

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**



UNIVERSITE DE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT HYDRAUIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION

DU DIPLOME MASTER

OPTION : Hydraulique urbaine

THEME

L'étude de Hydrodynamique et fonctionnement

D'un réservoir

Dirigé par :

M^r. MEZALI FAROUK

Présenté par :

SAHOUANE LAID

Année Universitaire : 2015/2016

Remerciements

*Je remercie tout d'abord dieu qui nous a donné le courage
Pour Terminer ce travail.*

Je remercie sincèrement mon encadreur

M. Mezali Farouk

*Qui a fait beaucoup D'efforts pour m'aider et conseiller
afin de Perfectionner ce travail.*

*Je remercie les membres de jury. D'avoir accepté de juger
mon Travail.*

*Je présente mes chaleureux remerciements à tous les
Enseignants qui m'ont aidé et Orienté durant mes études.*

*Je remercie toute personne ayant contribué de loin
ou de près a la réalisation de ce mémoire.*

Sahouane laid



Dédicace

*Je rends un grand hommage
À travers ce modeste travail, en signe de
Respect et de reconnaissance envers :*

Ma mère

*Pour tous les sacrifices et leur
Soutien moral et matériel dont ils ont fait
Preuve pour que je réussisse.*

Je le dédie également à :

Tous Mes Frères

Toutes Mes Sœurs

Tous Mes Amis

*En un mot, à tous ceux qui ont contribué
De près ou de loin pour m'aider.*

Sahouane laid.

SOMMARIE

SOMMARIE

Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des graphes	
Introduction général	

CHAPITRE I : Généralité d'un réservoir

I.1.	Introduction	1
I.2.	Définition	2
I.3.	Caractéristiques principales d'un réservoir	2
I.4.	Rôle des réservoirs	2
I.5.	Emplacement des réservoirs	3
I.6.	Classification des réservoirs	3
	A) Leurs positions par rapport au sol	3
	B) Leurs formes	3
	C) La nature du matériau de construction	3
I.7.	Choix du type de réservoir	3
I.8.	Principe de fonctionnement des réservoirs	4
I.9.	Les équipements des réservoirs	4
	I.9.1. Conduite d'adduction	4
	I.9.2. Conduite de distribution	7
	I.9.3. Conduite du trop-plein	9
	I.9.4. Conduite de vidange	11
	I.9.6. Conduite BY-PASS	13
	I.9.7. Matérialisation de la réserve d'incendie	14
I.10.	Calcul de la capacité des ouvrages de stockage	14
I.10.1.	Les réservoirs de stockage	14
	A) Le volume de la réserve	14
	B) Méthode Analytique	14
	➤ Section du réservoir	17
	➤ Diamètre du réservoir	17
	C) La hauteur d'incendie	18
	CONCLUSION	19

CHAPITRE II : Problématique d'un réservoir

II.	Introduction	20
	1 ^{er} Partie hydraulique :	
II.1.	Facteurs physicochimiques influençant la dégradation de la qualité de l'eau	20
	a) Le pH et minéralisation	20
	b) Température	21
	c) Oxygène dissous	22
	d) Turbidité	23
	e) Ammonium	25

f)	Matières organiques	26
g)	Désinfectant résiduel	27
h)	Les facteurs organoleptiques : indicateurs de qualité	27
➤	La nature de la ressource	27
➤	Le traitement	27
➤	Réservoir	27
i)	Influence des phénomènes de corrosions sur la qualité de l'eau	29
II.2.	Consignes et procédures pour limiter le risque de contamination et de dégradation de la qualité	29
a.	La qualité de l'eau produite	29
b.	Traitements de désinfection	29
c.	Le chlore	30
d.	Le Dioxyde de chlore	30
e.	Filtration lente de l'eau	30

2^{eme} Partie : Génie civil

II.3.	Traitement des armatures corrodées et reconstitution de l'enrobage	31
II.3.1.	Traitement des fissures	31
II.3.2	Régénération des bétons carbonates et/ou chlores	33
II.3.3.	Traitement de l'étanchéité de la coupole	33
II.3.4.	Imperméabilisation de l'intrados de coupole de couverture	36
II.3.5.	Traitement de l'étanchéité de la cuve	37
II.3.6.	Imperméabilisation des parements extérieurs (ravalement)	38
II.3.7.	Mise en conformité des accès et remplacement de serrureries diverses	38
Conclusion	40

CHAPITRE III : Modélisation physique et mathématique

III.	Introduction	41
III.1.	Phénomènes instationnaires et non linéaires	41
III.1.1.	Phénomènes dissipatifs	41
III.1.2.	Phénomènes tridimensionnels et rotationnels	41
III.1.3.	Phénomènes diffusifs	42
III.1.4.	Phénomènes imprédictibles	42
III.2.	La modélisation des écoulements turbulents incompressible	42
III.3.	Équations de conservation de la masse	42
III.3.1.	Enoncé du principe	42
III.3.2.	Equation ponctuelle	43
III.3.3.	Cas des fluides incompressibles	43
III.4.	Equations des quantités de mouvement	43
III.4.1.	Enoncé du principe	43
III.5.	Equations dynamiques ponctuelles	44
III.6.	Equations de la dynamique de fluides visqueux	44
III.7.	Equations de Reynolds et tensions de Reynolds	46
III.8.	Équations de Navier-stokes	47
III.9.	Le problème de la fermeture	47
III.10.	Classification des modèles de turbulence	47
III.11.	Les modèles au premier ordre	50
a.	Modèles algébriques ou à 0 équation de type longueur de mélange	50
b.	Le modèle k-ε	50

1) Equation de k	50
2) Equation de la dissipation ϵ	51

CHAPITRE IV : Expérimentation et modèle réduit

IV.1. Introduction	53
IV.2. Description des instruments de laboratoire	53
IV.3. Prototype	53
IV.4. Les principaux objectifs pédagogiques du réservoir sont	53
IV.5. Dimensions	53
IV.6. Présentation d'expérience	54
A. 1 ^{er} essai	54
1) Détermination de débit de sortie du réservoir	54
2) Détermination de la vitesse	55
3) Détermination de la section de conduite	55
4) Les résultats	56
B. 2 ^{eme} essai	56
C. 3 ^{eme} essai	58
D. 4 ^{eme} essai	59
I. 5 ^{eme} essai	61
II. 6 ^{eme} essai	63
Conclusion	64

CHAPITRE V : Simulation numérique de fonctionnement d'un réservoir

V.1 Introduction	65
V.2 Présentation du programme.....	65
V.3 Fonctionnement et Modélisation géométrique	66
V.3.1- Choix de la dimension du modèle	66
V.3.2- Choix du modèle physique	67
V.3.4- Dessin de la géométrie.....	68
V.3.5- Propriétés des matériaux	69
V.4 Maillage et vérification Modèle (mesh)	71
V.5 Les paramètres et les dimensions de configurations étudiées	71
V.6 COMSOL Setup	71
V.6.1. Partie calcul	72
V.6.2. Affichage des résultats	72
a) Ecoulement de référence	72
1 ^{er} exemple	72
2 ^{eme} exemple	72
3 ^{eme} exemple	72
a) Champs des vitesses	73

b) Champs Pression	76
c) surface de concentration	79
V.7 Conclusion	82
Concilsion général	

Listes des figures

Figure (I.1) : Réservoir de stockage de type semi-enterré (de la commune de Medjedel).....	1
Figure (I.2) : Coupe transversale d'un réservoir de stockage de type semi-enterré.....	4
Figure (I.3.1) : conduite d'adduction de la partie supérieure.....	5
Figure (I.3.2) : Conduite d'adduction du fond.....	5
Figure (I.3.3) : Conduite d'adduction (d'arrivée) photo réel de réservoir de notre étude.....	6
Figure (I.4) : Conduite de distribution.....	7
Figure (I.4.1) : Conduite de distribution photo réel de réservoir de notre étude.....	9
Figure (I.5): Conduite de trop plein.....	9
Figure (I.5.1): Conduite de trop pleine photo réelle de réservoir de notre étude.....	10
Figure (I.6): Conduite de vidange.....	11
Figure (I.6.1): Conduite de vidange photo réel de réservoir de notre étude.....	12
Figure(I.7): Conduite de by-pass.....	13
Figure (I.8) : Matérialisation de la réserve d'incendie.....	14
Figure (II.1) : dispositif de mesure PH.....	21
Figure (II.2) : dispositif de mesure d'Oxygène dissous.....	22
Figure (II.3) : dispositif de mesure le turbidité.....	24
Figure (II.5) : l'ammonium en nitrites.....	25
Figure (II.6) : Matières organiques.....	26
Figure (II.7) : les fissures qui nécessitent un traitement.....	32
Figure (II.8) : l'étanchéité de la coupole (mauvaise état de l'étanchéité).....	35
Figure (II.9) : Imperméabilisation de l'intrados de coupole de couverture.....	36
La Figure (V-1): maillage des modèles étudiés.....	71
Figure (V-2) : Evolution de vitesse [m/s] d'écoulement de fluide au sein de réservoir de Turbulents (temps 0.052528 s).....	73
Figure (V-3) : Evolution de vitesse [m/s] d'écoulement de fluide au sein de réservoir de Turbulents (temps =0.02922 s).....	74
Figure (V-4) : Evolution de vitesse [m/s] d'écoulement de fluide au sein de réservoir de Turbulents (temps =0.062653 s).....	74
Figure (V-8) : Evolution de pression [Pa] au sein de réservoir pour différentes hauteurs du turbulents (temps 0.052528 s).....	75
Figure (V-9) : Evolution de pression [Pa] au sein de réservoir pour différentes hauteurs du turbulents (temps =0.02922 s).....	75
Figure (V-10) : Evolution de pression [Pa] au sein de réservoir pour différentes hauteurs du turbulents(temps=0.062653s).....	76
Figure (V-11): Evolution de concentration [mol/m ³] au sein de réservoir pour différentes hauteurs du turbulents (temps 0.052528 s).....	77
Figure (V-12): Evolution de concentration [mol/m ³] au sein de réservoir pour différentes hauteurs du turbulents (temps =0.062653 s).....	80
Figure (V-13): Evolution de concentration [mol/m ³] au sein de réservoir pour différentes hauteurs du turbulents (temps =0.02922 s).....	80

Listes des tableaux

Tableau (I.1) : détermination analytique de la capacité du réservoir Medjedel.....	16
Tableau (II.1) : Exemples de microorganismes produisant des problèmes organoleptiques.....	27
Tableau (II.2) : Problèmes organoleptique et d'origines physico-chimiques.....	28
Tableau (IV-1) : les résultats d'étude de 1 ^{er} essai.....	57
Tableau (IV-2) : les résultats d'étude de 2 ^{ème} essai.....	59
Tableau (IV-3) : les résultats d'étude de 3 ^{ème} essai.....	60
Tableau (IV-4) : les résultats d'étude de 4 ^{ème} essai.....	60
Tableau (IV-5) : les résultats d'étude de 5 ^{ème} essai.....	61
Tableau (IV-6) : les résultats d'étude de 6 ^{ème} essai.....	63
Tableau (V-1) : le paramètre d'étude.....	70

Listes des Graphes

Grphe (IV.1) : L'évolution du débit en fonction du temps dépollution.....	62
Grphe (IV.2) : L'évolution du nbr de Reynold en fonction de temps dépollution.....	62
Grphe (IV. 3) : L'évolution du débit en fonction de temps dépollution.....	63

Introduction générale

Le parc algérien de réservoir de stockage d'eau potable compte près de 4000 réservoirs (Hammoun et al, 2014). D'où l'importance de notre étude qui vise à mettre en lumière l'hydrodynamique et le fonctionnement d'un réservoir.

Nous avons choisi comme un ouvrage pour notre étude, un réservoir prototype cylindrique.

Mon objectif tout au long du projet de fin d'études a été de mener à bien les différentes expériences afin de comprendre en mieux le fonctionnement hydrodynamique d'un réservoir.

Le premier chapitre du projet de fin d'étude consacrée au diagnostic, la définition et fonctionnement d'un réservoir exemple (de la commune de MEDJEDEL) qui a, selon les normes une capacité de 550 m^3 , de type semi-enterré.

Le deuxième chapitre du projet de fin d'étude consacrée au Problèmes de réservoir, ce chapitre contient deux sous-chapitres : (l'hydraulique et génie civile).

- Les Problèmes de l'hydraulique de Facteurs à l'origine de la dégradation de la qualité de l'eau dans le réservoir.
- Les Problèmes de Génie civile de mur et de coupole d'un réservoir.

Le troisième chapitre intitulé : Modélisation mathématique et physique où nous allons étudier les équations de fluide d'écoulement incompressible (Navier – Stokes et Reynolds).

Le quatrième chapitre intitulé : Expérimentation et modèle réduit d'un réservoir.

Le cinquième chapitre intitulé : La simulation numérique par logiciel COMSOL multi physiques.

CHAPITRE I :

GENERALITE D'UN RESERVOIR

I.1. Introduction :

on peut classer les réservoirs selon leur position par rapport au sol en deux types; à savoir le réservoir surélevé et le réservoir au sol . lorsque la topographie permet de disposer d'un point haut , on construit un réservoir au sol . En revanche , lorsque le terrain ne présente pas de point suffisamment élevé, on opte pour un réservoir surélevé

Le réservoir de la commune de MEDJEDEL, construit dans le cadre du présent projet, a une capacité de $2*500 \text{ m}^3$. Il comprend un ouvrage d'entrée, un ouvrage de sortie et un ouvrage de vidange et de trop plein.

Une conduite de By-pass permet la continuité de l'exploitation en cas d'isolement du réservoir. L'ouvrage d'entrée est équipé d'une vanne de régulation de niveau avec limitation de débit $Q = 450 \text{ l/s}$

La mesure de niveau dans le réservoir est assurée par sonde piézoélectrique. L'affichage est assuré par un afficheur placé en face avant du coffret de télégestion



Figure (I.1) : Réservoir de stockage de type semi-enterré (de la commune de Medjedel)

I.2. Définition:

Les réservoirs sont des ouvrages hydrauliques aménagés pour contenir l'eau, soit potable destinée à la consommation publique ou à l'usage industriel.

A cet effet, ils doivent satisfaire certains impératifs, à savoir : la résistance, l'étanchéité et la durabilité.

I.3. Caractéristiques principales d'un réservoir :

Les réservoirs d'eau potable ont quatre paramètres importants, qu'on détermine avant la phase de conception :

- Le type du réservoir (enterré, semi-enterré, surélevé).
- L'emplacement.
- Le volume.
- La pression.

I.4. Rôle des réservoirs:

Les réservoirs ont pour principaux rôles [BONNIN, J] :

- ✓ Assurer la continuité de distribution pendant l'arrêt de la pompe ;
- ✓ Servir de liaison entre deux régimes, l'apport d'eau qui est uniforme et la distribution qui est variable.
- ✓ Emmagasiner de l'eau pendant toute la durée de fonctionnement de la station de pompage.
- ✓ Milieu où on peut traiter l'eau à l'aide de chlore.
- ✓ Réduction des investissements sur les ouvrages de production et le réseau de distribution.
- ✓ Réduction des dépenses d'énergie (stockage la nuit et distribution gravitaire pendant les heures de pointe).
- ✓ Assurer une réserve d'incendie.
- ✓ Assurer les pressions nécessaires en tout point du réseau.
- ✓ Maintenir l'eau d'une température constante et préserver des contaminations.

I.5. Emplacement des réservoirs :

L'emplacement des réservoirs dépend essentiellement des données topographiques et de la nature du terrain. Malgré qu'on a des réservoirs existants, leurs emplacement doit respecter les aspects suivants:

- ✓ L'emplacement du réservoir doit être aussi choisi de telle façon à pouvoir satisfaire les abonnés en pression suffisante.
- ✓ Etre le plus près possible du centre de gravité de l'agglomération qu'il a à assurer.
- ✓ L'alimentation du réseau doit se faire par gravité.
- ✓ La cote du radier doit être supérieure à la plus haute cote piézométrique exigée dans le réseau, ce qui est respecté dans le cas de la ville étudiée dans le présent mémoire.

II.5. Classification des réservoirs:

Les réservoirs peuvent être classés selon [BONNIN, J]:

A) Leurs positions par rapport au sol

- ✓ Enterrés.
- ✓ Semi-enterrés.
- ✓ Surélevés ou sur tour appelés aussi châteaux d'eau.

B) Leurs formes

- ✓ Circulaires.
- ✓ Carrés et rectangulaires.
- ✓ De forme quelconque.

C) La nature du matériau de construction

- ✓ Les réservoirs métalliques.
- ✓ Les réservoirs en maçonnerie.
- ✓ Les réservoirs en béton armé ordinaire ou précontraint.

I.7. Choix du type de réservoir:

On optera pour des réservoirs circulaires semi-enterrés pour les motifs suivants :

- ✓ L'étude architecturale est simplifiée.
- ✓ L'étanchéité est facile à réaliser.
- ✓ Conservation de l'eau à une température constante.
- ✓ Les frais de terrassement sont moins onéreux.

Le réservoir projeté est de type semi-enterré, schématisé dans la figure (V.1) suivante :

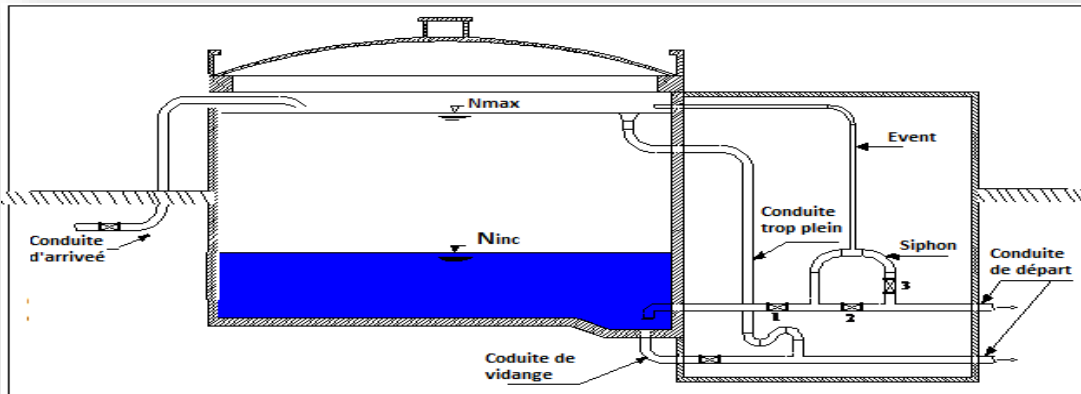


Figure (I.2) : Coupe transversale d'un réservoir de stockage de type semi-enterré

I.8. Principe de fonctionnement des réservoirs :

La régularisation des débits (demande et apport), est assurée comme suit :

- ✓ Les installations et accessoires d'adduction permettent d'amener l'eau avec un débit pratiquement régulier.
- ✓ La conduite de distribution transite des quantités de l'eau qui varient dans le temps, c'est-à-dire en fonction de la distribution.
- ✓ Le réservoir stocke pendant les heures de faible consommation les différences positives entre les débits (adduction et distribution) et les fournit au réseau de distribution lors des heures de consommation maximum (heure de pointe).

I.9. Les équipements des réservoirs :

I.9.1. Conduite d'adduction :

C'est la conduite qui assure l'apport du réservoir, cette conduite peut être placée soit à la partie supérieure de celui-ci (Figure (I.3.1)(I.3.3)), soit au fond (Figure (I.3.2)).

