., 2012. Structure des assemblages des diatomées benthiques en rivière. L'environnement explique-t-il tout ? Processus écologique & développement méthodologique. Thèse de doctorat, université Bordeaux 1,234PP.

- BRAHMIA. A (2000): étude de la structure profond du système aquifère du fosse d'effondrement de Terraguelt (Haute Seybouse) thèse de doctorat université Badji Mokhtar Annaba 16P.
- BRAVARD J.-P., PETIT F., 2000, Les cours d'eau. Dynamique du système fluvial, Paris, A. Colin, Collection U. Géographie, 222 p.
- Brzezinski, M. A. (1985). The Si:C:N ratio of marine diatoms : interspecific variability and the effet of some environmental variables. *Journal of Phycology*, 21, 347–357.

-C-

- Caby, R ., Hammor, D., (1992) : Le massif de l'Edough (Algérie) : Un "Métamorphic Core Complex" d'âge miocène dans les Maghrébides. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t .314, Série II, p. 829- 835.
- Cahiers de l'agence N°2, 25p. Agence de Bassins hydrographiques Seybouse-Mellag-constantinois (ABH), 2002. Cahiers de l'agence N°7, 32p.
- Clay, C.H., "Design of Fishways and Other Fish Facilities" - 2 nd ed.- Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, U.S.A, 1995.
- 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. consumption rates deduced from the chemistry of large rivers. Chem. Geol.* 159, 3-3 Cycles 16, 1075, doi: 10.1029/2001GB001431.
- Crawford SA, Higgins MJ, Mulvaney P et Wetherbee R (2001) Nanostructure of the diatom frustule as revealed by atomic force and scanning electron microscopy. *J Phycol* 37:543- 554.

-D-

- Del Amo, Y., & Brzezinski, M. A. (1999). The chemical form of dissolved Si taken up by marine diatoms. *Journal of Phycology*, 35, 1162–1170.
- De La Rocha, C. L., Hutchins, D. A., Brzezinski, M. A., & Zhang, Y. (2000). Effects of iron and zinc deficiency on elemental composition and silica production by diatoms. *Marine Ecology Progress Series*, 195, 71–79.
- Derradji F., Kherici N., Romeo M., Caruba R., 2004, Aptitude des eaux de la vallée de la Seybouse à l'irrigation (Nord-Est algérien). Ed, Science et changements planétaires / Sécheresse. Volume 15, Numéro 4, 353-60, Étude de cas, 5p.
- Dixit S. Van Cappellen P. and van Bennekom A.J. (2001) Processes controlling solubility of biogenic silica and pore water build-up of silicic acid in marine sediments. *Mar. Chem*73, 333-352.
- Dixit S. and Van Cappellen P. (2002) Surface chemistry and reactivity of biogenic silica. *Geochim. Cosmochim. Acta* 66, 2559-2568.
- Dubreuil P. et Guiscafre J., 1974, La planification du réseau hydrométrique minimal, Cah. O.R.S.T.O.M., Sér. Hydrol., vol. VIII, no 2, 1974.
- Dugdale RC, Wilkerson FP, Minas HJ (1995) The role of a silicate pump in driving new production. *Deep-Sea Research I* 42:697-719.
- DUGDALE, R. C. and F. P. WILKERSON (1998) Silicate regulation of new production in the equatorial Pacific upwelling. *Nature*, 391, 270-273.
- Du` rr, H.H., Meybeck, M., Hartmann, J., Laruelle, G.G., Roubex, G.G., 2009. Global spatial distribution of natural riverine silica inputs to the coastal zone. *Biogeosci. Discuss.* 6, 345–401.

-E-

- Emerson S et Hedges JI (1988) Processes controlling the organic carbon content of open ocean sediments. *Paleoceanography* 3:621-634.
- Exley C. 1998. Silicon in life: a bioinorganic solution to bioorganic essentiality. *Journal of Inorganic Biochemistry* 69: 139-144.

-F-

-Falciaiore, A., & Bowler, C. (2002). Revealing the molecular secrets of marine diatoms. *Annual Review of Plant Biology*, 53(29), 109–30.

-G-

- Gaillardet J., Dupré B., Louvat P. and Allège C.J. (1999) Global silicate weathering and CO₂ consumption rates deduced from the chemistry of large rivers. *Chem. Geol.* 159, 3-30.

- Gallinari M (2002) Dissolution et préservation de la silice biogénique dans les sédiments marins. PhD, Université de Bretagne occidentale.

-Geider, R. J., Platt, T., & Raven, J. A. (1986). Size dependence of growth and photosynthesis in diatoms: a synthesis. *Marine Ecology Progress Series*, 30, 93–104.

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

-Ghachi A. (1986). Le bassin de la Seybouse: hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie. Office des publications universitaires, 508 pages.

-GIEC (groupe d'expert sur l'évolution du climat). (2007). Changements Climatiques, rapport de synthèse (p. 114).

-Gleizes, G., Bouleton, J., Bossière, G. et Collomb P., (1988). Données lithologiques et pétrostructurales nouvelles sur le massif cristallophyllien de l'Edough (Est Algérien). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 306, (II), 1001-1008.

