

Université Kasdi Merbah Ouargla



*Faculté des hydrocarbures et des énergies renouvelables et science de la terre et de l'univers*

**Département de Production des Hydrocarbures**

## **MEMOIRE**

**Pour obtenir le Diplôme de Master**

**Option : Production Académique**

Présenté Par :

**BOURELAF Seddik, CHEKIREH Hilel,**

**-THÈME-**

---

# **Simulation numérique d'un écoulement dans un Séparateur bi-phasique horizontale**

---

Soutenue le : 15 / 09 / 2020 devant la commission d'examen

Jury :

Président :	A. Raouf REMITA	Docteur	Univ. Ouargla
Rapporteur :	Mohamed BOUKSANI	Docteur	Univ. Ouargla
Examineurs :	Salim GAREH	Docteur	Univ. Ouargla

**Année universitaire 2019 - 2020**

*Un mémoire n'est pas une fin en soi, mais un moment particulier dans le parcours d'un étudiant. Nous avons toujours attendu la rédaction de cette page qui en marquerait la fin.*

*C'est avec beaucoup de plaisir que nous profitons de l'occasion pour remercier un certain nombre de personnes que nous avons rencontré tout le long de l'élaboration de ce travail.*

*Tout d'abord Nous remercions dieu tout puissant qui nous a donné le courage et la volonté et de nous avoir bénie jusqu'à la réalisation de ce travail*

*Nous remercions sincèrement Mr BOUKSANI Mohamed, qui nous a guidé à réaliser ce travail pour son suivi et son orientation et ses aides précieuses.*

*Nous n'oublierons pas de remercier nos enseignants du département de production, Pour les efforts qu'ils ont fournis durant notre cursus afin de nous amener jusqu'au bout de la formation.*

*Nous profitant de l'occasion pour remercier tous ceux qui ont collaboré de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire*

*BOURELAF Seddik*

*CHEKIRED Hilel.....*



# *Dédicace*

*Nul plaisir ne peut égaler celui de partager son bonheur avec les gens que l'on aime.*

*Arrivé au terme de mes études, j'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail :*

*A ma chère mère à qui je dois ce que je suis, elle qui a été toujours là pour moi et qui n'a jamais cessé de prier pour mon bonheur.*

*A mon cher père, pour tous les conseils qui m'a donnés, le soutien qui m'a montré et les sacrifices qu'il a consentis pour qu'il me voie réussir.*

*A mes chers frères.*

*A toute ma grande famille.*

*A tous mes amis.*

*A mon binômes : seddik*

*A tous ceux que j'aime et qui m'aiment.*

*Hilél...*







# Dédicace

 *Je dédie cette thèse à...* 

 Ma très chère mère

qui ma toujours poussé vers le meilleur de moi et qui ont tout sacrifié pour assuré ma réussite, mon confort et satisfaire à mes besoins

Mon très cher père

pour ses encouragements, son soutien, et son sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études.

 Ma très chère sœur et Mes très chers frères

Je vous exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité et d'amour.


 Tout ma famille

qui m'ont soutenue durant toute la durée de mes études, qui m'ont accueilli chez eux, m'ont encouragé et m'ont aidé à faire mes études dans les meilleurs conditions.

 Tous mes amis

Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite, surtout mon binôme:

*Hilel*

Seddiki 



## Résumé

Les séparateurs diphasiques (exemple huile-eau) jouent un rôle important dans plusieurs industries et dans le traitement des eaux usées.

Cependant, en raison de divers facteurs intervenant, la pratique prouve qu'il est difficile de garantir que les séparateurs conçus fonctionneraient en fonction de l'efficacité souhaitée. Il est possible de gagner du temps et de l'argent en simulant le processus de séparation à l'aide du logiciel sans qu'il soit nécessaire de construire un prototype et de le tester.

Cette étude vise à utiliser le logiciel ANSYS-CFD pour simuler le processus de séparation et tester sa précision en comparant la modélisation et un exemple réel (à cause de COVID19 cette étape est annulée).

Le travail vise également à étudier l'effet de différents paramètres opératoires et de conception sur l'efficacité du processus de séparation, qui pourraient être très utiles pour la conception et le fonctionnement des séparateurs.

**Mot clé : la séparation, Les séparateurs diphasiques, ANSYS-CFD, la modélisation, simulation.**

### الملخص

تلعب الفواصل الثنائية (مثل زيت - الماء) دورًا مهمًا في العديد من الصناعات وفي معالجة المياه المستعملة. و نظرًا لعدة عوامل مختلفة ، أظهرت التجارب أنه من الصعب ضمان أداء أجهزة الفصل المصممة بالكفاءة المطلوبة. من الممكن توفير الوقت والمال من خلال محاكاة عملية الفصل باستخدام البرنامج دون الحاجة إلى إنشاء نموذج أولي واختباره. تهدف هذه الدراسة إلى استخدام برنامج ANSYS-CFD لمحاكاة عملية الفصل واختبار دقتها من خلال مقارنة النمذجة المصممة بمثال حقيقي (بسبب COVID19 تم إلغاء هذه الخطوة). يهدف هذا العمل أيضًا إلى دراسة تأثير مختلف عناصر التشغيل وهيكل الفواصل على كفاءة عملية الفصل، والتي يمكن أن تكون مفيدة جدًا لتصميم وتشغيل أجهزة الفصل.

**الكلمات المفتاحية: عملية الفصل , الفواصل الثنائية، المحاكاة، التصميم, ANSYS-CFD .**

### Abstract

Two-phase separators (oil-water) have an important role in several industries and in the treatment of wastewater.

However, due to the influence of various factors, practice shows that it is difficult to guarantee that designed separators would work at the desired efficiency. It is possible to gain time and money by simulating the separation process using software without the need to build a prototype and test it.

This study aims to use the ANSYS-CFD software to simulate the separation process and test its accuracy by comparing the modeling and a real example (due to COVID19 this step is canceled).

The work also aims to study the effect of different operating parameters and design on the efficiency of the separation process, which could be very useful for the design and operation of separators.

**Key word: separation, Two-phase separators, ANSYS-CFD, modeling, simulation.**



# Nomenclature

---

## Abréviations

CFD	Computational Fluid Dynamics
COP	Coefficient of Performance
IEA	Internationa Energy Agency
RANS	Reynolds Averaged Navier-Stokes
SIMPLE	Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equation
TRNSYS	Transient System Simulation
GOR	gas-oil ratio
G.W.R	Gas-Water-Ratio
MPS	Moyne pressure separator
B.S.W	basic and sediment water
HPS	Height pressure separator
COV	composés organiques volatils

## LISTE DES SYMBOLES ET UNITÉS DE MESURE

$c_p$	Chaleur spécifique	
$d_h$	Diamètre hydraulique	
$e$	épaisseur	J/kg.K
$g$	Accélération de pesanteur	mm
$\dot{m}$	Débit massique de l'eau	mm
$P$	Pression	m/s <sup>2</sup>
$P_b$	pression de bulle	Kg/s
$P_{gi}$	pression de gisement initiale	Pa
$B_o$	Facteur de volume	Pa
$B_g$	Le facteur volumétrique de fond	Pa
$\mu_g$	La viscosité	
$Re$	Nombre de Reynolds	
$T$	Température	cpo
$t$	Temps	-
$u$	Composante selon x de la vitesse V	°C
$V$	Vitesse moyenne	s
$V_{in}$	Vitesse d'entrée	m/s

## Nomenclature

---

$v$	Composante selon y de la vitesse $V$	m/s
$W$	Longueur des plénums	m/s
$w$	Composante selon z de la vitesse $V$	m/s
$x$	Première coordonnée du repère cartésien	mm
$y$	Deuxième coordonnée du repère cartésien	m/s

### Lettres grecque

$\delta_{ij}$	Symbole de Kronecker	-
$\varepsilon$	Le taux de dissipation de la turbulence	$m^2/s^3$
$\theta$	Paramètre adimensionnel pour le calcul du degré d'uniformité du débit dans les tubes	-
$\kappa$	Coefficient pour le calcul des pertes de charge mineures	-
$\lambda$	Conductivité thermique	W/m.K
$\mu$	Viscosité dynamique de l'eau	kg/m.s
$\mu_{eff}$	Viscosité effective	kg/m.s
$\mu_t$	Viscosité dynamique turbulente	kg/m.s
$\nu$	Viscosité cinématique de l'eau	$m^2/s$
$\rho$	masse volumique de l'eau	$kg/m^3$
$\tau_w$	contrainte de cisaillement proche de la paroi	N/m <sup>2</sup>
$\phi$	Fonction de dissipation visqueuse	-



<b>Liste des Figures</b>	<b>page</b>
<b>Fig. I.1 :</b> Situation géographique du champ de HaoudBerkaoui	02
<b>Fig. I.2 :</b> la colonne Stratigraphique de Haoud Berkaoui	05
<b>Fig. I.3 :</b> Unité de séparation HBK	09
<b>Fig. I.4 :</b> Principe d'un séparateur	10
<b>Fig. I. 5 :</b> instrument de contrôle du séparateur	11
<b>Fig. III.1 :</b> Réservoir pétro-gazier piégé dans une structure anticlinale.	23
<b>Fig. III. 1:</b> Rendement d'une séparation	26
<b>Fig.III.1 :</b> Dispositifs de séparation utilisant la force gravitationnelle	27
<b>Fig. III.3 :</b> Dispositifs de séparation utilisant la force centrifuge	28
<b>Fig. III.4:</b> Filtre à manches à nettoyage par air pulsé	29
<b>Fig. III.5 :</b> tour de lavage	29
<b>Fig. III .6 :</b> Procédés de séparation électrostatique et électro filtres (EF)	30
<b>Fig. III. 7:</b> séparateur vertical tri-phasiques.	35
<b>Fig. III. 8 :</b> Séparateur horizontale bi-phasiques	37
<b>Fig. III. 9 :</b> Séparateur sphérique	38
<b>Fig. III. 10 :</b> Projection contre une paroi	42
<b>Fig. III. 11 :</b> Centrifugation	43
<b>Fig. III. 12 :</b> Les différents organes des séparateurs.	44
<b>Fig. III. 13 :</b> Dénomination d'un séparateur.	45
	55
<b>Fig. IV. 1:</b> Algorithme de calcul. (LIPEME KOUYI, 2004)	
<b>Fig. V.1. :</b> Organigramme du projet	59
<b>Fig. V.2 :</b> Le modèle de séparateur MPS V-200 par ANSYS Design Modeler	60