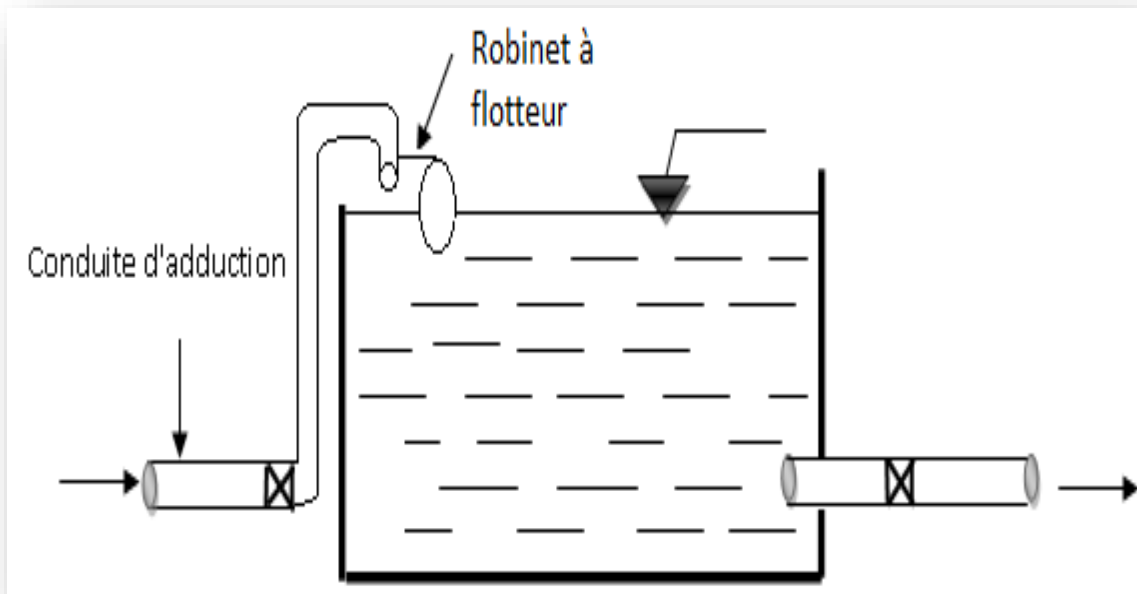


Figure (I.3.1) : conduite d'adduction de la partie supérieure

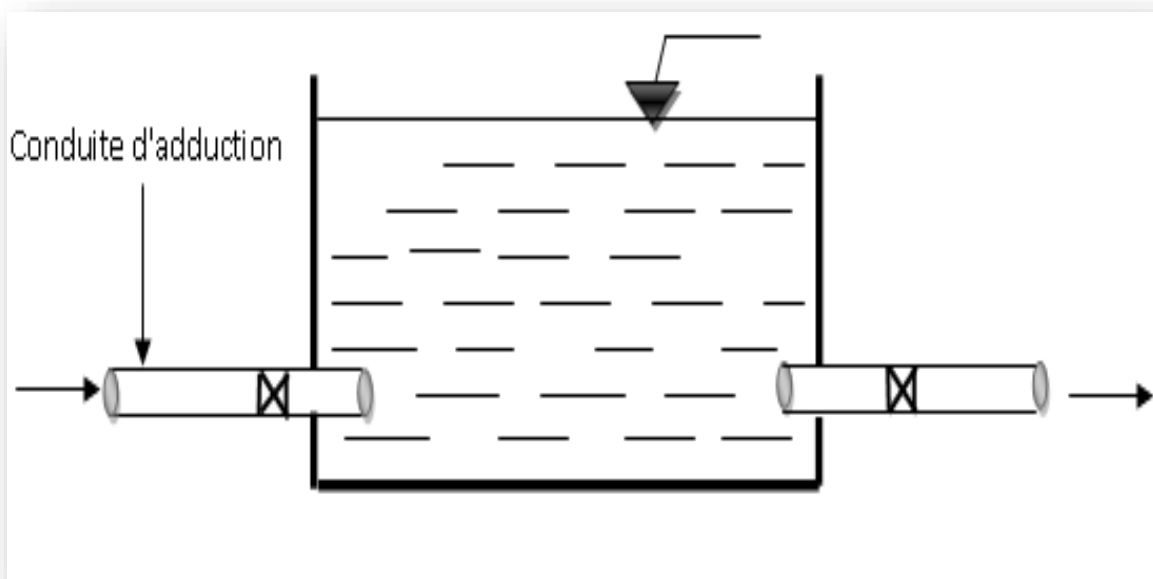


Figure (I.3.2) : Conduite d'adduction du fond



Figure (I.3.3) : Conduite d'adduction (d'arrivée) photo réel de réservoir de notre étude

I.9.2. Conduite de distribution:

Le départ de la conduite de distribution s'effectue à 0.20 m au dessus du radier afin d'éviter l'introduction des matières et sables décantés dans la cuve (Figure (I.4)(I.4.1).

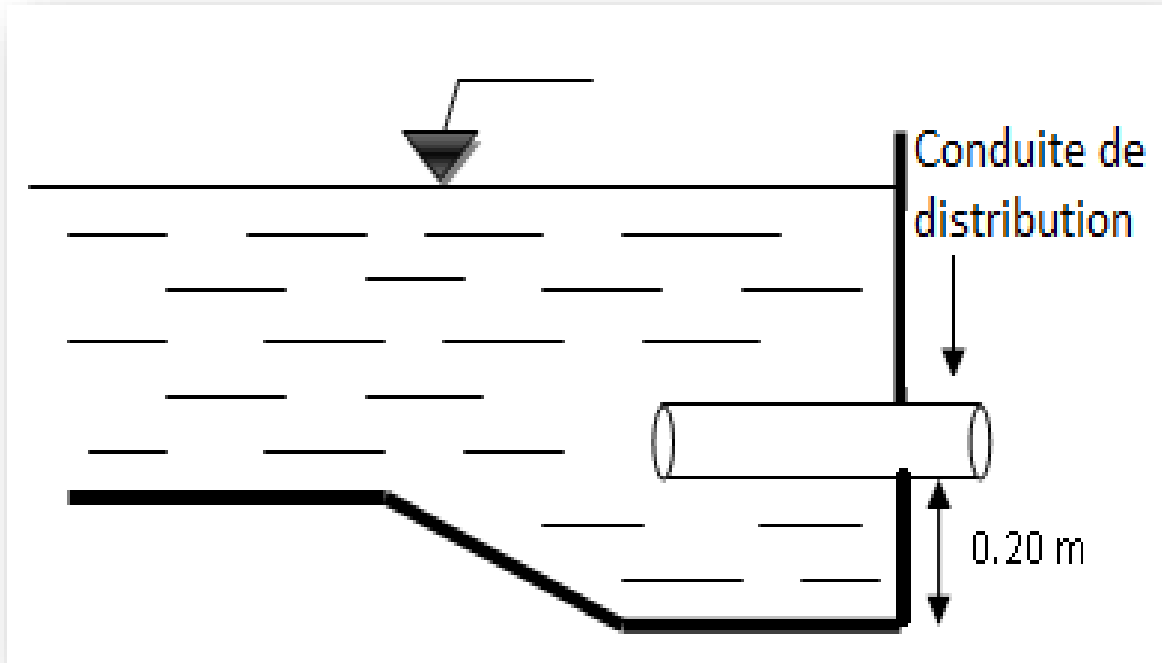


Figure (I.4) : Conduite de distribution



Figure (I.4.1) : Conduite de distribution photo réel de réservoir de notre étude

I.9.3. Conduite du trop-plein :

La conduite du trop-plein (Figure (I.5)(I.5.1)), est destinée à empêcher l'eau de dépasser le niveau maximal, elle se termine par un système simple à emboîtement. L'extrémité de cette conduite doit être en forme de siphon afin d'éviter l'introduction de certains corps nocifs dans la cuve.

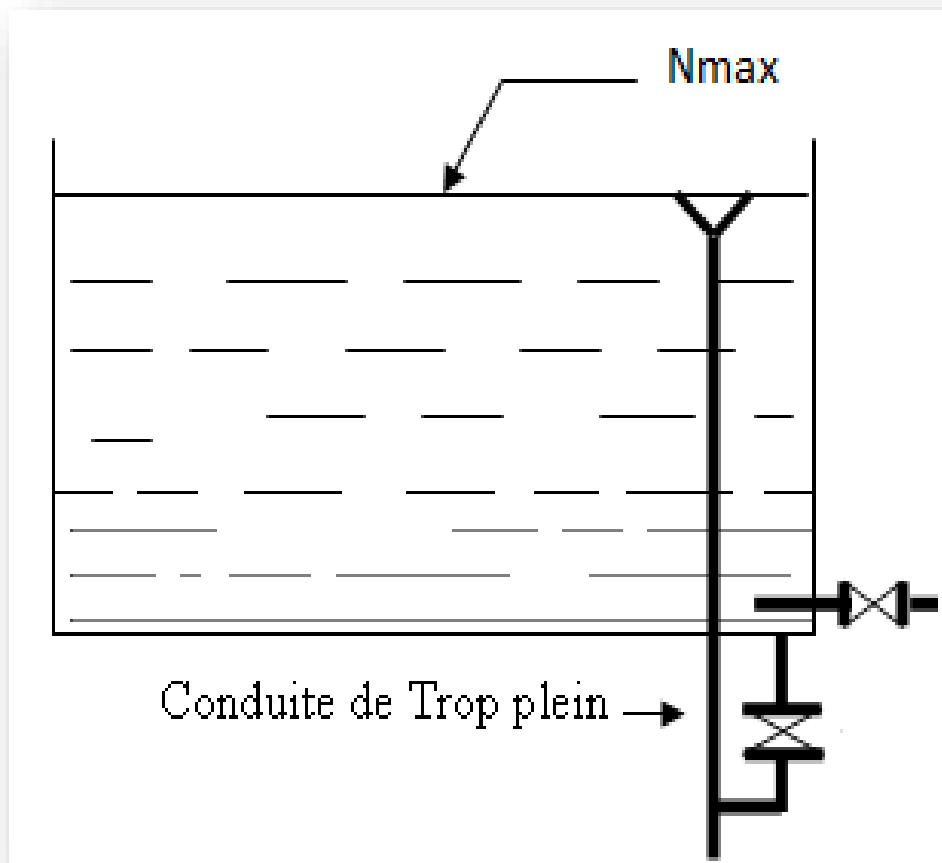


Figure (I.5): Conduite de trop plein



Figure (I.5.1): Conduite de trop pleine photo réelle de réservoir de notre étude

I.9.4. Conduite de vidange :

La conduite de vidange se trouve au point le plus bas du réservoir, elle permet la vidange du réservoir pour l'entretien ou le nettoyage. A cet effet, le radier du réservoir est conçu avec une pente vers son origine. Cette conduite est raccordée à la conduite de trop-plein et comporte un robinet-vanne (Figure (I.6)(I.6.1)).

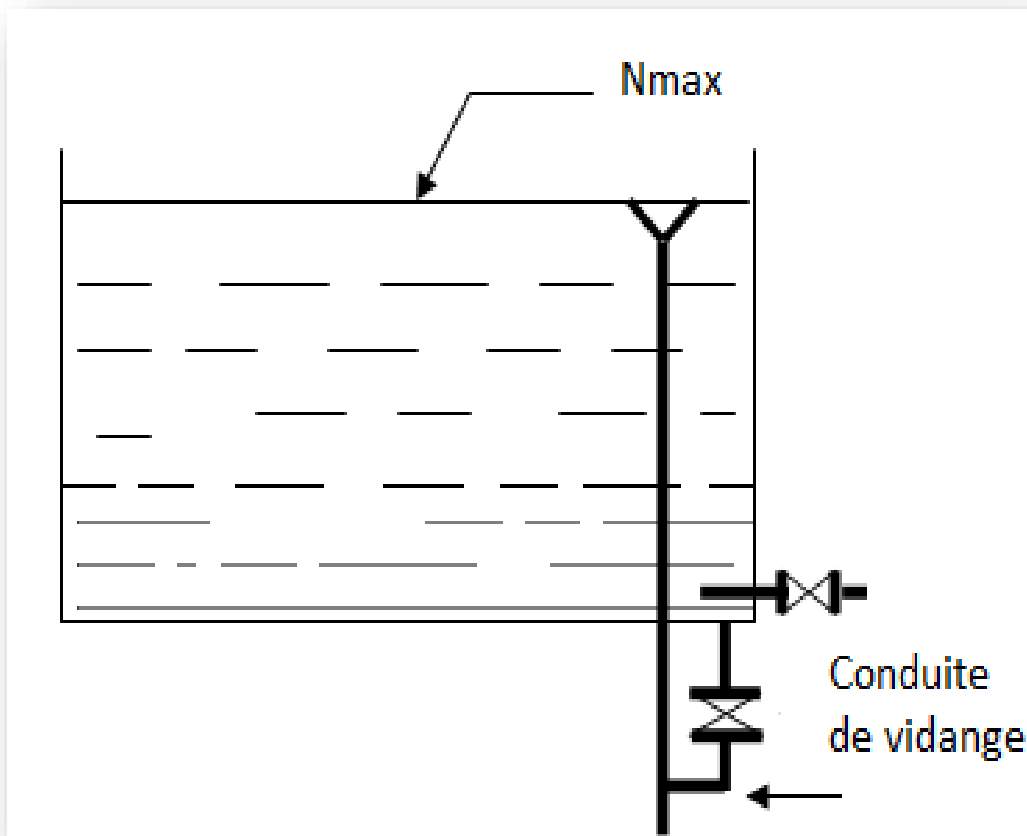


Figure (I.6): Conduite de vidange

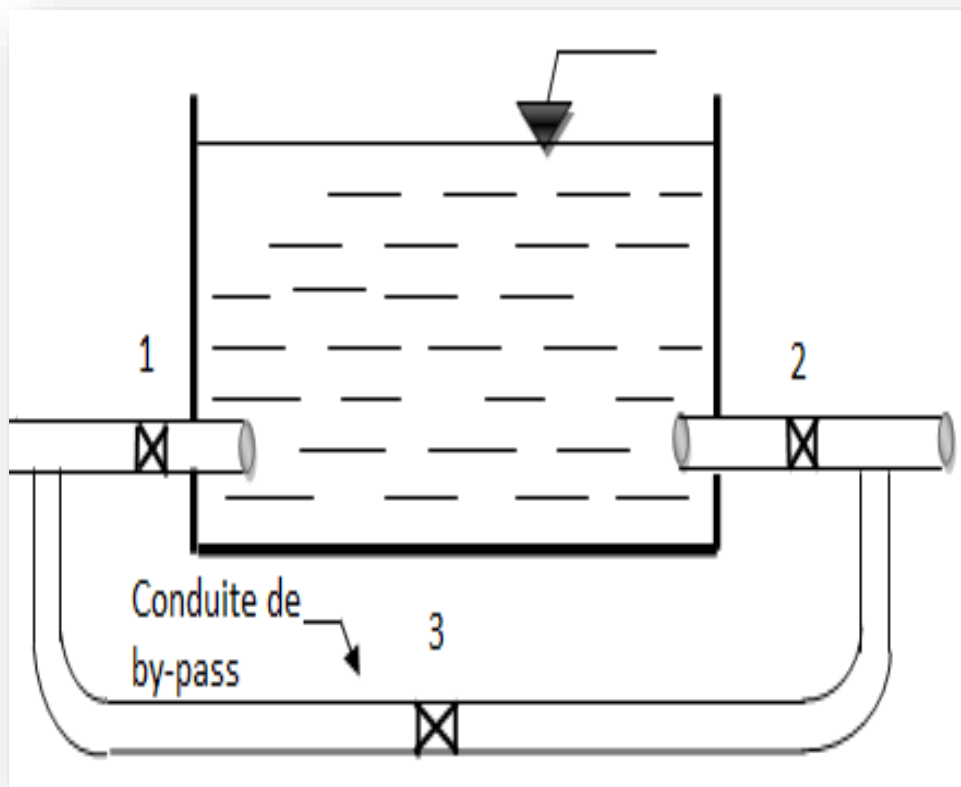


Figure (I.6.1): Conduite de vidange photo réel de réservoir de notre étude

I.9.6. Conduite BY-PASS:

Elle relie la conduite d'adduction à celle de distribution (Figure (I.7)) et assure la distribution pendant le nettoyage du réservoir, son principe de fonctionnement est le suivant :

- ✓ Fonctionnement normal : les vannes 1 et 2 sont ouvertes, la vanne 3 est fermée.
- ✓ En BY-PASS : les vannes 1 et 2 sont fermées, la vanne 3 est ouverte.



Figure(I.7): Conduite de by-pass

I.9.7. Matérialisation de la réserve d'incendie :

Pour conserver la réserve d'incendie qui permet de lutter contre les feux éventuels, il faut en éviter son utilisation ; pour cela, la figure (I.8) ci-après présente un système en siphon :

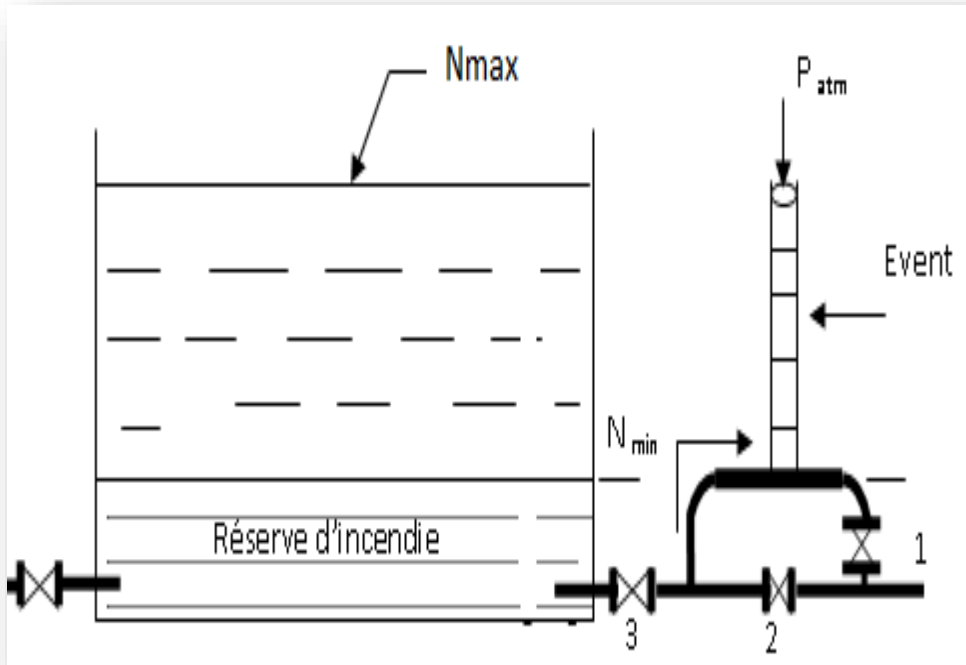


Figure (I.8) : Matérialisation de la réserve d'incendie

L'évent d'un siphon empêche l'utilisation du au dessous du niveau N_{min} tant que la vanne 2 est fermée (vanne d'incendie). Son fonctionnement est le suivant :

- ✓ Normal : 3 et 1 sont ouvertes, la 2 est fermée.
- ✓ Incendie : il suffit d'ouvrir la vanne 2.

I.10. Calcul de la capacité des ouvrages de stockage :

I.10.1. Les réservoirs de stockage :

A) Le volume de la réserve :

On utilise la méthode analytique

B) Méthode Analytique :

Le volume total du réservoir est calculé en tenant compte de la réserve d'incendie.

$$V_R = V_u + V_{inc} \quad (I.1)$$

Avec :

- ✓ V_{inc} : Volume d'incendie = 120 m³.
- ✓ V_u : Volume maximal de stockage du réservoir est déterminé à partir de la formule suivante :

$$V_U = \frac{P\% Q_{max.j}}{100} \quad (I.2)$$

Avec :

- ✓ V_u : Volume utile de stockage en (m³).
- ✓ $Q_{max.j}$: Débit maximal journalier en (m³/j).
- ✓ $P\%$: Pourcentage du résidu maximum dans le réservoir en (%), il est donné par la formule (III.3) ci-après :

$$P = |V^+| + |V^-| \quad (I.3)$$

Avec :

- ✓ V^+ : Valeur maximale de surplus.
- ✓ V^- : Valeur minimale de déficit.

Le réservoir que nous voulons dimensionner est celui qui assure l'alimentation la commune de MEDJEDEL et comme le nombre d'habitant est de **10161** habitants, la valeur de β_{max} est de **1,5** et celle de α_{max} est de **1,2**, donc $K_{max h} = 1,8$.

Le tableau (I.1) ci-dessous donne le calcul de la capacité du réservoir de MEDJEDEL

<i>Heures</i>	<i>Refoulement d'eau (m³/h)</i>	<i>Refoulement d'eau (%)</i>	<i>Distribution (m³/h)</i>	<i>Distribution (%)</i>	<i>Surplus (%)</i>	<i>Déficit (%)</i>	<i>Résidu (%)</i>
0--1	136.11	5.56	24.50	1.00	4.56		4.56
1--2	136.11	5.56	24.50	1.00	4.56		9.11
2--3	136.11	5.56	24.50	1.00	4.56		13.67
3--4	136.11	5.56	24.50	1.00	4.56		18.22
4--5	136.11	5.56	49.00	2.00	3.56		21.78
5--6	136.11	5.56	73.50	3.00	2.56		24.33
6--7	136.11	5.56	122.50	5.00	0.56		24.89
7--8	136.11	5.56	159.25	6.50		-0.94	23.94
8--9	136.11	5.56	159.25	6.50		-0.94	23.00
9--10	136.11	5.56	134.75	5.50	0.06		23.06
10--11	136.11	5.56	110.25	4.50	1.06		24.11
11--12	0.00	0.00	134.75	5.50		-5.50	18.61
12--13	0.00	0.00	171.50	7.00		-7.00	11.61
13--14	0.00	0.00	171.50	7.00		-7.00	4.61
14--15	0.00	0.00	134.75	5.50		-5.50	-0.89
15--16	0.00	0.00	110.25	4.50		-4.50	-5.39
16--17	0.00	0.00	122.50	5.00		-5.00	-10.39
17--18	136.11	5.56	159.25	6.50		-0.94	-11.33
18--19	136.11	5.56	159.25	6.50		-0.94	-12.28
19--20	136.11	5.56	122.50	5.00	0.56		-11.72
20--21	136.11	5.56	110.25	4.50	1.06		-10.67
21--22	136.11	5.56	73.50	3.00	2.56		-8.11
22--23	136.11	5.56	49.00	2.00	3.56		-4.56
23--24	136.11	5.56	24.50	1.00	4.56		0.00
Total	2,450.00	100.00	2,450.00	100.00	38.28	-38.28	0.00

Tableau (I.1) : détermination analytique de la capacité du réservoir Medjedel

D'après le tableau (I.1) ci-dessus, la valeur du résidu maximal est donc :

$$P = 24.89 + 12.28 = 37.17 \text{ (\%)}$$

Et le volume utile de stockage est de :

$$V_u = \frac{37.17 * 2450}{100} \Rightarrow V_u = 910.66 \text{ m}^3$$

Donc le volume total de stockage est :

$$V_R = V_u + V_{inc} = 910.66 \text{ m}^3 + 120 = 1030.66 \text{ m}^3$$

Par conséquent, le volume normalisé du réservoir projeté est : $V_R = 550 \text{ m}^3$.

➤ **Section du réservoir**

Pour une colonne d'eau de 5 m, on détermine la section qui est :

$$V = S.H$$

Où :

V : Volume total du réservoir ;

H : Hauteur d'eau dans le réservoir.