-Goldman, J. C. (1999). Inorganic carbon availability and the growth of large marine diatoms. *Marine Ecology Progress Series*, 180, 81–91.

-Gouiez, H. 2006. Apport en sels nutritifs et en Matières organiques oxydables au littoral d'Annaba par Oued Seybouse et l'estuaire de la Mafrag. Mémoire de Magister, Université d'Annaba. 30p.

- Grant, G.E., Schmidt, J.C., Lewis, S.L. “ A geological framework for interpreting downstream effects of dams on rivers”. In: O'Connor, J.E., Grant, G.E. (Eds.), *A Peculiar River – Water Science and Application*, 7. American Geophysical Union, 2003, p.203–219.

-Guillou, L., Chrétiennot-Dinet, M. J., Medlin, L. K., Claustre, H., Loiseaux-de Goër, S., & Vaultot, D. (1999). *Bolidomonas*: a new genus with two species belonging to a new algal class, the *Bolidophyceae* (Heterokonta). *Journal of Phycology*, 35, 368–381.

-H-

-Hamm C.E., Merkel R., Springer O., Jurkojc P., Maier C., Prechtel K., Smetacek V. (2003) Architecture and material properties of diatom shells provide effective mechanical protection. *Nature*, 421:841-843.

-Hamor D., (1992) : Du Panafricain au Miocène : 600 millions d'années d'évolution polycyclique dans le massif de l'Edough (Algérie Nord Orientale). Retraces par la pétrologie, la tectonique et la géochronologie (U/Pb, Rb/Sr, Sm/Nd et 39Ar/40Ar). Thèse de l'USTLanguedoc, Univ de Montpellier II, 205 p.

-Hervé, V., Derr, J., Douady, S., Quinet, M., Moisan, L., & Lopez, P. J. (2012). Multiparametric Analyses Reveal the pH-Dependence of Silicon Biomineralization in Diatoms. (H. Browman, Ed.) *PLoS One*, 7(10), e46722.

-Hilly, J., (1962). Etude géologique du massif de l'Edough et du Cap de fer (Est- Constantinois). *Bull. Serv. Carte. Géol. Algérie, Nouvelle série*, n° 19.

-Hilly J. 1963. Etude géologique des massifs de l'Edough et du Cap de Fer (Est Constantinois). P.S.C.G., Bulletin N°19, Alger, 408p.

- Howarth, R.W., Billen, G., Swaney, D., Townsend, D., Jaworski, N., Lajtha, K., Downing, J.A., Elmgren, R., Caraco, N., Jordan, T., Berendse, E., Freney, J., Kudeyarov, V., Murdoch, P., Zhao-

- Liang, Z., 1996. Regional nitrogen budgets and riverine N & P fluxes for the drainages to the North Atlantic Ocean: Natural and human influences. *Biogeochemistry* 35: 75-139.
- Howarth, R.W., Marino, R., 2006. Nitrogen as the limiting nutrient for eutrophication in coastal marine ecosystems: evolving views over three decades. *Limnol. Oceanogr.*, 51: 364-376.
- Humborg, C., Ittekkot, V., Cociasu, A., von Bodungen, B., 1997. Effect of Danube River dam on Black Sea biogeochemistry and ecosystem structure. *Nature*, 386: 385-388.
- Humborg, C., Conley, D.J., Rahm, L., Wulff, F., Cociasu, A., Ittekkot, V., 2000. Silicon retention in river basins: Far-reaching effects on Biogeochemistry and aquatic food webs in coastal marine environments. *Ambio*, 29(1): 45-50.
- Humborg, C., Pastuszak, M., Aigars, J., Siegmund, H., Morth, C.M., Ittekkot, V., 2006. Decreased silica land-sea fluxes through damming in the Baltic Sea catchment-significance of particle trapping and hydrological alterations. *Biogeochemistry*, 77: 265-281.
- Humborg, C., Rahm, L., Conley, D.J., Tamminen, T., Bodungen, V.o.n., 2008. Silicon and the Baltic Sea. Long-term Si decrease in the Baltic Sea-A conceivable ecological risk? *J. Mar. Syst.*, 73: 221- 222.
- Hurd DC et Theyer F (1975) Changes in the physical and chemical properties of BSi from the Central Equatorial Pacific. Part I. Solubility, specific surface area, and solution rate constants of cleaned samples, Vol *Advances in Chemistry* 147. American Chemical Society.
- Hurd DC, Pankratz HS, Asper VL, Fugate J et Morrow H (1981) Changes in the physical and chemical properties of biogenic silica from the Central Equatorial Pacific: Part III. Specific pore volume, mean pore size, and skeletal ultrastructure of acid-cleaned samples. *Am J Sci* 281:833-895.

-J-

- Jackson, D.C., Marmulla, G. " The influence of dams on river fisheries, in: G. Marmulla (Ed.), *Dams, Fish and Fisheries. Opportunities, challenges and conflict resolution*" FAO, Fisheries Technical Paper 419, Rome, Italy, 2001, p1-44.
- Janknegt, P. J., De Graaff, C. M., Van de Poll, W. H., Visser, R. J. W., Helbling, E. W., & Buma, A. G. J. (2009). Antioxidative responses of two marine microalgae during acclimation to static and fluctuating natural UV radiation. *Photochemistry and Photobiology*, 85(6), 1336-45.
- Joleaud. L, (1936):Etude géologique de la région de Bône-la Calle, B.S.G.A (2), n°12, 199 p.

