



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

UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN - TIARET-

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA MATIÈRE

ANNEXE SOUGUEUR

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : PHYSIQUE

Spécialité : Physique Energétique & Energies Renouvelables

Par : DJERIDI Hossam eddine

THÈME

Etude et Analyse des Paramètres Physiques de l'Écoulement dans une Station d'Épuration

Soutenue publiquement le : 25 / 06 / 2018 devant le Jury composé de :

RAKRAK Kadour	M. C .A	Université de Tiaret	Président
SAFA Abdelkader	M. A .B	Université de Tiaret	Examineur
TRARI Benaissa	M. A .A	Université de Tiaret	Encadreur

PROMOTION 2017 /2018

Dédicace

A L'AIDE DE DIEU, j'ai pu réaliser ce modeste travail,

Que je dédie d'abord à :

*Mes parentes qui ont partagés avec moi les moments les plus difficiles et
qui ont été une source d'encouragement durant mes études.*

Aussi

A mes très chères sœurs

A mes chers frères

*A toutes mes amis de 2ème master physique énergétique et énergies
renouvelables :*

A toute personne qui a aidé de loin à terminer ce travail.

DJERIDI HOSSAM

Remerciements

Nous remercierons en premier lieu notre Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme le présent mémoire.

*A Monsieur **Mr. TRARI BENAISSA***

Enseignant à l'université de Tiaret, Qui a accepté de m'encadrer et de diriger ce travail Pour ses conseils précieux, son aide et sa grande patience

Mes vifs remerciements.

*A Monsieur **RAKRAK KADDOUR,***

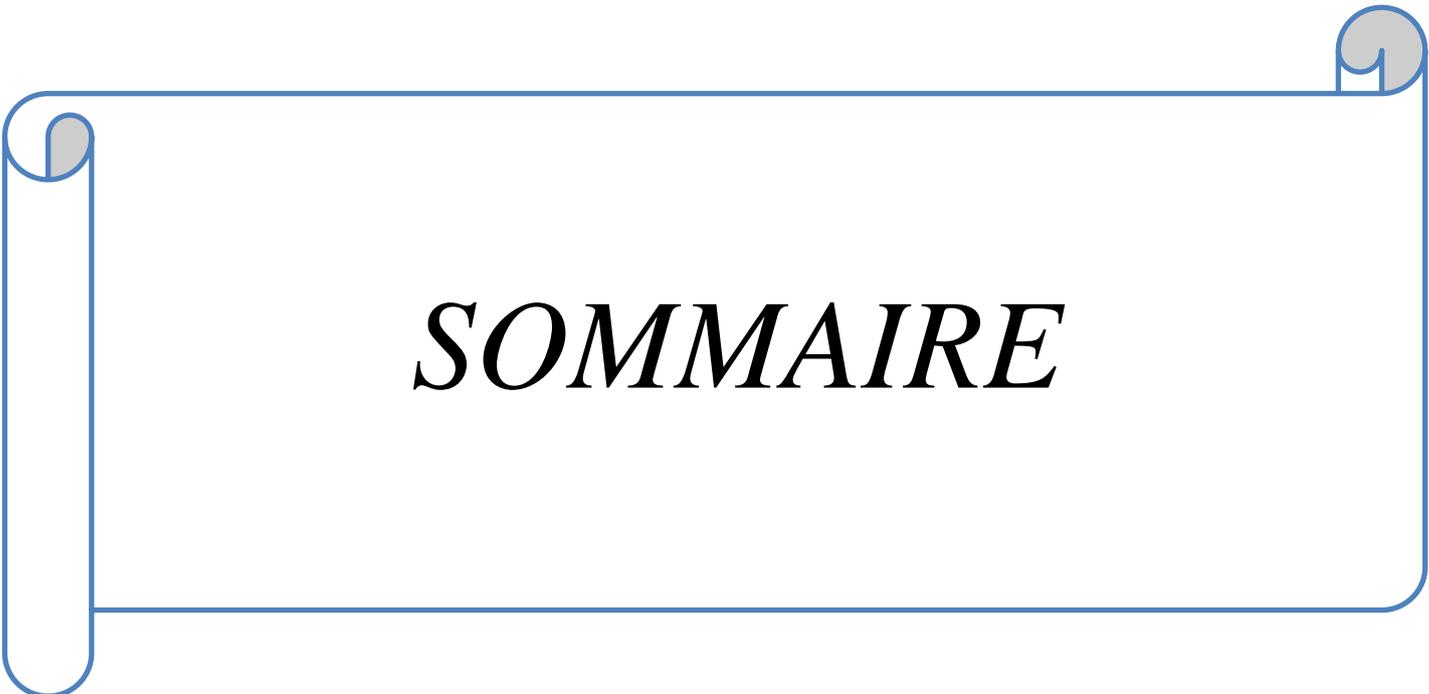
Maître de conférences à l'université de Tiaret, Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de jury En témoignage de notre respect,

Sincères remerciements.

*A Monsieur **SAFA Abdelkader,***

Maître assistant à l'université de Tiaret , Qui a accepté de participer au jury de ce mémoire. En témoignage de notre respect,

,



SOMMAIRE

Sommaire

Dédicace

Remerciements

Sommaire

LISTES DES FIGURES ET DES TABLEAUX

NOMENCLATURE

INTRODUCTION GENERALE.....01

CHAPITRE I: Généralités sur de la station d'épuration de STEP

I.1.Introduction :.....03

I.2.Carte d'identité :.....03

I.3.Définition de la station d'épuration de Tiaret :.....03

I.4.L'ONA en chiffres :.....03

I.5.Historique et localisation :.....04

I.6.Etude de la structure organisationnelle04

I.7.Les capacités techniques de l'unité :.....05

I.8.Fiche technique des stations de relevage et des stations d'épuration :.....05

I.9.Organigramme d'Office national d'assainissement-unité de Tiaret :.....06

I.10.Présentation de la STEP :.....	07
I.10.1.Localisation :.....	07
I.10.2.Organigramme de la STEP de Tiaret :.....	09
I.11.Définition des eaux usées :	09
I.12.Les principaux rejets polluants:.....	10
I.12.1.Eaux usées domestiques:.....	10
I.12.2.Eaux usées industrielles:.....	10
I.12.3.Les eaux usées pluviales :.....	10
I.12.4 .Les eaux usées agricole:.....	10
I.12.5.Les eaux de drainage:.....	10
I.13.la pollution des eaux usées:.....	11
I.13.1.Pollution minérale :.....	11
I.13.2.la pollution microbiologiques :.....	11
I.13.3.Pollution chimique :.....	11
I.13.4.La pollution physique :.....	11
I.13.5.Pollution par le phosphore :.....	12
I.13.6.Pollution par l'azote :.....	12
I.14.L'équivalent habitant (EH) :.....	12
I.15.Normes internationales :.....	12

I.16.Normes Algériennes :.....	13
I.17.Définition de l'épuration :.....	15
I.17.Paramètres essentiels pour le choix d'une technologie de traitement des eaux Usées :.....	15
I.18.Rôle des stations d'épuration :.....	15
I.19.Le procédé de traitement :.....	15
I.19.1. Le prétraitement :.....	15
I.19.1.1. Dégrillage :.....	15
I.19.1.1.1. Dégrillage gros :.....	16
I.19.1.1.2. Dégrillage fin :.....	17
I.19.1.2. Dessablage déshuilage :.....	17
I.20.Conclusion :.....	18

CHAPITRE II: Valorisation énergétique des boues de la station d'épuration

II.1.Introduction :.....	20
II.2.Valorisation Energétique :.....	20
II.2.1.Méthanisation :.....	21
II.2.2.Valorisation Energétique De Biogaz :.....	21
III.2.3.Production de chaleur :.....	22
III.2.4.Production d'électricité :.....	23

II.3.Pyrolyse :.....	24
III.3.1.Valorisation des produits :.....	24
III.3.2.Gaz de synthèse :.....	24
III.3.3.Huile :.....	25
II.3.4.Résidu carboné :.....	25
II.4.Valorisation Agronomique :.....	25
II.4.1.Epandage :.....	25
II.2.1.Conditions générales d'épandage :.....	26
II.2.2.Modalités pratiques d'épandage :.....	27
II.2.3.Analyses des boues de la STEP :.....	28
II.3.Compostage :.....	31
II.3.1.Les différentes étapes de production d'un compost :.....	31
II.3.2.Paramètres du compostage :.....	31
II.3.3 Avantages du compost de boues :.....	33
II.4.L'incinération :.....	34
II.5.Séchage :.....	34

II.5.1.Séchage Solaire :.....	35
II.5.2.Le principe de séchage des boues par effet de serre :.....	35
II.5.3.Les différents types de serres :.....	35
II.5.3.1.Les serres ouvertes :.....	35
II.5.3.2. Les serres fermées :.....	36
II.5.2.Séchage Thermique :.....	37
II.6.Conclusion :.....	38

CHAPITRE III: Méthodes Numériques et Présentation du code Fluent

III.1.Introduction :.....	40
III.2.Méthodes numériques :.....	40
III.2.1.Méthodes principales de discrétisation :.....	40
III.2.1.1.Différences finie :.....	40
III.2.1.2.Eléments finis :.....	41
III.2.1.3.Volumes finis :.....	41
III.2.1.4 Méthodes spectrales	42
III.2.2.Les différentes étapes de la mise en œuvre :.....	45

III.2.3.Principes des codes CFD :.....45

III.2.4.Modèles de fermeture :.....47

III.2.4.1.Modèle (k- ϵ) :.....48

III.2.4.1.1.Modélisation de l'équation de k :.....49

III.2.4.1.2.Modélisation de l'équation de ϵ :.....50

III.2.4.1.3.Constantes standards de modèle (k- ϵ) :.....50

III.3.Presentation des logiciels de calcul :.....51

III.3.1.Mailleur Gambit :.....51

III.3.2.Le procédé de création de la géométrie par le GAMBIT et la simulation par le fluent.....52

III.4. Conclusion 53

CHAPITRE IV: Analyse et Interprétation des Résultats

IV.1 Introduction :.....55

IV.2 Banc d'essai experimental:.....55

IV.2 .1 DOMAINED'ETUDE(GEOMETRIE)56

IV.3 Paramètres de la simulation numérique de l'écoulement dans le canal et fluides utilisés.....57

IV.4 Etape de simulation:.....57

IV.4.1 Convergence:.....58

IV.5 resultats et interpretation:.....58

IV.5.1 Evolution de la vitesse suivant l'axe X.....59

IV.5.2 contour de la vitesse resultante:.....60

IV.5.3 Evolution du profil de vitesse a trois positions:.....61

IV.5.4 Vecteur de la vitesse resultants:.....61

IV.6 Pression :.....62

IV.6.1 Contour de la pression dynamique:.....62

IV.6.2 Evolution des pertes de pression en fonction du debit:.....63

IV.7 Conclusion :64

CONCLUSION GENERALE

ANNEXE 01

ANNEXE 02

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RESUME

A decorative border resembling a scroll, with a blue outline and grey shading on the top and bottom edges, framing the text.

*LISTE DES FIGURES
ET DES TABLEAUX*

Liste des Figures et des Tableaux

Chapitre I

Généralité sur de la station d'épuration de la STEP

Figure N° 1: Organigramme de l'office National d'assainissement deTiaret.....06

Figure N° 2: Schéma Directeur du système d'Assainissement de la ville deTiaret. [4].....07

Figure N° 3: Plan de situation de la STEP de la ville de Tiaret07

Figure N° 4: Synoptique de la STEP de la ville deTiaret.....08

Figure N° 5: Maquette de La STEP08

Figure N° 6: Organigramme de la STEP09

Figure N° 7: Dégrilleur gros16

Figure N° 8: Dégrillage fin17

Figure N° 9: Déshuilage et dessablage18

Chapitre II

Valorisation énergétique et des boues de la station d'épuration

Figure N° 1: Différentes voies de valorisation du méthane22

Figure N° 2: Exemple de rendement d'un moteur à gaz23

Figure N° 3: Représentation schématique de la pyrolyse24

Figure N° 4: les différentes étapes de production d'un compos32

Figure N° 5: Serre ouverte36

Figure N° 6: Serre fermée.....37

Chapitre III

Méthodes Numériques et Présentation du code fluent

Figure N° 1: Volume de contrôle bidimensionnel.....42

Figure N° 2: Schémas des étapes à utiliser pour la simulation sur ces logiciels Gambit et Fluent
.....52

Figure N° 3: Schéma d'un Conduite rectangulaire avec une contraction brusque.....53

Chapitre IV

Présentation et Interprétation des Résultats Personnels

Figure N° 1: Schéma générale de l'installation.....55

Figure IV.2: Schéma d'une Conduite rectangulaire avec une contraction brusque56

Figure N° 3: Courbe d'itération58

Figure N° 4: Les différentes sections choisies de la conduite58

Figure N° 5: Comparaison de la variation de la vitesse entre les résultats expérimentaux et ceux
de la simulation59

Figure N° 6: Contour de la vitesse résultante60

Figure N° 7: Profil de la vitesse résultante suivant Y.....61

Figure N° 8: Profil de la vitesse suivant X61

Figure N° 9: Contour de pression dynamique [Pa].....62

Figure N° 10: Evolution des pertes de pression en fonction du débit63

Liste des Tableaux

Tableau I.1 : fiche technique des stations de d'épurations [3].....05

Tableau I.2 : Fiche technique de la station d'épuration [3].....06

Tableau I.3: Normes de rejets internationales.....13

Tableau I.4 : Les valeurs limitent des paramètres de rejet dans un milieu récepteur (Journal Officiel de la République Algérienne, 2006).....14

Tableau II.1 : les conceptions et gestions des épandages sur différents types de terrain.....27

Tableau II.2 : Teneurs limites en éléments-traces dans les boues.....28

Tableau II.3 : Teneurs limites en composés-traces organiques dans les boues.....28

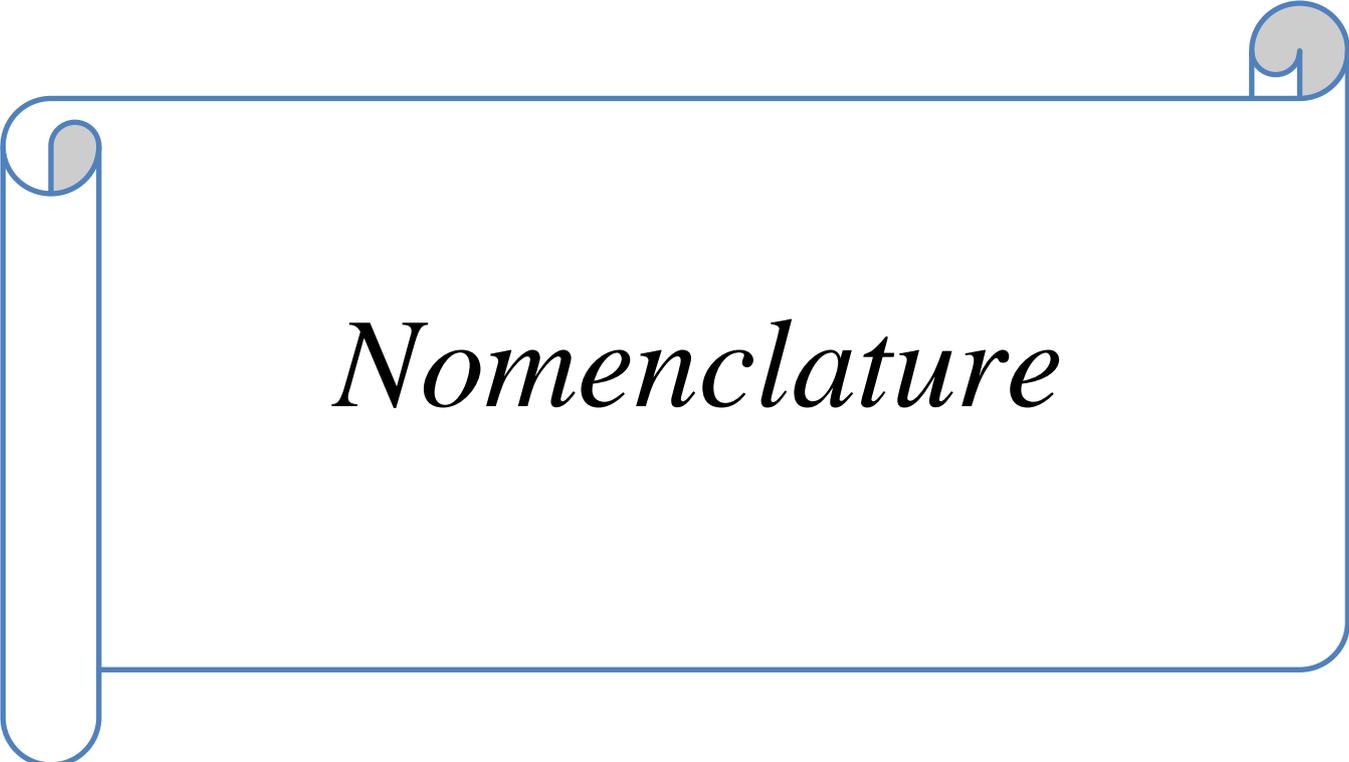
Tableau II.4 : Résultats des analyses de valeur agronomique en (g/kg) de la STEP.....29

Tableau II.5 : Résultats des analyses des éléments de traces métalliques de la STEP.....30

Tableau II.6 : Récapitulatif des différents critères de stabilité et de maturité d'un compost...33

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Tableau II.7: Les avantages et les inconvénients d'une serre ouverte (Brison et al, 2010)....	36
Tableau II.8 : L'avantage et l'inconvénient d'une serre ouverte (Brison et al, 2010).....	37
Tableau III.1 : Récapitulatif des équations régissant l'écoulement.....	48
Tableau III 2: Coefficients du modèle K- S standard.....	51
Tableau IV. 1: Dimensions géométriques	56



Nomenclature

Nomenclature

Notations latines :

symbole	Désignation	Unité
DH, am	Diamètre hydraulique en amont	Mm
DH, av	Diamètre hydraulique en aval	mm
D	Diamètre	mm
E	Epaisseur	mm
Re	Nombre de Reynolds	/
S	Surface	m ²
V	Vitesse d'écoulement	m/s

Notations grecque :

symbole	Désignation	Unité
ρ	Masse volumique	kg/m ³
ν_t	Viscosité cinématique turbulente	m ² /s
μ	Viscosité dynamique	kg/ (ms)
ε	Taux de dissipation	/
γ	Rapport de la chaleur spécifique	/
ω	Vitesse de rotation	rd/s
λ	Conductivité thermique	[W/m.K]
Re	Nombre de Reynolds	/
ϕ	L'altitude du lieu	/

Abréviations :

RNG: Reynolds normalization group

CFD: Computational fluid dynamics

ADE : Algérienne des eaux

Br : la boue recyclée

BA I : la boue active du bassin I

BA II : la boue active du bassin II

CE : conductivité électrique

DBO₅ : demande biochimique en oxygène pendant 5 jours

DCO : demande chimique en oxygène

ISO : Organisation internationale de standardisation

MES : Matière en suspension

MO : Matière organique

MVS : Matière volatile suspendu

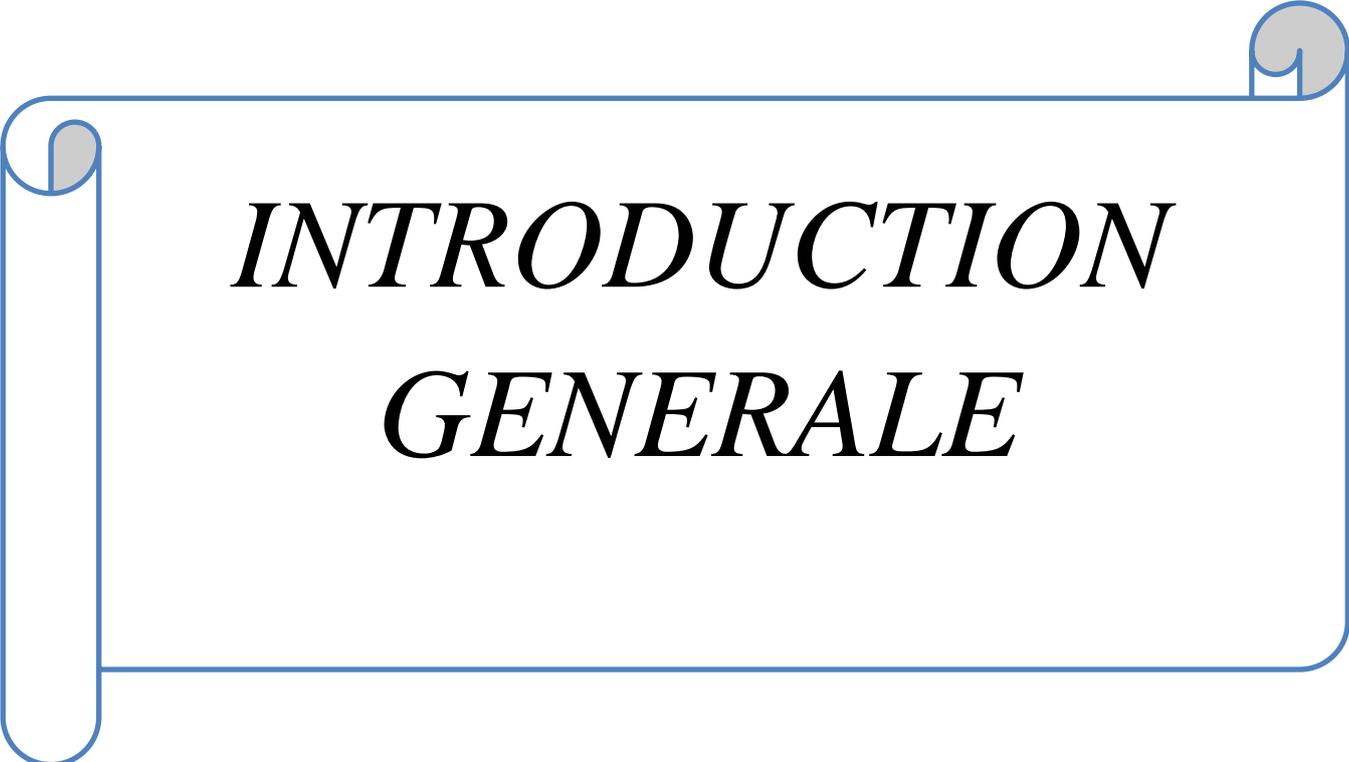
OMS : organisation mondiale de la santé

pH : Potentiel d'hydrogène

q.s.p : Quantité suffisante pour

STEP : Station de traitement des eaux pollués.

TDS : Taux de sels



INTRODUCTION
GENERALE

Introduction Générale

L'histoire de l'eau est quelque sorte la vie même, c'est un constituant essentiel de tout créature vivant sur cette planète, certains corps disparaissent dans l'eau car ils y sont solubles qui assure le transport des éléments nutritifs, dans la vie quotidienne, notre existence est strictement liée à l'eau sous toutes ses formes. Nous citerons les eaux des lacs et rivières, les eaux de sources, les eaux souterraines et les eaux de barrages (**SELBY, 2001**)

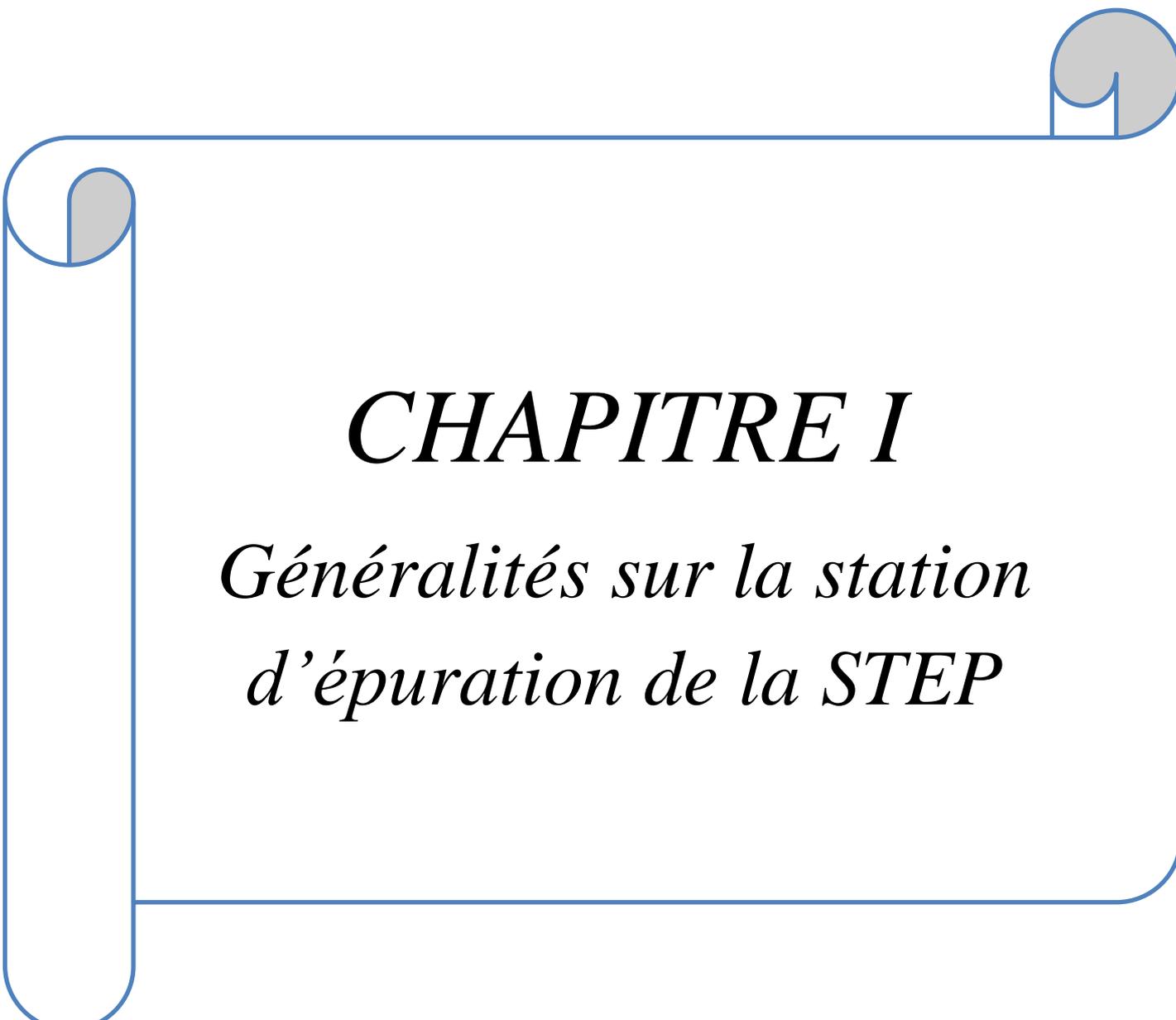
Avec le développement de l'urbanisation et de l'industrialisation, ainsi que l'évolution des modes de consommation, les rejets d'eaux usées ont considérablement évolués en quantité et en qualité, Lorsque les eaux usées ne sont pas traités, les cours d'eau sont dépassés dans leur capacité naturelle d'épuration et se retrouvent pollués.

Ces déchets finiraient par rendre notre cadre de vie inhabitable. C'est pour cela que depuis l'antiquité, l'homme a mis en place, dans les villes, des systèmes d'assainissement de simples égouts pour conduire les eaux usées et les eaux de pluies, vers la rivière.

Les eaux usées qu'elles soient industrielles ou ménagères ne devraient pas être directement rejetées dans le milieu naturel, car elles peuvent engendrer de graves problèmes environnementaux et de santé publique. Le traitement ou l'épuration des eaux usées a donc pour objectif de réduire la charge polluante qu'elles véhiculent. Par conséquent elles devraient être dirigées vers des stations d'épuration dont le rôle est de connecter la pollution contenue dans les eaux sous forme d'un petit volume résidu, de boues, et de rejeter une eau épurée répondant à des normes bien précises, et cela grâce à des procédés physico-chimiques ou biologiques.