EMBED Equation 3

$$S = 69 \text{ m}^2$$

➤ **Diamètre du réservoir:**

Après avoir déterminé la capacité du réservoir, on fixe sa hauteur **H = 8m**, son diamètre est donné par la formule ci-après :

$$D = \sqrt{\frac{4 * V_R}{\pi * H}} \quad (I.5)$$

Par conséquent :

$$D = \sqrt{\frac{4 * 550}{\pi * 8}} \Rightarrow D = 9.35 \text{ m}$$

Donc le diamètre du réservoir projeté sera de **9.35 m ⇒ 9 m**.

C) La hauteur d'incendie :

La hauteur d'incendie est celle occupée par la réserve d'incendie, elle est calculée comme suit :

$$H_{inc} = \frac{4 * V_{inc}}{\pi * D^2} \quad (I.6)$$

Donc :

$$H_{inc} = \frac{4 * 120}{3.14 * 9^2} = 1.88 \text{ m}$$

La hauteur occupée par la réserve d'incendie sera de **1,88 m**.

CONCLUSION :

Les réservoirs de la commune de **MEDJEDEL** ont selon les normes une capacité de **550 m³**, *semi-enterré* d'une hauteur de **8m**, H_{inc} de **1.88 m**, avec diamètre qui égale **9m** et une altitude de **867.5 m** étanchéité et la durabilité

CHAPITRE II:

PROBLEMATIQUE E D'UN RESERVOIR

I. Introduction

Une bonne connaissance des facteurs qui peuvent influencer la qualité de l'eau dans les réservoirs est indispensable pour les services d'exploitation (en usine de production ou sur le réservoir), afin d'anticiper et d'éviter des problèmes potentiels

Partie hydraulique :

Facteurs à l'origine de la dégradation de la qualité de l'eau dans le réservoir

II.1. Facteurs physicochimiques influençant la dégradation de la qualité de l'eau :**a) Le pH et minéralisation :**

Dans le réservoir, le pH et la minéralisation sont importants pour le contrôle de la corrosion, l'agressivité de l'eau, l'action du désinfectant et la précipitation des éléments dissous. Mais le pH peut varier le long de la distribution du fait d'une évolution de la concentration de CO_2 dissous, ou bien parce que l'eau traitée n'était pas forcément à l'équilibre calcocarbonique en sortie de station.

Une aération dans un réservoir peut rendre une eau dure et incrustante par une perte de CO_2 , ce qui risque alors d'obturer les conduites par dépôt de tartre.

La solution est l'addition de CO_2 et/ou l'extraction de CaCO_3 , qui servent à restaurer l'équilibre.

Inversement, une eau chargée de CO_2 agressif (avec un pH bas) a tendance à attaquer les matériaux qu'elle rencontre avec des conséquences importantes: dissolution de ciments, attaque des métaux ferreux (corrosion) ou attaque de métaux toxiques tels que le plomb.

Des solutions envisageables sont l'élimination de CO_2 agressif, l'addition de chaux pour la mise à l'équilibre calcocarbonique ou un traitement de reminéralisations.

Avec une composition judicieuse, l'eau permet de développer à la surface des matériaux une couche protectrice composée en partie de carbonate de calcium. Il convient de distribuer une eau légèrement sursaturée en carbonate de calcium pour favoriser la formation de ce dépôt protecteur.



Figure (II.1) : *dispositif de mesure PH*

b) Température :

La température des eaux peut varier de plusieurs degrés pendant le hydro dynamique d'eau en réservoir , Les variations de température saisonnières peuvent affecter les eaux, surtout quand elles sont d'origine superficielle

Une température élevée peut favoriser des goûts ou odeurs désagréables.

De plus, elle accélère la plupart des réactions physico-chimiques et biologiques dans le réservoir, influence la croissance bactérienne, dissipe l'effet du désinfectant résiduel en agissant sur les constantes d'équilibre et accélère la corrosion. On a observé sur certains réservoirs en climat tempéré que le nombre de conformes dans des réservoirs variait de façon saisonnière, les plus hauts niveaux se produisant durant les mois d'été. L'activité bactérienne s'accroît nettement lorsque la température dépasse 15°C.

La température joue, aussi un rôle notable lorsque l'on fait des mélanges entre des eaux de composition différentes ; la couche protectrice formée par l'eau légèrement entartrante sur les parois peut ainsi changer de structure et diminuer en épaisseur ce qui n'est pas favorable. La température est aussi un des facteurs le plus important pour la dissolution des éléments tels que le plomb. Sa solubilité, par exemple, augmente de l'ordre de deux fois entre 12° C et 25° C.

Les services des eaux peuvent difficilement agir sur la température de l'eau. Les efforts doivent donc se porter sur d'autres paramètres qui évoluent en fonction de la température. L'ajustement du désinfectant résiduel se fera par exemple en conséquence .

c) Oxygène dissous :

De l'état de saturation à l'entrée du réservoir, l'oxygène dissous peut considérablement diminuer en cours de distribution avec des réactions d'oxydation ou une prolifération bactérienne. Toute baisse de la teneur en oxygène dissous détectée sur le réservoir peut alors être interprétée comme un signe de croissance biologique.

Dans le cas où le réservoir est correctement entretenu, une anaérobiose répandue ne se produit qu'avec des temps de séjour très longs. En revanche, le développement de zones anoxiques est possible localement. Il en résulte des phénomènes de fermentation et bio réduction (transformation de nitrate en nitrite), à l'origine de saveurs désagréables ou de corrosion. De tels problèmes nécessitent une révision des pratiques d'entretien dans le réservoir. La sursaturation en oxygène reste rare.



Figure (II.2) : *dispositif de mesure d'Oxygène dissous*

d) Turbidité :

Si la turbidité de l'eau est supérieure à 0.4, l'action des bactéricides est ralentie, voire annulée. Les colloïdes responsables de la turbidité peuvent protéger les bactéries des oxydants. Ainsi, un traitement de chlore libre à 0.4 ppm pendant une heure, qui donne normalement une garantie bactériologique à l'eau, n'est actif que si la turbidité est inférieure à 0.4.

Dans le réservoir, une turbidité élevée de l'eau révèle les problèmes suivants :

- Précipitation de fer, aluminium ou manganèse, due à une oxydation dans le Réservoir
- précipitation lente de CaCO_3 (ou parfois hydroxydes de magnésium), due à un mauvais ajustement du pH à l'usine de traitement.
- une corrosion importante
- l'agglomération naturelle des colloïdes qui peuvent provenir d'arrachements de biofilm, ou de bactéries agglomérées par leur glycocalyx (polysaccharides présents sur les parois extérieures des bactéries),
- une fuite de matières dans la filière de filtration de l'usine de traitement (on dit que les filtres sont « percés »).

Le paramètre Turbidité est suivi tout particulièrement par les producteurs d'eau car il est aujourd'hui facile à mesurer en continu et permet d'évaluer rapidement la qualité de l'eau produite. En d'autres termes, c'est un excellent indicateur de traitement global

La mesure de turbidité est ainsi un moyen qui permet de s'assurer de l'élimination de certains microorganismes qui résistent au traitement chimique, comme les spores ou les kystes. Seuls les traitements physiques de rétention les retiennent. Comme la turbidité « protège » ces microorganismes, tout comme d'ailleurs les germes qui ne sont pas libres dans l'eau, il y a une bonne corrélation entre l'abattement des microorganismes et la turbidité. Les relations établies dans certaines usines de production d'eau potable pour relier les abattements d'algues, de kystes et autres clostridiiums après traitements et la diminution de la turbidité le prouvent



Figure (II.3) : dispositif de mesure le turbidité

e) Ammonium :

Il est important d'éliminer l'ammonium avant l'introduction de l'eau dans le réservoir parce que l'ammonium réagit avec le chlore pour produire des chloramines, qui sont des désinfectants moins efficaces et peuvent provoquer des goûts désagréables. Certaines bactéries prolifèrent aussi en transformant l'ammonium en nitrites puis en nitrates.

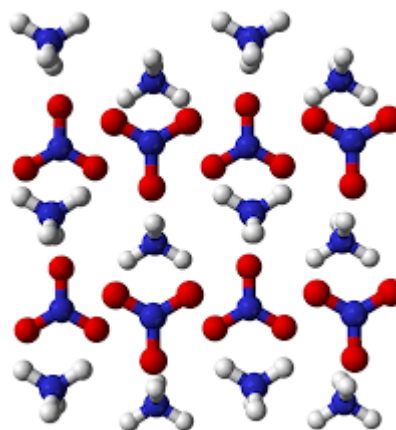
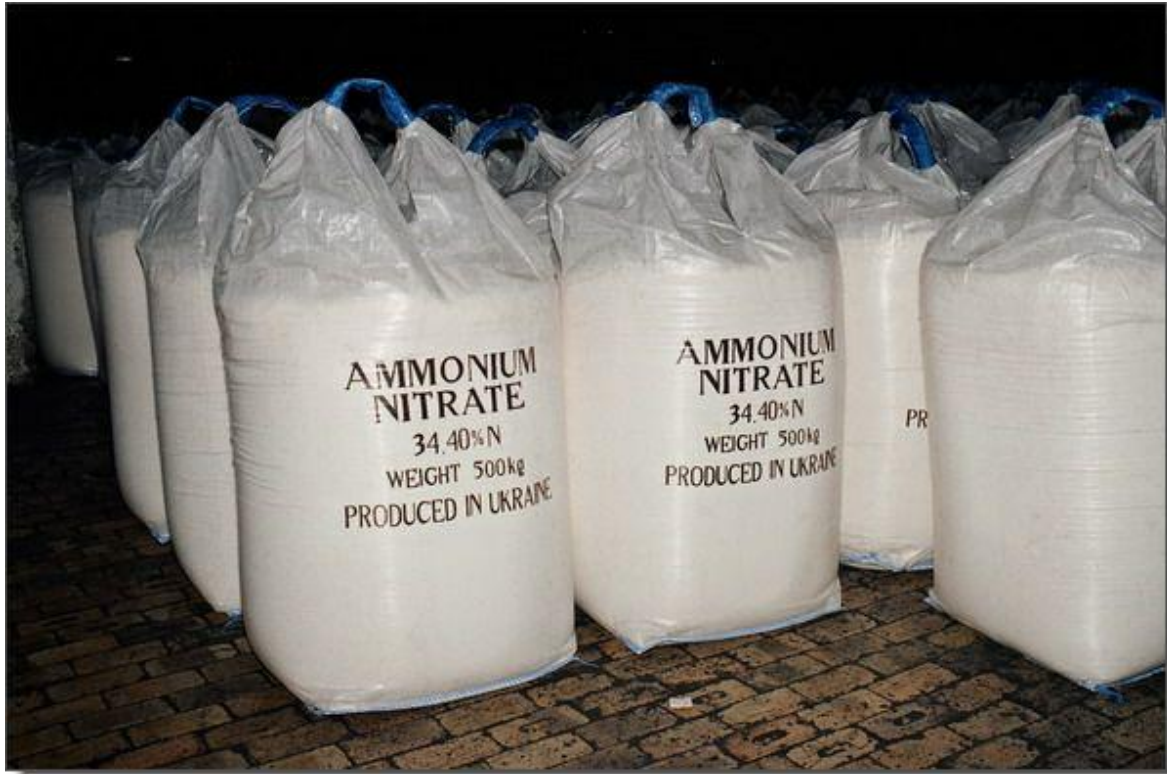


Figure (II.5) : *l'ammonium en nitrites*

f) Matières organiques :

Source nutritive essentielle pour la prolifération bactérienne, le contenu en éléments organiques carbonés est aujourd'hui considéré comme un facteur primordial dans la maîtrise de la qualité microbiologique de l'eau dans le réservoir, une consommation de la matière organique s'accompagne d'un accroissement de la densité bactérienne présente au niveau du biofilm .



Figure (II.6) : Matières organiques

g) Désinfectant résiduel :

Si une baisse du désinfectant résiduel peut entraîner une croissance bactérienne dans le réservoir, l'expérience montre que le maintien du désinfectant résiduel n'assure pas totalement la prévention d'une telle reviviscence

h) Les facteurs organoleptiques : indicateurs de qualité :

Le consommateur est très sensible à toute dégradation organoleptique de l'eau dans le réservoir. Malheureusement, le goût et l'odeur sont les caractéristiques les plus difficiles à maîtriser en raison des multiples causes et interactions, telles que :

- **La nature de la ressource :** les composés présents dans la ressource prélevée et la variation temporelle de qualité (surtout dans les eaux superficielles).
- **Le traitement :** le type et dosage de désinfectant et le passage du désinfectant résiduel dans le réservoir
- **Réservoir :** les matériaux rencontrés dans le réservoir et les conditions chimiques présentes (corrosion, perméation à travers le revêtement, relargage, etc.).

De plus, le problème organoleptique est assez subjectif : par exemple, le chlore peut être considéré comme indésirable « chez soi » ou une assurance de la qualité de l'eau « à l'étranger ».

Quelques problèmes causés par certains microorganismes ou d'origine physicochimique sont présentés dans les Tableaux 1 et 2.

Micro-organisme	Remarque
Streptomyces Nocardia	Plaintes de goût et d'odeur aux concentrations supérieures à 10/100 ml
Désulfovibrio Désulfuricans	Réduction biologique de sulfate en sulfure : goûts et odeurs de sulfures
Actinomycètes Streptomycètes	Goûts de moisi, de vase ou de terre, attribués aux composés géosmine ou méthyl-2-isobornéol

Tableau (II.1) : Exemples de microorganismes produisant des problèmes organoleptiques

Type	Cause	Reconnaissance
Fer	Corrosion Traitement de coagulation (sels de fer utilisés)	3 mg/l seuil de reconnaissance moyen 40 µg/l pour les personnes sensibles
Cuivre	Corrosion	7 mg/l seuil de reconnaissance moyen 3 mg/l pour les personnes sensibles
Zinc	Corrosion	20 mg/l seuil de reconnaissance moyen 5 mg/l pour les personnes sensibles
Revêtement	Plusieurs types	Goûts «pharmaceutique/médicamenteux» ou « solvant/chimique »
Chlore	Chlore résiduel Réactions de chlore avec les matières organiques	Odeurs de chlore pour les consommateurs en tête du réservoir Goûts « pharmaceutique »

Tableau (II.2) : Problèmes organoleptique et d'origines physico-chimiques

La couleur de l'eau peut être directement liée à la présence d'acides humiques dans l'eau. Ceux-ci réagissent, par ailleurs, avec le chlore pour donner des composés organohalogénés indésirables. L'élimination de couleur devra alors être effectuée à l'usine de traitement avant l'entrée de l'eau dans le réservoir

i) Influence des phénomènes de corrosions sur la qualité de l'eau :

Les corrosions sont souvent responsables de la présence de fer, plomb, cuivre, cadmium ou zinc dans les eaux. Elles fournissent un abri contre l'arrachage hydraulique pour les microorganismes, ralentissent l'écoulement et peuvent le modifier localement

La corrosion est causée par des phénomènes électrochimiques localisés très variés (différents mécanismes de corrosion) ; par exemple à pH faible ou lorsque le taux d'oxygène est élevé, elle est souvent aggravée par des bactéries qui accélèrent les réactions

La prévention de la corrosion doit se faire par des précautions au niveau du traitement de l'eau et un entretien adéquat du réservoir

II.2. Consignes et procédures pour limiter le risque de contamination et de dégradation de la qualité :**a. La qualité de l'eau produite :**

Pour assurer la stabilité de la qualité de l'eau distribuée et faire en sorte qu'elle « reste potable ». L'eau devra être parfaitement désinfectée, exempte de particules, avoir un faible excès d'oxydant et un taux aussi faible que possible de matières organiques biodégradables ; tous les équilibres seront ajustés et régulés de manière à éviter entartrage excessif, corrosion et dissolution de matériaux

Dans ce cadre, des traitements de désinfection et de réduction des éléments nutritifs sont suffisamment importants pour que nous rappelions les techniques à utiliser avec leurs avantages et inconvénients.

b. Traitements de désinfection :

L'élimination des microorganismes constitue un objectif essentiel d'une chaîne de traitement d'eau potable. Si les filières de coagulation, clarification et filtration ne permettent pas une totale élimination, même s'ils constituent déjà des « barrières désinfectantes », celle-ci est effectuée par une étape de désinfection dans la station de traitement

Une post-désinfection (désinfection finale) est fréquemment employée afin de laisser un résiduel oxydant actif dans l'eau produite, qui limitera la reviviscence dans le réservoir.

Le choix de procédé de désinfectant devra tenir compte :

- du pouvoir oxydant,
- de la capacité d'inactiver les microorganismes susceptibles d'être présents,
- de la stabilité de l'oxydant sous les conditions anticipées (pH, température, temps de séjour),
- de la potabilité,
- des sous-produits que le désinfectant peut générer,

- Des matériaux dans le réservoir (risque de corrosion ou de réactions avec un oxydant fort),

Quatre types de désinfection sont couramment utilisés juste le réservoir : le chlore, la chloramine, le dioxyde de chlore et les techniques membranaires (encore que ça n'affranchit pas le traiteur d'eau, d'un appoint résiduel en chlore dans la réglementation). Il faut cependant bien comprendre qu'il n'y a pas de désinfectant parfait et qu'il ne faut pas compter exclusivement sur le désinfectant résiduel pour prévenir tout problème bactériologique, l'élimination de la matière organique et des particules en suspension étant tout aussi fondamentale

c. Le chlore

Le chlore présente aussi l'inconvénient de produire des substances sapides, source de plaintes du public sur les goûts et odeurs. Enfin, une concentration élevée d'oxydant conduit à un taux de corrosion important

d. Le Dioxyde de chlore :

La désinfection par dioxyde de chlore est généralement plus chère et plus compliquée à effectuer que celle par chlore. Le dioxyde de chlore doit en effet être synthétisé sur place. La décomposition du dioxyde de chlore peut produire chlorite et chlorate,

e. Filtration lente de l'eau :

Ce traitement « biologique » ne nécessite aucun réactif chimique, son principe est basé sur le passage de l'eau à très faible vitesse (0.1 à 0.5 m/h) au vitesse d'un massif sableux (TE de 0.2 à 0.5 mm) sur une épaisseur de 0.6 à 1 m. Le film biologique (algues, bactéries, zooplancton) qui se développe en surface après quelques semaines contribue à l'élimination du COT et des matières humiques, mais aussi des microorganismes (bactéries, protozoaires, virus).

Ce procédé présente des avantages par sa simplicité mais aussi des risques de

Dysfonctionnement (colmatage par les algues, difficulté de lavage du sable, ...).

2^{ème} Partie : Génie civil**II.3. Traitement des armatures corrodées et reconstitution de l'enrobage**

- si les défauts d'enrobage sont ponctuels et limites, on peut se contenter de réparation limitée aux aciers apparents en prenant la précaution de purger bien au de la zone corrodée
- si les défauts d'enrobage sont plus généralisés et/ou si la carbonatation de la pâte de ciment est plus importante, les travaux de ragréage devront être complètes par la mise en œuvre d'un inhibiteur de corrosion. Ce dernier est appliqué sur le parement béton, et permet d'abaisser la vitesse de corrosion des aciers, sans en affecter ses propriétés

Type de travaux :

La mise en place d'un accès de type nacelle volante, ou échafaudage avec vérification par un organisme de contrôle agréé avant son utilisation

Le décapage de l'ensemble des surfaces à traiter, sondages, repiquage, purge des enduits altérés et décapage de toutes les traces

Après décapage, suivant les cas :

La mise à blanc, et passivation des aciers. Le remplacement des armatures est à prévoir si la perte de section est supérieure à 50%,

La reconstitution du parement proprement dit à l'aide de mortiers spécifiques à base de liant hydraulique enrichi avec granulométrie adaptée à l'épaisseur à combler

II.3.1. Traitement des fissures

Le traitement des fissures de faible ouverture s'opère par remplissage avec couche fibrée (peinture + silice additionnée) afin d'obtenir un bourrage optimum de l'ouverture. Suivant le cas, les fissures plus importantes font l'objet d'une ouverture pour calfatage avec un mastic acrylique.

Les fissures sont traitées après vérification qu'elles ne sont pas liées à la corrosion d'une armature.

Ces traitements ne concernent pas les fissures situées sur le parement intérieur de la cuve. Ces dernières sont traitées différemment et font l'objet d'explications dans le paragraphe II.1.4 « Traitement de l'étanchéité de la cuve ».



Figure (II.7) : *les fissures qui nécessitent un traitement*

II.3.2. Régénération des bétons carbonates et/ou chlorés :

Le faible taux de carbonatation et la faible pénétration de chlorures dans le béton du réservoir n'amène pas à en faire une extraction (qui n'est pas possible pour la carbonatation), mais plutôt à en limiter les effets par la mise en œuvre d'un inhibiteur de corrosion sur les parements extérieurs

L'inhibiteur organo-minéral d'imprégnation, est un principe simple.

- La partie minérale se fixe sur les aciers par adsorption (*phosphatation*).
- La partie organique génère une barrière répulsive chargée négativement qui repousse les ions agressifs entrants, eux-mêmes chargés négativement.

Cette solution phosphatée en phase aqueuse a un très haut pouvoir de protection des aciers et pénètre très rapidement dans le béton.

Ce produit s'applique généralement en 2 ou 3 couches de 200 à 500g/m² suivant la porosité du béton de préférence par pulvérisation.

Un rinçage doit être effectué de manière à limiter les risques d'efflorescences.

Ce procédé s'utilise pour les parements extérieurs, et il implique par la suite la pose d'un revêtement d'imperméabilité. La mise en œuvre de ce dernier est décrite dans le paragraphe II.3.6 « Imperméabilisation des parements extérieurs (ravalement) ».