-K-

- Kafi-Benyahia, M. 2006. Variabilité spatiale des caractéristiques et des origines des polluants de temps de pluie dans le réseau d'assainissement unitaire parisien Thèse de Doctorat l'école nationale des ponts et chaussées Spécialité : Sciences et Techniques de l'Environnement, 500 p.
- Kamatani A, Riley JP (1979) Rate dissolution of diatom silica walls in seawater. *Marine Biology* 55:29-35.
- Khaled-Khodja S., Ounissi M., Saker I-E., Kennouche M., Laabed S., Gouiez H., 2004, Impacts des activités anthropiques sur la qualité des eaux de l'oued Seybouse (Algérie), Université Jijel.
- Komor, S. C. (1994): Geochemistry and hydrology of a calcareous fen within the Savage Fen wetlands complex, Minnesota, USA. *Geochim. Cosmochim. Acta* 58, 3353-3367.
- Kummu M., Varis O." Sediment-related impacts due to upstream reservoir trapping, the Lower 2007.

-L-

- Laak, R. 1974. Relative pollution strengths of undiluted waste materials discharged in households and the dilution waters used for each. In: J. H. T. Winneberger, *Manual of grey water treatment practice*. Michigan, USA: Ann Arbor., 68-78.

- Laboratoire Central d'Hydraulique de France (LCHF), 1976. Extension du port d'Annaba: synthèse de l'étude générale des conditions naturelles dans le golfe d'Annaba. LCHF, MaisonsAlfort, 50p.
- Lahondère J. C. 1987. Les séries ultra-telliennes d'Algérie Nord oriental et les formations environnantes dans leur cadre structural. Th. Doct. Es-Scie. Univ. Paul Sabatier, Toulouse, France 238p.
- La Rocha, C. L., Terbrüggen, A., Völker, C., & Hohn, S. (2010). Response to and recovery from nitrogen and silicon starvation in *Thalassiosira weissflogii*: growth rates, nutrient uptake and C, Si and N content per cell. *Marine Ecology Progress Series*, 412(Schlitzer 2000), 57–68.
- Lentner, C. & Wink, A. 1981. Units of measurement, body fluids, Composition of the body, Nutrition. Geigy Scientific tables. Ciba-Geigy, Basle.
- Lucas Y. 2007. Cycles du silicium, d'aluminium et du fer. in. G. Pédro, cycles biogéochimiques et écosystèmes continentaux, pp74-99.
- Ludwig, W., Dumont, E., Meybeck, M., Heussner, S., 2009. River discharges of water and nutrients to the Mediterranean and Black Sea: Major drivers for ecosystem changes during past and future decades. *Prog. Oceanogr.*, doi:10.1016/j.pocean.2009.02.001.
- M-**
- Mann DG et Droop SJM (1996) Biodiversity, biogeography and conservation of diatoms. *Hydrobiologia* 336:19-32.
- Martin-Jézéquel, V. (1992). Effect of Si-status on diel variation of intracellular free amino acids in *Thalassiosira weissflogii* under low-light intensity. *Hydrobiologia*, 238, 159– 167.
- Martin-Jézéquel, V., Hildebrand, M., & Brzezinski, M. A. (2000). Silicon metabolism in diatoms : implications for growth. *Journal of Phycology*, 36(February), 821–840.
- Mebarki A., 1982, Le bassin du Kébir-Rhumel (Algérie). Hydrologie de surface et aménagement des ressources en eau, thèse doctorat de 3 è cycle, Université de Nancy II, 304 p. (Edition: MEBARKI A., 1984, Ressources en eau et aménagement en Algérie. Le bassin du Kébir-Rhumel, Office des Publications Universitaires, Alger, 302 p.).
- Mebarki A., 2005 : Hydrologie des bassins de l'Est algérien: ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse d'Etat, Université Mentouri de Constantine, 360 p.
- Medlin, L. K., Kooistra, W. C. H. F., Gersonde, R., Sims, P. A., & Wellbrock, U. (1997). Is the origin of the diatoms related to the end-Permian mass extinction? *Nova Hedwigia*, 65(1-4), 1–11.
- Medlin, L. K., Kooistra, W. C. H. F., & Schmid, A.-M. M. (2000). A review of the evolution of the diatoms - a total approach using molecules, morphology and geology. In A. Witkowski & J. Siedminska (Eds.), *The origin and early evolution of the diatoms: fossil, molecular and biogeographical approaches*. Cracow.
- 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.
- Meybeck, M., 2003. Global analysis of river systems: from Earth system controls to Anthropocene syndromes. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 358: 1935-1955.
- Milligan A.J., Morel F.M.M. (2002) A Proton Buffering Role for Silica in Diatoms. *Science*, 297,1848-1850.
- Ministère de 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.
- Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire (M.E.A.T), 1994. Conférence Med 21 sur le développement durable en Méditerranée. Mise en œuvre de l'Agenda 21. Tunis, 16-20 mai 1994, 106p.