---

<b>Fig. V.2:</b> Interface de WorkBench R2020	61
<b>Fig. V.3:</b> Géométrie d'un séparateur 'V-200 MP'	61
<b>Fig. V.4:</b> Maillage d'un séparateur	62
<b>Fig. V.5 :</b> Maillage réalisé à l'aide du deuxième modèle ANSYS DesignModeler	63
<b>Fig. V.6 :</b> Maillage réalisé à l'aide du modèle Auto CAD final	64
<b>Fig. V.7:</b> Interface de solveur fluent	65
<b>Fig. V.8:</b> Fluent calcul des résidus	65
<b>Fig. V.9 :</b> Vecteur de vitesse de la simulation préliminaire	66
<b>Fig. V.10 :</b> Contour de la vitesse fuel	67
<b>Fig. V.11 :</b> Rationalisation de la vitesse du gaz	68
<b>Fig. V.12 :</b> Rationalisation de la vitesse du liquide	68
<b>Fig. V13 :</b> Vecteur de vitesse du gaz	68
<b>Fig. V.14 :</b> Vecteur de vitesse du liquide	70
<b>Fig. V.15 :</b> Contour de fractionnement	71
<b>Fig. V.16 :</b> Rationalisation de la vitesse du liquid	72

### Liste des tableaux

	page
<b>Tab.II.1 :</b> Paramètres et dimensions des séparateurs	12
<b>Tab. II. 2 :</b> Conditions de fonctionnement V100	14
<b>Tab. II. 3.</b> Conditions de fonctionnement V200	16
<b>Tab. II. 4.</b> Conditions de fonctionnement V201	18
<b>Tab. III. 1 :</b> les avantages et les inconvénients de trios types de séparateur.	39
<b>Tab. III. 2 :</b> Répartition des diverses sections sur les divers types de séparateurs.	40

# SOMMAIRE

---

<b>SOMMAIRE</b>	<b>PAGE</b>
<b>INTRODUCTION GENERAL</b>	<b>01</b>
<b>CHAPITRE I. Présentation de la région &amp; Problématique</b>	
1. Présentation de la région	02
2. Caractéristiques initiales du réservoir	06
3. Problèmes techniques d'exploitation	07
4. Centre de production HAOUDBERKAOUI « HBK »	08
<b>CHAPITRE II . Unité de séparation</b>	
1. Objectifs de l'unité de traitement d'huile	12
2. Description de l'unité de séparation d'huile	12
3. Description des trois séparateurs	13
3.1 Séparateur HP-V100	13
3.2 Séparateur MP-V200	15
3.3 Séparateur MP-V201	17
4. La mise en service des nouveaux séparateurs	19
5. Mise a l'arrêt des nouveaux séparateurs	20
<b>CHAPITRE III. Généralités sur la séparation</b>	
1. Introduction	23
2. L'effluent	23
3. La Séparation	24
3.1. Objectif de la séparation	24
3.2. Principes physiques dans la séparation	26
3.3. Procèdes de séparation	27
3.4. Différents modes de séparation	30
4. Le séparateur	31
4.1. Constitution d'un séparateur	32
4.2. Paramètres de fonctionnement d'un séparateur	33
4.3. Différents types de séparateurs	34
4.4. Les équipements dans un séparateur	44
4.5. Dénomination d'un séparateur	46
4.6. Les paramètres à surveillé sur un séparateur	46
<b>CHAPITRE IV. Modélisation numérique du phénomène de séparation</b>	
1. Introduction	47
2. L'écoulement multiphasique	47
3. Équations gouvernantes dans la CFD	48
4. Approche de modélisation d'un écoulement multiphasique	51

## SOMMAIRE

---

4. 1. Approche d'Euler-Lagrange	51
4. 2. Approche d'Euler-Euler	51
4. 3. Approche du volume de liquide	53
4. 4. Conditions aux limites et initiales	53
5. La convergence de calcul	54
5. 1. Le couplage pression vitesse	54
5. 2. Méthodes de calcul du champ de pression	55
Conclusion	57

### CHAPITRE V. Simulation & interprétation des résultats

1. Introduction	58
2. Modélisation numérique	58
2. 1. Présentation du logiciel ANSYS	59
2. 2. Méthodologie de simulation	60
2. 2. Géométrie (DesignModeler)	61
2. 3. Le maillage	62
2. 4. Le solveur Fluent	64
3. Résultats et discussion	66
3. 1. Résultats préliminaires de la simulation	66
3.2 Résultats de la simulation secondaire	67
3.3. Résultats finaux de la simulation	70

### CONCLUSION ET RECOMMANDATION



## **Introduction générale**

Les fluides produits à partir des réservoirs d'hydrocarbures sont principalement constitués d'un mélange multiphasique d'huile, d'eau et de gaz, dans des proportions variables. Avant que tout autre traitement des fluides puisse être effectué, ces trois composants doivent être séparés les uns des autres.

La séparation est un élément fondamental de toutes les opérations de production de pétrole, que ce soit dans les champs pétrolifères ou gaziers.

Il est important de disposer d'un fluide huile ou gaz dans les conditions de température, et de pression des installations de stockage et de transport se maintient en état monophasique. La présence des bouchons de gaz perturbent l'équilibre des réservoirs de stockage, dérèglent les mesures, perturbent le fonctionnement des pompes, créent dans les réseaux des pertes de charge importantes et imprévisibles. Ces inconvénients sont du même ordre dans les lignes de transport du gaz. L'apparition de condensas, due à une chute de pression ou de température, fausse les comptages, augmente les pertes de charge et peut parfois dans certaines conditions critiques, provoquer le bouchage des conduites par formation d'hydrates.

Beaucoup de travail a été fait sur la séparation et les séparateur pour raison d'élimine la présence d'une phase dans l'autre, dans ce contexte, Nous avons choisir a développe un model d'un séparateur MP V200 et le simuler pour mieux comprendre ces mécanismes, Ce séparateur existe dans Le centre de production HAUD BERKAOUI. Ensuite nous avons modélisé ces cas en utilisant le code de calcul ANSYS Fluent R20. Nous avons opté pour la méthode VOF (volume of fluid) pour tracer le comportement de la séparation.

Les études de CFD liées au domaine, ont permis d'établir les meilleures pratiques pour une simulation réussie de ces flux complexes Différents degrés de précision pourraient être atteints en fonction de la complexité des modèles utilisés et du coût de calcul qu'ils engendrent.

Ce manuscrit est organisé en 5 chapitres

Dans le premier chapitre nous avons présenté le centre de production de HAUD BERKAOUI HBK, ainsi que l'historique de la région, situation géologique générale, structure régional. Dans cette partie on a posé l'objectif principal de l'unité et les problèmes rencontrés d'une mauvaise séparation.

Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté l'unité de séparation en générale et le séparateur MP V-200 utilisé dans notre étude.

le troisième chapitre est consacré aux notions générales de la séparation et les séparateurs, objectif de séparation, paramètres influents la séparation..

Dans le quatrième chapitre nous avons cerné les équations de gouvernant l'écoulement, ainsi les modèles de discrétisation et les algorithmes de calcul du couplage pression-vitesse. Suivi par la présentation du code de calcul ANSYS 2020R2 utilisé dans cette étude numérique.

Le dernier chapitre illustre les résultats numériques obtenus et leurs interprétations.

*Chapitre I*  
*Présentation de la région*  
*& Problématique*

## I. 1. PRESENTATION DE LA REGION :

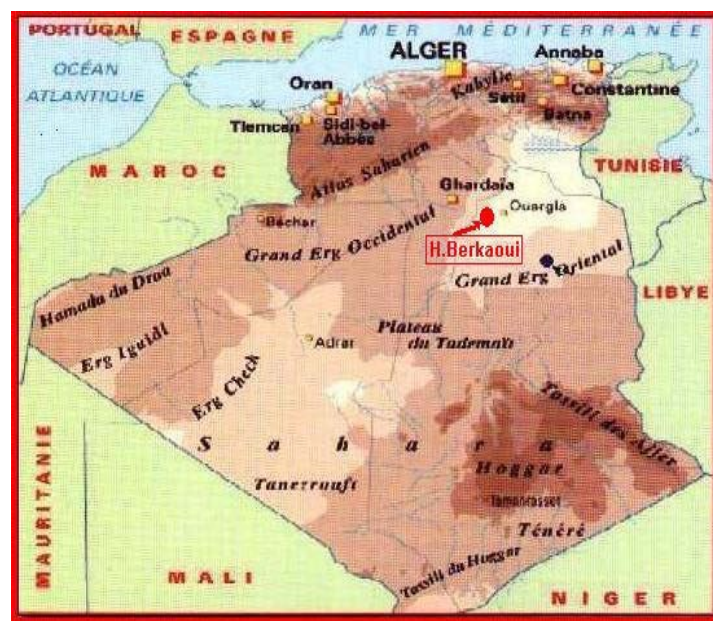
La région de Haoud-Berkaoui fait partie du bassin de Oued-Mya, ce dernier se situe dans la partie nord du Sahara Algérien, elle se localise exactement dans la province centrale.

Cette région a la configuration d'une dépression allongée d'orientation nord-est/sud-ouest acquise au cours du paléozoïque. Elle est limitée, au nord par la zone haute de Djamâa – Touggourt, constituée de terrains d'âge cambrien ; Au nord-ouest le môle de Talemzane (HassiR'mel) ; Au sud-est le môle de Hassi Messaoud qui se prolonge au nord par le dorsale d'El Agreb-El Gassi.

La région de Haoud- Berkaoui se situe au nord de la dépression de Oued-Mya (Bloc 438). Cette structure se trouve dans la partie la plus subsidence orientée nord-est/sud-ouest, cette dernière séparée du bourrelet d'Erg Djouad par un sillon dont l'amplitude varie de 200 à 400 Km, sa largeur varie de 25 à 30 Km au sud-ouest et de 08 à 10 Km au nord-est.

### I. 1. 1. Situation géographique :

La région de Haoud- Berkaoui représente l'une des principales zones d'hydrocarbures du Sahara algérien. Elle fait partie du bloc 438 situé au Nord de la dépression de Oued- Mya. Cette région se trouve à une trentaine de kilomètres au S/O de la wilaya de Ouargla, elle se positionne ainsi entre les deux régions de Hassi- Messaoud et de Hassi- R'mel à 700 km au Sud- Est de la capitale, Alger et à environ 100Km à l'Ouest de Hassi- Messaoud à une altitude de 220 mètre (**Fig.. I.1**).



**Fig. I.1 : Situation géographique du champ de Haoud Berkaoui**

Cette région est importante en raison de sa part de production des hydrocarbures du pays. Elle s'étend de Sud- Est de Ghardaïa jusqu'au champ extrême Boukhzan après de la route de Touggourt. La zone pétrolière de Haoud- Berkaoui comprend trois champs importants: champ de Berkaoui (HBK); champ de Benkahla (BKH); champ de Guellala (GLA), ainsi que d'autres petits champs périphériques.

### **I. 1. 2. Historique de la région:**

La direction régionale de Haoud- Berkaoui se trouve dans la commune de Rouissat à 25 Km du chef lieu de la wilaya d'Ouargla. La région a été gérée par Hassi- Messaoud jusqu'à 1977, l'année dans laquelle est devenue autonome.