Pour éviter la pénétration des chlorures par l'eau de la cuve, c'est un nouveau revêtement d'étanchéité intérieure qui est à mettre en œuvre (voir paragraphe II.3.5

« Traitement de l'étanchéité de la cuve »).

II.3.3 Traitement de l'étanchéité de la coupole :**Type de travaux :**

- décapage de l'ancien revêtement sur toutes les formes de pentes sur l'ensemble des surfaces y compris sondages et enlèvement des zones instables suivant le cas,
- remise en état du support, purge des bétons et enduits, brossage et traitement des aciers apparents y compris sur le campanile, évacuation des gravois en décharge contrôlée
- traitement des fissures
- sondage de l'acrotère, purge des bétons, brossage et traitement des aciers apparents, reconstitutions nécessaires, élimination éventuelle des anciens dispositifs de levage, évacuation des gravois
- vérification et reprofilage de la pente du caniveau de récupération des Eaux Pluviales, pour un meilleur écoulement de l'eau vers les nouveaux points de collecte disposés dans l'acrotère

- mise en place de gargouilles en inox DN₆₀ disposées dans l'acrotère pour l'évacuation des Eaux Pluviales vers l'extérieur
- mise en œuvre d'un revêtement d'étanchéité de type membrane bitume élastomère par :
 - ✓ application d'un enduit d'imprégnation a froid avec mise en œuvre de renforts dans les angles,
 - ✓ mise en place des les de bitume par collage a chaud avec recouvrements normalises et traitement des relèves par membrane avec feuil aluminium.



Figure (II.8) : l'étanchéité de la coupole (mauvaise état de l'étanchéité)

II.3.4 - Imperméabilisation de l'intrados de coupole de couverture**a. Type de travaux :**

- mise en place d'un échafaudage mobile dans la cuve pour intervenir en toute sécurité
- lavage haute pression
- sondage de l'ensemble des surfaces, purges des bétons, traitement des aciers apparents, ragréages nécessaires
- mise en œuvre d'un revêtement d'imperméabilisation sur toute la surface (résine alimentaire appliquée au rouleau) afin d'assurer une protection durable de la structure en béton et des aciers.

Pendant les travaux à l'intérieur de la cuve, il est important qu'une ventilation mécanique soit mise en place, afin de diluer et extraire les vapeurs toxiques des produits d'imperméabilisation.



Figure (II.9) : Imperméabilisation de l'intrados de coupole de couverture

II.3.5 - Traitement de l'étanchéité de la cuve

Si des désordres sont observés ponctuellement sur l'étanchéité, des travaux de réparation sont rarement entrepris de façon localisée, car ils ne rentrent pas dans le cadre de la garantie décennale et n'assureraient pas la pérennité de la totalité du revêtement.

Lorsque les désordres sont généraux, la réfection totale de l'étanchéité est préconisée

Type de travaux :

- montage d'un échafaudage de pied roulant adapté à la forme de la cuve pour accès sur les parois verticales
- décapage du support
- resurfacement des parois en contact avec l'eau présentant un aspect assez grossier
- élimination si nécessaire d'éventuelles zones soufflées sur le fond de cuve, Reconstitution du support, évacuation des gravats,
- traitement de fissures comprenant
 - ✓ identification, repérage, matérialisation sur un schéma,
 - ✓ mesure d'amplitude au moyen d'un fisuromètre
 - ✓ les fissures existantes dont l'ouverture est inférieure à 10/10^{ème} mm, sont pontées au moyen d'un adhésif plastifié de 5 à 10 cm de largeur selon sa provenance ou calfatées au mortier souple époxydique. Les fissures importantes font l'objet d'un bourrage complété par calfatage au mortier souple époxydique et pontées par bande stratifiée armée,
- mise en œuvre d'un revêtement d'étanchéité, conforme à la classe de l'ouvrage et accrédité de l'Attestation de Conformité Sanitaire, comprenant :
 - ✓ application d'une couche d'imprégnation générale en liant appropriée à base de résine époxydique sans solvant, mise en œuvre au rouleau,
 - ✓ pose et déballage d'un tissu de verre multiaxial,
 - ✓ application d'une seconde couche de liant en saturation mise en œuvre au rouleau
 - ✓ saupoudrage de la couche de saturation avec de la silice fine, saupoudrage réalisé avec un lance poudre actionné par de l'air comprimé (cette technique n'est pas présente sur tous les complexes en fonction de leur origine). Cette action a pour but de créer une rugosité homogène pour permettre une parfaite adhésion de la couche de finition. Lorsque la totalité des surfaces est traitée (voile, cheminée et fond de cuve), on procède au contrôle général pour détecter d'éventuels défauts qui seront repris par meulage et recharge en liant époxydique.

- Contrôle di- électrique pour détections d'éventuelles porosités (contrôle réalise par un organisme indépendant de l'entrepreneur),
- après les retouches effectuées et le temps de séchage requis (24 h minimum), application d'une couche de finition en atmosphère non condensant. La couche de finition peut être appliquée a la pompe avec réchauffeur en épaisseur de film,
- désinfection de la cuve après travaux, avant sa remise en service,
- définition d'une procédure de remise en eau,
- prélèvement pour analyse bactériologique (effectue par un laboratoire agréé),
- remise en service de l'ouvrage a l'issue des résultats de l'analyse de l'eau

II.3.6 - Imperméabilisation des parements extérieurs (ravalement)

Après traitement des aciers, et des fissures, et mise en œuvre éventuel d'un inhibiteur de corrosion, les travaux suivants d'imperméabilisation peuvent avoir lieu

Type de travaux :

- traitement fongicide général par pulvérisation d'une solution anticryptogamique
- application d'un complexe d'imperméabilisation s'accommodant de la fissuration et définit par les normes P84-403 et 84-404-3 (Revêtement hiérarchise par classe de II a I4). Le revêtement est dispose au rouleau en trois couches (1 couche primaire suivie d'une couche intermédiaire et enfin une couche de finition).

II.3.7 - Mise en conformité des accès et remplacement de serrureries diverses

Remplacement des équipements hydrauliques à l'intérieur de la cuve :

- démontage et évacuation en décharge des équipements hydrauliques a remplacer,
- remplacement des équipements hydrauliques immergés par tubes en acier inox 316 L (matériau accrédite de l'Attestation de Conformité Sanitaire), (canalisations de trop-plein et de refoulement),
- remplacements des gaines de traversée de génie civil de concept ancien par de nouvelles avec brides normalisées pour raccordement des nouveaux équipements hydrauliques,
- démontage et remplacement de la soupape de vidange en DN 100 y compris son raccordement sur les réseaux existants sous la cuve,
- Concernant les équipements de sécurité, leur remplacement est à envisager s'ils sont hors norme. Si les équipements sont vétustes, il convient de les remettre en peinture.

Type de travaux :

- remplacement des différentes échelles et mise en place d'échelle en inox 316 L avec une inclinaison et munie de crinolines,
- remplacement de l'échelle de la cheminée d'accès a la cuve, et mise en place d'une ligne de vie avec 2 harnais de sécurité pour cette échelle,
- remplacement des garde-corps par une structure en inox 316 L s'ils ont une hauteur inférieure a 1 m,
- mise en conformité des garde-corps par ajout d'une plinthe et main courante, traitement par mise en peinture, s'ils ont la hauteur normale,
- dépose des baies de paves de verre d'éclairage naturel et remplacement par des châssis métalliques inox ou aluminium munis d'un vitrage en polycarbonate,
- traitement par mise en peinture des échelles d'accès aux paliers intermédiaires, s'ils présentent quelques points de corrosion,
- fourniture et mise en place d'un portillon de sécurité au niveau des paliers intermédiaires et de l'accès au plancher technique,
- mise en place, au niveau du campanile, de grilles de ventilation en acier inox ou aluminium avec tamis anti-intrusion pour les volatiles et insectes,
- mise en place d'une crapaudine sur les points de collecte des Eaux Pluviales,
- installation d'un paratonnerre pour la protection des habitations a proximité.

Conclusion

On conclure que les problèmes des qualités d'eaux dans le réservoir sont les fissure de mur et l'imperméabilité de coupole de couverture ce sont les facteurs principal de hydrodynamique d'un réservoir.

CHAPITRE III:

**MODELISATION
PHYSIQUE ET
MATHEMATIQUE**

III. INTRODUCTION

Habituellement lorsque les vitesses d'écoulement augmentent, le mouvement d'un fluide cesse d'être laminaire pour devenir turbulent

Alors qu'en mouvement laminaire on peut accorder à l'échafaudage des couches fluides un certain caractère ordonné, aucune régularité ni périodicité n'apparaissent dans un mouvement turbulent, tout se passe comme si la stabilité de cet échafaudage disparaissait et laissait place à un brassage extrêmement complexe des couches, par une visualisation convenable.

En cas de turbulence le désordre apparaît donc au sein du fluide, ce que rend très difficile l'étude de ces écoulement. Actuellement on n'a d'ailleurs pas de théorie précise de la turbulence.

Toutefois ce désordre n'est pas parfait, de sorte qu'une analyse statistique des phénomènes liés à la turbulence permet d'en faire ressortir certains caractères.

III.1. Phénomènes instationnaires et non linéaires :

Les écoulements turbulents sont fortement instationnaires avec des variations très irrégulières. Les équations de Navier-Stokes qui régissent les écoulements de fluide contiennent des termes non linéaires :

- Ce caractère fortement non linéaire est associé à la coexistence dans l'écoulement de mouvements à des échelles très différentes
- L'énergie de l'écoulement est transférée entre ces différentes échelles
- Cette répartition d'énergie s'effectue depuis les "grosses structures" (grandes longueurs d'ondes) jusqu'aux plus petite
- l'énergie des grosses structures est fournie par l'écoulement moyen
- La taille des grosses structures est limitée par la géométrie de l'écoulement (taille d'un tuyau, dimension d'un obstacle)

III.1.1. Phénomènes dissipatifs

C'est la viscosité du fluide qui est à l'origine de la dissipation de l'énergie cinétique produite aux grandes échelles. On a transformation de l'énergie cinétique en énergie interne (élévation de température).

III.1.2. Phénomènes tridimensionnels et rotationnels

Même si l'écoulement moyen est bidimensionnel, les fluctuations induites par la turbulence sont nécessairement tridimensionnelles et le champ de vitesse est rotationnel

III.1. 3. Phénomènes diffusifs

les écoulements turbulents ont la propriété de favoriser le mélange

par diffusion de la quantité de mouvement, de chaleur et de masse. Cette propriété est particulièrement intéressante pour de nombreux process industriels (combustion, génie chimique, dispersion atmosphérique)

III.1.4 .Phénomènes imprédictibles

Bien que les équations de Navier-Stokes soient déterministes, il est impossible de pouvoir prédire le comportement d'une solution quel que soit le temps. Ceci demanderait une précision infinie sur les conditions initiales. Un exemple de ce comportement imprédictible est donné par les prévisions météorologiques. Par ailleurs, on ne sait pas montrer mathématiquement, l'unicité des solutions des équations de Navier- Stokes munies de conditions initiales quel que soit le temps.

III.2. La modélisation des écoulements turbulents incompressible

III.3. Équations de conservation de la masse

III.3.1. Enoncé du principe

Quelque soit le domaine D de fluide que l'on suit dans son mouvement, sa masse

$$m = \iiint_D \rho(M, t) d\omega \text{ reste constante (fluide conservatif).}$$

Nous avons par conséquent :

$$\frac{dm}{dt} = \frac{d}{dt} \iiint_D \rho(M, t) d\omega = 0$$

Cet énoncé traduit un point de vue lagrangien

III.3.2. Equation ponctuelle

D'après le théorème de la dérivée particulière d'une intégrale de volume d'une fonction scalaire (I -51) il vient :

$$\frac{d}{dt} \iiint_D \rho d\omega = \iiint_D \rho \left(\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div } \rho \vec{v} \right) d\omega = 0$$

Le domaine D étant arbitraire, nous obtenons l'équation ponctuelle

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div } \rho \vec{v} = 0 \quad \text{Équation de continuité}$$

Et par suite il vient

$$\frac{d\rho}{dt} + \rho \text{ div } \vec{v} = 0 \quad (2-6)$$

En coordonnées cartésiennes les équations (3 et 6) se traduisent respectivement par les équations suivantes

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0$$

Ou
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0$$

III.3.3. Cas des fluides incompressibles

par définition ce sont des fluides tels que

$$\text{div } \vec{V} = 0$$

L'équation de continuité s'écrit,

$$\frac{d\rho}{dt} = 0$$

Soit

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{V} \cdot \overrightarrow{\text{grad}} \rho = 0$$

$\frac{d\rho}{dt} = 0$: est signifie que ρ ne varie pas quand on suit une particule dans son mouvement mais pas nécessairement que ρ soit constant dans l'espace et dans le temps : s'il s'agit en effet d'un écoulement le liquides non miscibles, on a simultanément $\rho = \rho(x, y, z, t)$ et $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$

III.4. Equations des quantités de mouvement

III.4.1 Enoncé du principe

Quel que soit le domaine D de fluide que l'on suit dans son mouvement, la dérivée par rapport au temps du torseur $[\rho \vec{V}]_D$ des quantités de mouvement (1) est égale au torseur des forces extérieures appliquées au domaine D (forces de volume et forces de surface) .cet énoncé exprime un point de vue lagrangien.

$$\frac{d}{dt} [\rho \vec{V}]_D = [\rho \vec{F}]_D + [\vec{T}]_S$$

En
$$[\rho \vec{F}]_D + [\vec{T}]_S \Leftrightarrow [\vec{F}_e]$$

C'est une égalité entre torseurs, qui peut se traduire par deux égalités vectorielles :

-l'une entre les résultants générales des torseurs, ce qui fournira les équations dynamique

- l'autre entre les moments des torseurs, ce fournira les équations moments

$$\frac{d}{dt} \iiint_D \rho \vec{V} d\omega = \iiint_D \rho \vec{F} d\omega + \iint_S \vec{T} dS$$

III.5. Equations dynamiques ponctuelles

On projetant 22 sur trois axes trirectangulaires on obtient trois équations intégrales telles que

$$\frac{d}{dt} \iiint_D \rho \vec{u}_i d\omega = \iiint_D \rho \vec{F}_i d\omega + \iint_S \vec{T}_i dS$$

Le domaine D étant arbitraire, on peut écrire (lemme fondamental)

$$\rho \frac{du_i}{dt} = \rho F_i + \frac{\partial}{\partial x_j} \sigma_{ij}$$

Quand les forces de volume dérivent d'un potentiel et dans le cas des fluides

$$\vec{F} = -\overrightarrow{\text{grad}} u \quad \text{soit } F_i = \frac{\partial u}{\partial x_i}$$

$$\sigma_{ij} = -\rho \delta_{ij} + \tau_{ij}$$

III.6 .Equations de la dynamique de fluides visqueux

$$\tau_{ij} = 2\mu \varepsilon_{ij} + n \delta_{ij} e = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + n \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \delta_{ij}$$

Il vient en supposant que μ et n sont invariables

$$\rho \frac{du}{dt} = -\rho \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \Delta u + (\mu + n) \frac{\partial e}{\partial x}$$

$$\rho \frac{dv}{dt} = -\rho \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \Delta v + (\mu + n) \frac{\partial e}{\partial y}$$

$$\rho \frac{dw}{dt} = -\rho \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \Delta w + (\mu + n) \frac{\partial e}{\partial z}$$

Ou

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + w \frac{\partial}{\partial z}$$

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

$$e = \text{div } \vec{V} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}$$

Par définition , on appelle valeur moyenne \bar{u} entre les instants t_0 et $t_0 + T$ la quantité :

$$\bar{u} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u dt$$

C'est évidemment la hauteur du rectangle d'aire équivalente à celle que sous-tend la courbe AB

On peut faire de même pour les composants v et w et écrire :

$$\bar{v} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} v dt$$

$$\bar{w} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} w dt$$

Si T est assez grand, les valeurs moyennes \bar{u} , \bar{v} et \bar{w} ne dépendent pas de t_0 :

L'écoulement est dit alors permanent en moyenne, le mouvement moyen est permanent et parfaitement défini. A un instant donné nous pouvons donc poser au point M

$$u = \bar{u} + u'$$

$$v = \bar{v} + v'$$

$$w = \bar{w} + w'$$

Soit

$$\vec{V} = \vec{\bar{V}} + \vec{V}'$$

u' , v' , w' caractérisent le mouvement d'agitation , ce sont les fluctuations des composantes de la vitesse . nous supposons qu'elles sont toujours faibles devant les valeurs moyennes respectives \bar{u} , \bar{v} , \bar{w} .

$\vec{\bar{V}}$: est la vitesse moyenne du fluide,

\vec{V}' : est la fluctuation de du fluide : $\vec{\bar{V}}$ et \vec{V}' ont un sens physique indépendant du choix des axes de coordonnées

Le mouvement d'agitation n'est pas permanent et est imprévisible : en un point donné il varie avec t

A même instant il n'est pas non plus le même en deux point fixes différents voisins ou non.

II.7. Equations de Reynolds et tensions de Reynolds :

Li mitons –nous au cas des fluides incompressibles en mouvement permanent nous allons montrer qu’un tel écoulement peut être traité au point de vue dynamique comme un écoulement permanent incompressible ordinaire, en imaginant un mouvement fictif que aurait les caractéristiques moyennes de l’écoulement \bar{u} , \bar{v} et \bar{w}

A ce mouvement fictif on peut appliquer les équations de la dynamique des fluides à condition d’ajouter aux tensions visqueuses des termes supplémentaires dues aux fluctuations (tensions de Reynolds) et que nous allons calculer .

Considérons d’abord l’équation de continuité :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

Soit

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} + \frac{\partial \acute{u}}{\partial x} + \frac{\partial \acute{v}}{\partial y} + \frac{\partial \acute{w}}{\partial z} = 0$$

En prenant les moyennes, ils vient :

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0$$

Ce qui en outre montre , qu’ à chaque instant on a :

$$\frac{\partial \acute{u}}{\partial x} + \frac{\partial \acute{v}}{\partial y} + \frac{\partial \acute{w}}{\partial z} = 0$$

Si

$$\rho(\bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = \rho X - \frac{\partial \bar{P}}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} (\bar{t}_{xx} - \rho \overline{\acute{u}^2}) + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{t}_{xy} - \rho \overline{\acute{u}\acute{v}}) + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{t}_{xz} - \rho \overline{\acute{u}\acute{w}})$$

On écrirait de la même façon les deux autres équations dynamique moyenne du mouvement. On peut donc étudier le mouvement moyen au moyen des équations habituelles , à condition de remplacer les tensions visqueuses \bar{t}_{ij} par les tensions t_{ij}^*

Suivantes, ou apparaissent des termes liés aux fluctuations

$$\left. \begin{aligned} t_{xy}^* &= \mu \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) - \rho \overline{\acute{u}\acute{v}} \\ t_{yz}^* &= \mu \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial z} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} \right) - \rho \overline{\acute{v}\acute{w}} \\ t_{zx}^* &= \mu \left(\frac{\partial \bar{w}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right) - \rho \overline{\acute{u}\acute{w}} \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} t_{xx}^* &= 2\mu \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} - \rho \overline{u^2} \\ t_{yy}^* &= 2\mu \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} - \rho \overline{v^2} \\ t_{zz}^* &= 2\mu \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} - \rho \overline{w^2} \end{aligned} \right\}$$

III.8. Équations de Navier-stokes

$$\rho \frac{du}{dt} = -\rho \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \Delta u$$

$$\rho \frac{dv}{dt} = -\rho \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \Delta v$$

$$\rho \frac{dw}{dt} = -\rho \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \Delta w$$

III.9. Le problème de la fermeture

Comme on vient de le voir, la décomposition de Reynolds a permis d'écrire un certain nombre d'équations pour les inconnues du problème. Cependant, on introduit à chaque étape des inconnues supplémentaires. Il s'agit alors de fermer le problème en introduisant des modèles pour les inconnues supplémentaires.

