

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



Réf :/UAMOB/F.SNV.ST/DEP.BIO/20

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV Filière : Sciences biologiques
Spécialité : Biodiversité et environnement

Présenté par :

RAHMANI Souad & CHAIBI Samia

Thème

**Suivi de la qualité physico-chimique des eaux de surface d'Oued
Soummam.**

Soutenu le : 27 / 09 / 2020

Devant le jury composé de :

<i>Nom et Prénom</i>	<i>Grade</i>		
<i>IDIR Tiziri</i>	<i>MAA.</i>	<i>Univ. de Bouira</i>	<i>Présidente</i>
<i>RAHMOUNI Amina</i>	<i>MAA.</i>	<i>Univ. de Bouira</i>	<i>Examinatrice</i>
<i>MECELLEM Dalila</i>	<i>MCA.</i>	<i>Univ. de Bouira</i>	<i>Promotrice</i>
<i>AIT MERZEG Farid</i>	<i>AR.</i>	<i>Centre de recherche CRAPC</i>	<i>Co-promoteur</i>

Année Universitaire : 2019/2020

Remerciement

Notre premier mouvement de profonde gratitude s'adresse à notre Créateur, Allah. Notre Seigneur, Lui seul, détient tous les secrets si chers entourant la dotation mystérieuse qui décide qu'une volonté soit donnée et qu'un projet soit mené à bien. En ces jours très délicats et lourds d'inquiétudes en perspective, plus qu'en toute autre époque passée, il est ardu de ne pas lâcher le timon. Seul Allah arrive donc en ces instants-là, sans pareils, renouveler la vigueur de la détermination.

Nos mots resteront impuissants à restituer ce que nous ressentons maintenant devant l'unique et magnifique aide de notre Seigneur, opérationnelle en tout lieu et en tout instant.

Mes vifs remerciements vont après cela à mes chers parents. L'ombre omniprésente de leur sacrifice, de leur devoir accompli et de leur droit d'attente d'un jour heureux auront été pour beaucoup dans la continuité de notre labeur.

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier vivement Monsieur Ait-Merzeg Farid et Madame Mecellem Dalila, respectivement co-promoteur et promotrice. Ils nous ont fait don de leur admirable sens d'encadrement, prodiguant par ici des orientations inestimables, par-là des encouragements porteurs, fruits d'expérience entretenue par tant d'efforts. Leurs aimables efforts ont dû se conjuguer, par prévenance, avec ceux de : Madame Bourfis Nafissa que nous remercions de même.

Nous exprimons notre gratitude aux aimables Autorités universitaires de l'Institution Université Akli Mohand-Oulhadj pour le crucial apport qu'elles nous ont prodigué et qui imprima un autre cours à nos vies d'étudiants.

Nous remercions nos respectables et aimables Jurys qui nous ont rendu avis réconfortant d'avoir accepté d'examiner et juger de la recevabilité de notre étude.

Nous remercions chaleureusement toute la famille des enseignants du Département des Sciences biologiques. Leur accompagnement constant, à longueur d'années, avec un valeureux sens paternel, traduisait le souci si bien fondé de nos professeurs à notre réussite en tant qu'éléments sociaux, d'abord, quoique parallèlement à leur attachement à dispenser les enseignements scientifiques qui dépendent effectivement de ce que nous serions d'abord sur le plan psychologique et social. À cette tâche, immense autant que primordiale, personne ne saurait se targuer d'avoir assez de ressources qui puissent être à la hauteur de les rétribuer,

ni assez de ressort à les y contraindre ! Leur seule déontologie personnelle, philanthropique, a su le leur dicter au quotidien.

Enfin, nos chers amies et amis, irremplaçables partenaires de nos détresses sporadiques et nos joies éphémères entrecoupées de tant de contrariétés à surmonter sans préparation ni préavis. Nous vous remercions du fond du cœur.



Dédicace

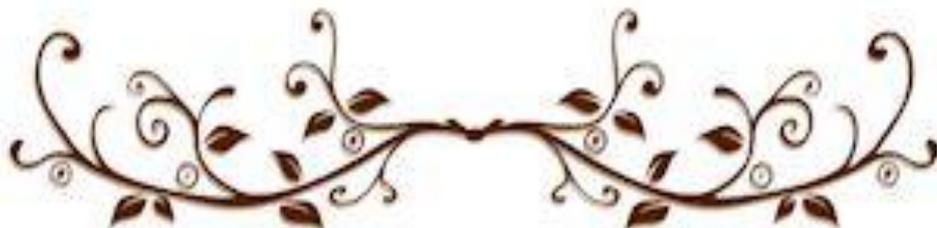
Avec l'expression de ma reconnaissance je dédie ce modeste travail à mes très chers parents Mohammed et Saliha, qu'ils trouvent en moi leur source de fierté que nulle dédicace ne puisse exprimer mes sincères sentiments pour leur encouragement contenu leur aide durant toutes mes années d'études, c'est grâce à eux que je suis là, et grâce à eux que je serais loin. Vous resterez à tout jamais dans mon cœur.

A mon mari, source d'espoir et de motivation qui m'a apporté de l'aide et du soutien.

A mon frère Farid pour son encouragement permanent et sa présence.

A ma très chère amie Samia pour sa patience illimitée.

Souad





Dédicace

Je dédie ce travail à mes chers parents Mohamed et Chahida dont le soutien a toujours été constant et sans faille durant toutes ces années d'études.

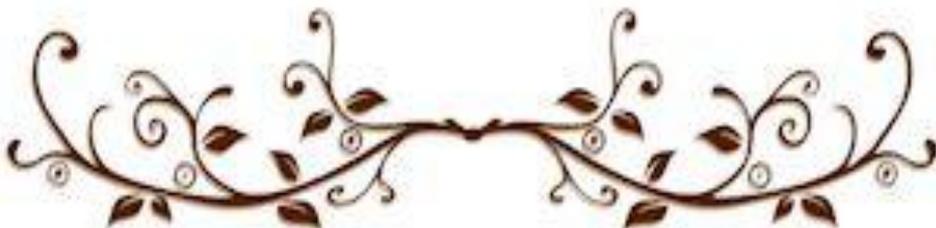
A mes frères et sœurs qui m'ont encouragé et inspiré par leurs exemples. Ils m'ont permis de croire en mes capacités, sans eux je ne serais pas allé au bout de ce travail.

A ma coéquipière Souad qui s'est distinguée par son sérieux, à qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite.

A mes amies qui m'ont témoigné leurs encouragements et leur soutien indéfectible.

A tous ceux qui me sont chers.

Samia



Sommaire

Introduction.....	1
Chapitre 01 : Pollution des eaux	3
1.1 L'eau.....	3
1.2 La pollution.....	3
1.3 Définition de la pollution des eaux	3
1.4 Mode de pollution	3
1.4.1 Les pollutions accidentelles	4
1.4.2 Les pollutions diffuses.....	4
1.5 Origine de la pollution des eaux.....	4
1.5.1 La pollution domestique	4
1.5.2 La pollution par les eaux pluviales urbaines.....	5
1.5.3 La pollution industrielle.....	5
1.5.4 La pollution agricole	6
1.5.5 La pollution naturelle	6
1.6 Les types de pollution.....	6
1.6.1 La pollution chimique.....	7
1.6.2 La pollution physique	7
1.6.3 La pollution microbiologique	7
1.6.4 La pollution thermique	8
1.6.5 La pollution radioactive.....	8
1.7 Impacts de la pollution des eaux	8
1.7.1 Impacts sur la santé	8
1.7.2 Impacts sur l'environnement	10
1.8 L'échantillonnage.....	12
1.8.1 Difficultés rencontrées lors du prélèvement	12
1.8.2 Changement survenant dans l'échantillon lui-même.....	12
1.9 Paramètres à mesurer.....	12
1.10 Lutte contre la pollution	15
1.11 Réglementation relative à l'eau.....	15
Chapitre 02 : Pollution des sédiments.....	17
2.1. Définition des sédiments.....	17
2.2. Formation des sédiments	18

Sommaire

2.3.	Composition des sédiments	18
2.3.1.	Eau interstitielle	18
2.3.2.	Phase inorganique	19
2.3.3.	Phase organique	19
2.4.	Granulométrie des sédiments	19
2.4.1.	La fraction fine	20
2.4.2.	La fraction grossière	20
2.5.	Définition de la pollution des sédiments	20
2.6.	Impacts de la pollution des sédiments	21
	Chapitre 03 : Types de polluants	23
3.1.	Pollution organique	23
3.1.1.	Les hydrocarbures pétroliers	23
3.1.2.	Les HAP (Hydrocarbures aromatiques polycycliques)	23
3.1.3.	Les pesticides	24
3.1.4.	Les dioxines et furanes	25
3.1.5.	Le TBT (Tri-butyl-etain)	26
3.1.6.	Les bi phényles polychlorés (PCB)	27
3.1.7.	Les détergents	27
3.1.8.	Le phénol	28
3.1.9.	Les polluants organiques persistants	29
3.2.	Pollution inorganique	30
	Chapitre 04 : Etude de cas	32
4.1.	Présentation de la zone d'étude	32
4.2.	L'échantillonnage	35
4.3.	Matériels et méthodes	35
4.3.1.	Paramètres mesurés in situ	36
4.3.2.	Paramètres mesurés au laboratoire	36
4.4.	Résultats et discussion	37
4.5.	Conclusion	41
	Conclusion générale	43
	Références bibliographiques	45
	Annexe	59

Liste des abréviations

- DBO5:** La Demande biologique en oxygène à 5 jours.
- DCO5:** La Demande chimique en oxygène à 5 jours.
- DDT:** Dichloro-diphényl-trichloro-éthane
- FTU:** Unités néphéométriques de formazine
- HAP:** Hydrocarbures aromatiques polycycliques
- LAS:** Alkylbenzenesulfonates linéaires
- MES:** Matière en suspension
- NTU:** Unité de turbidité néphéométrique
- OC:** Composé organochloré
- PCB:** Poly-chloro-biphényles
- PCDD:** PolyChloroDibenzo-p-Dioxines.
- PCDDF:** PolyChloroBiphénylesetPolyChloroDibenzo-p-Dioxines.
- PCDF:** Poly-chloro-dibenzo-furanes.
- pH:** Potentiel hydrogène
- PLU:** Plans locaux d'urgence
- POP:** Polluants organiques persistants.
- SH:** Substances humiques
- TA:** Titre d'alcalinité
- TAC:** Titre d'alcalinité complet
- TBT:** Tributylétain.
- TDS:** Solide total dissous

Liste des figures

Figure 01: Image aérienne du bassin versant d'oued Soummam.....	34
Figure 02: Carte schématique de la zone d'étude avec localisation des points de prélèvements	35
Figure 03: Résultats d'analyses de la DBO des 6 prélèvements des différentes stations.	37
Figure 04: Résultats d'analyses de la DCO des 6 prélèvements des différentes stations.	38
Figure 05: Résultats d'analyses de la matière en suspension des 6 prélèvements dans les différentes stations.	39
Figure 06: Résultats d'analyses des nitrates des 6 prélèvements des différentes stations.	40
Figure 07: Résultats d'analyses du fer des 6 prélèvements des différentes stations.	41

Liste des tableaux

Tableau 01: Paramètres organoleptiques à mesurer.....	12
Tableau 02: Paramètres physico-chimiques à mesurer.	13
Tableau 03: Caractéristiques de la vallée de la Soummam.	32
Tableau 04: Paramètre mesuré sur le terrain.....	36
Tableau 05: Paramètres mesurés au laboratoire.....	36

Introduction

Si la Terre est appelée la Planète bleue, ce n'est nullement par hasard, elle est recouverte à 71% d'eau et d'une belle couleur bleue clairement visible depuis l'espace (**Belhadj, 2017**). L'eau douce, essentielle à nos besoins, ne représente que 1% du total des mers et des océans présents sur Terre (**Bounab, 2017**). Bien que cette petite quantité ait connu ces dernières années, une grande détérioration à cause des rejets industriels non contrôlés (**Reggam et al., 2015**), dans la plupart de ses activités, l'industrie utilise de grandes quantités d'eau dont la majeure partie retourne à la nature chargée de déchets, de produits chimiques et de métaux lourds. Une étude statistique a montré que plus de 85% de l'eau utilisée par l'industrie sont retournés à la nature sous forme d'eau usée (**Belhadj, 2017**), de façon que l'industrialisation et le manque de sensibilisation de la population envers la protection de l'environnement génèrent un problème de pollution de l'eau (**Kahoul et al., 2014**), qui a pris un tour d'abord régional puis continental et désormais mondial (**Belhadj, 2017**).

De plus, l'Est algérien, a connu ces dernières années un remarquable essor d'activités industrielles. Faute de dispositions qui auraient dû être prises avant leur installation, les rejets de leurs déchets s'étaient donc déversés dans les cours d'eaux naturels avoisinants. Il en a découlé de sensibles modifications, des altérations variables sur les communautés vivantes, particulièrement sur la faune aquatique (**Reggam et al., 2015**). En effet, les caractéristiques physico-chimiques de l'eau conditionnent la structure et le fonctionnement des biocénoses aquatiques (**Chaib et Boudjema, 2011**) et les modifications de ces caractéristiques donnent pour résultat que les communautés vivantes du milieu aquatique récepteur se retrouvent modifiées donc une perturbation anthropique (**Chaib et Boudjema, 2011**).

Par ailleurs, les sédiments jouent un rôle important dans le maintien de l'état trophique de tout plan d'eau (**Varol, 2011**), bien qu'ils fournissent un habitat pour de nombreuses populations d'organismes, les sédiments peuvent également servir de récepteurs naturels pour certains contaminants s'y accumulant avec le temps (**Bombardier, 2007**). Il a été reconnu que les sédiments aquatiques absorbent des produits chimiques persistants et toxiques à des niveaux beaucoup plus élevés que la concentration dans la colonne d'eau (**Milenkovic et al., 2005**). Mais ils agissent également comme l'un des puits ultimes pour l'apport de métaux lourds dans le milieu aquatique. Or, ils ne peuvent pas fixer les métaux de façon permanente. Certains des métaux liés aux sédiments pourraient à nouveau être rejetés dans le plan d'eau dans des conditions variables (**Yu et al., 2008**) et présenter une source secondaire potentielle de contaminant dans le système aquatique (**Varol, 2011**). Le problème des sédiments toxiques a retenu l'attention de beaucoup de chercheurs, la contamination des métaux lourds, exemple

Introduction

qui n'est pas des moindres, serait mortelle à très court terme, en sus de ses effets délétères à long terme, tels que les troubles reproductifs et les malformations congénitales (par exemple, PCB, HAP, dioxines) (**Chapman, 1990**).

Toutefois, pour avoir plus d'informations sur l'origine et le comportement de la pollution, il est préférable de suivre plusieurs paramètres (**Assaad, 2014**) tels que : température, pH, couleur, conductivité, turbidité, matière en suspension, solides totaux dissous, titre d'alcalinité et le titre d'alcalinité complet TA et TAC, demande biochimique en oxygène (DBO5), demande chimique en oxygène (DCO)...Néanmoins, l'évaluation de la qualité physico-chimique peut être armé à l'aide d'une évaluation de la qualité des sédiments, menée dans le cadre des programmes de contrôle de la qualité de l'eau (**Casado-Martinez et al., 2016**).

Parmi les grands cours d'eau d'Algérie, l'oued Soummam serpentant la région de Bejaïa est devenu un plan d'eau particulièrement vulnérable aux différents types de pollution car il reçoit une part importante de résidus urbains, industriels et agricoles, perturbant d'une manière considérable écosystème et milieu marin côtier (**Mouni, 2004**).

C'est pourquoi, Ce fut la raison phare qui fit retenir le cours d'eau de la Soummam parmi les grandes urgences censées le soumettre au traitement qui établirait un diagnostic physico-chimique. La pandémie du Covid-19 tomba tel un couperet, ajournant le projet. Le confinement obligatoire remit du jour au lendemain toute activité sous la loupe sanitaire.

Toutefois, nous avons procédé autrement, en optant pour une autre alternative consistant à choisir une étude déjà existante portant sur le même thème et effectuée dans la même zone, au fins de la discuter et la commenter.

Pour répondre à cette problématique, l'étude est organisée comme suit : tout d'abord, une étude bibliographique portant sur les eaux de surface et les sédiments a été réalisée, ensuite une synthèse de travaux antérieurs qui regroupe une partie des travaux déjà réalisés dans la même zone d'étude sont présentés et discutés.

Chapitre 01 : Pollution des eaux

1.1 L'eau

L'eau est vitale. Elle l'est par sa double fonction de source de vie et solvant, essentielle au lavage et au transport de minéraux régulateur thermique. On trouve l'eau dans les océans (97 %) et représente 300 fois la masse de l'atmosphère, le reste est dans la glace et la neige notamment aux pôles (2 %) et dans les nappes phréatiques (moins de 1 %). Les lacs et les fleuves ne contiennent qu'un dix millièmes et l'atmosphère un cent millièmes de l'eau libre (Ngo et Regent, 2012).

1.2 La pollution

La pollution pourrait être définie comme suit : dégradation ou perturbation du milieu, résultant généralement d'apports de matières ou de substances exogènes. Ses effets peuvent être modificateurs ou destructeurs vis-à-vis de la quantité de polluant (Barbault, 2003).

La notion de pollution est dite à la fois multiple et relative :

- Les critères qui permettent de cerner les types de pollutions et de polluants selon leur nature, leur origine, leurs effets, rendent la pollution multiple.
- La notion de dégradation d'un milieu naturel qui s'explique par l'attribution d'une valeur négative à la différence observée, sur la base de critères souvent subjectifs ou partiels lui donne la particularité d'être relative (Genin et al., 2003).

1.3 Définition de la pollution des eaux

La pollution a d'abord été définie, lors d'une réunion d'experts européens à Genève, en 1961, dans les termes suivants : «*Un cours d'eau est considéré comme pollué lorsque la composition ou l'état des eaux sont, directement ou indirectement, modifiés du fait de l'homme dans une mesure telle que celles-ci se prêtent moins facilement à toutes les utilisations auxquelles elles pourraient servir (en temps normal) à leur état naturel* » (Muckenstuen, 1973).

1.4 Mode de pollution

Ces contaminations peuvent être classées en deux types: les pollutions accidentelles, pollutions diffuses.

Chapitre 01 : Pollution des eaux

1.4.1 Les pollutions accidentelles

Elles sont provoquées par les déversements de produits chimiques, d'eaux usées ou d'effluents d'élevage. Leur impact s'étend à l'approvisionnement en eau potable et à l'environnement de la vie de la faune aquatique. C'est parfois plusieurs kilomètres de rivière polluée lors d'un accident et une mortalité piscicole avérée (**Ropars-Collet, 2018**).

1.4.2 Les pollutions diffuses

Les polluants diffus proviennent principalement de sources municipales ou émanent des espaces agricoles. Ces derniers vont être transportés par l'écoulement des eaux en se retrouvant dans les rivières, les cours d'eau et les lacs.

Leur répartition sur l'ensemble du territoire et leur manifestation intermittente rendent la détection des sources de la pollution diffuse très difficile. Les sources de pollution diffuse prises individuellement ont souvent peu d'impact sur l'environnement. Il s'agit plutôt de l'effet cumulatif amont/aval de tous ces polluants, les plus préoccupants du point de vue environnemental (**Nguyen et al., 2018**).