Ce présent travail comprend quatre chapitres :

- **Dans le 1er chapitre** : Généralité sur de la station d'épuration des eaux usées « STEP »
- **Dans le 2^{eme} chapitre** : Valorisation énergétique et des bues de la station d'épuration
- **Dans le 3^{eme} chapitre** : méthodes numériques et présentation du code Fluent.
- **Dans le 4^{eme} chapitre** : présentation et interprétation des résultants.

A decorative border resembling a scroll, with a blue outline and grey shaded areas at the top and bottom corners, framing the text.

CHAPITRE I

*Généralités sur la station
d'épuration de la STEP*

Chapitre I

Généralité sur la station d'épuration de la STEP

I.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous allons présenter l'entreprise de la STEP de Tiaret, définition de la station d'épuration de Tiaret, ses utilisations, et Les capacités techniques de l'unité.

I.2 CARTE D'IDENTITE :

- Nom de l'entreprise : station d'épuration de la ville de Tiaret (STEP) -office national d'assainissement(ONA)- Tiaret.
- Adresse de l'entreprise : route N°7 de AIN BOUCHEKIF – la commune d'Ain Bouchekif, Tiaret(14),Algérie.
- Maître de l'ouvrage :direction de l'hydraulique de la wilaya de Tiaret (DHW)
- Maître d'œuvre : contrôle et su prévision des travaux.
- Groupe : ENHYD (Algérie) ; SCET (Tunisie)
- Entreprise de la réalisation : Linde KCA (Allemagne) cossider Algérie.
- Type de l'entreprise : entreprise de service publique et économique.
- La forme juridique : publique. [1].

I.3 DEFINITION DE LA STATION D'EPURATION DE TIARET :

L'office national de l'assainissement (ONA),est un établissement public national, à caractère industriel et commercial (EPIC) qui a un capital de 350.000.000 DA, exerçant son activité sous la tutelle du ministère des ressources en eau de l'environnement (MRE),créé par décret exécutif N°11/2003 du 10/05/2003.

I.4 L'ONA EN CHIFFRES :

Chiffres clés du mois de janvier 2017 :

- Nombre de communes gérées par l'ONA : **1118**
- Nombre de salariés : **12000**
- Linéaire total des réseaux géré par l'ONA : **51208Km**
- Nombre de STEP en exploitation par l'ONA : **137**
- Nombre de centre d'assainissement **269 centres.**

- Capacités installée de STEP : **9187 Eq.hab**
- Volume mensuel des eaux épurées : **16Millions de m³**
- Débit moyen journalier des eaux usées épurées : **520188 m³/jours**
- Taux d'utilisation des capacités des installations : **37%**
- Volume des eaux usée rejetées : **120 Millions de m³**
- Nombre de branchement réalisé : **32103 interventions**
- Linéaire des réseaux curé : **641 Km [1].**

I.5 HISTORIQUE ET LOCALISATION :

L'ona se sibs tue à l'ensemble des établissements et organismes publics, nationaux, régionaux et locaux en charge du service public de l'assainissement, notamment :

- L'agence Nationale de l'eau potable et de l'assainissement (AGEP).
- Les établissements publics nationaux à compétence régionale de gestion de l'assainissement
- Les EPEDEMIA de wilaya ; les régies et services communaux de gestion des systèmes d'assainissement.
- La direction générale de l'ONA se situe à ALGER et la direction de l'unité de Tiaret située route d'Alger. [1].

I.6 ETUDE DE LA STRUCTURE ORGANISATIONNELLE :

L'office national de l'assainissement se forme de directeur générale, assisté par des personnes qui chargés de la gestion, finance ressources humaines, formation, exploitation, maintenance, études, les projets, communication et la sécurité.

Unité de Tiaret d'ONA constitué de 9 centres et 3 secteurs qui sont :

- Centre de Tiaret.
- Centre de ksar Chellala.
- Centre de sougueur.
- Centre de Rahouia.
- Centre Mehdia.
- Centre de Frenda.
- Centre de Dahmouni.
- Centre de hammadia..
- Centre d'Ain Dhab.

- Secteur d'Oued Lili.
- Secteur d'Ainkermès.
- Secteur de medroussa.

I.7 LES CAPACITES TECHNIQUES DE L'UNITE :

L'unité de Tiaret représente les capacités techniques suivantes :

- La longueur du réseau d'assainissement utilisé est 1364.58 Km, qui équivalent à 95.24% de longueur du réseau de l'unité.
- Station d'épuration est utilisée un débit de 38000 m³/jrs
- Station de relevage Oued Tolba équipée de 4 pompes avec un débit de 400l/s et une capacité de 440 kW.
- Station de relevage Bouchekif équipée de 3 pompes avec un débit de 339l/s et une capacité de 480 KW.
- Station de relevage Dahmouni équipée de 03 pompes avec un débit de 111l/s et une capacité de 165 KW.
- 38 communes prises en charge par l'office.

I.8 FICHE TECHNIQUE DES STATIONS DE RELEVAGE ET DES STATIONS D'EPURATION :

Tableau I.1 : fiche technique des stations de d'épurations [3].

Numéro	Nom de station	Date de début d'exploitation	Nombre de pompes	Débit (l/s)	Embouchure d'eau
01	Oued TOLBA	2003	4	400	Station d'épuration
02	AIN BOUCHEKIF	2012	3	339	Station d'épuration
03	DAHMOUNI	2015	3	111	Station d'épuration

Tableau I.2 :Fiche technique de la station d'épuration [3].

Nom de station	Début de l'exploitation	Date de reconversion	Débit (m ³ /jr)	Méthode d'épuration	Embouchure finale
Station d'épuration d'eau Tiaret	2008	01/9/2011	38000	Boues actives	Barrage DAHMOUNI

I.9 ORGANIGRAMME D'OFFICE NATIONAL D'ASSAINISSEMENT-UNITE DE TIARET :

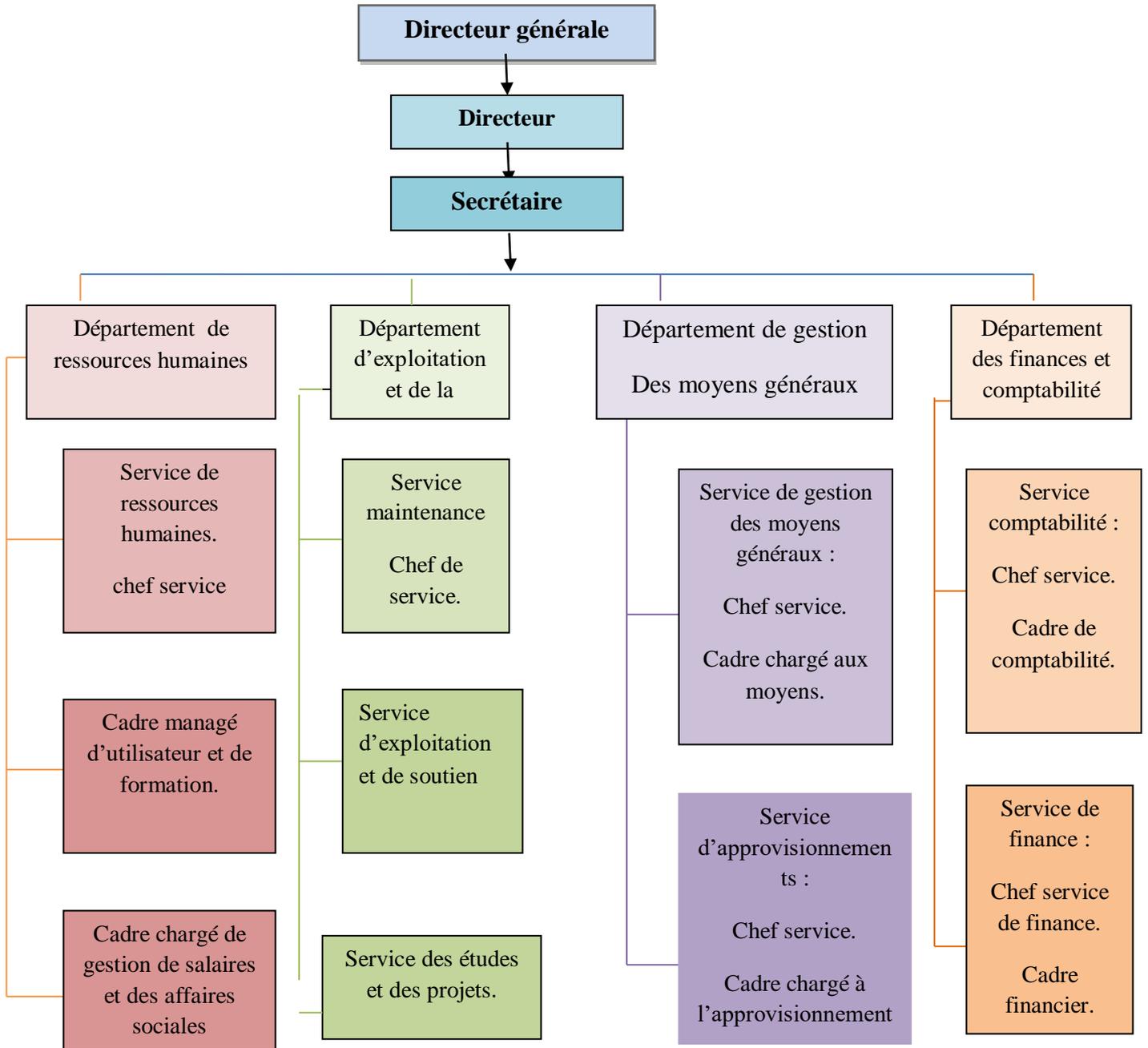


FIGURE I.1 : Organigramme de l'office National d'assainissement deTiaret.

I.10 PRESENTATION DE LA STEP

I.10.1 LOCALISATION :

La STEP est localisée dans la commune d'Ain BOUCHEKIF, située à 4,5 km de la ville de Tiaret. Elle est accessible par la route qui débouche directement dans le chemin wilaya N° 07. Cette zone est caractérisée par une activité agricole et par la présence d'Oued NOURIA qui verse directement dans le barrage DAHMOUNI. Les eaux usées (d'origine domestique et pluviales) arrivent à l'ouvrage par gravité grâce à un réseau de différents collecteurs (cinq collecteurs principaux)

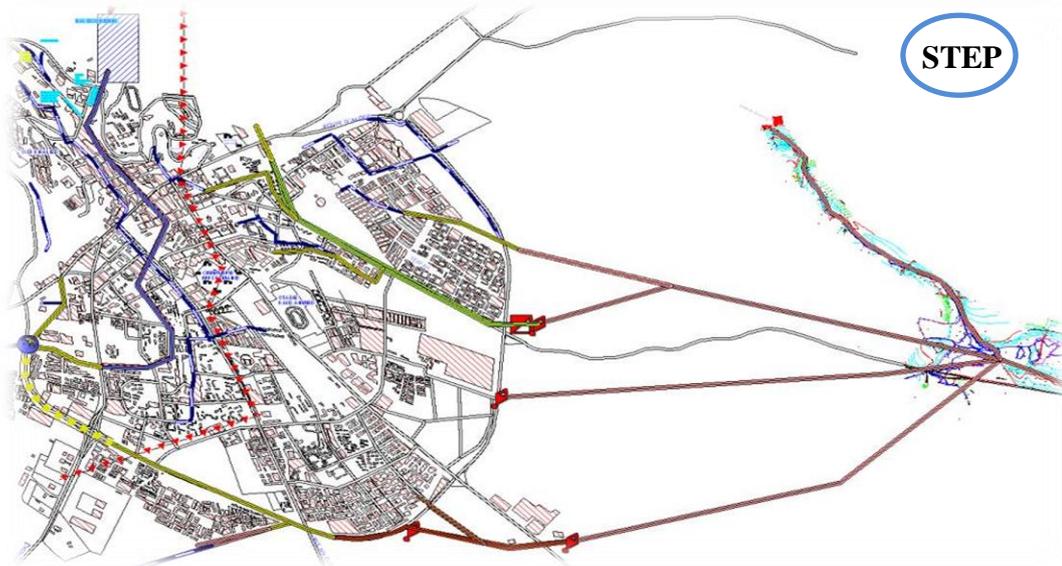


Figure I.2 :Schéma Directeur du système d'Assainissement de la ville deTiaret. [4].



Figure I.3 : Plan de situation de la STEP de la ville de Tiaret.

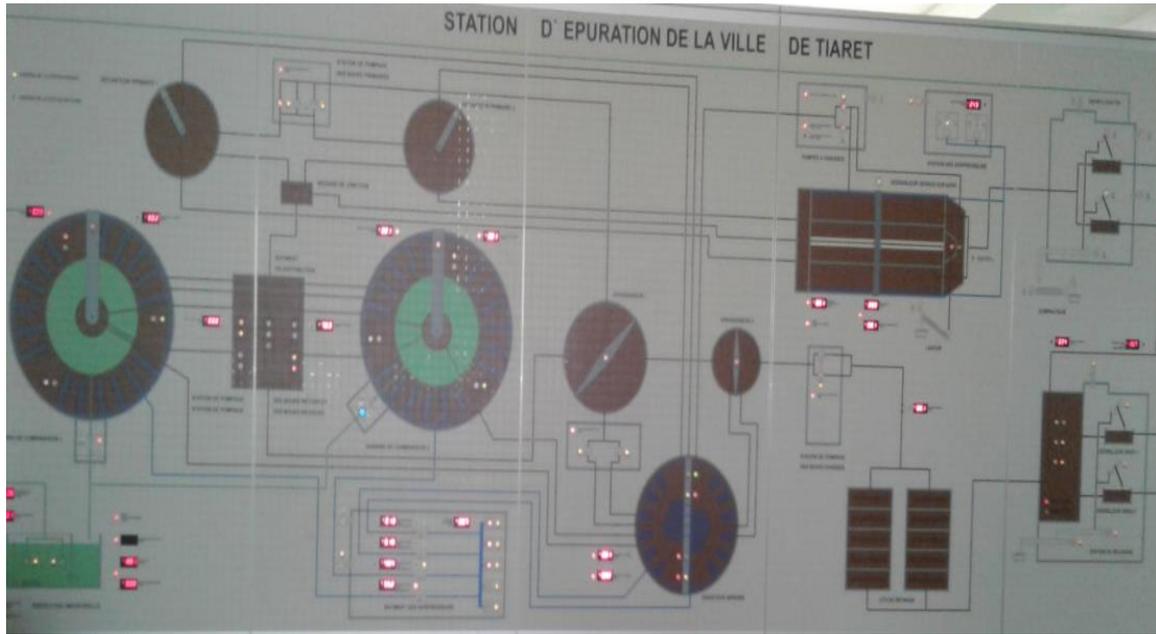


Figure I.4 : Synoptique de la STEP de la ville deTiaret.



Figure I.5 : Maquette de La STEP.

I.10.2 ORGANIGRAMME DE LA STEP DE TIARET :

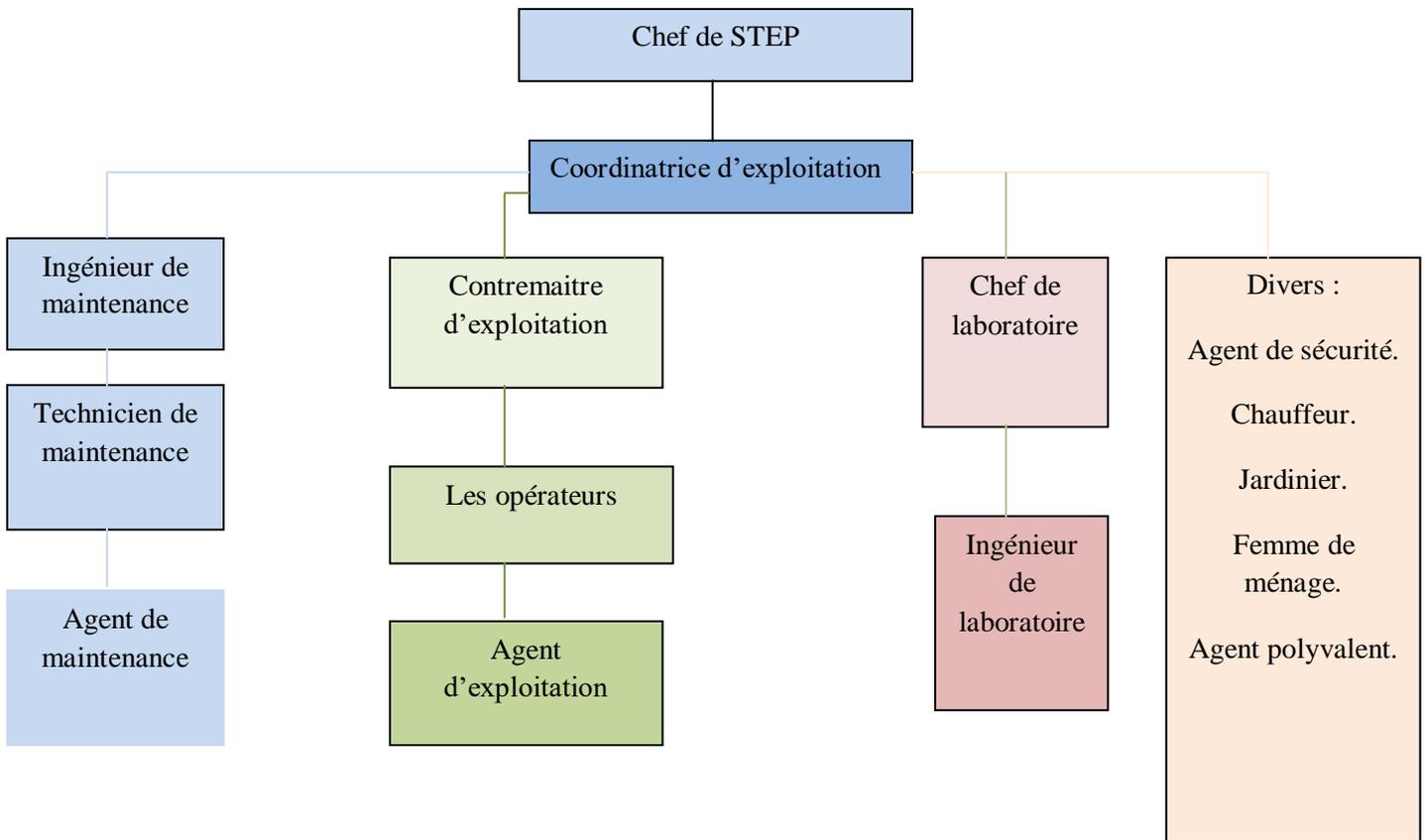


Figure I.6 : Organigramme de la STEP [4].

I.11 DEFINITION DES EAUX USEES

Les eaux usées, ou les eaux résiduaires, sont des eaux chargées de résidus, solubles ou non provenant de l'activité humaine industrielle ou agricole et parvenant dans les canalisations d'évacuation des eaux usées. Elles représentent, une fraction du volume des ressources en eaux utilisables mais leur qualité très médiocre exige une épuration avant leur rejet dans le milieu naturel THOMAS O., (1955) [5].

d eau est considérée comme « eau usée » lorsque son état, sa composition sont modifiés par les actions anthropiques dans une mesure telle qu'elle se prête moins facilement à toutes ou certaines des utilisations auxquelles elle peut servir à l'état naturel. Aujourd'hui on parle de plus en plus des notions d'eaux claires. [59].

I.12 LES PRINCIPAUX REJETS POLLUANTS

Les rejets sont de diverses origines classées en :

I.12.1 EAUX USEES DOMESTIQUES :

Ces eaux sont constituées par les eaux usées ménagères provenant des usages domestiques (eaux de bain et de lessive) et les eaux vannes (urines et fèces). En général, ces eaux sont chargées en matières organiques, graisses et produit d'entretiens ménagers. Elles présentent une bonne dérivabilité [6].

I.12.2 EAUX USEES INDUSTRIELLES :

Les eaux industrielles ou résiduaires véhiculent souvent des produits chimiques toxiques (arsenic, acide sulfurique, du cyanure et divers métaux lourds). Elles posent à l'heure actuelle de multiples problèmes par leurs risques toxiques chez tous les êtres vivants [7].

I.12.3 LES EAUX USEES PLUVIALES :

Ce sont des eaux de ruissellement qui se forment après une précipitation. Elles peuvent être particulièrement polluées surtout en début de pluie par deux mécanismes : Le lessivage des sols et des surfaces imperméabilisées

- Les déchets solides ou liquides déposés par temps sur ces surfaces sont entraînés dans le réseau d'assainissement par les premières précipitations qui se produisent
- Par temps sec, l'écoulement des eaux usées dans les collecteurs des réseaux est lent ce qui favorise le dépôt de matières décanables. Lors d'une précipitation, le flux d'eau plus important permet la remise en suspension de ces dépôts [8].

I.12.4 LES EAUX USEES AGRICOLE :

Le secteur agricole reste le plus grand consommateur des ressources en eau [9]. Les pollutions dues aux activités agricoles sont de plusieurs natures :

- Apport des eaux de surface de nitrate et de phosphate utilisés comme engrais
- Apport de pesticides chlorés ou phosphorés de désherbants d'insecticides
- Apport de sulfate de cuivre de composés arsenicaux destinés à la protection des plantes [10].

I.12.5 LES EAUX DE DRAINAGE :

C'est l'eau de lessivage récupérée après irrigation grâce à un système de drainage. Les pollutions dues aux activités agricoles sont de plusieurs natures :

- Apport aux eaux de surface de nitrates et de phosphates utilisés comme engrais, par suite de lessivage de terre perméables. Ces composés minéraux favorisent la prolifération des algues (phénomène d'eutrophisation) qui en abaissent la teneur en oxygène des eaux courantes compromettent la vie des poissons et des animaux aquatiques.
- Apport des pesticides chlorés ou phosphorés, de désherbants, d'insecticides. [10].

I.13 LA POLLUTION DES EAUX USEES

La pollution ou la contamination de l'eau peut être définie comme la dégradation de celle-ci en modifiant ses propriétés physiques, chimiques et biologiques; par des déversements, rejets, dépôts directs ou indirects de corps étrangers ou de matières indésirables telles que les microorganismes, les produits toxiques, les déchets industriels.

Selon leurs natures, on distingue divers types de pollution [11].

I.13.1 POLLUTION MINERALE

Elle est constituée essentiellement des métaux lourds en provenance des industries métallurgiques et de traitement de minerais, ex (plomb, du cuivre, du fer, du zinc et du mercure...etc) [12].

I.13.2 LA POLLUTION MICROBIOLOGIQUES

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes [13].

I.13.3 POLLUTION CHIMIQUE

Elle résulte des rejets chimiques, essentiellement d'origine industrielle. La pollution chimique des eaux est regroupée en deux catégories :

Organiques (hydrocarbures, pesticides, détergents, phénols..) ;

Minérales (métaux lourds, cyanure, azote, phosphore...) [13].

I.13.4 LA POLLUTION PHYSIQUE

Résultat de la présence dans l'eau de particules ou de déchets capables de colmater le lit d'un cours d'eau (cas des eaux provenant par exemple des mines, d'usines de défilage de bois, de tanneries) [13].

I.13.5 POLLUTION PAR LE PHOSPHORE

Le phosphore a pour origine les industries du traitement de surfaces des métaux, les laveries industrielles des fabrications, d'engrais agroalimentaire [14]. Comme l'azote, le

phosphore est un élément nutritif, il est à l'origine du phénomène d'eutrophisation c'est-à-dire la prolifération excessive d'algues et de plancton dans les milieux aquatiques [14].

I.13.6 POLLUTION PAR L'AZOTE

Les activités industrielles, peuvent être à l'origine des rejets plus ou moins riche en azote (élément nutritif) issu des fabrications d'engrais, des cokeries, et des industries chimiques et agroalimentaires [15]. L'azote existe sous deux formes: la forme réduite qui regroupe l'azote ammoniacal (NH_3 ou NH_4^+) et l'azote organique (protéine, créatine, acide urique). Plus une forme oxydée en ions nitrites (NO_2^-) et nitrates (NO_3^-).

I.14 L'EQUIVALENT HABITANT (EH)

Un équivalent habitant correspond à la pollution quotidienne que génère un individu.

Chacun est sensé utiliser 180 à 300 l d'eau par jour.

La quantité de pollution journalière produite par un individu est estimée à 57 g de matières oxydables (MO), 90 g de matières en suspension (MES), 15 g de matières azotées (MA), et 4g de matières phosphorées (MP). Enfin, la concentration des germes est généralement de l'ordre de 1 à 10 milliards de germes pour 100 ml [16].

I.15 NORMES INTERNATIONALES

La norme est représentée par un chiffre qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser ou une limite inférieure à respecter. Un critère donné est rempli lorsque la norme est respectée pour un paramètre donné. Une norme est fixée par une loi, une directive, un décret de loi.

Les normes internationales selon l'organisation mondiale de la santé pour les eaux usées sont représentées dans le tableau suivant: [17].

Tableau I.3: Normes de rejets internationales.

Paramètres	Unité	Normes utilisées (OMS)
PH	-	6,5-8,5
DBO ₅	mg/l	<30
DCO	mg/l	<90
MES	mg/l	<20
NH ₄ ⁺	mg/l	<0,5
NO ₂	mg/l	1
NO ₃	mg/l	<1
P ₂ O ₅	mg/l	<2
Température T	°C	<30
Couleur	-	Incolore
Odeur	-	Inodore

I.16 NORMES ALGERIENNES

Les eaux usées se caractérisent par des paramètres physico-chimiques et bactériologiques, qui permettent de déterminer leur éventuelle origine et de connaître l'importance de leur charge polluante. Avant qu'elles ne soient rejetées dans le milieu naturel et ne le dégradent, elles doivent impérativement obéir à des normes établies pour protéger les milieux récepteurs contre la pollution. Pour cela, elles sont acheminées vers une station d'épuration où elles subissent plusieurs phases de traitement. [59].

Selon les normes Algériennes les valeurs limites maximales de rejet d'effluents sont regroupées dans le tableau I.4. [59].

Tableau I.4 : Les valeurs limitent des paramètres de rejet dans un milieu récepteur (Journal Officiel de la République Algérienne, 2006).

PARAMÈTRES	UNITÉS	VALEURS LIMITES
Temperature	°C	30
pH	-	6,5 à 8,5
MES	mg/l	35
DBO5	mg/l	35
DCO	mg/l	120
Azotes Kjeldahl	mg/l	30
Phosphates	mg/l	02
Phosphore total	mg/l	10
Cyanures	mg/l	0,1
Aluminium	mg/l	03
Cadmium	mg/l	0,2
Fer	mg/l	03
Manganèse	mg/l	01
Mercure total	mg/l	0,01
Nickel total	mg/l	0,5
Plomb total	mg/l	0,5
Cuivre total	mg/l	0,5
Zinc total	mg/l	03
Huiles et Graisses	mg/l	20
Hydrocarbures totaux	mg/l	10
Indice Phénols	mg/l	0,3
Fluor et composés	mg/l	15
Étain total	mg/l	02
Composés organiques chlorés	mg/l	05
Chrome total	mg/l	0,5
(*) Chrome III +	mg/l	03
(*) Chrome VI +	mg/l	0,1
(*) Solvants organiques	mg/l	20
(*) Chlore actif	mg/l	1,0

I.17 DEFINITION DE L'EPURATION

En assainissement, l'épuration constitue le processus visant à rendre aux eaux résiduaires rejetées la qualité répondant aux exigences du milieu récepteur il s'agit donc d'éviter une pollution l'Environnement et non de produire de l'eau potable [18].

