

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

Contribution à l'étude de la diffusion du carburant dans un cours d'eau cas d'oued Berda (w. Constantine).

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 6-0012-17

APA Citation (APA توثيق):

Douas, Nour el houda (2017). Contribution à l'étude de la diffusion du carburant dans un cours d'eau cas d'oued Berda (w. Constantine)[Thèse de master, ENSH].

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open DSpace software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics. <http://dspace.ensh.dz/jspui/>

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بنمّين الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات، مبداعات، مقالات، دوريات، كتب....) و بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة DSpace و يتم إدارته من طرف مديرية المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah-
DEPARTEMENT : HYDRAULIQUE URBAINE

MEMOIRE DE MASTER

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

Option: Conception Des Systèmes d'Assainissement

THEME DU PROJET

**Contribution à L'étude de la Diffusion du Carburant Dans un
Cours D'eau (Cas d'Oued Berda W.Constantine)**

PRESENTE PAR :

M^{lle} DOUAS Nour El-Houda

DEVANT LES MEMBRES DU JURY

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
M ^r KHOUDJET-Kesba Omar	Professeur	Président
M ^r KAHLERAS Djilali	M.C.B	Examinateur
M ^{me} AMOUR Fadila	MA.A	Examinatrice
M ^{me} SALHI Chahrazed	M.A.A	Examinatrice
M ^r RASSOUL Abdelaziz	M.C.A	Promoteur

Année universitaire 2016/2017

REMERCIEMENTS

Je remercie tout d'abord Dieu le tout puissant de m'avoir donnée la chance et le courage pour réaliser ce travail.

A l'issus de ce modeste travail, je tiens à exprimer mes sincères remerciements à :

- ❖ Mon promoteur Mr Abdelaziz RASSOUL qui m'a beaucoup aidé par ses orientations et ses précieux conseils pour l'élaboration de cette étude ;*
- ❖ Tous les enseignants de l'Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique qui ont participé à ma formation.*
- ❖ Tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin ;*

Nos vifs remerciements iront aussi aux membres de jury qui nous ferons l'honneur de juger et d'enrichir ce travail par leurs propositions.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail particulièrement à mes parents

*Mon père Hamide et ma mère Yakouta merci maman merci papa pour votre
soutien, votre encouragement et votre confiance*

Mes frères, et Mes sœur

mes copines et toutes mes amies de l' ENSH et l'EPST

Mon cher fiancé Yacine

DOUAS Nour El-Houda

ملخص

إن انتقال و انتشار المواد الملوثة, في الأنهار يترتب عنه تدهور مستمر في نوعية الموارد المائية. لهذا يجب وضع آليات تنبؤ انتقال هذه الملوثات. في هذا الإطار تندرج دراستنا التي هدفها الأساسي تمثيل ظاهرة انتقال و انتشار الملوثات في مجرى مائي

ومن أجل هذا اخترنا واد بردا, بمدينة الخروب ولاية قسنطينة الذي يحمل معه مياه الصرف الصحي و مياه الأمطار المتساقطة بمركب نفضال للبنزين

قمنا بتمثيل نتائج انتشار التلوث على مستوى المجرى المائي على شكل منحنيات تبين تطور تركيز الملوثات في الزمان و في المكان. حيث أن التحليل المكاني و في أزمنة مختلفة يظهر جيد الإقصاء الذاتي التدريجي لمختلف الملوثات على طول المجرى المائي.

Résumé

Le transport et la diffusion des substances polluantes dans les rivières entraînent une dégradation continue de la ressource en eau. Des outils de prédictions du processus de transport doivent être mis en place. C'est dans cette optique que s'inscrit notre étude dont le principal objectif est de réaliser une simulation numérique de la diffusion des polluants dans un cours d'eau.

Pour ce faire, notre choix s'est opté sur l'oued Berda, dans la ville d'El-Khroub wilaya de Constantine qui évacue les eaux usées et les eaux pluviale du complexe Naftal du carburant.

Les résultats, de la simulation du transport et diffusion de la pollution dans le cours d'eau, obtenus sont présentés sous formes des courbes qui montrent l'évolution de la concentration du polluant dans le temps et dans l'espace. L'analyse spatiale à différentes périodes montre bien une auto-élimination naturelle et une dégradation progressive des différents polluants dans les cours d'eau.

Abstract:

Transport and diffusion of pollutant substances in rivers result in continued degradation of water resources. Tools for prediction of transport processes must be established. Relevant to this the main objective of this study is to achieve a numerical simulation of the diffusion of pollutants in a river. For this, the river of Berda in the city of El-Khroub wilaya of Constantine is chosen it evacuates the waste water and rainwater from the Naftal complex of fuel. The results of the simulation of transport and diffusion of pollution in the river, obtained are presented in the form of curves showing the evolution of the pollutant concentration in time and space. Spatial analysis at different times shows a natural auto-I remove and progressive degradation of various pollutants into waterways.

Liste des figures

Liste Des Figures

Figure II.1 Illustration schématique de la diffusion moléculaire superposée à la convection.....	12
Figure II.2 (a) Mouvement tourbillonnaire de l'écoulement turbulent ;(b) Fluctuations turbulentes de la composante longitudinale de vitesse autour d'une valeur moyenne, mesurées dans un point fixe d'un cours d'eau.....	14
Figure II.3 Mélange d'un colorant dans un bassin par diffusion moléculaire(a) et diffusion turbulente (b)...	15
Figure II.4 Représentation schématique de la dispersion.....	16
Figure II.5 Domaine matériel, D, délimité par une surface fixe, S,soumis à un bilan pour une grandeur physique, Cf.	17
FigureIV.1 localisation du site et de la zone d'étude sur la carte topo.....	31
Figure IV.2 Le réseau hydrographique de la région de Constantine.....	32
Figure IV.3 image satellitaire su complexe traité.....	33
Figure VI.1 évaluation spatiotemporelle du carburant.....	40

..

Liste des tableaux

Tableau : I-1 la teneur en oxygène dissous dans l'eau en fonction de la température de l'eau et sous une pression de 1 bar.....	02
Tableau I.2 : les Caractéristiques physico-chimiques de quelques polluants organiques.	06
Tableau I.3 : Méthodes et techniques de mesures.....	07
Tableau I.4 : Récapitulatif des caractéristiques des carburants.....	09
Tableau II.1 : Système d'équations pour le champ de vitesse et la grandeur transportée.....	18
Tableau II.2 : Quelques solutions analytiques pour la dispersion longitudinale	23
Tableau IV.1 comparaison des normes et des valeurs trouvées après analyse des échantillons d'eau rejeté à l'Oued.....	34
Tableau IV.2 résultats d'analyse.....	34
Tableau IV-3 : Formules empiriques pour déterminer le coefficient de dispersion longitudinal.	37
Tableau IV.4 : Caractéristiques forme de la section, d'écoulement et de l'élément analysé.....	
Tableau IV.5 : Evolution spatio-temporelle du carburant diversé dans Oued Berda.....	39

Tables des matières

Table des matières

Résumé

Remercîment

Liste Des Figures

Liste Des Tableaux

Introduction Générale

Chapitre I Pollution des eaux

I.1 Introduction.....	1
I-2 Indicateur de pollution.....	1
I-3. Classification de pollution.....	3
I-3.1 En fonction de l'origine de pollution.....	3
I-3.2 Selon la nature des polluants :	4
a- Polluants physiques	4
b- Polluants chimiques :	4
I-3. 3 Selon la répartition géographique.....	5
I-3. 4 En fonction de la répartition dans le temps :	5
I-4 Caractéristiques des polluants	6
I-4.1 Solubilité aqueuse.....	6
I-4.2 Tension de vapeur.....	6
I-4.3 Adsorption	6
I-4.4 Biodégradabilité.....	6
I-5 L'Autoépuration	7
I-6 Les indicateurs de pollution les plus importants sont.....	7
I-7 L'échantillonnage	7
I.8 Cas des carburants.....	8
I.8.1 L'essence ordinaire.....	8
I.8.2 Le supercarburant.....	8
a. Le supercarburant au plomb.....	8

Tables des matières

b. Les supers sans plomb	8
I.8.3 Le diesel	9
I.8.4 Le kérosène	9
Conclusion.....	10
II.1 Introduction	11
II.2. Les mécanismes de transport et de mélange.....	11
II.2.1. La convection :	11
II.2.2. La diffusion moléculaire.....	11
II.2.3. La diffusion turbulente	13
II.2.4. La dispersion.....	16
II.3. Modélisation des mécanismes de transport et de mélange :	16
II.3.1. Modélisation tridimensionnelle instantanée :	17
II.3.2. Modélisation tridimensionnelle moyennée dans le temps :	19
II.3.3. Modélisation unidimensionnelle moyennée dans le temps	20
Conclusion.....	24
III.1 Introduction	25
III-2 Méthode numérique sur la dispersion	25
III-3. Phénomène du transport d'un corps dissout non conservatif.....	27
III-4 Transport des polluants dans les réservoirs	28
III.5 Modélisation du transport d'un polluant dans les rivières	28
III.6 Modélisation de la dispersion dans les eaux à surfaces libres.....	29
Conclusion.....	29
IV.1 présentation de la zone d'étude	30
IV.1.2 Le potentiel du réseau hydrographique mis au danger par la STEP	31
IV.2 Réseau d'Assainissement du complexe Carburant alimentant la STEP	32
IV.3 Réseau d'AEP du complexe pollué par la STEP	33
IV.4 Hydrocarbures	34

Tables des matières

IV.5 Présentation du modèle utilisé :	35
IV.6 Propagation du carburant dans le cours d'eau	39
IV.7 Conséquences Ecologique.....	40
Conclusion.....	41
Conclusion générale	30
Références Bibliographique	31

Introduction Générale

Introduction Générale

La pollution des cours d'eau est un sujet préoccupant depuis longtemps et qui ne cesse de prendre de plus en plus d'ampleur dans le monde actuel. D'un point de vue qualité d'eau, les rivières ont été largement étudiées comparativement aux autres plans d'eau, ce qui n'est pas surprenant vu que les humains et les espèces aquatiques interagissent beaucoup avec celles-ci et sont par conséquent plus exposés aux polluants qui y sont transportés. (TWAGIRIMANA, 2013)

L'introduction de la pollution recouvre le jet, le rejet, le déversement, l'écoulement ou le dépôt de toute nature et le déplacement. Elle peut être directe ou indirecte, volontaire ou involontaire et résulter d'une infiltration, d'une action ou d'une réaction, d'une inattention, d'un accident et d'une négligence. Elle peut enfin être chronique ou ponctuelle.

Plusieurs recherches ont été menées pour décrire et modéliser le transport de matières dans les écoulements à surface libres. Les matières sont soumises à la convection provoquée par le champ de vitesse et à la diffusion turbulente et moléculaire. La mise en place des modèles capables de décrire finement le champ de vitesse ainsi que la diffusivité turbulente s'impose

Le problème peut être traité de deux façons différentes : soit en développant des modèles physiques appropriés, soit en développant des modèles mathématiques pouvant prendre en compte tous les paramètres intervenant dans le processus de transport.

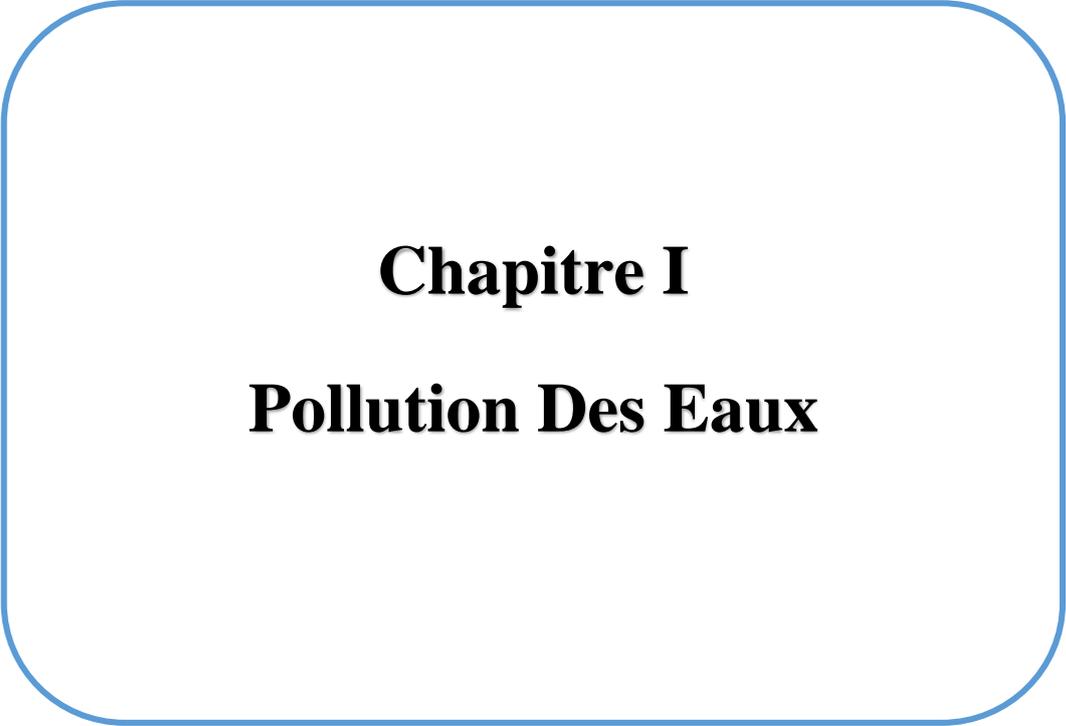
Les premiers sont très coûteux et leur extension à des problèmes similaires n'est pas toujours évidente. Par contre, l'utilisation des modèles mathématiques pour prédire le transport est beaucoup plus économique bien qu'elle exige des ordinateurs puissants lorsque que le problème est assez complexe.