III.10. Classification des modèles de turbulence

On distingue généralement deux grandes classes de modèles :

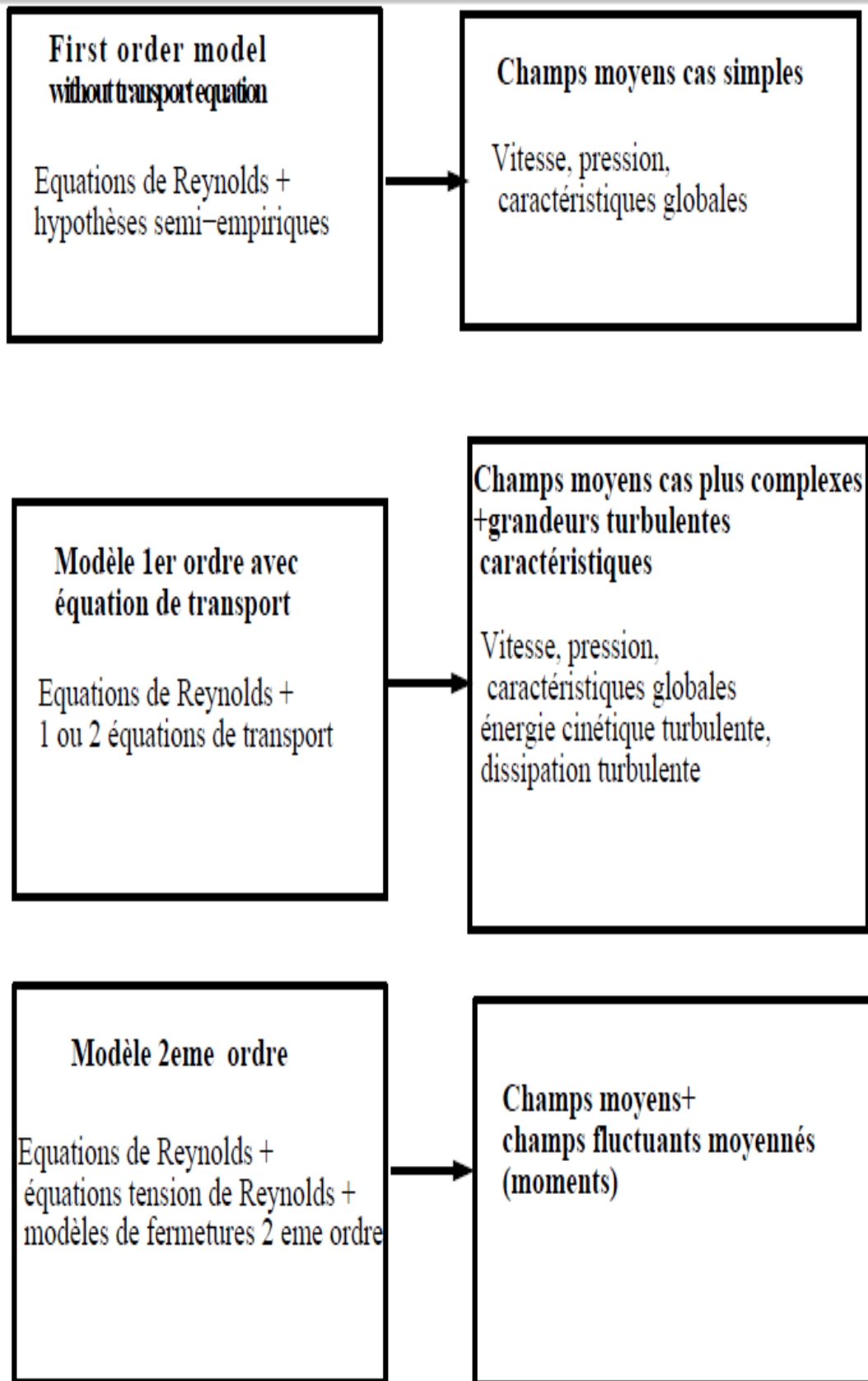
- Les modèles à viscosité turbulente (modèles du premier ordre) basés sur l'hypothèse de Boussinesq (que l'on détaillera plus tard) qui consiste à modéliser directement les tensions de Reynolds à l'aide d'une viscosité turbulente
- Les modèles du second ordre : Les tensions de Reynolds sont calculées directement, la modélisation portant sur les moments d'ordre supérieur

Pour les modèles du premier ordre, on introduit la classification suivante selon le nombre d'équations d'évolutions supplémentaires du modèle :

- modèle à 0 équation (longueur de mélange)
- modèle à 1 équation (k , énergie cinétique turbulente)
- modèle à 2 équations ($k - \varepsilon, k - \omega, k - l, \dots$)

Il est bien évident que la qualité des résultats de simulation d'écoulement turbulent est très liée au modèle utilisé. Le choix du modèle sera subordonné au type d'information que l'on veut obtenir à partir de la simulation. D'un point de vue industriel, les modèles du premier

ordre à deux équations permettent généralement d'obtenir des résultats satisfaisant moyennant certaines adaptations du modèle suivant le cas considéré. Cependant, comme on le verra par la suite, des comportements pathologiques peuvent apparaître dans certains type d'écoulement. L'utilisation de modèles plus sophistiqués comme les modèles au second ordre peut s'avérer nécessaire. On a résumé sur le tableau suivant, le type d'information que l'on peut obtenir suivant le modèle employé.



III.11. Les modèles au premier ordre : deux exemples

a. Modèles algébriques ou à 0 équation de type longueur de mélange :

Ce premier modèle a été développé par Prandtl dans les années 20, pour des écoulements 2D plans stationnaires de type couche limite. Dans ce cas la seule contrainte de Reynolds qui intervient est $-\rho \overline{u'v'}$. Dans ce cas, le schéma de fermeture s'écrit :

$$-\rho \overline{u'v'} = u_t \frac{\partial u}{\partial y}$$

b. Le modèle $k - \epsilon$:

Bien que tout à fait simples, les modèles algébriques de type longueur de mélange souffrent d'un empirisme certain. On a vu que l'on pouvait dériver de manière exacte une équation de transport pour l'énergie cinétique turbulente k . On peut espérer en résolvant une équation de transport pour une quantité qui reste à définir obtenir de manière plus formelle une échelle de longueur caractéristique de la turbulence. On accède ainsi à la classe des modèles du premier ordre de turbulence à deux équations de transport. On va chercher à écrire une équation de transport pour ϵ la dissipation de l'énergie cinétique turbulente. On peut relier par analyse dimensionnelle k , ϵ et l , échelle de longueur de la turbulence par :

$$l \approx \frac{k^{\frac{3}{2}}}{\epsilon}$$

En procédant par analyse dimensionnelle, Prandtl et Kolmogorov ont dérivé la relation suivante pour la viscosité turbulente :

$$u_t = c_u \rho \frac{k^2}{\epsilon}$$

Où

c_u est une constante adimensionnelle à déterminer.

1) Equation de k :

On a dérivé précédemment à partir des équations de transport pour les contraintes de Reynolds, l'équation de transport de l'énergie cinétique turbulente qui s'écrit :

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u_k \frac{\partial k}{\partial x_k} = \overbrace{-u'_i u'_k \frac{\partial u_i}{\partial x_k}}^{p_k} - \overbrace{\frac{1}{2} \frac{\partial u'_i u'_i u'_k}{\partial x_k}}^{\tau_K} - \overbrace{\frac{1}{\rho} \frac{\partial u'_k p'}{\partial x_k}}^{\pi_k} + v \underbrace{\frac{\partial^2 k}{\partial x_k \partial x_k}}_{D_k} - v \underbrace{\frac{\partial u'_i}{\partial x_k} \frac{\partial u'_i}{\partial x_k}}_{\epsilon_k}$$

En utilisant l'hypothèse de Boussinesq, le terme de production s'écrira :

$$-\rho \overline{u'_k u'_i} \frac{\partial u_i}{\partial x_k} = \left[\mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_k} + \frac{\partial u_k}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ik} \rho k \right] \frac{\partial u_i}{\partial x_k}$$

Pour le terme de diffusion turbulente et de couplage avec la pression fluctuante de k , par analogie avec la diffusion visqueuse, il peut s'écrire sous la forme :

$$-\rho(\overline{ku'_k} + \overline{pu'_k}) = \frac{u_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_k}$$

Où

σ_k : est l'équivalent d'un nombre de Prandtl turbulent. Enfin le terme de dissipation s'écrira :

$$2\mu \frac{\overline{\partial u'_i}}{\partial x_k} \frac{\overline{\partial u'_k}}{\partial x_k} = \rho\epsilon$$

Avec les hypothèses précédentes l'équation de k se met sous la forme :

$$\frac{\partial k}{\partial t} + U_k \frac{\partial k}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left[\left(v + \frac{v_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial}{\partial x_k} \right] + v_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_k} + \frac{\partial u_k}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_k} - \epsilon$$

Finalement en remplaçant v_t par sa valeur en fonction de k et de ϵ on obtient :

$$\frac{\partial k}{\partial t} + U_k \frac{\partial k}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left[\left(v + \frac{C_\mu K^2}{\sigma_k \epsilon} \right) \frac{\partial}{\partial x_k} \right] + \frac{C_\mu K^2}{\epsilon} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_k} + \frac{\partial u_k}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_k} - \epsilon$$

2) Equation de la dissipation ϵ

L'équation pour ϵ s'obtient en prenant le rotationnel des équations des fluctuations de vitesse et ensuite en faisant la moyenne d'ensemble. La dérivation de cette équation est relativement aisée mais les calculs restent fastidieux. On donne donc directement le résultat :

$$\begin{aligned} \frac{\partial \epsilon}{\partial t} + U_k \frac{\partial \epsilon}{\partial x_k} = & -v \frac{\partial u_i}{\partial x_k} \left(\frac{\overline{\partial u'_i}}{\partial x_l} \frac{\overline{\partial u'_k}}{\partial x_l} + \frac{\overline{\partial u'_i}}{\partial x_l} \frac{\overline{\partial u'_l}}{\partial x_k} \right) - v \frac{\overline{\partial u'_i}}{\partial x_k} \frac{\overline{\partial u'_i}}{\partial x_k} \frac{\overline{\partial u'_k}}{\partial x_l} - \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\overline{u'_k \epsilon} + \frac{v}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x_l} \frac{\overline{\partial u'_k}}{\partial x_l} \right) \\ & - \left(v \frac{\overline{\partial^2 u'_i}}{\partial x_l \partial x_l} \right)^2 \end{aligned}$$

En utilisant les mêmes idées que pour l'équation de k on obtient finalement l'équation suivante pour ϵ :

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + U_k \frac{\partial \epsilon}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left[\left(v + \frac{C_\mu K^2}{\sigma_k \epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_k} \right] + C_{\epsilon 1} C_\mu k \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_k} + \frac{\partial u_k}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_k} - C_{\epsilon 2} \frac{\epsilon^2}{k}$$

Il reste donc maintenant pour fermer complètement le système à déterminer les constantes $C_{\epsilon 1}$, C_μ , $C_{\epsilon 2}$, σ_k , σ_ϵ

Remarque :

Dans la littérature, on néglige souvent dans ces deux équations les contributions dans les termes de diffusion de k et ϵ dues à la viscosité moléculaire. Ceci est justifié lorsque l'on suppose qu'on se trouve à grand nombre de Reynolds de la turbulence.

CHAPITRE IV:

Expérimentation et Modèle Réduire

IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous allons présenter l'équipement et les outils utilisés dans notre expérience. Nous allons également montrer des expériences sur un modèle réduit d'un réservoir pour étudier les propriétés les plus importantes et les paramètres du réservoir liés à la dynamique de fluide. Enfin, et dans un optique de détermination de l'emplacement optimal des conduites d'entrée et de distribution, nous donnerons différents graphs liés à la dynamique des eaux dans le réservoir.

IV.2. Description des instruments de laboratoire :

Pour la réalisation de nos expériences, on a utilisé les instruments de laboratoire ci après

IV.3. Prototype : modèles un réservoir**IV.4. Les principaux objectifs pédagogiques du réservoir sont :**

Mise en évidence de différents écoulements

- Mesures de débit dans une section.
- Mesures les temps dépolluant sortie du réservoir
- Identification des différents régimes d'écoulement
- Etude des profiles des vitesses.
- Ecoulements au-dessus de différents types de seuils

IV.5. Dimensions :

L'écoulement se fait dans un réservoir cylindrique de 15 cm hauteur, de 24 cm diamètre, de volume 5 L.



Figure (I.1) : *Prototype de Réservoir de type semi-enterré de notre étude*

IV.6. Présentation des expériences :

Nous avons changé dans les quatre expériences (1^{er}, 2^{eme}, 3^{eme} et 4^{eme}) l'emplacement de conduite de distribution pour en déduire la meilleure position où l'écoulement sera mieux.

A. 1^{er} essai

- Le débit de l'entrée est = 5,4 [l/min]

1) Détermination de débit de sortie du réservoir :

L'équation de ce réservoir :

$$q = \frac{v}{t}$$

Tel que :

- ✓ q = débit de sortie du réservoir [l/min]
- ✓ v = Le volume de bécber est 1,5 [l]
- ✓ t = Le temps de remplir de bécber [min]

On aura donc

$$q = \frac{1}{0,2} = 5 \text{ [}l/min\text{]}$$

D'où :

$$q = 5 \text{ [}l/min\text{]}$$

2) Détermination de la vitesse :

L'équation :

$$q = v * s$$

- ✓ q = le débit de sortie du réservoir [l/min]
- ✓ v = vitesse de sortie du réservoir [m/s]
- ✓ s = surface de conduite de sortie du réservoir [m^2]

3) Détermination de la section de conduite :

$$S = \frac{\pi * d^2}{4}$$

On trouve :

- ✓ $\pi = 3,14$
- ✓ D = diamètre de conduite est 1 cm [cm]

Tel que :

- ✓ S = surface [m^2]

On aura donc :

$$S = \frac{3,14 * (0,01)^2}{4} = 7,85 * 10^{-5} \text{ (}m^2\text{)}$$

D'où :

$$S = 7,85 * 10^{-5} \text{ (}m^2\text{)}$$

Donc

$$V = \frac{q}{s} = 1,075 \text{ [}m/s\text{]}$$

D'où :

$$V = 1,075 \text{ [}m/s\text{]}$$

4) Les résultats

Le débit d'entrée [l/min]	Le temps de chargement de réservoir [min]	le débit de sortie du réservoir [l/min]	vitesse de sortie du réservoir [m/s]	Nombre de Reynold
5.45	2	5	1 .075	10750

Tableau (IV-1) : les résultats d'étude de 1^{er} essai

B. 2^{eme} essai :

Dans cet essai, nous avons changé l'emplacement de la conduite de sortie en la déplaçant vers le haut avec 5cm de la base de réservoir, toute en conservant les conditions de premier essai (le débit , le diamètre de conduite ...) . On a fait la même étude que celle de premier essai, qui nous a menés à obtenir les résultats suivants :

Le débit de l'entrée est = 5 ,4 l/min

1) Détermination de débit de sortie du réservoir :

L'équation de ce réservoir :

$$q = \frac{v}{t}$$

Tel que :

- ✓ q = débit de sortie du réservoir [l/min]
- ✓ v = Le volume de remplir de béccher 1,5 [l]
- ✓ t = Le temps de téléchargement de béccher [min]

On aura donc

$$q = \frac{1}{0,2} = 4.61 [l/min]$$

D'où :

2) Détermination de la vitesse :

L'équation :

$$q = v * s$$

- ✓ q = le débit de sortie du réservoir [l/min]
- ✓ v = vitesse de sortie du réservoir [m/s]
- ✓ s = surface de conduite de sortie du réservoir [m^2]

3) Détermination de la surface :

$$S = \frac{\pi * d^2}{4}$$

On trouve :

- ✓ $\pi = 3,14$
- ✓ D = diamètre de conduite est 1 cm [cm]

Tel que :

$$S = \text{section [m}^2\text{]}$$

On aura donc :

$$S = \frac{3,14 * (0,01)^2}{4} = 7,85 * 10^{-5} \text{ (m}^2\text{)}$$

D'où :

$$S = 7,85 * 10^{-5} \text{ (m}^2\text{)}$$

Donc

$$V = \frac{q}{s} = 0.96 \text{ [m/s]}$$

D'où :

$$V = 0.96 \text{ [m/s]}$$

4) Le résultat

Le débit d'entrée [l/min]	Le temps de chargement de réservoir [min]	le débit de sortie du réservoir [l/min]	Vitesse	Nombre de Reynold
5.45	2	4.61	0.96	9600

Tableau (IV-2) : les résultats d'étude de 2^{ème} essai

C. 3^{ème} essai

Dans cet essai, nous avons changé l'emplacement de la conduite de sortie en la déplaçant vers le haut avec 10 cm de la base de réservoir, toute en conservant les conditions de premier essai (le débit , le diamètre de conduite ...) . On a fait la même étude que celle de premier et le deuxième essai, qui nous a menés à obtenir les résultats suivants :

Le débit d'entrée est = 5,4 [l/min]

1) Détermination de débit de sortie du réservoir :

L'équation de ce réservoir :

$$q = \frac{v}{t}$$

Tel que :

- ✓ q = débit de sortie du réservoir [l/min]
- ✓ v = Le volume de remplir de béccher 1,5 [l]
- ✓ t = Le temps de téléchargement de béccher [min]

On aura donc

$$q = 4.4 \text{ [} l/min \text{]}$$

2) Détermination de la vitesse :

L'équation :

$$q = v * s$$

Tel que :

- ✓ q = le débit de sortie du réservoir [l/min]
- ✓ v = vitesse de sortie du réservoir [m/s]
- ✓ s = surface de conduite de sortie du réservoir [m^2]

3) Détermination de la section :

$$S = \frac{\pi * d^2}{4}$$

On trouve :

- ✓ $\pi = 3,14$
- ✓ D = diamètre de conduite est 1 cm [cm]

Tel que :

$$S = \text{section [m}^2\text{]}$$

On aura donc :

$$S = \frac{3,14 * (0,01)^2}{4} = 7,85 * 10^{-5} \text{ (m}^2\text{)}$$

D'où :

$$S = 7,85 * 10^{-5} \text{ (m}^2\text{)}$$

Donc

$$V = \frac{q}{s} = 0,94 \text{ [m/s]}$$

D'où :

$$V = 0,94 \text{ [m/s]}$$

4) Les résultats

Le débit d'entrée [l/min]	Le temps de téléchargement de réservoir [min]	le débit de sortie du réservoir [l/min]	Vitesse	Nombre de Reynold
5.45	2	4.4	0.94	9400

Tableau (IV-3) : les résultats d'étude de 3^{ème} essai

D. 4^{ème} essai :

Dans cet essai, nous avons changé l'emplacement de la conduite de sortie en la déplaçant vers le haut avec 15 cm de la base de réservoir, toute en conservant les conditions de premier essai (le débit , le diamètre de conduite ...) . On a fait la même étude que celle de premier essai, qui nous a menés à obtenir les résultats suivants :

Le débit d'entrée est = 5,4 l/min

1) Détermination de débit de sortie du réservoir :

L'équation de ce réservoir est :

$$q = \frac{v}{t}$$

Tel que :

✓ q = débit de sortie du réservoir [l/min]

✓ v = Le volume de remplir de béccher 1,5 [l]

✓ t = Le temps de chargement de béccher [min]

On aura donc

$$q = 4,28 \text{ [l/min]}$$

2) Détermination de la vitesse :

L'équation :

$$q = v * s$$

✓ q = le débit de sortie du réservoir [l/min]

✓ v = vitesse de sortie du réservoir [m/s]

✓ s = surface de conduite de sortie du réservoir [m^2]

3) Détermination de la section :

$$S = \frac{\pi * d^2}{4}$$

On trouve :

✓ $\pi = 3,14$

✓ D = diamètre de conduite est 1 cm [cm]

Tel que :

$$S = \text{section [m}^2\text{]}$$

On aura donc :

$$S = \frac{3,14 * (0,01)^2}{4} = 7,85 * 10^{-5} \text{ (m}^2\text{)}$$

D'où :

$$S = 7,85 * 10^{-5} \text{ (m}^2\text{)}$$

Donc

$$V = \frac{q}{s} = 0,90 \text{ [m/s]}$$

D'où :

$$V = 0,90 \text{ [m/s]}$$

4) Les résultats

Le débit d'entrée [l/min]	Le temps de chargement de réservoir [min]	le débit de sortie du réservoir [l/min]	Vitesse	Nombre de Reynold
5.45	2	4.28	0.90	9000

Tableau (IV-4) : les résultats d'étude de 4^{ème} essai

I. 5^{ème} essai :

On a injecté un polluant ponctuel (marqueur) extérieur (conduite d'adduction) dans le réservoir, puis on a mesuré le temps de dépollution de l'eau de différents débits.

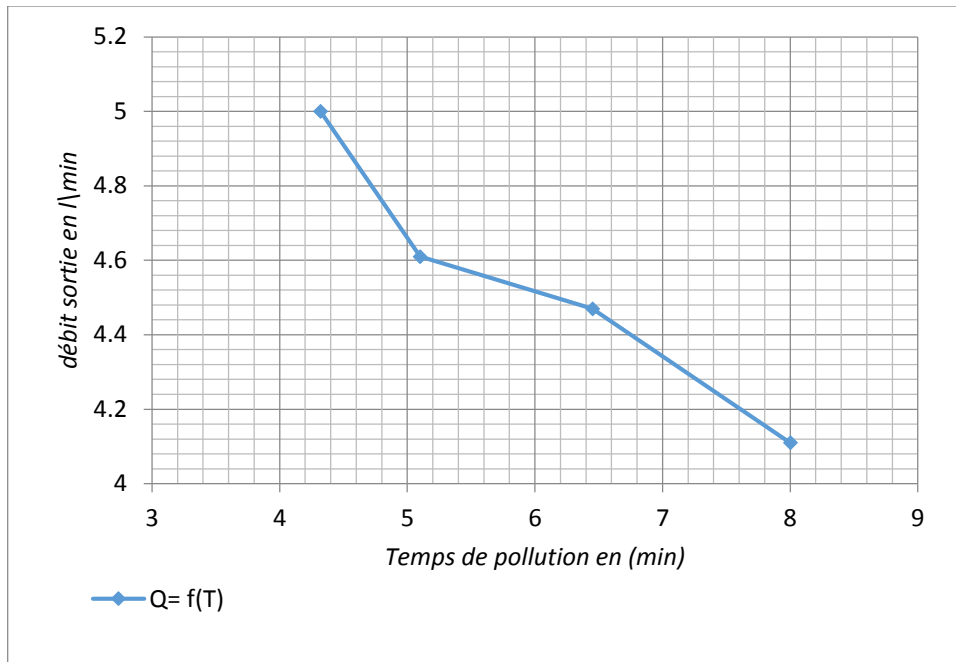
NB

Faute de manque des moyens pour mesurer la dépollution de l'eau, on a procédé à observation à l'œil nu c –à-d (la méthode traditionnelle).