I.18 PARAMETRES ESSENTIELS POUR LE CHOIX D'UNE TECHNOLOGIE DE TRAITEMENT DES EAUX USEES

Les paramètres essentiels qui doivent être pris en compte pour le choix d'une technologie de traitement doivent tenir compte :

- Des exigences du milieu récepteur.
- Des caractéristiques des eaux usées, (demande biochimique en oxygène, demande chimique en oxygène, matières en suspension...etc.).
- Des conditions climatiques (température, évaporation, vent, etc.).
- De la disponibilité du site.
- Des conditions économiques (coût de réalisation et d'exploitation).
- Des facilités d'exploitations, de gestion et d'entretien [18].

I.19 ROLE DES STATIONS D EPURATION

Ce rôle peut être résumé dans les points suivants :

- Traiter les eaux.
- Protéger l'environnement.
- Protéger la santé publique.
- Valoriser éventuellement les eaux épurées et les boues issues du traitement [19].

I.20 LE PROCEDE DE TRAITEMENT :

I.20.1. LE PRETRAITEMENT :

Les prétraitements sont pour objectif d'éliminer les éléments les plus grossiers, qui sont susceptibles de gêner les traitements ultérieurs et d'endommager les équipements. Il s'agit des déchets volumineux (dégrillage), des sables et graviers (dessablage), et des graisses et huiles (dégraissage et déshuilage) (20) .

I.20.1.1. DEGRILLAGE :

Les dé grilleurs assurant la protection électromécanique et réduites les risques de colmatages des conduites mises en place dans la station d'épuration. Il s'agit de grilles qui récupèrent les

déchets plus ou moins volumineux. L'écartement des barreaux de la grille est défini par le choix de la taille et de la nature des objets acceptés par la station. Selon laquelle on distingue deux dégrilleurs gros et fin qui sont le cas de notre station(21) .

I.20.1.1.1. DEGRILLAGE GROS :

Le premier traitement consiste à faire passer l'eau à travers les grilles dont les barreaux vont retenir les déchets volumineux supérieurs à 30 mm, ex :(les chiffons, les plastiques, les branches....etc.). Dès qu'il y a un déséquilibre au niveau du pied du dégrilleurs à cause du dépôts des déchets signaler par les détecteurs de niveau en amont et en aval des grilles, l'automate fait descendre un peigne pour ramasser les gros déchets et les remonte pour les faire tomber dans la bande transporteuse qui les véhicule vers un conteneur. En suit l'eau arrive à la station de relevage qui se trouve en commun avec le dégrilleur gros. Elle réunit trois pompes à moteur submersible. Chacune de ces pompes immergées possède un débit de 1998 m³/h (555 l/s) pour une hauteur de refoulement de 16,7m.

Les pompes à moteur submersible seront auto-amorcées et auto-désamorcées en mode automatique. Deux pompes au maximum pourront fonctionner à la fois. On amorcera la seconde pompes à partir du moment où l'augmentation du régime de la première pompes ne permet plus de stabiliser le niveau de remplissage qui continue donc à grimper. L'amorçage de la seconde pompe permet de réduire la vitesse d la première. Les deux pompes fonctionnent alors en synchronisation des vitesses (22) .



Figure I.7 : Dégrilleur gros.

I.20.1.1.2. DEGRILLAGE FIN :

Principe : Le dégrillage est la phase initiale de l'épuration s'une eau usée ou sont éliminées les matières les plus volumineuses.

Le dégrillage fin associé à une presse laveuse. Il se caractérise par des grilles dont l'écartement des barreaux est de 8mm pour éliminer les déchets les plus petits. Dès qu'il y a un déséquilibre au niveau du pied du dégrilleur à cause du dépôt des déchets signaler par les détecteur de niveau en amont et en anal des grilles, l'automate fait descende un peigne pour ramasser les petits déchets et les remonte pour les faire tomber dans une presse laveuse ou seront lavés et pressés puis conduit vers un conteneur (22) .



Figure I.8 : Dégrillage fin.

I.20.1.2. DESSABLAGE DESHUILAGE :

Le dessablage débarrasse les eaux usées des sables par sédimentation. Il est en effet souhaitable de les récupérer en amont de la station plutôt que de les laisser s'accumuler en certains points (bassin d'aération, ...). L'écoulement de l'eau à une vitesse réduite dans un bassin appelé « dés sableur » entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage, et grâce an pont mobile doté de deux pompes suceuses qui servent à aspirer le mélange eau-sable déposé au fond du des sableurs vers la chambre à sable. Ce dernier est acheminé par une troisième pompes vers le

classificateur qui permet l'extraction eau du sable, l'eau est injectée en aval du des sableurs alors que le sable séché sera récupéré dans un conteneur. Au même moment, l'insufflation d'air fait monter les graisses plus légères que l'eau à la surface ou elle seront ensuite retirées vers une chambre à graisse (désuilage).

Elles sont ensuite pompées vers le digesteur aérobie (22) .

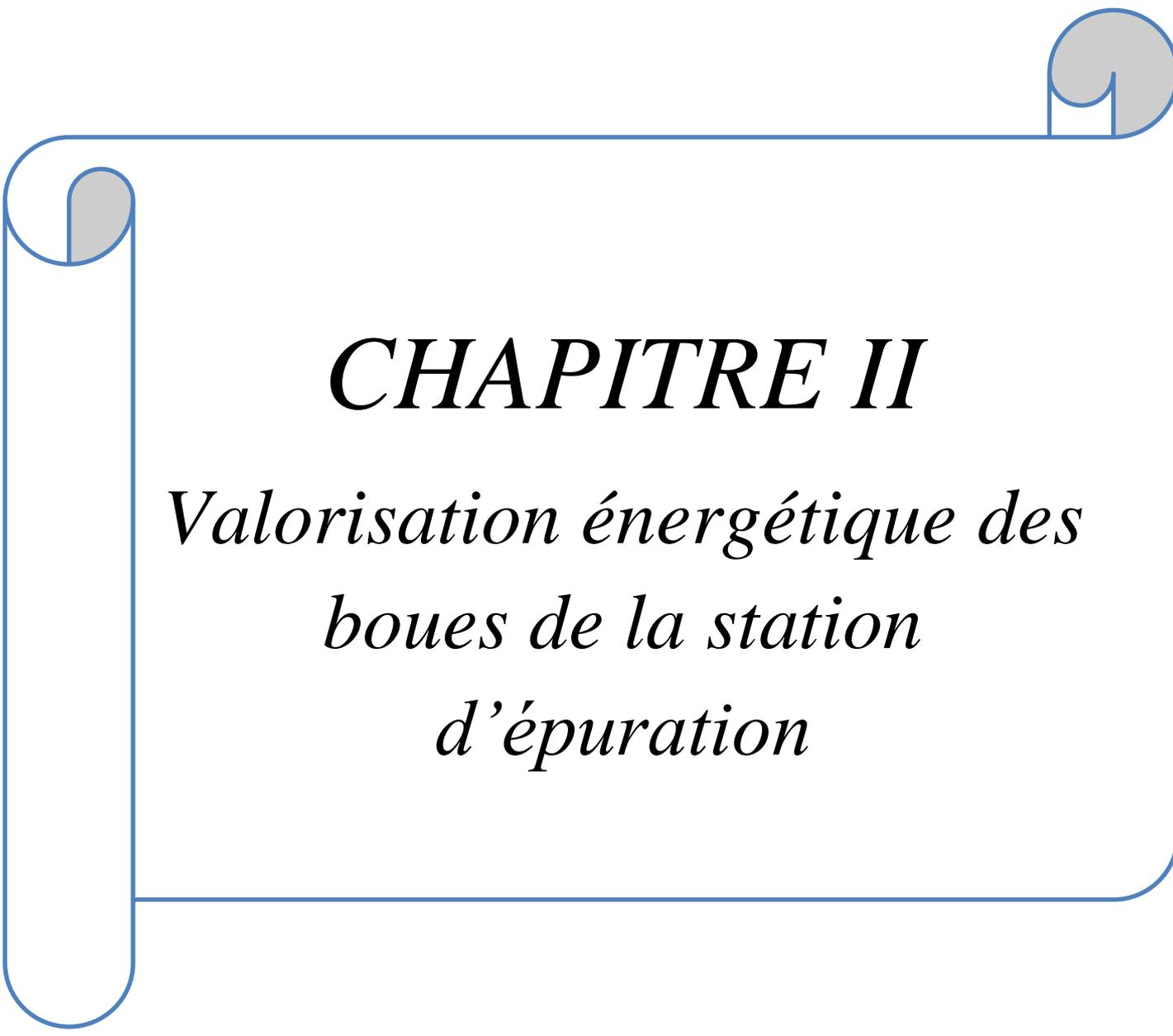


Figure I.9 : Désuilage et dessablage.

I.21 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons défini la station d'épuration de Tiaret d'une manière générale. Nous nous sommes référés à leurs types, qui diffèrent de l'un à l'autre, et le principe de son travail. Comme nous avons vu leur Organigramme de la STEP.....

Ainsi que j'ai présenté une petite généralité sur les eaux usées, quelle est l'origine des eaux usées et la composition de ces eaux, et on a cité les différentes étapes de traitement des eaux usées dans une station d'épuration et on a précisé aussi quelque types de traitement .

A decorative border resembling a scroll, with a blue outline and grey shaded areas at the top corners where the scroll would be rolled up.

CHAPITRE II

*Valorisation énergétique des
boues de la station
d'épuration*

Chapitre II

Valorisation énergétique des boues de la station d'épuration

II.1 INTRODUCTION

La solution de la mise en décharge a perdu progressivement de son intérêt et se retrouve actuellement interdite pour des raisons financières et pour des problèmes environnementaux tels que les odeurs nauséabondes, pullulation de moustiques, entraînement d'éléments fertilisants (nitrates, phosphates) et de produits toxiques par les eaux superficielles et contamination des nappes d'eaux souterraines par le lixiviation.

C'est pour cela qu'on est recommandé de faire une étude analytique des boues pour diminuer ou débarrasser son impact et par conséquent protéger les réserves naturelles du phénomène contre la pollution (eau, sols et atmosphère).

Et pour résoudre ce problème il est nécessaire de savoir :

les modes d'élimination des boues de la station de traitement des eaux usées utilisables dans les pays développés sont :

- La valorisation agronomique
- Les valorisations énergétiques
- L'incinération

Un séchage des boues présente une place très importante dans les filières de valorisation.

C'est pour cela qu'on ne peut pas traiter les domaines de valorisation sans parler de cette étape de séchage.

II.2 VALORISATION ENERGETIQUE

Lorsque leur recyclage s'avère impossible en agriculture, les boues constituent un déchet humide difficile à brûler et à valoriser par voie thermique. La valorisation énergétique regroupe différentes technologies permettant de convertir la fraction organique des boues en énergie.

La valorisation énergétique peut être une voie d'élimination complémentaire ou alternative à la valorisation agricole. [18]

Les technologies de valorisation énergétique des boues de station d'épuration permettent de tirer profit de la nécessité d'éliminer et de détruire les boues. La valorisation des boues, sur le site de la station d'épuration, permet d'améliorer le bilan environnemental en diminuant le transport des boues et en produisant une énergie (chaleur, électricité) directement consommée sur la station. [18]

II.2.1 METHANISATION

La méthanisation ou digestion anaérobie est un processus de minéralisation de la matière organique par une microflore spécialisée. C'est un moyen efficace d'abattement de charge de la matière organique biodégradable. La digestion anaérobie conduit à la formation d'un biogaz riche en méthane et dioxyde de carbone et d'un résidu liquide, le digestat. [18]

La méthanisation se déroule en quatre étapes déterminées par les conditions physicochimiques. Elle fait intervenir successivement trois groupes bactériens. Elle peut se dérouler dans trois gammes de températures, température qui conditionne la vitesse de réaction, la zone psychrophile pour des températures inférieures à 20°C, la zone mésophile de 20 à 45°C et la zone thermophile de 45 à 65°C. [18]

La digestion des boues comporte quatre phases de fermentation qui se déroulent simultanément dans le bioréacteur :

- **Hydrolyse** : certains micro-organismes libèrent dans le milieu des enzymes capables d'hydrolyser les macromolécules ou polymères en molécules simples ou monomères. Cette hydrolyse permet de rendre biodisponible la matière organique nécessaire à son assimilation dans le métabolisme microbien ;
- **Acidogénèse** : les monomères sont ensuite hydrolysés en acides gras volatils en alcools et en ammonium ;
- **Cétogénèse** : une grande partie des acides gras volatils (AGV) et des alcools est assimilée par les bactéries acétogènes autotrophes pour former de l'acétate. Une autre partie est convertie en hydrogène et dioxyde de carbone ;
- **Méthanogénèse** : le méthane est produit soit à partir de l'acétate (bactéries méthanogènes acétoclastes), soit à partir du dioxyde de carbone et de l'hydrogène (bactéries méthanogènes hydrogénéophiles).

Le biogaz issu de la digestion anaérobie contient principalement du méthane et du gaz carbonique. La proportion de ces deux gaz dépend de la nature du substrat, et précisément de la proportion Carbone - Hydrogène - Oxygène - Azote (CHON). [18]

II.2.2 VALORISATION ENERGETIQUE DE BIOGAZ

La méthanisation est réalisée sur des boues épaissies à une siccité de 3 à 5 %. La digestion anaérobie permet une réduction de 40 à 50 % de la matière volatile des boues. Cette matière organique est convertie en méthane et en dioxyde de carbone. La production de biogaz est de l'ordre de 0,8 à 1,2 Nm³/kg MV détruite. Le biogaz produit contient en moyenne 64 % de méthane. Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) est voisin de 6,4 kWh/Nm³. [18]

Le biogaz peut être valorisé en chaudière ou par cogénération. La chaleur produite peut être utilisée pour le chauffage du digesteur (digestion mésophile à 35°C), mais également pour le chauffage des locaux techniques de la station d'épuration ou pour le conditionnement thermique des boues. Plus rarement, le biogaz peut être valorisé en gaz naturel pour les véhicules. Sinon le biogaz est au minimum brûlé dans une torchère (Fig 22). [18]

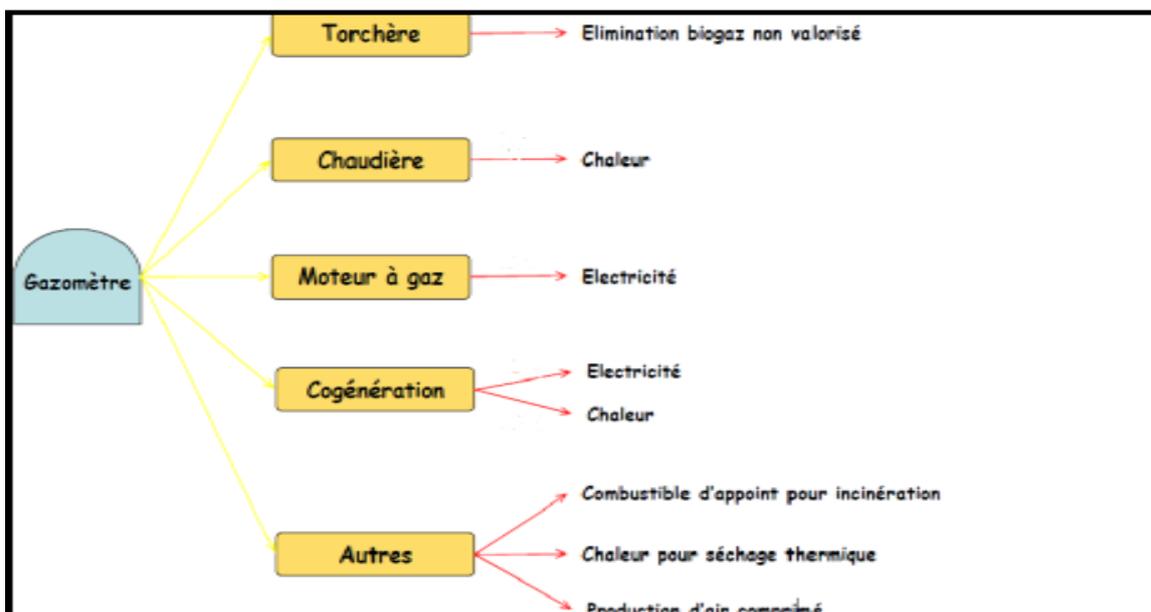


Figure II.1 : Différentes voies de valorisation du méthane

III.2.3 PRODUCTION DE CHALEUR

Les fours ou chaudières représentent la voie de valorisation la plus simple. En effet, le biogaz est brûlé tel quel, en général sans traitement préalable. L'énergie de combustion est récupérée sous forme de chaleur. La production minimale permettant la valorisation en chaudière dans des conditions économiques acceptables est de 100 Nm³/h. [18]

La chaleur ainsi produite, est en premier lieu utilisée pour maintenir le digesteur à sa température de consigne. En métropole, le surplus est fréquemment utilisé pour le chauffage des locaux ce qui n'est pas une application envisageable pour les stations réunionnaises, vu le climat local. [18]

Des modes de valorisation de cette chaleur peuvent alors être recherchés :

- Séchage thermique des boues digérées,
- Conditionnement thermique des boues digérées, ce qui assure une forte siccité des boues après déshydratation,
- Utilisation externe de la chaleur : production d'eau chaude pour un utilisateur potentiel,
- Production de froid à partir de la chaleur (technologie encore peu développée).

III.2.4 PRODUCTION D'ELECTRICITE

La cogénération est la production simultanée d'électricité et de chaleur. La production d'électricité est réalisable à partir de moteur à combustion interne ou moteur à gaz, de turbine à vapeur, de turbine à combustion et plus récemment à partir de piles à combustible. La production de la chaleur est réalisée par récupération de l'énergie thermique dégagée lors de la réaction de combustion du gaz (Fig. 4). [18]

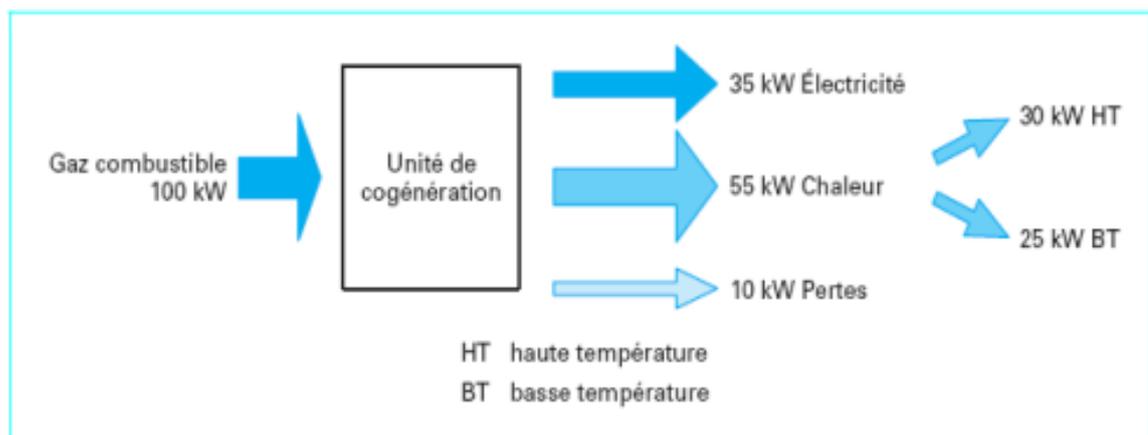


Figure II.2 : Exemple de rendement d'un moteur à gaz

Il existe des modes de valorisation du biogaz qui ne sont pas encore très matures :

- Utilisation du biogaz comme bio carburant pour véhicules.
- Injection du biogaz épuré dans un réseau de distribution de gaz naturel.

II.3 PYROLYSE

La pyrolyse (ou thermolyse) est une dissociation thermique de la matière organique et de la matière minérale, en l'absence d'oxygène (moins de 2 %), sous l'action de la chaleur (400 à 800°C). Il s'agit donc d'un traitement thermique sans combustion et endothermique. Selon les conditions de la réaction (température, pression partielle en oxygène, pression totale), la fraction organique se décompose en gaz, huiles et résidus solides carbonés. Les faibles températures favorisent la production d'huile par rapport au gaz. Ces produits seront récupérés en sortie du procédé, dans le but d'être valorisés (Fig. 23) [18]

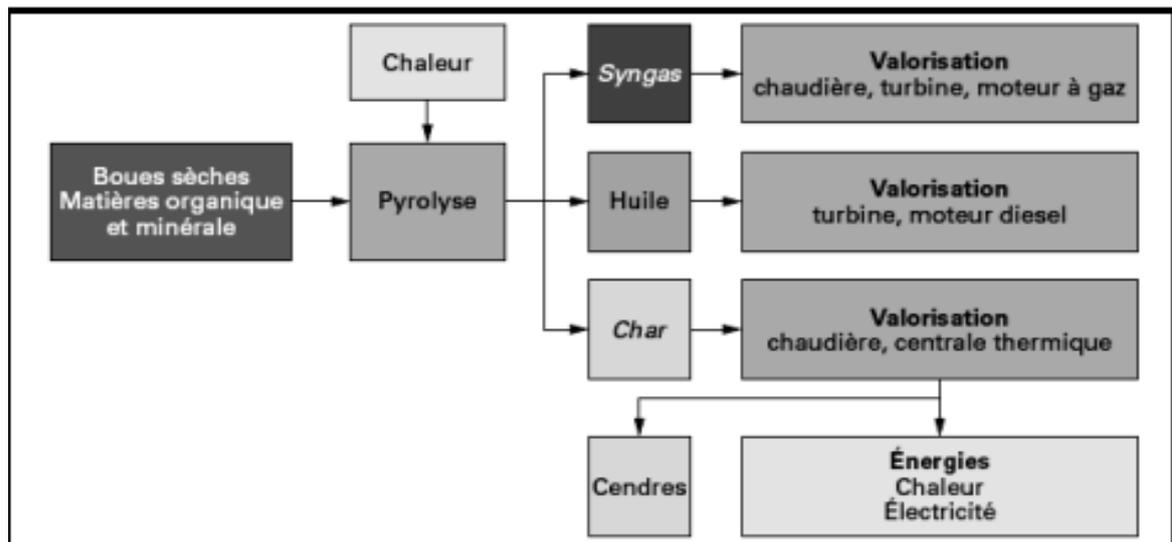


Figure II.3 : Représentation schématique de la pyrolyse

III.3.1 VALORISATION DES PRODUITS

La pyrolyse conduit à une décomposition de la matière en différents produits (gaz, huiles, charbon). Les rendements de formation de ces produits sont très variables selon les technologies de pyrolyse. Certains procédés ne produiront que du gaz, d'autres produiront une grande quantité d'huile. [18]

III.3.2 GAZ DE SYNTHÈSE

Le gaz de synthèse produit par pyrolyse est généralement constitué d'un mélange de composés organiques volatils plus ou moins lourds, de méthane, d'hydrogène, de dioxyde et monoxyde de carbone et d'eau provenant en grande partie de la fraction humide du déchet. Le gaz après traitement peut contenir encore de nombreux composés organiques volatils (huile ou goudron).

Le plus souvent, il est valorisé dans une chaudière pour le séchage des boues ou directement dans le réacteur de thermolyse pour fournir l'énergie nécessaire à la dissociation thermique. [18]

III.3.3 HUILE

L'huile est produite par condensation d'une fraction des gaz de synthèse. L'huile est un produit intéressant car elle permet un stockage de l'énergie qui peut être utilisé dans une turbine à combustion ou un moteur diesel. Le découplage entre la production de cette huile et la production d'énergie permet d'envisager cette solution pour l'effacement des pointes de consommation (tarification élevée) [18]

III.3.4 RESIDU CARBONE

Le résidu carboné est un matériau relativement proche d'un charbon pauvre qui contient de 10 à 40% de carbone. Il peut être valorisé dans une chaudière classique pour la production de chaleur nécessaire au séchage des boues. Le résidu final est alors constitué de cendres volantes issues de la combustion du charbon. Le résidu carboné peut également être envoyé en centrale thermique ou en cimenterie pour une valorisation. [18]

II.4 VALORISATION AGRONOMIQUE

La valorisation des boues en agriculture par épandage direct ou après traitement spécial (compostage) est justifiée par la présence de matière organique et d'éléments fertilisants (azote, phosphore, potassium et calcium) dans ces boues. [18]

II.4.1 EPANDAGE

L'épandage des boues a pour principal but d'augmenter le rendement des cultures, elles ont la capacité de restituer au sol des éléments structurants et fertilisants pour améliorer les propriétés physiques et chimiques du sol. Les boues épandues peuvent être liquides, pâteuses, solides, sèches, selon le degré de plasticité qui présente le pourcentage massique de matière sèche dans la boue. L'apport de boues augmente :

- la compaction du sol, la stabilité, la perméabilité, la conductivité hydrique, la vitesse d'infiltration de l'eau, d'autres paramètres, tels que la capacité de rétention en eau, la conductivité électrique,
- De point de vue physique du sol, les boues interfèrent sur la production des
- espèces herbacées et diminuent, ainsi, le taux d'érosion. [18]

II.4.2 CONDITIONS GENERALES D'EPANDAGE

L'épandage de boues ne peut être pratiqué que si celle-ci respectent des règles telles que :

- Innocuité pour l'homme, les animaux, les cultures, les sols et l'eau,
- Il est interdit de pratiquer des épandages à titre de simple décharge,
- Les boues doivent subir un traitement approprié,
- L'exploitant doit établir à ses frais une étude préalable,
- Une solution alternative d'élimination ou valorisation doit être prévue,
- La mise en place d'un dispositif de surveillance de la qualité des boues,
- L'exploitant adresse au préfet une synthèse annuelle des résultats consignés sur le
- registre,
- Le préfet peut faire procéder à des contrôles inopinés des boues ou des sols,
- Des capacités d'entreposage doivent être prévues pour les périodes inappropriés à
- l'épandage.

Et pour ce qui concerne les Dispositions techniques d'épandage :

- Les épandages de boues doivent être adaptés aux caractéristiques des sols et aux
- besoins des plantes,
- Il ne faudra jamais dépasser les capacités d'absorption, ni de provoquer la stagnation prolongée, le ruissellement, ou une percolation rapide des sols.

L'épandage est interdit dans les cas suivants ;

- Périodes de gel, neige, forte pluviosité ;
- Terres irrégulièrement travaillées, prairies inexploitées ;
- Terrains en forte pente ;
- Sur le site d'anciennes carrières ;
- A l'aide de dispositifs d'aéradispersion produisant des brouillards fins ;

Des distances minimales doivent être respectées par rapport aux berges des cours d'eau, lieux de baignade, pisciculture, ainsi par rapport aux habitations et établissements publics (Tab.1)

Tableau II.1 : les conceptions et gestions des épandages sur différents types de terrain

Nature des activités à protéger	Distances d'isolement minimales	Domaine d'application
Puits, forages, sources, stockage pur AEP ou arrosage	35 m 100 m	Toute boue + pente terrain < 7% Toute boue + pente terrain > 7%
Cours et plans d'eau	35 m des berges 200 m des berges 100 m des berges 5 m des berges	Cas général Boues non stabilisées et pente > 7% Boues solides, stabilisées et pente > 7% Boues stabilisées, enfouies dans le sol et pente < 7%
Immeubles, établissement public	100 m	Cas général
Zones conchylicoles	500 m	Toutes boues

II.2.2 MODALITES PRATIQUES D'EPANDAGE

La nature, les caractéristiques et les quantités de boues épandues ainsi que leur utilisation doivent être telles que leur usage et leur manipulation ne portent pas atteinte, directe ou indirecte, à la santé de l'homme et des animaux, à l'état phytosanitaire des cultures, à la qualité des sols et des milieux aquatiques.

- L'épandage de boues ne peut être pratiqué que si celles-ci présentent un intérêt pour les sols
- ou pour la nutrition des cultures et des plantations. Il est interdit de pratiquer des épandages à titre de simple décharge.
- Les épandages sur les sols doivent être conformes aux mesures arrêtées par les préfets dans les zones vulnérables.
- Les épandages de boues, effectués sur les parcelles cultivées ou destinées à la culture, doivent être adaptés aux caractéristiques des sols et aux besoins nutritionnels des plantes.