Vu les problèmes de pollution que présente le complexe des carburant Naftal d'El-khroub et les conséquences majeures qui se traduisent suite à cette pollution ; nous avons jugé nécessaire de contribuer à l'étude de ce phénomène afin de le maîtriser et de réduire les différents impacts y résultant.

Pour atteindre nos objectifs, notre travail a été divisé en quatre chapitres, le premier chapitre détaille le phénomène de la pollution des eaux par plusieurs types des polluants y compris les hydrocarbure, causes et conséquences, le deuxième chapitre donne un aperçu sur la méthodologie de diffusion et transport de la matière, tandis que le troisième chapitre présente la recherche bibliographique, quelques travaux sur les modèles mathématiques et numériques établis sur la dispersion de la pollution dans les cours d'eau.

Introduction Générale

Le quatrième chapitre donne une description détaillée de notre zone d'étude prenant en considération tous les paramètres peuvent servir par la suite à l'analyse de la pollution et l'étude de la diffusion du polluant, et une analyse spatio-temporelle du carburant



Chapitre I
Pollution Des Eaux

I.1 Introduction

L'urbanisation, l'essor de l'industrie et de l'agriculture intensive ont accru, de manière chronique ou accidentelle, la pollution des cours d'eau. La moitié des fleuves et rivières de la planète sont pollués. Cette pollution chimique provient entre autres des engrais de synthèse et des pesticides utilisés par l'agriculture, et des rejets toxiques de l'activité industrielle et minière. Le ruissellement des pluies et les infiltrations dans le sol entraînent la pollution vers les cours d'eau et l'océan. De plus en plus, les nappes phréatiques, théoriquement moins vulnérables que les eaux de surface, sont également contaminées, souvent pour une longue durée du fait du lent renouvellement des eaux souterraines. Par ailleurs, sur les quelques 10 000 espèces connues de poissons d'eau douce dans le monde, une espèce sur cinq est en danger d'extinction pour ces raisons. (http://www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1936_num_45_255_20806)

Tous les **polluants** ne présentent pas les mêmes risques pour les écosystèmes. Certains notamment sont biodégradables. Riche en espèces animales et végétales et en micro-organismes, un écosystème est naturellement capable de transformer et d'éliminer, en partie ou en totalité, les substances biodégradables qu'il reçoit et d'assurer ainsi le maintien de son équilibre et de la qualité de ses eaux.

Mais, si l'abondance de ces substances dépasse un seuil critique, ses capacités d'autoépuration ne suffisent plus : l'agent polluant ne peut plus être éliminé assez rapidement ; il s'accumule, rompant progressivement l'équilibre dynamique naturel du milieu aquatique, et peut même devenir toxique. On dit alors qu'il y a **pollution**.

Il n'est pas toujours facile d'identifier les sources de pollution, ni d'estimer leurs effets respectifs, qui dépendent à la fois de la nature et de la concentration du polluant et de l'écosystème considéré, les phénomènes en jeu étant fort complexes. Il est donc souvent difficile de déterminer, pour chaque substance toxique, une concentration maximale acceptable pour un écosystème. Il n'existe d'ailleurs aucun consensus sur les seuils à ne pas dépasser. (**KI, ER et al, 2012.**)

I-2 Indicateur de pollution

Un polluant ou contaminant est par conséquent un facteur physique, chimique ou biologique issu le plus souvent de l'activité humaine et provoquant sous une intensité ou une concentration anormale, une altération de la qualité de l'eau naturelle.

- Sachant que l'eau est un biotope caractérisée par ses conditions physico-chimique et hydrodynamique, la **température** de l'eau est considérée comme un important facteur biotope. Elle

conditionne la teneur en oxygène dissous dans l'eau. Aussi le degré de saturation de l'eau en oxygène dissous est inversement proportionnel à sa température.

Tableau N° I-1 la teneur en oxygène dissous dans l'eau en fonction de la température de l'eau et sous une pression de 1 bar.

T (°C)	0	5	10	15	20	25	30
Oxygène dissous (mg/l)	14.26	12.37	10.92	9.76	8.84	8.11	7.53

(LEMIÈRE, 2001)

- Le **PH** (indicateur d'acidité), est un important facteur écologique, l'analyse de la FAO «1968 » donne l'influence du PH sur les espèces de poissons aquatiques.

- PH < 3,5 : toutes les espèces de poissons sont détruites, seul quelque invertébrés et espèces végétales peuvent y survivre ;
- 3,5 < PH < 4,0 : limitatif pour la plupart des espèces (sans croissance normale) ;
- 4,0 < PH < 4,5 : limitatif pour la plupart des espèces, dangereux pour le saumon et les jeunes poissons ;
- 5,0 < PH < 9,0 : toutes les espèces peuvent y survivre et se développer normalement ;
- 9,0 < PH < 10,0 : Dangereux pour toutes les espèces ;
- PH > 10,0 : Toutes les espèces sont détruites.

Nous citons ci-dessous les principaux polluants en précisant leurs effets :

- **Les polluants minéraux** comme les composés azotés (nitrates et nitrites) sont les plus fréquents dans l'eau de surface et même souterraine (migration par infiltration). Leur origine est dû essentiellement à l'épandage des engrais, d'effluent d'élevage et de rejets d'eau usée domestique. Ces polluants peuvent causer des maladies mortelles chez les tous jeunes enfants méthémoglobinémie, risques de cyanose. La présence du phosphore est un facteur d'eutrophisation des retenues et cours d'eau.

- Les **métaux lourds** sont très toxiques. Le cuivre, le fer et le zinc ne semblent pas avoir d'effets toxiques notables sur l'homme. Mais le chrome (chromates et bichromates), présent dans les eaux usées industrielles est reconnu cancérigène.

-Le plomb produit par les tuyauteries et les usées industrielles provoque des intoxications (saturnisme). Le cadmium issu des industries de céramique, de colorants et de métallurgie admet une toxicité élevée (dose létale humaine : 2 gr). (LEMIÈRE, 2001)

Le mercure est le plus toxique des métaux lourds par ses sels organiques solubles.

- Les **polluants microbiologiques** (bactéries, virus, et autres agents pathogènes) proviennent des eaux usées domestiques, des décharges, cimetières et autres. Ces polluants peuvent provoquer des maladies à transmission hydrique pouvant être à l'origine d'épidémies.

I-3. Classification de la pollution

Les sources de pollution peuvent d'être classées suivant différents critères notamment :

- En fonction de l'origine de pollution.
- Selon la nature des polluants.
- Selon la répartition géographique de la pollution.
- En fonction de la répartition dans le temps.

I-3.1 En fonction de l'origine de pollution

On distingue :

a) Pollution d'Origine urbaine (domestique)

Cette pollution vient des eaux usées domestiques, eaux pluviales, eaux d'infiltration sous les dépôts d'ordure...etc

Dans le cas d'un assainissement, collectif ou individuel, défectueux, des substances indésirables contenues dans les eaux ménagères peuvent être transférées au milieu aquatique et à la nappe (matières organiques, détergentes, solvants, antibiotiques, micro-organismes...). Le cas se produit avec les puits perdus, l'assainissement individuel avec infiltration dans le sol mal conçue ou mal dimensionnée ainsi que les stations d'épurations urbaines surchargées. **(KI, ER et al, 2012.)**

b) Pollution d'Origine industrielle

Les polluants d'origine industrielle sont très variés selon le type d'activité : substances organiques banales, produits organiques de synthèse, hydrocarbures, sels minéraux, métaux lourds...Les pollutions sont exceptionnelles mais encore trop souvent chroniques (fuite de réservoirs, de canalisations...) Un cas particulier est celui des exploitations minières. L'extraction des granulats en plaine alluviale met en contact l'eau avec les polluants éventuels. **(KI, ER et al, 2012.)**

C) Pollution d'Origine agricole

L'épandage d'engrais ; produits phyto-sanitaires et l'utilisation des produits chimiques de traitement des plantes détruit la vie dans les rivières et rend impropres à la consommation humaine, et parfois animale, les eaux superficielles et souterraines, alors que les professionnels agricoles ont longtemps nié l'impact de leur activité sur la qualité de l'eau et refusé la moindre contrainte.

I-3.2 Selon la nature des polluants :

Le nombre de polluants est considérable, des estimations dénombrent 4 millions, dont 70 000 suspects d'action cancérigène. Il est donc impossible de les énumérer. Les polluants peuvent être classés selon la nature en quatre catégories ; physiques, chimiques, organiques et bactériologiques. (CASTANY, 1998)

- a) **Une pollution physique** : chaleur, matière en suspension, radioactivité ...etc
- b) **Une pollution chimique** : sels minéraux, métaux lourds, pesticides, détergents, hydrocarbures et autres.
- c) **Une pollution microbiologique** : micro-organismes, virus, bactéries.

a- Polluants physiques

Les agents physiques de pollution sont : la chaleur, le transport de la matière et la radioactivité. La chaleur, par augmentation de la température de l'eau, surtout de sulfates, provoque des effets écologiques sur la vie aquatique (développement des microorganismes telles que les algues). Elle diminue la solubilité de l'oxygène, déficit renforcé par l'accroissement de l'activité biologique qui le consomme.

Les matières solides en suspension sont entraînées par les eaux d'infiltration efficace. Certaines particules de l'ordre du micron, peuvent ainsi transiter et atteindre la nappe.

La radioactivité est proportionnellement la plus dangereuse des polluants physiques. C'est pourquoi tous les rejets sont sévèrement contrôlés.

b- Polluants chimiques :

- **Les micropolluants métalliques**
- **Les substances minérales** NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , H_2S , NH_3 .
 - Les chlorures, les sulfates.
 - Les nitrates sont très solubles.
- **Les détergents (tensioactifs).**
- **Les polluants organiques.**

Tableau I.2 : les Caractéristiques physico-chimiques de quelques polluants organiques

Polluants	Densité	Volatilité (Atm.m ³ /mole)	Hydrophobicité log Kow	1/2 vie dans sol (jours ou ans)	1/2 vie dans nappe (jours ou ans)
Anthracène	1,28	86	4,45	50 jours – 1,3 ans	100 jours – 2,5 ans
Benzène	0,88	5550	2,13	5 – 16 jours	10 jours – 2 ans
Naphtalène	1,02	483	3,37	16 – 48 jours	258 jours
Phénol	1,07	1,36	1,46	1 – 10 jours	5 – 7 jours
Pyrène	1,27	5,1	5,18	210 jours – 5,1 ans	1,15 – 10,4 ans
Toluène	0,87	5920	2,69	0,5 – 1 jour	0,5 – 1 jour
Xylène	0,86	7040	3,26	7 – 28 jours	14 jours – 1 an

.(Guide sur le comportement des polluants B.Lemiere et C.Guern, 1999)

Le temps de demi-vie correspond au temps nécessaire pour que la moitié d'une quantité ou d'une concentration d'un polluant disparaisse du milieu ou de l'organisme qu'il contamine.

I-3. 3 Selon la répartition géographique

On distingue :

a) Pollution ponctuelle et pollution diffuse

Le polluant émis sur une faible surface n'affectera qu'un secteur limité de la nappe, qui pourra s'étendre par diffusion. Seuls les captages à proximité de la zone polluée et en aval seront affectés. Selon la densité et la solubilité du polluant, la zone polluée sera circonscrite ou diffuse, à la surface ou à l'intérieur de la nappe. (KI, ER et al, 2012.)

b) Pollution linéaire

Elle accompagne le trajet des routes et autoroutes, des canaux, des cours d'eau, et des voies ferrées.

I-3. 4 En fonction de la répartition dans le temps :

a) Pollution temporaire (accidentelle) et pollution chronique (permanente) :

L'émission exceptionnelle de matière polluante, peut entraîner un transfert de cette dernière au milieu récepteur ou à la nappe. Le degré de pollution dépend de sa vitesse de percolation ainsi que le pouvoir d'autoépuration du cours d'eau et du sol. (KI, ER et al, 2012.)

Les pollutions chroniques sont plus insidieuses et dommageables ; moins spectaculaires, elles peuvent passer inaperçues (pollution agricole par les nitrates ; contaminations par hydrocarbures à partir de sols pollués). (KI, ER et al, 2012.)

On parle ainsi de la pollution saisonnière comme étant le cas des sels déneigement par exemple.

b) Pollutions historiques

De nombreuses zones polluées l'ont été à une époque où les préoccupations environnementales étaient inconnues ou sommaires : pollution par les terrils de mines, les décharges non contrôlées...

I-4 Caractéristiques des polluants

I-4.1 Solubilité aqueuse

La solubilité est la quantité maximale dissoute d'un composé dans l'eau à une température donnée. Elle est influencée outre la température, par la pression, la fraction molaire de chaque composé dans le mélange de polluants et la teneur en matières organiques dissoutes. (LEMIÈRE, 2001)

I-4.2 Tension de vapeur

Ce paramètre sert à estimer la tendance d'un produit à se volatiliser et donc à passer dans l'atmosphère gazeuse à partir de la phase aqueuse du sol. (LEMIÈRE, 2001)

I-4.3 Adsorption

Ce paramètre représente le potentiel d'un composé à s'adsorber sur le sol, résultant des actions physico-chimiques eau/roche. L'adsorption va de pair avec la surface spécifique des grains ou des fissures.