Les études géophysiques réalisées dans la région de Ouargla ont permis de connaître l'existence de deux (2) structures appelées : Haoud- Berkaoui et Benkahla, toutes les deux situées sur une surface d'exploitation de 1600 Km<sup>2</sup>.

Le premier sondage de la région était OA01 à Ouargla en 1963. C'était en Mars 1965 qu'on a implanté le premier sondage OK101 au sommet de la structure de Haoud- Berkaoui qui a localisé une accumulation d'huile légère d'une densité de 43 °API (d=0.8) dans la série inférieure (SI) du trias argilo- gréseux (TAG) par la compagnie française de pétrole algérien (CFPA). Ce forage a atteint le Gothlandien à 3327.8m (premier horizon paléozoïque rencontré sous la discordance triasique). Le test de production effectué par la CFPA donna un débit de 11 m<sup>3</sup>/heure avec une

### **I. 1. 3. Cadre géologique générale:**

Le bassin d'Oued-Mya est situé dans la partie Centrale de la province Triassique suivant une orientation Sud-ouest ↔ Nord-est. Il est limité:

- ✚ A l'Est, par la Dorsale El-Agreb - Messaoud.
- ✚ A l'Ouest, par le Dôme de Talemzane.
- ✚ Au Nord, par le système de bombement Djemaâ - Touggourt.
- ✚ Au Sud, par la Dépression du Mouydir.



#### **I. 1. 4. Structure régional**

La Dépression de Oued-Mya occupe la plus grande partie Nord du Synéclise Centre algérien, ses dimensions sont de près de 200 x 500 km.

L'épaisseur totale de la couverture sédimentaire atteint 400 m dans la partie Sud de la dépression et malgré l'accroissement de la profondeur de l'érosion du Paléozoïque, elle augmente dans la partie Nord presque jusqu'à 600 m grâce au Mésozoïque.

Concernant la Stratigraphique de cette zone, on constate que la particularité de la province triasique est que l'étage géo structural supérieur, constitué par le mésozoïque et le cénozoïque, et très développé, le mésozoïque repose en discordance hercynienne sur le paléozoïque.

Les formations géologiques traversées par les sondages appartiennent dans la majeure partie au mésozoïque, le paléozoïque et le cénozoïque sont représentés par des séquences réduites des couches.

Age	Prof Moyenne		Etages	Stratigr.	Lithologie	Epaisseur		
	Mio-Pliocène							
TERTIAIRE	SENONIEN	65	S. Carbonaté		Gres et Argiles	0 à 60 m		
		752	S. Anhydritique		Calcaire dolomique	0 à 700 m		
			S. Salifère		Anhydrite dolomie et argile			
			S. Salifère		sel massif			
CRETACE	SUP	752	Turonien		calcaire crayeux	300 à 900 m		
			Cenomanien		argile grise, anhydri. blche. dol. marnes			
	INFERRIEUR	976	Albien		Gres fin à moy. à intercal d'arg. brun-rou et sable gr. à la base			
			1426	Aptien			Dolomie et marne	10 à 30 m
			1445	Barremien			Sable fin à très grossier passée de dolomie, calc et marne.	600 à 700 m
				Neocomien			Grès fin à moyen, passée d'argile et de lignite.	
JURASSIQUE	SUP	1969	MALM		Argile silteuse à intercal. de dolomie, de calcaire et marne.	120 à 300 m		
			MOY	2200	Dogger argil. Dogger Lag.		Argile indurée. Anhyd. et dolomie	
	LIAS	2450	(Anhydritique Massive)		Anhydrite massive, blanche intcl. de dolomie et argile.	700 à 900 m		
			Sel massif I		sel massif hyalin			
			Horizon "B"		Argile dolomitique			
			Sel + Anhydr s2		sel massif p. arg. plastique			
			Sel Massif III		Sel massif incolore à rose			
			Argiles Sup.		Arg. plastiquesalifère calcaire dolomitique			
			Argilo-sal. S4		sel incolore			
			argile inf.		Argile silteuse			
	TRIAS ARGILO-GRESEUX	3290	T2		Grès fin argilo-silteux	100 à 250 m		
			T1		Grès Argileux			
Andesites				Andesite altérée				
SeriInfer.				Grès fin à moyen				
DEVONIEN inf	3460	Devonien Inf.		Argiles noires. grès fin à moyen	100 à 130 m			
SILURIEN	3580	Silurien radioa.		Argiles noires radioactives, fossill-	60 à 65 m			
ORDOVICIE	DALLE DE MKRATA			Grès quartite et Argiles	12 à 25 m			
	ARGILES MICRO-CONGLOMERAT			Argiles noires, micro-conglomé	90 à 100 m			
	GRES D'OUED SARET			Argiles noires, passées Grès	50 à 70 m			
	ARGILES D'AZEL			Argiles noires, passées Grès	40 à 50 m			
	GRES D'OUARGLA			Argiles noire, passées Grès	120 à 140 m			
	QUARTZITES DE HAMRA			Quartzite et grès quartzite fissurés	90 à 110 m			
	GRES D'EL ATCHANE			Grès fin, intercalations argileuses	49 m			
	ARGILES D'EL GASSI			Argiles noires silteuses, grés-argileux	>10 m			

Fig. I.2 : La colonne stratigraphique de Haoud Berkaoui

## I. 2. CARACTERISTIQUES INITIALES DU RESERVOIR:

- 1) Les niveaux producteurs : Le T1 et la SI du TAG, le T2 est généralement compact ;
- 2) La profondeur moyenne: 3550 m ;
- 3) La pression de gisement initiale : 518 Kg/cm<sup>2</sup> à la côte de référence (-3100 m) ;
- 4) La pression de bulle : 190 Kg/cm<sup>2</sup> ;
- 5) Le contact huile-eau initiale : 3324 m ;
- 6) La température du réservoir : 100°C ;
- 7) La hauteur totale moyenne de la si : 47 m ;
- 8) La hauteur totale moyenne du t1 : 30 m ;
- 9) La surface du si : 41.1 Km<sup>2</sup>.

Les caractéristiques pétro physiques des niveaux producteurs sont les suivantes :

### I. 2. 1. Propriétés des fluides de gisement:

- *Le GOR* (gas-oil ratio) de dissolution initiale  $R_{si}=165 \text{ stm}^3/\text{m}^3$
- *La densité de l'huile* (de stockage) à 15 °C =0.810

### I. 2. 2. Propriétés des gaz

- *Le facteur volumétrique* de fond (Bg) :
  - ✓ A la pression de bulle (Pb) = 0.00581 m<sup>3</sup>/stm<sup>3</sup>.
  - ✓ A la pression de gisement initiale (Pgi) = 0.00347 m<sup>3</sup>/stm<sup>3</sup>.
- *La viscosité* (μg) :
  - ✓ A la pression de bulle : 0.022 cpo.
  - ✓ A la pression de gisement initiale : 0.0419 cpo.

### I. 2. 3. Propriétés de l'huile

- *Le facteur volumétrique* de fond (Bo) :
  - ✓ A la pression de bulle (Pb) : 1.59 m<sup>3</sup>/stm<sup>3</sup>
  - ✓ A la pression initiale de gisement (Pgi) : 1.46 m<sup>3</sup>/stm<sup>3</sup>
  - ✓ A la pression de bulle : 0.245 cpo
  - ✓ A la pression de gisement initiale : 0.337 cpo
- *La compressibilité* à la pression de bulle :  $2.8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{Kg}/\text{cm}^2$

### I. 2. 4. Propriétés de l'eau de gisement :

- A la pression de gisement initiale :
  - ✓ La densité (à 103°C) : 1.22 g/cm<sup>3</sup>
  - ✓ La compressibilité : 0.2494 (1/Kg/cm<sup>2</sup>)
  - ✓ La viscosité (à 103°C) : 0.760 cpo
  - ✓ La pression de saturation (à 103°C) : 148 Kg/cm<sup>2</sup>
  - ✓ F.V.F (à 15.6°C): 1.041 m<sup>3</sup>/stm<sup>3</sup>
  - ✓ G.W.R (Gas-Water-Ratio): 0.40stm<sup>3</sup>/stm<sup>3</sup>
- A la pression atmosphérique :
  - ✓ La densité (à 20°C) : 1.264 g/cm<sup>3</sup>
  - ✓ PH (à 20°C) : 3.2
  - ✓ La résistivité (à 25°C) : 0.061ohms m<sup>2</sup>/m
  - ✓ La viscosité (à 15.6°C) : 0.370cpo

### I. 3. PROBLEMES TECHNIQUES D'EXPLOITATION

Sont nombreux ces problèmes, mais on va citer les plus importants :

- 1) Colmatage des abords des puits par la boue de forage.
- 2) Bouchage des perforations et la colonne de production à cause des dépôts de sel.
- 3) Venu d'eau prématurée dans les puits producteurs par percée d'eau (break Through).
- 4) Déplétion de réservoir.

Les causes de ces problèmes sont les suivantes :

- ❖ Le colmatage dû essentiellement à l'importante pénétration de la boue de forage dans la formation à cause de la grande densité (un delta pi important appliquée sur la formation). Le remède consiste à nettoyer les abords du puits par une acidification. Dans le cas d'une détérioration des caractéristiques pétrophysiques de la couche, une fracturation est souhaitable, en tenant compte bien entendu du plan d'eau.
- ❖ Au cours de la vie du puits et au fait du changement d'état des fluides, à cause de leur déplacement du gisement au fond du puits et du fond à la surface, le sel se dépose; il cause ainsi un rétrécissement du passage et souvent un bouchage de la colonne de production et des perforations. Le remède consiste à :
  - ✓ Gratter le sel avec le WIRE-LINE.



- ✓ Injecter l'eau douce soit par bouchon, soit en continu en fonction de la vitesse de précipitation des sels. Le volume de ces bouchons est calculé de telle façon que le puits ne soit pas noyé. L'injection se fait à l'aide d'une pompe connectée à la tête de puits, le refoulement du volume d'eau injecté est assuré par la pression de gisement dans les puits éruptifs ou lifté par le gaz dans les puits à gas-lift, si non on lifte par l'azote.
- ✓ L'injection d'eau dans le réservoir pour le maintien de pression n'est pas, sans doute, simple. Les caractéristiques de la roche réservoir ne sont pas les mêmes en tout point de gisement.

Ceci favorise un écoulement préférentiel dans certaines zones, ce qui provoque une arrivée d'eau dans les puits producteurs avant d'autre.

Le remède n'existe pas, du moins des solutions peuvent être envisagées individuellement tel que : isoler la couche productrice par un bouchon de ciment ou un packer d'isolement.

Si le puits est totalement noyé, une étude de transformation en un puits injecteur sera étudiée.