La Norme d'utilisation des boues (NF U 44-095) rendu d'application obligatoire le 18 mars 2004 est une première d'une série de projets de normes sur les matières fertilisantes contenant des boues (Tab 2 et 3). [18]

Tableau II.2 : Teneurs limites en éléments-traces dans les boues

Eléments Traces Métalliques	Valeur limite dans les boues (mg/kg MS)
Cadmium	20
Chrome	1.000
Cuivre	1.000
Mercure	10
Nickel	200
Plomb	800
Zinc	3.000
Chrome+cuivre+nickel+ zinc	4.000

Tableau II.3: Teneurs limites en composés-traces organiques dans les boues

Composés Traces Organiques	Valeur limite dans les boues (mg/kg MS)		Flux maximum cumulé apporté par les boues en 10 ans (mg/m ²)	
	Cas général	Epandage sur pâturages	Cas général	Epandage sur pâturages
Les 7 principaux PCB	0,8	0,8	1,2	1,2
Fluoranthène	5	4	7,5	6
Benzo(b)fluoranthène	2,5	2,5	4	4
Benzo(a)fluoranthène	2	1,5	3	2

II.2.3 ANALYSES DES BOUES DE LA STEP

Les tableaux suivants résument les résultats d'un échantillon d'analyses faites sur les boues déshydratées de la STEP (Tab. 8 et 9). [18]

Tableau II.4 : Résultats des analyses de valeur agronomique en (g/kg) de la STEP

	Echantillon du 25/02/2010		Echantillon du 15/03/2010	
	sur brut	sur sec	Sur brut	Sur sec
Matière sèche (MS)	314	-	306	-
PH (à 25 °C)	8,3	-	8,2	-
Azote (N)	10,34	32,93	10,36	33,86
N-NH4	1,319	4,201	1,475	4,82
C/N	7,6		7,7	
Phosphore (P2O3)	7,43	23,56	7,83	25,59
Calcium (CaO)	29,05	92,52	29,74	97,2
Magnésium (MgO)	4,43	14,1	4,34	14,18
Potassium (K2O)	1,05	3,35	1,01	3,31

Les analyses montrent que ces boues sont relativement alcalines, très riches en matière organique. Et ils sont très riches en Phosphore total et en Azote. Vis-à-vis des normes, ces boues d'épuration ont un réel intérêt agronomique pour les sols et les plantes, notamment pour l'azote et le phosphore et aussi pour le calcium (Tab.4)

Tableau II.5 : Résultats des analyses des éléments de traces métalliques de la STEP

Eléments Traces Métalliques	Echantillon 15/05/2012	Echantillon 15/03/2010	Valeur limite dans les boues (mg/kg)
	Boues déshydratées (mg/kg)	Boues déshydratée (mg/kg)	
Cadmium	1.14	2,03	10
Chrome	2613.89	269,76	100 0
Cuivre	165.17	186,76	100 0
Plomb	311.57	175,89	800
Zinc	854.09	723,32	300 0
Chrome+cuivre +zinc	3633.15	1357,76	400 0

Les analyses des éléments traces métalliques montrent que les teneurs de Cadmium, Zinc, Cuivre et le Plomb dans la boue ne dépassent pas les valeurs limites considérées comme seuil de tolérance dans les sols. Le chrome par contre dépasse deux fois les limites tolérées à cause des eaux issues des unités industrielles (Tab.5). Ces teneurs élevées en chrome rencontrées dans les boues ne favorisent pas leur utilisation en tant que fertilisants car il peut devenir l'un des contaminants alimentaires pouvant affecter la santé de l'Homme. [18]

II.3 COMPOSTAGE

Le compostage est un processus de décomposition et de transformation de matières organiques présentes dans les boues sous l'action de populations microbiennes diversifiées évoluant en milieu aérobie. [18]

Grâce à ses caractéristiques chimiques, le compost peut assurer en même temps la fertilité et l'équilibre du sol. Il combat efficacement l'érosion et le lessivage des éléments fertilisants en reconstituant la structure de la terre grâce à sa composition riche en humus qui lui confère à la fois la fonction d'amendement organique et d'engrais minéral. [18]

II.3.1 LES DIFFERENTES ETAPES DE PRODUCTION D'UN COMPOST

Dans un premier temps, les boues, sources d'azote, sont mélangées avec des coproduits, sources de carbone comme par exemple les déchets verts, les écorces, de la sciure, etc. Chaque lot de boues est analysé avant d'être mélangé pour vérifier sa conformité réglementaire à un usage agricole. [18]

Dans un deuxième temps, il s'agit d'aérer le mélange de manière à favoriser le développement de champignons et bactéries qui vont dégrader la matière organique.

L'aération est assurée soit par aspiration de l'air au travers du mélange, soit par retournement, soit par les deux simultanément. [18]

La montée en température au sein du mélange témoigne de l'activité biologique intense qui s'y déroule. Ainsi la température peut atteindre 70 à 80 °C pendant une quinzaine de jours, au cours de la phase de fermentation. Elle favorise l'hygiénisation du compost et assure la perte d'eau par évaporation. [18]

Le compost est ensuite stabilisé au cours de la phase de maturation, qui peut durer plusieurs mois. Enfin, il peut être criblé pour éliminer les particules les plus grossières. Le compost est analysé pour caractériser sa valeur agronomique et vérifier sa conformité réglementaire à un usage agricole. [18]

II.3.2 PARAMETRES DU COMPOSTAGE

Les conditions de bon développement des activités microbiologiques doivent être optimisées et leur suivi est indispensable pour évaluer la bonne conduite du compostage et l'obtention d'un produit final de bonne qualité (humus). [18]

La composition chimique du substrat à composter doit avoir :

- Un rapport carbone sur azote C/N en début de compostage qui se situe dans
- l'intervalle 20 à 30. Un rapport élevé lié à une teneur faible en azote conduit à un
- ralentissement de l'activité ou de la croissance des populations microbiennes.
- Le pH est un paramètre qui intervient essentiellement par son rôle sélectif sur la
- microflore responsable de la décomposition des déchets initiaux. Le pH optimal est de 5,5 à 8.

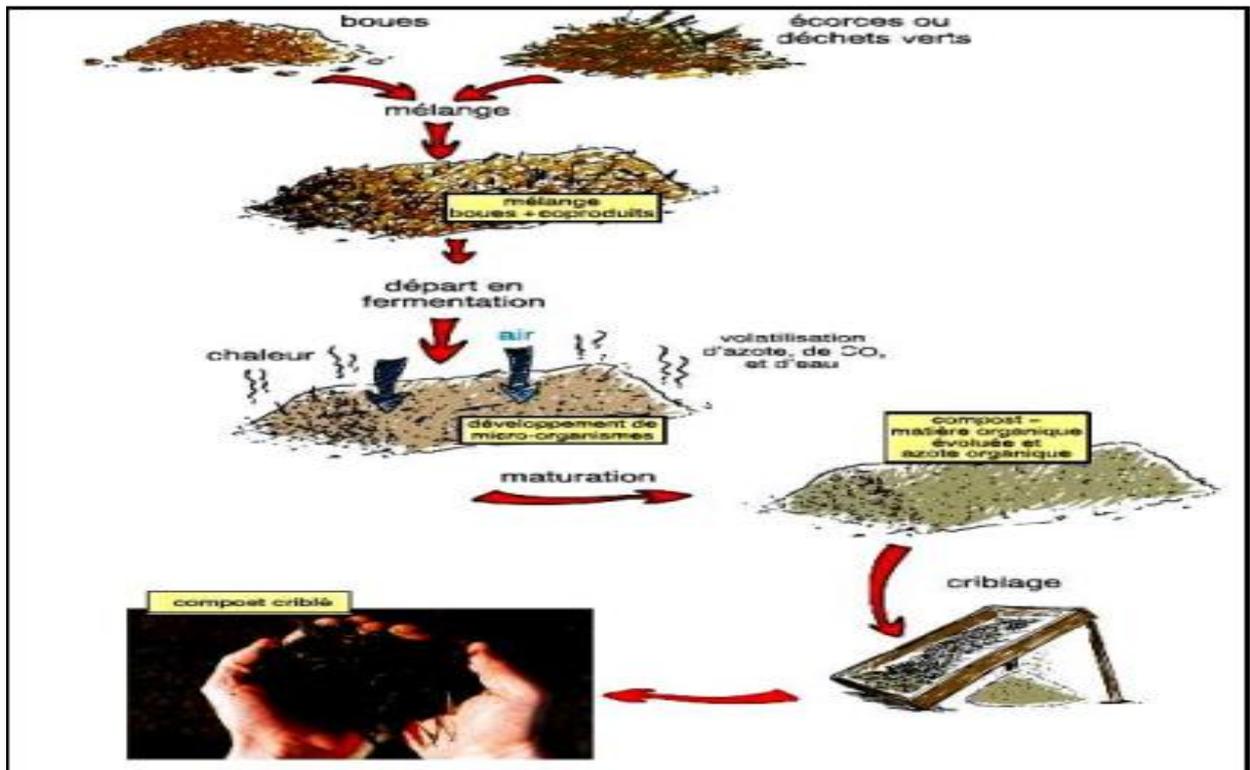


Figure II.4 : les différentes étapes de production d'un compost

Critères microbiologiques et enzymatiques :

- L'oxygène est aussi un paramètre important car il intervient au niveau de la respiration des microorganismes et des réactions d'oxydation. Le taux d'oxygène est directement lié au :
 - Pourcentage d'espaces lacunaires (porosité ou vides) dans les matières à composter,
 - la granulométrie des particules, car une granulométrie trop fine, provoque un «étouffement », mais si elle est trop grossière elle provoque un dessèchement dû à des circulations d'air importantes,
 - l'humidité du compost, sachant qu'une teneur en eau trop faible limite le développement microbien, et dans le cas d'une humidité trop élevée, l'eau sature

- les espaces lacunaires et étouffe les microorganismes.

Récapitulatif des différents critères de stabilité et de maturité d'un compost (Tab.6)

Tableau II.6 : Récapitulatif des différents critères de stabilité et de maturité d'un compost

Critères physiques	Odeur, couleur, aspect (terreau homogène), absence de reste végétal ou autres débris non bien décomposés), température.
Critères chimiques	Rapport C/N, capacité d'échange cationique CEC, NO₃, NO₂ rapport NO₃/NO₄, pH, analyse des substances facilement biodégradables (sucres, acides aminés, phénols etc) et des fibres.
Critères microbiologiques et Enzymatiques	Activité de phosphatase alcaline, indicateurs des microorganismes : phospholipides, mesure de biomasse, métabolisme latent évalué par le taux respiratoire et la capacité d'auto-chauffage.

II.3.3 AVANTAGES DU COMPOST DE BOUES

Composter les boues de station d'épuration est une technique qui se développe aujourd'hui, dans la perspective de pérenniser le recyclage des boues. Les motivations sont autant réglementaires et pratiques que sociales. [18]

Les bonnes raisons de composter les boues sont énumérées ci-dessous :

- 1) Le compost de boues est un produit stabilisé, qui ne génère pas d'odeurs lors des chantiers d'épandage,
- 2) Le compost de boues est un produit hygiénisé, du fait de la montée en température au cours du procédé de fabrication (quasi absence de germes pathogènes),

- 3) Le compost de boues est un fertilisant et un amendement,
- 4) Les calendriers d'interdiction d'épandage sont réglementairement moins contraignants que pour les boues brutes dont le compost est issu,
- 5) Le compostage permet de traiter simultanément boues et déchets verts des communes,
- 6) Le compostage diminue les volumes de produit à stocker puis à épandre,
- 7) Le compost de boues est un produit facile à manipuler, car déshydraté et homogène,
- 8) Le recyclage agricole de compost de boues est mieux accepté par les concitoyens.

En ce qui concerne la STEP, une expérience de compostage est menée actuellement pour la fertilisation des espaces verts. [18]

II.4 L'INCINERATION

Elle réalise la destruction de la matière organique des déchets par combustion à haute température (+ de 500 °C) produisant des fumées et des matières minérales résiduelles nommées cendres. Dans l'objectif d'une valorisation énergétique des déchets, la chaleur produite est récupérée sous forme de vapeur ou d'électricité pour le fonctionnement du four lui-même, pour le chauffage urbain ou industriel. Les résidus de l'incinération (Mâchefer) sont utilisables pour les travaux publics. [18]

Les boues peuvent être incinérées sous diverses formes :

1) Co-incinération avec les ordures: La Co incinération peut s'effectuer avec des boues séchées (60 à 90 % de siccité) ou avec des boues pâteuses (20 – 25 % de siccité),

2) Incinération spécifique : les boues à 20 – 30 % de siccité sont brûlées seules ou en mélange avec des graisses. A cette siccité, les boues ne sont généralement pas autocombustibles. Il ne s'agit donc pas d'une valorisation énergétique. L'incinération spécifique est caractérisée par la réduction maximale du volume et de la masse des boues, par suite de la transformation des matières organiques par combustion en H₂O, CO₂, SO₂. Cette incinération est réservée à des stations de grande capacité (> 100000 EH). [18]

II.5 SECHAGE

Le séchage est un des procédés de traitement des boues qui consiste à éliminer une grande partie ou en totalité l'eau par évaporation. Cette élimination d'eau se fait soit par voie solaire ou thermique. [18]

II.5.1 SECHAGE SOLAIRE

Le séchage est l'opération ayant pour but d'éliminer partiellement ou totalement l'eau d'un corps humide par évaporation de cette eau. Le corps humide mis en jeu peut être solide ou liquide, mais le produit final est solide. Dans le cas des boues de STEP le séchage solaire est un traitement qui vise à augmenter la siccité des boues grâce à l'énergie émise par les rayonnements solaires. [18]

I.5.2 LE PRINCIPE DE SECHAGE DES BOUES PAR EFFET DE SERRE

Le séchage solaire consiste à mettre en contact, sous une serre, un air régulièrement renouvelé et une boue répartie sur une dalle en béton et remuée mécaniquement. Entre l'entrée et la sortie de la serre, l'air se charge de vapeur d'eau, aux dépens de la boue qui s'assèche. Un système de ventilation assure le renouvellement de l'air dans le but d'évacuer la vapeur d'eau s'échappant de la boue. La quantité d'eau évaporée dépend toutefois des caractéristiques de l'air et de celles de la boue. Les étapes de séchage des boues dans la serre sont les suivantes :

1^{ère} phase : Réchauffement de la boue Les boues fraîches introduites dans la serre se réchauffent jusqu'à atteindre la température ambiante de la serre, cette température est supérieure à celle de l'extérieur en raison de l'activité biologique et l'effet de serre. Cette période est généralement très courte par rapport au temps total de séchage. [18]

2^{ème} phase : Régime superficielle

Le séchage s'effectue par évaporation de l'eau disponible en surface. Cette phase perdure tant que la surface est alimentée de manière suffisante en eau venant de l'intérieur des boues. [18]

3^{ème} phase : Ralentissement

Cette phase commence quand les boues atteignent leur seuil d'hygroscopicité, c'est-à-dire que l'eau restante dans les boues ne peut plus remonter en surface. [18]

I.5.3 LES DIFFERENTS TYPES DE SERRES

I.5.3.1 LES SERRES OUVERTES

La serre ouverte est équipée d'ouvertures en partie basse et en partie haute afin de favoriser la convection naturelle c'est-à-dire ventilation naturelle (non contrôlée). Le taux

derenouvellement de l'air dans la serre n'est pas maîtrisé car seule l'action sur l'ouvrant entoiture permet d'accentuer ou de réduire le débit de ventilation dans la serre. (Amadou, 2007)(fig.5)

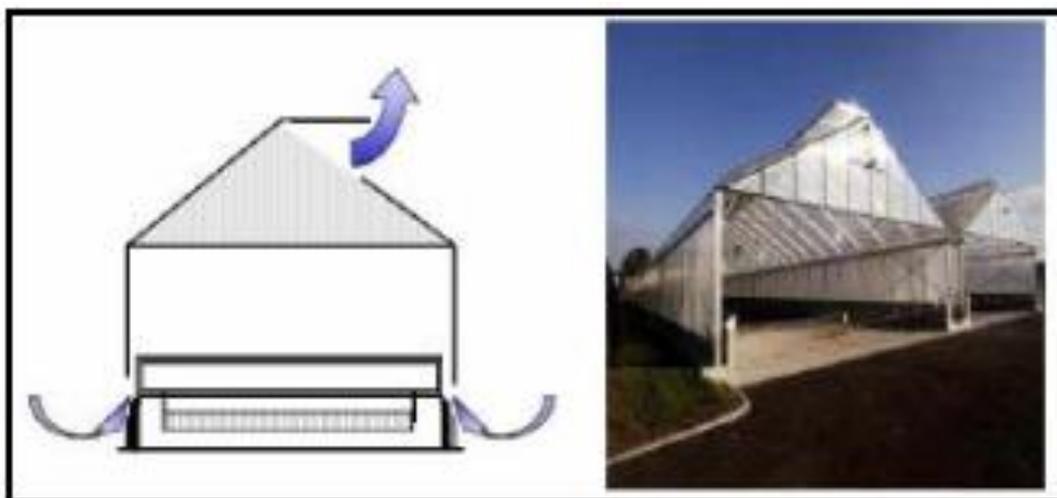


Figure II. 5. Serre ouverte

La technique de séchage au niveau des serres ouvertes présente des avantages et inconvénients recensés dans le tableau ci-dessous (Tab. 7).

Tableau II.7: Les avantages et les inconvénients d'une serre ouverte (Brison et al, 2010)

Avantages	Inconvénients
Limitation des dépenses énergétiques, si la ventilation est suffisante, la dilution des odeurs dans l'atmosphère reste constante, conception simple.	Températures intérieures plus basses que dans une serre fermée, performances de séchage sur l'année moindres et aléatoires.

II.5.3.2. LES SERRES FERMEES

La serre fermée comporte des vantelles (de dimensions précises) sur les parois latérales ou sur un pignon, et des extracteurs pour la sortie d'air sur le pignon opposé (Amadou, 2007)(Fig. 6)

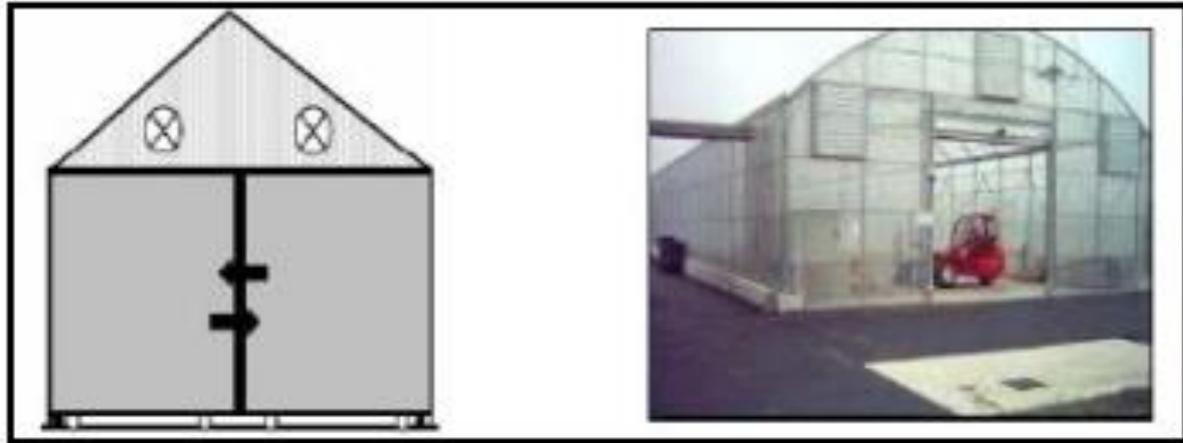


Figure II.6 : Serre fermée

La technique de séchage au niveau des serres fermées présente un avantage et un inconvénient (Tab. 8)

Tableau II.8 : L'avantage et l'inconvénient d'une serre ouverte (Brison et al, 2010)

Avantage	Inconvénient
maîtrise de la ventilation donc du taux de Renouvellement	consommation énergétique plus importante

I.5.2 SECHAGE THERMIQUE

Il repose sur deux méthodes : directe et indirecte. Le séchage direct consiste en une évaporation des boues par convection, via un fluide caloporteur. Le séchage indirect repose quant à lui en un échange de chaleur par conduction, via une paroi chauffée par un fluide caloporteur. En sortie, les boues se présentent sous forme de poudres ou de granulés, avec un taux de siccité pouvant atteindre 90 à 95 %. Ces deux procédés sont très énergivores ; ils représentent un poste sur lequel il est possible de réduire l'empreinte environnementale de la filière boue, par exemple en mettant en place des boucles de récupération d'énergie. [18]

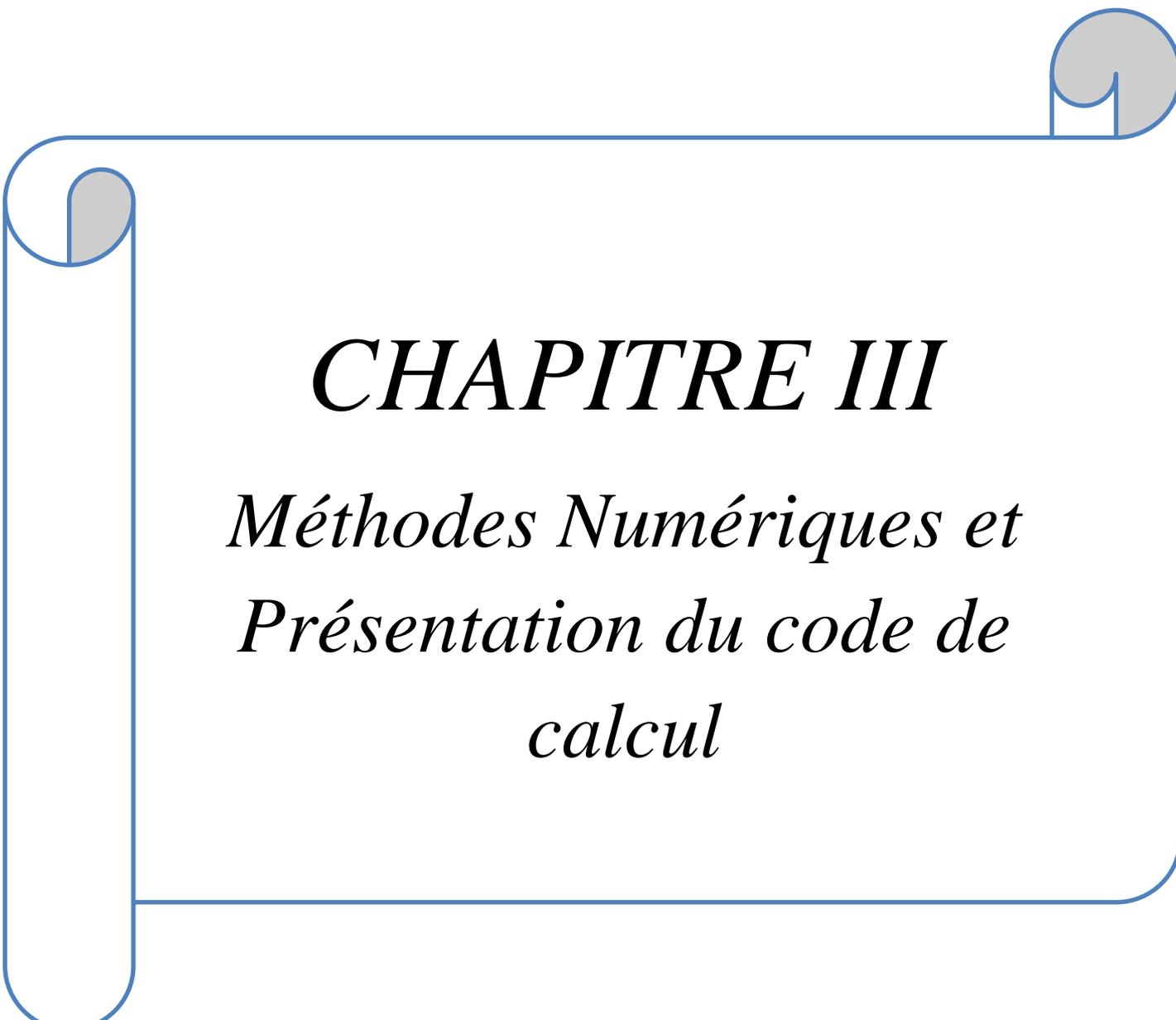
L'apport d'énergie thermique peut se faire de trois façons :

Séchage par conduction : l'énergie thermique nécessaire au chauffage est apportée par contact avec une paroi chauffée; les vapeurs dégagées par le produit durant le séchage sont aspirées ou entraînées par un gaz de balayage. Séchage par convection : il consiste à mettre en contact un gaz chaud et le produit. Séchage par rayonnement : l'énergie est apportée au produit à sécher par des

ondes électromagnétiques. Les rayonnements utilisés en séchage sont les infrarouges ou les microondes. [18]

II.6 CONCLUSION

Il existe donc une grande variété de techniques permettant une valorisation énergétique des boues de stations d'épuration. Certaines sont très largement utilisées, alors que d'autres restent ponctuelles et ne bénéficient pas encore suffisamment de retour d'expérience. Néanmoins, toutes ces techniques ont en commun l'avantage de contribuer à la réduction de l'utilisation d'énergie fossile, de fournir un débouché pour la gestion des boues de STEP et la production d'énergie.

A decorative border resembling a scroll, with a blue outline and grey shaded areas at the top corners where the scroll would be rolled up.

CHAPITRE III

*Méthodes Numériques et
Présentation du code de
calcul*

Chapitre III

Méthodes Numériques et Présentation du code de calcul

III.1. INTRODUCTION

Dans ce travail nous allons faire une analyse numérique de l'écoulement d'eau usée en 2D à travers une contraction brusque. A cet effet nous avons utilisé les équations de Navier-Stokes, et les équations de conservation de la masse et de l'énergie.

La conception et le maillage est avec GAMBIT tandis que la résolution et l'analyse est faite sous le solveur FLUENT, qui est basé sur la méthode des volumes finis, et qui permet la résolution des équations qui régissent les écoulements .

III.2. METHODES NUMERIQUES

III.2.1. METHODES PRINCIPALES DE DISCRETISATION

Le passage d'un problème aux dérivées partielles continu à un problème discret s'appuie sur les méthodes classiques d'analyse numérique. On distingue quatre grandes méthodes pour formuler un problème continu sous forme discrète, la méthode des différences finies, des éléments finis et des volumes finis. La méthode utilisée par le code "FLUENT" est celle des volumes finis.

III.2.1.1. DIFFERENCES FINIE

Le domaine de calcul est discrétisé en un nombre fini de points sur lesquels on approche les opérateurs de dérivation des équations modèles par des développements en séries de Taylor tronquées à l'ordre de précision choisie.

III.2.1.2. ELEMENTS FINIS

Le principe fondamental de la méthode des éléments finis réside dans le découpage du domaine d'étude en domaines élémentaires de dimension finie. Sur chacun de ces domaines, appelés éléments finis, la fonction inconnue est approchée par un polynôme dont le degré peut varier d'une application à l'autre mais reste en général faible. Ces éléments, triangles ou quadrilatères, rectilignes ou curvilignes, doivent réaliser une partition du domaine d'étude (ils sont disjoints et leur union recouvre le domaine tout entier). Cette partition qui est généralement appelée découpage ou discrétisation du domaine doit respecter un certain nombre de règles qui permettent d'assurer un bon déroulement du calcul.

III.2.1.3. VOLUMES FINIS

La méthode a été décrite pour la première fois en 1971 par **Patankar** et **Spalding** et publiée en 1980 par **Patankar** (Numerical Heat Transfer and Fluid Flow).