1.5 Origine de la pollution des eaux

On en distinguera 4 types de pollutions: la pollution domestique, la pollution par les eaux pluviales urbaines, la pollution industrielle, la pollution agricole et la pollution naturelle.

1.5.1 La pollution domestique

Elle résulte des activités de rejet d'eaux résiduaires. En zones urbaines, elles sont à hauteur d'un tiers d'origine industrielle (**Muckenstuem, 1973**). Elles sont aussi la conséquence d'une utilisation quotidienne de l'eau dans la maison (tâches ménagères, cuisine, jardinage, toilette, etc.) (**Assaad, 2014**). Elle est généralement acheminée par un réseau d'assainissement, collectant les rejets de chaque foyer ou centre d'activité, vers une station de traitement des eaux usées (**Genin et al., 2003**). Elles se présentent comme un mélange complexe de matières non dissoutes dans une solution aqueuse de matières organiques et minérales (**Cordonnier et Berne, 1996**), des germes fécaux (**Genin et al., 2003**). C'est une pollution en grande partie organique qui, par fermentation, voit sa teneur en oxygène dissous se réduire et perturber ainsi la vie piscicole (**Muckenstuem, 1973**).

1.5.2 La pollution par les eaux pluviales urbaines

Résultent du ruissellement sur des surfaces imperméabilisées (toitures, chaussée, trottoirs) de l'eau de pluie (**Assaad, 2014**). Apparue depuis qu'il existe des réseaux de collecte spécifique, avec des points de concentration des rejets. Ces rejets sont caractérisés par :

- Une teneur importante en matières minérales en suspension (sables, graviers, poussières).
- La présence de nombreux détritiques solides ou flottants de petite taille.
- Une concentration forte en toxiques et hydrocarbures (lessivage de parking, résidus d'échappement des véhicules, résidus de corrosion des équipements métalliques, etc.).

L'irrégularité de ces rejets et les volumes d'eau relativement importants qu'ils mettent en jeu rendent difficile et onéreux leur traitement (**Genin et al., 2003**).

De plus, une partie très variable de macro-déchets part vers les cours d'eau, soit entraînée par les eaux de ruissellement soit par l'intermédiaire des déversoirs d'orages (**Assaad, 2014**).

1.5.3 La pollution industrielle

Les entreprises utilisent de l'eau dans les process (refroidissement, lavage, extraction, mise en solution, etc.) et l'activité de l'usine (chimie, traitement de surface, agroalimentaire, etc.) (**Genin et al., 2003**), participant à la pollution organique. Elle est par conséquent, responsable en grande partie des rejets toxiques (**CRE, 2002**).

L'eau recèle tous les sous-produits possibles de l'activité humaine :

- Matières organiques et graisses (industries agroalimentaires, abattoirs et équarrissages).
- Hydrocarbures (raffineries).
- Acides, bases, produits chimiques divers (industries chimiques et pharmaceutiques, tanneries).
- Eau chaude (centrales thermiques).
- Matières radioactives (centrales nucléaires, centres de recherche, hôpitaux) (**Genin et al., 2003**).

Du fait des anciens dépôts ou d'infiltration des substances polluantes d'origine fossile ou de métaux : plomb zinc, ces sites pollués peuvent rencontrer des fermetures de captage

Chapitre 01 : Pollution des eaux

présentant une pollution qui peuvent porter atteinte aux individus aussi bien qu'à l'environnement (**CRE, 2002**).

La plus spectaculaire, elle est donc plus facile à localiser, pour mettre en jeu la responsabilité des entreprises et ainsi faire réviser leurs installations (**Muckenstuem, 1973**).

1.5.4 La pollution agricole

L'agriculture est aujourd'hui le principal émetteur d'azote et le deuxième en phosphore (**CRE, 2002**), elle est aussi devenue par les innovations qui l'ont révolutionnée un facteur de pollution. Elle aura à son passif la pollution des eaux par ses rejets affectant les eaux de surface tout comme les nappes et voies souterraines (**Ongley, 1996**). Aux pratiques agricoles s'ajoutent des caractéristiques climatiques et agro-pédologiques qui accentuent les risques de pollutions (**CRE, 2002**).

Parmi les caractéristiques de la pollution agricole, on citera :

- Les fortes teneurs en sels minéraux (azote, phosphore, potassium), provenant d'engrais et d'effluents d'élevage (fumiers, lisiers).
- Les substances oxydables issues de sous-produits d'élevage et des lavages d'aires (matières organiques, ammoniac).
- La présence de produits chimiques de traitement des cultures (produits phytosanitaires).
- La présence épisodique dans les effluents d'élevage de produits sanitaires (bactéricides, antibiotiques) (**Genin et al., 2003**).

1.5.5 La pollution naturelle

Les éruptions volcaniques (sulfures, acides, poussières), des épanchements sous-marins d'hydrocarbures, le contact avec des filons ou gisements d'éléments toxiques (mercure, arsenic, éléments radioactifs), la présence d'une source thermo-minérale, etc. Tous ces phénomènes sont des sources de pollution naturelle des eaux (**Genin et al., 2003**).

1.6 Les types de pollution

La pollution engendrée varie, d'ordre physique (radioactivité, hausse de la température...), chimique (rejets agricoles, industriels et urbains) et microbiologique (déjections urbains, élevage...) ou thermique.

1.6.1 La pollution chimique

Elle résulte des polluants chimiques de nature organique et minérale générés par les différentes activités anthropiques. Ce type de pollution regroupe : solvants, métaux (Zn, Pb, Cd,.....), hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), polychlorobiphényles (PCB), produits pharmaceutiques, pesticides, sels, etc. (**Benkaddour, 2018**).

Cependant, Plusieurs paramètres entrent en ligne de compte pour évaluer l'empirement de la pollution. Ils se présentent comme une juxtaposition de nombreuses substances agissant concomitamment. Exemple : pH, conductivité, turbidité, demande chimique en oxygène (DCO), etc. (**El Ouali et al., 2010**).

1.6.2 La pollution physique

La pollution physique est liée aux facteurs influents sur l'état physique de l'eau tels que la température (**Chartier, 1974**), le pH, la conductivité, le solide totale dissous (TDS), la présence des particules ou mousses et le changement de l'effet réfractaire de l'eau (**Ajagodoet al., 2017**).

1.6.3 La pollution microbiologique

Si ses sources sont variées, la plus en vue reste les rejets des structures sanitaires (**El Ouali et al., 2010**).

Les micro-organismes pullulants en milieu aquatique sont naturellement acheminés par l'écoulement de l'eau, entraînant l'éclosion de plusieurs maladies hydriques à l'instar du choléra ou de la fièvre typhoïde. Même quand les maladies ne surgissaient pas, ce ne serait qu'un sursis très aléatoire pour la santé de ses consommateurs, avalant des variétés de bactéries qui entreraient le moment opportun en conflit avec le système immunitaire. En plus l'eau peut être un milieu favorable aux développements des bactéries et virus nuisibles rendant, ainsi l'eau impropre à la santé humaine utilisé pour leurs besoins, pour leur consommation d'aliments contaminés par l'eau, ou encore lors d'un bain ou d'un contact avec des eaux à usage récréatif. Le moyen le plus commun de ces transmissions reste la voie féco-orale (**Saab et al., 2007**).

1.6.4 La pollution thermique

On ne saurait imaginer une industrie qui se passerait de l'eau. Elle y recourt d'une façon ou d'une autre, pour refroidir ses machineries, par exemple, ou générer de l'électricité grâce à la vapeur d'eau. Les industries recourent à l'eau puis la rejettent une fois son service terminé. L'eau ainsi rejetée, malgré le relatif refroidissement qu'elle subit, à l'usine même et en chemin vers le cours d'eau, elle y parvient tout de même plus chaude que l'environnement d'aboutissement. Le milieu récepteur n'en pourra alors que subir une perturbation de plus (Taghezout, 2015).

1.6.5 La pollution radioactive

Elle est liée aux rejets d'éléments radioactifs par les installations et les centrales nucléaires ainsi que les usines de traitement de déchets radioactifs (Baudin et al., 1991).

1.7 Impacts de la pollution des eaux

Les conséquences de la pollution des eaux sont multiples tant sur le plan sanitaire que sur le plan environnemental.

1.7.1 Impacts sur la santé

L'eau, ce bien le plus précieux pour la vie, ne va sans dépréciation ou insuffisance pernicieuses à la santé humaine. Les conséquences sont toujours une série de maladies plus ou mieux foudroyantes au gré des conjonctures. Les pays sous-développés enregistrent jusqu'à 80% d'entre elles issues de la consommation ou l'usage ménager de l'eau (Benkaddour, 2018).

A. Maladies d'origine bactérienne

Parmi ces maladies, on citera :

❖ Fièvre typhoïde et paratyphoïde

Ce sont de véritables septicémies dues à des salmonelles : *Salmonella typhi* et *paratyphi*A, B et C. Leurs principaux symptômes sont : la fièvre, céphalées, diarrhée, douleur abdominale, qui s'accompagne d'un abattement extrême et peuvent avoir des complications graves, parfois

Chapitre 01 : Pollution des eaux

mortelles. La contamination se fait par voie digestive à partir de l'eau contaminée par, des matières fécales, d'aliments avariés ou encore par des mains sales (**Gentilini et al., 2012**).

❖ Choléra

Le choléra est une maladie à incubation courte, de quelques heures à 5 jours, il se caractérise par une diarrhée profuse à grains riziformes accompagnée de vomissements et de douleurs épigastriques avec anurie et crampes musculaires. Son évolution pourrait être mortelle en l'absence de réhydratation et d'antibiothérapie (**Pollitzer, 1960**).

❖ Légionellose

Circuits d'eau chaude sanitaire, climatisation et tours aérorefrigérantes, aérosols médicaux pour traitements respiratoires, eaux thermales sont parmi les sources de contamination (**Delarras, 2010**). Pour l'instant aucune transmission interhumaine n'a été rapportée (**Vilaginés, 2010**).

B. Maladies d'origine parasitaire

Parmi ces maladies, on citera :

❖ Protozoaire

▪ CRYPTOSPORIDIUM PARVUM

Les effets cliniques des infections peuvent être divisés en deux groupes :

- Les patients jouissant d'un système immunitaire encore vigoureux s'en sortent avec une diarrhée profuse avec crampes abdominales modérées, nausée et anorexie qui cesse au-delà de 10 jours.
- Quant aux patients immuno-déficients, bien que les symptômes en soient identiques, l'infection s'étend dans la durée comme dans les effets (**Vilaginés, 2010**).

▪ GIARDIA LAMBLIA

Ce sont des flagellées pullulant dans les intestins et atriates. Les symptômes incluent des crampes abdominales, nausées et diarrhée aqueuse (**Rodney, 2001**).

▪ AMIBES

Maladie parasitaire parmi les plus meurtrières du monde, l'amibiase fauche annuellement un effectif de victimes allant de 40 000 à 100 000 décès (**Vilaginés, 2010**). L'amibe, parasite spécifique à l'homme, génère entre autres la dysenterie amibienne. Les symptômes que

Chapitre 01 : Pollution des eaux

présente ce parasite sont plutôt classiques, des entérococolites avec crampes et diarrhée muco-sanglante dans les cas sévères (**Bremaud et al., 2012**).

❖ Virus

▪ ENTEROVIRUS

La contamination se fait par voie digestive, par l'intermédiaire de l'eau ou d'aliments. Dans un premier temps le virus provoque une légère fièvre accompagnée souvent de symptômes de rhume banal, au bout de quelques jours chez 1 à 2 % des sujets infectés. Le virus atteint les neurones moteurs de la corne antérieure de la moelle (**Vilaginés, 2010**).

▪ HEPATITE A

Également nommée hépatite infectieuse, provoquée par un virus de la famille de *Picornaviridae*. Sa transmission est oro-fécale, par consommation d'eau ou d'aliments contaminés. Elle présente une période d'incubation allant de 15 à 45 jours (**Bremaud et al., 2012**).

▪ HEPATITE E

Maladie qui peut être transmise à l'homme par l'animal (**Peron et al., 2006**), notamment les porcs, chèvres, vaches et moutons. D'expression clinique comparable à l'hépatite A, l'hépatite E peut également se manifester par un syndrome gastrique fébrile (**Izopet et al., 2009**).

▪ GASTROENTERITES VIRALES

Il existe de nombreux virus impliqués dans les syndromes diarrhéiques. À côté des Rotavirus et virus de type Norwalk, les plus courants, on trouve des coronavirus, des Astrovirus et des Calicivirus (**Lamouliatte et Du Passquier, 1987**).

Les conséquences de la pollution ne sont pas nécessairement une question de dosage. À faible ou très faible taux d'impureté ou de toxicité de l'eau consommée ou utilisée, que l'usage soit répétitif ou unique, un organisme vivant déjà déficient pourrait succomber (**Ngo et Regent, 2012**).

La voie oro-fécale est la plus souvent incriminée dans la transmission des virus responsables des gastroentérites virales. De même, il est possible que ces derniers se transmettent par des surfaces contaminées ou par voie respiratoire (**Lamouliatte et Du Passquier, 1987**).

1.7.2 Impacts sur l'environnement

Le déversement d'eaux usées directement dans l'environnement cause de nombreux dangers pour la survie des organismes vivants et l'équilibre écologique (**Benkaddour, 2018**).

Chapitre 01 : Pollution des eaux

Les effets des pollutions industrielles sont très diversifiés, en fonction du type de substances rejetées. Pour exemple, on peut citer :

- L'augmentation de température, provoquant une modification des peuplements animaux et végétaux (développement anarchique d'algues, etc.) (**Genin et al., 2003**). Dont plusieurs réactions biochimiques se retrouvent modifiées, à l'exemple de la décomposition des déchets qui se produisent plus rapidement et consomme plus d'oxygène dissous. Ce dernier se dissout moins dans l'eau chaude que dans l'eau fraîche. Ce phénomène de pollution thermique va pousser les poissons à ventiler davantage leurs branchies afin de s'oxygéner correctement, ce qui peut être à l'origine d'un gros stress chez le poisson pour obtenir plus d'oxygène à partir d'une concentration plus petite d'oxygène dissous dans l'eau (**Raven et al., 2008**). La température a un effet sur les cycles de reproduction, les rythmes digestifs et respiratoires ce qui risque de porter atteinte aux poissons. Ces derniers se retrouvent en besoin davantage de nourriture pour garder leur masse corporelle. Leur espérance de vie devient plus courte et les populations sont plus petites (**L'ORE, 2015**).
- L'eutrophisation : un phénomène causé par la présence de quantités excessives d'azote et de phosphore, favorise la prolifération de végétaux et diminue la quantité d'oxygène dissous, ce qui provoque la mort de nombreux organismes vivants au sein du milieu aquatique (poissons, crustacés, etc.) à long terme (**Piany et al., 2018**).
- Dysfonctionnements et troubles dans les fonctions physiologiques (nutrition, respiration et reproduction) sur les organismes vivants les plus fragiles à cause de la présence d'éléments métalliques comme le mercure et l'arsenic dans les eaux (**Ait Mohamed Amer, 2010**).
- Radioactivité des eaux due aux déversements des résidus radioactifs dangereux (par exemple des éléments transuraniens (Pu, Np, Am) et des produits de fission (99Tc, 137Cs) (**Assaad, 2014**).
- La qualité de l'eau des nappes phréatiques n'est pas toujours à l'abri de la pollution. Sa dégradation va de pair avec le mouvement d'infiltration des eaux de surface chargées d'impuretés que les diverses couches du sol ne parviennent pas toujours à filtrer. Il n'est pas un hasard que la qualité de l'eau des nappes varie selon les saisons, encline à une pureté irréprochable aux proximités de la saison estivale, mais entachée de présences nocives après l'hiver, avec ses écoulements souterrains (**Benkaddour, 2018**).

Chapitre 01 : Pollution des eaux

1.8 L'échantillonnage

La valeur des résultats analytiques est directement conditionnée par la qualité du prélèvement. Pour cela, les prélèvements doivent être effectués par des personnels spécialisés.

1.8.1 Difficultés rencontrées lors du prélèvement

Dans le cas d'un écoulement provoqué, la composition de l'eau est susceptible de changer, ainsi la composition de la nappe peut changer également en fonction de la saison. Par conséquent, deux prélèvements à 6 mois d'intervalle, l'un en saison chaude, l'autre en saison humide sont recommandés (Vilaginés, 2010).

1.8.2 Changement survenant dans l'échantillon lui-même

Des changements notables peuvent-être liés à :

- L'influence de l'oxygène arien (dans l'air).
- La présence d'un système physico-chimique instable.
- Le changement de pression ou de température.
- Le développement de micro-organismes (Vilaginés, 2010).

1.9 Paramètres à mesurer

Toutes les eaux industrielles qui forment les effluents contiennent de nombreuses molécules différentes qu'il est impossible d'identifier et de quantifier individuellement et de manière exhaustive. On utilise donc des grandeurs qui servent à caractériser de manière globale et pertinente le niveau de pollution présent dans les effluents (Koller, 2009).

Tableau 01: Paramètres organoleptiques à mesurer.

Couleur	La couleur varie après filtration et due à la présence de matières organiques dissoutes, de fer ferrique précipité à l'état d'hydroxyde colloïdal, de fer ferreux lié à des complexes organiques et de divers colloïdes. Par contre il n'existe pas de lien entre la couleur et la concentration en matières organiques (Koller, 2009).
Turbidité	La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau (Mehounouet <i>al.</i> , 2016). La turbidité de l'eau résiduaire se définit comme

Chapitre 01 : Pollution des eaux

	<p>l'expression de la propriété optique qui fait que la lumière est dispersée et absorbée plutôt que transmise en ligne droite à travers un échantillon (Koller, 2009). La turbidité est exprimée généralement en NTU ou FTU (Benkaddour, 2018).</p>
Matières en suspension	<p>Elles incluent argiles, sables, limons, matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et autres micro-organismes aquatiques, ils ne se solubilisent pas dans l'eau (Segbeaya, 2012). Les teneurs élevées en matières en suspension peuvent être considérées comme une forme de pollution (Makhoukhet al., 2011), elles sont exprimées en mg/l (Mouni, 2009). Les MES commencent par affecter la transparence de l'eau, réduisant la diffusion de la lumière à l'intérieur de la substance. Il s'ensuit la réduction contrainte de la photosynthèse pour la flore et la difficulté respiratoire pour la faune (Segbeaya, 2012).</p>

Tableau 02: Paramètres physico-chimiques à mesurer.