-Moore, J. K., Doney, S. C., Glover, D. M., & Fung, I. Y. (2002). Iron cycling and nutrient limitation patterns in surface waters of the World Ocean. *Deep Sea Research Part II*, 49, 463–507.

-Mortlock R.A., Froelich P.N. (1989) A simple method for the rapid determination of biogenic opal in pelagic marine sediments. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 36:1415-1426.

-N-

-Necib A., Rezig H., 2011, La bio-indication de la pollution aquatique par les algues (cas de l'Oued Seybouse, l'Oued Bounamoussa, le Lac des oiseaux et le Lac El-Mellah, Mémoire de Master, Université Badji Mokhtar-Annaba, 67 p.

- Nelson DM, Goering JJ, Kilham SS, Guillard RRL (1976) Kinetics of silicic acid uptake and rates of silica dissolution in the marine diatom *Thalassiosira pseudonana*. --> 12:246- 252.

-Nelson, D. M., Tréguer, P., Brzezinski, M. A., Leynaert, A., & Quéguiner, B. (1995). Production and dissolution of biogenic silica in the ocean: Revised global estimates, comparison with regional data and relationship to biogenic sedimentation. *Global Biogeochemical Cycles*, 9(3), 359–372.

-O-

-Ounissi M., Khaled-Khodja S., Saker I-E., Kennouche M., Laabed S., Gouiez H., 2004, Impacts des activités anthropiques sur la qualité des eaux de l'oued Seybouse (Algérie), Université Jijel.

- Ounissi, M., Khammar, H., Ziouch, O., Saker, I., Haridi, A., 2008. Apports d'azote et de phosphate au littoral d'Annaba par les effluents urbains, industriels et par la rivière Seybouse (Algérie). In: *International Conference on Rapid Urbanization and Land Use Conflicts in Coastal Cities*, vol. 13, INOC, Izmir, Turkey, pp. 181-186.

-Ounissi, M., Bouchareb, N., 2013. Nutrient distribution and fluxes from three Mediterranean coastal rivers (NE Algeria) under large damming. *Comptes Rendus Geoscience* 345 (2), 81-92. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crte.2013.02.002>.

-Ounissi, M., Ziouch, O. R., Aounallah, O., 2014. Variability of the dissolved nutrient (N, P, Si) levels in the Bay of Annaba in relation to the inputs of the Seybouse and Mafragh estuaries. *Marine pollution bulletin* 80 (1), 234-244. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.12.030>.

- Ounissi, M., Laskri, H., Khélifi-Touhami, M., 2016. Net-zooplankton abundance and biomass from Annaba Bay (SW Mediterranean Sea) under estuarine influences. *Mediterranean Marine Science* 17 (2), 519-532. <http://dx.doi.org/10.12681/mms.1474>.

-P-

-Parsons, T. R. & Strickland, J. D. H. 1972. *Aparatical handbook of sea water analysis*. Bull. Fish. Rioh. Res. Bd. Cun 167. 311p.

- Passow U (2002) Transparent exopolymer particles (TEP) in aquatic environments. --> 55:287-333.

- Patrick S, Holding AJ (1985) The effect of bacteria on the solubilization of silica in diatom frustules. --> 59:7-16.

- Philippo, P., Pommery, J. et Thomas, P., 1981. Evolution d'une eau de surface au cours des traitements de potabilisation ; comportements des espèces métalliques au contact des matières humiques. *Journal français d'hydrologie*. 12,1,7-27.

-Q-

-Quéguiner, B. 2007. Centre d'Océanologie de Marseille, www.com.univmrs.fr/LOB/IMG/pdf/OBGC22_2007.pdf