La méthode des volumes finis est une technique de discrétisation qui convertit les équations de conservation aux dérivées partielles en équations algébriques qui peuvent être résolues numériquement. La technique des volumes de contrôle consiste dans l'intégration des équations aux dérivées partielles sur chaque volume de contrôle pour obtenir les équations discrétisées qui conservent toutes les grandeurs physiques sur un volume de contrôle (VC).

Les différentes étapes de la méthode des volumes finis sont :

- La discrétisation du domaine considéré en volume de contrôle.
- L'intégration des équations différentielles aux dérivées partielles.
- Écriture des équations algébriques aux nœuds du maillage.
- Résolution du système algébrique linéaire obtenu.

III.2.1.4 Méthodes spectrales

- L'inconnue est approchée par des séries Fourier tronquées ou par des séries de polynômes Tchebychev. Par rapport aux méthodes des différences finies et des éléments finis.
- l'approximation n'est pas locale mais elle est valide sur tout le domaine de calcul. On utilise également le concept du résidu pondéré comme dans la méthode des éléments finis où en imposant que l'approximation doive correspondre à la solution exacte pour les points du maillage.

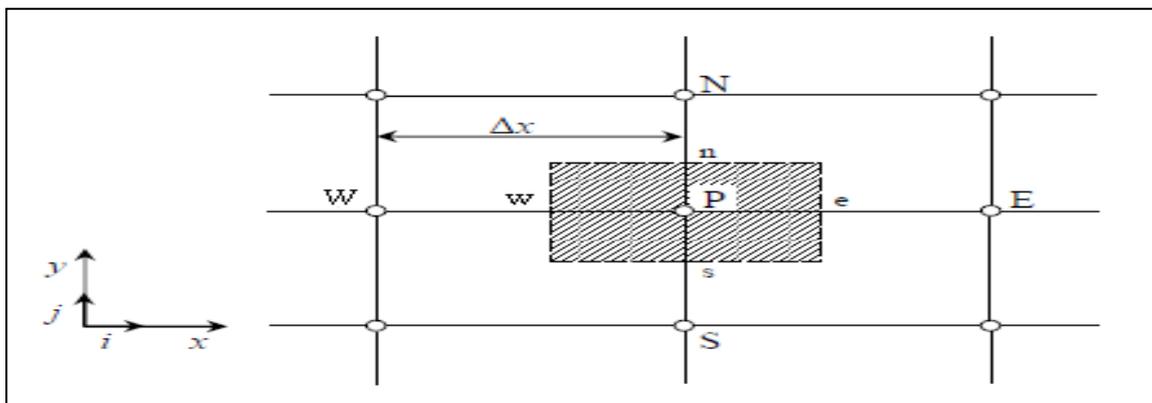


Figure III.1: Volume de contrôle bidimensionnel

Le volume de contrôle est montré par la Figure III.1, Pour un nœud principal P, les points E et W (Est et Ouest) sont des voisins dans la direction x, tandis que N et S (Nord et Sud) sont ceux dans la direction y. Le volume de contrôle entourant P est montré par les lignes discontinues. Les faces du volume de contrôle sont localisées aux point(e) et w dans la direction x, n et s dans la direction y. [44]

Le principe de discrétisation peut être illustré en considérant l'équation de transport pour une grandeur et vectorielle :

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho\phi) + \sum_{j=1}^n \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j \phi) = \sum_{j=1}^n \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma \phi \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right) + S_\phi \quad (III.1)$$

Avec :

T: Terme transitoire ;

C: Terme convectif;

D: Terme de diffusion ;

S: Terme source.

Nous venons de voir que, pour chaque variable ϕ , l'équation de transport s'écrit dans le cas stationnaire bidimensionnel [44]:

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u \phi) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v \phi) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + S_{\phi} \quad (\text{III.2})$$

Où ϕ est la propriété transportée, Γ indique le coefficient de diffusion et S_{ϕ} le terme source.

La discrétisation doit se faire au nœud P, ce qui donnera [33]:

$$\text{div}(\Gamma \text{grad} \phi) + S_{\phi} = 0 \quad (\text{III.3})$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + S_{\phi} = 0 \quad (\text{III.4})$$

$$\int_{\Delta V} \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) dV + \int_{\Delta V} \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) dV + \int_{\Delta V} S dV = 0 \quad (\text{III.5})$$

$$\int_w^e \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) dx dy + \int_s^n \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) dx dy + \bar{S}_{\phi} \Delta x \Delta y = 0 \quad (\text{III.6})$$

$$\int_w^e \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) dx dy + \int_s^n \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) dx dy + \bar{S}_\varphi \Delta x \Delta y = 0 \quad (\text{III.7})$$

$$\int_w^e \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma A_y \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) dx + \int_s^n \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma A_x \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) dy + \bar{S}_\varphi \Delta x \Delta y = 0 \quad (\text{III.8})$$

$$\left[\Gamma_e A_e \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)_e - \Gamma_w A_w \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)_w \right] + \left[\Gamma_n A_n \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y} \right)_n - \Gamma_s A_s \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y} \right)_s \right] + \bar{S}_\varphi \Delta x \Delta y = 0 \quad (\text{III.9})$$

Les quantités à e, w, n et s des faces de contrôle sont évaluées en fonction des valeurs des nœuds au milieu des volumes de contrôle. Donc il faut considérer une variation linéaire des variables d'un nœud à un autre pour assurer la continuité du phénomène physique ce qui est plus réaliste. C'est une approximation linéaire. [45]

Pour une grille uniforme on aura :

$$\begin{aligned} \Gamma_w &= \frac{\Gamma_w + \Gamma_p}{2}, & \Gamma_n &= \frac{\Gamma_n + \Gamma_p}{2} \\ \Gamma_e &= \frac{\Gamma_p + \Gamma_E}{2}, & \Gamma_s &= \frac{\Gamma_p + \Gamma_s}{2} \end{aligned} \quad (\text{III.10})$$

Ce qui donnera par le flux de diffusion :

$$\begin{aligned} \Gamma_e A_e \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)_e &= \Gamma_e A_e \left(\frac{\varphi_E - \varphi_P}{\Delta x_{PE}} \right), & \Gamma_n A_n \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y} \right)_n &= \Gamma_n A_n \left(\frac{\varphi_N - \varphi_P}{\Delta y_{PN}} \right) \\ \Gamma_w A_w \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)_w &= \Gamma_w A_w \left(\frac{\varphi_P - \varphi_W}{\Delta x_{WP}} \right), & \Gamma_s A_s \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y} \right)_s &= \Gamma_s A_s \left(\frac{\varphi_P - \varphi_S}{\Delta x_{SP}} \right) \end{aligned} \quad (\text{III.11})$$

En remplaçant les termes, on obtient :

$$\begin{aligned} & \Gamma_e A_e \left(\frac{\phi_E - \phi_P}{\delta x_{PE}} \right) - \Gamma_w A_w \left(\frac{\phi_P - \phi_W}{\delta x_{WP}} \right) + \Gamma_n A_n \left(\frac{\phi_N - \phi_P}{\delta y_{PN}} \right) \\ & - \Gamma_s A_s \left(\frac{\phi_P - \phi_S}{\delta x_{SP}} \right) + \bar{S}_\phi \Delta x \Delta y = 0 \end{aligned} \quad (\text{III.12})$$

\bar{S}_ϕ est la valeur moyenne du terme source sur le volume de contrôle, Quand le terme source dépend de la variable dépendante. Cette dépendance doit être exprimée par une relation linéaire, ceci permettra d'utiliser les méthodes de résolution des systèmes linéaires.

La linéarisation est l'évolution de la valeur moyenne \bar{S}_ϕ qui peut être fonction de la variable dépendante, leur valeur est donc calculée à chaque itération à partir des nouvelles des variables dépendantes. [44]

Le terme source sera linéarisé de façon à forcer la convergence, de sorte que :

$$\bar{S} \Delta V = S_u + S_p \phi_P \quad (\text{III.13})$$

Où S_u est la partie constante qui ne dépend pas explicitement de S_p , S_p est la pente de ϕ_P .

Il est nécessaire que le coefficient S_p soit inférieur à zéro pour que la solution soit numériquement stable et que la convergence soit plus rapide. [44]

En arrangeant les termes on obtient :

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\Gamma_w A_w}{\delta x_{WP}} + \frac{\Gamma_e A_e}{\delta x_{PE}} + \frac{\Gamma_s A_s}{\delta y_{SP}} + \frac{\Gamma_n A_n}{\delta y_{PN}} \right) \phi_P = \left(\frac{\Gamma_w A_w}{\delta x_{WP}} \right) \phi_W + \\ & \left(\frac{\Gamma_e A_e}{\delta x_{PE}} \right) \phi_E + \left(\frac{\Gamma_s A_s}{\delta y_{SP}} \right) \phi_S + \left(\frac{\Gamma_n A_n}{\delta y_{PN}} \right) \phi_N + S_u \end{aligned} \quad (\text{III.14})$$

Cette équation est sous la forme :

$$\begin{aligned} a_P \phi_P &= a_W \phi_W + a_E \phi_E + a_S \phi_S + a_N \phi_N + S_u \\ a_P &= a_W + a_E + a_S + a_N - S_P \end{aligned} \quad (\text{III.15})$$

Avec :

$$\begin{aligned} A_W &= \frac{\Gamma_w A_w}{\delta x_{WP}}, & A_E &= \frac{\Gamma_e A_e}{\delta x_{PE}}, \\ A_S &= \frac{\Gamma_s A_s}{\delta y_{SP}}, & A_N &= \frac{\Gamma_n A_n}{\delta y_{PN}} \end{aligned}$$

L'équation est appliquée pour chaque nœud du domaine de calcul. Pour le domaine adjacent au domaine limite, l'équation est modifiée pour incorporer les conditions aux limites.

Le système d'équations algébriques linéaire résultant est résolu pour obtenir la distribution de la propriété ϕ à tous les points. [45].

III.2.2. LES DIFFERENTES ETAPES DE LA MISE EN ŒUVRE

- Le domaine de calcul est discrétisé en un nombre fini de points (les nœuds du maillage), autour desquels on définit des volumes élémentaires (appelés volumes de contrôle) contigus, non juxtaposés et sans discontinuités aux interfaces ;
- Les équations modèles, sous forme conservative, sont intégrées sur chaque volume de contrôle (VC) ;
- Les intégrales sur un volume de contrôle en un nœud donné sont évaluées en approchant la variation par des profils ou des lois d'interpolation entre les nœuds voisins du point considéré ;
- Écriture des équations algébriques en fonction des valeurs aux nœuds du maillage ;
- Résolution du système algébrique linéaire obtenu. [45].

III.2.3. PRINCIPES DES CODES CFD

Les logiciels de simulation numérique des écoulements basés sur la méthode des volumes finis peuvent maintenant être considérés comme de véritables « expériences numériques », lorsqu'elles sont faites avec soin. L'avantage des « méthodes numériques » est que toutes les quantités physiques liées à l'écoulement (champ de vitesse, champ de pression, contraintes etc.), sont immédiatement disponibles en tout point de l'écoulement.

Dans une expérimentation, l'obtention de ces quantités physiques en tout point du champ est souvent impossible ou très difficile en pratique. Les méthodes CFD (Computational Fluid Dynamics) ont l'avantage de mettre en œuvre les équations générales de la mécanique des fluides avec un minimum des hypothèses. Elles résolvent notamment les équations non-linéaires instationnaire et compressibles. La discrétisation des équations de Navier-Stokes et de conservation de la masse est faite sur des éléments quadrilatéraux ou triangulaires, réguliers ou non selon la complexité de la géométrie.

Le premier travail à accomplir dans la réalisation d'une simulation numérique est la définition d'un maillage adapté à la nature de l'écoulement. En particulier, le maillage doit être fin dans les zones où l'on atteint des gradients physiques très importants.

Les équations régissant l'écoulement sont résumées dans le tableau qui suit:

Tableau III.1 : Récapitulatif des équations régissant l'écoulement

Conservation de la masse	$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \cdot \vec{V}) = 0$
Quantité de mouvement (Navier-stokes)	$\frac{D}{Dt}(\rho \cdot \vec{V}) = \rho \vec{F} - \overrightarrow{\text{grad}}(p) + \eta \Delta \vec{V} + \frac{1}{3} \eta \overrightarrow{\text{grad}} \left[\text{div}(\vec{V}) \right]$
Energies	$\frac{D}{dt}(\rho c_p T) = \Delta(kT) + q + \beta T \frac{Dp}{Dt} + \eta \phi$

Avant d'entamer la résolution de ces équations, nous devons identifier le régime de l'écoulement laminaire ou turbulent dépendant à la valeur du nombre de Reynolds. [45]

Remarque : Dans ce travail nous avons trouvé que le Nombre de Reynolds est **32.4** (écoulement laminaire).

III.2.4. MODELES DE FERMETURE

Sont des équations qui viennent compléter les équations bilans. Dans notre cas, il s'agit de fermer le modèle global en modélisant le terme de viscosité turbulente et le terme de tensions de Reynolds.

"FLUENT" propose les choix suivants des modèles de la turbulence :

- Spalart-Allmaras model.
- $k - \varepsilon$ models.
- Standard $k - \varepsilon$ model.
- Renormalization-groupe (RNG) $k - \varepsilon$ model.
- Realizable $k - \varepsilon$ model.

- $k - \omega$ models.
- Standard $k - \varepsilon$ model.
- Shear-stress transport (SST) $k - \varepsilon$ model.
- $\nu^2 - f$ model.
- Reynolds stress model (RSM).
- Detachededdy simulation (DES) model.
- Large eddy simulation (LES) model [46].

Parmi ces modèle on trouve ($k - \varepsilon$) standard que nous allons l'utiliser dans notre simulation.

III.2.4.1. MODELE (K- ε) STANDARD

C'est un modèle à deux équations de transport pour deux paramètres de turbulence.

En utilisant l'analogie entre l'échange de quantité de mouvement par interaction moléculaire à l'échelle microscopique (contraintes visqueuses) et l'échange de quantité de mouvement par la turbulence à l'échelle macroscopique (contraintes de Reynolds).

L'idée du modèle k- c'est qu'on peut la construire à partir de ces quantités une « viscosité turbulente propre à l'écoulement », où la viscosité turbulente est donnée par la relation suivante :

$$V_t = C_\mu \left(\frac{k^2}{\varepsilon} \right) \quad (\text{III.16})$$

Avec :

$$\mu_t = \nu_t \rho$$

viscosité dynamique turbulente L'expérience montre que cette relation est bien vérifiée pour des écoulements à grand nombre de Reynolds à condition d'avoir une turbulence homogène.

C_μ : Coefficient sans dimension qui doit être évalué expérimentalement.

k : L'énergie cinétique de turbulence défini par :

$$k = \frac{1}{2} \overline{u_t'^2} = \frac{1}{2} \left(\overline{u_1'^2} + \overline{u_2'^2} + \overline{u_3'^2} \right) \quad (\text{III.17})$$

ε : Le taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulence donné par :

$$\varepsilon = \nu \left[\frac{\partial u_i'}{\partial x_j} \right]^2 \quad (\text{III.18})$$

Ce terme de dissipation qui apparaît dans l'équation de l'énergie cinétique turbulente reste à déterminer. L'échelle typique de longueur des grosses structures de la turbulence l'est déduite de :

$$\varepsilon = k^{3/2} / l \quad (\text{III.19})$$

III.2.4.1.1. MODELISATION DE L'EQUATION DE k

L'équation modélisée de l'énergie cinétique turbulente s'écrit sous la forme semi-empirique suivante:

$$\underbrace{\frac{\partial k}{\partial t} + U_j \frac{\partial k}{\partial x_j}}_{(1)} = \underbrace{V_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j}}_{(2)} + \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\frac{\nu}{\sigma_{k,l}} + \frac{V_t}{\sigma_{k,t}} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right)}_{(3)} - \underbrace{\varepsilon}_{(4)} \quad (\text{III.20})$$

Les termes de l'équation (III.20) sont dénommés comme suit :

- (1) représente le taux de variation de l'énergie cinétique turbulente.
- (2) représente le transport par diffusion de l'énergie cinétique
- (3) représente la production par cisaillement de l'énergie cinétique turbulente
- (4) représente la dissipation de l'énergie cinétique turbulente.

III.2.4.1.2. MODELISATION DE L'EQUATION DE \mathcal{E}

La forme modélisée de l'équation de transport du taux de dissipation de l'énergie cinétique s'exprime

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial x_j}}_{(1)} + \underbrace{u_j}_{(2)} \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial x_j} = C_{\epsilon 1} \frac{\mathcal{E}}{K} V_t \left(\frac{\partial \bar{u}_l}{\partial x_j} + \frac{\partial u_l}{\partial x_j} + \frac{\partial u_l}{\partial x_j} \right) \frac{\partial \bar{u}_l}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{V}{\sigma_{\epsilon}} + \frac{V_t}{\sigma_{\epsilon}} \right) \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial x_j} \right] - C_{\epsilon 2} \frac{\mathcal{E}^2}{K} \quad (III.21)$$

(1) (2) (3) (4)

Les termes (1, 2, 3 et 4) de l'équation (III. 21) sont :

- (1) représente le taux de variation des.
- (2) représente le taux de production (source) des.
- (3) représente le transport par diffusion de la dissipation de l'énergie turbulente.
- (4) représente la dissipation (puits) de S.

III.2.4.1.3. CONSTANTES STANDARDS DE MODELE (K- \mathcal{E})

Pour rendre le système d'équations opérationnel on adopte les constantes standards du modèle donné par **Lauder** et **Spalding** (1974). Elles sont réunies dans le tableau suivant :

Tableau III 2: Coefficients du modèle K- S standard

C_μ	$C_{\varepsilon 1}$	$C_{\varepsilon 2}$	δ_K	δ_ε
0.09	1.44	1.92	1.0	1.0

III.3. PRESENTATION DES LOGICIELS DE CALCUL

Gambit et Fluent sont des logiciels, sous licence commerciale, permettant de réaliser des Simulations 2D ou 3D en mécanique des fluides allant de la construction du maillage avec Gambit à la résolution des équations de Navier Stokes et au post-traitement avec Fluent. Largement répandus dans l'industrie, en raison de leur interface graphique puissante et de l'abondance de leurs options, ils permettent de réaliser des simulations sur tous types de géométries complexes (fixes ou mobiles) associées à des maillages fixes ou adaptatifs et avec des modèles physiques variés (diphasique, turbulent, etc....).

III.3.1. MAILLEUR GAMBIT

C'est un pré processeur intégré pour l'analyse en CFD, il est utilisé pour construire une géométrie et générer son maillage, il peut réaliser des maillages complexe en deux ou trois dimensions avec des maillages rectangle ou triangle.

Les options de génération de maillage de Gambit proposent une flexibilité de choix. On peut décomposer la géométrie en plusieurs parties pour générer un maillage structuré, sinon Gambit génère automatiquement un maillage non structuré adapté au type de géométrie construite. Les défauts sont détectés à l'aide de son interface comportant plusieurs fenêtres d'outils de création, génération, vérification du maillage du modèle étudié et l'incorporation des conditions aux limites.

III.3.2. LE PROCEDE DE CREATION DE LA GEOMETRIE PAR LE GAMBIT ET LA SIMULATION PAR LE FLUENT

L'organigramme de création de la géométrie, par le pré processeur Gambit, est présentée sur la (Figure III.2) :

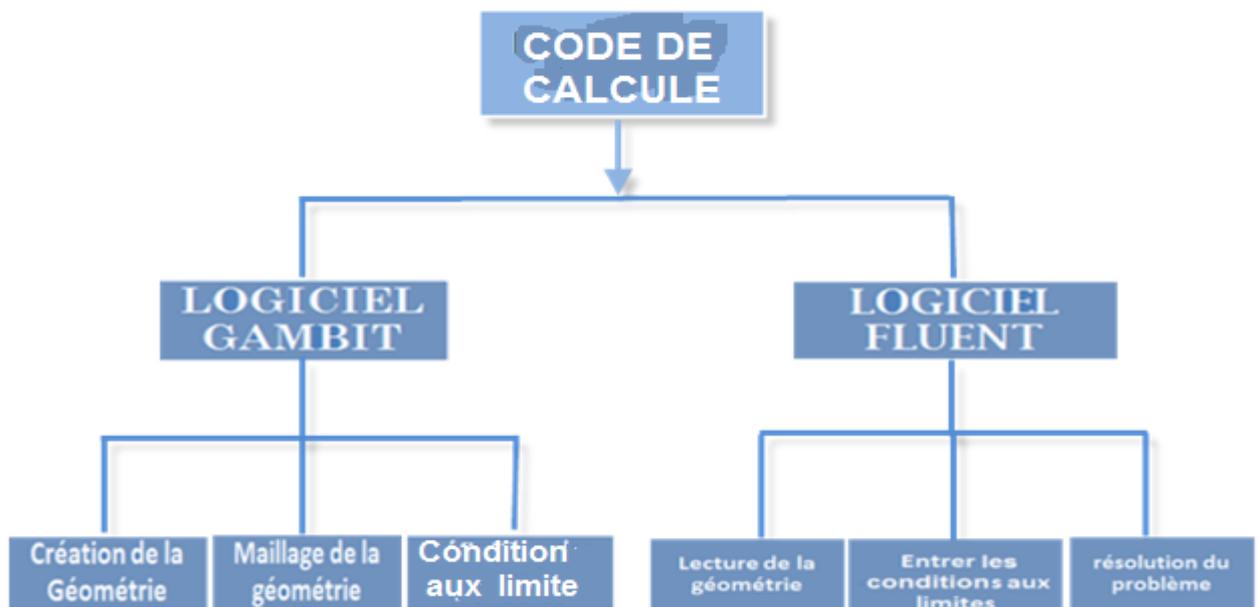
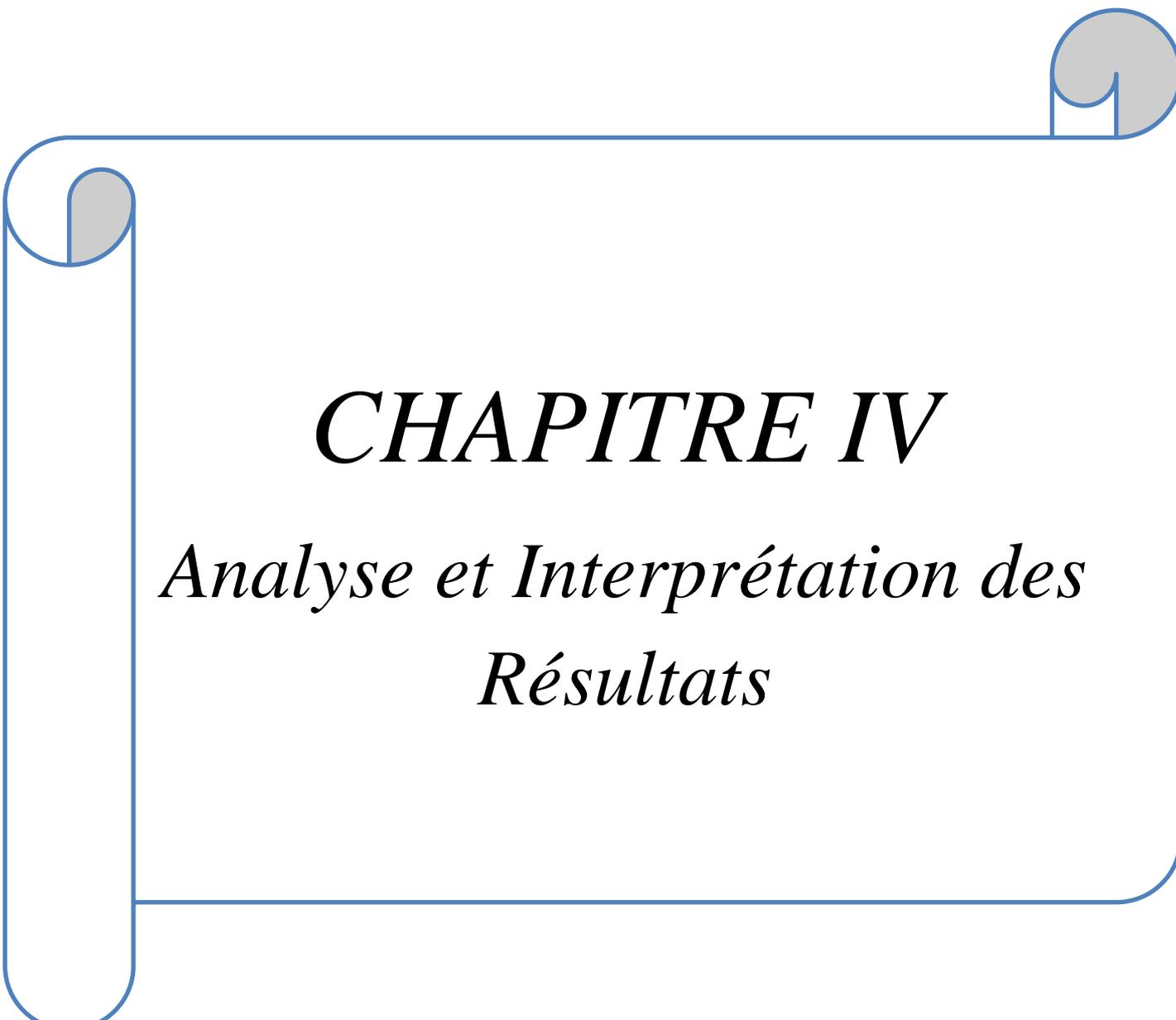


Figure III. 2 :Schémas des étapes à utiliser pour la simulation sous ces logiciels Gambit et Fluent. [44]

III.4 CONCLISION

L'utilisation des codes de calcul et la simulation sous Fluent reste un moyen économique et précis pour ce genres d'écoulements.

A decorative border resembling a scroll, with a blue outline and grey circular accents at the corners and along the left edge.

CHAPITRE IV

Analyse et Interprétation des Résultats

Chapitre IV

Analyse et Interprétation des Résultats

IV.1 INTRODUCTION

Ce chapitre, est une contribution à l'étude et l'analyse des paramètres physique de l'écoulement des eaux usées qui est un fluide non newtonien à travers une contraction brusque de rapport 4 :1 , et la confrontation des résultats obtenus avec les résultats expérimentaux réalisés sur une solution aqueuse de polyacrylamide (PAA), à une concentration de 0.2 % en masse et à une température de 20°C, employée comme un modèle de fluide non-newtonien.

IV.2 BANC D'ESSAI EXPERIMENTAL

La géométrie que nous avons choisie est présentée dans la figure (IV.1). Il s'agit une Conduite rectangulaire avec une contraction brusque.