Température	<p>C'est l'un des facteurs écologiques les plus importants parmi tous ceux qui agissent sur les organismes aquatiques. Le rôle de la température n'est jamais négligeable. Il est décisif dans la distribution des espèces aussi bien par ses niveaux extrêmes que par ses variations diurnes ou saisonnières (Koller, 2009). Elle agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous (Makhoukhet al., 2011). Par ailleurs, la température accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques d'un facteur 2 à 3 pour une augmentation de température de 10 degrés Celsius (°C). Des changements brusques de température de plus de 3°C sont souvent des indicateurs de pollution ponctuelle ou générale (Segbeaya, 2012). Sa perturbation peut influencer la vie aquatique (pollution thermique). Elle joue un rôle important dans les processus bactériens comme la nitrification et la dénitrification (Benkaddour, 2018).</p>
pH	<p>Le pH de l'eau mesure la concentration des protons H⁺ contenus dans l'eau (Mehounouet al., 2016). Il influe sur le comportement de certains éléments comme les métaux dont il peut diminuer ou augmenter la mise en solution et</p>

Chapitre 01 : Pollution des eaux

	<p>donc la toxicité en rendant les métaux bio-disponibles (Benkaddour, 2018). Des pH compris entre 5 et 9 constituent les limites dans lesquelles un développement quasi normal de la flore et de la faune aquatique semble être permis (Koller, 2009). De faibles valeurs de pH des eaux de surface augmentent les risques de libération de métaux sous forme ionique plus toxique, et des pH élevés favorisent la complexité et la stabilisation des métaux dans les sédiments mais augmentent les concentrations en ammonium NH_4^+, toxique pour les poissons (Segbeaya, 2012).</p>
Conductivité électrique	<p>La conductivité est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique (Segbeaya, 2012), elle constitue une bonne appréciation du degré de minéralisation d'une eau où chaque ion agit par sa concentration et sa conductivité spécifique (Makhoukhet al., 2011). Elle s'exprime généralement en mS/cm (Benkaddour, 2018).</p>
Solides Totaux Dissous (STD)	<p>STD signifie solides totaux dissous et représente la concentration totale de substances dissoutes dans l'eau. Il est composé de sels inorganiques et de quelques matières organiques. Ces minéraux pourraient être d'origine naturelle ou générée par l'action (industrielle ou autre) humaine, même les eaux de ruissellement agricole et urbaines peuvent provoquer un surplus de minéraux dans les cours d'eaux (Mehounouet al., 2016).</p>
Titre d'alcalinité et le titre d'alcalinité complet TA et TAC	<p>L'alcalinité déterminée par les titres TA et TAC traduit la quantité de carbone minéral lessivé ou dissous sous forme d'hydroxyde, de carbonate et de bicarbonate. Les valeurs élevées de TA ou TAC sont souvent des indicateurs d'intense activité biologique des organismes aquatiques. Elles peuvent aussi indiquer des réactions de dégradation de la matière organique. Toutefois ce sont les variations brusques de ce paramètre qui permettent de soupçonner une pollution anthropique (Segbeaya, 2012).</p>
Demande biochimique en oxygène (DBO5)	<p>La DBO5 mesure la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique par voie biologique (bactéries), cette analyse s'effectue à une température de 20°C pendant 5 jours à l'obscurité (Benkaddour, 2018). Cette mesure permet une certaine évaluation des nuisances provoquées par le rejet de matières organiques biodégradables en mesurant une consommation</p>

Chapitre 01 : Pollution des eaux

	d'oxygène (Koller, 2009).
Demande chimique en oxygène (DCO)	Elle représente la consommation d'oxygène nécessaire à l'oxydation non biologique de l'ensemble des matières organiques présentes dans l'effluent, qu'elles soient ou non biodégradables (Koller, 2009). La DCO est exprimée en mg d'O ₂ /l. Les valeurs élevées de la DCO indiquent la présence d'une forte contamination liée à la présence de polluants réfractaires d'origine organique et minérale issus des activités anthropiques ou naturelles (Benkaddour, 2018).

1.10 Lutte contre la pollution

Parmi les conséquences de l'activité humaine, la dégradation de la qualité de l'air et de l'eau s'illustre avec ses inquiétantes croissances. Au prix de combien de décès et autres drames on s'est finalement rendu à l'évidence que des mesures doivent bien s'imposer ? C'est tout le cas de l'épuration et de l'économie de l'usage de la substance, mais elle se fait de façon progressive, avec une carence de volonté presque manifeste. Aux mesures juridiques devraient succéder des mesures techniques de concrétisation des arrêtés convenus aux assises des institutions, efforts qui seront accompagnés d'études (recherche et développement) pour offrir plus de visibilité sur les diverses préoccupations et les éclairer au mieux de ce que requerrait la politique de sauvegarde de l'environnement (Koller, 2009).

1.11 Réglementation relative à l'eau

La protection des eaux de surface en Algérie est confrontée à des défis majeurs. Les pressions anthropiques qui s'exercent sur les plans et cours d'eau sont de plus en plus fortes. La réglementation a opté pour l'interdiction de porter atteinte aux eaux de surface continentales, élaborant à cette fin une série de mesures concrètes à observer.

- Le décret exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427, correspondant au 19 avril 2006, définissait les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels. Il fixe les normes des paramètres indicateurs de pollution.
- L'arrêté interministériel du 8 Safar 1433, correspondant au 2 janvier 2012, fixe les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation. Il concerne la réutilisation des eaux usées épurées dans le secteur agricole (irrigation des cultures).

Chapitre 01 : Pollution des eaux

- Le décret exécutif n° 11-219 du 10 Rajab, 1432 correspondant au 12 juin 2011, fixent les objectifs de qualité des eaux superficielles et souterraines destinées à l'alimentation domestique. Ce décret mentionne également un tableau qui précise les valeurs maximales de la qualité des eaux superficielles et souterraines destinées à l'alimentation en eau potable et confie à l'administration chargée de prendre les mesures adéquates en cas de dépassement des valeurs maximales pour tout ou partie des paramètres.
- Le décret exécutif n° 94-279 du 17 septembre 1994 porte sur l'organisation de la lutte contre la pollution marine et l'institution de plans d'urgence. Cette organisation repose sur l'institution de plans d'urgence à 3 niveaux : Un Plan National d'Urgence (P.N.U) dénommé Plan « Tel Bahr National », des Plans Régionaux d'Urgence (P.R.U) dénommés Plans « Tel Bahr Régionaux » au niveau des 3 façades maritimes, Oran, Alger et Jijel et des Plans Locaux d'Urgence (P.L.U) dénommés Plans « Tel Bahr de Wilayas » au niveau des 14 wilayas côtières.
- Le décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993, réglementant les rejets d'effluents liquides industriels fixe la valeur limite maximale des paramètres de rejets des installations de déversement industriels.
- Le décret exécutif n° 93-161 du 10 juillet 1993, qui porte dans son article 1 sur l'interdiction des déversements dans le milieu naturel des rejets directs ou indirects des huiles et lubrifiants ou après ruissèlement sur le sol ou infiltration.
- La loi n° 02-02 du 5 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral dans son article 28 qui montre que le contrôle de tous les rejets urbains, industriels et agricoles susceptibles de dégrader ou polluer le milieu marin doit être effectuée régulièrement en portant à la connaissance du public les résultats qui en découleront. De même, il a été mentionné dans l'article 36, que des mesures d'incitation économique et fiscale favoriseront l'application de technologies non polluantes et d'autres moyens compatibles avec l'internationalisation des coûts écologiques, sont institués dans le cadre de la politique nationale de gestion intégrée et de développement durable du littoral et des zones côtières.

Chapitre 02 : pollution des sédiments

La contamination du compartiment sédimentaire a fait de plus en plus l'objet d'une attention toute particulière de la part de la communauté scientifique ces dernières années. En effet, ce compartiment est un véritable piège pour de nombreux polluants organiques et métalliques (**Benkaddour, 2018**). Les sédiments d'origines diverses sont très contaminés par l'activité humaine et urbaine, ils se déposent dans le milieu aquatique et posent de nombreux problèmes au devenir des écosystèmes (**Moukhchan, 2011**).

2.1. Définition des sédiments

Le sédiment est un milieu complexe, hétérogène, constitué d'eau (jusqu'à 80%), de matériaux inorganiques et organiques et de composés d'origines anthropiques (**Tessier, 2012**).

Dans les dictionnaires, les sédiments sont ainsi définis : « *ensemble constitué par la réunion de particules plus ou moins grosses ou de matières précipitées ayant, subi séparément, un certain transport* ». Ces particules proviennent de l'érosion des roches et des sols, de l'activité organique (accumulation de coquilles...) ainsi que des rejets locaux dus à l'activité humaine. Les sédiments sont des particules fines (argiles, limons) à grossières (sable), déplacées et transportées grâce, notamment, aux actions climatiques (vent, marées...) et humaines (**Moukhchan, 2011**).

Les sédiments sont des matériaux meubles d'origine minéralogique ou biogénique, également appelés produits sédimentaires. Ils sont définis comme des particules élémentaires ou agglomérées facilement transportable, retrouvées au fond des lacs, des estuaires, des fleuves et des rivières ou des océans (**Catherine et al., 2001**). Ces éléments sont dits d'origine allochtone quand ils sont issus de l'érosion du bassin versant par des agents dynamiques comme l'eau ou le vent (origine exogène). Les sédiments d'origine allochtone, sont issus de la genèse des sédiments d'origine naturelle (érosion des sols, décomposition de la matière végétale) ou anthropique (apports de matière en suspension, de matières organiques, de nutriments ou de micropolluants en raison des rejets agricoles, industriels et domestiques) (**Bel Haj Ali, 2013**).

Les sédiments proviennent également d'une production autochtone (origine endogène), quand ils sont dus à la sédimentation de composés minéraux (carbonate, phosphate, évaporite) et organique (organismes planctoniques morts) (**Haddou, 2017**).

Les sédiments peuvent être caractérisés par la distribution granulométrique et la densité des grains, l'eau et la matière organique contenue (**Catherine et al., 2001**). Ils sont

Chapitre 02 : pollution des sédiments

également caractérisés par leur pH, leur potentiel redox, leur teneur en oxygène et en sulfure et leur salinité. Ces paramètres gèrent la répartition des contaminants entre les différentes phases des sédiments ainsi que leur biodisponibilité (**Haddou, 2017**).

2.2. Formation des sédiments

L'eau joue un rôle fondamental dans la plupart des processus physicochimiques qui affectent la croûte terrestre et intervient d'une façon directe dans la formation des sédiments. La rivière, quant à elle, est lieu d'érosion, de transit puis de dépôt. Au niveau de laquelle, les phénomènes d'érosion, qu'ils soient chimiques ou mécaniques, prédominent. Le sédiment n'est qu'un matériau issu de cette érosion, transporté et déposé par le cours d'eau, et n'ayant pas encore subi de transformation diagénétique qui exprime un phénomène de passage à une roche sédimentaire par compression des sédiments, accompagnée d'une évacuation d'eau sous pression (**Diab, 2016**).

Les sédiments par conséquent sont le résultat de la déposition des particules en suspension dans l'eau dérivés de l'érosion des roches et des sols et de la floculation d'éléments colloïdaux. Ces particules parviennent au milieu aquatique par les cours d'eau ou bien par voie atmosphérique. Ils sont essentiellement caractérisés par leur granulométrie et leur composition et capables d'accumuler divers polluants organiques ou inorganiques (**Diab, 2016**).

2.3. Composition des sédiments

La composition des sédiments se divise en trois classes :

2.3.1. Eau interstitielle

C'est l'eau qui occupe l'espace entre les particules sédimentaires, appelées également eaux poreuses ; elle peut représenter généralement plus de 50% du volume total du sédiment (**Haddou, 2017**). Mais le pourcentage reste différent d'un sédiment à un autre, dépendant alors de la composition et de la granulométrie de la colonne sédimentaire : par exemple dans les boues argileuses, l'eau interstitielle représente plus de 90% du volume total du sédiment (**Benkaddour, 2018**).

Chapitre 02 : pollution des sédiments

2.3.2. Phase inorganique

Elle est formée des minéraux provenant de l'écorce terrestre et de débris, comprenant donc principalement argiles, carbonates, silicates et hydroxydes métalliques (**Benkaddour, 2018**) issus de la destruction physique de la roche-mère. On les trouve principalement dans les sables, les limons fins et les argiles. À savoir que les argiles sont des roches sédimentaires composées généralement de silicate d'alumine (**Diab, 2016**). La phase minérale est composée d'un mélange hétérogène (**Catherine et al., 2001**) de différents minéraux et particules minérales d'origine biogénique (coquilles, ossements d'animaux). Les particules inorganiques sont généralement enrobées d'hydroxyde de fer et de manganèse et de substance organique qui leur confèrent une grande capacité d'adsorption vis-à-vis des contaminants (**Haddou, 2017**).

2.3.3. Phase organique

Elle est dérivée de l'humus, des plantes décomposées, de résidus animaux et autres matières organiques, comme les algues, les vers, les amphipodes qui se déposent au fond du plan d'eau (**Catherine et al., 2001**). La matière organique est formée des acides organiques, des amines ou des polysaccharides (produits par les microorganismes) (**Benkaddour, 2018**). Elle n'occupe qu'un faible volume du sédiment, mais joue un rôle primordial puisqu'elle régule la mobilité et donc la biodisponibilité d'un grand nombre de contaminants (**Diab, 2016**).

Certains composés organiques hydrophobes ont la particularité d'avoir des affinités avec la fraction organique présente dans les sédiments, ce qui permet leur transport et leur fixation à la phase particulaire. Ils sont déposés au fond des berges et rivières, des estuaires et des zones côtières peu profondes sous réserve de certaines conditions hydrodynamiques (**Benkaddour, 2018**).

2.4. Granulométrie des sédiments

La composition granulométrique, aussi appelée distribution granulométrique, renseigne sur la texture du matériau mais également sur les processus de transport responsable de la formation de ces sédiments (**Haddou, 2017**) et caractérise la taille des particules. La répartition de fréquence de taille des grains explique la répartition des sédiments dans un milieu aquatique. En effet, les grosses particules restent en amont tandis que les plus fines se

Chapitre 02 : pollution des sédiments

retrouvent en aval (**Scordia, 2008**). Les sédimentaires sont divisées en deux principales fractions :

2.4.1. La fraction fine

La fraction fine est celle à granulométrie inférieure à 50 μ m, à savoir généralement : limons grossiers (entre 20 et 50 μ m), limons fins (entre 2 et 20 μ m) et colloïdes ou argiles (<2 μ m) (**Scordia, 2008**). Cependant, la fraction argileuse est généralement prédominante. Par exemple, une étude effectuée par les Voies Navigables de France (VNF) a montré que sur le bassin de l'Escault, 90 % du volume des échantillons sont composés d'éléments de taille inférieure à 400 μ m parmi lesquels 50 % se situent en dessous de 63 μ m (**Scordia, 2008**).

La fraction fine est caractérisée par une grande cohésion, une charge électrique donnant un grand pouvoir adsorbant vis-à-vis des contaminants métalliques. De même, cette fraction peut contenir de la matière organique (**Diab, 2016**).

2.4.2. La fraction grossière

La fraction grossière concerne la granulométrie supérieure à 50 μ m. Elle est composée de sables fins (entre 50 et 200 μ m), de sables grossiers (entre 200 μ m et 2mm), de débris et agrégats (>2 mm). Cette fraction est donc principalement constituée de sable et de matériaux inorganiques. Elles ont généralement une faible propriété de cohésion et elles sont peu associées aux contaminants (**Diab, 2016**).

2.5. Définition de la pollution des sédiments

Les sédiments pollués sont des composés organiques ou minéraux, ayant des matériaux toxiques ou dangereux à des concentrations qui risquent d'atteindre la santé de l'homme, la faune, la flore, l'eau et l'air. Ces polluants peuvent ainsi migrer vers la faune, la flore et les individus, posant ainsi un grand danger écologique et environnemental (**Bel Haj Ali, 2013**). Il est admis depuis les années 1970 que les sédiments sont la destination finale des polluants (**Scordia, 2008**). Dans des conditions normales, ils sont peu solubles dans l'eau. Ils prédominent sur les matières en suspension et dans les sédiments qui deviennent alors des réserves de composés toxiques potentiellement mobilisables (**Dia, 2013**).

Chapitre 02 : pollution des sédiments

2.6. Impacts de la pollution des sédiments

La contamination des sédiments représente un enjeu environnemental majeur, et ce, pour plusieurs raisons. D'abord, la présence de contaminants chimiques dans les sédiments a été liée à divers effets toxiques chez les plantes et les animaux associés aux sédiments (**Bombardier, 2007**). Une exposition à des sédiments contaminés peut, en effet, avoir plusieurs impacts sur la vie, la reproduction, la croissance, et même d'autres fonctions biologiques essentielles (**Benkaddour, 2018**). Ensuite, une bioamplification de produits chimiques chez les organismes appartenant aux niveaux plus élevés de la chaîne alimentaire aquatique peut être le résultat des concentrations tissulaires élevées chez les organismes benthiques ou d'autres organismes aquatiques. Le risque potentiel de bioaccumulation des substances chimiques chez les organismes aquatiques pour les espèces sauvages vulnérables, leurs prédateurs dépendent de ces organismes pour leur alimentation. Puis, les sédiments contaminés peuvent de même représenter un risque pour la santé humaine et compromettre certaines utilisations de l'eau (ex : baignade, consommation de l'eau ou consommation de poissons ou de sauvagines) (**Bombardier, 2007**).

Par ailleurs, les contaminants dans les sédiments peuvent menacer les petits organismes, y compris les vers, crustacés et larves d'insectes qui vivent au fond de la colonne d'eau. Les contaminants peuvent être ingérés, absorbés par contact cutané ou remis en suspension et dissous dans l'eau. Ces petits organismes sont ensuite, consommés par les poissons qui à leur tour sont mangés par les humains et de plus grands animaux, les contaminants passent donc d'un niveau trophique à un autre (**Catherine et al., 2001**). Les sédiments peuvent donc représenter une source importante de contaminants pour les communautés biologiques qui y résident ou qui les fréquentent, lesquelles peuvent alors constituer un risque pour la santé humaine (ex : consommation de mollusques ou de poissons de fond contaminés) (**Bombardier, 2007**). Ces polluants, provenant donc de diverses sources (industrielles, minières, eaux usées municipales, agricoles et d'autres activités), pénètrent les voies d'eau au fil du temps. Les sédiments deviennent alors puits et source de composants toxiques en raison de leur remise en suspension et peut donc être l'une des plus importantes sources potentielles de risque pour la qualité de l'eau (**Catherine et al., 2001**).

Ainsi la progression de ces polluants est proportionnelle à leur toxicité et celle-ci continue à s'accroître jusqu'à ce qu'elle atteigne les êtres humains en passant et se bio-amplifiant par chacun des maillons de la chaîne alimentaire (**Chahal, 2013**).

Chapitre 02 : pollution des sédiments

Autre risques à ne pas sous-estimer, le transfert des polluants des sédiments vers l'écosystème, ce qui les transforme en une deuxième source de pollution. Les contaminants stockés dans les sédiments au fond des lacs et des rivières sont remis en suspension lorsque ces derniers sont érodés artificiellement par la navigation fluviale ou maritime ou naturellement, par les flux et reflux des marées (**Chahal, 2013**).