-R-

- Rabalais, N.N., 2002. Nitrogen in aquatic ecosystems. *Ambio* 31: 102-112. Rabalais, N.N., Turner, R.E., 2001. Coastal hypoxia. *Coastal Estuary Studies* 52. Washington DC: American Geophysical Union.
- Ragueneau O, Tréguer P (1994) Determination of biogenic silica in coastal waters: applicability and limits of the alkaline digestion method. --> 45:43-51.
- Ragueneau O, Quéguiner B et Tréguer P (1996) Contrast in biological responses to tidally induced vertical mixing for two macrotidal ecosystems of Western Europe. *Est. Coast. and Shelf. Science* 42:645-665.
- Ragueneau O, Tréguer P, Leynaert A, Anderson RF, Brzezinski MA, Demaster DJ, Dugdale RC, Dymond J, Fischer G, François R, Heinze C, Maier-Reimer E, Martin-Jézéquel V, Nelson DM, Quéguiner B (2000) A review of the Si cycle in the modern ocean: recent progress and missing gaps in the application of biogenic opal as a paleoproductivity proxy. *Global and Planetary Change* 26:317-365.
- Ragueneau, O., Dittert, N., Pondaven, P., Tréguer, P., & Corrin, L. (2002). Si/C decoupling in the world ocean: is the Southern Ocean different? *Deep Sea Research Part II - Topical Studies in Oceanography*, 49, 3127–3154.
- Ragueneau, O., Conley, D.J., Leynaert, A., Longphuir, S.N., Slomp, C.P., 2006. Responses of coastal ecosystems to anthropogenic perturbations of silicon cycling. In: Unger, D., Humborg, C., Tac Ad, N., It-tekkot, V. (Eds.), *The silicon cycle. Human Perturbations, Impacts on aquatic systems*. SCOPE Series, 66, pp. 296.
- Raven J.A. (1983) The transport and function of silicon in plants. *Biological Reviews*, 58:179-207.
- Raven, J. A., & Waite, A. M. (2004). The evolution of silicification in diatoms: inescapable sinking and sinking as escape? *New Phytologist*, 162(1), 45–61.
- Redfield, A. C., Ketchum, B. H., & Richards, F. A. (1963). The influence of organisms on the composition of sea water. In H. M. N. Ed (Ed.), *The Sea, ideas and observations on progress in the study of the seas* ((Ed, Hill., pp. 26–77). NY: Interscience Publ.
- Richardson, T. L., & Cullen, J. J. (1995). Changes in buoyancy and chemical composition during growth of a coastal marine diatom: Ecological and biogeochemical consequences. *Marine Ecology Progress Series*, 128, 77–90.
- Rickert D (2000) *Dissolution Kinetics of biogenic silica in Marine environments*. PhD, University of Bremen.
- Rodier J., Bernard LEGUBE, Nicole MERLET et coll., 2005, *L'analyse de l'eau*, 9ème Edition, Paris, Dunod, 1529 p.
- Rodier J. (2009) : *L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires et eau de mer*. 9ème édition. Dunod. Paris. 1579 p.
- Round, F. E., Crawford, R. M., & Mann, D. G. (1990). *The Diatoms. Biology and Morphology of the Genera*. (Cambridge University Press, Ed.) *Phycologia*. Cambridge, England.
- Rousseau, V., Leynaert, A., Daoud, N., Lancelot, C., 2002. Diatom succession, silicification and silicic acid availability in Belgian coastal waters (southern North Sea). *Mar. Ecol. Progr. Series*, 236:61-73.

-S-

- Sarthou, G., Timmermans, K. R., Blain, S., & Tréguer, P. (2005). Growth physiology and fate of diatoms in the ocean: a review. *Journal of Sea Research*, 53(1-2), 25–42
- SAYAD.L (2015) : *Le pouvoir auto épurateur de l'Oued Seybouse sur les rejets de la laiterie de l'Dough (Annaba-Algérie) et les objets environnementaux des rejets* thèse de doctorat université Badji Mokhtar Annaba 5P.

- Shifrin, N. S., & Chisholm, S. W. (1981). Phytoplankton lipids interspecific differences and effects of nitrate, silicate and light-dark cycles. *Journal of Phycology*.
- Siegrist, R., Witt, M. and Boyle, W. C. 1976. Characteristics of rural household wastewater. *Journal of the Environmental Engineering Division, American Society of Civil Engineers*, 102 (EE), 533-548.
- SONATRCH, (1969). Esquisse structurale de la plaine d'Annaba. Rapport A.N.R.H, inédit. Annaba, Algérie.
- Skjemstad, J. O., Fitzpatrick, R. W., Zarcinas, B. A., Thompson, C. H. (1992): Genesis of Podzols on coastal dunes in southern Queensland: II. Geochemistry and forms of elements as deduced from various soil extraction procedures. *Aust. J. Soil Sci.* 30,615–644.
- 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.
- Steinmann, P., Shotyk, W. (1997a): Geochemistry, mineralogy, and geochemical mass balance on major elements in two peat bog profiles (Jura Mountains, Switzerland). *Chem. Geol.* 138, 25-53.
- Steinmann, P., Shotyk, W. (1997b): Chemical composition, pH, and redox state of sulfur and iron in complete vertical porewater profiles from two Sphagnum peat bogs, Jura Mountains, Switzerland. *Geochim. Cosmochim. Acta* 61, 1143–1163.
- STROJEXPORT, (1975). Prospection géophysique de la plaine d'Annaba. Réinterprétation. Rapport A.N.R.H., inédit, Annaba, Algérie, P30.
- Summerfield, M. A. (1983): Silcrete, in Goudie, A. S., Pye, K. (eds.): *Chemical sediments and geomorphology*. Academic Press, London, pp. 59–93.
- 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.
- Tesson, B., Gaillard, C., & Martin-Jézéquel, V. (2009). Insights into the polymorphism of the diatom *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin. *Botanica Marina*, 52(2), 104–116.
- Thamatrakoln, K. (2006). Molecular insights into the function and regulation of diatom silicon transporters. University of California at San Diego.
- Tréguer, P., Brzezinski, M. A., Leynaert, A., & Quéguiner, B Nelson, D. M. (1995). Production and dissolution of biogenic silica in the ocean: Revised global estimates , comparison with regional data and relationship to biogenic sedimentation. *Global Biogeochemical Cycles*, 9(3), 359–372.
- Tréguer, P.& Pondaven P.,2000. Global change. Silica control of carbon dioxide. *Nature* 406.694,358-359.
- 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.
- Triplett, L.D., Engstrom, D.R., Conley, D.J., Schellhaass, S.M., 2008. Silica fluxes and trapping in two contrasting natural impoundments of the upper Mississippi River. *Biogeochemistry*, 87: 217-230.
- Turner, R.E., Qureshi, N., Rabalais, Q., Dortch, D., Justic, D., Shaw, R.F., Cope, J., 1998. Fluctuating silicate: nitrate ratios and coastal plankton food webs. *Prog. Nat. Sci.* 95, 13048–13051.
- Turner JT (2002) Zooplankton faecal pellets, marine snow and sinking phytoplankton blooms. *Aquatic Microbial Ecology* 27:57-102.
- Turner, R.E., Rabalais, N., Justic, D., Dortch, Q., 2003. Global patterns of dissolved N, P and Si in large rivers. *Biogeochemistry* 64: 297-317.