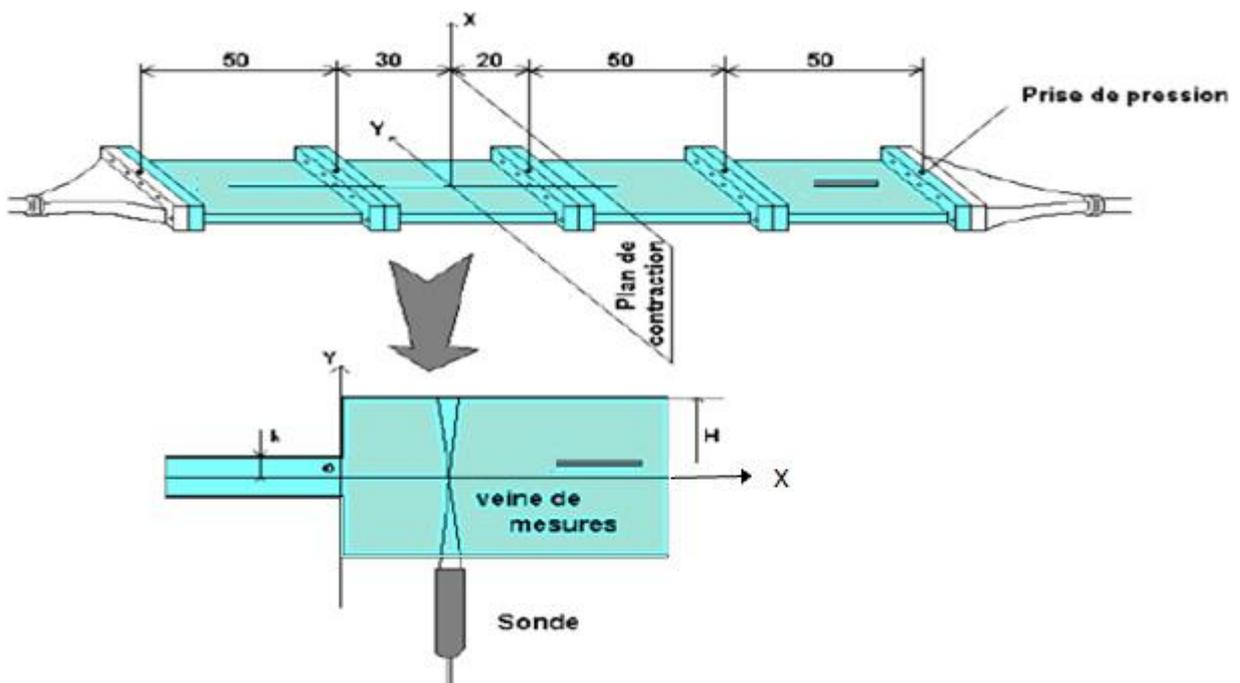


Figure IV.1: Schéma générale de l'installation

IV.2 .1DOMAINED'ETUDE(GEOMETRIE)

La géométrie que nous avons choisie est présentée dans la figure (IV.2). Il s'agit une Conduite rectangulaire avec une contraction brusque.

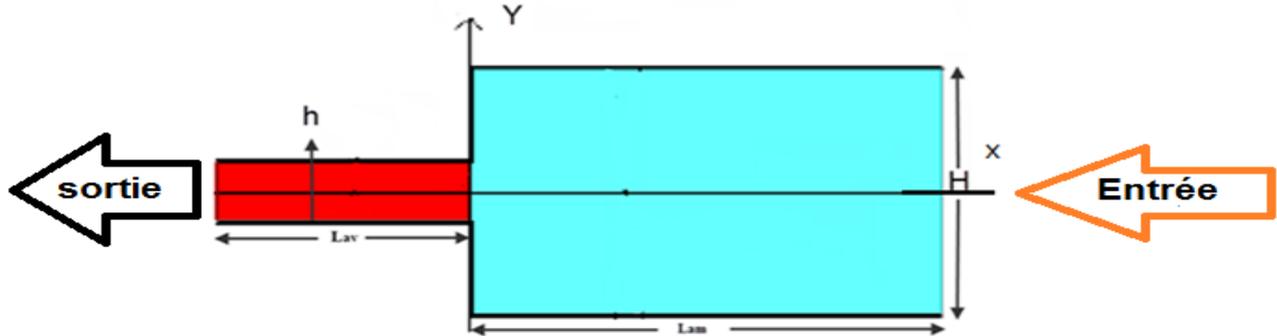


Figure IV.2: Schéma d'une Conduite rectangulaire avec une contraction brusque

Tableau IV. 1: Dimensions géométriques

Paramètres de la géométrie	symbole	Valeur (mm)
		géométrie
Longueur amont de la contraction	L_{am}	1200
Longueur aval de la contraction	L_{av}	800
hauteur aval	h	50
Hauteur amont	H	200
Diamètre hydraulique en amont	DH, am	36.4
Diamètre hydraulique en aval	DH, av	28.6

IV.3 PARAMETRES DE LA SIMULATION NUMERIQUE DE L'ÉCOULEMENT DANS LA CONDUITE ET FLUIDES UTILISES

Les fluides non-newtoniens utilisés dans cette analyse sont :

- Eau usée
- Une solution aqueuse de polyacrylamide (PAA), à une concentration de 0.2 % en masse et à une température de 20°C[06],

IV.4 ETAPE DE SIMULATION

L'étude numérique et la simulation est élaborée sous le solveur FLUENT, double précision.

Le modèle de la laminar

Les matériaux choisis pour la conduite est l'acier

Le fluide utilisé pour notre cas est l'eau usée dont les caractéristiques thermo physique sont tel que :

- Densité : 1000 {kg/m³}
- Cp : 1000 {j/kg-k}
- Conductivité Thermale: 0.0454 {w/m-k}
- Viscosité: {W/m.K}
 - ✓ index de consistance, 0.954 k {kg-sⁿ⁻²/m}
 - ✓ index de puissance, n =0.438
 - ✓ température de Référence, 293 {k}
 - ✓ Limite minimum viscosité: 0.04 {kg/m-s}
 - ✓ Limite maximum viscosité : 5 {kg/m-s}

Les conditions aux limites sont telque :

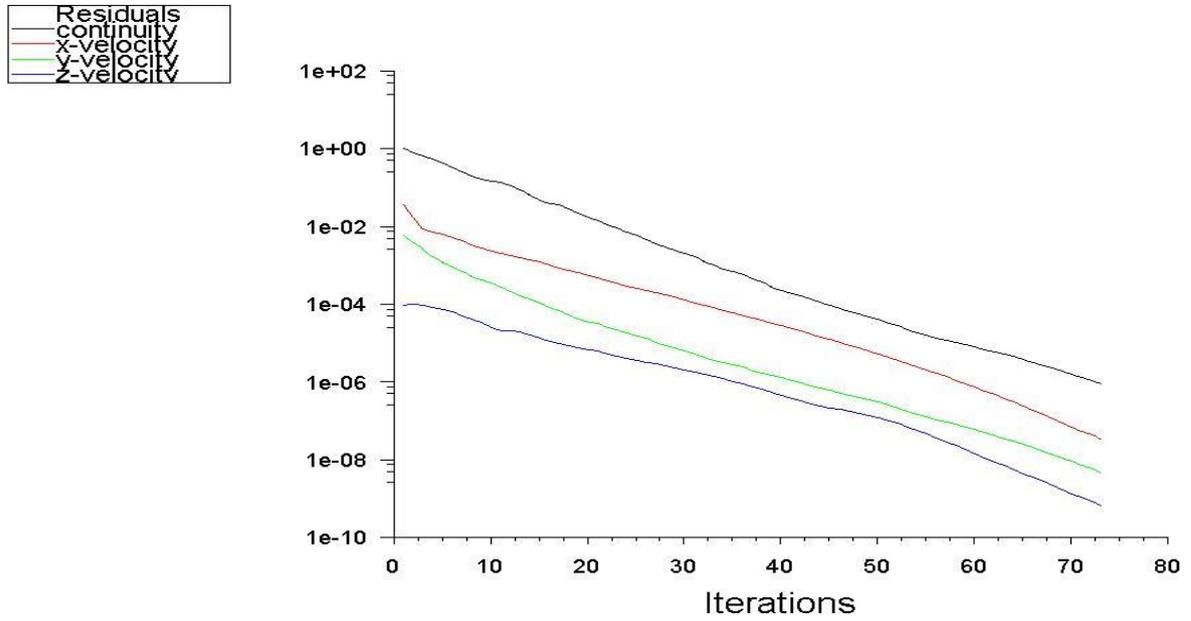
- Vitesse d'Entrée 0.03 m/s
- Pression de sortie : atmosphérique

La méthode de résolution est **SIMPLE** de seconde ordre

Pour plus de détails voir **Annexe 2**

IV.4.1 CONVERGENCE

La convergence est atteinte à 73 itération



Scaled Residuals Jun 26, 2018
ANSYS Fluent Release 16.2 (3d, dp, pbns, lam)

Figure IV.3 : Courbe d'itération

IV.5 RESULTATS ET INTERPRETATION

Afin de mieux analyser les résultats, On propose de choisir des sections suivant x, comme le montre la figure IV .4

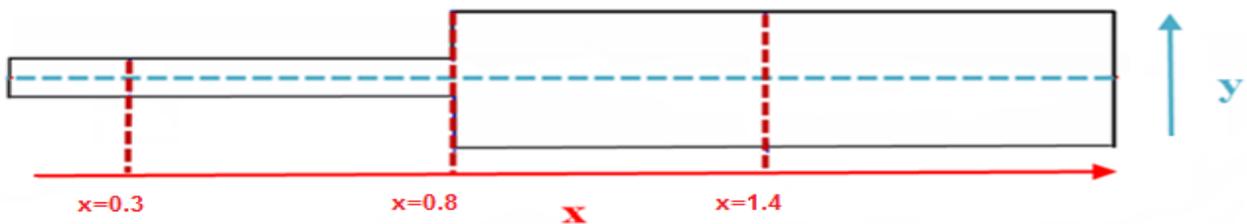


Figure IV. 4: Les différentes sections choisies de la conduite

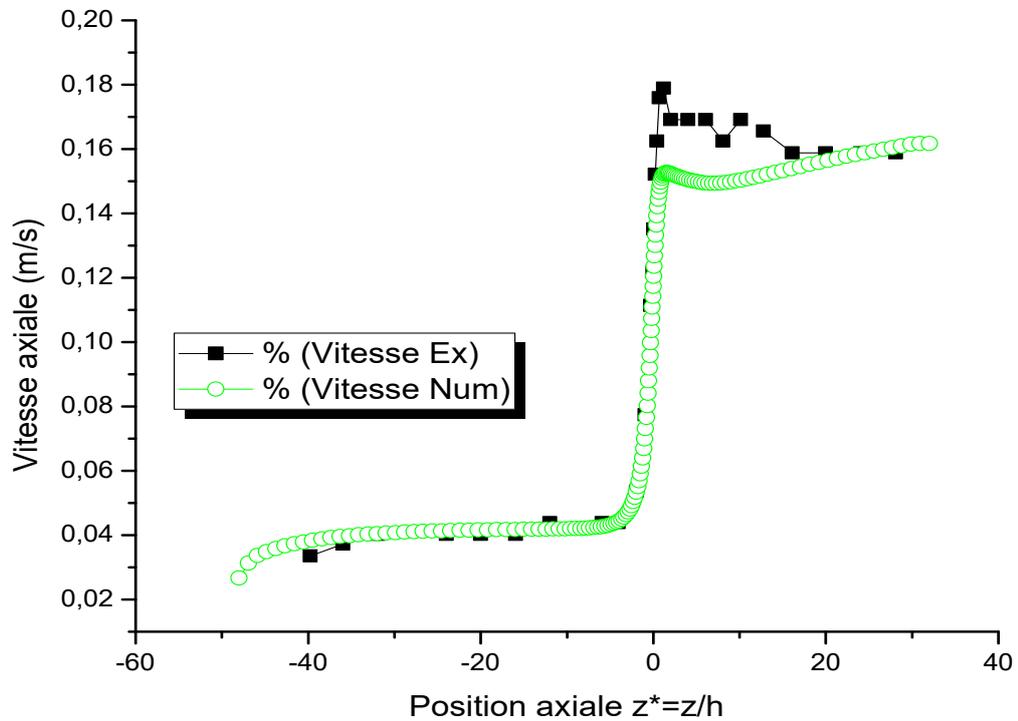
IV.5.1 Evolution de la vitesse suivant l'axe X

Figure IV5 : Comparaison de la variation de la vitesse entre les résultats expérimentaux et ceux de la simulation

Afin de vérifier les résultats de la simulation nous les avons confronté avec ceux obtenus par l'expérimentale [15].

La figure (IV.5) montre une concordance entre les deux courbes à l'exception d'une légère perturbation à la sortie de la courbe tirée de l'expérimentale suite aux conditions réelle de l'expérimentale .

IV.5.2 CONTOUR DE LA VITESSE RESULTANTE

Cette partie est destinée à l'étude des contours de la vitesse résultante de l'écoulement à travers une contraction brusque :

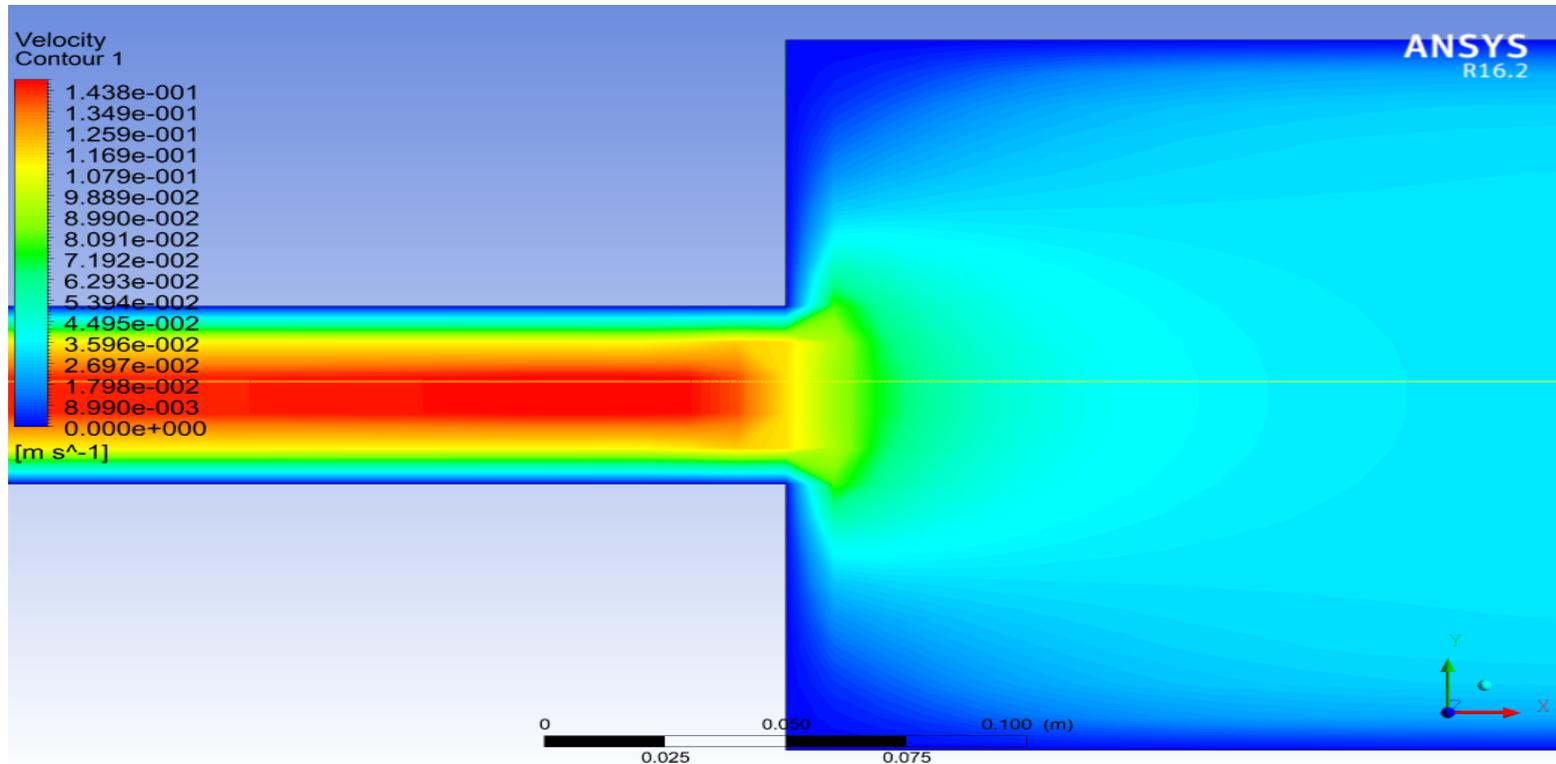


Figure IV. 6:Contour de la vitesse résultante [m/s]

D'après la figure IV.6 qui représente le contour de la vitesse résultante, on remarque que la vitesse atteint une valeur maximale presque ($7.192 \cdot 10^{-2}$ m/s) dans la section aval puis diminue progressivement en amont de la contraction brusque.

Résultat qui s'interprète par diminution de la vitesse suite aux effets visqueux du fluide en contact avec la paroi.

IV.5.3 EVOLUTION DU PROFIL DE VITESSE A TROIS POSITIONS

La figure montre l'évolution du profil de vitesse sur les trois sections cités ci-dessus .on remarque que le profil de vitesse se rétabli après le passage de la contraction brusque qui crée des perturbations dans la forme de l'écoulement.

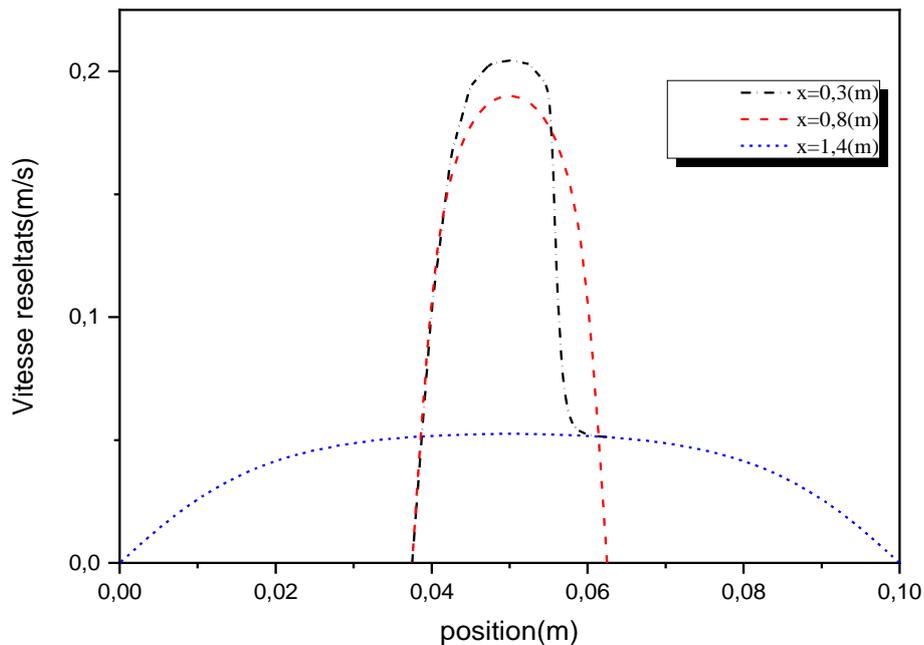


FIGURE IV. 7:Profil de la vitesse résultante suivant Y (m/s)

IV.5.4 VECTEUR DE LA VITESSE RESULTANTE

L'objectif de cette partie est mieux présenter le profil de vitesse en forme de vecteur de de distribution de vitesse

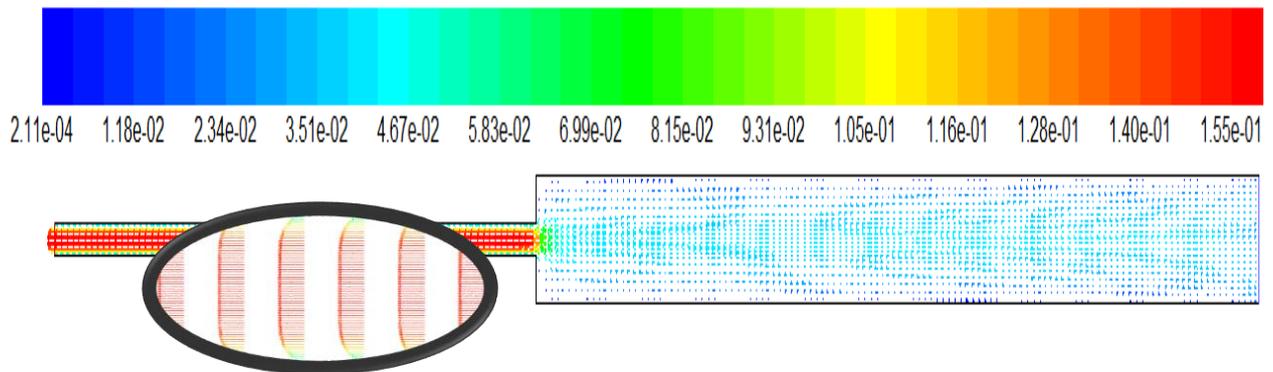


Figure IV.8 : Profil de la vitesse suivant X

IV.6 PRESSION

IV.6.1 CONTOUR DE LA PRESSION DYNAMIQUE

Dans cette partie, on a étudié l'évolution de la pression dynamique DE L'écoulement à travers une contraction brusque:

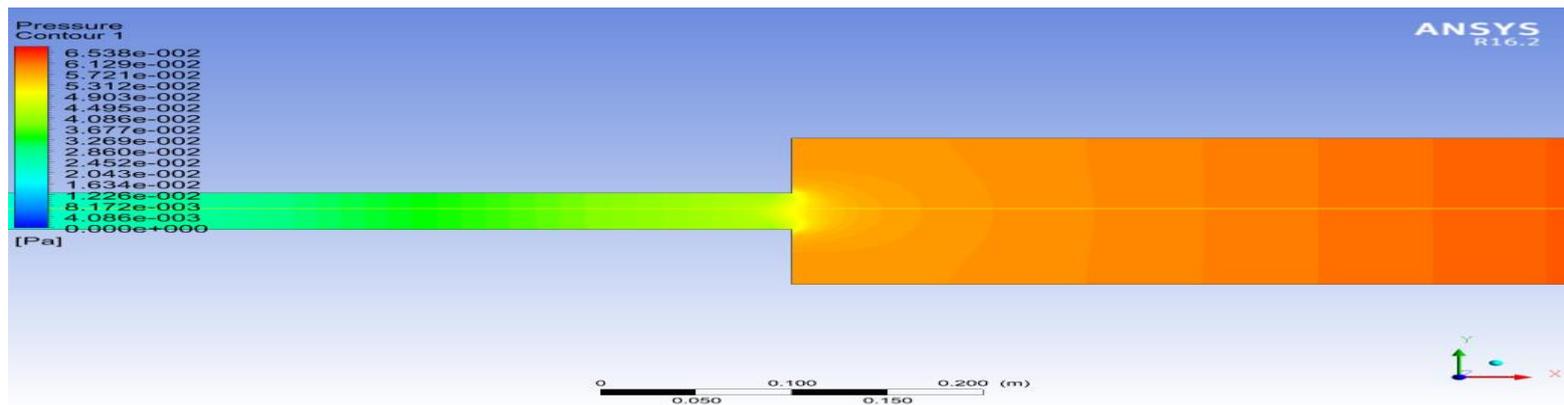


Figure IV. 9 : Contour de pression dynamique [Pa]

La figure IV.9 représente le contour de la pression dynamique, on observe que La pression dynamique atteint une valeur maximale dans la section aval de la contraction et diminue dans la section amont.

Ceci est due à l'élargissement de la section de sortie se qui réduit la vitesse et par suite la pression.

IV.6.2 EVOLUTION DES PERTES DE PRESSION EN FONCTION DU DEBIT

La figure IV.6 représente la courbe de la pression dynamique suivant X d'écoulement de l'eau usée dans une contraction brusque :

Les résultats de mesure des pertes de pression en fonction de trois valeurs de débits sont représentés sur la figure IV.10, qui montre l'évolution des pertes de pression des deux fluides newtoniens (eau usée) et non newtonien (Polyacrylamide).

Les résultats obtenus de la figure IV.10 nous montre une concordance entre les deux allures qui se manifeste en une progression ascendantes des deux courbes bien que celle de l'eau usée est plus parabolique. Ceci est due au fait que l'eau usée est plus dense que la solution polyacrylamide.

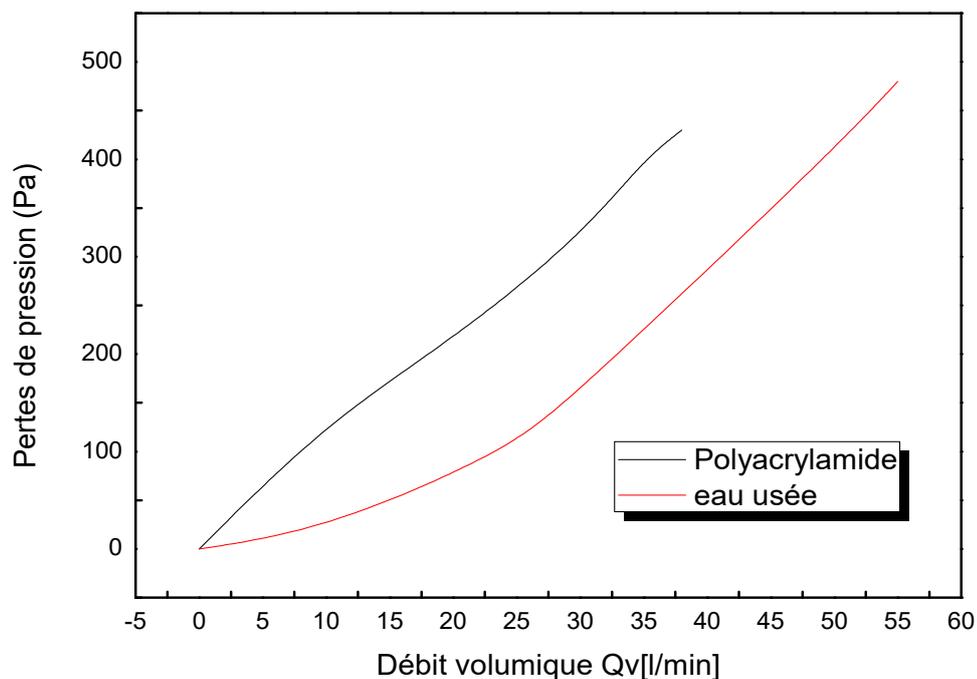


Figure IV. 10: Evolution des pertes de pression en fonction du débit

IV.7 CONCLUSION

La confrontation des résultats numériques à ceux tirés de l'expérimentale nous montre une concordance soit dans l'allure de la vitesse que de la pression. Ce qui nous rassure à l'utilisation de la simulation pour prédire les paramètres physique de l'écoulement et nous épargne le cout indisponible de l'expérimentale.



***CONCLUSION
GENERALE***

Conclusion Générale

L'étude de la station d'épuration des eaux usées (STEP) de la route d'Ain Bouhekif nous a permis de construire une idée claire sur cette station et sur les différents types d'opérations à réaliser au niveau de la STEP pour avoir à la fin une eau pure sert à l'arrosage de grandes surfaces agricoles.

L'objectif de ce travail est d'étudier l'influence de la contraction brusque de rapport 4 :1 sur les paramètres physiques de l'écoulement de l'eau usée à travers la simulation numérique

Sous le code de calcul Fluent qui a montré une suffisance pour représenter les réalités d'un écoulement de fluides souvent complexes dans des configurations géométriques assez irrégulières dictées par les processus industriels telque la STEP de Tiaret.

Les profils de vitesses et de pression tirés des simulations numériques d'un écoulement de fluide viscoélastique à travers un canal rectangulaire à contraction brusque 4:1 sont réconfortés par ceux trouvé expérimentalement dans la littérature. Les résultats obtenus ont montré que la simulation par le modèle de turbulence k- ϵ Standard peut être un moyen économique à prédire les écoulement nonnewtoniens que newtonien

L'avantage de la simulation numérique dans ce cas de figure est la détermination des profils de vitesses et de la pression dans n'importe quelle section, chose qui a très accessible numériquement .

les résultats tirés de la simulation ont manifestés une concordance entre l'allure de la vitesse et de la pression en fonction du nombre de Reynolds.

En perspective nous souhaitons faire l'analyse de l'écoulement de la boue qui s'écoule dans la station d'épuration « STEP de Tiaret » et qui présente un soucis majeur dans sa gestion.

ANNEXE -1-

Le Débit (Q) :

C'est un volume par unité de temps (m^3/j - m^3/h - l/s).

Débit de pointe : débit horaire maxi reçu par la station.

Débit moyen 24 h : débit moyen horaire reçu par la station (Q_{jour}) 24

La Concentration (C) :

C'est une masse par unité de volume (mg/l - g/l = kg/m^3)

Ce paramètre renseigne sur la qualité de l'effluent.