#### **I. 4. CENTRE DE PRODUCTION HAOUDBERKAOUI « HBK »**

Le centre de production HBK est l'un des centres de Sonatrach de l'activité exploration et production, a pour but de produire le pétrole et le gaz en traitant le brut provenant de différents puits grâce à une ensemble d'opération effectuée par les unités suivantes :

- Unité de séparation.
- Unité de Boosting.
- Unité de stockage et expédition.
- Unité de déshuilage.
- Unité d'injection d'eau.
- Unité d'utilité

## I. 4. 1. L'unité de séparation HBK et le séparateur

### I. 4. 1. 1. Description de l'unité de séparation HBK

Le brut venant des différents champs avoisinant subit une première séparation au niveau de chaque puits, cette première séparation est dite en deux phases seulement car seul se fait la séparation entre l'eau et l'huile, l'huile est cheminé vers les manifolds et l'eau prend la destination de l'unité de déshuilage (avant l'installation de celle-ci, l'eau séparé allait vers le bourbier) au niveau de manifold de fait la collecte de l'huile et via deux pipes se fait l'acheminement vers HBK.

Arrivée à l'usine, l'huile entre dans l'unité de séparation via un jeu de vannes, l'unité de séparation est constituée de trois batteries de séparation. Chaque batterie est constituée d'un séparateur HP et d'un séparateur MP et BP.

- Batterie A : S1A (séparateur HP), S2A (Séparateur MP), BP3.
- Batterie B : S1B (séparateur HP), S2B (Séparateur MP), BP1.
- Batterie C : S1C (séparateur HP), S2C (Séparateur MP), BP2.

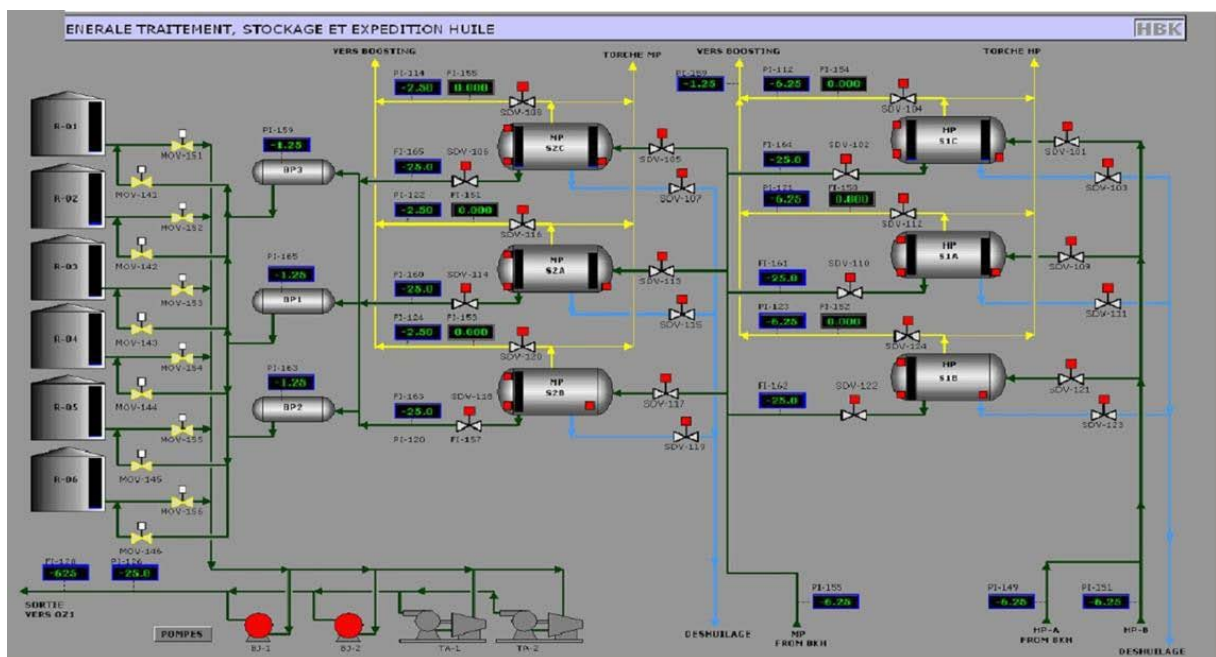


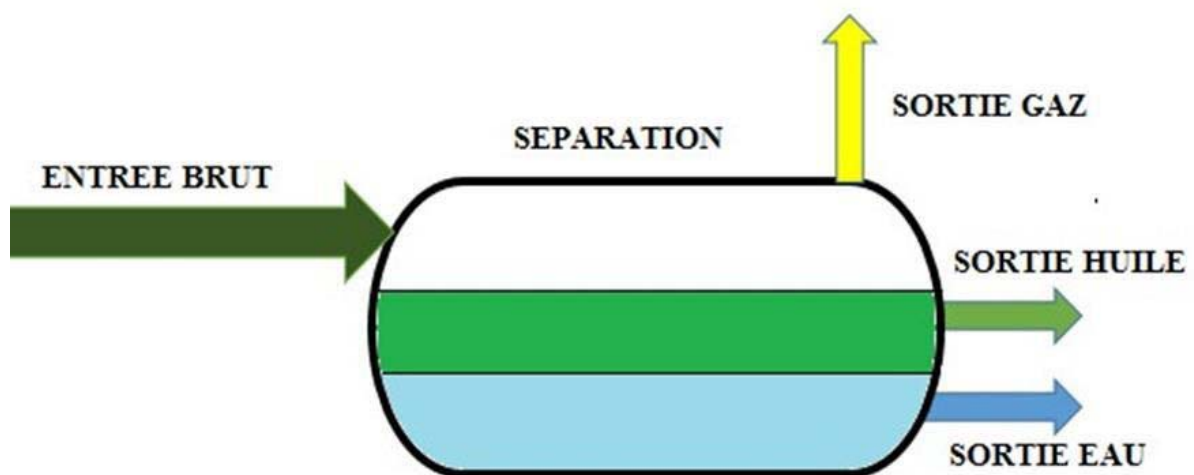
Fig. I.3 : Unité de séparation HBK

### I. 4. 1. 2. Le séparateur

Le séparateur est une capacité sous pression utilisé pour dissocier le pétrole, les gaz et l'eau contenus dans l'effluent à sa sortie d'un puits de production par différence de densité.

Dans le cas le plus général, le pétrole brut, en sortie de puits, est un mélange triphasique comprenant :

- Une phase gazeuse
- Une phase liquide hydrocarbonée (le brut proprement dit)
- Une phase aqueuse (l'eau de formation)



**Fig. I.4 : Principe d'un séparateur**

#### I. 4. 1. 2. 1. Principe d'une séparation

L'huile entre dans les différentes batteries, il entre d'abord dans le séparateur HP ou ce fait la séparation entre les trois fluides : l'eau, l'huile et le gaz, les trois fluides sont séparés naturellement : l'eau prend le premier niveau car c'est le plus dense, ensuite l'huile et finalement le gaz, trois régulateur sont nécessaire : deux réglant les niveau d'huile et d'eau et un régulateur de pression, pour régler la pression, la sécurité de chaque séparateur est assurée par deux soupapes et une plaque d'éclatement qui est le dernier recours dans le cas où le régulateur et les deux soupapes ne répondraient pas.

La séparation se fait à une température constante (ambiante) donc on a parlé d'une séparation a flash adiabatique, le brut venant entre d'abord dans le séparateur HP (6 - 9 bar) où il subit à une séparation triphasique, puis dans le séparateur MP (1.6 - 4 bar) et finalement dans le séparateur BP (0.1-1 bar) située à un haut niveau (12 m) que les MP et les HP pour

Limiter la pression d'huile à une pression inférieure à la pression atmosphérique (1.013 bar) pour n'avoir pas des dégazement d'huile.

#### I. 4. 1. 2. 2. Instruments de contrôle et de sécurité d'un séparateur

Chaque séparateur est constitué de trois boucles de régulation : deux boucles de régulation de niveau (une pour l'eau et l'autre pour d'huile (LT+LIC+LV)) et une boucle de régulation de pression (PT+PIC+PV), plus des SDV qui sont des vannes de sécurité gérées par l'ESD installé à l'entrée et les sorties du séparateur. Ainsi des transmetteurs des différents paramètres et des instruments pour l'affichage et l'indication.

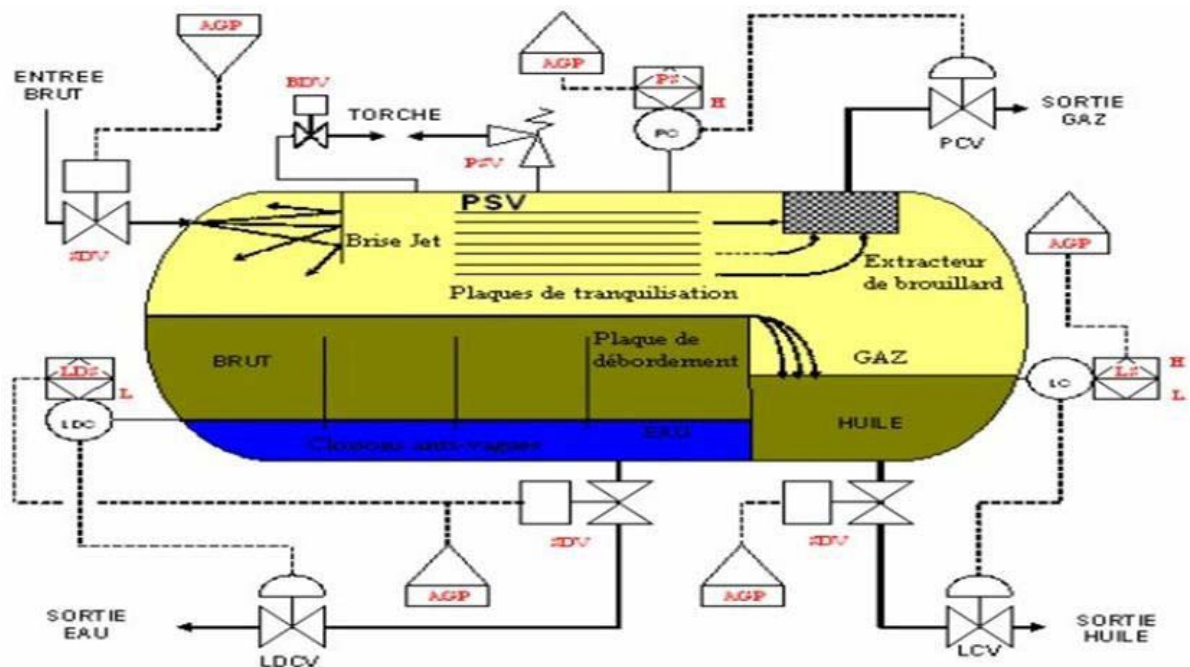


Fig. I. 5 : instrument de contrôle du séparateur

*Chapitre II :*

*Unité de  
Séparation*

## II. 1. Objectifs de l'unité de traitement d'huile

L'unité de traitement d'huile est conçue pour assurer le traitement de pétrole brut afin de produire un pétrole (huile) anhydre et conforme en termes de tension de vapeur (TVR) et salinité du pétrole comme recommandé par Sonatrach TRC.