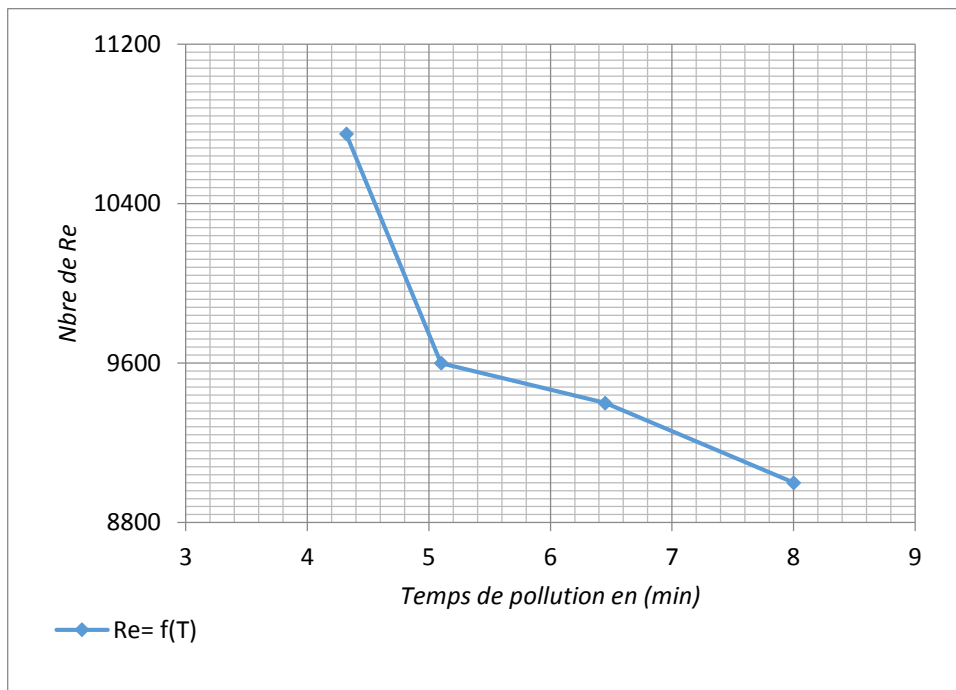
Les résultats :

Le débit de entré[l/min]	le débit de sortie du réservoir [l/min]	Temps de Dépollution [min]	Nombre de Reynold sortie
5.40	5	4.32	10750
5.40	4.61	5.10	9600
5.40	4.47	6.45	9400
5.40	4.11	8.00	9000

Tableau (IV-5) : les résultats d'étude de 5^{ème} essai



Graph (IV.1) : L'évolution du débit en fonction du temps dépollution



Graph (IV.2) : L'évolution du nbr de Reynold en fonction de temps dépollution

II. 6^{eme} essai :

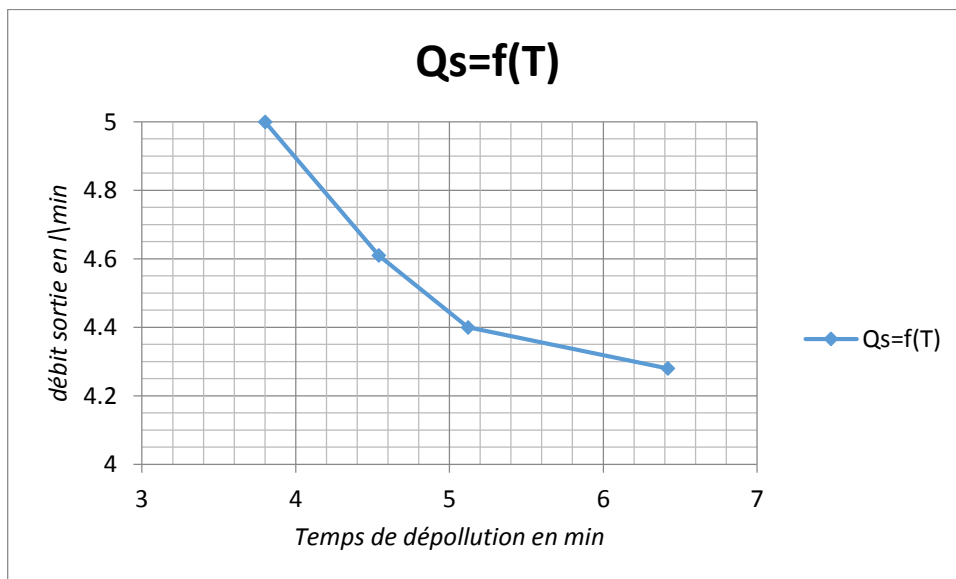
On a procédé au changement de la manière de pollution par l'injection au fond du réservoir à coté droite un polluant (marqueur). Puis on mesuré les temps de dépollution en différents débits

Les résultats

On voit les résultats de cette expérience dans tablant suivant :

Le débit de entré [l/min]	Le débit de sorti [l/min]	Temps de Dépollution [min]
5.40	5	3.80
5.40	4.61	4.54
5.40	4.4	5.12
5.40	4.28	6.42

Tableau (IV-6) : les résultats d'étude de 6^{eme} essai



Graph (IV. 3) : L'évolution du débit en fonction de temps dépollution

Conclusion :

Après avoir terminé les essais, on peut dire que le meilleur emplacement de la conduite de sortie pour un bon écoulement et vidage d'eau contaminée en un temps record est lorsque la conduite de sortie est placée en bas de réservoir.

CHAPITRE IV:

Expérimentation et Modèle Réduire

V.1 INTRODUCTION :

Dans ce chapitre on va procéder à une vérification des résultats à l'aide d'un programme informatique (comsol).

COMSOL est un logiciel de simulation par éléments finis (FEM) permettant de résoudre tout type de problème pouvant être décrit par des équations aux dérivées partielles. Dans ces logiciels, les équations différentielles sont exprimées dans des petits volumes permettant leur expression sous forme de différences simples et transformant le problème continu en un problème comportant un nombre fini d'équations et d'inconnues pouvant se résoudre avec des techniques d'algèbre linéaire. On comprend intuitivement que plus le volume de discrétisation sera petit plus le modèle discret approchera le modèle continu.

Par la suite on va traduire les résultats obtenus sous forme de graphes (courbes caractéristiques)

V.2 Présentation du programme :

COMSOL est La simulation numérique est devenue une part essentielle de la science et de l'ingénierie. Analyse numérique des composants, en particulier, est importante lors de l'élaboration de nouveaux produits ou des dessins d'optimisation. Aujourd'hui, un large éventail d'options pour la simulation est disponible; les chercheurs utilisent tout un langage de programmation de base à différents forfaits de haut niveau de mise en œuvre des méthodes avancées. Bien que chacune de ces techniques a ses propres attributs uniques, ils partagent tous une préoccupation commune: Pouvez-vous appuyer sur les résultats?

Lorsque l'on considère ce qui rend le logiciel fiable, il est utile de se rappeler l'objectif: vous voulez un modèle qui décrit avec précision ce qui se passe dans le monde réel. UNE Environnement de simulation par ordinateur est tout simplement une traduction des lois physiques du monde réel dans leur forme virtuelle. Combien de simplification a lieu dans le processus de traduction aide à déterminer la précision du modèle résultant.

Il serait idéal, alors, d'avoir un environnement de simulation qui a inclus la possibilité d'ajouter un effet physique à votre modèle. Voilà ce que COMSOL est tout au sujet. Il est une plate-forme flexible qui permet même aux utilisateurs novices de modéliser tous les aspects physiques pertinents de leurs conceptions. Les utilisateurs avancés peuvent aller plus loin et utiliser leurs connaissances pour développer des solutions personnalisées, applicables à leur situation particulière. Avec ce genre d'all-inclusive environnement de modélisation, COMSOL vous donne la confiance pour construire le modèle que vous voulez avec précision dans le monde réel.

Certaines caractéristiques de COMSOL deviennent apparentes à l'usage. Compatibilité se distingue parmi celles-ci. COMSOL exige que chaque type de simulation inclus dans le package a la capacité d'être jumelée à aucune autre. Cette exigence stricte Rétrovisseurs effectivement ce qui se passe dans le monde réel. Par exemple, dans la nature, l'électricité est toujours accompagnée par un effet thermique; les deux sont entièrement compatibles.

Exercez La compatibilité garantit modèles multi physiques cohérents, et la connaissance que, alors même que la famille de produits COMSOL se développe, vous ne devez jamais vous soucier de la création d'un modèle de nouveau déconnecté.

Un autre trait remarquable de la plate-forme de COMSOL est l'adaptabilité. En tant que votre modélisation les besoins changent, tout comme le logiciel. Si vous vous trouvez dans le besoin d'inclure une autre effet physique, vous pouvez simplement l'ajouter. Si l'une des entrées à votre modèle nécessite une formule, vous pouvez juste entrer. En utilisant des outils tels que la géométrie paramétrés, interactive maillage et solveur personnalisé séquences, vous pouvez rapidement adapter aux flux et reflux de vos exigences.

V.3 Fonctionnement et Modélisation géométrique :

Lors de l'exécution dynamique des fluides computationnelle un bon modèle géométrique est la première étape pour assurer une simulation réussie. Dans cette étude, un des modèles géométriques différentes ont été utilisées pour la simulation. Les deux modèles sont emballés lit de sphères contenues dans un soin

V.3.1- Choix de la dimension du modèle

Le choix de la dimension s'effectue à partir du menu de la fig. V .1 , où on sélectionne la rubrique qui permet de prendre la dimension du modèle dans notre cas 2D.

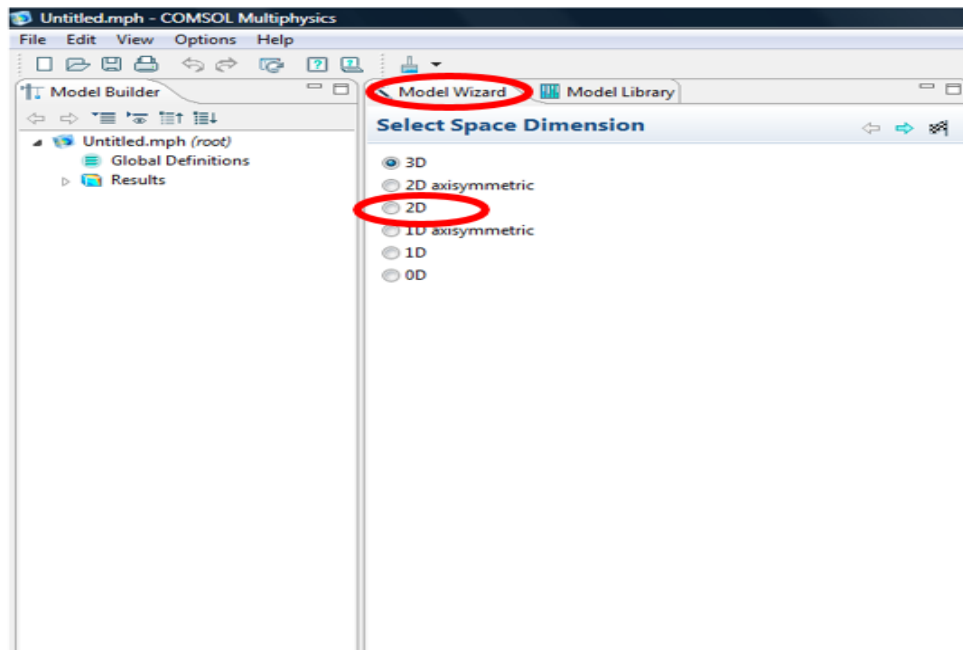


Figure (V.1) : Choix de la dimension

V.3.2- Choix du modèle physique

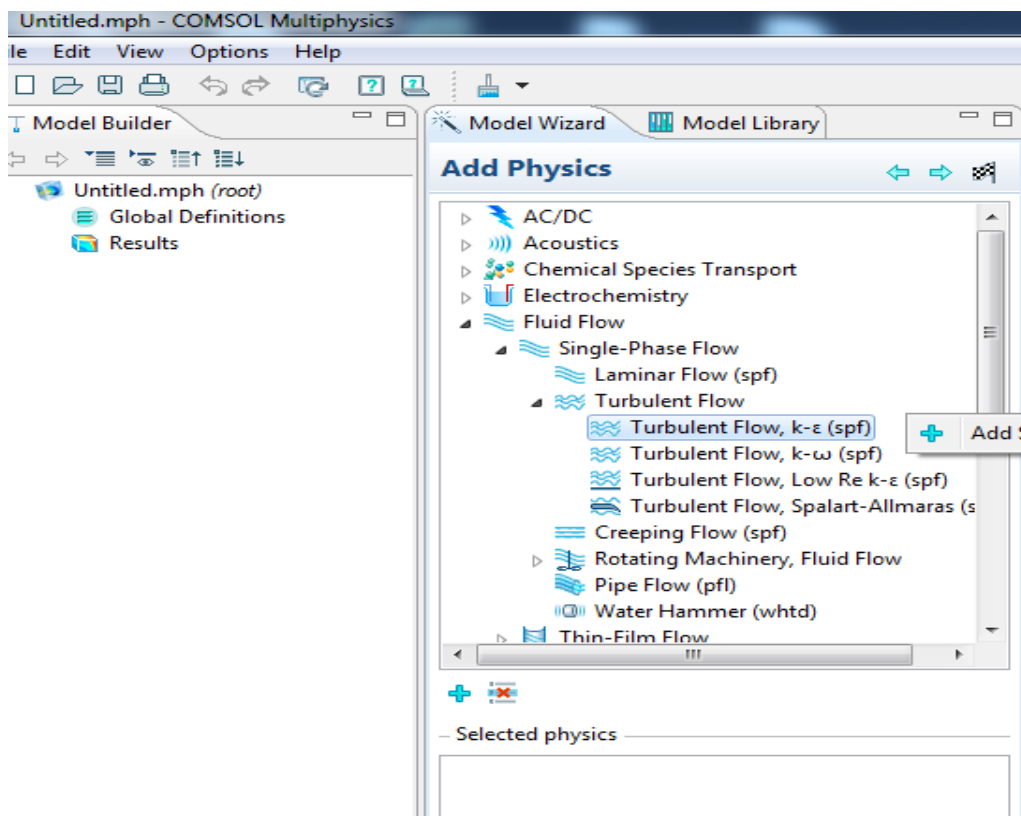


Figure (V-2) : Fenêtre du Navigateur de modèles : choix du modèle.

Le choix du modèle s'effectue à partir du menu de la fig. V.2, où on sélectionne la rubrique « fluide flow » qui permet d'introduire les équations à dérivées partielles régissant des fluides

V.3.4- Dessin de la géométrie

Dans cette étape, on représente la géométrie bidimensionnelle du modèle étudié comme le montre la fig. (V.3)

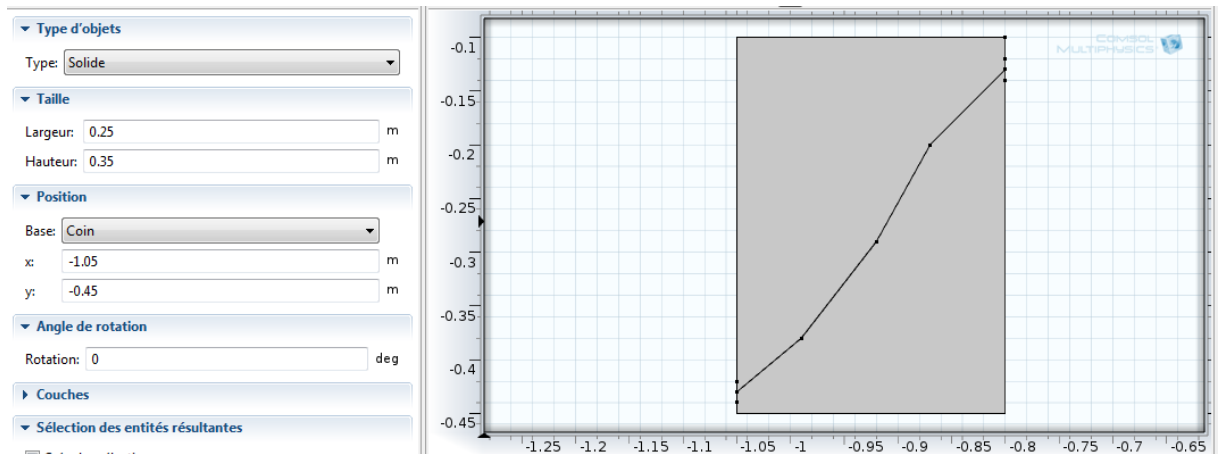


Figure (V.3): Dessin de la géométrie

V.3.5- Propriétés des matériaux

Dans la rubrique « matériel », on charge la propriété de fluide des matériaux « Water ».

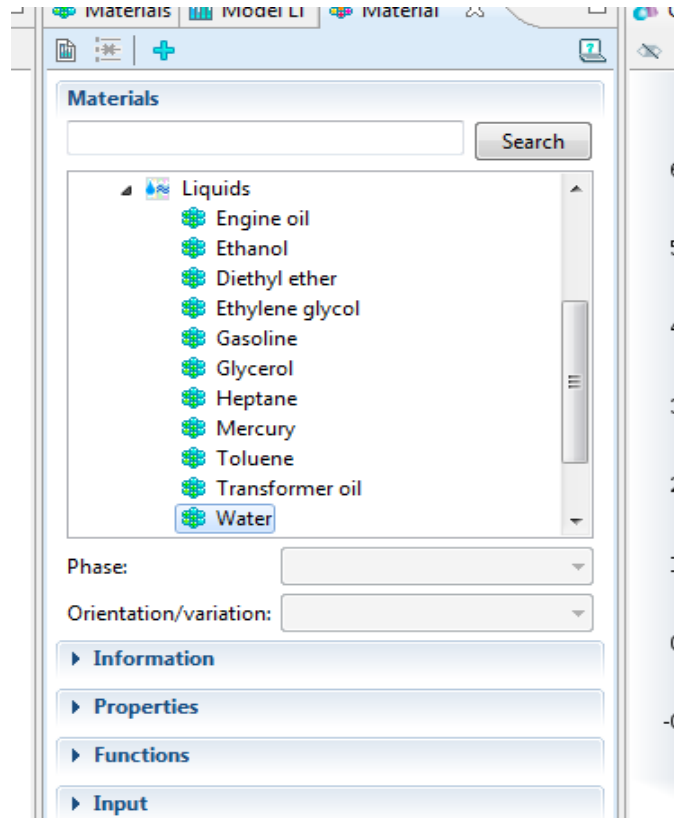


Figure (V.4) : représente les propriétés des matériaux (l'eau)

Chapitre V : Simulation numérique de fonctionnement d'un réservoir

Leurs valeurs sont résumées dans le tableau V.1.

Geometric entity level: Domain
 Selection: All domains
 1

Property	Name	Value	Unit	Property group
✓ Dynamic viscosity	mu	eta(T[1/K])[Pa*s]	Pa*s	Basic
✓ Density	rho	rho(T[1/K])[kg/...	kg/m^3	Basic
Ratio of specific heats	gamma	1.0	1	Basic
Electrical conductivity	sigma	5.5e-6[S/m]	S/m	Basic
Heat capacity at constant pressure	Cp	Cp(T[1/K])[J/(k...	J/(kg*K)	Basic
Thermal conductivity	k	k(T[1/K])[W/(m...	W/(m*K)	Basic
Speed of sound	c	cs(T[1/K])[m/s]	m/s	Basic

Tableau (V.1) : Propriétés des matériaux

Les paramètres	Expressions	Valeur
La longueur	L	9 m
La hauteur	D	8 m
La masse volumique	Rho	1000 Kg / m ³
Viscosité dynamique	Mu	0.01 Pa .s
La vitesse	U	Variée m/s en fonction de Re
Nombre Reynolds	Re=U*Rho*h/Mu	Varié

Tableau (V.2): le paramètre d'étude

V.4 Maillage et vérification Modèle (mesh) :

Afin de vérifier que le type de maille qui a été utilisée dans ces simulations était correct, une vérification de la maille a été réalisée. Cette vérification consistait à courir la même simulation avec plusieurs types de mailles pour déterminer ce que, le cas échéant, effectuer cela aurait sur les résultats. Tous les mesh ont été créés en utilisant l'option de maillage basé sur la physique de COMSOL. De cette façon, un mesh (triangulaire libre) ont été créés; ces mailles sont désignés par COMSOL être normal.