I-4.4 Biodégradabilité

La biodégradation des composés organiques se produit en condition aérobie ou anaérobie selon la structure moléculaire et les conditions environnementales. Le potentiel de biodégradation permet de classer les composés en trois catégories :

- les composés dégradables
- les composés persistants : ne changent pas d'état spontanément
- les composés récalcitrants.

I-5 L'Autoépuration

L'autoépuration est un phénomène extrêmement complexe mais très efficace qui mène à la banalisation des polluants toxiques, par des mécanismes et des interactions physiques, chimiques et biologiques. Ces mécanismes ont lieu lors de l'interaction des polluants avec les gaz, l'eau, les sols, les roches, la flore et la faune. La capacité d'autoépuration dépend des phénomènes physiques, chimiques et biologiques. (LEMIÈRE, 2001)

I-6 Les indicateurs de pollution les plus importants sont

- La demande biochimique en oxygène (DBO5) : représente la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder des substances organiques biodegradables contenues dans l'eau pendant cinq jours à 20°C et à l'obscurité ;
- La demande chimique en oxygène (DCO) : représentant la quantité nécessaire d'oxygène pour la dégradation de toutes les matières oxydables contenues dans l'eau ;
- Les matières en suspension MES sont des particules fines dans une eau soit d'origine naturelle, en liaison avec les précipitations, soit produites par les rejets urbains et industriels.
- Les produits azotés : représentant les nitrates, les nitrites et l'ammonium ;
- Les produits phosphatés : sous forme de PO_4^{3-} , P_2O_5 , H_2PO_4^-

I-7 L'échantillonnage

Les échantillons d'eau prélevés pour analyses physico-chimiques doivent être placés dans des flacons en polyéthylène et conservés à une température de basse dans des glacières.

On utilise généralement de l'acide sulfurique pour une meilleure conservation.

Les paramètres physico-chimiques sont mesurés selon des méthodes et techniques d'analyse normalisées et aux moyens d'appareils de mesures appropriés.

Tableau I.3 : Méthodes et techniques de mesures

Paramètre	Appareillage
PH	Ph-mètre
Conductivité	Conductimètre
Sodium, Potassium	Spectrophotomètre à flamme
Nitrates, Nitrites, Ammonium, Sulfate,	Spectrophotomètre d'absorption moléculaire
Métaux lourds	Absorption atomique
Turbidité	Turbidimètre
Chlorure, Calcium, Bicarbonates,	Dosage volumétrique
Oxygène dissous, DCO	

I.8 Cas des carburants

Les carburants sont des combustibles qui alimentent les moteurs thermiques. Ces derniers transforment l'énergie chimique en énergie mécanique.

Leur principal avantage est d'avoir une grande densité énergétique, c'est-à-dire qu'ils peuvent fournir beaucoup d'énergie pour une masse ou un volume donné. Les carburants les plus utilisés actuellement sont l'essence et le gazole (également appelé gas-oil ou diesel). Ces deux types de carburants sont issus du raffinage de pétrole brut. Ils se différencient par leurs caractéristiques chimiques ainsi que par le type de moteurs qu'ils alimentent.

I.8.1 L'essence ordinaire

L'essence ordinaire, initialement très utilisée dans l'automobile, a progressivement été supplantée par le supercarburant.

I.8.2 Le supercarburant**a. Le supercarburant au plomb**

Le supercarburant (« super ») offre un pouvoir détonnant supérieur à l'essence ordinaire, qu'il a progressivement remplacée en raison des meilleures performances qu'il offrait. Son pouvoir détonnant amélioré résidait dans l'ajout d'alkyles de plomb. L'apparition des pots catalytiques a signé son arrêt de mort : les catalyseurs sont inhibés par le plomb. Depuis, le super a été remplacé par des carburants sans plomb.

b. Les supers sans plomb

Les pots catalytiques, rendus obligatoires par l'évolution des normes anti-pollution (ou plutôt, des normes de pollution...), ont donc forcé l'introduction de super sans plomb. Pour ces carburants, le plomb est remplacé par des composés organiques.

Il existe deux types de super sans plomb, dont la dénomination peut varier suivant les pays. Le premier introduit sur le marché a été le sans plomb 98. Depuis est apparu le sans plomb 95. 98 et 95 désignent l'indice d'octane ; le super sans plomb 98 offre donc un pouvoir détonant plus élevé que celui du sans plomb 95.

L'essentiel des véhicules essence fonctionnent désormais au sans plomb 95, puisqu'un litre de ce dernier est moins cher. Pourtant, à l'usage, il n'est pas rare de constater que le sans plomb 98, grâce à ses meilleures performances, permet de diminuer la consommation. Rouler au sans plomb 98 peut donc s'avérer plus économique que d'utiliser du sans plomb 95, contrairement aux apparences. Évidemment, tout cela dépend de la différence de prix constatées effectivement entre les deux, ainsi que de l'économie en consommation du carburant, qui varient d'un moteur à un autre.

I.8.3 Le diesel

Le gazole ou diesel, est un carburant pour moteur Diesel (moteur à combustion interne).

le diesel ayant un pouvoir calorifique volumique plus important que l'essence et bénéficiant d'une taxation légèrement plus favorable, dans certains pays, les moteurs Diesel se révèlent plus économiques à la pompe bien que plus chers à l'achat et à l'entretien.

Néanmoins, les gaz d'échappement des moteurs Diesel ont été classés cancérogènes par l'OMS.

I.8.4 Le kérosène

Des essences spéciales, de qualité supérieure à celles utilisées dans l'automobile, sont utilisées dans l'aviation. Elles doivent respecter des normes différentes, notamment en ce qui concerne l'indice d'octane, et sont utilisées dans les moteurs à piston des avions à hélice.

Les propriétés physico-chimiques des principaux carburants sont consignées dans le tableau I.4.

Tableau I.4 caractéristiques des carburants

carburant	essence	gasoil	kérosène	GPL	GVN	butane	propane
formule	C ₇ H ₁₆	C ₂₁ H ₄₄	C ₁₀ H ₂₂ C ₁₄ H ₃₀	C ₃ H ₈ C ₄ H ₁₀	CH ₄	C ₄ H ₁₀	C ₃ H ₈
indice	85/98			110	120	95	100
densité	0,755	0,845	0,77/0,83	2,35		2,703	2,008
point éclair	-40°	55°		<-50°			
pouvoir calorifique	4400kJ/kg	43000kJ/kg	43105kJ/kg	11000/11850kcal/kg		45600kJ/kg	46300kJ/kg
température d'auto inflammation	300°	250°		>400°	650°	510°	490°

Centre carburants Naftal

Conclusion

La pollution des eaux douces concerne à la fois les eaux de surface et les eaux souterraines ; Pour les eaux de surface, les rivières notamment, la pollution est de structure essentiellement monodimensionnelle : elle est visible et décelable à chaque instant, puisqu'elle se propage avec la vitesse et la turbulence du cours d'eau ; dès qu'elle est supprimée, le cours d'eau coule de nouveau de source en remplissant son rôle dans l'équilibre biologique.

Pour les eaux souterraines, la nappe phréatique en particulier, la pollution est de structure tridimensionnelle : elle échappe cependant à l'observation directe et ne peut être contrôlée qu'avec un retard considérable, souvent irréparable, ce qui met en lumière les conséquences graves qui peuvent en résulter du point de vue des ressources naturelles.

Chapitre II
Méthodologie de la Diffusion et
le Transport de la Matière

II.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à l'étude du transport et du mélange d'une entité ou grandeur Physique ; dans la masse liquide par le liquide tel que :

- La matière soluble (substance chimique, polluant, oxygène, etc...),
- La matière solide (sédiments en suspension) micro-organismes, produits biologiques, etc...),
- La chaleur,
- La quantité de mouvement,

On admet que l'écoulement est connu, nous distinguons ici les grandeurs physiques passives (qui sont conservés pendant le transport) des grandeurs physiques actives (qui subissent des modifications dues aux réactions chimiques ou biologiques, au changement de phases, aux transferts à travers le périmètre de l'écoulement, etc...).

Bien que la théorie traitée dans ce chapitre soit généralement valable pour le transport d'une grandeur physique dans tout fluide en mouvement (substance chimique dans l'air, polluant dans l'océan, etc...), nous nous concentrons sur le cas de transport et mélange dans les cours d'eau.

Deux processus de transport sont considérés, celui du à la **diffusion** et celui du à la **convection**

II.2. Les mécanismes de transport et de mélange

Représentons la grandeur physique qui nous intéresse dans l'écoulement par sa densité volumique locale, $c_f(x, y, z, t)$. Trois types de grandeur physique seront traités :

- ✓ La matière, paramétrée par la concentration volumique de la substance, $C [kg/m^3]$.
- ✓ La chaleur, paramétrée par l'enthalpie, $\rho C_p T$
- ✓ La quantité de mouvement, ρV

II.2.1. La convection :

La convection est le transport de la grandeur physique par la vitesse de l'écoulement. Le flux convectif de la grandeur physique est mathématiquement exprimé par :

$$q_{conv} = C_f V \dots\dots\dots(II.1)$$

II.2.2. La diffusion moléculaire

La diffusion moléculaire tend à uniformiser la répartition de la grandeur physique. Elle dépend uniquement de la grandeur physique et du fluide, mais non pas de l'écoulement du fluide. Le flux diffusif est exprimé par une loi phénoménologique.

$$\vec{q}_f = -k \overrightarrow{grad} C_f \dots\dots\dots II.2.a$$

$$(q_{fi})^{\rightarrow} = -k(\partial C_i / \partial x_i) \dots \dots \dots \text{II.2.b}$$

Le flux diffusif est proportionnel au gradient de C_f , qui quantifie la non uniformité de la répartition de C_f . Le facteur de proportionnalité k est appelé la **diffusivité moléculaire**. C'est une grandeur intrinsèque du fluide dépendant de la température et de la pression. Le signe négatif signifie que le flux est dirigé des valeurs élevées vers des valeurs plus faibles.

La figure (II.1) illustre schématiquement l'effet de la diffusion moléculaire superposée à la convection :

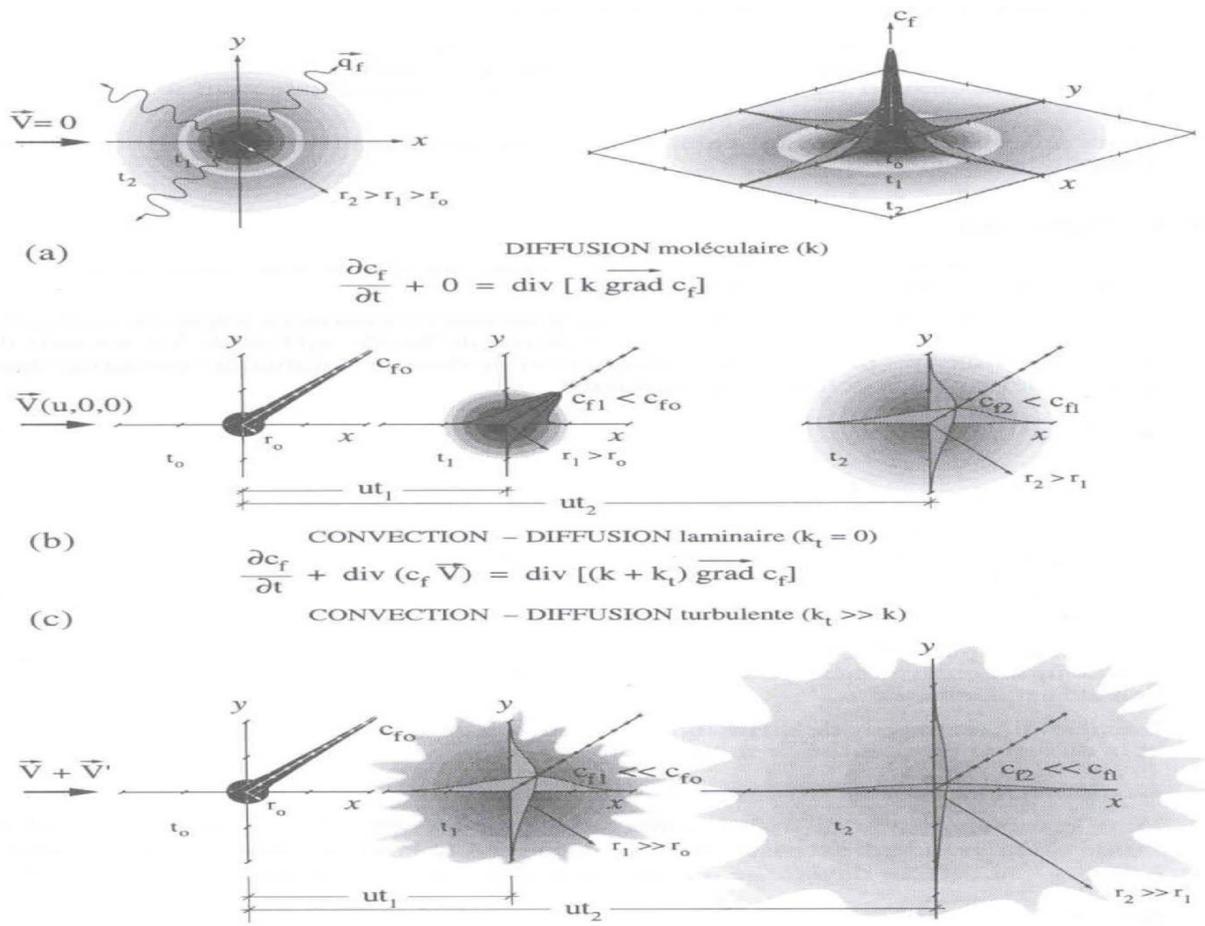


Figure (II.1) : Illustration schématique de la diffusion moléculaire superposée à la convection (BLANCKAERT, 2001)

Pour les trois cas de grandeurs physiques considérées, on a :

- La loi de Fick pour la diffusion de matière avec ϵ_m [m^2/s] la diffusivité massique :

$$\vec{q}_m = -\epsilon_m \text{ grad } c \dots \dots \dots \text{(II.3)}$$

- La loi de Fourier pour la diffusion de chaleur,

avec

C_p la chaleur massique à pression constante,

a_h la diffusivité thermique du milieu [m^2/s] et

λ la conductivité thermique du fluide

$$\vec{q}_h = -a_h \overrightarrow{grad}(\rho c_p T) = -\rho a_h C_p \overrightarrow{grad}T = -\lambda \overrightarrow{grad}T$$

$$\vec{q}_{hi} = -\rho a_h C_p \frac{\partial T}{\partial x_i} \dots \dots \dots \text{II.4}$$

$$\rho C_p = cst$$

Cinématique :

$$\overrightarrow{q}_{mt} = -\vartheta \overrightarrow{grad}(\overrightarrow{pv}) \dots \dots \dots \text{(II.5.a)}$$

$$q_{mtij} = -\rho v \frac{\partial v_i}{\partial x_j} = \tau_{ij} \dots \dots \dots \text{(II.5.b)}$$

Il peut paraître étrange de traiter le transport et le mélange de la quantité de mouvement par l'écoulement, donc par lui-même. Cependant, ce cas est essentiel pour la modélisation de la diffusion turbulente.