- ✓ Pression atmosphérique
- ✓ TVR : <738 mbar
- ✓ Salinité : <40 mg/l
- ✓ Eau : trace

**Tab. II.1 : Paramètres et dimensions des séparateurs**

Dimensions et Paramètres	Séparateur HP-V100	Séparateur MP-V201	Séparateur MP-V-200
Type de fluide	Pétrole Brut HP	Pétrole Brut MP	Pétrole Brut MP
Dimensions (H et D) (m)	(2.13 et 7.62)	(2.13 et 9.14)	(2.13 et 9.14)
Pression de Service (barg)	24	5	5
Température de Service (°C)	55	55	55
Débit de gaz (Nm <sup>3</sup> /h)	45 000	15 000	15 000
Débit d'huile (m <sup>3</sup> /h)	250	300	300
Débit d'eau (m <sup>3</sup> /h)	10 à 50	10 à 50	10 à 50

## II. 2. Description de l'unité de séparation d'huile

Cette unité est conçue pour effectuer la première opération de traitement du pétrole produit des différents puits, elle se compose de trois séparateurs l'un HP et deux autres MP.

Les trois séparateurs du centre de production de HBK sont alimentés à travers six arrivées :

- ✓ Quatre lignes des puits HP du champ de HBK : 12"A, 12"B, 12"C et 10".
- ✓ Une ligne des puits MP du champ de HBK : 6".
- ✓ Une ligne MP du champ de Benkahla (BKH) : 8".

Les quatre lignes HP passent à travers un collecteur du manifold du centre de production HBK pour alimenter le Séparateur HP-V100 et les lignes MP passent à travers les deux séparateurs MP-V200 et V201 après être mélangés avec le pétrole sorti HP vers MP.



- Le gaz traité au niveau des séparateurs passe vers :
  - ✓ Gaz du séparateur HP-V100 vers les compresseurs 2<sup>ème</sup> étage K-101A/B ou K-103A/B.
  - ✓ Gaz MP du séparateur MP-V200 et V201 vers les compresseurs 1<sup>ère</sup> étage K-101A/B en ou K-102A/B.
- L'eau récupérée au niveau des séparateurs est envoyée vers l'unité de déshuilage pour traitement
- L'huile traitée est envoyée vers les bacs de stockage pour expédition.

L'unité est contrôlée par un système de contrôle automatique DCS et protégée par un système ESD

### **I. 3. Description des trois séparateurs**

#### **I. 3. 1 Séparateur HP-V100**

Le séparateur HP est un ballon horizontal tri-phasique qui va assurer le premier étage de séparation. L'huile HP provenant du manifold alimente le séparateur via la vanne SDV-125, une vanne on/off MOV-100 est installée en by-pass.

Une vanne de régulation de pression PV-117 permet de régler la pression du séparateur à la pression de service avec l'excédent du gaz vers torche.

La régulation de niveau d'huile est assurée par la vanne LV-113 via la boucle de contrôle LIC-113 et la régulation de niveau d'eau par la vanne LV-126 via la boucle de contrôle LIC-126.

La sécurité du séparateur est assurée par deux soupapes PSV 100A et PSV 100 B et une plaque d'éclatement.

Il existe trois vannes d'arrêt d'urgences installées à la sortie du séparateur HP-V100 :

- ✓ SDV-126 à la ligne de sortie huile.
- ✓ SDV-127 à la ligne de sortie eau.
- ✓ SDV-128 à la ligne de sortie gaz.

### I. 3. 1. 1 Conditions opératoires :

Les conditions opératoires actuelles au niveau du séparateur HP sont les suivantes :

- ✓ Pression : 8-9 barg (dans le cas K-101A/B) 5-6 barg (dans le cas K-103A/B).
- ✓ Température : 55°C (été) et 0°C (hiver).

De suite, la description des instruments installés sur le séparateur V100 et sur les lignes d'alimentation et de refoulement.

**Tab. II. 2 : Conditions de fonctionnement V100**

N° de repère	Service	Valeurs
PI-100	Manomètre local de mesure de pression du gaz HP	8-9 barg cas K-101A/B 5-6 barg cas K-103A/B
PT-117	Transmetteur de pression du gaz HP	
TI-147	Indicateur de température sur DCS	0°C -55°C
TT-147	Transmetteur de température du séparateur	
FI-156	Indicateur de débit de gaz sur DCS	45 000 Nm <sup>3</sup> /h
FT-156	Transmetteur de débit du gaz	
FQI-156	Compteur de débit du gaz sur DCS	
FI-166	Indicateur de débit d'huile sur DCS	250 m <sup>3</sup> /h
FT-166	Transmetteur de débit d'huile	
FQI-166	Compteur de débit d'huile sur DCS	
FI-176	Indicateur de débit d'eau sur DCS	10-50 m <sup>3</sup> /h
FT-176	Transmetteur de débit d'eau	
FQI-176	Compteur de débit d'eau sur DCS	
LG-101	Niveau visuel d'huile	50%
LT-113B	Transmetteur de niveau d'huile	
LG-100	Niveau visuel d'eau	50%
LT-126	Transmetteur de niveau d'eau	

### I. 3. 1. 2 Boucle de contrôle

N° de repère	Service	Point de consigne
PIC 117	Contrôle pression de Séparateur	8-9 barg cas K-101A/B 5-6 barg cas K-103A/B
LIC-113	Contrôle niveau d'huile	50 %
LIC-126	Contrôle niveau d'eau	50 %

### I. 3. 2 Séparateur MP-V200

Le séparateur MP est un ballon horizontal tri-phasique qui va assurer le deuxième étage de séparation. L'alimentation est assurée par la charge provient du séparateur HP mélangée à l'arrivée des puits de HBK et MP arrivée de BKH via la vanne SDV-129, une vanne on/off MOV-200 est installée en by-pass.

Une vanne de régulation de pression PV-120 permet de réglé la pression des séparateurs à la pression de service avec l'excédent du gaz vers torche.

La régulation de niveau d'huile est assurée par la vanne LV-115 via la boucle de contrôle LIC-115 et la régulation de niveau d'eau par la vanne LV-118 via la boucle de contrôle LIC-118.

La sécurité du séparateur est assurée par deux soupapes PSV 200A et PSV 200 B et une plaque d'éclatement.

Il existe trois vannes d'arrêt d'urgences installées à la sortie du séparateur V-100 :

- ✓ SDV-130 à la ligne de sortie huile.
- ✓ SDV-131 à la ligne de sortie d'eau.
- ✓ SDV-132 à la ligne de sortie gaz.

#### I. 3. 2. 1 Conditions opératoire

Les conditions opératoires au niveau du séparateur MP sont les suivantes :

- ✓ Pression : 1.5 barg dans les deux cas (1ère étage K-101A/B en ou K-102A/B).
- ✓ Température : 55 °C (été) et 0°C (hiver)

De suite, la description des instruments installés sur le séparateur V200 et sur les lignes d'alimentation et de refoulement.

**Tab. II. 3. Conditions de fonctionnement V200**

N° de repère	Service	Valeurs
PI-200	Manomètre local de mesure de pression du gaz MP	1.5 barg
PT-120	Transmetteur de pression du gaz MP	
TI-148	Indicateur de température sur DCS	0°C -55°C
TT-148	Transmetteur de température du séparateur	
FI-157	Indicateur de débit de gaz sur DCS	15 000 Nm <sup>3</sup> /h
FT-157	Transmetteur de débit du gaz	
FQI-157	Compteur de débit du gaz sur DCS	
FI-167	Indicateur de débit d'huile sur DCS	300 m <sup>3</sup> /h
FT-167	Transmetteur de débit d'huile	
FQI-167	Compteur de débit d'huile sur DCS	
FI-177	Indicateur de débit d'eau sur DCS	10-50 m <sup>3</sup> /h
FT-177	Transmetteur débit d'eau	
FQI-177	Compteur de débit d'eau sur DCS	
LG-201	Niveau visuel d'huile	50%
LT-115B	Transmetteur de niveau d'huile	
LG-200	Niveau visuel d'eau	50 %
LT-131	Transmetteur de niveau d'eau	

### I.4.2.2 Boucle de contrôle

N de repère	Service	Point de consigne
PIC 120	Contrôle pression de Séparateur	1.5 bar
LIC-115	Contrôle niveau d'huile	50 %
LIC-118	Contrôle niveau d'eau	50 %

### I. 3. 3 Séparateur MP-V201

Le séparateur MP est un ballon horizontal tri-phasique qui va assurer le deuxième étage de séparation. L'alimentation est assurée par la charge provient du séparateur HP mélangée à l'arrivée des puits de HBK et MP arrivée de BKH via la vanne SDV-113, une vanne on/off MOV-2000 est installée en by-pass.

Une vanne de régulation de pression PV-122 permet de régler la pression des séparateurs à la pression de service avec l'excédent du gaz vers torche.

La régulation de niveau d'huile est assurée par la vanne LV-107 via la boucle de contrôle LIC-107 et la régulation de niveau d'eau par la vanne LV-108 via la boucle de contrôle LIC-108.

La sécurité du séparateur est assurée par deux soupapes PSV 2000A et PSV 2000B et une plaque d'éclatement.

Il existe trois vannes d'arrêt d'urgences installées à la sortie du séparateur V-100 :

- ✓ SDV-114 à la ligne de sortie huile.
- ✓ SDV-115 à la ligne de sortie eau.
- ✓ SDV-116 à la ligne de sortie gaz.

### I. 3. 3. 1 Conditions opératoires

Les conditions opératoires au niveau du séparateur MP sont les suivantes :

- ✓ Pression : 1.5 barg
- ✓ Température : 55°C (été) et 0°C (hiver)

De suite, la description des instruments installés sur le séparateur **V-201** et sur les lignes d'alimentation et de refoulement.

**Tab. II. 4. Conditions de fonctionnement V201**

N° de repère	Service	Valeurs
PI-2000	Manomètre local de mesure de pression du gaz MP	1.5 barg
PT-122	Transmetteur de pression du gaz MP	
TI-142	Indicateur de température sur DCS	0°C-55°C
TT-142	Transmetteur de température du séparateur	
FI-151	Indicateur de débit de gaz sur DCS	15 000 Nm <sup>3</sup> /h
FT-151	Transmetteur de débit du gaz	
FQI-151	Compteur de débit du gaz sur DCS	
FI-160	Indicateur de débit d'huile sur DCS	300 m <sup>3</sup> /h
FT-160	Transmetteur de débit d'huile	
FQI-160	Compteur de débit d'huile sur DCS	
FI-171	Indicateur de débit d'eau sur DCS	10-50 m <sup>3</sup> /h
FT-171	Transmetteur de débit d'eau	
FQI-171	Compteur de débit d'eau sur DCS	
LG-2001	Niveau visuel d'huile	50%
LT-107B	Transmetteur de niveau d'huile	
LG-2000	Niveau visuel d'eau	
LT-108	Transmetteur de niveau d'eau	50 %



### II. 3. 3. 2 Boucle de contrôle

N° de repère	Service	Point de consigne
PIC 112	Contrôle pression de Séparateur	1.5 bar
LIC-107	Contrôle niveau d'huile	50 %
LIC-108	Contrôle niveau d'eau	50 %

## II. 4. LA MISE EN SERVICE DES NOUVEAUX SEPARATEURS

### II. 4. 1 Points à confirmer

- ✓ S'assurer de la disposition du circuit d'air alimentant les instruments de mesure.
- ✓ S'assurer de l'ouverture des vannes de gardes des PSV.
- ✓ S'Assurer de la fermeture des vannes de purge + vide vite.
- ✓ Procéder à la Vérification des positions des vannes entrées et sorties du séparateur + by-pass (huile, gaz, eau).