Les sédiments peuvent également servir de récepteurs naturels pour les contaminants qui s'y accumulent avec le temps. Métaux, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), polybiphényles chlorés (PCB), et pesticides organochlorés (OC), qui ne se retrouvent qu'en concentrations-traces dans l'eau, constituent des exemples de substances toxiques et hydrophobes, ayant tendance à s'accumuler dans la phase sédimentaire (**Bombardier, 2007**). D'autres substances s'introduisent dans les cours d'eau par les activités industrielles, urbaines et agricoles, ainsi que par transport atmosphérique (**Benkaddour, 2018**). En effet, la majorité des organismes vivants sont capables de se métaboliser et de réguler leur teneur en certains polluants comme les métaux lourds (sauf le mercure) et les HAP. Cependant, ils sont incapables d'éliminer ou de métaboliser rapidement le mercure et les substances organochlorées comme les PCB, le DDT et le mirex (**Gagnon, 1998**), (**Chahal, 2013**).

Chapitre 03 : Types des polluants

Les cours d'eau sont soumis aux rejets d'un grand nombre de substances toxiques à conséquence de l'essor des activités industrielles, dont les principaux polluants sont les métaux lourds (Cd, Cr, Cu, Hg, N, Pb, Zn) et/ou des composés organiques). La concentration des métaux dans les sédiments pourrait atteindre le triple de ce qu'elle est à la surface de l'eau (Dia, 2013).

Toutefois, les sédiments agissent comme des puits pour les composés hydrophobes, récalcitrants et dangereux. En fonction des processus biogéochimiques, ces hydrocarbures sont toxiques et cancérogènes, ils peuvent pénétrer dans la chaîne alimentaire et s'accumuler dans les tissus biologiques et pénétrer directement dans l'écosystème aquatique, par les effluents ou les déversements, ou indirectement par le ruissellement terrestre ou les dépôts atmosphériques (Perelo, 2010).

3.1. Pollution organique

3.1.1. Les hydrocarbures pétrolières

Les hydrocarbures sont des composés renfermant essentiellement des atomes de carbone et d'hydrogène. Les effets des hydrocarbures sur l'environnement sont variés et complexes, leur toxicité est essentiellement liée à la volatilité et au caractère aromatique des molécules. Par conséquent, les films huileux étalés à la surface de la mer empêchent les échanges air/mer nécessaires à de nombreux cycles biologiques marins. Ils diminuent le renouvellement de l'oxygène et forment un obstacle aux rayons de soleil limitant ainsi la photosynthèse et entraîne une augmentation de la température et favorise la prolifération de microorganismes consommateurs d'oxygène. Il en résulte non seulement la mort des poissons et d'oiseaux marins, mais aussi suffocation, voire intoxication des mollusques. Si certains effets concèdent la possibilité de constat immédiat des dégradations, d'autres ajoutent à l'épaississement du flou sur leur fonctionnement sur des durées préjudiciables (PNUE, 2002).

3.1.2. Les HAP (Hydrocarbures aromatiques polycycliques)

Ils font également partie des polluants organiques persistantes. Leur structure chimique est constituée de plusieurs noyaux aromatiques ayant en commun plus d'un atome de carbone. Les HAP proviennent des biosynthèses par les organismes vivants, de l'utilisation de carburants fossiles et, enfin, de la pyrolyse de matières organiques à très haute température (Scordia, 2008). Outre leur toxicité pour les animaux aquatiques et, pour les mammifères, à

Chapitre 03 : Types des polluants

caractère cancérigène et mutagène (**Bel Haj Ali, 2013**) à l'exemple des mollusques bivalves qui peuvent accumuler rapidement des HAP, mais ne semble avoir qu'une capacité limitée à métaboliser ces composés (**McElroy, 1990**).

Actuellement, les effets toxicologiques de tous les HAP sont imparfaitement connus. Toutefois, les données expérimentales disponibles chez l'animal ont montré que certains HAP pourraient induire, spécifiquement, certains effets dont certains sont systémiques (hépatiques, hématologiques, etc.) des dérèglements des facultés reproductives (**Doornaert, 2003**).

Les HAP sont ubiquitaires, capables d'habiter dans des biotopes variés et peuvent apparaître dans l'environnement par différents procédés (**Bel Haj Ali, 2013**). Ceux-ci sont générés par la combustion du bois, du charbon, l'incinération des déchets agricoles ou des ordures ménagères, ainsi que par le fonctionnement des moteurs à essence ou diesel et peuvent être adsorbés par les sédiments présents dans l'eau (**Doornaert, 2003**).

3.1.3. Les pesticides

Plusieurs créatures vivantes peuvent devenir nuisibles, destructeurs ou autrement gênants dans certaines circonstances à l'exemple des micro-organismes et des plantes, pour cela, un contrôle adéquat est nécessaire afin de lutter contre ces organismes nuisibles (**Alastair, 1967**).

La définition commune qu'on retient à propos des pesticides, des substances utilisées pour prévenir, détruire, repousser ou atténuer l'action de tout ravageur allant des insectes, des animaux et des mauvaises herbes aux micro-organismes (**Alavanja et al., 2004**).

L'homme a très tôt fait de recourir aux produits chimiques dans ses tentatives de domptage d'animaux, mais aussi des végétaux et des insectes, l'humanité se préoccupait alors de l'efficacité de ses pesticides, ignorant ainsi ce qui arriverait finalement à l'augmentation constante du volume et du nombre de ces produits chimiques rejetés dans l'environnement. (**Donald et Crosby, 1973**).

Chaque année des quantités importantes de produits chimiques sont introduites intentionnellement dans l'eau pour lutter contre les mauvaises herbes, les algues et les larves d'insectes (principalement les moustiques). Des quantités encore plus importantes et inconnues sont introduites involontairement pendant l'élimination par les eaux usées industrielles et domestiques (**Donald et Crosby, 1973**). Ces déversements sont responsables d'une pollution diffuse suite à leur application sur les sols ou les cultures, les produits

Chapitre 03 : Types des polluants

phytosanitaires rejoignent les eaux de surface et les eaux souterraines par phénomènes de ruissellement et infiltration (**Azul et al., 2004**).

Les expositions professionnelles lors de la pulvérisation et de l'application d'insecticides non aréniques ont été classées comme probablement cancérogènes pour l'homme (**Alavanja et al., 2004**).

3.1.4. Les dioxines et furanes

Les dioxines : polychloro-dibenzo dioxines (PCDD) et les furanes : polychloro-dibenzo furanes(PCDF) sont des hydrocarbures aromatiques polycycliques chlorés polysubstitués regroupant une série de congénères. Cependant, les PCDD et les PCDF sont souvent regroupés sous la dénomination unique de "dioxines" (**Gallotti et Thomann, 2005**). Les PCDDF font partie du groupe des polluants organiques persistants (POPs) et ont la particularité d'être très stables dans l'environnement, car ils possèdent une grande stabilité thermique, chimique et résistent à la dégradation biologique (**BenAbda, 2016**). Ils sont aussi peu volatils, car les valeurs de tension de vapeur des PCDDF sont d'autant plus faibles que le degré de chloration est élevé (**Alexander et al., 2000**). Ils sont également peu solubles dans l'eau, particulièrement quand le nombre d'atomes de chlore augmente (**Reynier, 2012**). De plus, ils ont une durée de demi-vie d'environ une dizaine d'année. Cependant, les PCDDF sont dits sous-produits indésirables dans certaines activités et peuvent avoir plusieurs sources. Les principales failles à partir desquelles ils peuvent pénétrer dans l'environnement sont les produits chimiques, la combustion, les sources industrielles à l'exemple des industries textiles qui font appel au PCP pour traiter leur coton et les sources naturelles, tels que les feux de forêt, ou encore, les éruptions volcaniques (**Ben Abda, 2016**).

Les PCDDF n'en demeurent pas moins des polluants très toxiques. Chez l'homme, ils peuvent provoquer certaines formes de cancers, une toxicité respiratoire, endocrinienne (**Reynier, 2012**), cardio-vasculaire, hépatique, rénale, neurologique, une déficience du système immunitaire, ou encore, de reproduction. Quant aux animaux, des symptômes de morbidité se manifestent suite à une exposition à des doses toxiques de PCDDF, tels que perte de poids, affections cutanées, problèmes de reproduction et de malformations congénitales, l'apparition d'un dysfonctionnement du système immunitaire qui peut entraîner, dans certains cas, la mort de l'animal (**Pichard, 2006**).

Dans les sédiments, les PCDD / F se retrouvent généralement dans les couches profondes. Ils sont réputés récalcitrants aux processus de dégradation biotiques et abiotiques.

Chapitre 03 : Types des polluants

Ainsi, ils sont parmi les polluants les plus notoires (Perelo, 2010), (Bel Haj Ali, 2013). D'autre part, les dépôts de sédiments accumulés au fil des années, au fond des ports, finissent par gêner la circulation maritime, entravant l'accès des navires aux installations portuaires (Perelo, 2010).

Dioxines et furannes peuvent être d'origine naturelle ou humaine, provoquant d'incendies forestiers, d'éruptions volcaniques ou de réactions enzymatiques et photolytiques. En revanche la principale source de composés de dioxines et de furannes dans l'environnement, aujourd'hui, résulte de pratiques anthropiques (PNUE, 1999). Ils proviennent principalement des:

- Installations de combustion: incinération des déchets urbains, industriels et hospitaliers, combustion des boues résiduelles, centrales fossiles.
- Petites sources de combustion: moteurs de véhicule, chauffage domestique.
- Fabrication et utilisation de certains pesticides, notamment les chlorophénoxyacides (2.4-D et 2.4.5-T), les phénols chlorés et les PCB, dans lesquels ils se trouvent comme impuretés.
- Autres procédés, tels que blanchiment de la pâte à papier, métallurgie des métaux, récupération des métaux, principalement le fil de cuivre et les moteurs électriques et les tournures de cuivre et d'aluminium.
- Accidents: incendies impliquant des matières chlorées, principalement des chlorophénols et des PCB (PNUE, 1999).

3.1.5. Le TBT (Tri-butyl-étain)

C'est une molécule biocide entrant dans la composition de certaines peintures. Son rôle est d'assurer une barrière toxique pour empêcher la colonisation des coques des navires. Le TBT est omniprésent dans les eaux de surface, quel que soit la zone géographique considérée et en raison de sa faible solubilité dans l'eau et de son caractère hydrophobe, il est généralement admis que le TBT présente une propension à se laisser absorber par les matières en suspension et le matériel sédimentaire. Les concentrations en TBT observées dans les sédiments rendent compte des apports passés et du caractère persistant de la contamination en TBT, présentant un risque d'implication écotoxicologique lié à sa remobilisation ou son transfert vers les autres compartiments environnementaux (Tessier, 2004).

Chapitre 03 : Types des polluants

Le TBT est interdit à la vente depuis 2003, à l'utilisation dès 2008, son action sur la faune aquatique a notamment eu des répercussions importantes sur la production d'huîtres du bassin d'Arcachon (**Scordia, 2008**).

Les teneurs en TBT sont toutefois très variables en fonction de l'activité maritime, des points de déversements localisés d'effluents industriels, agricoles ou domestiques. Elles sont généralement 100 à 1000 fois plus élevées dans les sédiments que dans la colonne d'eau (**Tessier, 2004**).

3.1.6. Les bi phényles polychlorés (PCB)

Ce sont des composés chimiques de formule empirique $C_{12}H_{10-1}Cl_n$, avec $n = 1-10$. Ils sont un mélange de congénères biphényles chlorés (**Renate et Kimbough, 1987**).

Ce sont des composés très stables dans l'environnement, caractérisés par leur bioaccumulation dans la chaîne alimentaire et comportent des risques d'altérer la santé humaine et l'environnement (**Oren et al., 2005**).

Les PCB ont été découverts avant le début du siècle. Ces molécules (PCB) ont largement été utilisées dans la décennie 1930 et ultérieurement, notamment dans les lubrifiants et la fabrication de transformateurs et condensateurs en raison de leur relative ininflammabilité et de leurs excellentes caractéristiques diélectriques (**Scordia, 2008**). La découverte en 1966, de PCB dans des échantillons environnementaux redonna un regain d'intérêt à l'analyse de la toxicité de ces composés (**Renate et Kimbough, 1987**).

Ils comptent parmi les polluants organiques persistants (POPs), dont la production est interdite depuis 2001 par la Convention de Stockholm (**PNUE, 2009**). Comme résultat, de nombreux pays avancés ont pris, ces dernières années, des mesures juridiques énergiques d'éradication de la présence des composants du PCB dans l'environnement. De ce fait, ils ont décidé de limiter leurs utilisation (une exception est parfois faite pour les mono- et dichloro-PCB) pour la plupart des utilisations, sauf pour des catégories telles que les équipements électriques en circuit fermé et les fluides hydrauliques dans les équipements miniers (**Renate et Kimbough, 1987**).

3.1.7. Les détergents

Les détergents sont des produits à composition spécialement étudiée pour concourir au développement des phénomènes de détergence et dont les composants essentiels sont des agents de surface (**Thoumeline, 1995**). Ces produits possèdent une grande extrémité

Chapitre 03 : Types des polluants

hydrocarbonée non polaire, soluble dans l'huile et une extrémité polaire soluble dans l'eau (George et Redei, 2008).

Les détergents sont également utilisés pour la solubilisation des protéines membranaires et des composants lipidiques (George et Redei, 2008).

Selon la nature du groupement polaire hydrophile, on distingue quatre groupes d'agents de surface : les anioniques, les non-ioniques, les cationiques et les amphotères. Les tensioactifs anioniques, les LAS précisément sont nocifs pour l'environnement et consistent une menace pour la flore aquatique et la faune, participant à la pollution des eaux. Dans le cadre entreprenant de démontrer la toxicité des LAS pour les organismes aquatiques, des travaux avaient été menés et qui ont abouti à jeter la lumière sur la nuisance causée aux organismes aquatiques soumis à des doses inconciliables avec leurs impératifs de survie (Thoumeline, 1995).

3.1.8. Le phénol

Le phénol pur (C₆H₅OH) est un solide incolore cristallisé à température ambiante. Il est hygroscopique et a une odeur âcre et douceâtre. Le phénol est un polluant cancérigène très répandu dans de nombreux effluents industriels. On le trouve dans les eaux usées des usines de transformation du charbon, des raffineries de pétrole, des industries papetières, des usines de fabrication de résines, de peintures, de textiles, de pesticides, des industries pharmaceutiques et des tanneries (Ehtash, 2001).

Il représenterait probablement le plus ancien désinfectant chimique, et sans doute celui sur lequel la plupart ont écrits. Au cours du dernier demi-siècle ou plus, la plupart des désinfectants ont été comparés au phénol. Toutefois, malgré son importance historique, il n'est pas largement utilisé comme désinfectant aujourd'hui (Charles et al., 1958) en raisons des ses multiples risques sanitaires et écologiques. C'est une substance irritante et fortement corrosive ayant une forte capacité à pénétrer dans l'organisme par la peau et les muqueuses et risque d'infecter les systèmes cardiovasculaires, nerveux. Cependant, les composés phénoliques sont solubles dans l'eau et très mobiles ce qui les rendent très toxique et susceptibles d'atteindre les sources d'eau potable en aval des rejets. De plus, ces composés peuvent causer de graves odeurs et un goût désagréables et posent des risques pour les populations même à une faible concentration. De même, le phénol agit sur le développement de certains poissons par sa bioaccumulation dans l'environnement aquatique (Ehtash, 2001).

3.1.9. Les polluants organiques persistants

Ils sont des composés hydrophobes et semi-volatils, ubiquitaire, a toxicité élevée et une capacité d'accumulation dans les réseaux trophiques, ce qui rend leur présence particulièrement préoccupante (**Jurado et al., 2007**).

Les POP proviennent essentiellement de combustions incomplètes. A l'exemple des procédés industriels qui comportent une étape de combustion, telle l'incinération de déchets, la métallurgie, peuvent donc être des émetteurs. Néanmoins, l'incinération de fonds de jardin, combustion résidentielle, feux de décharge, feux de forêts, incendies de bâtiments, etc., demeurent des estimations peu fiables car les polluants sont émis en petites quantités et parfois de manière diffuse (**Tritz, 2014**).

L'exposition à ces substances est susceptible de provoquer des effets nuisibles comme les troubles du système immunitaire, l'altération de la reproduction et le développement de propriétés cancérogènes. De même, des troubles métaboliques comme le diabète ou l'obésité mobile sont capable de survenir à long terme d'exposition (**Lauzent, 2017**).

Bien que, il existe une interaction complexe de processus contrôlant le transport vertical des contaminants dans la colonne d'eau dont la connaissance est limitée en raison de la rareté des mesures des flux verticaux de POP associés à la sédimentation des particules (**Jurado et al., 2007**). En raison de leur faible solubilité aqueuse et de leur nature hautement hydrophobe, les POP ont tendance à s'associer aux particules et à s'accumuler dans les sédiments (**Oren et al., 2005**).

❖ Propriétés

Généralement un composé est classé comme POP s'il présente les quatre caractéristiques suivantes:

- Persistance dans l'environnement, ce qui signifie que les processus de transformation chimique, photochimique et biologique ne conduisent pas à une élimination significative du composé dans aucun compartiment environnemental ;
- Transportable à longue distance, donc à la distribution mondiale, même dans les régions éloignées où le composé n'a pas été utilisé ou éliminé, en raison des propriétés physico-chimiques du composé ;
- Bioaccumulables à travers le réseau alimentaire;
- Toxique pour les organismes vivants, y compris les humains et la faune (**Schwarzenbach et al., 2010**).

3.2. Pollution inorganique

Les métaux lourds sont des éléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse 5 g/cm³. Ils sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces : mercure, plomb, cadmium, cuivre, arsenic, nickel, zinc, cobalt, manganèse etc. Les plus toxiques d'entre eux sont le plomb, le cadmium et le mercure (**Arris, 2008**). Les métaux ne sont généralement pas biodégradables du fait de leur durée de vie infinie (**Scordia, 2008**).

Les métaux lourds sont des constituants naturels dans les roches et dans les gisements minéraux (**Bel Haj Ali, 2013**). Ainsi normalement, ces éléments sont présents à de faibles teneurs (à l'état de traces, moins de 0.1%) dans les sols, les sédiments, les eaux de surface et les organismes vivants. Ces faibles concentrations en métaux lourds constituent le fond géochimique d'un certain environnement. La présence des métaux à des teneurs visibles dans l'environnement ne signifie pas nécessairement qu'il y a pollution (**Ngram, 2011**). Elle est potentielle si le métal donné se trouve à des niveaux des concentrations anormalement élevées par rapport au fond géochimique d'où la nécessité de connaître le fond géochimique est essentielle pour déterminer la contamination en métaux lourds (**Aranguren, 2008**).

L'origine des métaux lourds n'est donc pas toujours le fait de l'activité humaine. Certains phénomènes naturels peuvent également y contribuer. Depuis la formation de la Terre, les métaux lourds ainsi que d'autres substances suivent un cycle géochimique qui a conduit à leur distribution hétérogène à la surface du globe (**Ngram, 2011**).