Des ordres des grandeurs typiques pour les coefficients de diffusivité sont :

$$\varepsilon_m \sim 10^{-9} [m^2/s] \quad a_h \sim 10^{-7} [m^2/s] \quad \nu \sim 10^{-6} [m^2/s]$$

La diffusion moléculaire est très faible et n'explique aucunement le transport et le mélange observés dans les cours d'eau naturels. Dans les écoulements turbulents, elle est négligeable par rapport à la diffusion turbulente et la dispersion.

II.2.3. La diffusion turbulente

À partir d'un nombre de Reynolds critique, de l'ordre de $Re=UH/\nu=2000$, les écoulements deviennent turbulents. La turbulence se manifeste par un mouvement tourbillonnaire de l'écoulement (figure II.2.a), accompagné de fluctuations aléatoires des variables autour de leur valeur moyenne (figure II.2.b).

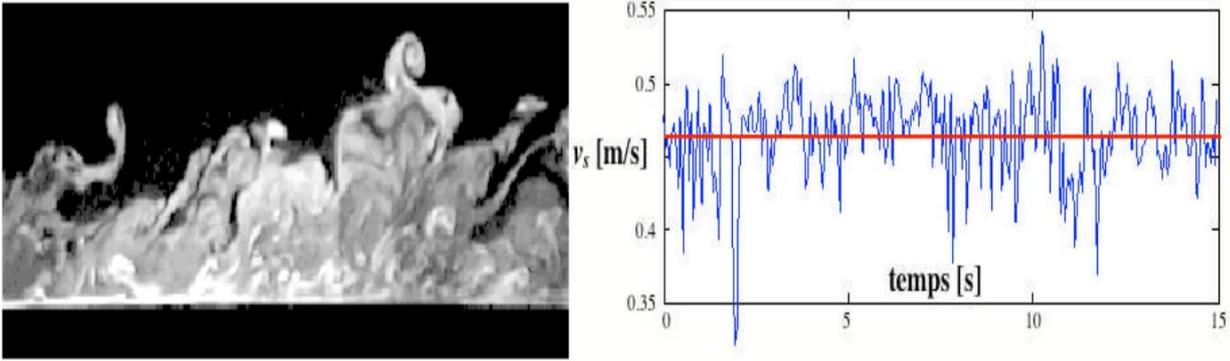


Figure (II.2) : (a) Mouvement tourbillonnaire de l'écoulement turbulent ; (b) Fluctuations turbulentes de la composante longitudinale de vitesse autour d'une valeur moyenne, mesurées dans un point fixe d'un cours d'eau.(**BLANCKAERT, GRAF, 2001**)

Toutes les variables peuvent donc être décomposées en valeur moyenne (indiquée par une barre) et fluctuations (indiquées par une prime) :

$$\vec{V}(t) = \vec{V} + \vec{V}'(t) \dots\dots\dots \text{II.6.a}$$

$$C_f(t) = \vec{C}_f + \vec{C}'_f(t) \dots\dots\dots \text{II.6.b}$$

Par definition:

$$\left. \begin{matrix} \overline{\vec{V}'(t)} = 0 \\ \overline{\vec{C}'_f(t)} = 0 \end{matrix} \right\} \text{ Mais } \overline{\vec{V}'(t) \times \vec{C}'_f(t)} \neq 0$$

L'ingénieur s'intéresse uniquement à la valeur moyenne des variables, et non pas à leurs fluctuations, qui de plus sont impossibles à calculer à cause des limitations dans les capacités de calcul.

Toutes les variables instantanées seront donc décomposées en **valeur moyenne** et fluctuations temporelles autour de cette valeur moyenne. Ainsi nous trouvons pour le flux convectif de la grandeur physique (FERDI,2005)

$$\vec{q}_{conv}(t) = C_f(t)\vec{V}(t) = \overline{C_f}\vec{V} + C'_f(t)\vec{V}'(t) + C_f(t)\vec{V} + \overline{C_f}\vec{V}'(t)$$

La moyenne temporelle du flux convectif est obtenue comme :

$$\begin{aligned} \overline{\vec{q}_{conv}} &= \overline{C_f}\vec{V} + \overline{C'_f(t)\vec{V}'(t)} + \overline{C_f(t)\vec{V}} + \overline{\overline{C_f}\vec{V}'(t)} \\ \overline{\vec{q}_{conv}} &= \vec{q}_{conv-moyenne} + \vec{q}_{f,turb} \end{aligned}$$

Bien que $\overline{\vec{V}'(t)} = 0$ et $\overline{C'_f(t)} = 0$, la valeur moyenne de leur corrélation, $\overline{C'_f(t)\vec{V}'(t)} \neq 0$

Les fluctuations turbulentes contribuent donc au flux convectif de la grandeur physique transportée. Cependant, le flux convectif turbulent ne se manifeste pas par une convection de la grandeur physique,

mais par une diffusion importante. Ceci est illustré à l'aide du mélange d'un colorant, injecté ponctuellement au milieu d'un bassin (figure II.3).

- Si l'eau dans le bassin est stagnante (figure II.3.a), la diffusion moléculaire engendrera un mélange très lent du colorant. Les iso surfaces de concentration seront sphériques.
- En faisant osciller verticalement une grille dans le bassin, des fluctuations turbulentes de vitesse peuvent être générées, sans pour autant générer de vitesses moyennes.

Intuitivement, il est clair que le mélange du colorant s'intensifiera. Ceci est l'effet de la diffusion turbulente. L'agent de transport, $\mathbf{V}'(\mathbf{t})$, transporte la grandeur physique selon une trajectoire aléatoire autour de sa position moyenne. Les iso surfaces de concentration sont en moyenne sphériques, mais prennent des formes très irrégulières instantanément, et donc une surface bien supérieure à celle de la sphère moyenne. De plus, leurs formes irrégulières engendrent des augmentations du gradient de c_f .

L'augmentation des gradients et de la surface active augmentent énormément la diffusion moléculaire. (FARES, 2008)

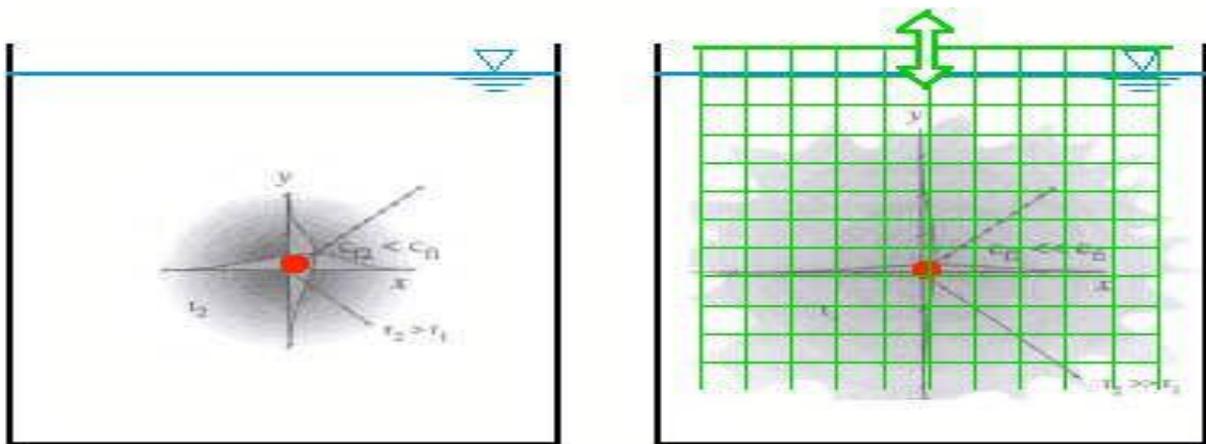


Figure (II.3):Mélange d'un colorant dans un bassin par diffusion moléculaire(a) et diffusion turbulente (b).

L'effet de la turbulence est donc d'engendrer des trajectoires aléatoires de la grandeur physique, ce qui augmente énormément la diffusion moléculaire. Comme ces phénomènes se produisent à l'échelle temporelle rapide de la turbulence, ils ne sont pas aperçus une fois que l'on a moyenné la vitesse en fonction du temps, mais se manifestent comme une augmentation apparente de la diffusion. Ceci se résume comme :

Convection turbulente + diffusion moléculaire augmentée → diffusion turbulente

II.2.4. La dispersion

La dispersion est l'équivalent spatial de la turbulence :

- La diffusion turbulente intervient car les fluctuations temporelles des variables ne peuvent pas être résolues.
- La dispersion intervient car les fluctuations spatiales des variables ne peuvent être résolues.

Comme mentionnés dans l'introduction, le transport et le mélange des grandeurs physiques dans les cours d'eau concernent des problèmes à grande échelle spatiale, nécessitant souvent une description uni-dimensionnelle des variables. Le cours d'eau est modélisé comme un canal prismatique et la répartition des variables dans une section du cours d'eau est caractérisée par une seule valeur.

Cependant, comme démontrée par l'exemple suivant, la répartition tridimensionnelle des variables contribue au transport et au mélange. Considérons une grandeur physique injectée instantanément sur toute la section d'un cours d'eau (figure II.4). (KI, Z. ER R. OU, 2012)

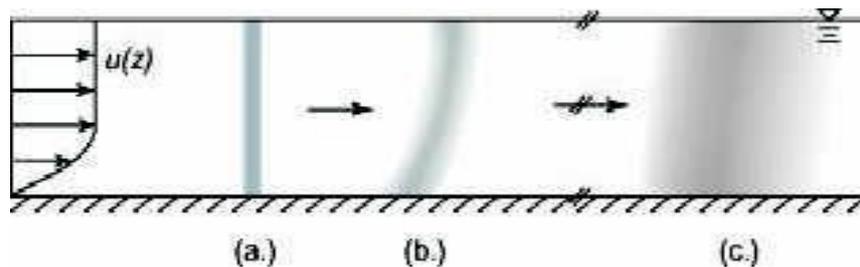


Figure (II.4) : Représentation schématique de la dispersion (BLANCKAERT, 2008)

II.3. Modélisation des mécanismes de transport et de mélange :

Maintenant que les différents processus de transport et de mélange sont décrits, il faut les incorporer dans un modèle pour le transport et le mélange des grandeurs physiques. Ce modèle est basé sur le principe de conservation de la masse de la grandeur physique. Il s'élabore en plusieurs étapes :

a) Tout d'abord, un modèle mathématique est élaboré au niveau microscopique : il décrit en détail les répartitions tridimensionnelles des variables instantanées. Ce modèle inclut uniquement les deux vrais mécanismes de transport et de mélange : la convection et la diffusion moléculaire.

b) Comme ce modèle est impossible à résoudre à cause des limitations en capacité de calcul, il est moyenné dans le temps. Ainsi, un modèle est obtenu qui décrit les répartitions

tridimensionnelles des variables moyennées temporellement. Moyenner la vitesse par rapport au temps fait apparaître la diffusion turbulente.

c) En traitant des longs tronçons de rivière, on est limité à une approche unidimensionnelle, c'est-à-dire que les variables sont moyennées dans la section. Ainsi un modèle est obtenu qui décrit les répartitions unidimensionnelles des variables moyennées temporellement. Ceci fait apparaître la dispersion.

II.3.1. Modélisation tridimensionnelle instantanée :

Un modèle pour la concentration de la grandeur physique est obtenu en exprimant sa conservation, au moyen d'une équation de bilan. Considérons un domaine matériel fluide, D , délimité par une surface fixe (S) (figure II.5). Exprimons que le changement de la densité volumique c_f de la grandeur physique contenue dans ce domaine matériel pendant un laps de temps δt est dû aux flux convectif et diffusif à travers la surface S , ainsi qu'aux éventuelles sources internes. (FERDI,2005).