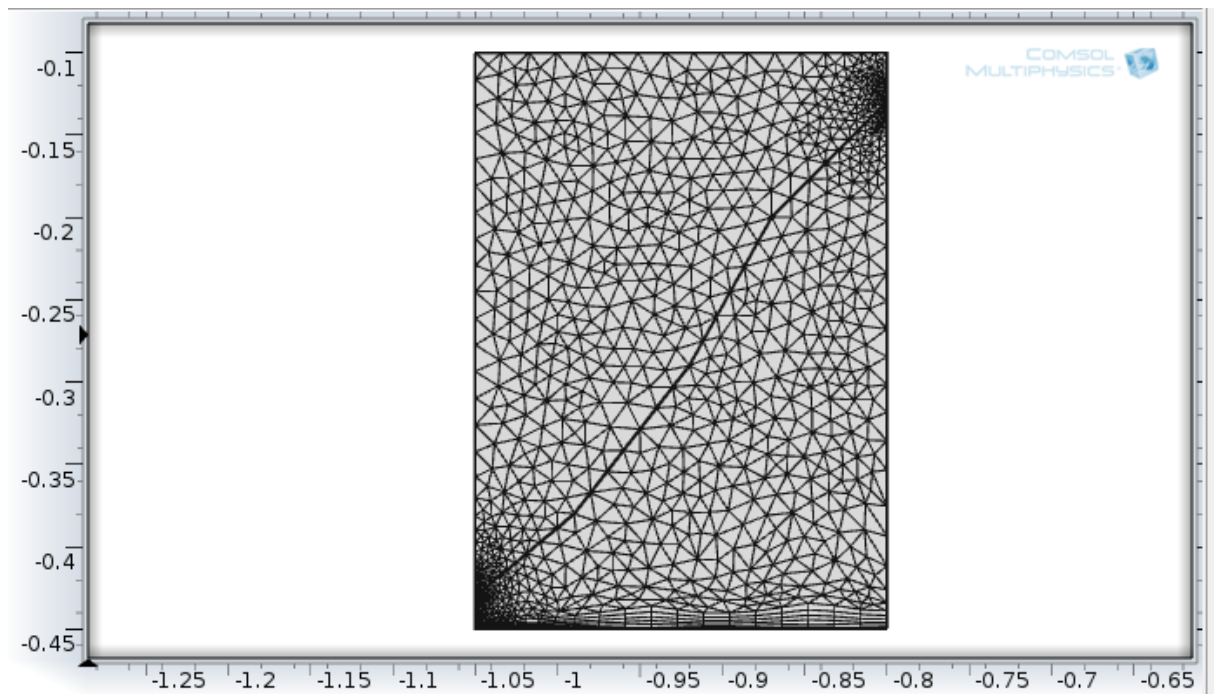


Figure (V-5): maillage des modèles étudiés

La figure (V-6) montre des exemples de maillage des modèles étudiés. Le maillage généré est triangulaire libre avec un raffinement prismatique au niveau de la paroi

V.6 COMSOL Setup :

COMSOL a plusieurs modèles différents à sa disposition pour simuler l'écoulement turbulent. Dans cette étude, l'approche $k-\varepsilon$ a été utilisée. La définition de ce que le modèle

pour ces simulations a été fait semblable aux laminaires pistes. Le modèle k- ϵ était situé sous l'écoulement du fluide, l'écoulement de phase unique, puis un écoulement turbulent. Après avoir sélectionné ce pour la physique du modèle, encore une fois une étude stationnaire a été choisi, puis on a ajouté dans le modèle constructeur COMSOL.

Écoulement incompressible, pour un modèle turbulent, la condition Aucune limite de glissement ne peut pas être utilisée sur le mur; donc au lieu, l'état des fonctions de mur a été utilisé. L'autre différence est faite dans les paramètres Ilet. Après que toutes les conditions ont été fixées, le modèle a ensuite été maillé en utilisant une physique contrôlée mesh puis résolu.

V.6.I. Partie calcul :

Les paramètres à calculer sont :

- Champs des vitesses
- pression
- Lignes de courant

V.6.I Affichage des résultats :

Les résultats obtenus à partir de ce programme informatique (COMSOL multiphasique) sont représentés dans les figures et les graphs suivants :

a) Ecoulement de référence :

Ici on présente l'écoulement dans un réservoir présence de turbulents. Les résultats obtenus de types différents, sont présentés dans les figures

On a fait expériences en temps différents, et on a obtenu les résultats ci-dessous :

On a

Temps de simulation : (0, 10 s)

Temps de calcul : 3jour

b) Champs des vitesses :

Les figures ci-dessous montrent la variation de champs de vitesses tout en changeant le temps de constatation, comme il apparut dans les cas suivants :

1^{er} Cas : temps = 1 s

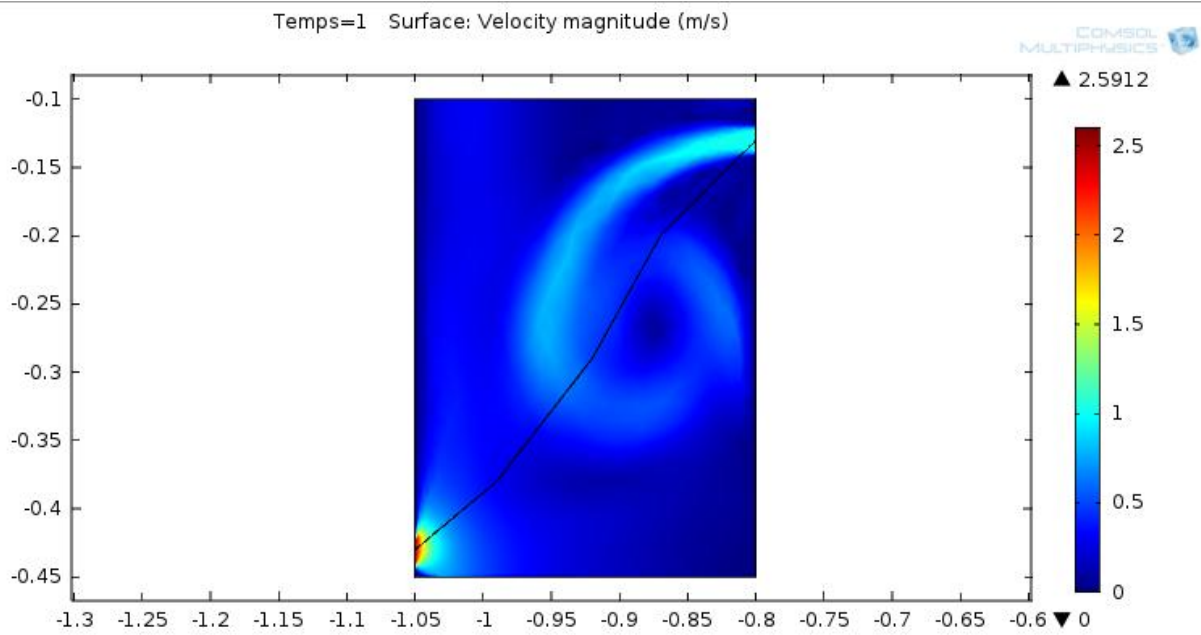


Figure (V-6) : variation de vitesse [m/s] d'écoulement de fluide au sein de réservoir de Turbulents

2^{eme} cas : temps = 3 s

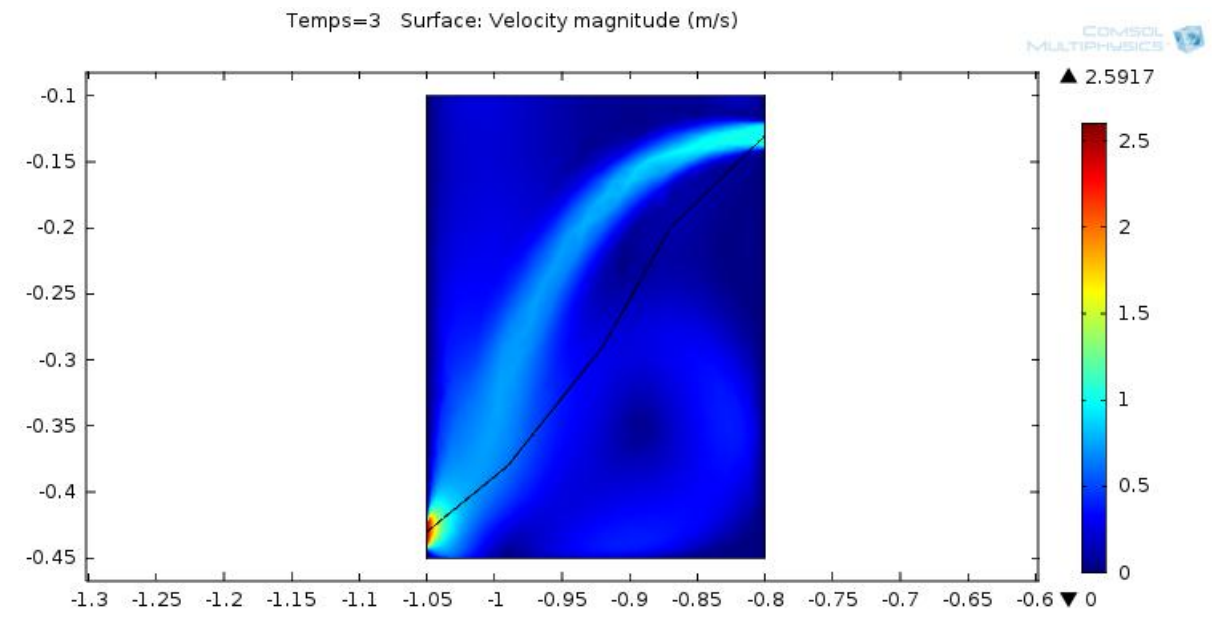


Figure (V-7) : variation de vitesse [m/s] d'écoulement de fluide au sein de réservoir de Turbulents

3^{eme} Cas : temps = 5,6 s

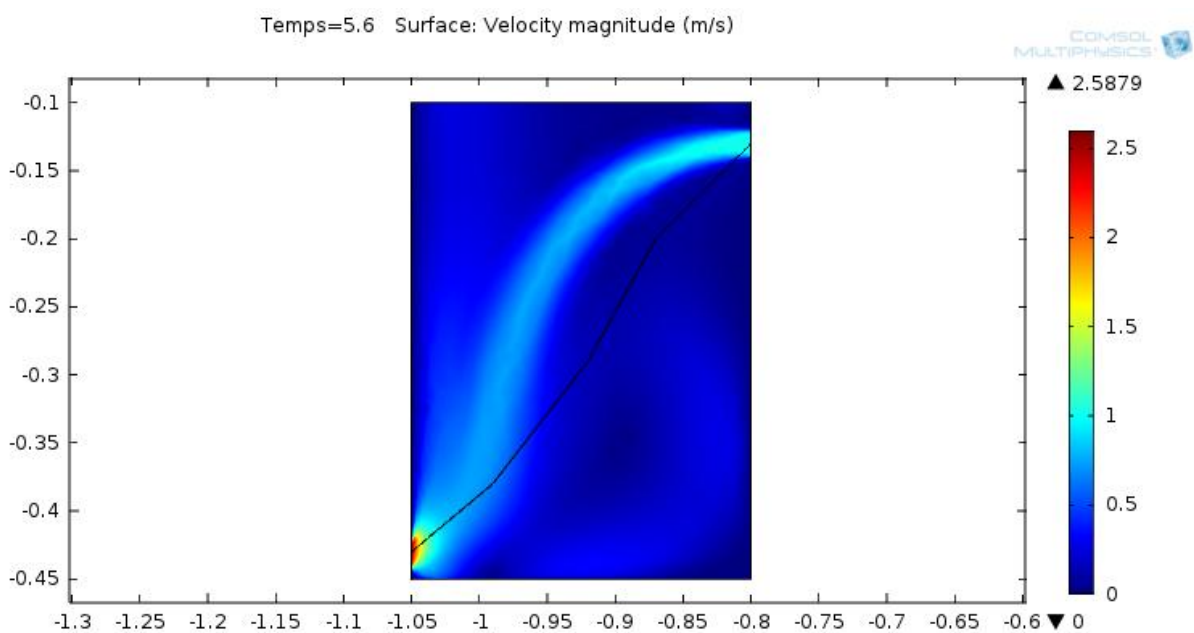


Figure (V- 8) : variation de vitesse [m/s] d'écoulement de fluide au sein de réservoir de Turbulents

4^{eme} Cas : temps = 9 s

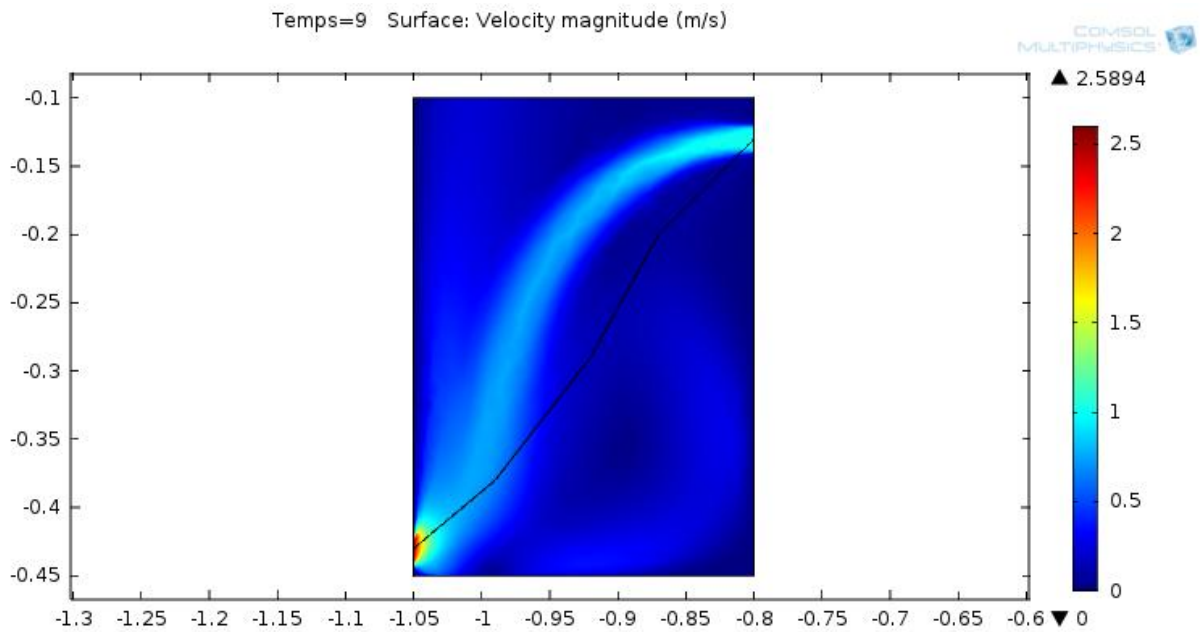


Figure (V-9) : variation de vitesse [m/s] d'écoulement de fluide au sein de réservoir de Turbulents

5^{eme} Cas : temps 10 s

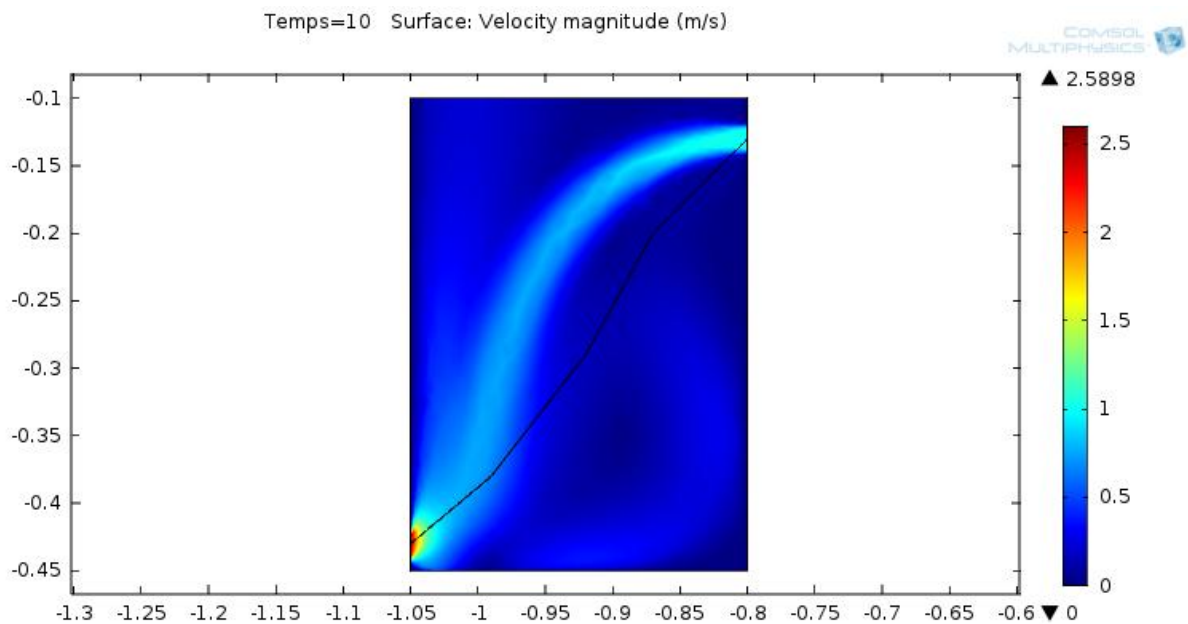


Figure (V-10) : variation de vitesse [m/s] d'écoulement de fluide au sein de réservoir de Turbulents

Chapitre V : Simulation numérique de fonctionnement d'un réservoir

D'après ces figures (V-6, V-7, V-8, V-9, V-10) on remarque qu'il y a une variation de champs vitesse d'un à cas autre, cela est apparu sur l'échelle de vitesse.

On remarque d'abord que l'eau est en état de stagnation (couleur bleue foncée) lorsque les vitesse d'écoulement est variation (0 – 0,5).

Tor suite, Elle est état de mouvement lent (couleur bleue claire jusque à la couleur jaune) lorsque les vitesse de variation (0,5 – 2).

En fin, d'eau est en état de mouvement rapide (couleur rouge), lorsque la vitesse d'écoulement se situe variation de vitesse (2 - 2,5).

Pression : Les figures ci-dessous montrent la variation de pression tout en changeant le temps de constatation, comme il apparut dans les cas suivants :