Or, en menant ses activités pour assurer son développement l'homme génère des quantités importantes de métaux lourds dont les principales industries polluantes sont : chimie, métallurgie, sidérurgie, traitement de surfaces, fabrication d'accumulateurs au cadmium-nickel, tanneries, teintureries, verre, photographie, fabrication et l'utilisation des pesticides, papeterie, industries de la peinture, fabrication de céramique, explosifs, l'imprimerie etc. La circulation routière génère des pollutions aux plombs et zinc (**Assaad, 2014**), (**Arris, 2008**). Cela est à l'origine des changements importants dans le bilan global de la répartition des métaux à la surface de la terre (**Scordia, 2008**). Les concentrations en métaux lourds s'élèvent depuis le début de l'ère industrielle (**Bel Haj Ali, 2013**). Ainsi, les teneurs de certains métaux ont été multipliées par un facteur allant de 100 à 1000, notamment à cause des rejets générés par certaines activités anthropiques (**Scordia, 2008**).

Au cours de leur transport, ces éléments subissent diverses interactions, notamment avec des espèces organiques ou minérales, en suspension ou dissoutes, avec lesquels ils peuvent former

Chapitre 03 : Types des polluants

des complexes. Les concentrations de métaux dans les sédiments sont généralement très supérieures aux concentrations observées dans la colonne d'eau (**Ngram, 2011**).

En outre, le devenir des métaux lourds dépend de la nature du sol et de son acidité. Dans les sols acides et pauvres en humus, les métaux lourds ne s'accumulent pas. Ils sont transférés vers les nappes phréatiques ou absorbés par les plantes et présentent alors un risque pour la santé. En revanche, les sols basiques riches en humus piègent les métaux lourds, il n'y a donc pas de risque immédiat pour la santé. Mais le sol est contaminé durablement et la concentration en métaux lourds augmente avec les années (**Arris, 2008**).

Bien que certains métaux demeurent nécessaires pour les organismes ; ils sont dits essentiels, même à des fortes concentrations, ils peuvent être nocifs pour les organismes. Parmi ces éléments qui sont essentiels (micronutriments), et dont l'absence empêche le fonctionnement le développement d'un organisme, on trouve *Fe*, *Mn*, *Zn* et *Cu* pour les plantes et les animaux. Par ailleurs, *Co*, *Cr* et *Se* sont essentiels seulement pour les animaux, alors que *Mo* est un micronutriment pour les végétaux. Ces éléments constituent des enzymes et protéines très importantes dans les processus métaboliques des organismes. Toutefois, si ces éléments essentiels se trouvent être en fortes concentrations, ils peuvent devenir toxiques pour les organismes (**Aranguren, 2008**).

D'autres métaux lourds figurent parmi les contaminants les plus dangereux aussi bien pour la faune et la flore aquatique que pour les sols. Ces métaux ne sont pas nécessaires à la vie ; ils perturbent souvent le cours normal des processus métaboliques, même à l'état de trace (**Ngram, 2011**).

Les métaux lourds présentent ainsi un risque pour les phénomènes vitaux et certains d'entre eux ont des propriétés cancérigènes et mutagènes à des concentrations parfois très faibles. Ils peuvent tout de même présenter des risques d'atteinte du système nerveux ou respiratoire. Ils s'accumulent dans la chaîne alimentaire, stockés dans les organismes qui les ingèrent (**Assaad, 2014**).

Dans les sédiments, les métaux lourds peuvent se présenter sous différentes formes : ions, complexes, adsorbés à la surface d'autres particules, etc. Cela conditionne leur disponibilité et, partant donc leur toxicité. Ils sont en général en équilibre avec l'eau interstitielle, mais la moindre perturbation des conditions environnementales peut entraîner des mécanismes de remobilisation des métaux (**Scordia, 2008**).

A l'instar des autres pays méditerranéens, de la rive africaine, l'Algérie demeure un pays à ressources hydriques limitées. Ces ressources doivent être impérativement préservées. Il se profile à l'horizon un grave déficit si l'on ne prenait pas les devants par des mesures énergétiques (Afri-Mehennaoui et Mehennaoui, 2019).

Ce pays qui compte 17 bassins versants alimentés à la fois par des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables et parfois non renouvelables (Chaoui et al., 2003), connaît une pollution hydrique chronique étant donné les nombreux cours d'eau sujets à une pollution due aux rejets domestiques et industriels (Bougherira et al., 2017), qui semblerait être un phénomène courant vu l'évolution socioéconomique (Chaoui et al., 2003). Cependant, la disponibilité de l'eau par habitant risque d'être de plus en plus réduite si une partie de ces ressources est rendue inutilisable du fait de la pollution (Afri-Mehennaoui et Mehennaoui, 2019).

De ce fait, nous devons absolument veiller sur la qualité de ces eaux qui peuvent être évaluées par des analyses physiques, chimiques et biologiques, objet de notre étude pour le projet de fin de cycle d'études.

L'étude devait porter sur le suivi de l'évolution de la qualité des eaux de la rivière du bassin de la Soummam, néanmoins et vu les circonstances actuelles se relatant à la pandémie du covid-19 nous avons choisi de procéder différemment en abordant une étude antérieure, portant sur un sujet similaire, en ayant toutefois une approche analytique, évaluative et commentative.

Le travail choisi propose d'établir un diagnostic de la qualité de l'eau de l'oued Soummam afin de connaître l'état réel de la qualité des eaux et de déterminer le type et l'origine de la pollution. Cette étude est basée sur des mesures de paramètres physico-chimiques réalisées chaque semaine en étiage durant les mois de juin et juillet de l'année 2003, à quatre points de prélèvements (Mouni et al., 2009).

4.1. Présentation de la zone d'étude

Tableau 03: Caractéristiques de la vallée de la Soummam.

Localisation.	La vallée de la Soummam se situe à environ 230 km à l'est d'Alger et appartient administrativement à la wilaya de Bejaia. Troisième fleuve d'Algérie, situé à la charnière de la Basse et de la Haute Kabylie.
----------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Superficie de la vallée.	9 125 km ² .
Superficie du bassin versant.	8 800 km ² (à l'embouchure).
Débit moyen de l'oued.	Environ 25 m ³ /s.
Quantité d'eau reçue.	700 millions de m ³ /an.
Géologie.	<p>Il est constitué dans ses grandes lignes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sur la rive gauche, par de l'Oligocène traversé par des formations du Crétacé inférieur, du Miocène apparaît dans la partie aval, en bordure de l'oued. Des terrasses alluviales importantes tapissent en général le pied des pentes sauf dans la région de Sidi-Aich où le Crétacé apparaît jusque dans le lit. - Sur la rive droite, il est en majeure partie formé de Crétacé inférieur moyen et supérieur. Les terrasses alluviales sont beaucoup plus restreintes (Admiraal et al., 1997 in : Mouni et al., 2009).
Climat.	<p>La Soummam présente trois étages bioclimatiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Humide sur le bassin-versant nord. - Subhumide le long de la Soummam entre Sidi-Aich et Bejaia, cette zone reçoit une bonne pluviométrie de 600 à 900 mm avec des températures qui oscillent entre 24 et 28 ° C (Direction de la planification et de l'aménagement de Béjaia, 2003 in : Mouni et al., 2009). - Une zone semi-aride le long de la vallée de la Soummam entre Tazmalt et Sidi Aich qui est caractérisée par une faible pluviométrie (400 à 600 mm) et des températures plus estivales en été. <p>Les vents dominants sont des vents du nord-ouest (marins) qui s'engouffrent facilement dans la vallée (Viziter et Gauf, 1987 in :</p>

	Mouni et al., 2009).
Démographie.	150 à 300 habitants au km ² , la majorité ce regroupent dans les villages montagneux. Le nombre d'habitants des communes limitrophe de l'oued avec l'oued Soummam est de 490 423 habitants.
Sources hydriques.	<ul style="list-style-type: none">- Les eaux souterraines : un réservoir sous les alluvions qui s'étale de Tazmalt à SidiAich et de Sidi-Aich à Bejaia.- Les ressources superficielles : le bassin-versant de l'oued Soummam est entaillé de nombreux cours d'eaux, dont le principal est l'oued Soummam.
Sources de pollution.	<ul style="list-style-type: none">- Les centres urbains qui diffusent leurs déchets directement dans l'oued, avec une quantité estimée à 29810 m³/l.- unités industrielles qui déversent 4804m³/l d'eau usée.- Plus de 47 stations de lavage graissage qui déversent leurs eaux usées directement dans l'oued sans traitement préalable.- 58 huileries.- 26 décharges non contrôlées.
Volume des rejets annuels vers l'oued Soummam.	165.105 m ³ /an.



Figure 01 : Image aérienne du bassin versant d' oued Soummam (Google Earth, 2020).

4.2. L'échantillonnage

Dans le cadre de cette étude, quatre points de prélèvement ont été identifiés :

Station 1 (S1): Akbou.

Station 2 (S2): Sidi-aich.

Station 3 (S3): El-kseur.

Station 4 (S4): Embouchure.

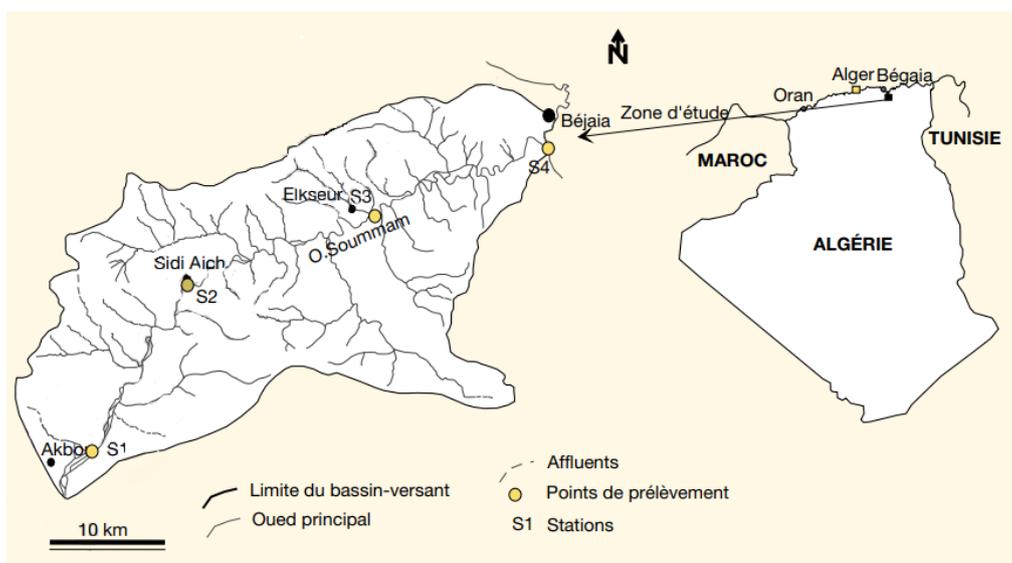


Figure 02: Carte schématique de la zone d'étude avec localisation des points de prélèvements (Mouni et al., 2009).

Les stations choisies sont jugées étant les plus représentatives, vu le positionnement des stations aux endroits les plus suspectés, tels que les zones de déversement des différents affluents. Les échantillons d'eau étaient prélevés chaque semaine en quatre points et à travers la largeur de la rivière pour les quatre emplacements durant la période d'étude (juin-juillet 2003).

Conservation et Transport : les échantillons ont été conservés à 4°C dans des flacons Nalgene et analysés le plus tôt possible (moins de 2 jours) (Guibaud et Gauthier, 2003).

4.3. Matériels et méthodes

Une multitude de paramètres physico-chimiques qui décrivent la qualité générale des eaux au niveau de différents points d'échantillonnage ont été mesurés.

4.3.1. Paramètres mesurés in situ

Le tableau ci-dessous résume les paramètres mesurés in situ : température, pH, teneur en oxygène, conductivité et la couleur.

Tableau 04: Paramètre mesuré sur le terrain.

Paramètres mesurés	Appareils de mesure
Température.	Thermomètre à mercure ordinaire.
pH.	pH-mètre de terrain de type PHYWE.
Teneur en oxygène.	Oxymètre portatif PIONEER 20 muni d'une sonde à oxygène dissous de type DOX20T.
Conductivité.	Conductimètre de terrain W.T.W 1330 muni d'une cellule de mesure de type LR 325/01 à compensation thermique.
Couleur.	Observation visuelle.

4.3.2. Paramètres mesurés au laboratoire

Le tableau ci-dessous présente les paramètres mesurés au laboratoire

Tableau 05: Paramètres mesurés au laboratoire.

Paramètres à mesurer	Méthode de mesure
Matières en suspension (MES).	Filtration sous vide.
Concentration en matière organique biodégradable.	Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours (DBO5).
Matières organiques biodégradables ou non biodégradables.	Demande chimique en oxygène (DCO).
Oxydation.	Effectuée dans des conditions énergiques, par voie chimique, sous l'action d'un oxydant puissant (dichromate de potassium) et au

	reflux pendant 2 heures.
Nitrates, nitrites, phosphates, azote ammoniacal et sulfates.	Spectrophotométrie.
Dosage des métaux lourds (plomb, zinc, cuivre, fer, nickel, cadmium).	Spectrométrie d'absorption atomique.
Concentration en chlorures.	Volumétrie.

4.4. Résultats et discussion

Les résultats obtenus sont représentés sous forme de diagramme en barre. Ces résultats ont pour but d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux de quatre stations (Akbou, Sidi-Aich, El-Kseur et à l'embouchure) de oued Soummam.

4.4.1. La DBO

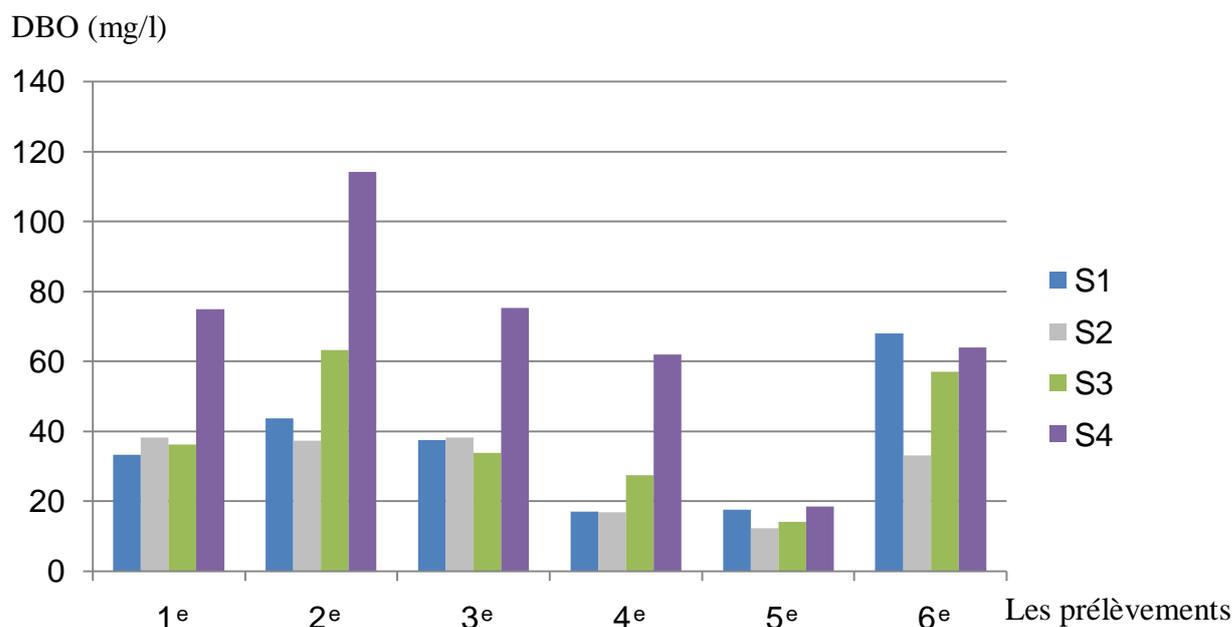


Figure 03: Résultats d'analyses de la DBO des 6 prélèvements des différentes stations.

D'après les résultats obtenus, les valeurs de DBO5 mesurées varient entre 12,25 et 114,3 mg/l et ne répondent pas à la norme requise, qui est de (25 mg/l) sauf pour les valeurs obtenues lors du 5^e prélèvement où les valeurs sont inférieures à la norme.

Lors des deuxième, quatrième, cinquième et seizième prélèvements, les résultats montrent que les concentrations en DBO5 diminuent de la première à la deuxième station, puis elles

augmentent de la deuxième à la quatrième station. Tandis, les concentrations en DBO5 augmentent pour le premier et le troisième prélèvement, ceux-ci de la première à la deuxième station et diminuent de la deuxième à la troisième station, et augmentent de nouveau au niveau de la quatrième station.

De manière générale, les valeurs de DBO5 augmentent graduellement de la première à la quatrième station en raison du déversement important d'eaux usées domestiques par chaque commune ainsi qu'aux effluents des établissements industriels. De ce fait, le pic des valeurs les plus élevées a été remarqué au niveau de la quatrième station du fait du volume élevé des eaux usées domestiques et industrielles, principalement des industries agroalimentaire (l'industrie des corps gras CO.G.B, Corps gras de Béjaia, etc.).

4.4.2. La DCO

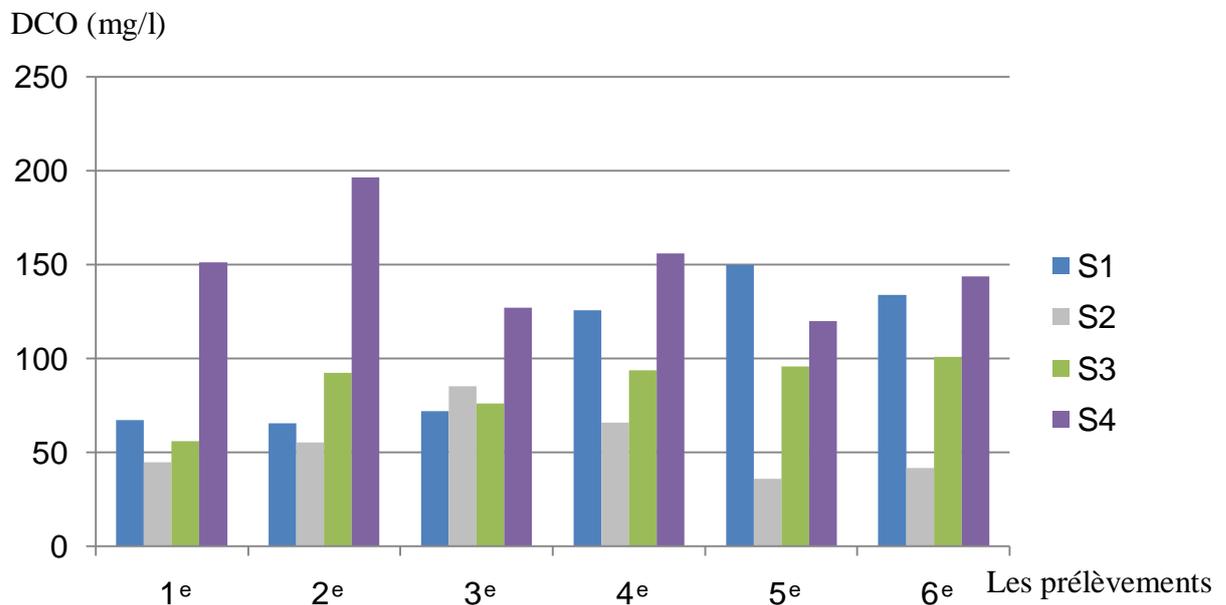


Figure 04: Résultats d'analyses de la DCO des 6 prélèvements des différentes stations.