- Van Cappellen P (1996) Reactive surface area control of the dissolution kinetics of biogenic silica in deep-sea sediments. *Chem Geol* 1:125-130
- Van Cappellen P. and Qiu L. (1997a) Biogenic silica dissolution in sediments of the Southern Ocean, I, Solubility. *Deep Sea Res., part II* 44, 1109-1128.
- Van Cappellen P. and Qiu L. (1997b) Biogenic silica dissolution in sediments of the Southern Ocean, II, Kinetics. *Deep Sea Res., part II* 44, 1129-1149.
- Van Cappellen P., Dixit S. and van Beusekom J. (2002) Biogenic silica dissolution in the oceans: Reconciling experimental and field-based dissolution rates. *Global Biogeochem.Cycles* 16, 1075, doi: 10.1029/2001GB001431.
- Vila J.M., 1980, La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens, Thèse doctorat d'état ès Sciences, Université de Paris VI, 2 tomes, 586 p.
- Vila J. M. 1980. La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens, Th. Doct. Es-scie. Nat. Univ. Pierre et Marie - Curie, Paris VI, pp. 282-296.
- Villareal T.A., Altabet M.A., Culver-Rymza K. 1993.Nitrogen transport by vertically migrating diatoms in the North Pacific ocean, *Nature*, 363,709–712.
- Vrieling E.G., Gieskes W.W.C., Beelen T.P.M. (1999) Silicon deposition in diatoms: control by the pH inside the silicon deposition vesicle. *Journal of Phycology*, 35, 548-559.
- Vrieling, E., Poort, L., & Beelen, T. (1999). Growth and silica content of the diatoms *Thalassiosira weissflogii* and *Navicula salinarum* at different salinities and enrichments with aluminium. *European Journal of Phycology*, 307–316.

-W-

- Wahby, S.D., Bishara, N.F., 1981. The effect of the River Nile on Mediterranean water, before and after the construction of the High Dam at Aswan. In: *River inputs to ocean systems*, pp. 311–318. (UNESCO/ IOC/UNEP)
- Walker J.C.G., Hays P.B., and Kasting J.F. (1981) A negative feed-back mechanism for the long-term stabilization of Earth's surface temperature. *J. Geophys. Res.* 86, 9776-9782.
- Wedepohl, K.H., 1995. The composition of the continental crust. *Geoch.Cosmoch. Acta.*, 59(7): 1217-1232.
- Werner, Dietrich. (1977). Silicate metabolism. In Dietrich Werner (Ed.), *The Biology of Diatoms* (pp. 110–149). Berkeley, CA: University of California Press.
- Wollast, R., Mackenzie, F.T., 1983. The global cycle of silica, in: *Silicon geochemistry and biogeochemistry*, edited by: Aston, S. E., Academic Press, London, pp. 39-76.
- World Commission of Dams, *Dams and development: a new framework for decision-making*. Earthscan, London. 2000

-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., 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.
- Zurzolo, C., & Bowler, C. (2001). Exploring bioinorganic pattern formation in diatoms. A story of polarized trafficking. *Plant Physiology*, 127(December), 1339–1345.

Annexe I. Anthropisation et occupation du sol

Tableau 1. L'activité industrielle (ABH1999).