### II. 4. 2 Actions à mettre en œuvre

- ✓ Acquiescement (Reset) des ESD et ouverture des SDV.
- ✓ Pressurisation du séparateur jusqu'à la pression de service.
- ✓ Mettre le PIC en mode Auto avec le point de consigne pression de service.
- ✓ Mettre les LIC en mode Manu en position fermé.
- ✓ Ouverture progressive de la vanne d'alimentation de pétrole.
- ✓ S'assurer de la stabilisation du séparateur et confirmer la synchronisation entre les LG et LT.
- ✓ Mettre les LIC en mode AUTO après la stabilisation.

### **II. 4. 3. Points à confirmer après la mise en service**

- ✓ S'assurer que les vannes de régulation LV et PV fonctionnent normalement.
- ✓ Surveiller les paramètres de fonctionnement de la séparation « pression et niveaux jusqu'à la stabilisation totale.

## **III. 5. MISE A L'ARRET DES NOUVEAUX SEPARATEURS**

### **III. 5. 1 Actions à mettre en œuvre dans le cas d'un arrêt volontaire pour travaux**

- ✓ Fermer la vanne d'entrée d'huile progressivement.
- ✓ Vider le liquide vers l'unité de déshuilage jusqu'à 0%.
- ✓ S'assurer de la vidange totale du séparateur.
- ✓ Fermer les vannes sortie huile et l'eau.
- ✓ Décompresser le séparateur à 0 bar.
- ✓ Fermer les vannes SDV du séparateur.
- ✓ Disposer le séparateur pour travaux.

### **III. 5.2 Points à confirmer après l'arrêt**

- ✓ Vérifier le niveau ainsi que la pression du séparateur.
- ✓ Une fois le niveau atteint le zéro, fermer la vanne de drain.
- ✓ S'assurer que le séparateur est décomprimé et que la pression à atteint le zéro avant d'isoler positivement le séparateur.

#### IV. Arrêt d'urgence de la station de traitement d'huile


Logiques	Cause	Service	Action
ESD I-2519	LAHH-157	Très haut niveau huile MP-V201	Fermeture SDV-113 Fermeture SDV-116
ESD I-2520	LALL-158	Très bas niveau eau MP-V201	Fermeture SDV-115 Fermeture LV-108
ESD I-2521	LALL-107B	Très bas niveau huile MP-V201	Fermeture SDV-114 Fermeture LV-107
ESD I-2528	LAHH-163	Très haut niveau huile HP-V100	Fermeture SDV-125 Fermeture SDV-128
ESD I-2529	LALL-164	Très bas niveau eau HP-V100	Fermeture SDV-127 Fermeture LV-125
ESD I-2530	LALL-113B	Très bas niveau HP-V100	Fermeture SDV-126 Fermeture LV-113
ESD I-2531	LAHH-165	Très haut niveau huile MP-V200	Fermeture SDV-129 Fermeture SDV-132
ESD I-2532	LALL-166	Très bas niveau eau MP-V200	Fermeture SDV-131 Fermeture LV-118
ESD I-2533	LALL-115B	Très bas niveau huile MP-V200	Fermeture SDV-130 Fermeture LV-115

Lorsque l'un de ces ESD est activé, l'exploitant doit faire les actions suivantes :

- ✓ Vérifier la pression du séparateur ;
- ✓ Vérifier les régulateurs de niveau LIC (mode manu ou auto et le point de consigne) ;
- ✓ Vérifier la position des vannes SDV ;
- ✓ Vérifier les niveaux des LG ;
- ✓ Ajuster les niveaux du séparateur à l'aide des vannes et les by-pass.

Les boutons poussoirs d'arrêts d'urgence seront considérés dans les procédures d'urgence ESD à partir des :

- 1) Boutons poussoir suivants d'arrêt d'urgence MES de zone dans le champ du site :

 110\_79\_HS\_1021 -zone séparateurs huile - HP/MP

✚ 110\_79\_HS\_1022 -zone séparateurs huile – BP

2) Boutons poussoirs suivants d'arrêt d'urgence de zone à partir de la salle de contrôle :

✚ 100\_79\_HS\_1030 - zone séparation huile.

*Chapitre III :*  
*Généralités sur la séparation  $\mathcal{L}$  les*  
*séparateurs*

### III. 1. INTRODUCTION :

Le fluide en place dans un gisement est un mélange constitué des hydrocarbures liquides ou gazeux et d'eau. A l'origine, ce mélange est dans un état d'équilibre qui dépend de sa composition ainsi que des conditions de pression et de température existant dans la formation.<sup>1</sup>

La production d'un puits ou d'un ensemble de puits est un mélange d'hydrocarbures de type alcanes ou paraffiniques ( $C_nH_{2n+2}$ ) et de non-hydrocarbures provenant du gisement tels que l'eau, sel (contenu dans l'eau), sédiments,  $CO_2$  (gaz carbonique),  $N_2$  (azote) etc.

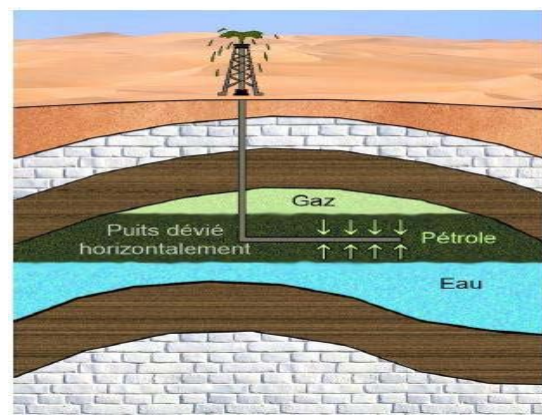
A la pression atmosphérique et la température ambiante ces mélanges se présentent sous forme gazeux ou sous forme biphasique, rarement sous forme entièrement liquide. Les constituants qui se présentent entièrement sous forme liquide dans ces conditions sont l'heptane ( $C_7$ ) et l'hexane ( $C_6$ ) sont en général partiellement dissous. Par contre le méthane ( $C_1$ ) et l'éthane ( $C_2$ ) sont presque intégralement vaporisés. A l'origine se mélange est dans un état d'équilibre qui dépend de sa composition et des conditions de pression et de température dans le gisement.<sup>1</sup>

### III. 2. L'EFFLUENT :

Il est caractérisé par sa composition et par ses caractéristiques physico-chimiques. Le plus souvent sous forme diphasique :

- Une phase liquide constitué d'hydrocarbures lourds stables aux conditions de traitement, des légers vaporisables et de l'eau de gisement.
- Une phase gazeuse formée de gaz incondensables et de vapeurs d'hydrocarbure légers

**Fig. III.1 : Réservoir pétro-gazier piégé dans une structure anticlinale.**



<sup>1</sup> H. Devold, ABB Oil and Gas, 3<sup>rd</sup> ed., Oslo, 2013.



❖ **Constitution:**

- ✓ N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, He.
- ✓ Gaz acides (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, COS, CS<sub>2</sub>)
- ✓ HC lourds et légers
- ✓ Solides, sables, argile
- ✓ Eau, Sel, Composés sulfurés, azotés, oxygénés

❖ **Constituants posant problèmes**

- ✓ Eau libre et sel
- ✓ Corrosion des équipements par H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, sels
- ✓ Risques de formation des hydrates et de bouchage des conduites par C<sub>1</sub> et C<sub>2</sub>
- ✓ H<sub>2</sub>S se tenir aux spécifications pour la sécurité et la consommation du gaz ( 1,5 à 4 ppm max)
- ✓ Paraffines à chaînes longues C<sub>18</sub> et +.
- ✓ Des figeages sont possibles → arrêt production et livraison
- ✓ HC Léger dans le brut → dégazage terminal, bateaux
- ✓ HC Lourds dans le gaz

❖ **Spécification commerciale des huiles**

- ✓ Tension vapeur et TVR de 7 à 10 Psi (transport maritime)
- ✓ H<sub>2</sub>S max 30 à 140 PPM
- ✓ Teneur en eau 0,5 à 1 %
- ✓ Teneur en sel 40 à 60 mg/l au départ < 100 mg/l à l'arrivée raffinerie

**III. 3. La Séparation:**

Les deux grandes familles de techniques de séparation sont *la séparation chimique* (ex. distillation) et la *séparation mécanique* (ex. filtration, sédimentation). La présente étude est dédiée à la séparation mécanique par décantation dans les séparateurs horizontale.

**III. 3. 1. Objectif de la séparation :**

La séparation permet d'assurer une continuité dans le traitement pour assurer une livraison régulière de produits conforme à des normes ou spécification définies :

- Densité
- B.S.W (basic and sediment water)
- Tension de vapeur.
- Viscosité

Elle permet d'éliminer les produits indésirables pour cela nous allons définir les différentes raisons :

❖ **Les Raisons techniques** : Il est important de disposer d'un fluide huile ou gaz qui dans les conditions de température, et de pression des installations de stockage et de transport se maintient en état monophasique. En effet si la tension de vapeur de l'huile après traitement reste trop élevée, des bouchons de gaz apparaissent aussitôt. Les bouchons de gaz perturbent l'équilibre des réservoirs de stockage, dérèglent les mesures, perturbent le fonctionnement des pompes, créent dans les réseaux des pertes de charge importantes et imprévisibles.<sup>2</sup>

Ces inconvénients sont du même ordre dans les lignes de transport du gaz. L'apparition de condensats, due à une chute de pression ou de température, fausse les comptages, augmente les pertes de charge et peut parfois dans certaines conditions critiques, provoquer le bouchage des conduites par formation d'hydrates.

❖ **Les Raisons économiques**: Une séparation bien menée peut augmenter dans des proportions intéressantes, le volume de la récupération liquide par piégeage des composants légers. Elle élève par la même occasion la valeur commerciale du brut. La valeur d'un brut augmente généralement avec sa densité °API.<sup>2</sup>

En plus l'élimination immédiate de l'eau économise des frais de transfert et de traitement au niveau raffineries.