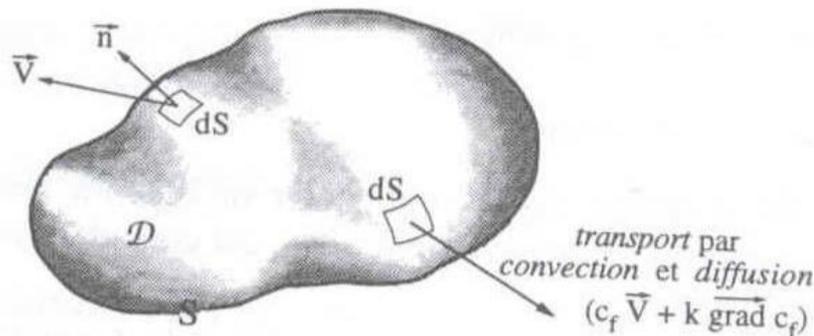


Figure (II.5) : Domaine matériel, D , délimité par une surface fixe, S , soumis à un bilan pour une grandeur physique, C_f . (FERDI,2005)

$$\int_D \frac{\partial c_f}{\partial t} dD + \int_S c_f \vec{V} dS = - \int_V \vec{q}_f dS + \int_V q_e dD$$

\Downarrow Flux convectif flux diffusif source interne
 Théorème de Gauss-Green-Ostogradski

$$\int_D \frac{\partial c_f}{\partial t} dD + \int_D \text{div}(c_f \vec{V}) dD = - \int_D \text{div} \vec{q}_f dD + \int_D q_e dD$$

$$\frac{\partial c_f}{\partial t} + \text{div}(c_f \vec{V}) = - \text{div} \vec{q}_f + q_e$$

$$\Downarrow \quad \vec{q}_f = -k \overrightarrow{\text{grad}} c_f \quad \text{et} \quad \text{div} \vec{V} = 0 : \text{continuité}$$

$$\frac{\partial C_f}{\partial t} + C_f \cancel{\text{div} \vec{V}} + \vec{V} \overrightarrow{\text{grad}} C_f = \text{div}(-k \overrightarrow{\text{grad}} c_f) + q_e \dots \dots \dots \text{II.7}$$

Les mécanismes de transport inclus dans cette équation de bilan sont la convection et la diffusion moléculaire.

Les différentes entités physiques, C_f , peuvent désormais être considérées. Le bilan de matière, de chaleur et de quantité de mouvement est ainsi obtenu. Notons que la pression motrice intervient comme source interne dans le bilan de quantité de mouvement, ce qui n'est rien d'autre que l'équation de Navier-Stokes. Ces équations décrivent le champ de vitesse, donc l'agent de transport. Le système d'équations est résumé dans le tableau II.1

Tableau II.1 : Système d'équations pour le champ de vitesse et la grandeur transportée

<p style="text-align: center;">Conservation de masse</p> $\text{div} \vec{V} = 0$ <p style="text-align: center;">Conservation de la quantité de mouvement</p> $\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \vec{V} \overrightarrow{\text{grad}}(\vec{V}) = \text{div}(v \overrightarrow{\text{grad}}(\vec{V})) + \frac{1}{\rho} \overrightarrow{\text{grad}} p^*$	\Rightarrow <div style="display: inline-block; border-left: 1px dashed black; padding-left: 10px;"> <p style="text-align: center;">Champ de vitesses</p> $\begin{cases} P^*(x, y, z, t) \\ \vec{V}(x, y, z, t) \end{cases}$ </div>
<p style="text-align: center;">Equation de bilan de la grandeur transportée</p> $\frac{\partial C_\tau}{\partial t} + \vec{V} \overrightarrow{\text{grad}} C_\tau = - \text{div}(k \overrightarrow{\text{grad}} C_\tau) + q_\tau$	\Rightarrow <p style="text-align: center;">Grandeur transportée (masse ou chaleur)</p> $C_\tau(x, y, z, t)$

(KI, ER et al, 2012.)

Mathématiquement, ce système d'équations est bien posé. Il y a quatre équations pour les quatre inconnus p^* et $V(u, v, w)$ et une équation pour la grandeur physique transportée, C_f . Ce système d'équations donne une description « microscopique » des phénomènes. Il décrit en détail le champ tridimensionnel des variables instantanées (donc incluant toutes les fluctuations temporelles, figure (II.2). (KI, ER et al, 2012.)

Ces équations peuvent être résolues pour le cas d'un écoulement laminaire. Cependant, des limitations de capacité de calcul nous empêchent de les résoudre pour des écoulements turbulents et nous obligent à faire une moyenne temporelle, afin d'éliminer les fluctuations turbulentes des variables et d'obtenir un système d'équations qui décrit l'état moyen des variables.

Notons que nous admettons dans ce chapitre que le champ de vitesse est connu. Dans la suite, nous nous concentrerons donc sur l'équation de bilan pour c_f .

II.3.2. Modélisation tridimensionnelle moyennée dans le temps :

L'équation de bilan moyennée dans le temps est obtenue en :

- Décomposant toutes les variables instantanées en valeur moyenne et fluctuations autour de la valeur moyenne.
- Moyennant l'équation résultante dans le temps

$$\frac{\partial c_f(t)}{\partial t} + \text{div}(c_f(t)\vec{V}(t)) = -\text{div}(-K \overrightarrow{\text{grad}} c_f(t)) + q_e(t)$$

⇓ Décomposition en valeur moyenne et fluctuations

$$\frac{\partial [\bar{c}_f + c'_f(t)]}{\partial t} + \text{div}(\bar{c}_f \bar{V} + c'_f(t) \vec{V}'(t) + c_f(t) \bar{V} + \bar{c}_f \vec{V}'(t)) = -\text{div}(-k \overrightarrow{\text{grad}} [\bar{c}_f + c'_f(t)]) + \bar{q}_e + q'_e(t)$$

⇓ Moyenne temporelle

$$\frac{\partial \overline{c_f}}{\partial t} + \text{div}(\overline{c_f \vec{V}} + \overline{c'_f(t) \vec{V}'(t)}) = -\text{div}(-\overrightarrow{\text{grad}} \bar{c}_f) + \bar{q}_e \dots\dots\dots \text{II.8}$$

Ceci est l'équation de convection-diffusion turbulente. Notons qu'aucune hypothèse ou simplification est faite dans l'élaboration de cette équation. Par rapport à l'équation pour l'état instantané, la moyenne temporelle fait apparaître le terme supplémentaire $c_f(t)V(t)$ qui représente la contribution de la turbulence au transport et mélange. Après moyenne temporelle, aucune information n'est disponible sur les fluctuations temporelles des variables, et le terme $c_f V$ apparaît comme une inconnue dans l'équation. Afin de pouvoir résoudre l'équation, ce terme doit être exprimé en fonction des variables moyennes.

Comme l'effet de la turbulence se manifeste comme une diffusion, ce terme est habituellement représenté comme couplé au terme de la diffusion moléculaire, et formellement modélisé de la même manière que la diffusion moléculaire :

$$\bar{q}_{f,turb} = -\overline{c'_f \vec{V}'} = \bar{k}_t \overrightarrow{grad} \bar{c}_f \dots\dots\dots \text{II.9.a}$$

$$\frac{\partial \bar{c}_f}{\partial t} + \text{div}(\bar{c}_f \vec{V}) = \text{div} \left[\left(k + \bar{k}_t \right) \overrightarrow{grad} \bar{c}_f \right] + \bar{q}_e \dots\dots\dots \text{II.9.b}$$

Le problème est maintenant ramené à la détermination de la diffusivité turbulente :

$$k_t (k_{tx}, k_{ty}, k_{tz})$$

La diffusion turbulente modélisée au moyen des coefficients de diffusivité connus, l'équation de bilan peut être résolue. Elle s'écrit comme :

$$\frac{\partial c_f}{\partial t} + u \frac{\partial c_f}{\partial x} + v \frac{\partial c_f}{\partial y} + w \frac{\partial c_f}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k + \bar{k}_{tx} \frac{\partial c_f}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k + \bar{k}_{ty} \frac{\partial c_f}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k + \bar{k}_{tz} \frac{\partial c_f}{\partial z} \right) \dots\dots \text{II.10}$$

Cette équation tient compte du transport et mélange par convection, diffusion moléculaire et diffusion turbulente longitudinale, transversale et verticale.

II.3.3. Modélisation unidimensionnelle moyennée dans le temps

Une fois le mélange achevé dans toute la section, la grandeur physique se répartit encore longitudinalement. Ce phénomène se produit dans la « *far-field zone of mixing* », s'étalant sur des dizaines de kilomètres à partir d'une distance $L_x = (10\text{km})$ de la source. Le traitement du problème à cette grande échelle spatiale nécessite une approche unidimensionnelle.

Ceci est logique pour la concentration de la grandeur physique, qui est déjà uniformément répartie dans la section. Cependant, nous savons que la répartition de la vitesse dans la section n'est pas uniforme et contribue au transport et mélange, par le mécanisme de dispersion.

Ce mécanisme de dispersion apparaît après avoir moyenné l'équation de bilan sur toute la profondeur de l'écoulement. Partons de l'équation de bilan pour un écoulement unidimensionnel, moyennée dans le temps, $V u z, 0,0$ en admettant que le mélange transversal est achevé. (KI, ER et al, 2012.)

$$\frac{\partial c_f(z)}{\partial t} + \frac{\partial [u(z)c_f(z)]}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\bar{k}_{tx} \frac{\partial c_f(z)}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\bar{k}_{tz} \frac{\partial c_f(z)}{\partial z} \right) \dots\dots\dots \text{(II.11)}$$

Nous avons utilisé l'équation de continuité pour exprimer que $u\partial c_f/\partial z = \partial(uc_f)/\partial z$. La diffusion turbulente a été retenue, car la répartition de vitesse $u(z)$ a tendance à provoquer une répartition non-uniforme de la grandeur physique $C_f(z)$, comme illustré par la figure (II.4)

L'équation de bilan moyennée sur la profondeur de l'écoulement est obtenue en :

1. Décomposant toutes les variables instantanées en valeurs moyennées sur la profondeur de l'écoulement et déviation spatiale.
2. Moyennant l'équation résultante sur la profondeur de l'écoulement

$$\frac{\partial c_f(z)}{\partial t} + \frac{\partial [u(z)c_f(z)]}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\bar{k}_x \frac{\partial c_f(z)}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\bar{k}_z \frac{\partial c_f(z)}{\partial z} \right)$$

□ \Downarrow Décomposition en valeur moyenne et déviation spatiale

$$\frac{\partial [C_f + C'_f(z)]}{\partial t} + \frac{\partial [C_f U + C'_f(z)U'(z) + C'_f(z)U + C_f U'(z)]}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\bar{k}_x \frac{\partial [C_f + C'_f(z)]}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\bar{k}_z \frac{\partial [C_f + C'_f(z)]}{\partial z} \right)$$

\Downarrow Moyenne sur la profondeur de l'écoulement

$$\frac{\partial C_f}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial C_f}{\partial t} + \frac{\partial [C_f U + \overline{C'_f(z)U'(z)}]}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\bar{k}_x \frac{\partial C_f}{\partial x} \right) + \cancel{\frac{\partial}{\partial z} \left(\bar{k}_z \frac{\partial C'_f}{\partial z} \right)}$$

Après moyennage sur la profondeur, le terme $\overline{C_f U}$ apparaît comme une inconnue dans l'équation.

Afin de résoudre l'équation, ce terme doit être exprimé en fonction des variables moyennées sur la profondeur.

Comme l'effet de la répartition de vitesse se manifeste comme une diffusion, ce terme est habituellement représenté comme couplé au terme de la diffusion turbulente longitudinale et formellement modélisé de la même manière :

$$\vec{q}_{disp} = -\overline{C'_f U'} = K_x \overline{grad} C_f \dots\dots\dots II.12$$

$$\frac{\partial C_f}{\partial t} + \frac{\partial C_f U}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left[(k_{tx} + k_x) \frac{\partial C_f}{\partial x} \right] \dots\dots\dots II.13$$

Le mélange dispersif étant complètement déterminé par la répartition de vitesse, une expression théorique peut être obtenue, pour le coefficient de dispersion K_x , selon Taylor comme :

$$K_x = K_x(U', \overline{k_{tx}}) = -\frac{1}{h} \int_0^h \frac{U'(z)}{\overline{k_{tx}}} \int_0^z \int_0^z U'(z) dz dz dz \dots\dots\dots II.14$$

Le profil logarithmique typique pour l'écoulement uniforme unidimensionnel donne lieu à une valeur de :

$$K_x = 5.86 u h \gg k_{tx} = 0.23 u h$$

Pour des cours d'eau naturels irréguliers, des valeurs ont été mesurées de l'ordre de :

$$140 < K_x / u^* h < 500$$

Nous en déduisons que la diffusion turbulente longitudinale est négligeable par rapport à la dispersion.

Pour quelques cas particuliers, des solutions analytiques du problème de dispersion existent. Elles sont résumées dans le tableau II.2.