| Sous Bassin | Commune | Lieu d'implantation | Caractéristiques | | AEP | | |
|-------------|-----------|---------------------|------------------|-----------------------------|----------------|----------------------|-----------------------|
| | | | Nom | Nature/Type | Besoins (m³/J) | Volume alloué (m³/J) | Volume recyclé (m³/J) |
| 14-01 | Sedrata | Sedrata | ENAQs | Serrurerie | 18 | 15 | 0 |
| 14-04 | Guelma | Guelma | SYCMA | Cycles, motocycles | 325 | 325 | 0 |
| 14-04 | Guelma | Guelma | ENA SUCRE | Sucrierie, Raffinerie | 2000 | 2000 | 0 |
| 14-04 | Guelma | Guelma | ECVE | Vaisselle | 350 | 380 | 0 |
| 14-04 | Boucheouf | Boucheouf | ERAID | Levure | 1776 | 2100 | 0 |
| 14-04 | B.Ahmed | B.Ahmed | Conserverie | Tomate | 300 | 200 | 0 |
| 14-06 | Annaba | Annaba | E.M.I.B | Boissons | N.C | 1748 | Néant |
| 14-06 | Annaba | Annaba | EL BOUSTEN | Tomate concentrée | N.C | 25,32 | Néant |
| 14-06 | Annaba | Annaba | ENCG | Raffinage d'huile | 367,2 | 372,5 | 36,6 |
| 14-06 | Annaba | Annaba | ERAID | Semoulerie | N.C | 606 | Néant |
| 14-06 | Annaba | Annaba | FERFOS | Phosphate | | | |
| 14-06 | Annaba | Annaba | ONAB | Aliment bétail | N.C | 3 | Néant |
| 14-06 | Annaba | Annaba | S.T.E | Pétrole +huile | N.C | 3 | |
| 14-06 | Annaba | Annaba | SONATRACH | Carburant | N.C | 3 | Néant |
| 14-06 | Annaba | Annaba | SONELGAZ | Energie électrique | N.C | 33 | |
| 14-06 | El Bouni | El Bouni | ASMDAL | Engrais | 8640 | 1278 | |
| 14-06 | El Bouni | El Bouni | CHOCOTEK | Chocolat/confiserie | | | |
| 14-06 | El Bouni | El Bouni | EBAN | Bâtiment | N.C | 23 | Néant |
| 14-06 | El Bouni | El Bouni | FERROVIAL | Aciérie | N.C | 116 ,66 | / |
| 14-06 | El Bouni | El Bouni | G.T.HEÐAN | Tuyaux B.A et P.V.C | N.C | | Néant |
| 14-06 | El Bouni | El Bouni | O.N.C.V | Vins | N.C | 65 | Néant |
| 14-06 | El Bouni | El Bouni | ORELAIT | Lait et Dérivés | 1296 | 2403 | Néant |
| 14-06 | El Bouni | El Bouni | S.N.V.I | Distribution des véhicules | 48 ,76 | 49 | Néant |
| 14-06 | El Hadjar | El Hadjar | ENSIDER | Sidérurgie | 38880 | 24338 | |
| 14-06 | El Hadjar | El Hadjar | EPBTP | Cimenterie | | 1 | |
| 14-06 | El Hadjar | El Hadjar | ERWA | Aciérie | | 6 | Néant |
| 14-06 | El Hadjar | El Hadjar | Transcanal /EST | Tube en béton | 432 | 20 | / |
| 14-06 | El Hadjar | Pont Bouchet | BELKHERI | Chocolat | Forage propre | 6 | Néant |
| 14-06 | El Hadjar | Pont Bouchet | E.N.G.I | Gaz industriel | Citernage | 23 | Néant |
| 14-06 | El Hadjar | Pont Bouchet | E.P.T.R EST | Route –autoroute-aérodrome | Forage propre | 60 | Néant |
| 14-06 | El Hadjar | Pont Bouchet | E.R.S.T | Traitement de ferraille | Puits+ Citerne | 3 | Néant |
| 14-06 | El Hadjar | Pont Bouchet | ENCC | Réservoirs métalliques | 604,8 | 125 | |
| 14-06 | El Hadjar | Pont Bouchet | ENTPL | Produits lourds (acier ...) | Citernage | 3 | |
| 14-06 | El Hadjar | Pont Bouchet | ETS.BOUTRA | Fabrication de | Puits | 43 | Néant |

| | | | | sachets | | | |
|-------|------------|--------------|----------------|--------------------------------|---------------|----------|-------|
| 14-06 | El Hadjar | Pont Bouchet | Ets Khouatmia | Transport | Forage propre | 1 | Néant |
| 14-06 | El Hadjar | Pont Bouchet | FETIMI Rabah | Usage domestique | Forage P | 12 | Néant |
| 14-06 | El Hadjar | Pont Bouchet | Khouatmia | Usage domestique | Forage propre | 6 | Néant |
| 14-06 | El Hadjar | Pont Bouchet | M.T.A | Transport/agréage | Forage propre | 3,5 | Néant |
| 14-06 | El Hadjar | Pont Bouchet | REALANE | Génie civil | Forage propre | | Néant |
| 14-06 | El Hadjar | Pont Bouchet | S.A.R.L | Transport est (prive) | Forage propre | 110 | Néant |
| 14-06 | El Hadjar | Pont Bouchet | S.N.C Belkhiri | Confiserie | Forage propre | 30 | Néant |
| 14-06 | El Hadjar | Pont Bouchet | SARhumel Gum | Fabrication de chewing- gum | Forage propre | | Néant |
| 14-06 | El Hadjar | Pont Bouchet | SAT PAT | Papier | Forage propre | 9 | Néant |
| 14-06 | El Hadjar | Pont Bouchet | SIDER G.C.L | Vente de produits sidérurgique | Citernage | 0,5 | Néant |
| 14-06 | El Hadjar | Pont Bouchet | SNVI | Pièce détachées | N.C | 49 | Néant |
| 14-06 | El Hadjar | Pont Bouchet | T.M.P.K | Matières plastiques | Forage propre | 130 | Néant |
| 14-06 | El Hadjar | Sidi Salem | ORAVIE | Production de poulet | 8 | 8 | Néant |
| 14-06 | Sidi Amar | Sidi Amar | PROSIDER | Transfo-synthétique | 362,88 | 85 | |
| 14-06 | Sidi Salem | Annaba | ENGI | Gaz naturel | 406,08 | 107 | Néant |
| TOTAL | | | | | | 36874,48 | |