Le Flux (ou charge) (F) :

C'est le produit du débit (Q) par la concentration (C) (kg/j)

$F = C \times Q$ (maintenir des unités identiques : $kg/j = kg/m^3 \times m^3/j$).

C'est un paramètre important qui renseigne sur la quantité de pollution.

Exemple : une concentration en matières de suspension de 300 mg/l , et un débit de $100 \text{ m}^3/j$, donnera un flux de matières en suspension de :

$(C = 300 \text{ mg/l} = 300 \text{ g/m}^3 = 0,3 \text{ kg/m}^3)$

$F = C \times Q = 0,3 \times 100 = 30 \text{ kg/j}$.

La charge hydraulique de la station :

C'est le rapport du débit reçu sur la capacité hydraulique nominale de la station. Elle s'exprime en % de la capacité nominale.

Exemple : une station de capacité nominale $1000 \text{ m}^3/j$ reçoit un débit de $200 \text{ m}^3/j$.

La charge hydraulique : $200 = 20 \%$

1000

Le rendement épuratoire de la station ;

C'est le rapport de la pollution éliminée dans la station sur la pollution reçue. Il définit les performances de la station.

Exemple : une station reçoit une charge en matières en suspension de 200 kg/j (DBO5). Elle rejette une charge de 10 kg/j .

Le rendement épuratoire sera : $200 - 10 = 0,95 = 95 \%$

200.

La charge volumique : Cv :

C'est le rapport de la charge en DBO5 reçue sur le volume du bassin d'aération.

Exemple : Une station équipée d'un bassin d'aération de 5 150 m³, reçoit une charge polluante de 1000 kg DBO5/j.

Des charges massique et volumique faibles témoignent d'un ratio nourriture/boues favorable à une élimination poussée de la pollution carbonée et azotée.

MAGE 42 Page 3 Novembre 2006

On distinguera ainsi 5 classes de boues activées :

Cv	Cm	
Aération prolongée	< 0,36	< 0,1
Faible charge	0,36 à 0,7	0,1 à 0,2
Moyenne charge	0,7 à 1,7	0,2 à 0,5
Forte charge	1,7 à 3	0,5 à 1
Très forte charge	> 3	> 1

Le temps de séjour : Ts :

C'est le temps de séjour hydraulique de l'eau dans un bassin, il correspond au rapport du volume du bassin (V) sur le débit de l'effluent entrant (Q).

$$T_s = \frac{V}{Q} \text{ (m3)}$$

$$Q \text{ (m3/h)}$$

On distinguera le temps de séjour sur le débit moyen 24 h et celui sur le débit de pointe.

Exemple : une station équipée d'un bassin d'aération de 5 150 m³, reçoit un débit moyen 24 h (Q24) de 160 m³/h et un débit de pointe (Qp) de 250 m³/h.

Le temps de séjour dans le bassin d'aération sera :

- sur le Q24 : $T_s \text{ moyen} = \frac{5150}{160} = 32,2 \text{ heures}$

160

- sur le Qp : $T_s \text{ pointe} = \frac{5150}{250} = 20,6 \text{ heures}$

250

Un temps de séjour élevé dans le bassin d'aération permettra une élimination poussée de la pollution carbonée et azotée.

ANNEXR -2-

➤ Lancement de gambit

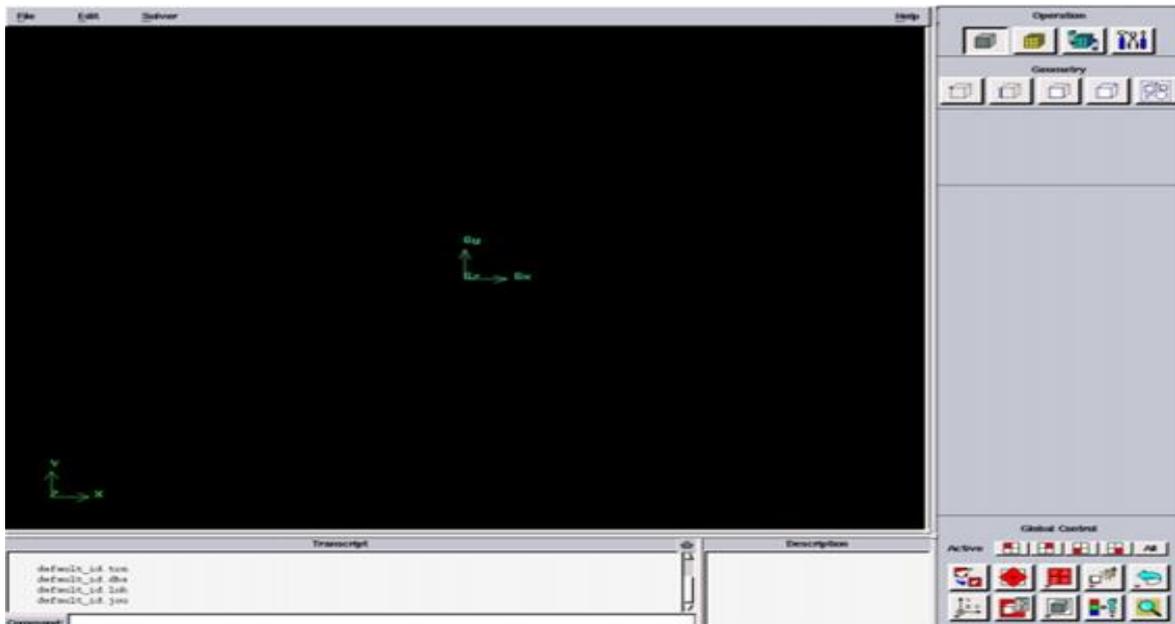


FIGURE 1: Face de domaine du calcul

On dessine la configuration Schéma du contraction brusque. Au début, nous sélectionnons des points en plaçant ses coordonnées puis connecté pour former des lignes qui définissent le contraction brusque.

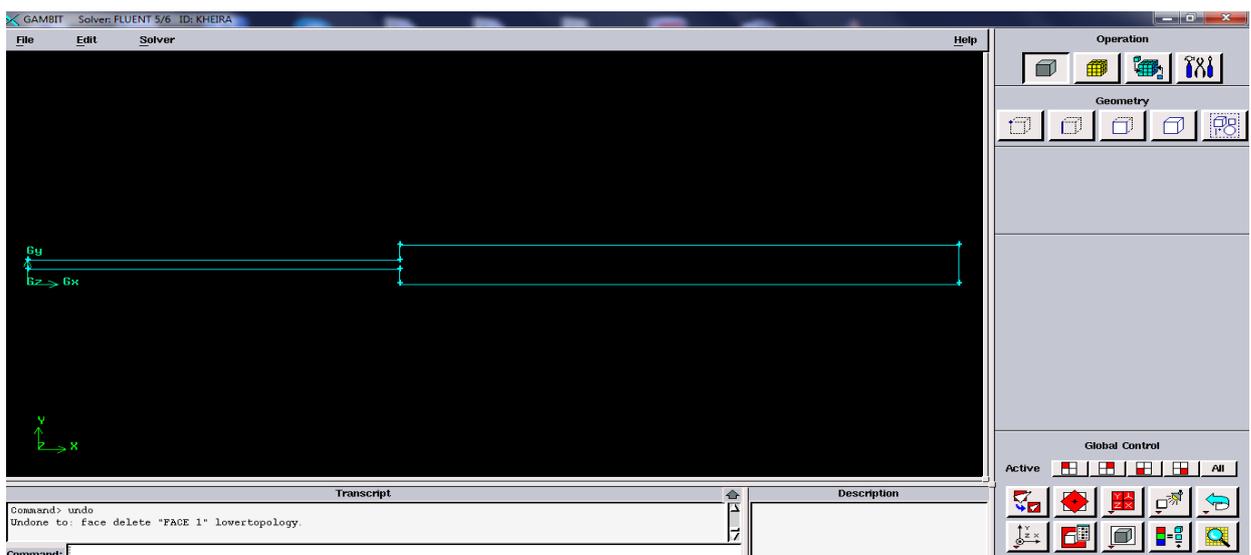


FIGURE 2: Création du conduite rectangulaire avec une contraction brusque

Maillage de la géométrie

La génération du maillage (2D) est une phase très importante dans une analyse CFD.

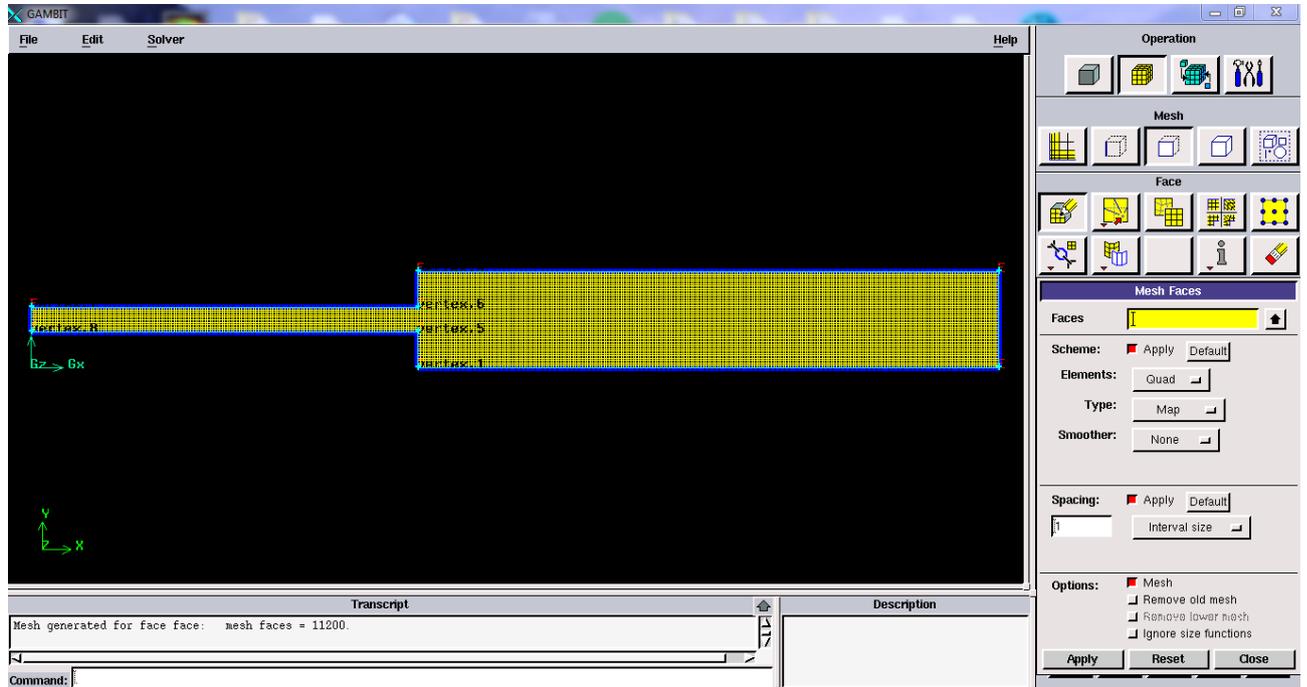


FIGURE 3:Maillage de géométrie

Conditions aux limites

Lorsqu'on termine le maillage du domaine on pose les conditions aux limites :

TABLEAU 1: Conditions aux limites.

Arrête et Face	Zone	Type
Longueurs DE	Enter	velocityinlet
Longueurs AH	Sortie	pressureoutlet
Longueurs (AB-BC*CD)	Mur 1	Wall
Longueurs (EF*FG*GH)	Mur 2	Wall

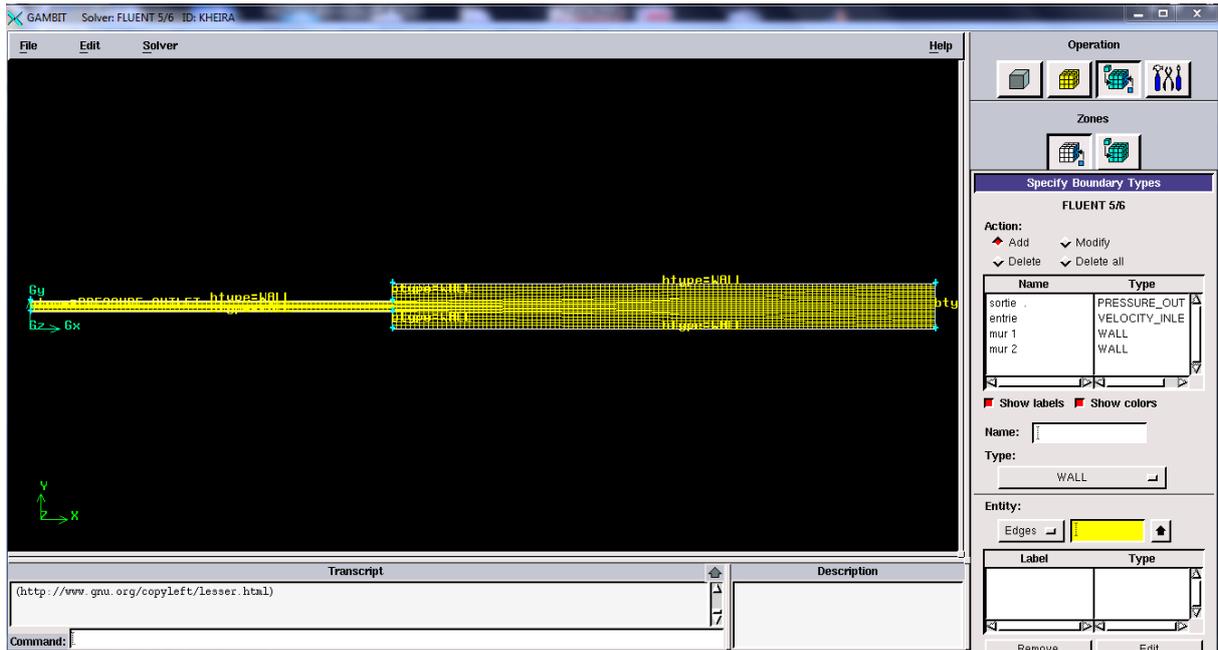


FIGURE 4 : Conditions aux limites

Lorsque le maillage est terminé et les conditions aux limites sont correctement imposées, il ne reste qu'exporter ce maillage dans un format lisible par le solveur Fluent en l'occurrence. Ceci se fait par la commande (File/Export/Mesh) qui permet d'écrire un fichier de maillage avec l'extension (msh). On coche l'option « Export 2-D Mesh ».

➤ Lancement de fluent

✓ 1^{ère} étape

On lance le solveur FLUENT, on sélectionne (2ddp), aussi bien pour une simple précision de calcul.

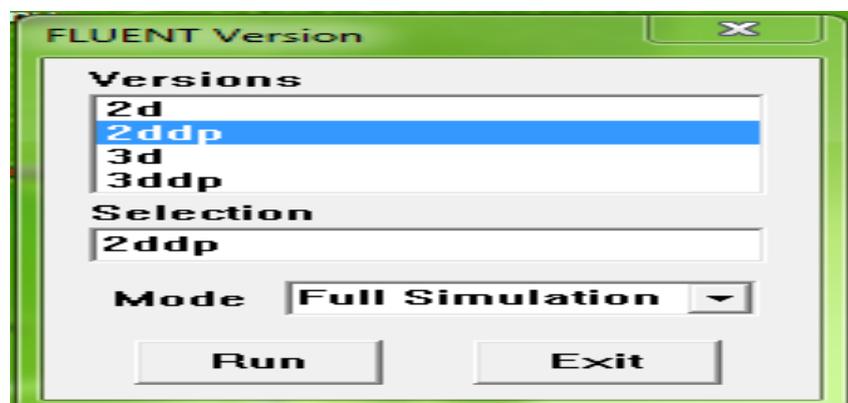


FIGURE 5 :Type de résolution

- 2^{ème} étape(Lecture de la maillage)

On sélectionne le menu File → Read → Case...

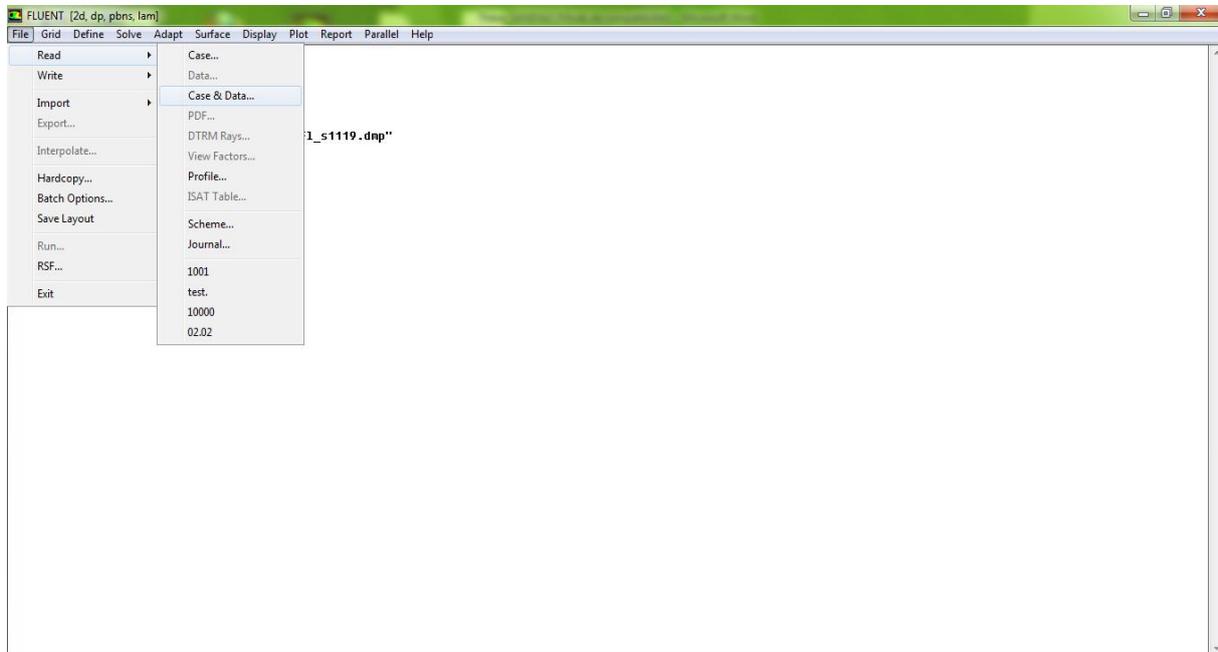


FIGURE 6 : La lecture de la grille

- 3^{ème} étape

Pour voir le maillage, on sélectionne sur : Display → Grid.

- 4^{ème} étape

Pour choisir une des formules de solution, nous employons le panneau de solveur :

Define → Models → Solver.

Dans notre problème l'écoulement est in stationnaire et pour cela onchoisie le cas (steady) en sélection sur le bouton OK.

- 5^{ème} étape

Puisque l'écoulement est **laminaire** on choisit le modèle :

Define → Mode → laminar. (Figure.8), puis en valide ok

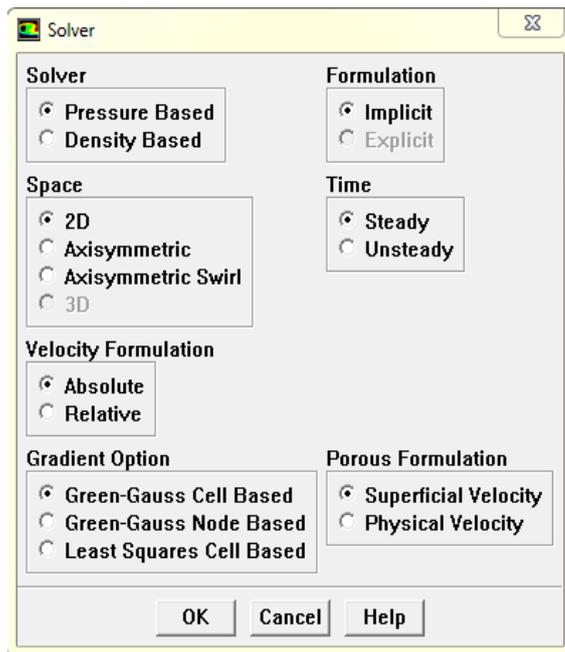


FIGURE 7 : Fenêtreresolveur.

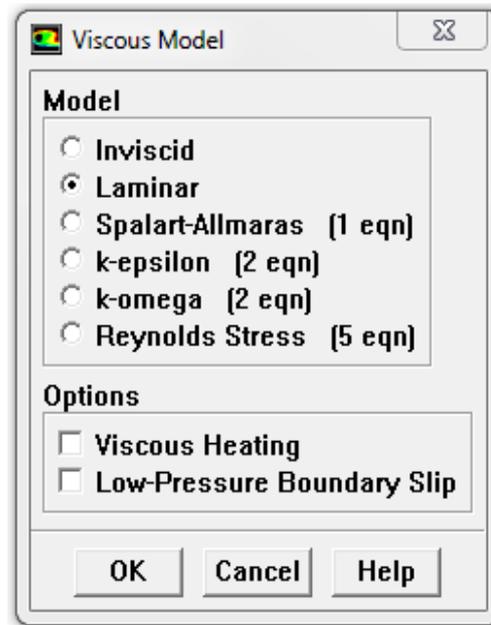


FIGURE 8 : Fenêtrerede modèle visqueux.

- 6^{ème} étape

Pour fixer les propriétés de fluide pour notre problème, (figure 9) on sélection sur :

Define → Materials.

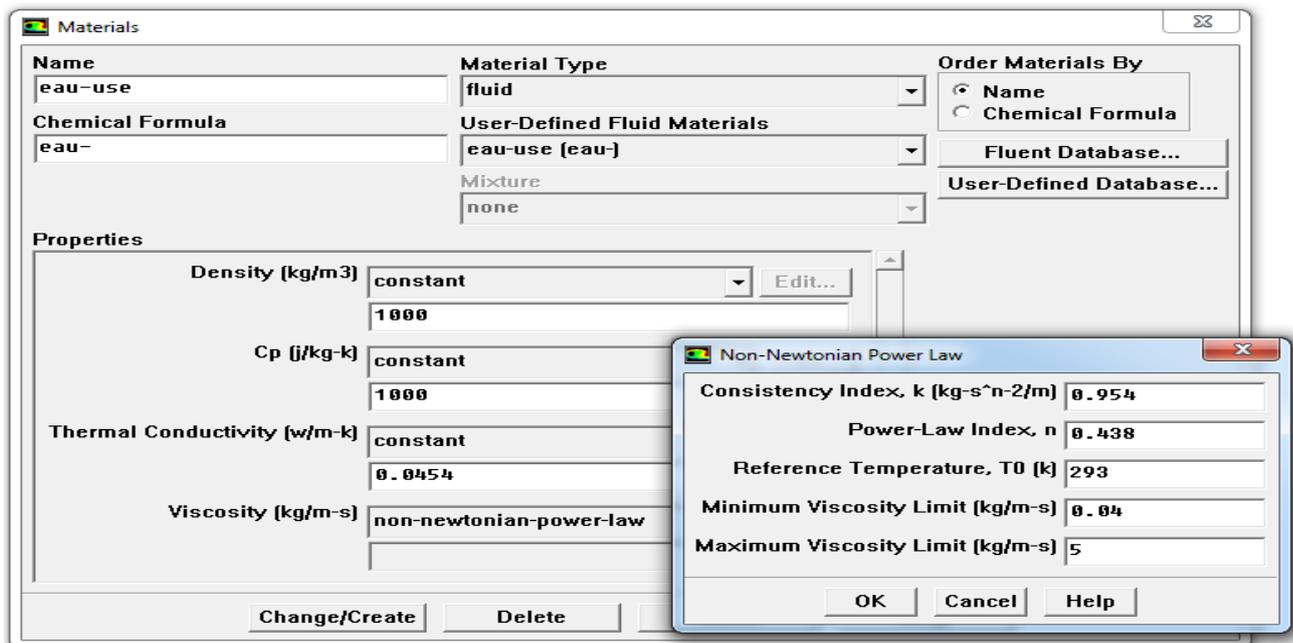


FIGURE 9 : Fenêtre de Matériaux.

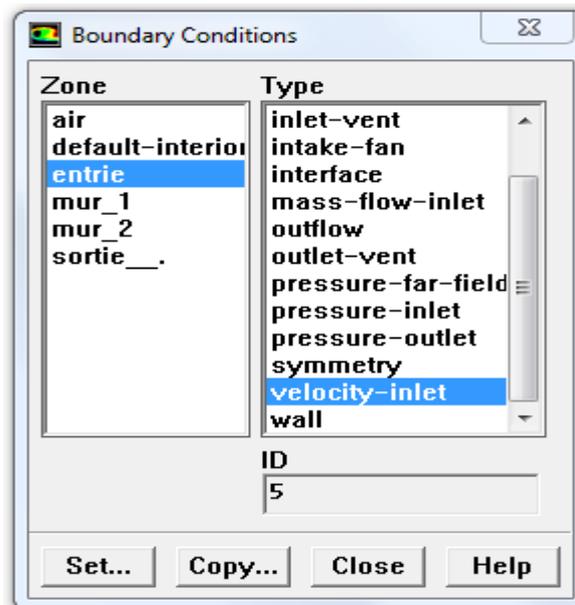


FIGURE 10: Fenêtre de condition aux limites

- 7^{ème} étape

Pour entrer les conditions aux limites, on ouvre le panneau des conditions aux limites (Figure III.10):

Define \longrightarrow Boundary conditions.

Boundary conditions	
Vitesse d'entrée	0.03 m/s
Pression de sortie	1 atm

TABLEAU 2: les paramètres entrant dans le solveur fluent (Permettre La Traçage Résiduelle)

- 8^{ème} étape

L'installation du problème est presque complète. Maintenant on tourne vers la surveillance résiduelle graphique de sorte qu'on puisse facilement observer le progrès de la solution. Pour faire ceci, on choisit : Solve → Monitors → Residual, pour ouvrir les moniteurs résiduels lambrisse montré sur (figure 11). Sous les options allumez l'option **plot** pour activer l'affichage graphique des résiduels pendant le calcul, et on sélection alors sur OK.

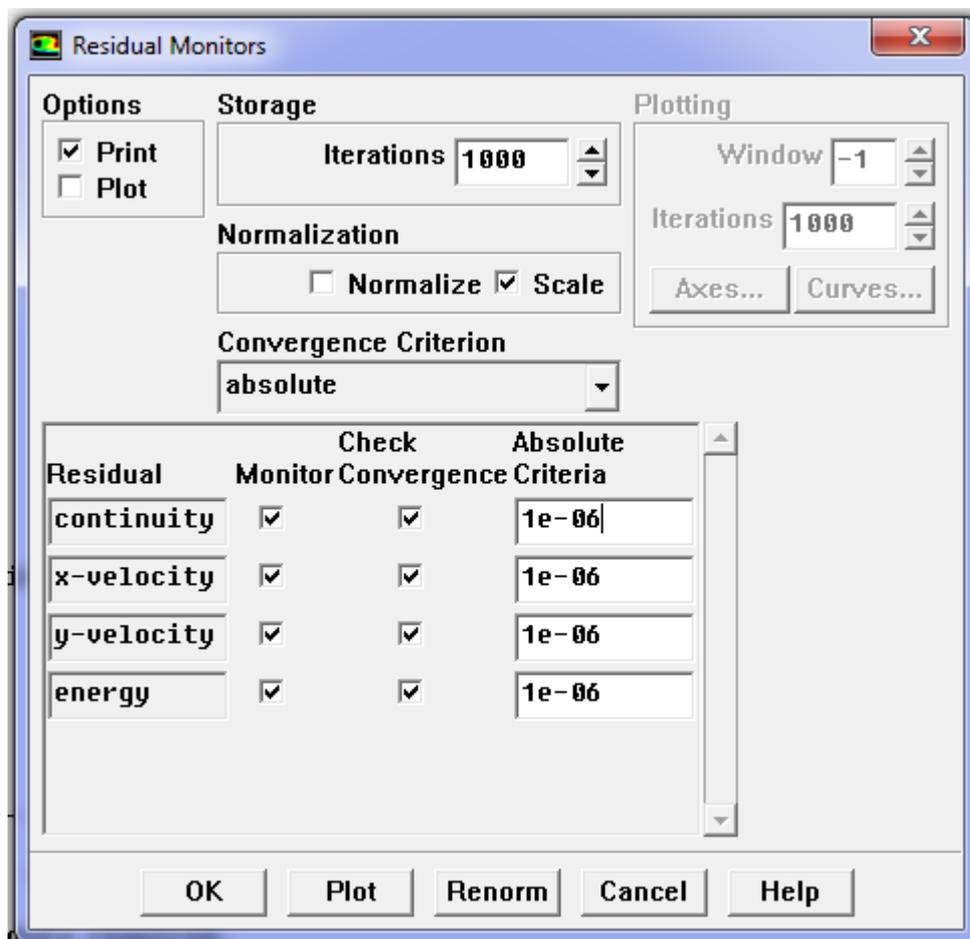


FIGURE 11: Fenêtre de Résiduel Monitors.