Tableau II.2 : Quelques solutions analytiques pour la dispersion longitudinale

<p>(a) Injection instantanée</p>	<p><i>Injection surfacique instantanée d'une masse M_0</i></p> $C(x,t) = \frac{M_0/S}{\sqrt{4\pi K_x t}} \exp\left[-\frac{(x-Ut)^2}{4K_x t}\right]$
<p>(b) Injection à temps fini</p>	<p><i>Injection surfacique à temps fini T d'une masse M_0</i></p> $m_i = M_0 \frac{\Delta\tau}{T}$ $C(x,t) = \sum_{i=1}^n \frac{m_i/S}{\sqrt{4\pi K_x (t-\tau_i)}} \exp\left[-\frac{(x-U(t-\tau_i))^2}{4K_x (t-\tau_i)}\right]$
<p>(c) Injection permanente</p>	<p><i>Injection surfacique continue d'une concentration C_0</i></p> $C(x,t) = \frac{C_0}{2} \left[\exp\left(\frac{Ux}{K_x}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{x+Ut}{\sqrt{4K_x t}}\right) + \operatorname{erfc}\left(\frac{x-Ut}{\sqrt{4K_x t}}\right) \right]$

(BLANCKAERT,2008)

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié le transport, la diffusion et la dispersion des polluants dans un cours d'eau en se basant sur des équations mathématiques développées par plusieurs chercheurs, qui ont étudié le mouvement des substances dans un milieu fluide et en particulier dans un cours d'eau et par la suite la détermination de quelques grandeurs physique. A la fin on a terminé par quelques solutions analytiques pour la dispersion longitudinale des substances, ces équations sont à simplifier pour donner un résultat exact.

Chapitre III

Recherche Bibliographique

Recherche Bibliographique

III.1 Introduction

Les problèmes de transport des matières dans les cours d'eau qui sont d'actualité ont depuis longtemps constitué l'une des préoccupations majeures des chercheurs. A titre d'exemple, dès l'année 1855, M. Adolphe Fick publiait un premier papier sur le processus de diffusion moléculaire.

Depuis cette période, plusieurs recherches ont été menées afin d'améliorer les modèles déjà mis en place ou bien d'en établir d'autres. Ces recherches ont permis d'approfondir les connaissances sur les phénomènes de dispersion ainsi leurs modélisations. Mais la plus part de ces modèles sont basées sur des hypothèses simplificatrices en ne tenant compte que des phénomènes prépondérants. Ainsi les résultats obtenus sont parfois très loin de la réalité.

Dans ce chapitre, nous allons étudier un certains nombres de travaux effectués afin d'en ressortir les lacunes qui existent encore en terme de simulation numérique de transport de polluant dans les rivières

III-2 Méthode numérique sur la dispersion

Le professeur K.S JUN et ses collaborateurs M. K. Yoo et S.W. Cho ont présenté une méthode numérique sur la dispersion d'un polluant non conservatif dans un ruisseau naturel (**YOO, CHO, JUN, 2000**).

Le modèle est basé sur la discrétisation par différences finies de l'équation de dispersion longitudinale de la substance non conservative en monodimensionnel en la subdivisant en trois équations qui sont :

- L'équation de l'advection pure ;
- L'équation du taux de diminution de la concentration due à certaines réactions ;
- L'équation de la diffusion pure.

A chaque pas de temps, les trois équations sont résolues respectivement par le schéma de Houx-Preissmann, par une solution analytique locale, et par le schéma de Crank- Nicholson et c'est en prenant le 1/3 du pas de temps pour chaque équation. (YOO, CHO, JUN, 2000).

L'équation de la dispersion longitudinale du contaminant non conservative dans un canal est exprimée par:

$$\frac{\partial(AC)}{\partial t} + \frac{\partial(UAC)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D_L A \frac{\partial C}{\partial x} \right] - K_r AC \dots\dots\dots III.1$$

- Dans laquelle C(x, t) : concentration de masse
- A(x, t) : section transversale du canal ;
- U(x, t) : vitesse moyenne d'écoulement suivant la direction x ;
- D(x, t) : coefficient longitudinal de dispersion ;

K : coefficient lié à la diminution ou à l'augmentation du polluant ; x : coordonnées suivant la direction longitudinale et t : temps.

En utilisant l'équation de continuité, l'équation (III.1) a été réduite sous la forme suivante :

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = D_L \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - K_r C \dots\dots\dots III.2$$

$$U = u - \left[\frac{\partial D_L}{\partial x} + \frac{D_L}{A} \frac{\partial A}{\partial x} \right] \dots\dots\dots III.3$$

La subdivision dans le temps de l'équation (III.2) pour séparer les processus physiques mis en jeu c.-à-d., l'advection du mouvement moyen, le taux de diminution de la concentration due à certaines réactions, et la dispersion dans l'écoulement est donnée comme suite :

$$\frac{\partial C}{\partial t} + 3\bar{u} \frac{\partial C}{\partial x} = 0 \quad n\Delta t \leq t \leq (n + 1)\Delta t \dots\dots\dots III.4$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = 3K_r C \quad \left(n + \frac{1}{3} \right) \Delta t \leq t \leq (n + 1)\Delta t \dots\dots\dots III.5$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = 3D_r \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad \left(n + \frac{2}{3} \right) \Delta t \leq t \leq (n + 1)\Delta t \dots\dots\dots III.6$$

L'Avantage de la méthode de séparation est que les schémas numériques les plus appropriés pour chaque équation peuvent être appliquées pour simuler exactement le processus physique correspondant. Ainsi, le schéma de Houx-Preissmann a été utilisé pour résoudre l'équation

(III.4). Une solution analytique locale a été utilisée pour résoudre l'équation (III. 5) ; cette solution analytique est donnée par :

$$C_i^{n+2/3} = C_i^{n+1/3} e^{-iK_r t} \dots\dots\dots\text{III.7}$$

III-3. Phénomène du transport d'un corps dissout non conservatif

Les travaux de Monsieur R. L. Runkel réalisés en 1997 portent sur le phénomène du transport d'un corps dissout non conservatif (**RUNKEL, 1997**).

Il a considéré un système dans lequel le transport physique est principalement unidimensionnel ; le processus de mélange suivant la direction verticale et horizontale a été négligée de sorte que les concentrations changent seulement dans la direction longitudinale. En outre, un champ régulier et uniforme d'écoulement est imposé et les effets de la dispersion sont constants dans l'espace. Enfin, tous les processus biogéochimiques sont décrits en termes de réactions chimiques où le taux de transformation est proportionnel à la concentration en corps dissous. En tenant compte de ces hypothèses, la conservation de la masse donne l'équation d'advection - dispersion à paramètres constants avec réaction. (**RUNKEL, 1997**).

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -U \frac{\partial C}{\partial x} + D_L \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - K_r C \dots\dots\dots\text{III.8}$$

Où,

C : concentration [ml^{-3}] ;

t : temps [T] ;

U : vitesse d'écoulement [LT^{-1}] ;

x : distance [L] ;

D_L : coefficient de dispersion [$\text{L}^2 \text{T}^{-1}$].

k_r : coefficient de réaction.

Plusieurs solutions analytiques ont été proposées ; mais ces solutions concernent soit le cas d'une source instantanée, soit le cas d'une source continue mais à durée infinie. Le but principal des travaux de Runkel est de parvenir à proposer une solution analytique pour une source continue à durée limitée. (**RUNKEL, 1997**).

III-4 Transport des polluants dans les réservoirs

Les travaux de Y Ramsis Fares portent sur le transport des polluants dans les réservoirs et les fleuves (**FARES, 1998**).

Dans ce travail, il a d'abord étudié les propriétés de la dispersion dans un réservoir, afin de proposer un modèle de simulation de la dispersion dans un cours d'eau.

Pour le cas du réservoir, il a utilisé l'approche du bilan de matière en utilisant le modèle de la zone morte pour aboutir à une formulation générale lui permettant d'estimer les variations de concentrations d'un corps dissout en fonctions du temps. Cette approche est basée sur l'hypothèse selon laquelle, la dispersion longitudinale est dominée par les effets de la zone morte (nous ne présentons pas les résultats pour le cas du réservoir car notre but dans ce chapitre est d'étudier certains travaux effectués sur la dispersion des polluants dans les rivières ou les canaux). (**FARES, 1998**).

III.5 Modélisation du transport d'un polluant dans les rivières

Ces travaux réalisés au cours de l'année 2004 portent sur la modélisation du transport d'un polluant dans les rivières (**BERNHARD, 2004**). Deux modèles sont utilisés :

Le modèle de la zone morte qui considère que dans une rivière les substances transportées sont retardées dans une zone appelée zone morte avant de poursuivre leur parcours et la méthode d'advection–diffusion.

Le but principal de ces travaux était de recueillir des données à partir des expériences des traceurs dans une rivière et à partir des caractéristiques géométriques de la rivière et de l'écoulement, de simuler les valeurs mesurées en utilisant le modèle de la zone morte et celui de l'advection–diffusion. (**BERNHARD, 2004**).

Ensuite une étude comparative des deux méthodes est effectuée afin d'en déterminer des critères d'applications des deux méthodes.

Les critères du terme de l'indice de **Damköhler** (DaI) et le coefficient d'obliquité, G_t , ont été examinés, et une application à un cas réel a été effectuée.

III.6 Modélisation de la dispersion dans les eaux à surfaces libres

Les travaux de **FERDI** portent sur les techniques de mesure et de modélisation de la dispersion des polluants dans les eaux à surfaces libres (**FERDI, 2005**). Pour cela, des études expérimentales ont été réalisées sur plusieurs rivières.

Dans ces expériences, des injections instantanées des traceurs ou des polluants ont été effectuées et l'étude de certains accidents sur des rivières a été aussi mentionnée dans ces travaux.

Pour chaque cas, une étude comparative entre les résultats obtenus à partir des mesures et les résultats obtenus à partir des simulations a été effectuée.

Dans cette étude, le modèle de la zone morte a été utilisé.

Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons présenté quelques travaux réalisés dans le domaine de la modélisation et la simulation de la dispersion de matière dissoute dans les cours d'eau. Certains auteurs ont mené des travaux expérimentaux en vue de valider leurs modèles numériques.

La plus part ont réduit le problème en uni-dimensionnel afin de rendre la résolution plus souple. Cependant, la quasi-totalité des méthodes de résolution utilisées consiste à proposer des solutions analytiques.

Chapitre I.V
Application sur le cas Oued
Berda

Chapitre I.V

Application sur le Cas oued Berda

PARTIE N°1

IV.1 présentation de la zone d'étude

La wilaya de Constantine se situe dans la zone tellienne, plus exactement dans la région Nord-Est du pays, à plus de 400 km à l'Est d'Alger. Elle est limitée :

- ❖ Au Nord par Skikda;
- ❖ Au Sud par Oum El Bouaghi;
- ❖ A l'Est par la région du Guelma;
- ❖ A l'Ouest par la wilaya de Mila.

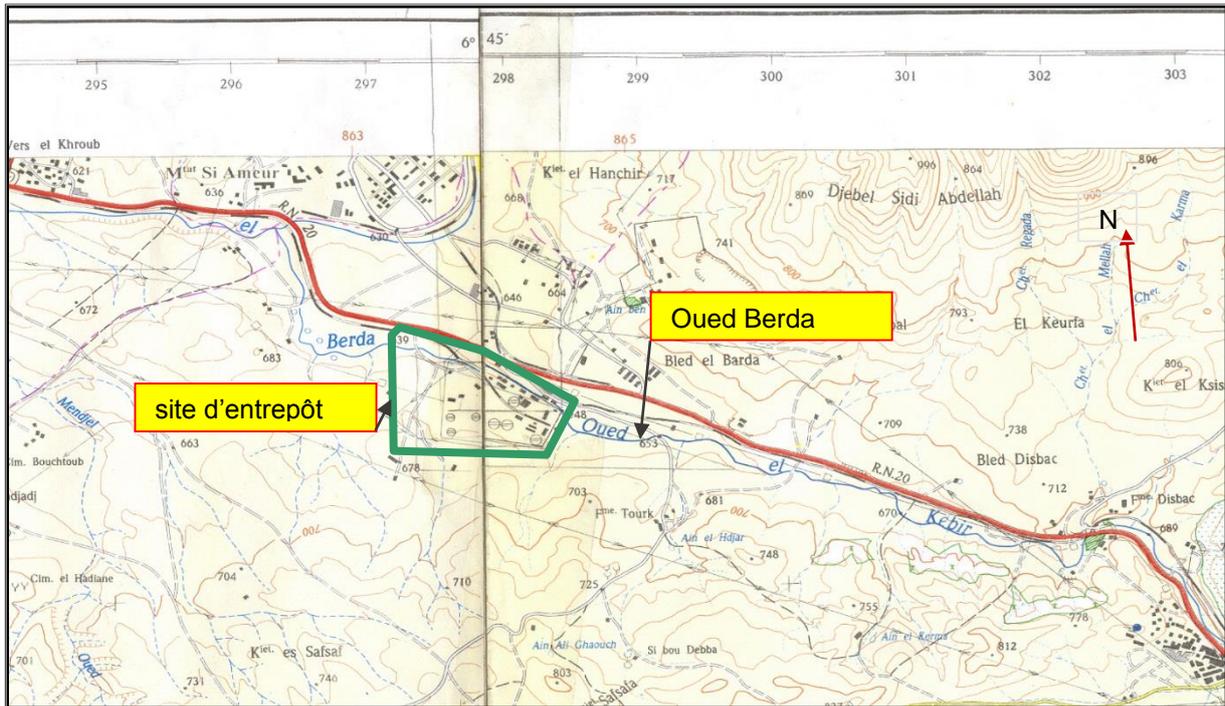
L'entrepôt, administrativement dépend de la commune de Ouled Rahmoun, située dans la Daïra de Khroub, qui fait partie de la wilaya de Constantine. Elle est située au Sud-Ouest de chef-lieu wilaya. L'entrepôt est désigné plus par « l'entrepôt du Khroub » que « l'entrepôt d'Ouled Rahmoun », car avant ; il dépendait de Khroub. (YALAOUI,2015)

La commune d'Ouled Rahmoun est délimitée :

- ❖ Au nord par la commune d'El Haria ;
- ❖ Au sud par la wilaya d'Oum El Bouaghi ;
- ❖ A l'est par la commune Ain Abid ;
- ❖ A l'ouest par la commune de khroub.