Pour les teneurs en DCO les valeurs obtenues fluctuent entre 44,8 et 196,56 mg/l. Toutes ces valeurs trouvées dépassent largement la norme (40 mg/l). Elles sont caractérisées par une diminution de la première à la deuxième station puis une augmentation de la deuxième à la troisième station, cela s'applique pour tout les prélèvement hors le troisième prélèvement au niveau duquel une augmentation a été marqué de la première à la deuxième station puis une diminution de la deuxième à la troisième station, suivie par une augmentation de la troisième à la quatrième station.

Les concentrations les plus élevées en DCO ont été enregistrées au niveau de la première et de la quatrième station où on a obtenu des valeurs dépassant 100 mg/l.

Les résultats obtenus pourraient être essentiellement liés à la charge élevée en matières organiques des eaux usées domestiques et aux effluents des unités industrielles déversées en amont de ces stations.

4.4.3. La matière en suspension

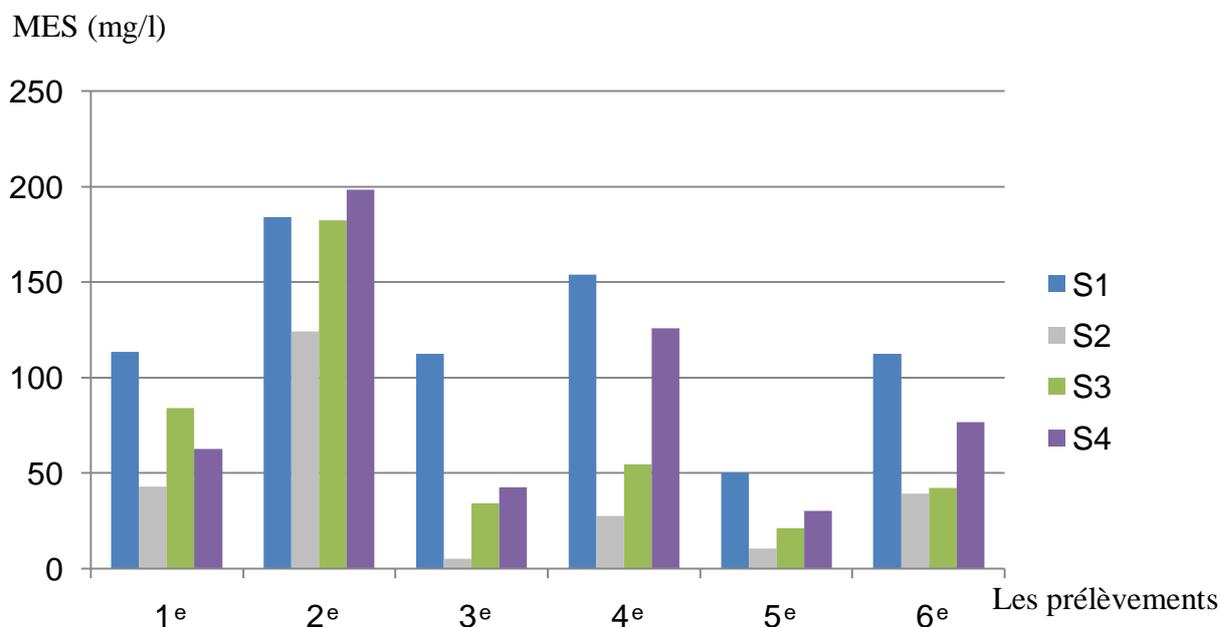


Figure 05: Résultats d'analyses de la matière en suspension des 6 prélèvements dans les différentes stations.

Les teneurs en MES trouvées sont comprises dans la fourchette de 5 à 198,66 mg/l. Dépassant largement la norme requise qui est de (30 mg/l).

La variation des valeurs montre à l'exception du premier prélèvement où nous avons remarqué une diminution des teneurs en MES de la première à la deuxième station, une augmentation de la deuxième à la troisième station pour que les valeurs diminuent de nouveau de la troisième à la quatrième station. En ce qui concerne les autres prélèvements du deuxième au sixième prélèvements, les fluctuations des teneurs en MES se révèlent semblables, caractérisées par une diminution de la première à la deuxième station, puis une augmentation graduelle de la deuxième à la quatrième station au vu de la nature du terrain traversé et à la composition des rejets déversés.

D'autre part dans la première station, les concentrations les plus élevées enregistrées sont due à la nature argileuse du terrain ainsi qu'à la déformation du lit de l'oued au niveau de cette station (S1) causée par les nombreux points d'extraction du sable.

4.4.4. Les nitrates

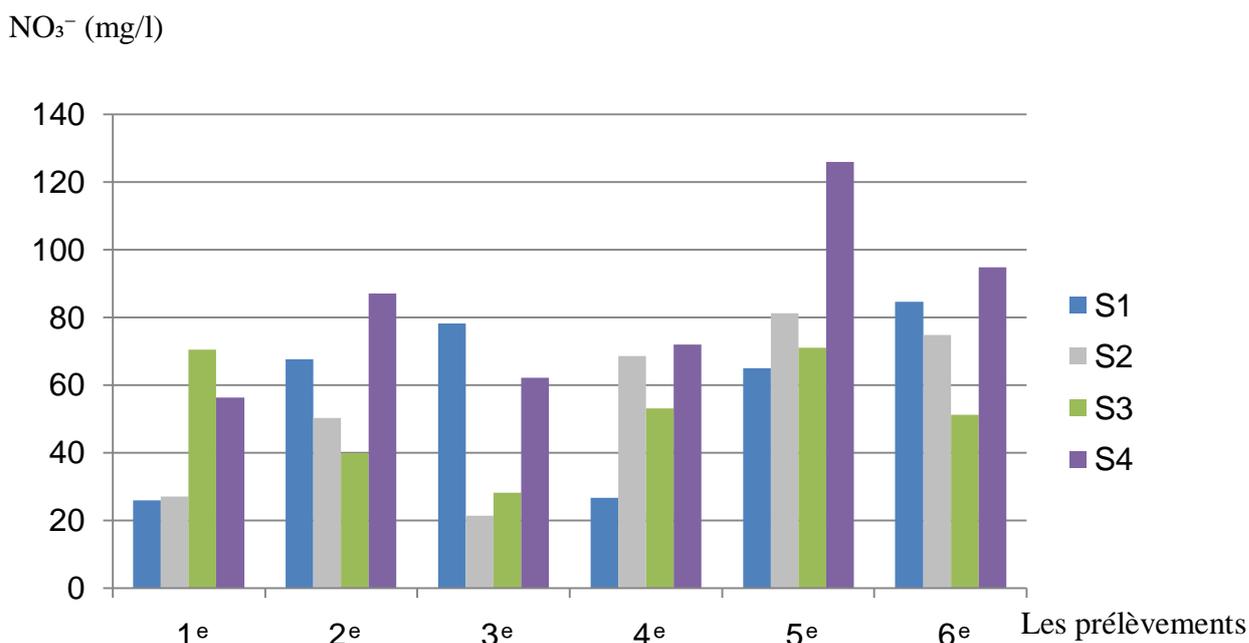


Figure 06: Résultats d'analyses des nitrates des 6 prélèvements des différentes stations.

La mesure des nitrates a montré des valeurs variant entre 21,42 mg/l et 126.1 mg/l comme valeur la plus élevée, or ces dernières dépassent amplement la norme (44 mg/l). De plus, les résultats montrent pour le deuxième et le sixième prélèvement, les variations des valeurs présentent une diminution de la concentration en nitrate de la première à la troisième station, puis une augmentation de la troisième à la quatrième stations. Tandis, pour le quatrième et le cinquième prélèvements, les résultats montrent, une augmentation de la première à la deuxième station, une diminution de la deuxième à la troisième stations puis une augmentation de la troisième à la quatrième station. Cependant, dans le premier prélèvement, les résultats enregistrent une augmentation de la première à la troisième stations suivie par une diminution de la troisième à la quatrième stations. A l'opposé, la mesure effectuée au niveau du troisième prélèvement montre une baisse de la concentration en nitrates de la première à la deuxième stations puis une augmentation de la deuxième à la quatrième stations. L'augmentation quasi-générale, du premier au sixième prélèvements pour toutes les stations pourrait être expliquée par la diminution du débit de l'oued. Ainsi, l'augmentation en nitrates de la première à la dernière stations avec des valeurs plus élevées au niveau de la quatrième station, est liée au volume important d'eaux usées et aux rejets déversés par certaines industries à l'embouchure de l'oued.

4.4.5. Le fer

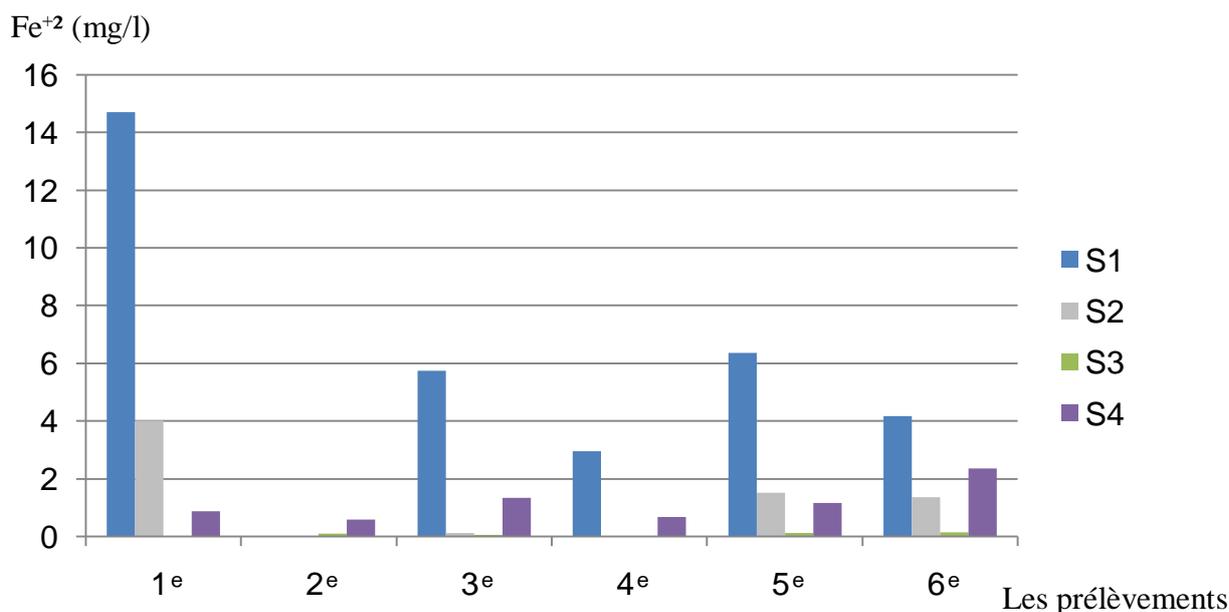


Figure 07: Résultats d'analyses du fer des 6 prélèvements des différentes stations.

Les résultats obtenus des concentrations en fer montrent des valeurs comprises dans la fourchette de 0 mg/l et 14,72 mg/l.

Ces résultats démontrent pour le premier, le troisième, le cinquième et le sixième prélèvements, une variation des valeurs caractérisées par une diminution de la première à la troisième stations et une augmentation de la troisième à la quatrième stations. Cependant, pour le deuxième prélèvement, nous observons des valeurs stables de la première à la deuxième stations avec une augmentation de la deuxième à la quatrième stations. Bien que, au niveau du quatrième prélèvement nous remarquons une diminution de la première à la deuxième stations pour que les valeurs restent stables de la deuxième à la troisième stations puis elles augmentent de la troisième à la dernière stations.

Les concentrations en fer les plus élevés sont enregistrées au niveau de la première station en raison des décharges présentes à cet endroit.

4.5. Conclusion

La présente étude documente un cas de pollution accrue des eaux superficielles de l'oued Soummam et cela s'est produit au niveau des quatre stations étudiées dont la majorité des paramètres mesurés révèlent des valeurs non conformes aux normes exigées.

L'oued Soummam est sujet à une pollution essentiellement organique issue du volume important des eaux usées urbaines et industrielles déversées, ce qui explique les concentrations importantes enregistré du DBO₅, DCO ainsi que les MES. En addition les

auteurs de l'article ont mentionné la présence d'une corrélation entre la matière organique oxydable (DCO) et la matière en suspension (MES) expliquant que la concentration en matière organique augmente avec l'augmentation de la matière en suspension et cela dans presque tous les échantillons d'eau analysés, ce qui renseigne sur le caractère organique de matières en suspension présent dans l'oued.

Par conséquent, les auteurs déclarent l'eau de l'oued est non seulement impropre à l'utilisation, mais également une menace pour l'environnement et la santé des riverains. D'après les analyses effectuées au niveau des quatre points de prélèvement, les auteurs ont tout de même, signalé qu'au niveau de la quatrième station (l'embouchure), la pollution se révèle importante et la plus affecté cela au vu de la quantité importante d'eau usée domestique (18 000 m³/j) et des volumes élevés d'effluents industriels déversés en amont de cette station.

En perspective, et suite aux résultats présentés dans cette étude, on peut dire que oued Soummam reçoit et continue de recevoir des quantités importantes de pollution qui ne cessent d'accroître avec la croissance de l'industrialisation ce qui risque de porter atteinte à la stabilité de nos écosystèmes pour cela, il faut préserver ces ressources menacées par la rareté. Il est évident d'effectuer des analyses pour évaluer la qualité des eaux de l'oued de Soummam de manière chronique avec la prise de toute mesure nécessaire en cas de possibilité.

Conclusion générale

L'oued Soummam, qui compte parmi les plus grands bassins du nord-est algérien, se trouve actuellement réduit en un exutoire de transport d'eaux usées rejetées autant par les habitations que les entités industrielles. On en dénombre sur ses deux versants pas moins 05 établissements industriels polluants, 33 stations de lavage-graissage, 58 huileries et 26 décharges non contrôlées.

Oued-égout, à ciel ouvert, il s'y déverse quotidiennement un volume considérable d'eaux usées, estimé à 29810 m³/j, rejetées par les communes de la vallée de la Soummam. Le volume des rejets des effluents liquides urbains et industriels qui y sont déversés annuellement est alarmant : il avoisine les 165.105 m³/an, dont près des trois-quarts sont d'origine urbaine.

Il ne fait pas de doute que la rivière a atteint son seuil critique d'absorption d'eaux usées, c'est-à-dire le seuil de pollution. Les eaux qu'il charrie sont totalement impropres, puisque systématiquement polluées et inconvenable au moindre usage domestique. Ceci a été confirmé par les résultats obtenus des analyses physico-chimiques faites au niveau des quatre stations étudiées par rapport aux normes réglementaires exigées.

Ce qui caractérise la qualité de ses eaux leur forte pollution organique. L'eau très faiblement propre, issue des rares pluies abondantes, ne trouve aucun répit avant d'être engloutie dans le flux pollué rejeté. Les rejets sont ininterrompus tant les déversements sont fréquents du côté domestique aussi bien que de celui des industries.

Quelles seraient les mesures à prendre et leurs moyens d'applicabilité pour parvenir à la perspective où cette pollution sera enfin enrayée, où les eaux de cette rivière redeviendront exploitables, comme elles l'avaient été des millénaires durant pour l'irrigation, mais aussi pour faire face au stress hydrique guettant le pays du fait de l'irrégularité de la pluviométrie ? *A fortiori* non loin des quatre propositions suivantes :

- 1- Les agglomérations urbaines situées sur les berges de l'oued Soummam doivent impérativement être raccordées à des stations d'épuration qui n'existent pas et sont donc à construire. Ces stations joueront un rôle double. Elles œuvreront à récupérer toutes les eaux usées domestiques et industrielles, qui n'échoueraient plus dans la rivière à l'état pollué, tout en revalorisant leur qualité avant de les rejeter dans l'oued à l'état propre, récupérant en passant toute la matière organique qui servira d'engrais agricoles. Ce sera à ce prix que les normes hygiéniques réglementaires du pays seront observées.
- 2- Une fois ces stations d'épuration construites, il est à prévoir que les usagers pollueurs ne renonceraient pas aisément à leurs vieilles habitudes. Il faudra promulguer une

Conclusion générale

interdiction formelle aux unités industrielles de rejeter, à l'état brut, les eaux usées de procès directement dans l'oued. Les stations épuratrices seront naturellement à l'aboutissement de chaque réseau d'assainissement public. Il est aussi à prévoir, pour certaines zones à faible densité d'habitation, qu'il sera seulement question de station de collecte et non d'épuration. Les quantités collectées seront régulièrement envoyées à la station d'épuration la plus proche ou demandeuse.

- 3- Les entités industrielles doivent se doter de leurs propres stations d'épuration, sans doute mieux appropriées à leurs besoins spécifiques. Leurs liquides industriels seront ainsi épurés avant de quitter l'usine, en toute conformité avec la législation du pays.
- 4- Intensifier les campagnes de contrôle de la qualité des eaux qui doivent être effectuées régulièrement et systématiquement par les services environnementaux habilités pour s'assurer de la bonne qualité des eaux et prévoir toute augmentation excessive des teneurs en éléments toxiques, et ce, dans le but de préserver la biodiversité dans le milieu.
- 5- Dans l'optique d'étudier et de suivre la propagation de la pollution qui affecte l'oued Soummam, il est vivement recommandé de procéder à l'élaboration d'une étude hydrogéologique exhaustive et pertinente de la zone en question, qui fera un excellent sujet de thématique pour les promotions à venir.

Références bibliographiques

A

- AFRI-MEHENNAOUI, Fatima-Zohra., MEHENNAOUI, Smail. Qualité écologiques des cours d'eau dans l'Est algérien l'oued Rhumel dans le Constantinois. *Conferencepaper*. [En ligne]. 2019, p. 01-02. Disponible sur : <https://www.researchgate.net/> (consulté le 02/08/2020).
- AIT MOHAMED AMER, Lilia. *Utilisation des bio-essais pour l'évaluation de l'impact anthropique sur l'oursin comestible Paracentrotuslividus de la cote orientale oranaise*. [en ligne] Thèse de magister en Science de l'environnement. Oran : université d'Oran, 2010, 95p. Format PDF. Disponible sur : <https://theses.univ-oran1.dz/document/TH3381.pdf> (consulté le 02/04/2020).
- AJAGODO, A., AGASSOUNON DJIKPONTCHIBOZO, M., KELOME, N C., VISSIN, E W., AGBOUSSO, E., Pollution physique et bactériologique de l'eau du fleuve dans la basse vallée de L'Ouémé pendant les périodes de basses et hautes eaux au Bénin. *EuropeanScientific Journal*. 2017, Vol.13, n° 33, p. 167-186. (ISSN 1857- 7431).
- ALASTAIR, C. FRAZER. Pesticides. *Pharmacol* [en ligne]. 1967, p. 319-342. <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.pa.07.040167.001535> (consulté le 15/03/2020).
- ALAVANJA, Michael C., HOPPIN, Jane A., KAMEL, Ferya. Healthy Effects of Chronic PesticideExposure : Cancer and Neurotoxicity. *Annualreview of public health*[en ligne]. 2004, vol. 25, p. 155-197. https://www.researchgate.net/publication/5390770_Health_Effects_of_Chronic_Pesticide_Exposure_Cancer_and_Neurotoxicity (consulté le 20/01/2020).
- ALEXANDER, Sophie., BRAD, Denis., BAROUKI, Robert., YVES BOIS, Frédéric., DESCOTES, Jacques., DUJARDIN, Marco., GUILLOUZO, André., HERMANS, Cédric., KECK, Gérard., KOGEVINAS, Manolis, et al.. *Dioxines dans l'environnement : quels risques pour la santé ?*. Paris : Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM). 2000, 406 p. <https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-01571987/document> (consulté le 25/03/2020).
- ARANGUREN, Matías Miguel Salvarredy. *Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers. Approches géochimique, minéralogique et hydrochimique*. [En ligne] Thèse de doctorat en Sciences de la terre et environnement. Toulouse : École doctorale : Sciences de

Références bibliographiques

l'Univers, de l'Environnement et de l'Espace, 2008, 381 p. Format PDF. Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00277431/file/These.pdf> (consulté le 15/03/2020).