1^{eme} cas : temps 1

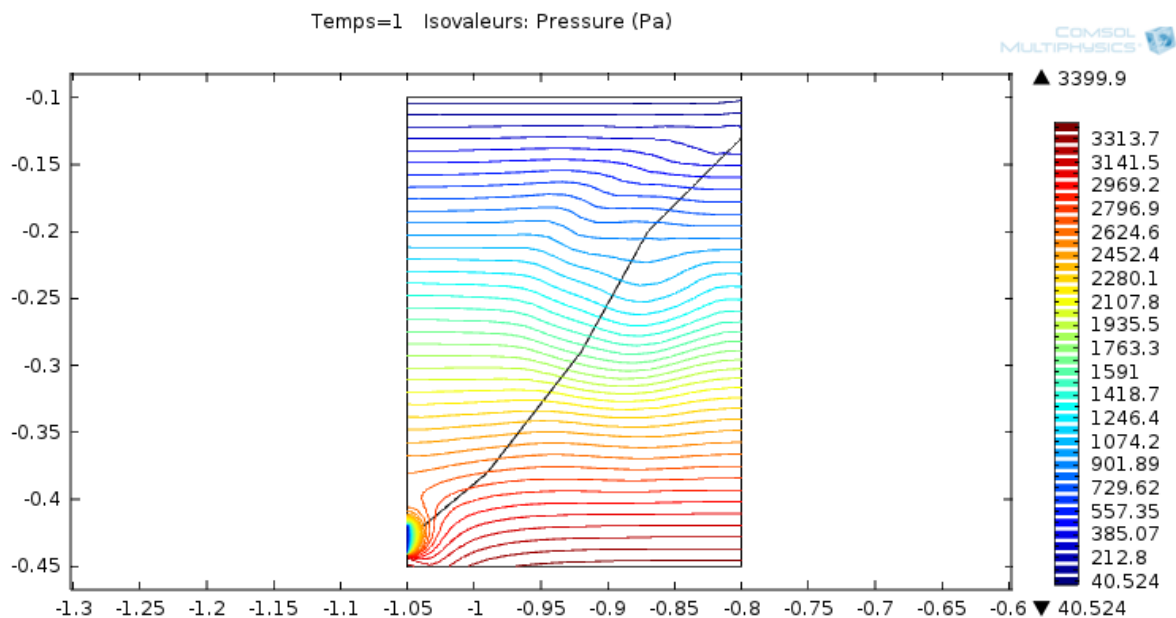


Figure (V-11) : variation de pression [Pa] au sein de réservoir de turbulents

2^{ème} cas : temps 3 s

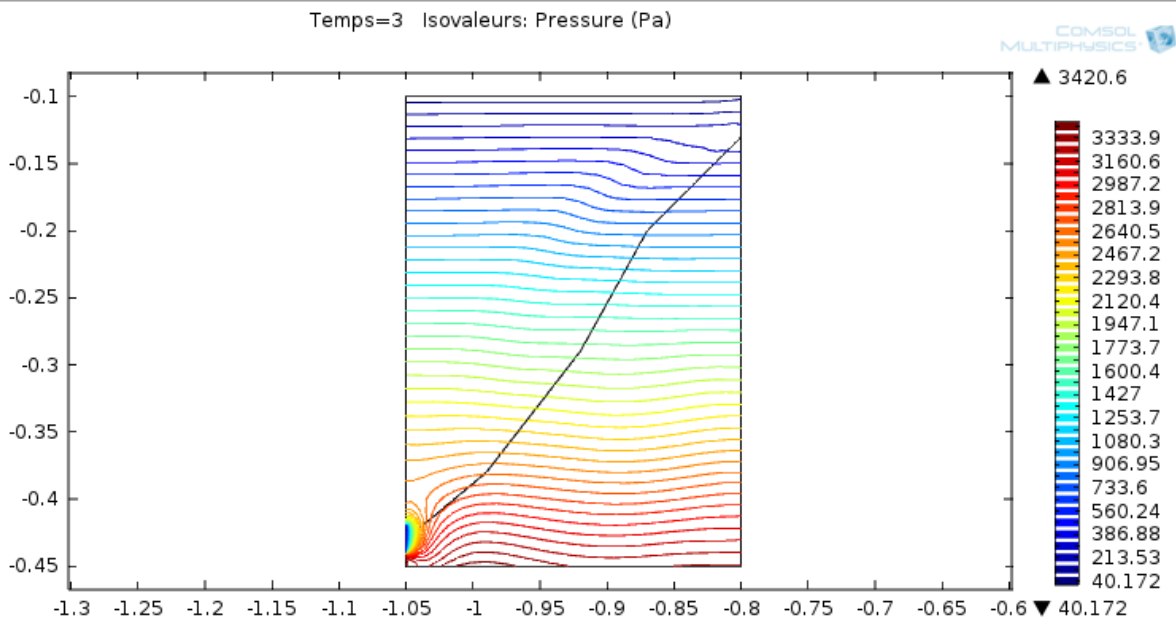


Figure (V-12) : variation de pression [Pa] au sein de réservoir de turbulents

3^{ème} cas : temps 5 s

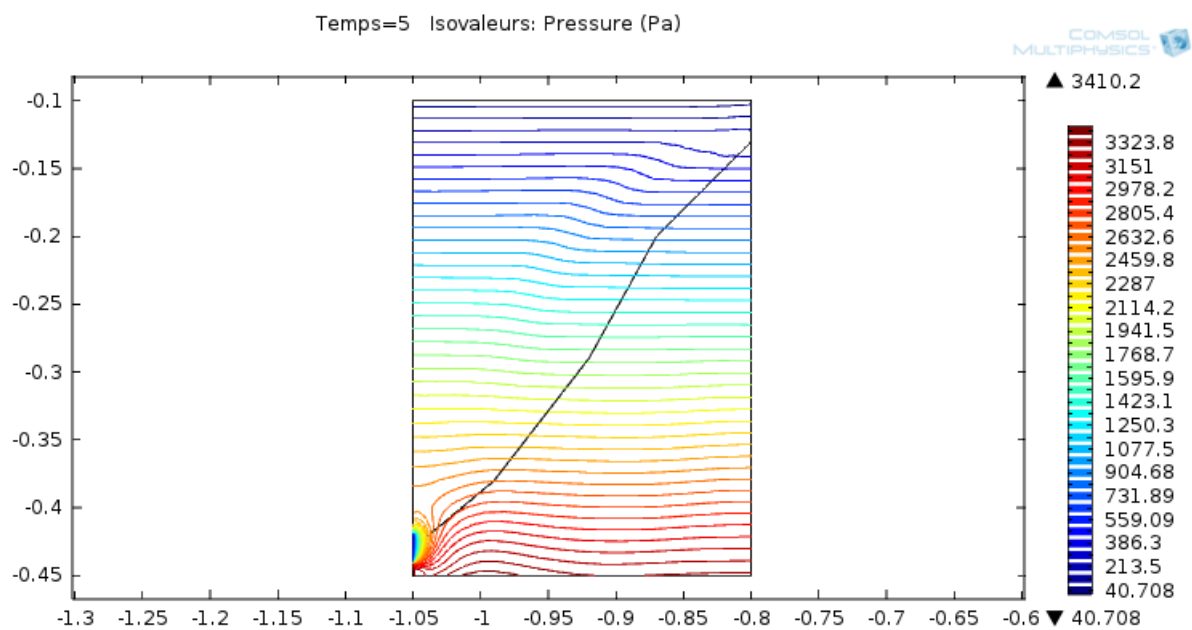


Figure (V-13) : variation de pression [Pa] au sein de réservoir de turbulents

4^{eme} cas : temps 8 s

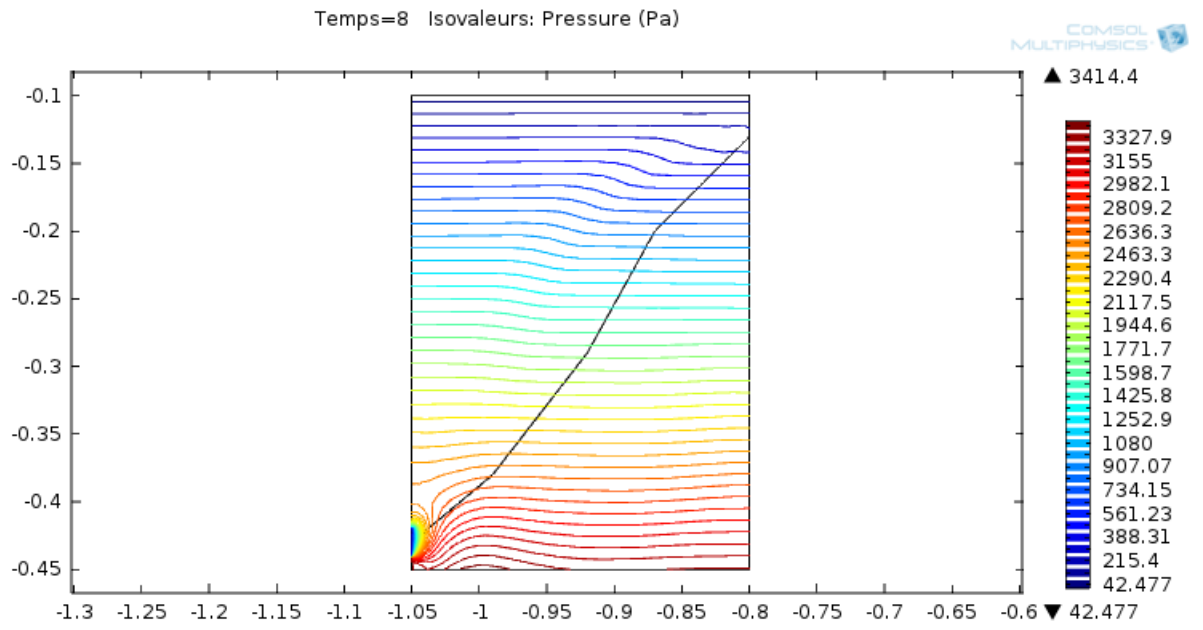


Figure (V-14) : variation de pression [Pa] au sein de réservoir de turbulents

5^{eme} cas : temps 10 s

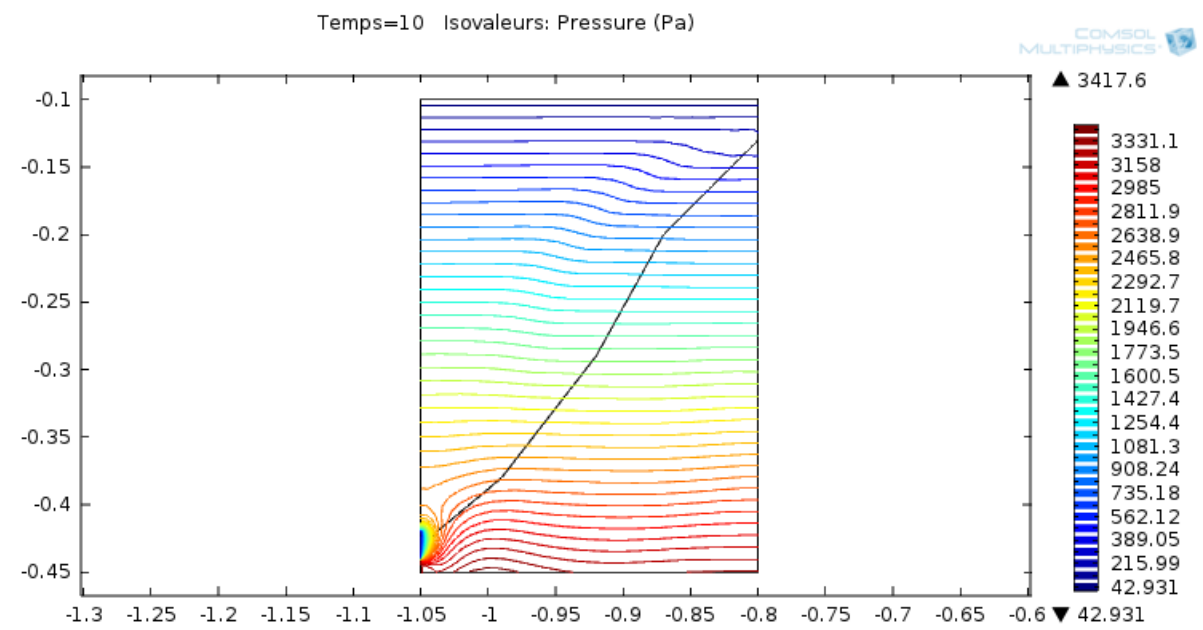


Figure (V-15) : variation de pression [Pa] au sein de réservoir de turbulents

Chapitre V : Simulation numérique de fonctionnement d'un réservoir

D'après ces figures (V-11, V-12, V-13, V-14, V-15) on remarque qu'il y a une variation de pression d'un à cas autre, cela est apparu sur l'échelle une variation de pression.

On remarque d'abord est en état de fable pression (couleur bleue foncée) lorsque le d'écoulement l'eau est variation (42.931 – 1946.6).

Tor suite, Elle est état de pression moyenne (couleur bleue claire jusque à la couleur jaune) lorsque les variations de pression (1946.6 – 2292.7) .

En fin, la pression en état de forte (couleur rouge) , lorsque variation de pression (2292.7- 3417.6).

c) surface de concentration :

1^{eme} cas : temps 1 s

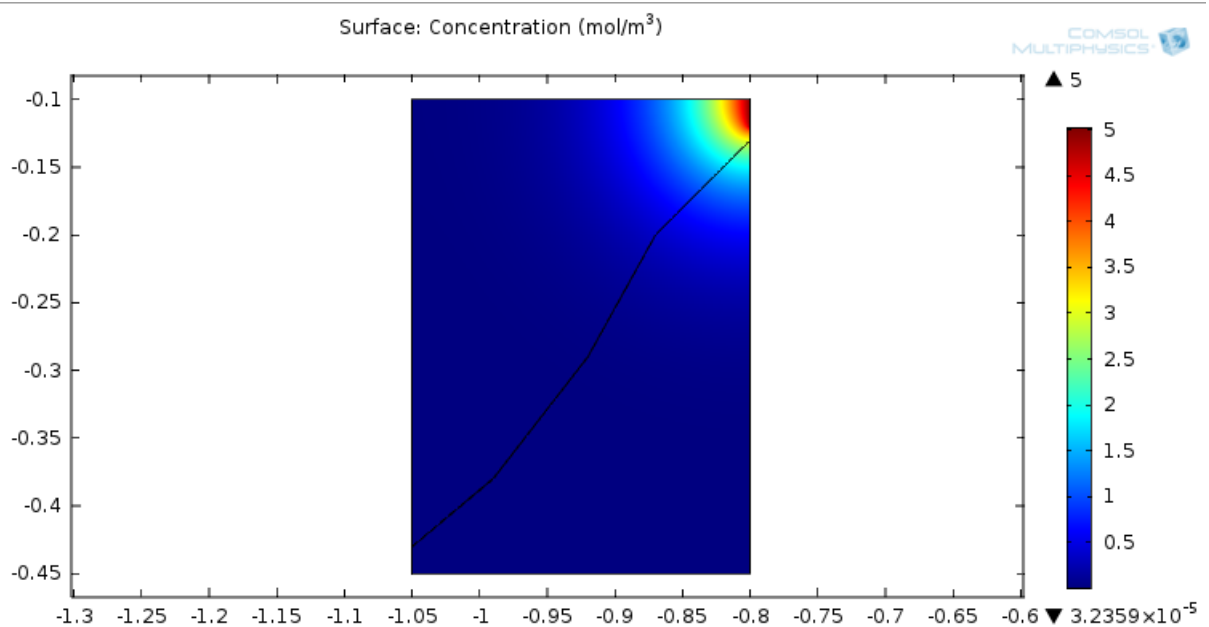


Figure (V-16): variation de concentration [mol/m³] au sein de réservoir de turbulents

2^{ème} cas : temps = 5

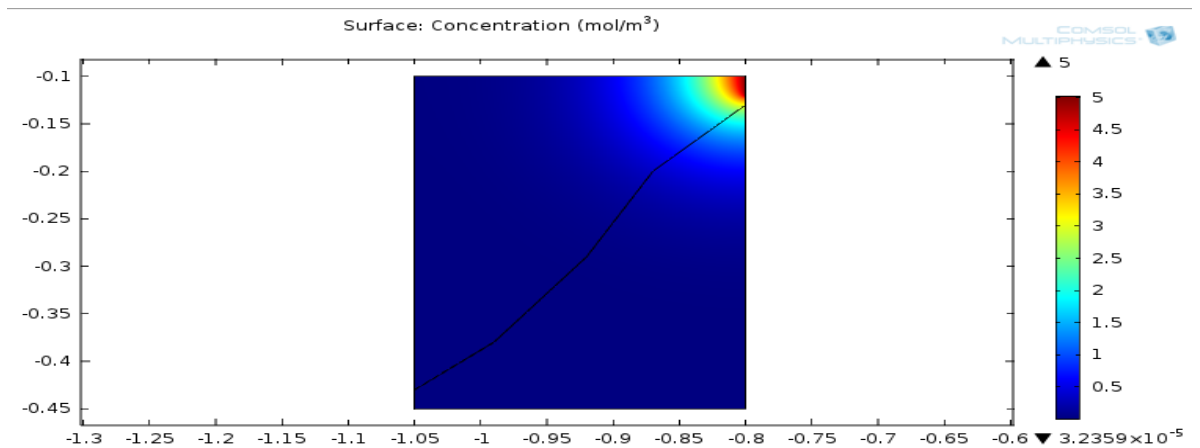


Figure (V-17): variation de concentration [mol/m³] au sein de réservoir de turbulents

3^{ème} cas : temps = 10 s

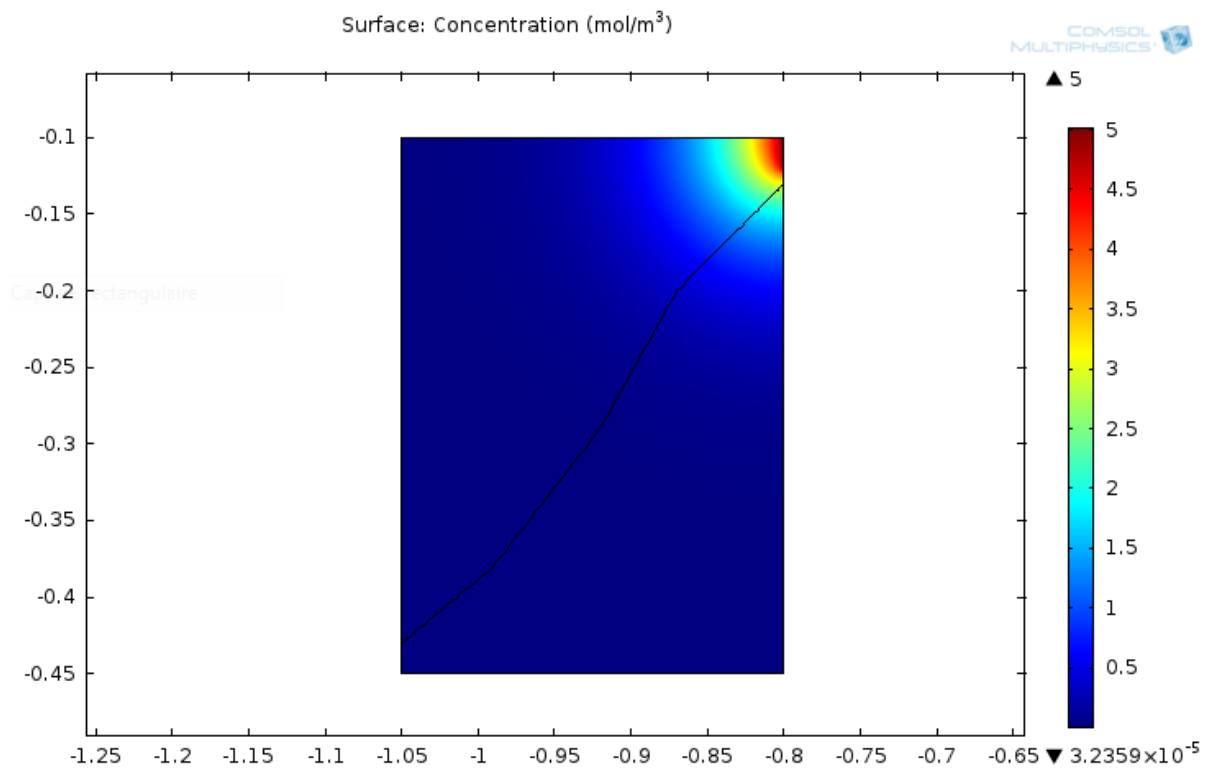


Figure (V-18): variation de concentration [mol/m³] au sein de réservoir de turbulents

Chapitre V : Simulation numérique de fonctionnement d'un réservoir

D'après ces figures (V-16, V-17, V-18,) on remarque qu'il y a une variation de concentration ne varie pas dans tout les cas autre,

On conclure le variation de concentration est entre.

V.7 Conclusion :

L'augmentation de la vitesse réduit l'effet de forces visqueuses au niveau de couche limite ces forces qui font bloquer le mouvement de molécule ou bien les particules ce qui réduit le transfert vitesse par convection et la conduction deviennent prédominantes. Les résultats obtenus nous ont conduit à déduire que pour augmenter le transfert de champs vitesse, il faut perturber l'écoulement au niveau des parois. C'est aussi l'effet des turbulents qui peuvent provoquer cette perturbation de l'écoulement.

Le turbulents de forme carrée donne un bon transfert de vitesse en comparaison avec les turbulents de forme triangulaire. On a constaté aussi que le transfert de vitesse est important lorsque le nombre des turbulents augmente.

Conclusion générale

Nous avons choisi comme un ouvrage pour notre étude, un prototype d'un réservoir cylindrique.

Mon objectif tout au long du projet de fin d'études a été de mener à bien les différentes expériences afin de comprendre en mieux le fonctionnement hydrodynamique d'un réservoir et on remarque que la dynamique de l'eau a un rôle dans la propagation de la pollution ainsi que dans la dépollution.

D'après le travail pratique, on conclue que la position de la conduite de sortie (distribution) dans le bas du réservoir c'est la meilleure position pour un avoir un débit excellent et l'évacuation rapide de la pollution.

On utilise dans toutes les études la simulation numérique par logiciel comsol multi physique cette dernière montre la variation de la dynamique des fluides dans les différents endroits du réservoir.

Nous avons étudié par le code Comsol la modélisation mathématique et physique à l'aide des équations de la MDF incompressible pour des régimes turbulents (Navier – Stokes et k-epsilon). Une autre simulation d'un polluant passif a été faite.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. Mécanique des Fluides- Année (2010.2011) -Master 1 de Physique Appliquée et Mécanique.
- [2]. charpentier-tity haïmadou -(14/06/2012) - Les pathologies des châteaux d'eau en béton arme - Conservatoire national des arts et métiers paris- génie civil.
- [3]. Claude mugler – le (12 novembre 2012) - contributions a la modélisation hydrodynamique et géochimique des fluides : des approches numériques aux applications - de l'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines –
Spécialité : Sciences - Mécanique, génie mécanique, génie civil.
- [4]. Melle Miloudi nassima – (11.12.2014) – contribution a l'étude de la vulnérabilité des réservoirs en biton par analyse des composants principaux - de l'Université mouloud Mammeri de tizi ousou – mémoire de magister – spécialité génie civil .
- [5]. Jean-Luc celerier et jean-Antoine faby mis à jour par ghislain loiseau et Catherine juery - la dégradation de la qualité de l'eau potable dans les réseaux – office International de l'Eau SNIDE –HORS SERIE N°12
- [6]. « Introduction to COMSOL Multiphysics » comsol, 1998–2011 COMSOL.
- [7]. « Physics Builder Manual » comsol , 1998–2013 COMSOL - Protected by U.S. Patents 7,519,518; 7,596,474; and 7,623,991. Patents pending.

Sites Internet :

- www.watertowers-of-belgium.net : site belge de présentation des réservoirs sur tour
- www.chateau.deau.free.fr : site français de présentation des réservoirs sur tour
- www.french-water.com : Union des Industries et Entreprises de l'Eau et de l'Environnement (UIE)
- www.gcee.net : site du génie civil de l'eau et de l'environnement
- www.eauxdemarseille.fr : site du groupe exploitant d'eau

Résumé

Le but de notre travail est l'étude d'hydrodynamique et fonctionnement d'un réservoir. On a effectué un travail bibliographique et un autre expérimental réalisé sur un prototype d'un réservoir cylindrique. Le but de travail expérimental est de déterminer les positions optimales des entrées sorties qui donnent le maximum de brassage et de dynamique.

Après ça, on a effectué une simulation numérique de la dynamique de l'eau dans un réservoir en fonctionnement. Cette simulation est réalisée par le logiciel COMSOL multi physiques , Elle nous a permis de déterminer les zones de stagnation et de mouvement de l'eau. Enfin, une simulation sur la diffusion d'un polluant passive a été réalisée.

ملخص العمل

الهدف من عملنا هو دراسة الهيدروديناميك و وظيفة الخزان، قمنا بعمل مكتبي وعلمي وآخر تجريبي، انجز حول نموذج خزان اسطواني. الهدف من العمل التجريبي هو الحصول على المواقع الأفضل لدخول وخروج الماء من الخزان التي يعطي الموقع الأعظمي.

بعد هذا قمنا بمحاكاة عددية لحركة الماء داخل الخزان، هذه المحاكاة انجزت باستعمال COMSOL الذي يسمح بتحديد مناطق الركود وحركة الماء، في النهاية محاكاة حول انتشار التلوث الخطي المعد.

Abstract

The goal of our job is education of hydrodynamic and the function of the tank, we had a experimental work done with model of a cylindrical tank, the goal of the experimental work is to get the optimal positions of entrances and exits of water from the tank wish tell us the maximum brewing.

After this we had done a digital simulation of dynamism of the water inside a used tank , this simulation is done by COSMOL software, it can precise the spots of stagnation and movement of the water . at last a simulation about distribution of the outer pollution has done.