Dans notre cas on va se baser sur le complexe des carburants de Naftal ou on va étudier la diffusion des carburants à la sortie de la station d'épuration.

Le site du complexe a été construit dans les années soixante-dix, plus exactement en 1979, pour le stockage et la commercialisation des carburants et des huiles. Le site est rentré en activité en septembre 1981. Actuellement, il est exploité par Naftal.



Source : ANRH EST.

FigureIV.1 LOCALISATION DU SITE ET DE LA ZONE D'ETUDE

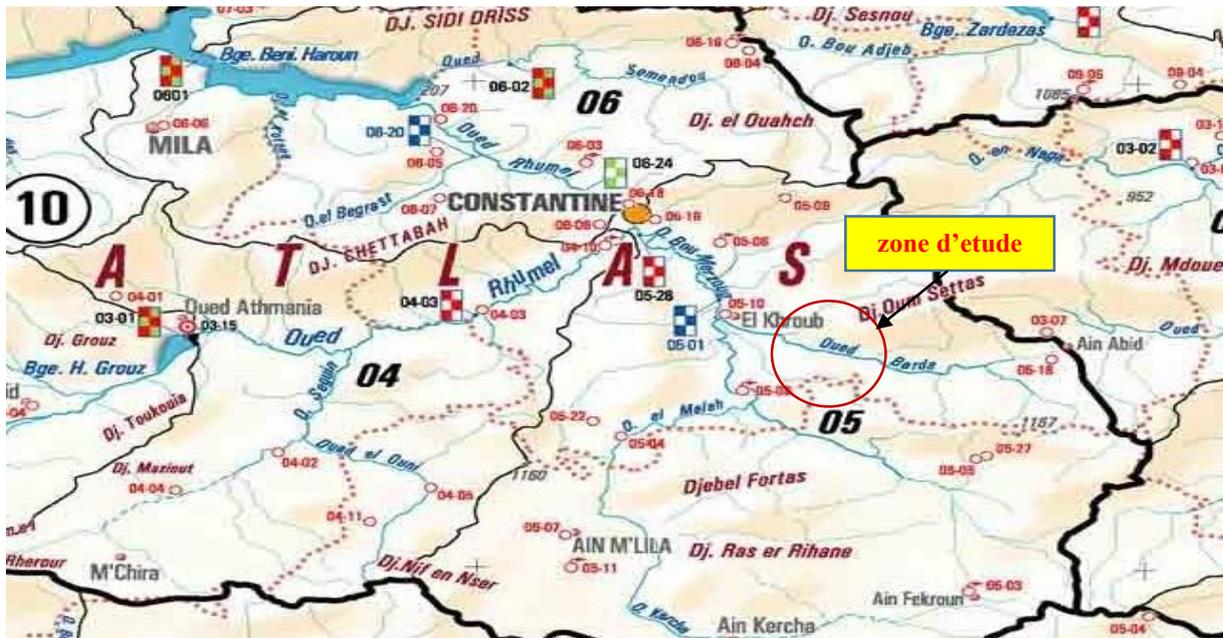
IV.1.2 Le potentiel du réseau hydrographique mis au danger par la STEP

Le potentiel théorique est constitué par l'eau provenant des ressources souterraines et superficielles, cependant le réseau hydrographique est représenté par des cours d'eau permanent, tels que Oued El Melah qui prend naissance dans la commune de Ain M'lila et traverse l'agglomération secondaire El Guerrah et Oued Kelb qui prend naissance dans la commune de Sigous. Le croisement de ces deux Oueds forment Oued Boumerzoug au sud du chef lieu, ce dernier contourne l'agglomération d'Ouled Rahmoun par un grand méandre. (**Centre carburant,2012**)

Il existe d'autres cours d'eau tel que :

- ❖ Au Nord-Est **Oued Mhiris** qui se dirige vers l'Ouest en changeant de nom pour devenir **Oued Berda** ; celui-ci passe à proximité du site de **l'entrepôt**.
- ❖ Oued Mendjel prend naissance dans le centre de la commune et se dirige vers le Nord-Ouest.

Alors on pourra dire dès maintenant, que l'impact des rejets de la station sera mesuré sur une très grande échelle, vue la succession de ces Oueds menant à Oued Rhumel qui est considéré comme le plus grand à l'Est, sans oublier les environnements avoisinantes aux Oueds (aquatique et ...etc) qui seront déséquilibrés, donnant à la fin de la chaîne alimentaire des troubles de santé publiques.



Source : ANRH EST, 2015.

Figure IV.2 Le réseau hydrographique de la région de Constantine

IV.2 Réseau d'Assainissement du complexe Carburant alimentant la STEP

C'est un système gravitaire essentiellement séparatif (pluvial, industriel et sanitaire), les eaux pluviales sont collectées par des regards qui sont disposés sur tout le territoire du complexe, puis ils sont acheminés jusqu'à l'**oued Berda**, par contre les eaux **huileuses** sont collectées dans des points spécifiques), puis ils sont dirigées vers la station de traitement de la même manière que les eaux sanitaires.

Et il y a aussi les fosses septiques en béton, là où il est impossible de raccorder les bâtiments avec le réseau. Elles sont compartimentées en trois parties, la première pour les rejets solides grossiers, la deuxième pour les rejets solides moyens et fins et la troisième pour les liquides séparés essentiellement par des filtres.



Source: Google earth 2015.

Figure IV.3 image satellitaire su complexe.

IV.3 Réseau d'AEP du complexe pollué par la STEP

Le site ne dispose pas d'une source d'eau potable, car après résultat des analyses de prélèvement du puits de 16m de profondeur établie pour but d'alimenter le complexe, ils se sont avérés d'une qualité physico-chimique et microbiologique médiocre, même après passage par la station de javellisation.

La source principale de cette pollution biologique et bactérienne, vient essentiellement du fait qu'il est alimenté d'une nappe perchée. Automatiquement cette dernière sera alimentée de l'oued Berda, sujet à la pollution en hydrocarbure, mais aussi si on revient au régime pluviale alimentant l'oued, on pourra remarquer qu'entre le mois de Juin et Aout les précipitations se font rares, donc le niveau de l'oued baissera, ce qui induit a un assèchement du forage lors de la saison ou l'eau est le plus demandé.

Ce qui nous laisse penser à réutiliser l'eau traitée par la station d'épuration, que ce soit dans le lavage des camions transporteurs ou dans le réseau d'incendie, car le complexe est classé comme étant une zone de haut danger.

- **Prélèvement, échantillonnage et résultats**

Afin de déterminer la qualité des eaux rejetées, des échantillons ont été prélevés dans le dernier compartiment de la station d'épuration pour le soumettre à une analyse. L'analyse a été effectuée

dans le laboratoire de l'office national d'assainissement (O.N.A) et le Centre de Recherche et Développement (C.R.D) de Boumerdes Sonatrach. Les résultats obtenus en septembre 2012 sont :

Tableau IV.1 comparaison des normes et des valeurs trouvées après analyse des échantillons d'eau rejeté à l'Oued,

Paramètres	Valeurs limites	Tolérances aux valeurs limites anciennes installations
Température °C	30	30
pH	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
Hydrocarbure mg/l	5	6-7

Centre carburant Naftal 2012

Tableau IV.2 résultats d'analyse

Paramètres	Unités	Valeurs
Teneur en hydrocarbure	g/t	11,48
pH	-	6,2

Centre carburant Naftal 2012

IV.4 Hydrocarbures

Ce terme fait la plupart du temps référence aux huiles minérales qui comportent des substances telles que les alcanes, les alcènes, etc. Outre leur toxicité, ces substances peuvent limiter l'apport d'oxygène dans les eaux de surface lorsqu'elles sont présentes en concentrations élevées. Ces polluants incluent également les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ainsi que les hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM). Les HAP sont des combinaisons organiques résultant de l'assemblage de plusieurs noyaux benzéniques. Ces composés sont relativement stables et peu solubles dans l'eau. Ils s'adsorbent fortement aux sols et aux matières en suspension et sont, en outre, très solubles dans les graisses ce qui favorise leur bioaccumulation dans les tissus humains et animaux. Plusieurs HAP sont classés comme agents cancérigènes possibles par l'OMS.

Les HAM incluent des polluants comme le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et le xylène dont les impacts sur la santé peuvent être très importants (diminution de la réponse immunitaire, effet neurotoxique, irritation des voies respiratoires...), et c'est ce qui est enregistrée dans la région d'Ouled Rahmoun a cause des concentrations élevée de 11,84 g/t dépassant ainsi la norme de rejet qui est de 5 g/t. (YALAOUI,2015)

Pour étudier la diffusion des carburants dans le milieu récepteur on va utiliser l'équation de transport développée dans le chapitre II.

Par la suite on va traité la simulation spatio-temporelle de la pollution (carburant) dans Oued Berda par un modèle mathématique. Cette simulation nous permet de connaître la variation des matières polluantes, déversées dans le milieu, selon des différents intervalles de temps et de distances.

IV.5 Présentation du modèle utilisé :

- de la convection-diffusion unidimensionnelle.

$$C(x, t) = \frac{C_0}{2} \left[\exp\left(\frac{Ux}{\epsilon m}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{x+Ut}{\sqrt{4\epsilon m t}}\right) + \operatorname{erfc}\left(\frac{x-Ut}{\sqrt{4\epsilon m t}}\right) \right] \dots\dots\dots \text{IV.1}$$

- et de la convection-dispersion unidimensionnelle,

$$C(x, t) = \frac{C_0}{2} \left[\exp\left(\frac{Ux}{K_x}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{x+Ut}{\sqrt{4K_x t}}\right) + \operatorname{erfc}\left(\frac{x-Ut}{\sqrt{4K_x t}}\right) \right] \dots\dots\dots \text{IV.2}$$

Ces deux solutions, qui sont valables pour n'importe quel instant t, ont été données par Daily et Harleman (1966, p. 434)

Les deux solutions sont comparables. La diffusivité moléculaire, ϵ_m , dans l'équation IV.1 a été remplacée dans l'équation IV.2 par la dispersivité, K_x .

L'implantation de ces deux équations dans un programme d'ordinateur présente une difficulté d'ordre pratique. Le plus grand nombre à virgule flottante qui peut être exprimé sur un ordinateur habituel est :

$$2^{1023} = 2^{2^{10}-1} = 8.988E+307$$

En évaluant les équations dans leur présente forme, cette limite peut être atteinte très rapidement. En effet, $\exp(710) > 8.988E+307$; ce qui revient à dire que $(U_x / K_x) < 710$.

le calcul direct du terme $\exp(U_x / K_x)$ dans l'éq. III.2 devient impossible déjà à partir de $x = 710$ m.

Pour contourner cette difficulté, l'équation III.2 sera :

$$\frac{C(x,t)}{C_0} \approx \frac{1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(\frac{-(x-Ut)^2}{4K_x t}\right) \frac{x+Ut}{\sqrt{4K_x t}} \left[1 + \sum_{m=1}^{\infty} (-1)^m \frac{1.3\dots(2m-1)}{\left(2\left(\frac{x+Ut}{\sqrt{4K_x t}}\right)^2\right)^m} \right] + \operatorname{erfcx}\left(\frac{x-Ut}{\sqrt{4K_x t}}\right) \right] \text{IV.3}$$

Tous les termes de cette équation peuvent être calculés sur un ordinateur sans dépassement de la capacité de représentation des nombres.

Nous allons dans ce qui suit étudier la diffusion du carburant ayant la concentration trouvé précédemment. Le choix de cet élément, s'est fait sur la base de l'étude de variabilité spatio-temporelle, menée précédemment.

Vu la complexité du problème, il était indispensable d'apporter quelques simplifications sur les caractéristiques morphologiques de l'Oued, ainsi que les conditions d'écoulements et de répartitions de la concentration. Néanmoins, les hypothèses fixées n'influent guère sur la diffusion de la pollution dans le bassin versant, ces hypothèses se résument par les points suivants :

- ❖ La section transversale au niveau des stations de prélèvement a une forme rectangulaire, de la largeur B , où la hauteur du plan d'eau est h ;
- ❖ L'écoulement dans les cours d'eau est considéré comme unidimensionnel ;
- ❖ La vitesse moyenne correspond au débit d'écoulement enregistré ;
- ❖ Les concentrations des paramètres analysés au niveau des prises sont considérées comme une source continue et constante ;
- ❖ Les concentrations sont supposées réparties sur l'ensemble de la section transversale ;
- ❖ Le coefficient de dispersion longitudinal, K_x (m^2/s), c'est un paramètre qui peut être déterminé expérimentalement ou à l'aide des formules empiriques.

a) **Détermination expérimentale** : c'est la meilleure solution pour obtenir une valeur qui reflète le vrai comportement d'un polluant dans un cours d'eau.

Trois méthodes existent pour évaluer expérimentalement ce coefficient, la méthode des *Moments*, la méthode de *Chatwin* et la méthode d'*acheminement* (routing procedure).

b) **Détermination à l'aide des formules empiriques** : l'importance d'une bonne estimation du coefficient de dispersion longitudinale a poussé pendant plus de trois décennies de nombreux chercheurs à développer des formules analytiques adaptées à différentes caractéristiques hydrauliques des cours d'eau. Treize formules ont été recensées, elles sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau IV-3 : Formules empiriques pour déterminer le coefficient de dispersion longitudinal.