- ARRIS, Sihem. *Étude expérimentale de l'élimination des polluants organiques et inorganiques par adsorption sur des sous produits de céréales*. Thèse de doctorat en Génie de procédés. Constantine : faculté des sciences de l'ingénieur, 2008, 178 p.
- ASSAAD, Aziz. *Pollution anthropique de cours d'eau : caractérisation spatio-temporelle et estimation des flux*. [En ligne] Thèse de doctorat en Génie des procédés pour l'énergie et l'environnement. Lorraine : École doctorale Ressources procédés produits environnement (RP2E), 2014, 225 p. Format PDF. Disponible sur : <https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01750762/document> (consulté le 12/03/2020).
- AZUL, G., BOCQUENE, G., CLAISSE, D., GROSSEL, H., MARCHAND, M., MUNSCHY, C., TISSIER, C., TIXIES, C., TRANCZYNSKI, J. *Stratégie pour la surveillance des produits phytosanitaires en milieu marin côtier*, 20/10/2004, Saint-Malo. Ifremer, 2004, 45p.
https://wwz.ifremer.fr/pollution/content/download/31784/file/CSTS_phytosanitaires_D_1.pdf (consulté le 21/01/2020).

B

- BARBAULT, Robert. *Écologie générale : Structure et fonctionnement de la biosphère, Structure et fonctionnement de la biosphère*. 5^e édition. France : DUNOD, 2003, 336p. (ISBN-13 : 978-2100073429).
- BAUDIN, J.P., LAMBRECHTS, A., PALLY, M. Utilisation des mousses aquatiques comme bioindicateurs de contamination radioactive. *Hydroécol*[en ligne]. 1991, vol. 3, n°2, p. 209-240.
<https://www.hydroecologie.org/articles/hydro/pdf/1991/02/hydro91202.pdf> (consulté le 03/04/2020).
- BELHADJ, Mohamed Zine. *Qualité des eaux de surface et leur impact sur l'environnement dans la Wilaya de Skikda*. Thèse de doctorat en Hydraulique. Biskra : Université Mohamed Khider Biskra, 2017, 135 p.
- BEL HADJ ALI, Imen. *Contribution à l'étude des sédiments marins tunisiens : cas des ports de Radès et de Gabès*. [En ligne] Thèse de doctorat en Génie civil. Lille : École doctorale SPI 072 PRES Université Lille Nord-de-France, 2013, 175p. Format PDF. Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00957865/document> (consulté le 13/03/2020).

Références bibliographiques

- BENKADDOUR, Batoul. *Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Cheliff (Algérie)*. [En ligne] Thèse de doctorat en Chimie. Perpignan : Université de Perpignan, 2018, 193 p. Format PDF. Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01955103/document> (consulté le 10/03/2020).
- BEN ABDA, Maher. *Étude de l'adsorption spécifique des isomères de dioxine sur des matériaux microporeux pour la mesure en ligne à l'émission des sources fixes*. Thèse de doctorat en Instrumentation. Marseille : École doctorale Physique et Sciences de la matière, 2016, 225 p.
- BOMBARDIER, Manon. *Développement d'outils écotoxicologiques pour l'évaluation de sédiments*. [En ligne] Thèse de doctorat en Toxicologie de l'Environnement. Metz : UFR Sciences Fondamentales et Appliquées, 2007, 153 p. Format PDF. Disponible sur : <https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01749030/document> (consulté le 13/03/2020).
- BOUGHERIRA, Nabil., HANI, Azzedine., TOUMI, Fayçal., HAIED, Nadji., DJABRI, Larbi. Impact des rejets urbains et industriels sur la qualité des eaux de la plaine de la Meboudja (Algérie). *Hydrological Sciences Journal*. [En ligne]. 2017, vol. 62, n° 08, p. 1290–1300. Disponible sur : <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/02626667.2015.1052451> (consulté le 02/08/2020).
- BOUNAB, Samia. *Ressources en eau et développement durable cas de la région ANNABA-EL TARF (Nord-Est algérien)*. Thèse de doctorat en Hydrogéologie. ANNABA : Université Badji Mokhtar-Annaba, 2017, 205 p.
- BREMAUD, Christelle., THIBAUT, Jérôme., ULRICH, Edith. *Environnement, Alimentation, Santé*. [en ligne]. Dijon : Educagri, 2012, 208p. . Disponible sur : <https://books.google.dz/> (consulté le 01/04/2020). (ISBN 9782844448736).

C

- CASADO-MARTINEZ, M. Carmen., MOLANO-LENO, Lidia., GRANDJEAN, Dominique., WERNER, Inge., D. FERRARI, Benoît J. Impacts des sédiments sur la qualité des eaux. *AQUA & GAS*, 2016, vol 96, n° 4, p.56-63.
- CATHERINE, N., MULLIGAN, A., RAYMOND, N., YONG, B., BERNARD, F., GIBBS, C. An Evaluation of Technologies for the Heavy Metal Remediation of Dredged Sediments. *Journal of Hazardous Material* [En ligne]. 2001, vol. 85, p. 145-163. <https://sci-hub.tw/https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11463508> (consulté le 13/03/2020).

Références bibliographiques

- CHAHAL, Hadi. *Étude du comportement hydromécanique des sédiments pollués par les PCB en interaction avec les géomatériaux pour un stockage hors site.* [En ligne] Thèse de doctorat en Génie civil. Lyon : Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2013, 237 p. Format PDF. Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00961297/document> (consulté le 15/03/2020).
- CHAIB, Nadja., BOUDJEMA, Samraoui. Évaluation de la qualité physicochimique des eaux de l'oued Kébir-Est et de ses principaux affluents (Nord-Est algérien). *John LibbeyEurotext*, 2011, vol. 22, n° 8, p. 171-177.
- CHAOUI, Widad., BENSNOUBRA, Houria., BENHAMZA, Moussa., BOUCHAMI, Tidjani. Etude de la pollution des eaux des oueds Seybouse et Mellah (Region de l'Est algerien). *Rev. Sci. Technol.* [En ligne]. 2013, vol. 26, p. 50_56. Disponible sur : <https://www.ajol.info/index.php/srst/article/view/117318> (consulté le 02/08/2020).
- CHAPMAN, PETER M. The Sediment Quality Triad Approach to Determining Pollution Induced Degradation. *The Science of the Total Environment*, 1990, vol 74-78, p. 815-825.
- CHARLES, R., WARSHOWSKY, Philips., WARSHOWSKY, Benjamin. ChemicalDisinfectANTS1. *AnnualReviewsMicrobiol*[en ligne]. 1958, vol. 12, p. 525-550. <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.mi.12.100158.002521> (consulté le 20/01/2020).
- CHARTIER, Marcel-M. Les types de pollution de l'eau. *Norois*. 1974, n° 82, p. 183-193.
- Comité Régional de l'Environnement (CRE). Pollution anthropique. In : *Qualité des ressources en eau et production d'eau potable : la situation en Poitou-Charente*[en ligne]. 2002. Disponible sur : <http://www.eau-poitou-charentes.org/Les-pollutions-et-les-menaces.html#prettyPhoto> (consulté le 02/04/2020).
- CORDONNIER, Jean et BERNE, François. *Traitement des eaux : Épuration des eaux résiduaires de raffinage, conditionnement des eaux de réfrigération*. France : Technip, 1996, 306p.

D

- DELARRAS, Camille. *Surveillance sanitaire et microbiologique des eaux*[en ligne]. 2^e édition. Paris : Lavoisier TEC & DOC, 2010, 544p. Disponible sur : <https://books.google.dz/> (consulté 01/04/2020). (ISBN 9782743018160).
- DIA, Moussa. *Traitement et valorisation de sédiments de dragage phosphaté en technique routière*. [En ligne] Thèse de doctorat en Génie-civil et environnement.

Références bibliographiques

- Artois : École doctorale des Sciences pour l'ingénieur, 2013, 169p. Disponible sur : <http://www.theses.fr/2013ARTO0206> (consulté le 15/03/2020).
- DIAB, Walaa. *Étude des propriétés physico-chimiques et colloïdales du bassin de la rivière Litani, Liban.* [En ligne] Thèse de doctorat en Géoscience. Lorraine : Université de Lorraine, 2016, 182 p. Format PDF. Disponible sur : <https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01754658/document> (consulté le 17/01/2020).
 - DONALD, G. CROSBY. The Fate of Pesticides in the Environment. *AnnualReviews Plant Physiol* [en ligne]. 1973, vol. 24, p.467-492. <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.pp.24.060173.002343> (consulté le 25/01/2020).
 - DOORNAERT, B., PICHARD, A. *Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs) Évaluation de la relation dose-réponse pour des effets cancérigènes : Approche substance par substance (facteurs d'équivalence toxique - FET) et approche par mélanges, Unité d'expertise des substances chimiques (ETSC), INERIS, Novembre 2003, 64p.* https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/Hydrocarbures_aromatiques_polycycliques_HAPs_.pdf (consulté le : 15/03/2020).

E

- EHTASH, Moamer. *Purification des eaux polluées par du phénol dans un pertracteur à disques tournants.* [En ligne] Thèse de doctorat en Génie des procédés. Rouen : Institut National des Sciences Appliquées de Rouen, 2011, 160 p. Format PDF. Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00635855/document> (consulté le 15/03/2020).
- EL OUALI LALAMI, A., MERZOUKI, M., EL HILLALI, O., MANIAR, S., IBNSOUDA KORAICHI, S. Pollution des eaux de surfaces de la ville de Fès au Maroc : typologie, origine et conséquences. *Larhyss Journal* [en ligne]. 2010, vol. 08, n° 02, p. 55-72. <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/54860> (consulté le 30/03/2020). (ISSN 1112-3680).

G

- GALLOTTI, Sophie., THOMANN, Carole. *Dioxines, furanes et PCB de type dioxine: Évaluation de l'exposition de la population française, 11/2005, France : AFSSA, 2005,*

Références bibliographiques

- 57 p. <https://www.anses.fr/fr/system/files/RCCP-Ra-DixionesPCB.pdf> (consulté le 04/04/2020).
- GENIN, Brigitte., CHAUVIN, Christian., MENARD, Françoise. *Cours d'eau et indices biologiques*. 2^e édition. Dijon : Educagrif, 2003, 221p (ISBN 2-84444-272-2).
 - GENTILINI, Marc., CAUMES, Eric., DANIS, Martin., RICHARD-LENOBLE, Dominique., BEGUE, Pierre., TOUZE, Jean-Étienne., KEROUEDAN, Dominique. *Médecine tropicale*. [en ligne]. 6^e édition. Paris : Lavoisier, 2012, 1038p. Disponible sur : <https://books.google.dz/> (consulté le 01/04/2020) (ISBN 9782257703965).
 - GEORGE, P. REDEI. *Encyclopedia of Genetics, Genomics, Proteomics, and Informatics*. [en ligne]. 3^e édition. USA : Springer, 2008, 2201p. Disponible sur : <https://books.google.dz/> (consulté le 05/01/2020).
 - GUIBAUD, Gilles., GAUTHIER, Cecile. Study of Aluminium Concentration and Speciation of Surface Water in Four Catchments in the Limousin region (France). *Journal of Inorganic Biochemistry*. 2003, vol. 97, p. 16-25.

H

- HADDOU, Aouicha. *Contamination des sédiments marins de la baie d'Oran par les métaux lourds et applications au laboratoire des bio-essais sur la toxicité potentielle d'un sédiment marin sur un outil biologique*. [En ligne] Thèse de doctorat en Science de l'environnement. Oran : université d'Oran1 Ahmed Ben Bella, faculté des sciences de la nature et de la vie, Département de biologie, 2017, 117 p. Format PDF. Disponible sur : <https://theses.univ-oran1.dz/document/13201713t.pdf> (consulté le 13/03/2020).

I

- IZOPET, Jacques., KAMAR, Nassim., ABRAVANEL, Florence., DUBOIS, Martine., LHOMME, Sébastien., MANSUY, Jean-Michel., ALRIC, Laurent., PERON, Jean-Marie., ROSTAING, Lionel. L'hépatite E chronique. *Virology* [en ligne]. 2009, vol. 13, n° 6, p. 317-342.
https://www.jle.com/fr/revues/vir/e-docs/lhepatite_e_chronique_283750/article.phtml (consulté le 01/04/2020).

J

- Journal officiel de la République algérienne. Arrêté interministériel du 8 Safar 1433, correspondant au 2 janvier 2012, fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation, n° 41, publié le 15/07/2012, p. 2.

Références bibliographiques

- <http://www.cntppdz.com/uploads/legisla/Arrete%20interministeriel%20du2%20janvier%202012.pdf> (consulté le 15/03/2020).
- Journal officiel de la République algérienne. Décret exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427, correspondant au 19 avril 2006, n° 26, publié le 23/04/2006, p.2. <http://www.sante.dz/jms2010/oms/dec06-141.pdf> (consulté le 15/03/2020).
 - Journal officiel de la République algérienne. Décret exécutif n° 11-219 du 10 Rajab 1432 correspondant au 12 juin 2011 fixant les objectifs de qualité des eaux superficielles et souterraines destinées à l'alimentation en eau des populations, n° 34, publié le 19/07/2011, p. 5. <http://www.mre.gov.dz/wp-content/uploads/2018/05/f2011034.pdf> (consulté le 15/03/2020).
 - Journal officiel de la République algérienne. Décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993, réglementant le déversement des lubrifiants dans les milieux naturels, n° 46, publié le 14/07/1993, p.8. https://www.energy.gov.dz/Media/galerie/decret_executif_93-161_5b6862a591c1b.pdf (consulté le 15/03/2020).
 - Journal officiel de la République algérienne. Décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993, réglementant les rejets d'effluents liquides industriels et fixant la valeur limite maximale des paramètres de rejets des installations de déversement industriels, n° 46, publié le 14/07/1993, p.7. <http://www.sante.dz/jms2010/oms/dec93-160.pdf> (consulté le 15/03/2020).
 - Journal officiel de la République algérienne. Décret exécutif n° 94-279 du 17 septembre 1994 portant organisation de la lutte contre les pollutions marines et institutions de plans d'urgence, n° 59, publié le 21/09/1994, p.9. http://www.enssmal.dz/fr/images/Relementation_milieu_marin/Decret_94-279_organisation_de_la_lutte_contre_les_pollutions_marines_et_institution_de_plans_d_urgence.pdf (consulté le 15/03/2020).
 - Journal officiel de la République algérienne. La loi n° 02-02 du 5 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral, n° 10, publié le 12/02/2002, p.21.
 - JURADO, Elena., ZALDI VAR, Jose´-Manuel., MARINOV, Dimitar., DACHS, Jordi. Fate of Persistent Organic Pollutants in the Water Column: Does Turbulent Mixing Matter?.*Science direct Marine Pollution Bulletin*[en ligne]. 2007, vol. 54, p. 441-451.

Références bibliographiques

<https://sci-hub.tw/https://www.sciencedirect.com/science/article/> (consulté le 15/03/2020).

K

- KAHOUL, M., DERBAL, N., ALIOUA, A., AYAD, W. Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux de puits dans la région de Berrahal (Algerie). *LARHYSS Journal*, 2014, vol 11, n° 2, p. 169-178.
- KOLLER, Emilian. *Traitement des pollutions industrielles : Eau, air, déchets, sols et boues*. 2^e édition. Paris : Dunod, 2009, 569p. (ISBN 978-2-10-052104-3).

L

- LAMOULIATTE, F., DU PASSQUIER, P. Les gastroentérites virales. *Médecine et Maladies Infectieuses*[en ligne]. 1987, vol. 14, p. 618_623.
<https://reader.elsevier.com/reader/> (consulté le 01/04/2020).
- LAUZENT, Mathilde. *Étude de l'écodynamique des polluants organiques persistants et des micropolluants halogénés d'intérêt émergent dans les milieux aquatiques*. [En ligne] Thèse de doctorat en Chimie analytique environnementale. Bordeaux : Ecole doctorale des Sciences chimiques, 2017, 390 p. Format PDF. Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01699067/document> (consulté le 25/02/2020).

M

- MAKHOUKH, M., SBAA, M., BERRAHOU, A., VAN, M., CLOOSTER. Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued MOULOUYA (MAROC ORIENTAL). *Larhyss Journal*[en ligne]. 2011, vol. 08, n°09, p.153-155.
https://www.researchgate.net/publication/265795684_Contribution_a_l'etude_physico-chimique_des_eaux_superficielles_de_l'Oued_Moulouya_Maroc_oriental (Consulté le 10/03/2020).
- MCELORY, Anne E. Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Metabolism in the Polychaete Nereis Virens. *Aquatic Toxicology*[En ligne]. 1990, vol. 18, p.35-50.
<https://sci-hub.tw/https://www.sciencedirect.com/science/article/> (consulté le 15/03/2020).
- MEHOUNOU, José Papin., JOSSE, Roger Gérard., DOSSOU-YOVO, Pierre., SENOU, Serge Freddy., TOKLO, Rock Modéran. Caractérisation physico-chimique et microbiologique des eaux souterraines et superficielles dans la zone de production

Références bibliographiques

- cotonnière d'Aplahoué. *Journal of Applied Biosciences*, 2016, vol 103, p. 9847. ISSN 1997-5902
- MILENKOVIC, N., DAMJANOVIC, M., RISTIC, M. Study of Heavy Metal Pollution in Sediments from the Iron Gate (Danube River), Serbia and Montenegro. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2005, Vol. 14, n° 6, p. 781-787.
 - MOUKHCHAN, F., AMMARI, M., BEN ALLAL, L. Caractérisation physico-chimique des sédiments marins du littoral de Tanger et perspectives de valorisation. *Déchets sciences et techniques*, 2011, n°59, p. 1-6.
 - MOUNI, Lotfi. *Étude et caractérisation physico-chimique des rejets dans l'oued Soummam*. Mémoire de magistère en Génie chimique. Béjaïa : Université Abderrahmane MIRA, Béjaïa, 2004, 149 p.
 - MOUNI, Lotfi., MERABET, Djoudi., ARKOUB, Hamid., MOUSSACEB, Karim. Etude et caractérisation physico-chimique des eaux de l'oued Soummam (Algérie). *Sécheresse*. 2009, vol. 20, n° 4, p. 360-366.
 - MOUSSA HAIDAR, Chaden. *Évaluation de la qualité de l'eau du bassin supérieur de la rivière du Litani, LIBAN : approche hydrogéochimique*. [En ligne] Thèse de doctorat en Géosciences. Lorraine : École doctorale RP2E (Science et Ingénierie Ressources, Procédés, Produits, Environnement), 2014, 286 p. Format PDF. Disponible sur : http://docnum.univ-lorraine.fr/public/DDOC_T_2014_0295_MOUSSA_HAIDAR.pdf (consulté le 10/03/2020).
 - MUCKENSTUEM, Françoise. La Pollution des eaux en Provence-Côte d'Azur. *Méditerranée* [en ligne]. 1973, n°1, p.81-93. https://www.persee.fr/doc/medit_0025-8296_1973_num_12_1_1468 (consulté le 02/04/2020).