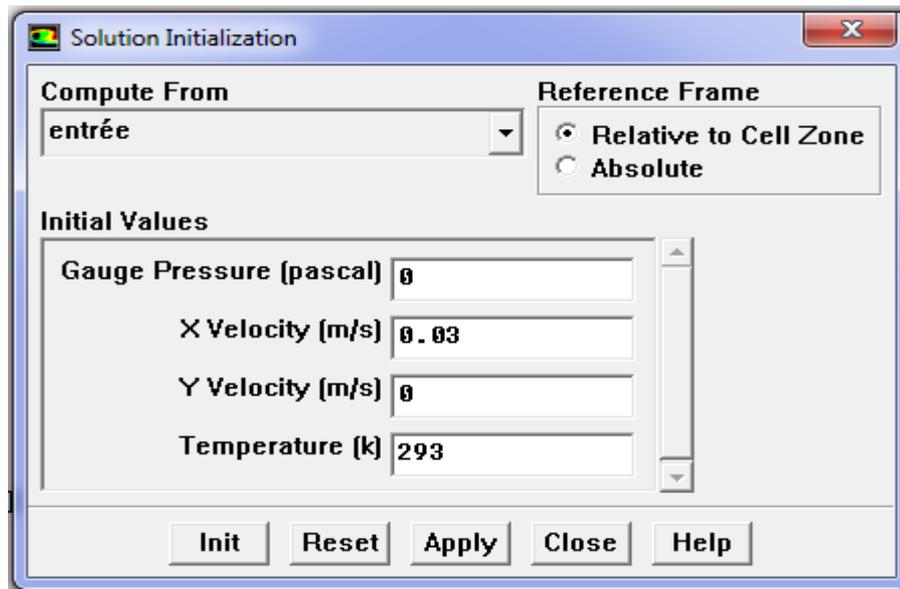


FIGURE 12 : Fenêtre de solution initialisation

- **9^{ème} étape**

Avant de réitérer, il faut initialiser le champ d'écoulement pour fournir un point de départ de la solution. On peut donc choisir le calcul de la solution initiale des arrangements d'une condition aux limites où le champ entrant l'écoulement évalue individuellement. En cliquant :

Solve \longrightarrow Initialize , pour ouvrir le panneau d'initialisation de la solution représentée sur la (figure 12).

- **10^{ème} étape**

Maintenant on peut commencer les itérations. On clique sur : Solve \longrightarrow Itérate, ceci ouvre le panneau de l'itération représenté sur la (figure II.13).

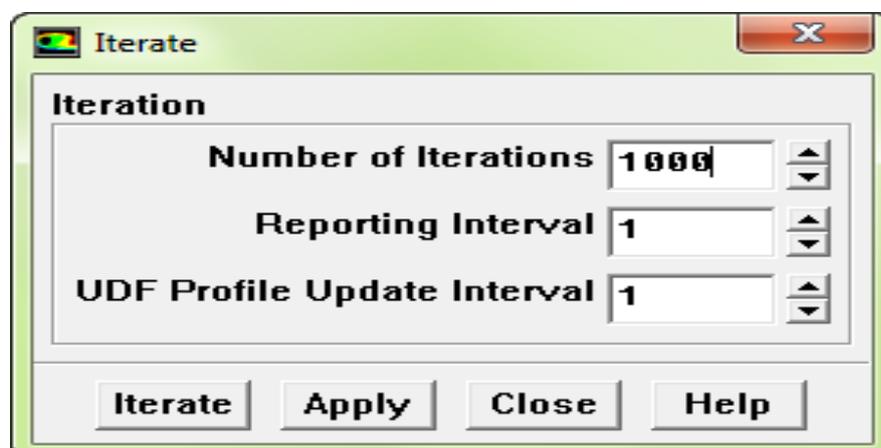
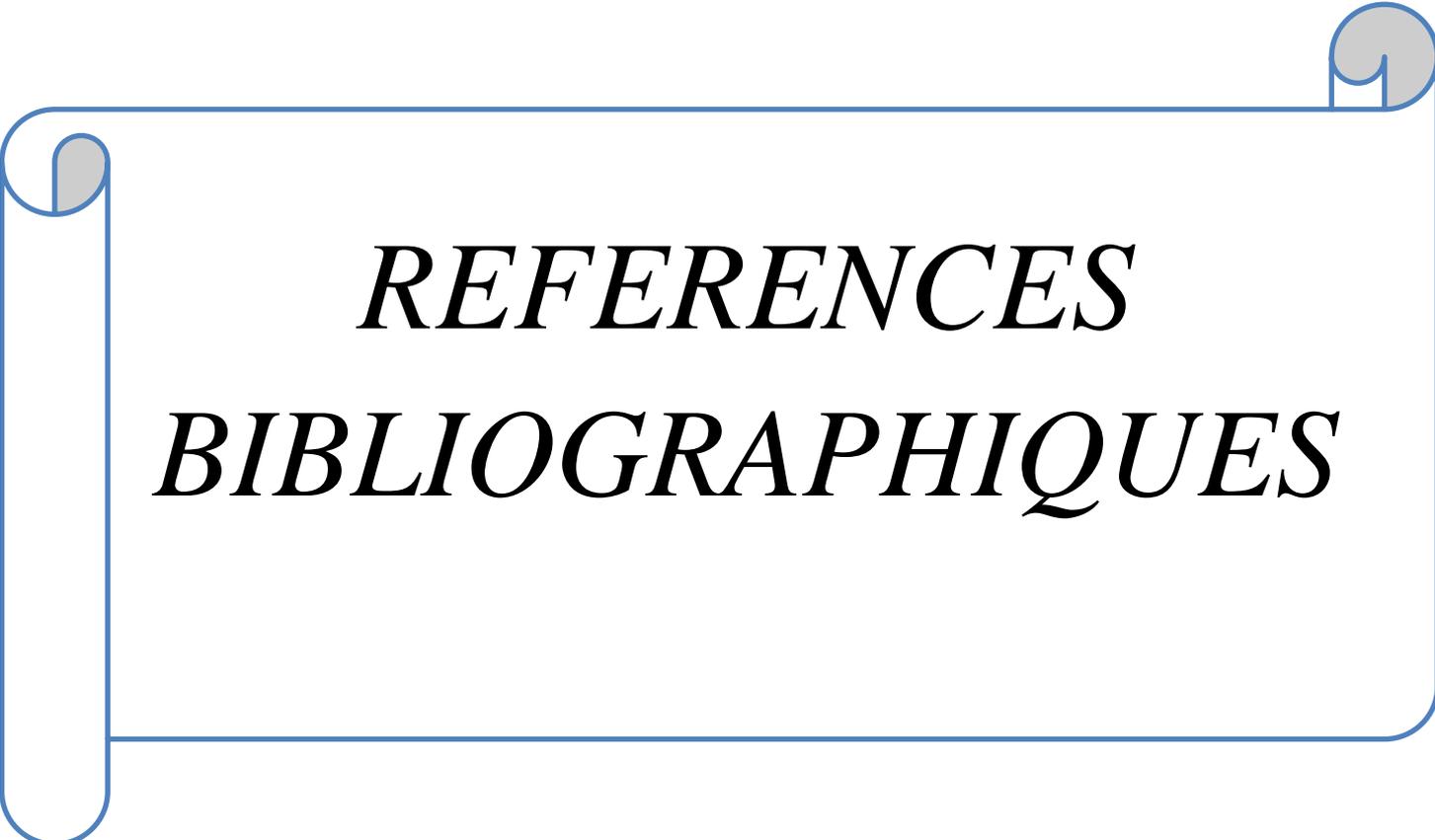


FIGURE 13: Fenêtre Itérâtes.

A decorative border resembling a scroll, with a blue outline and grey circular accents at the corners, framing the text.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

[1] **Articles 11 et 12 du Pacte International Relatif aux Droits Economiques, Sociaux et Culturels.**

[2] **ABDELLAH FATIHA et CHAABI KHALDIA, (2003) :** Bio de pollution des eaux usées urbaine, Thèse en vue de l'obtention du diplôme des études supérieur, Faculté des sciences agronomiques et vétérinaires, université IBN-KHALDOUN Tiaret, P 78.

[3] **ANONYME. (1997) :** « Encyclopédie universalise (CD), France

[4] **APELBAUM. M, (1995) :** Diététique et nutrition 3ème édition Masson.

[5] **BALVAY. G ; PELLETIER. J et DRUART. J, (1999) :** Les eaux aquatiques in un point sur l'eau. Tome I. Edition INRA. Paris. P 335,367.

[6] **BEBIN. J, (1999) :** les pollutions industrielles et urbaines in un point sur l'eau. Tome I ; Milieu et maitrise, Edition INRA, P 151.

[7] **BELHADJ. A, (2001) :** Les épidémies d'origine hydrique dans le monde. Synthèse techniq- ENGRET centre de Montpellier et OIE de linoges. P 16.

[8] **BELHOUARI et OUARDAS, 2009 :**

[9] **BENNAJIM HIND et MERABET HIND, (2007) :** Conception et développement optimal d'un système d'épuration des eaux usées, Thèse en vue de l'obtention du diplôme des études supérieur, université Maroc, P 99.

[10] **BLEIFERT. C et PERRAUD ; (2009) :** Chimie de l'environnement air, eau, sol, déchets 2ème édition de boech-Paris, P 478.

[11] **BONTOUX .J, (1993) :** « Introduction à l'étude des eaux douces eaux naturelles, eaux usées, eaux de boisson qualité et la santé » édition ; technique et documentation.

[12] **BONTOUX .J, (1992) :** « Introduction à l'étude des eaux douces ». Ed : C E B DOC Sprl liégré, P 350- 169.

[13] **BOUMEDOL. A, (2000) :** Etude caractéristiques physico-chimiques de certaines sources d'eau potable de la ville de Tiaret, Mémoire d'ingénieur, ISA, Tiaret.

[14] **BOUZIANI. M, (2000)** : l'eau de la pénurie aux maladies, Edition IBN KHALDOUN, P 247.

[15] **CANLER JEAN PIERRE, (2005)** : Dysfonctionnement biologique des stations d'épuration, origine et solution Edition genargref centre de Lyon et d'Antony, P 123.

[16] **CHERIFI NOUR ELHOUDA et MECHERRAR MELOUKA, (2009)** : Essai d'élaboration d'un complexe argilo-aspergillus Niger et son utilisation dans l'élimination du bleu de méthylène de l'eau thèse de DES. Faculté des sciences agronomie et vétérinaire université IBN KHALDOUN Tiaret. P 53.

[17] **BREF, (2006)**- Document de référence sur les meilleures techniques disponibles Incinération des déchets, 231p.

[18] **AIT AYANE et DOUNIA, (2009)**- Assainissement liquide de Marrakech Valorisation agricole énergétique des boues issues de l'épuration des eaux usées de la ville de Marrakech. Mémoire de stage de fin d'étude, Université Cadi Ayyad, FSTM, 63p.

[19] **RAYAN SLIM, (2007)**- Etude et conception d'un procédé de séchage combiné de boues de stations d'épuration par énergie solaire et pompe à chaleur. Thèse de doctorat, l'Ecole des Mines de Paris, 145p.

[20] **ITOUNI et LACHHEB, (2011)** - Valorisation des boues déshydratées de la station d'épuration des eaux usées de Marrakech. Mémoire de fin d'étude. Université Cadi Ayyad, FSTM, 57p. **RADEEMA, (2011)** - Traitement secondaire et tertiaire et Traitement des boues et du biogaz Traitement de l'air vicié, document PDF.

[21] **EL HORRE, (2009)** - Le Projet d'Assainissement de la RADEEMA et la Problématique Environnementale de Marrakech. Mémoire de fin d'étude, Université Cadi Ayyad, FSSM, p79.

[22] **RADEEMA, (2011)** - Marrakech Incinération. Document d'étude préliminaire, 27p.

[23] **JULIEN BERTHOLON, (2002)** – Les déchets solides de l'incinération des ordures ménagères. Tuteur de mémoire de fin de cycle, Université de Cergy Pontoise, 38p.

[24] **Ferrasse, J.-H, 2000.** Développement d'outils expérimentaux pour le dimensionnement de procédés de séchage conductif avec agitation : application à des boues de stations d'épuration urbaines, Thèse de doctorat, Centre Energétique & Environnement, Ecole des Mines d'Albi Carmaux.

- [25] **Brison.C, Perret J.M.,CanlerJ.P., 2010.** «Le séchage solaire des boues : Etat actuel de l'art et retours d'expérience» pages (15-22) et pages (28-33).
- [26] **AMADOU.H, 2007.** « Modalisation de séchage solaire sous serres des boues de station d'épuration urbains. (page 51)
- [27] **CSEC (1994).** Réutilisation des eaux usées en agriculture.
- [28] **ADEME, et CETIAT,** Les procédés de séchage dans l'industrie, ADEME et CETIAT, eds; ADEME Editions : **Angers (2000).** OTV, Traiter et valoriser les boues, Infinités Communication : Rennemoulin (1997).
- [29] **Numrich, R., et Brown, B. W.,** "Sludge drying with mechanical vapour recompression,"
- [30] **UTA International, 2, 126-130 (1997).**
- [31] **M. Baritto and J. Bracamonte,** A dimensionless model for the outlet temperature of a nonisothermal flat plate solar collector for air heating, *Solar Energy*, vol. 86 1, pp. 647-653, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2011.11.009>
- [32] **K. S. Ong,** Thermal performance of solar air heaters: Mathematical model and solution procedure, *Solar Energy*, vol. 55 2, pp. 93-109, 1995. [http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X\(95\)00021-I](http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X(95)00021-I)
- [33] **K. S. Ong,** Thermal performance of solar air heaters—Experimental correlation, *Solar Energy*, vol. 55 3, pp. 209-220, 1995. [http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X\(95\)00027-O](http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X(95)00027-O)
- [34] **K. AOUES,** Etude théorique et expérimentale de l'écoulement de l'air entre deux plans parallèles avec une surface chauffée, Université Mohamed Khider-Biskra, 2012.
- [35] **K. Aoues, N. Moummi, M. Zellouf, A. Moummi, A. Labed, E. Achouri and**
- [36] **A. Benchabane,** Amélioration des performances thermiques d'un capteur solaire plan à air: Etude expérimentale dans la région de Biskra, *Revue des Energies renouvelables*, vol. 12 2, pp. 237-248, 2009.

[37] **N. Chouchane, A. Moummi, N. Moummi and B. Achour**, Modèles empiriques de calcul des pertes de charge dans un conduit rectangulaire muni de rugosités artificielles—Cas des insolateurs à air, *Revue des Energies Renouvelables* vol. 2 3, pp. 385-394, 2009.

[38] **C. Nacer**, Intitulé: Etude globale et locale de l'influence de la géométrie sur les pertes de charge occasionnées par des obstacles métalliques de formes diverses dans un conduit rectangulaire, cas d'un fluide incompressible, Université Mohamed Khider de Biskra, 2012.

[39] **K. Aoues, N. Moummi, A. Moummi, M. Zellouf, A. Labeled and E. Achouri**, Etude de l'influence des rugosités artificielles sur les performances thermiques des capteurs solaires plans à air, vol. pp. 2014.

[40] **C. Mahboub**, Etude des phénomènes de transfert thermique dans les échangeurs de la chaleur destinés aux applications solaires, Université Mohamed Khider-Biskra, 2016.

[41] **C. Mahboub, N. Moummi, A. Moummi and S. Youcef-Ali**, Effect of the angle of attack on the wind convection coefficient, *Solar Energy*, vol. 85 5, pp. 776-780, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2011.01.008>

[42] **C. Mahboub, N. Moummi, A. Brima and A. Moummi**, Experimental study of new solar air heater design, *International Journal of Green Energy*, vol. 13 5, pp. 521-529, 2016. 10.1080/15435075.2014.968922

[43] **M. J. Lewis**, Optimising the thermohydraulic performance of rough surfaces, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 18 11, pp. 1243-1248, 1975. [http://dx.doi.org/10.1016/0017-9310\(75\)90232-X](http://dx.doi.org/10.1016/0017-9310(75)90232-X)

[44] **S. Satcunanathan and S. Deonarine**, A two-pass solar air heater, *Solar Energy*, vol. 15 1, pp. 41-49, 1973. [http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X\(73\)90004-2](http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X(73)90004-2)

[45] **Y. Caouris, R. Rigopoulos, J. Tripanagnostopoulos and P. Yianoulis**, A novel solar collector, *Solar Energy*, vol. 21 2, pp. 157-160, 1978. [http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X\(78\)90044-0](http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X(78)90044-0)

[46] **N. E. Wijesundera, L. L. Ah and L. E. Tjioe**, Thermal performance study of twopass solar air heaters, *Solar Energy*, vol. 28 5, pp. 363-370, 1982. [http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X\(82\)90253-5](http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X(82)90253-5)

[47] **A. Zerrouki, B. Tedjiza et N. Said.** "Modélisation des Pertes Thermiques dans un Capteur Solaire à Air à deux Passes". *Rev. Energ. Ren.* Vol. 5(2002)49-58.

[48] **P. Naphon and B. Kongtragool,** Theoretical study on heat transfer characteristics and performance of the flat-plate solar air heaters, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 30 8, pp. 1125-1136, 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S0735-1933\(03\)00178-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0735-1933(03)00178-7)

[49] **M. R. I. Ramadan, A. A. El-Sebaei, S. Aboul-Enein and E. El-Bialy,** Thermal performance of a packed bed double-pass solar air heater, *Energy*, vol. 32 8, pp. 1524-1535, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2006.09.019>

[50] **C. D. Ho, H. M. Yeh, T. W. Cheng, T. C. Chen and R. C. Wang,** The influences of recycle on performance of baffled double-pass flat-plate solar air heaters with internal fins attached, *Applied Energy*, vol. 86 9, pp. 1470-1478, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.12.013>

[51] **F. Ozgen, M. Esen and H. Esen,** Experimental investigation of thermal performance of a double-flow solar air heater having aluminium cans, *Renewable Energy*, vol. 34 11, pp. 2391-2398, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2009.03.029>

[52] **K. Sopian, M. A. Alghoul, E. M. Alfegi, M. Y. Sulaiman and E. A. Musa,** Evaluation of thermal efficiency of double-pass solar collector with porous– nonporous media, *Renewable Energy*, vol. 34 3, pp. 640-645, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2008.05.027>

[53] **A. A. El-Sebaei, S. Aboul-Enein, M. R. I. Ramadan, S. M. Shalaby and B. M. Moharram,** Investigation of thermal performance of double pass-flat and vcorrugated plate solar air heaters, *Energy*, vol. 36 2, pp. 1076-1086, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2010.11.042>

[54] **A. Fudholi, M.H. Ruslan, M.Y. Othman, M. Yahya, Supranto, A. Zaharim, and K.Sopian.** "Collector Efficiency of the Double-Pass Solar Air Collectors with Fins". *Selected Topics in System Science and Simulation in Engineering.*

[55] **R. Kumar, M. A. Rosen.** "Performance evaluation of a double pass PV/T solar air heater with and without fins". *Applied Thermal Engineering* 31 (2011) 1402e1410.

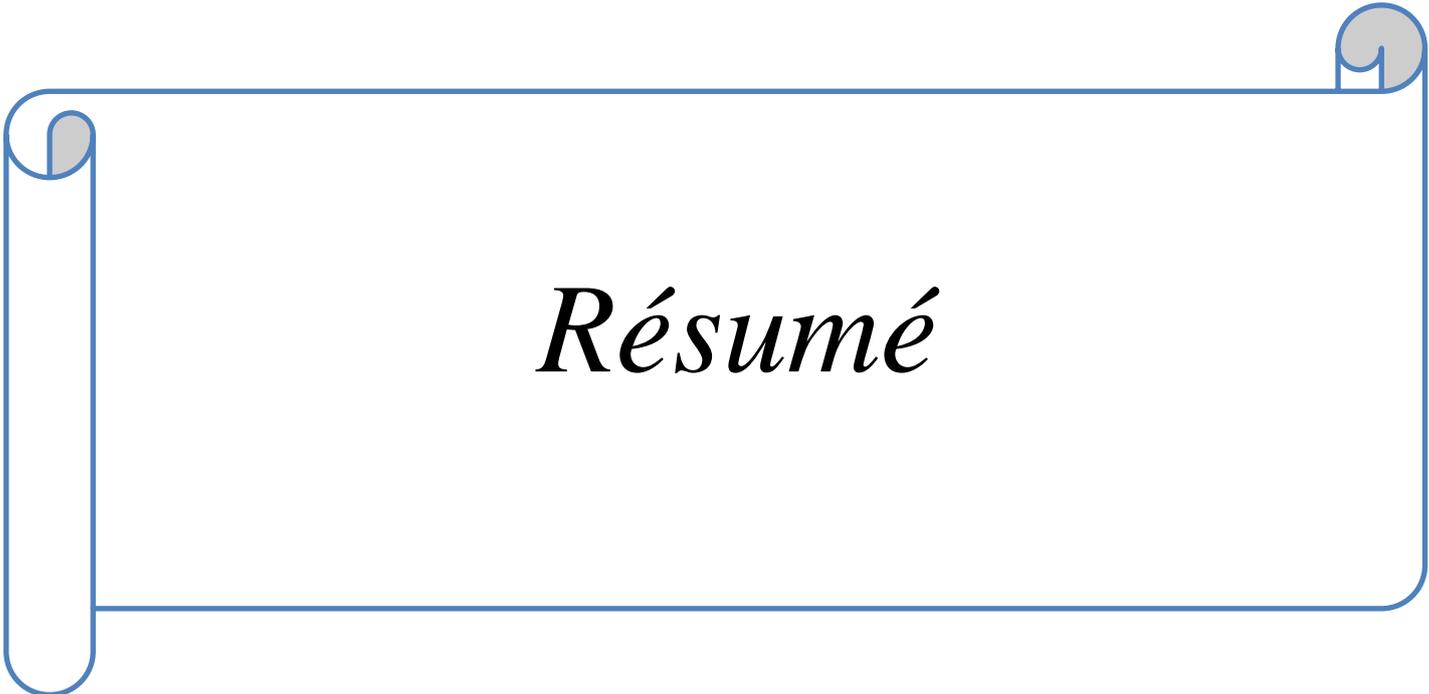
[56] **P. Kumar.** "Effect of Differential Mass Flow Rate on the Thermal Performance of Double Duct Packed Bed Solar Air Heaters". International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'12) Santiago de Compostela (Spain), 28th to 30th March, 2012.

[57] **C.D. Ho, H. Chang, R.C. Wang, C.Sh. Lin.** " Performance improvement of a doublepass

solar air heater with fins and baffles under recycling operation". Applied Energy 100 (2012)155-163.

[58] **S.S. Krishnananth, K.K. Murugavel.** "Experimental study on double pass solar air heater with thermal energy storage". Journal of King Saud University-Engineering Sciences (2012).

[59] **A.Rassam ,A.Chaouch,B.Bourkhiss, M.Ouhassin, T.Lakhlifi, B.Bourkhiss, L.Elwatik.** caractéristique physiue-chimique des eaux usées de la lille d’oudjda (maroc)



Résumé

RESUME

Résumé :

L'écoulement à travers des contractions brusques, dans lequel un fluide s'écoule à travers une conduite de grande section en passant par une contraction vers une conduite de petite section, a été le sujet de nombreuses études avec des fluides non-newtoniens. En raison de sa grande utilité pour comprendre une variété de phénomènes qui existent dans beaucoup d'applications de l'ingénierie tel que le STEP de Tiaret, c'est aussi un problème de base classique utilisé dans les calculs de la rhéologie.

Dans ce cadre, le but de ce travail est de prédire numériquement l'écoulement d'un fluide non-newtonien dans une contraction brusque, de rapport 4:1. La simulation numérique est conduite au moyen du code Fluent. Dans cette étude, nous déterminons les profils de vitesse et de pression en fonction du nombre de Reynolds pour un fluide newtonien (eau usée) et une solution aqueuse de polyacrylamide (PAA), à une concentration de 0.2 % en masse et à une température de 20°C, employée comme un modèle de fluide non-newtonien.

Les résultats obtenus sont comparés à une base de données expérimentale disponible dans la littérature. Les courbes obtenues ont permis la caractérisation de l'écoulement à la traversée de la singularité (contraction brusque) et nous avons montrés l'influence du nombre de Reynolds sur ces profils de vitesse.

Mots clés : STEP, eaux usées, épuration, Gambit et Fluent, vitesse, pression, Reynolds.

ملخص

تدفق الموائع عبر المسارات الضيقة فجائيا المتواجدة في العديد من الأنابيب، يعتبر موضوع بحث للعديد من الدراسات الخاصة بالموائع اللا نوطونية. بسبب أهميتها لفهم أنواع كثيرة من الظواهر المتواجدة في العديد من التطبيقات الهندسية والصناعية على غرار مؤسسة تطهير المياه المستعملة بتيارت، و كذلك باعتبارها عقبة في حل المسائل المتعلقة بعلم الريولوجيا.

في هذا الإطار، يمثل البحث المقدم استقراء رقمي للتدفق الموائع الغير نيوطونية عبر مسار ضيق فجائي بنسبة 4:1. محاكات البحث تمت بواسطة برمجية Fluent و Gambit التي تسعى لحديد المظهر السرعة و الضغط بدلالة عدد رينولدز لمادة " الماء المستعمل" و محلول polyacrylamide (PAA) في ظروف مناخية عادية.

النتائج المحصل عليها قورنت بنتائج الاختبارات المتوفرة في المراجع المعترف بها. حيث أظهرت الآثار السلبية للمسارات الضيقة في الأنابيب على تدفق هذا النوع من الموائع.

الكلمات المفتاحية: المياه المستعملة، تطهير، مظهر السرعة، الضغط، Gambit، Fluent، رينولدز

Abstract

The flow through sudden contractions, in which a fluid flows through a large section pipe through a contraction towards a small section pipe, has been the subject of numerous studies with non-Newtonian fluids. Because of its great utility in understanding a variety of phenomena that exist in many engineering applications such as Tiaret's STEP, it is also a classic basic used problem used in rheology calculations.

In this context, the goal of this work is to predict numerically the flow of a non-Newtonian fluid in a sudden contraction, ratio 4: 1. The numerical simulation is conducted using the Fluent code. In this study, we determine the velocity and pressure profiles as a function of the Reynolds number for a Newtonian fluid (waste water) and an aqueous solution of polyacrylamide (PAA), at a concentration of 0.2% by mass and at a temperature of 20 ° C, used as a non-Newtonian fluid model.

The results obtained are compared to an experimental database available in the literature. The curves obtained allowed the characterization of the flow at the crossing of the singularity (sudden contraction) and we have shown the influence of the Reynolds number on these velocity profiles.

Key words: STEP, wastewater, treatment, Gambit and Fluent, velocity, pressure, Reynolds.