Auteurs	Formules	Domaine d'application
Elder (1959)	$K_x = 5.93 HU^*$	Canaux très larges
Parker 1961	$k_x = 14.28 R_H^{3/2} \sqrt{2gS}$	Canaux
Fisher 1966	$k_x = -\frac{1}{A} \int_0^W bu \int_0^y \frac{1}{Eb} \int_0^y bu' d\gamma d\gamma d\gamma$	Canaux naturels larges
McQuivey and Keefer 1974	$k_x = 0.058 \frac{HU}{S}$	Fr < 0.5
Fisher 1975	$k_x = 0.011 \frac{U^2 W^2}{HU^*}$	Canaux naturels larges
Liu 1977	$k_x = 0.18 \left(\frac{U^*}{U}\right)^{1.5} \frac{U^2 W^2}{HU^*}$	Tous types de cours d'eau
Magazine et Al 1988	$k_x = 0.4 \left(\frac{U}{U^*}\right)^{-1.632} 75.86 R_H U$	Cours d'eau naturels
Iwasa and Aya 1991	$k_x = 2 \left(\frac{W}{H}\right)^{1.5} HU^*$	Canaux et cours d'eau naturels
Seo and Sheong	$k_x = 5.915 \left(\frac{W}{H}\right)^{0.620} \left(\frac{U}{U^*}\right)^{1.428} HU^*$	Cours d'eau naturels
Koussis an Rodriguez- Mirasol 1998.	$k_x = 0.6 \frac{U^* W^2}{H}$	Cours d'eau naturels
Dong and Al 2001	$k_x = \frac{0.01 \psi}{8M^*} \left(\frac{W}{H}\right)^{\frac{5}{3}} \left(\frac{U}{U^*}\right)^2$	Cours d'eau naturels ou uniforme W/H > 10.
Dong and Al 2002	$k_x = -\left(\frac{I}{M^*}\right) \left(\frac{U}{U^*}\right)^2 \left(\frac{W}{H}\right)^2 U^* H$	Canaux naturel W<200
Kashfepour and Falconer 2002	$k_x = 10.612 HU \left(\frac{U}{U^*}\right)$	Canaux naturel W/H > 50

(KI, ER et al, 2012.)

Avec :

U : Vitesse du cours d'eau (m/s) ;

U^* : Vitesse de cisaillement (m/s) ;

W : Largeur (m) ;

H : hauteur d'eau ;

R_H : Rayon hydraulique ;

S : Pente (m/m) ;

b : Fonction de y ;

γ : Coordonnées cartésiennes dans la direction latérale ;

U' : déviation par rapport à la vitesse moyenne ;

E_z : coefficient de dispersion latéral ;

ψ : coefficient égal à l'unité pour des cours d'eau uniformes et droits , et égal à 15 pour des cours d' eau naturels.

M^* : coefficient qui caractérise la dispersion transversale, il s'écrit :

$$M^* = 0.145 + \frac{1}{3520} \left(\frac{U}{U^*} \right) \left(\frac{W}{H} \right)^{1.38} \dots\dots\dots IV.4$$

Certaines de ces formules sont plus adaptées que d'autres pour estimer le coefficient de dispersion longitudinale parce qu'elles prennent en compte les paramètres essentiels pour décrire le phénomène de dispersion d'un polluant. Le bon choix des variables à utiliser se reflète directement sur la précision de la prédiction.

Dans notre cas, nous avons recours aux formules empiriques.

La condition globale pour le calcul du coefficient de dispersion longitudinal, K_x (m^2/s) selon **GRAF**

W. H., ALTINAKAR M.S, 2008 : $140 < \frac{Kx}{U^*h} < 500$

tel que : u^* : vitesse de frottement.

h : hauteur de l'eau.

Les caractéristiques de forme des sections des Oueds ainsi que les caractéristiques d'écoulement et celle de l'élément analysé en question (concentration du polluant), sont résumées pour chaque station, dans le tableau suivant :

Tableau IV.4 : Caractéristiques forme de la section, d’écoulement et de l’élément analysé.

Station	Berda
C (mg/l)	6.03
U (m/s)	0.58
Q (m ³ /s)	0.87
H (m)	0.3
B (m)	5
S (m ²)	1.5
K _x (m ² /s)	54.28

Les caractéristiques résumées dans le tableau ci-dessus correspondent à la date de prélèvement du mois de Septembre 2012.

IV.6 Propagation du carburant dans le cours d’eau

Nous avons calculé la variation de la concentration du carburant à des intervalles de temps variable, sur des différentes distances d’écoulement, à partir du point de rejet.

Tableau IV.5 Evolution spatio-temporelle de la concentration du carburant dans Oued Berda

T (s)	X(m)							
	0	500	1000	1500	2000	3000	4000	5000
1800	6.03	1.61	0.16	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
3600	6.03	2.60	0.70	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00
7200	6.03	3.49	1.61	0.58	0.16	0.01	0.00	0.00
14400	6.03	4.19	2.60	1.44	0.70	0.11	0.01	0.00
21600	6.03	4.51	3.14	2.02	1.20	0.33	0.06	0.00
43200	6.03	4.95	3.92	2.99	2.20	1.05	0.42	0.06
64800	6.03	5.14	4.29	3.49	2.77	1.61	0.83	0.16
86400	6.03	5.26	4.51	3.80	3.14	2.02	1.20	0.24

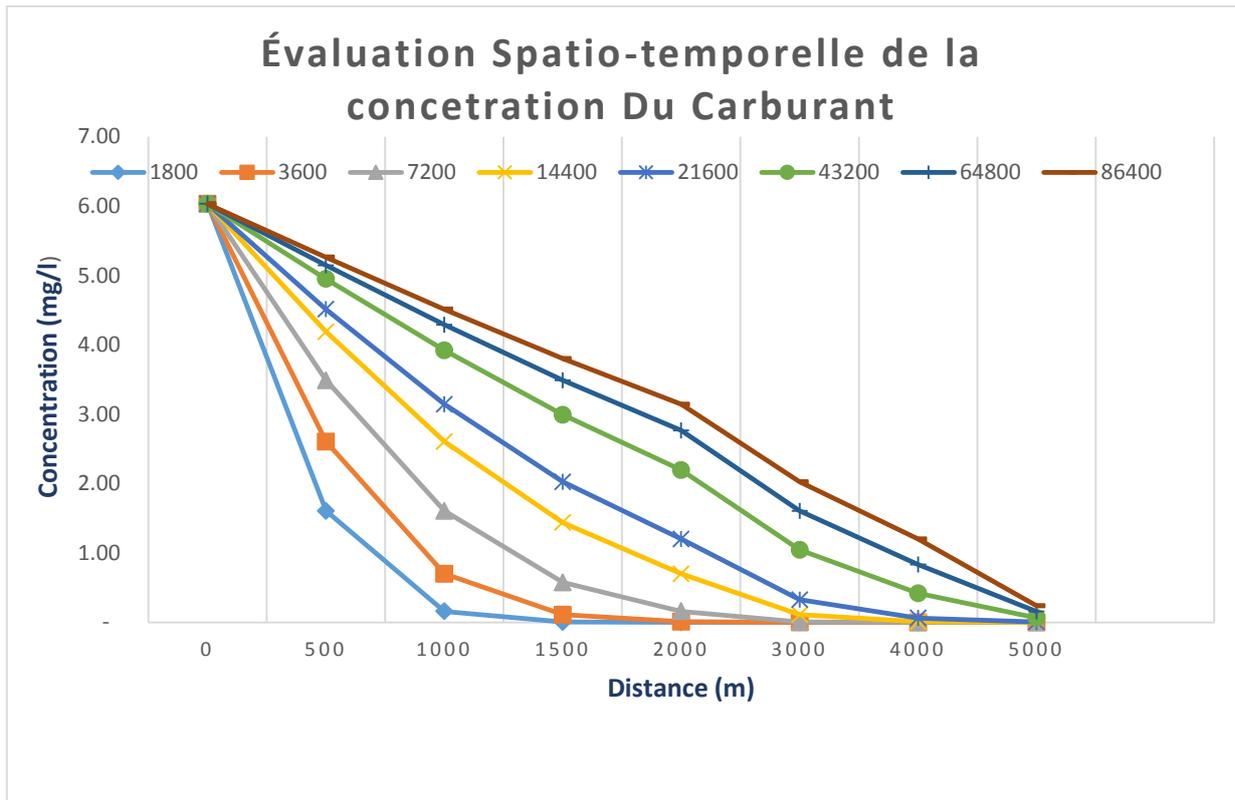


Figure VI.4 évaluation spatiotemporelle de la concentration du carburant

Nous remarquons que la réduction de la concentration est inversement proportionnelle au temps. Durant les faibles instants, celle-ci est rapidement réduite, par contre sa diffusion dans le milieu est faible lors des temps plus importants.

Ainsi, nous remarquons pour les durées d'une demi-heure, une heure et deux heures, la valeur de la concentration s'approche du zéro respectivement, à 1 km, 1.5 km et 2 km. Pour 24 heures de temps et sur une longueur de 5 km on constate que la concentration du carburant tend vers le zéro à la fin de la 24^{ème} heure.

IV.7 Conséquences Ecologique

Selon des investigations faites, les agriculteurs ayant des terres cultivées transmises de génération à génération juste à côté du complexe, déclarent clairement que la qualité et la productivité de leurs terres est en décroissement ces dernières années, non seulement car la qualité des terres s'est réduite mais aussi l'impossibilité de pompage d'eau à partir de l'oued vu la dégradation de la qualité de ce dernier.

'La biodiversité qui existait autour de l'oued qu'on a connu il y a très longtemps a disparu' déclare un des agriculteurs interrogés.

Donc non seulement cette pollution a des conséquences environnementales qu'on ne peut pas mettre à côté, mais indirectement les conséquences sont plus importantes encore sur l'économie de la région qui se base essentiellement sur l'agriculture sans oublier la finalité de tout cela qui est l'atteinte à la santé publique.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons, mis l'accent sur la propagation des hydrocarbures ou plus précisément des carburants. Dans le cas de l'entrepôt d'El Khroub, cette pollution menace les ressources hydriques (superficielles et souterraines) et peut être à l'origine d'une catastrophe écologique.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Conclusion générale

Par ce travail, nous avons procédé à l'étude du transport du carburant rejeté dans l'oued Berda, par la méthode de l'analyse spatio-temporelle.

Ce phénomène est régi par un système d'équation aux dérivées partielles dont la solution analytique dépend de la fonction erreur « erfcf »

Le transport des polluants dans un réseau hydrographique dépend de plusieurs facteurs, en l'occurrence, l'hydrodynamique du cours d'eau, sa forme, sa géologie et les caractéristiques physiques des polluants ainsi que les caractéristiques biologiques et chimiques des eaux.

L'analyse spatiale à différentes périodes montre bien une auto-élimination naturelle et une dégradation progressive du carburant dans les cours d'eau, cette auto-épuration est beaucoup plus favorisée, en des laps de temps plus au moins réduits, avec l'augmentation du débit, notamment en période de crues, surtout lorsque le lit d'oued est important.

Ainsi nous espérons avoir participé avec ce travail à l'étude de la diffusion des polluants et en particulier les carburants dans un cours d'eau par la détermination de son évolution dans le temps et dans l'espace.

Références Bibliographique

Références Bibliographique

BERNHARD. H, SCHMID, (2004). “Simplification in longitudinal transport modeling: case of instantaneous slug releases”. *Journal of Hydrologic Engineering*, vol. 9, no 4, p. 319-324.

BLANCKAERT. Koen, GRAF, (2001). “Walter H. Mean flow and turbulence in open-channel bend”. *Journal of Hydraulic Engineering*, , vol. 127, no 10, p. 835-847.

BLANCKAERT. Koen, GRAF, (2008). « Hydraulique fluviale et aménagement des cours d'eau – Transport de matière » ,

FARES. Y, Ramsis. “Transport of pollutant discharges in reservoirs and river systems. *Advances in Hydro-Science and Engineering*”, p. 170-180.

FERDI, L. HELLWEGGER, “*Measuring and Modeling Large – Scale Pollutant Dispersion in Surface Waters*”. Boston MA 02115 , 2005.

KI, Z. ER R. OU, et al,(2012.) « Simulation du transport et de diffusion de la pollution dan ». Thèse de doctorat. usto.

LEMIÈRE, B., SEGUIN, J. J., LE GUERN, C., et al ,(2001) . « Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes ». Orléans: Editions du BRGM.

RUNKEL, L, (1995) .” Simulation models for conservative and non-conservative solute transport in streams”.

TWAGIRIMANA, Sandrine , (2013). « Analyse et modélisation numérique du transport de polluants émergents et de métaux traces dans un cours d'eau, en aval d'une station d'épuration des eaux usées ».

YALAOUI, B , (2015) « Réhabilitation de la Station d'Épuration du Complexe Carburant d'El khroub - w.Constantine », Mémoire de fin d'étude. ENSH.

YOO, M. K. CHO, S. W. JUN, K. S, (2000). « *unsteady dispersion of nonconservative pollutants in natural rivers* », Université de Sungkyunkwan, Corée du Sud ,.

Projet d'extension - centre carburants 1258 el khroub wilaya de Constantine ;étude d'impact sur l'environnement

Sites-Web

http://www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1936_num_45_255_20806

<http://www.vd.ch/index.php?id=16836>

<http://www.ledeveloppementdurable.fr/eau/poster/11.html>

<https://www.notre-planete.info/actualites/4383-pesticides-cours-eau-France>

<https://www.researchgate.net/publication/259367980> Etats de la qualite des eaux en Algerie cas d es cours d'eau en region mediterraneenne Kebir est Seybouse et Medjerda extreme est algerien.