Tableau 2. L'irrigation dans le bassin versant de Seybouse (ABH, 1999)

| Sous Bassin | Secteur | Commune | Superficie irriguée (Ha) | Culture | Ressource en eau | Dotation | Mode d'irrigation | Point de rejet | Observation |
|-------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------|-------------------------|-------------------|--------------------|
| 14-01 | Ksar Sbihi Ain Babouche | Ksar Sbihi Ain Babouche | 0 | Maraichères Arboriculture | Puits+ Forage Oued Chref | P.I | P.I | Oued SETTAR A | +4000 Ha en projet |
| | Berriche | Berriche | 10 | Maraichères | Retenue collinaire Oudene Djedj | 0,05 | Submersion Aspersion | Oued oudene Djedj | |
| | Sedrata | Sedrata | 150 | Céréalière et Maraichères | R.C.Oued El Hamimine | P.I | P.I | Oued hamimime | |
| | Bir Bouhouche | Zaoubi | 0 | Céréalière | Bage Oued Chref | P.I | P.I | Oued Chref | +800Ha en projet |
| | Tiffeche | Tiffeche | 360 | Céréalière Marai. Industrielle | R.C.et petit Barrage Tiffeche | 0,2 2,99 | Aspersion | Oued Tiffech | |
| | Bir Bouhouche | Safel El ouiden | 120 | Céréalière et Maraichère | Forage et Puits | P.I | Submersion Aspersion | Châaba | |

| | | | | | | | | | |
|-------|--------------------------------|---|--------|---|-------------------------------------|------------|--------------------------------|------------------------|-------------------------|
| | | Bir Bouhouche | 35 | Céréalière et Maraichère | R.C.Bir Bouhouche Brrage Oued Cherf | P.I P.I | Aspersi on Aspersi on | Oued | +2800 Ha en cours |
| | | Terragueit | 15 | Céréalière et Maraichère | Forage Terraguiet | 0 ,08 | Aspersi on | Oued | |
| | | Oum El Adhaim | 70 | Céréalière et Maraichère | R.C. Oum El Adhaim | P.I | Aspersi on | Oued | |
| 14-02 | Ain Makhlouf | Ain Makhlouf | 317 | Céréalière et Maraichère | Bge Medjez El Bgare | 2 | Aspersi on | Oued Cheref | |
| 14-03 | Oued Zenati | Oued Zenati Tamlouka Ras Elagba | 200 | Céréalière et Maraichère | 6R.C.et Fil d'eau | 0,72 | Aspersi on | Oued Zenati | |
| | Cherf | H. Boumedie nne Medjez Amar | 650 | Céréalière Arboriculture Maraichère | Barrage Hammam Debagh | 3,9 | Aspersi on | Oued Cheref | |
| | El Fdjoudj | El Fdjoudj | 2355 | Céréalière Arboriculture Maraichère | Barrage Hammam Debagh | 14,13 | Aspersi on | Oued Seybouse | |
| | Guelma | Guelma | 3500 | Céréalière Arboriculture Maraichère | Barrage Hammam Debagh | 21 | Aspersi on | Oued | |
| 14-04 | Boumahra Ahmed | Boumahra A.Belkhier | 2600 | Céréalière Arboriculture Maraichère | Barrage Hammam Debagh | 15,6 | Aspersi on | Oued Seybouse | |
| | Belkhier | Belkhier | 11 | Maraichère | R.C. Medraoua | 0,01 | Aspersi on | Oued | |
| | Bouchegouf | Bouchegouf Oued Fraga | 880 | Céréalière Arboriculture Maraichère | Barrage Hammam Debagh | 5,28 | Aspersi on | Oued Seybouse | |
| 14-05 | Medjez Sfa | Medjez Sfa | 65 | Maraichère | R.C. Medjez Sfa | 0,02 | Aspersi on | Oued | |
| | | | 36 | Maraichère et Industrielle | R.C. Bir Chougrane et Ladrrou | 0 ,02 | Aspersi on | Oued | |
| | Ain Ben Beida Drean | Ain Ben Beida Drean Chetaiba Chihani | 0 | Céréalière Arboriculture Maraichère et Industrielle | Barrage Hammam Debagh | P.I | Aspersi on | Oued Seybouse | +2960 Ha non équipés |
| | Ain Berda | Ain Berda | 400 | Maraichère et Industrielle | 21R.C. et Puits et Fil d'eau | 1,951 | Aspersi on | Oued Dardara | |
| | El Hadjar Seybouse Nord et Sud | El Hadjar Sidi Amar | 1446,5 | Maraichère et Industrielle | R.C.et Barrage Bounamoussa | 5,205 | Aspersi on | Oued Meboudja Seybouse | |
| | Seybouse Nord | El Bouni | 673 | Maraichère et Industrielle | R.C. Forage, Puits et Fil d'eau | 2,422 | Aspersi on | Oued Seybouse | |

Les Annexes:

| | | | | | | | | | |
|-------|--------|--------|-------|----------------------------|----------------------------|-------|------------|----------------|--|
| | Annaba | Annaba | 82,5 | Maraichère et Industrielle | Forage, puits et Fil d'eau | 0,295 | Aspersi on | Oued Boudjem a | |
| Total | | | 13976 | | | 75,87 | | | |