N

- NGARAM, Nambatingar. *Contribution à l'étude analytique des polluants (en particulier de type métaux lourds) dans les eaux du fleuve Chari lors de sa traversée de la ville de N'Djamena*. [En ligne] Thèse de doctorat en Chimie. Lyon : École doctorale de Chimie, Lyon, 2011, 164 p. Format PDF. Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01163894/document> (consulté le 23/02/2020).
- NGO, Christian., REGENT, Alain. *Déchets, effluents et pollution : impact sur l'environnement et la santé*. 3^e édition. Paris : Dunod, 2012, 190p. (ISBN 978-2-10-057409-4).

Références bibliographiques

- NGUYEN, Phu Duc., TOUMBOU, Babaca., DUCHESNE, Sophie., KOKUTSE, Nomessi., VILLENEUVE, Jean-Pierre. Évaluation de l'impact de la pollution diffuse sur la qualité de l'eau en rivière avec données restreintes : cas d'application du bassin versant de la rivière Cau. *Revue des sciences de l'eau/ Journal of Water Science* [en ligne]. 2018, Vol. 31, n°3, p. 293_312. <https://www.erudit.org/fr/revues/rseau/2018-v31-n3-rseau04148/1054308ar/> (consulté le 02/04/2020). (ISSN 0992-7158).

O

- Observatoire Régional de l'Environnement Poitou-Charentes. *L'Environnement en Poitou-Charentes : l'eau* [en ligne]. Poitou-Charentes : Sipap-Oudin, 2015, 347p. http://www.environnement-poitou-charentes.org/IMG/pdf/eau_Environnement_poitou_charentes_2015.pdf? (consulté le 02/04/2020) (ISBN : 978-2-36354-025-6).
- OMI/PNUE: Système Régional d'Information; Partie D, Guides Opérationnels et Documents Techniques, Fascicule 1: Guide pour la lutte contre la pollution marine accidentelle en Méditerranée, REMPEC, avril 2002, (première version publié en juillet 1985).
[http://www.rempec.org/admin/store/wywigimg/File/Information%20resources/Guidelines/RIS_D_1_\(F\).pdf](http://www.rempec.org/admin/store/wywigimg/File/Information%20resources/Guidelines/RIS_D_1_(F).pdf) (consulté le 15/03/2020).
- ONGELY, Edwin D. *Control of water pollution from agriculture*[en ligne]. Rome : FAO, 1996, 101p. Disponible sur :
<https://books.google.fr/books> (consulté le 02/04/2020) (9251038759, 9789251038758).
- OREN, Adi., AIZENSHTAT, Zeev., CHEFTEZ, Benny. Persistent Organic Pollutants and Sedimentary Organic Matter Properties: A Case Study in the Kishon River, Israel. *Science direct Environmental Pollution*[En ligne]. 2005, vol. 141, p. 265-274.
https://www.researchgate.net/publication/7547491_Persistent_organic_pollutants_and_sedimentary_organic_matter_properties_A_case_study_in_the_Kishon_River_Israel (consulté le 15/03/2020).

P

- PERELO, Louisa Wessels. In Situ and Bioremediation of Organic Pollutants in Aquatic Sediments. *Journal of Hazardous Materials*[En ligne]. 2010, vol. 177, p. 81-89.
<https://sci-hub.tw/https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20138425> (consulté le 14/03/2020).

Références bibliographiques

- PERON, Jean-Marie., MANSUY, Jean-Michel., IZOPET, Jacques., VINEL, Jean-Pierre. Une hépatite émergente : l'hépatite E. *Biology*[en ligne]. 2006, vol. 16, n° 4, p.43-239.
https://www.jle.com/fr/revues/san/e-docs/une_hepatite_emergente_lhepatite_e_274092/article.phtml (consulté le 01/04/2020).
- PIANY, G., GASCUL, C., MENESGUEN, A., SOUCHON, Y., LE MOAL, M., LEVAIN, A., ETRILLAED, C., MOATAR, F., PANNARD, A., SOUCHU, P. *L'eutrophisation manifestations, causes, conséquences et prédictibilité*[en ligne]. France : QUAE, 2018, 176p. Disponible sur :
<https://books.google.fr/books> (consulté le 02/04/2020) (ISBN 9782759227563).
- PICHARD, A. *Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques*, 2005. France : I NERIS, 2006, 82 p.
- POLLITZER, R. *Le choléra*, 1960, Genève. Organisation mondiale de la santé, 1065p.
- PNUE. *Programme d'actions stratégiques visant à combattre la pollution due à des activités menées à terre*. Athènes : PNUE, 1999, 80 p.
<https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/523/mts119eng.pdf?sequence=5&isAllowed=y> (consulté le 14/03/2020).
- Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE). *Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants*, 2009, Genève : PNUE, 56 p.
https://www.wipo.int/edocs/lexdocs/treaties/fr/unep-pop/trt_unep_pop_2.pdf (consulté le 05/01/2020).

R

- RAVEN, P.H., BERG, L.R., HASSENZAHN, D.M. *Environnement*[en ligne]. 6^e édition. USA : Wiley, 2008, 661p. Disponible sur : <https://books.google.dz/books?> (consulté le 01/04/2020) (ISBN 9782804158910).
- REGGAM, A., BOUCHELAGHEM, H., HOUHAMDI, M. Qualité physico-chimique des Eaux de l'Oued Seybouse (Nord-Est de l'Algérie): Caractérisation et analyse des composantes principales (Physico-Chemical Quality of the River Seybouse's waters (Northeastern Algeria): Characterization and Principal Component Analysis). *J. Mater. Environ. Sci*, 2015, vol 06, p. 1417-1425. (ISSN : 2028-2508).
- RENATE, D. KIMBOUGH. Human Health Effects of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) and Polybrominated Biphenyls (PBBs). *Annual Reviews Pharmacol. Toxicol*[En ligne]. 1987, vol. 27, p. 87-111.

Références bibliographiques

- <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.pa.27.040187.000511> (consulté le 25/01/2020).
- REYNIER, Nicolas. *Décontamination des sols pollués par des métaux, du pentachlorophénol et des dioxines et furanes*. [En ligne] Thèse de doctorat en Sciences de la terre. Québec : institut national de recherche scientifique, Centre eau terre environnement, 2012, 255 p. Format PDF. Disponible sur : <http://espace.inrs.ca/id/eprint/1748/1/T000605.pdf> (consulté le 30/03/2020).
 - RODNEY D, Adam. Biology of Giardia Lamblia. *ClinicalMicrobiologyReviews*[en ligne]. 2001, vol. 14, n° 3, p. 447-475. <https://cmr.asm.org/content/cmr/14/3/447.full.pdf> (consulté le 01/04/2020).
 - ROPARS-COLLET, Carole., LE GOFFE, Philippe., RIEUSSET, Frank. Pollutions accidentelles des eaux de surfaces : une application des modèles de comptage. *Économie & prévision*[en ligne]. 2018, n° 213, p. 1-18. <https://www.cairn.info/revue-economie-et-prevision-2018-1-page-1.htm> (consulté le 02/04/2020).

S

- SAAB, Hamid Bou Saab., NASSIF, Nadine., EL SAMRANI, Antione G., DAOUD, Rosette., MEDWAR, Samir., OUAINI, Naim. Suivi de la qualité bactériologique des eaux de surface (rivière Nahr Ibrahim, Liban). *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*[en ligne]. 2007, vol. 20, n° 4, p. 325-424. <https://www.erudit.org/fr/revues/rseau/2007-v20-n4-rseau1975/016909ar.pdf> (consulté le 01/04/2020) (ISSN 0992-7158).
- SCHWARENBACH, Rene P., EGLI, Thomas., HOFSTETTER, Thomas., GUNTEN, Urs von., WEHRLI, Bernhard. Global Water Pollution and Human Health. *Annual Review EnvironResour*, 2010, vol. 35, p. 109-136.
- SCORDIA, Pierre-Yves. *Caractérisation et valorisation de sédiments fluviaux pollués et traités dans les matériaux routiers*. [En ligne] Thèse de doctorat en Génie Civil. Lille : École doctorale SPI 072, 2008, 189 p. Format PDF. Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00339371v2/document> (consulté le 13/03/2020).
- SEGBEAYA, Kwamivi N. *Evaluation de l'impact des déchets ménagers de la ville de Kara (Togo) sur la qualité de la rivière Kara*. Thèse de doctorat en Chimie et Microbiologie de l'eau. Lomé : École doctorale, Science - Technique – Santé, 2012, 204p.

Références bibliographiques

T

- TAGHEZOUT, Fatima. *Impact environnemental des rejets d'eau le long du littoral occidental algérien*. [En ligne] Thèse de magister en Science de l'environnement. Oran : Faculté des Sciences de la nature et de la vie, Département de biologie, 2015, 122 p. Format PDF. Disponible sur : <https://theses.univ-oran1.dz/document/TH4428.pdf> (consulté le 12/03/2020).
- TESSIER, Emmanuel. *Étude de la réactivité et du transfert du tributyletain et du mercure dans les environnements aquatiques*. [En ligne] Thèse de doctorat en Chimie et microbiologie de l'eau. Pau : Ecole doctorale des Sciences exactes et de leurs applications, 2004, 289 p. Format PDF. Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00010071/file/tel-00010071.pdf> (consulté le 17/03/2020).
- TESSIER, Erwan. *Diagnostic de la contamination sédimentaire par les métaux/métalloïdes dans la rade de Toulon et mécanismes contrôlant leur mobilité*. [En ligne] Thèse de doctorat en Chimie de l'environnement. Toulon : Université de Toulon, Var, 2012, 245 p. Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01124043/document> (consulté le 10/03/2020).
- THOUMELINE, Guy. *Les tensio-actifs dans les eaux douces et marines. Analyse, Comportement, Ecotoxicologie*. 1995, Lille. IFREMER, 112 p. <https://archimer.ifremer.fr/doc/1995/rapport-1447.pdf> (consulté le 15/03/2020).
- TRITZ, Audrey. *Oxydation et pyrolyse du dibenzofurane à très faibles concentrations Application à la réduction des émissions de dioxines*. [En ligne] Thèse de doctorat en Génie des procédés et des produits. Lorraine : École doctorale RP2E : Ressources, Procédés, Produits, Environnement, 2014, 158 p. Format PDF. Disponible sur : http://docnum.univ-lorraine.fr/public/DDOC_T_2014_0014_TRITZ.pdf (consulté le 25/01/2020).

V

- VAROL, Memet. Assessment of Heavy Metal Contamination in Sediments of the Tigris River (Turkey) Using Pollution Indices and Multivariate Statistical Techniques. *Journal of Hazardous Materials*, 2011, vol 195, p. 355–364.
- VILAGINÈS, Roland. *Eau, environnement et santé : introduction à l'hydrologie*. 3^e édition. France : Lavoisier, 2010, 198p. (ISBN 978-2-7430-1294-6).

Références bibliographiques

Y

- YU, Ruilian., YUAN, Xing., ZHAO, Yuanhui., HU, Gongren., TU, Xianglin.
Heavy Metal Pollution in Intertidal Sediments from Quanzhou Bay, China. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, vol 20, n° 6, p. 664-669. (ISSN 1001-0742).

Tableau 01 : Normes Algériennes de rejets des effluents liquides industriels

N°	PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCES AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
1	Température	°C	30	30
2	PH	-	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
3	MES	mg/l	35	40
4	Azote Kjeldahl	"	30	40
5	Phosphore total	"	10	15
6	DCO	"	120	130
7	DBO5	"	35	40
8	Aluminium	"	3	5
9	Substances toxiques bioaccumulables	"	0,005	0,01
10	Cyanures	"	0,1	0,15
11	Fluor et composés	"	15	20
12	Indice de phénols	"	0,3	0,5
13	Hydrocarbures totaux	"	10	15
14	Huiles et graisses	"	20	30
15	Cadmium	"	0,2	0,25
16	Cuivre total	"	0,5	1
17	Mercure total	"	0,01	0,05
18	Plomb total	"	0,5	0,75
19	Chrome Total	"	0,5	0,75
20	Etain total	"	2	2,5
21	Manganèse	"	1	1,5
22	Nickel total	"	0,5	0,75
23	Zinc total	"	3	5
24	Fer	"	3	5
25	Composés organiques chlorés	"	5	7

PH : Potentiel d'hydrogène

DBO₅ : Demande biologique en oxygène pour une période de cinq (5) jours

DCO : Demande chimique en oxygène

MES : Matière en suspension

Le décret exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427, correspondant au 19 avril 2006, définissait les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels.

Tableau 02 : Normes Algériennes des eaux usées épurées destinées à des fins d'irrigation.

	PARAMETRES	UNITÉ	CONCENTRATION MAXIMALE ADMISSIBLE
Physiques	pH	—	$6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$
	MES	mg/l	30
	CE	ds/m	3
	Infiltration le SAR = o - 3 CE		0.2
	3 - 6		0.3
	6 - 12	ds/m	0.5
	12 - 20		1.3
	20 - 40		3
Chimiques	DBO5	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	CHLORURE (Cl)	meq/l	10
	AZOTE (NO ₃ - N)	mg/l	30
	Bicarbonate (HCO ₃)	meq/l	8.5
Eléments toxiques (*)	Aluminium	mg/l	20.0
	Arsenic	mg/l	2.0
	Béryllium	mg/l	0.5
	Bore	mg/l	2.0
	Cadmium	mg/l	0.05
	Chrome	mg/l	1.0
	Cobalt	mg/l	5.0
	Cuivre	mg/l	5.0
	Cyanures	mg/l	0.5
	Fluor	mg/l	15.0
	Fer	mg/l	20.0
	Phénols	mg/l	0.002
	Plomb	mg/l	10.0
	Lithium	mg/l	2.5
	Manganèse	mg/l	10.0
	Mercure	mg/l	0.01
	Molybdène	mg/l	0.05
	Nickel	mg/l	2.0
	Sélénium	mg/l	0.02
	Vanadium	mg/l	1.0
Zinc	mg/l	10.0	

L'arrêté interministériel du 8 Safar 1433, correspondant au 2 janvier 2012, fixe les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation.

Résumé

L'oued Soummam figure parmi les rivières les plus importantes du réseau hydrographique algérien. De par sa position géographique, son lit s'en trouve en quelque sorte voué à devenir l'exutoire parfait au déversement des différents rejets d'effluents liquides provenant tant des agglomérations urbaines (eaux usées domestiques) que des infrastructures et unités industrielles implantées dans les Zones d'activités le long de ses rives.

La croissance démographique allant de pair avec son corollaire majeur, l'urbanisation galopante très peu réglementée, mais aussi l'industrialisation sans les moyens ni l'encadrement requis, fait que le volume de ces eaux résiduaires rejetées ne vont qu'en augmentant en quantité tout en se compliquant dans leur composition et leur mouvement. Le long de ses deux rives, des décharges sauvages ponctuent aussi et déprécient le paysage. Outre les déchets ménagers, différents déchets solides industriels s'y retrouvent, les gravats cohabitant avec toutes sortes de détrit.

Que découlera de cette malheureuse situation ? La dégradation du cadre environnemental allant en empirant, mettant sous hypothèque irréversible, à terme extrême, jusqu'à l'équilibre de l'écosystème de la région à court ou moyen terme au plus tard. On continue pour le moment à refuser de s'alarmer, cloîtrés dans une assurance entêtée, espérant que des initiatives et des mesures responsables, drastiques et énergiques seront envers et malgré tout prises promptement et énergiquement à « un moment magique ».

Nous nous étions proposé, par la présente étude, d'entreprendre une caractérisation physicochimique des eaux de l'oued Soummam. Une multitude de paramètres ont donc été pris en ligne de compte et analysés à cette fin précise. Les résultats analytiques ainsi obtenus ont fait ressortir que le type de pollution dont pâtissent ces eaux est principalement d'ordre organique, tel que le confirment ses fortes concentrations en DBO, DCO, outrepassant la norme requise. Dans ce contexte, et afin d'expliquer les raisons participiales de cette pollution, des corrélations entre paramètres de pollution ont été effectuées.

Mots clés : Eaux usées, effluents, oued Soummam, pollution.

Abstract

The Soummam river is among of the main rivers of the Algerian hydrographic system. It presents a perfect outlet of various discharges of liquid effluents from urban agglomerations (domestic wastewater), infrastructures and industrial units located inside the (economic) Activity zones. The volume of this discharged wastewater, as everybody can notice it, goes increasingly day after day, coming from several points as the urban expansion and the development of local industry. Various industrial solid wastes, garbage and rubble are also spread in too many places. This situation leads to environmental degradation and threats the region's ecosystem balance itself as long as wisy and drastic measures are not taken.

The present study is based on the physicochemical characterization of the Soummam river's waters, a purpose that required to get a multitude of parameters analysed. The results we obtained show undoubtedly that the river suffers mainly from organic pollution. High concentrations of DBO5, DCO exceed dangerously the allowed standard. The correlations between the pollution parameters were carried out in order to explain the participatory reasons for this pollution.

Keywords: wastewater, effluents, Soummam river, pollution.

المخلص

يعد وادي الصومام من أهم أنهار الجزائر، إلا انه يمثل منفذا لتصريف مختلف النفايات السائلة من التجمعات السكنية الحضرية (مياه الصرف الصحي) و الوحدات الصناعية. بحيث أن حجم مياه الصرف التي يتم كبتها في الوادي في ازدياد يومي بسبب النمو السكاني و التوسع الحضري من دون مراعاة القانون و تطور الصناعة المحلية مع قلة إمكانياتها إلى جانب مختلف النفايات الصلبة كالقمامات و الأنقاض، مما يؤدي إلى تدهور البيئة وكذا يتدهور توازن النظام البيئي يوم بعد يوم في حال عدم اتخاذ التدابير اللازمة.

هذه الدراسة تعتمد على التحاليل الفيزيائية والكيميائية لمياه نهر الصومام. في هذا السياق، أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن التلوث العضوي ينتشر بشكل رئيسي و ذلك من خلال التراكيز العالية لكل من DBO5 ، DCO ، والتي تتجاوز بشكل مثير للقلق المعايير المطلوبة. ليتم في الأخير، إجراء شرح لمختلف الأسباب المؤدية إلى هذا التلوث .

الكلمات المفتاحية: مياه الصرف الصحي، النفايات السائلة، وادي الصومام ، التلوث.