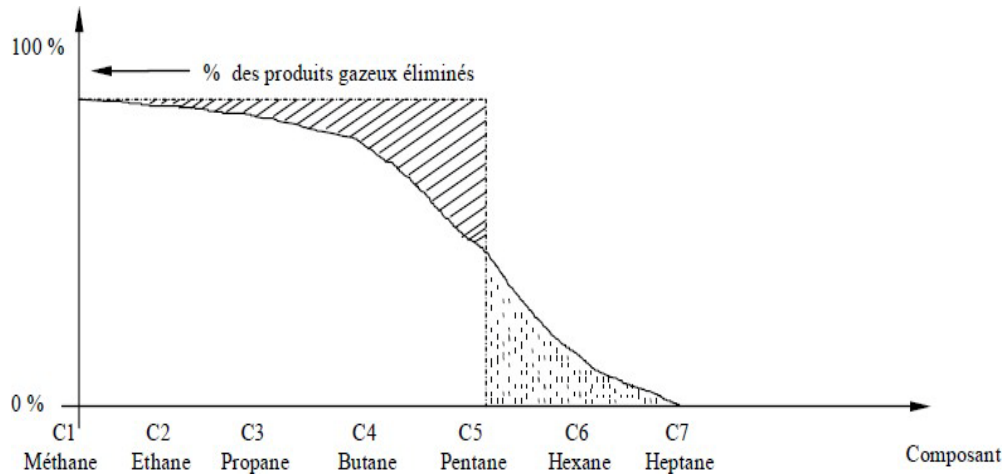
❖ **Les Raisons de contrôle** : Ce fait de pouvoir disposer de produits séparés facilite grandement le contrôle de la production au niveau du champ. Des contrôles quotidiens sont ainsi possibles sur place : GOR, IP, densité, BSW, salinité etc.....

---

<sup>2</sup> Vincent Brault, Senior E&I Engineering TOTAL Support de Formation: EXP-PR-EQ080-FR Dernière Révision 2007

### III. 3. 2. RENDEMENT DE LA SEPARATION

Pour un brut contenant des gaz dissous, le but est d'éliminer tous les composants normalement gazeux dans les conditions normales de température et à la pression atmosphérique, et de garder tous ces produits normalement liquides.



**Fig. III. 1: Rendement d'une séparation.**

Par exemple, sur la Fig. on voit en trait pointillé la représentation de la séparation idéale. On élimine tous les gaz et on garde tous les liquides. Malheureusement en pratique on n'obtient pas ces résultats et on obtient une courbe figurée en trait plein. La partie hachurée représente les gaz que l'on n'a pas pu éliminer et la partie pointillée représente les phases liquides que l'on a perdues.

Le but de la séparation est donc de réduire ces surfaces au minimum et de se rapprocher le plus possible de la courbe théorique. On cherche à obtenir ce résultat en plaçant en série plusieurs séparateurs (batterie de séparateurs), (en général 3) travaillant à des pressions décroissantes (le dernier étant en général un séparateur à pression atmosphérique) car le rendement sera d'autant meilleur que la séparation sera plus lente. Pour des raisons économiques on ne dépasse pas en général 3 séparateurs en série.

### III. 3. 2. Principes physiques dans la séparation:

Les fluides ainsi que les corps solide en mouvement possèdent une énergie cinétique (  $\frac{1}{2}mv^2$  ). Pour pouvoir séparer deux fluides non miscibles de densités différentes (par exemple : huile et eau) ou un fluide d'un solide, on peut agir sur l'énergie cinétique. Favorisant ainsi l'effet d'inertie qu'est différent selon la densité de chaque composant.

Par ailleurs ; ce sont les turbulences créées par le régime d'écoulement qui empêchant la ségrégation entre les différentes phases composant le mélange en mouvement, d'où possibilité de faire baisser l'effet d'entraînement en se rapprochant du régime d'écoulement laminaire.

### III. 3. 3. Procèdes de séparation

#### III. 3. 3. 1. Procèdes mécaniques

Les procédés de séparation peuvent être classés en deux grandes familles :

- Les procédés de séparation par diffusion : extraction, distillation, évaporation, sublimation, chromatographie, séparation par filtre chimique (charbon actif, osmoseur...)...
- Les procédés de séparation mécanique dans le sens large du terme : séparation gravitaire (Décantation, floculation...) et/ou inertielle (par exemple les centrifugeuses, dans les séparateurs cyclones ou les essoreuses), filtration par milieu poreux ou par filtre physique (à l'aide d'une grille, d'un tamis, ou d'un filtre...)...

#### III. 3. 3. 1. 1. Par force gravitationnelle (la décantation) [2]

On utilise le terme (décantation) pour désigner, d'une manière légèrement abusive, la séparation des phases d'un mélange hétérogène sous l'effet du champ gravitaire.

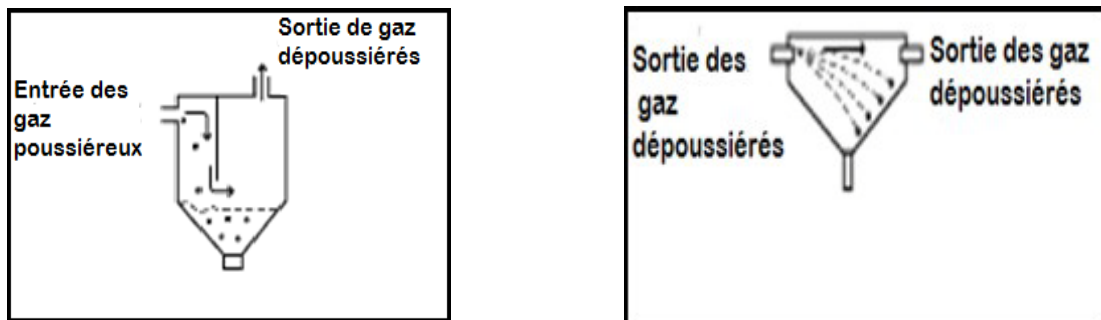


Fig.III.2 : Dispositifs de séparation utilisant la force gravitationnelle

L'opération est simple et très peu consommatrice en énergie. Toutefois, son efficacité du point de vue de la qualité de séparation ou en termes de temps de séjour du mélange peut montrer de sérieuses limitations :

- L'efficacité de la séparation gravitaire est fortement altérée lorsqu'il s'agit de séparer des fines particules.
- Lorsque la différence de densité entre les phases est faible, l'efficacité de séparation gravitaire décroît considérablement.

- Elle est inefficace face à des mélanges relativement stables, tels que les colloïdes: mousses, émulsions.
- Elle ne peut subvenir à séparer différents gaz, les forces liées aux chocs intermoléculaires l'emportant sur la gravité.

### III. 3. 3. 1. 2. La force centrifuge

La centrifugation désigne la séparation mécanique sous l'action d'un champ centrifuge. Dans une bonne partie des situations, le champ gravitaire vient renforcer la séparation. On peut aussi procéder à un filtrage où la pression motrice est fournie par action centrifuge : c'est l'essorage.

Les séparateurs centrifuges peuvent être classés en deux catégories :

- ✓ **Les séparateurs statiques** : le châssis du séparateur est fixe, et c'est uniquement le mélange à séparer qui est soumis à un mouvement rotationnel (généralisé par injection tangentielle du fluide par exemple...).
- ✓ **Les séparateurs dynamiques** : c'est le châssis du séparateur ou une composante de ce dernier qui est soumis à la rotation, et qui induit le mouvement tourbillonnaire dans le mélange d'intérêt

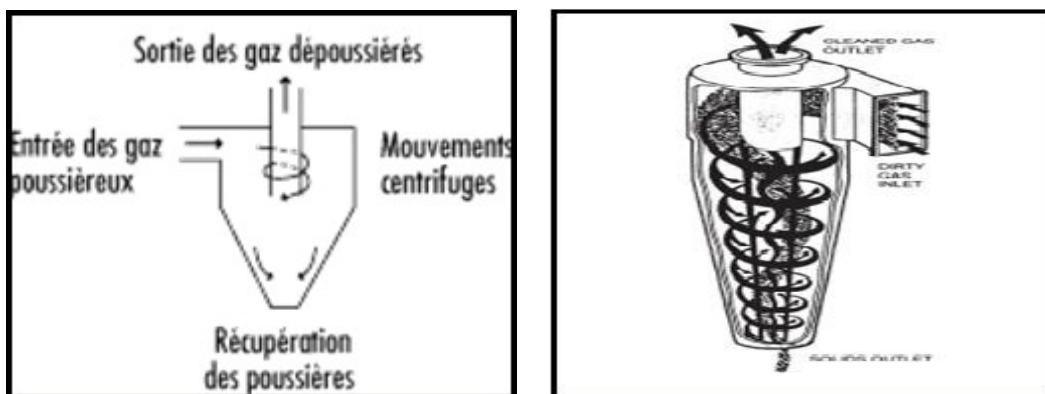


Fig. III.3 : Dispositifs de séparation utilisant la force centrifuge

### III. 2. 3. 2. Tissus filtrant

Dans ce procédé, les gaz chargés de poussière traversent une surface filtrante qui retient les particules solides. Leur originalité tient que les premières poussières arrêtées sur un support filtrent les poussières suivantes. Le gâteau de poussière déposé conduit à une

augmentation de la différence de pression, ce qui nécessite la régénération de la surface filtrante à des intervalles de temps variable.<sup>3</sup>

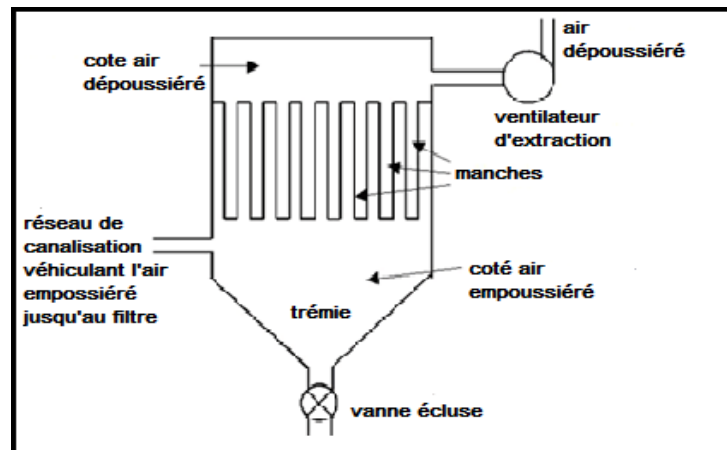


Fig. III.4: Filtre à manches à nettoyage par air pulsé

### III. 2. 3. 3. Laveur/ Scrubber (lavage des gaz) :

Le principe de fonctionnement des laveurs ou scrubbers consiste à mettre en contact, d'une façon suffisamment énergique, le gaz contenant les particules solides (ou liquide) avec un liquide de lavage, le plus souvent de l'eau seule ou additionnée de réactif. Les poussières captées sont entraînées par le liquide de lavage. Outre la séparation des particules solides, les laveurs permettent simultanément le refroidissement des gaz et la neutralisation de certains constituants corrosifs.

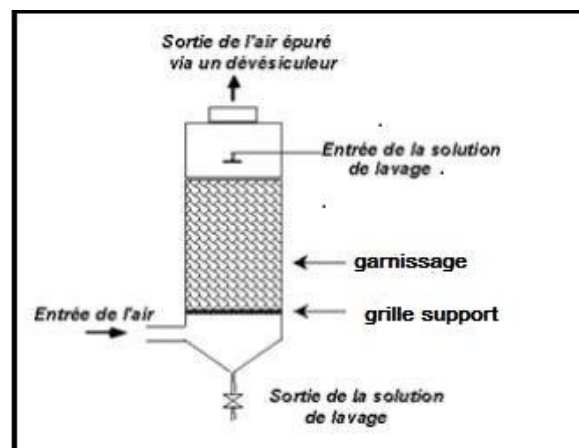


Fig. III.5 : tour de lavage

<sup>3</sup>ÉTUDE EXPÉRIMENTALE ET NUMÉRIQUE DE SÉPARATEURS GAZ-LIQUIDE CYLINDRIQUES DE TYPE CYCLONE Thèse soutenue publiquement le 07 Décembre 2011 pour l'obtention du diplôme de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Lorraine (spécialité génie des procédés et des produits) par Rainier HREIZ



### III. 2. 3. 4. Electrostatique et électro filtre :

La précipitation électrostatique fait appel aux champs de forces électriques afin de séparer les particules solides ou liquides transportées par le gaz. Développées pour éliminer les poussières fines, on commence aussi à envisager leur emploi pour abattre des composés organiques volatils (COV).

La captation des particules dispersées dans le gaz ionisé se réalise en trois étapes successives:

- ✓ La charge électrique des poussières;
- ✓ La migration des particules chargées dans le champ électrique vers l'électrode de précipitation (positif) où elles précipitent par décharge électrique;
- ✓ L'évacuation du gaz purifié et l'élimination des poussières collectées.

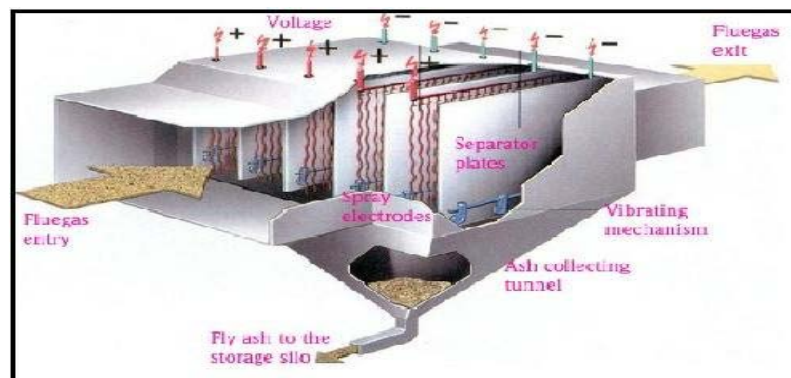


Fig. III .6 : Procédés de séparation électrostatique et électro filtres (EF)

### III. 3. 4. Différents modes de séparation:

Les trois principes physiques essentiellement utilisés dans la séparation sont :

#### ❖ Séparation par choc:

Réalisée dans des séparateurs horizontaux. Lorsque la présence d'un obstacle oblige le fluide portant à dévier, les particules lourdes avancent par inertie jusqu'à heurter cet obstacle. Un séparateur peut exploiter un ou plusieurs de ces systèmes de séparation.

Dans tous les cas, la vitesse du courant gazeux joue un rôle important dans le mécanisme de séparation, car avec des vitesses trop élevées ou trop faibles, il y a réduction de rendement ou d'autres inconvénients comme l'érosion etc. Dans tous les cas il est indispensable de fixer

une valeur optimale de la vitesse et par voie de conséquence de connaître le diamètre du séparateur pour obtenir une bonne séparation.

❖ **Séparation par gravité:**

Réalisée dans des séparateurs verticaux ou horizontaux, lorsque la force de pesanteur prévaut sur la force d'entraînement.

❖ **Séparation par force centrifuge:**

Réalisée dans des séparateurs sphériques. Lorsque le fluide portant est soumis à un mouvement rotatif, les particules lourdes acquièrent une force centrifuge apte à vaincre la force d'entraînement ; par conséquent elles se dirigent vers la partie de l'appareil sur laquelle elles se heurtent et s'arrêtent.

### III. 4. LE SEPARATEUR

A l'origine, la séparation se faisait à pression atmosphérique dans un simple bac de décantation. Cette méthode avait le double inconvénient d'entraîner des pertes de produits considérables et d'obliger à reprendre l'huile à la pompe pour la renvoyer au stockage. Les séparateurs actuels travaillent sous pression. Le rendement est ainsi amélioré, et la pression sert le moteur pour le transfert de l'huile.<sup>4</sup>

Les séparateurs sont placés en tête de la chaîne de traitement dont ils constituent les éléments essentiels. Ils reçoivent directement du manifold d'entrée la production amenée par les collectes.

Un séparateur est un réservoir qui fonctionne à pression constante grâce à un système de vannes à ouverture réglable sur les sorties d'huile et de gaz. Par un système de grillages et de chicanes convenablement disposés à l'intérieur, l'écoulement du mélange est retardé de façon à éviter l'entraînement des gouttelettes liquides dans le gaz et de bulles de gaz dans l'huile.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> H. Vernon Smith, MeridiCaonr PETROLEUM ENGINEERING handbook, oil and gaz separator CHAPITRE 12.

### III. 4. 1. Constitution d'un séparateur:

La séparation des diverses phases constituant un mélange d'hydrocarbure se réalise dans un groupe d'appareil appelé séparateur. Ces appareils sont des récipients métalliques sous pression de formes diverses suivant le but recherché et les dimensions appropriées en fonction :

- Des débits avec divers fluides constituant l'hydrocarbure.
- Des difficultés particulières de séparation.

Ces séparateurs comportent cinq parties fonctionnelles :

#### ❖ Section de séparation initiale:

Dégrossissage maximum de la séparation par une duse variable tangentielle dans le cas d'un séparateur vertical, ce qui permet une séparation centrifuge (les constituants les plus lourds vont vers la périphérie, le gaz reste au centre). Sur les séparateurs horizontaux. Un déflecteur permet de briser le jet à l'entrée.

#### ❖ Section de séparation secondaire:

Avec extraction du gaz du liquide (foaming section). Ceci est obtenu par des chicanes sur lesquelles les gouttelettes liquides viennent buter et s'assembler en particules plus grosses.

#### ❖ Section de sédimentation:

Par gravité, les fluides constituant les liquides se séparent dans cette section utilise l'effet de la pesanteur.

#### ❖ Section d'extraction:

Des gouttelettes liquides du brouillard constitué par le gaz qui s'échappe par l'orifice de sortie (Demisting section) : ceci est réalisé par un dispositif à maille fixe. Qui arrête dans le jet gazeux les fines gouttelettes de liquide.

#### ❖ Section de collecte:

Recueille les divers fluides obtenus à partir de mélange initial. C'est-à-dire l'huile, l'eau et le gaz et les composés solubles.

### III. 4. 2. Paramètres de fonctionnement d'un séparateur:

➤ **Pression de séparation:**

La pression de fonctionnement des séparateurs n'est pas indifférente. On constate que pour un nombre d'étages donné, il existe une pression optimale pour chaque étage, telle que la quantité d'huile récupérée est maximale.

Cette augmentation de la quantité de liquide au stockage pour une production donnée de puits, n'est pas due à une meilleure récupération des gouttelettes de liquide entraînées dans le gaz, mais grâce à ce choix des pressions en maintien en solution une plus grande quantité de produits, tel que le propane, le butane et le pentane qui se seraient volatilisées en d'autres conditions de séparation.

Lorsque plusieurs séparateurs travaillent en parallèle, la pression du premier étage doivent être maintenues identiques, afin d'éviter un écoulement préférentiel vers un séparateur travaillant à plus basse pression qui serait ainsi surchargé. C'est pourquoi on a intérêt à avoir des manomètres parfaitement étalonnés pour s'assurer que les charges en liquide et en gaz sont équivalentes. Le meilleur moyen est de comparer. Les pressions de sortie des instruments de contrôle et les débits des gaz sur les enregistreurs. Ces valeurs doivent être théoriquement égales pour les séparateurs H.P. Pratiquement, on aura toujours des différences de débit d'un séparateur à un autre.<sup>5</sup>

➤ **Température de séparation:**

Une augmentation de la température a le même effet qu'une diminution de pression, le volume de gaz augmente et par suite sa vitesse, ce qui diminue la capacité du séparateur.

➤ **Les niveaux:**

Les niveaux à glace doivent être propres et les niveaux d'interface seront réglés sur les repères fixes par le constructeur, les niveaux ne sont pas relevés comme les pressions, cependant, leur surveillance est aussi importante que celle des pressions, lors des relevés de ces derniers, il est bon de contrôler les niveaux.

---

<sup>5</sup> ÉTUDE EXPÉRIMENTALE ET NUMÉRIQUE DE SÉPARATEURS GAZ-LIQUIDE CYLINDRIQUES DE TYPE CYCLONE Thèse soutenue publiquement le 07 Décembre 2011 pour l'obtention du diplôme de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Lorraine (spécialité génie des procédés et des produits) par Rainier HREIZ

Normalement, le niveau ne doit pas dépasser le milieu du niveau à glace, car les vagues qui se produisent dans le séparateur peuvent passer par-dessus les plaques horizontales et ne doit pas non plus être réglé trop bas, afin d'obtenir un temps de rétention de l'huile.

### **III. 4. 3. Différents types de séparateurs**

#### **III. 4. 3. 1. Classification Selon la géométrie :**

##### **III. 4. 3. 1. 1. Séparateurs Verticaux**

Ce sont des cylindres verticaux terminés par des fonds bombés. L'arrivée des fluides est tangentielle, environ à mi-hauteur. Ils sont généralement choisis lorsque le rapport gaz-liquide est élevé ou que les volumes totaux de gaz sont faibles.

##### **❖ L'équipement interne comporte :**

- ✓ Une chambre primaire à l'entrée des fluides
- ✓ Un extracteur de brouillard
- ✓ Une chambre de décantation. Cette chambre est isolée de la chambre primaire par un cloisonnement. Un conduit d'écoulement relie la base de l'extracteur de brouillard à la chambre de décantation.

##### **❖ Fonctionnement:**

Les effluents pénètrent avec une certaine vitesse dans la chambre primaire, où leur est impulsé un mouvement circulaire (entrée latérale, déflecteur). Les liquides piégés s'écoulent le long des parois et s'accumulent dans la chambre de décantation. Un gaz libre se dégage et remonte vers la sortie supérieure, en empruntant la conduite de drainage de l'extracteur de brouillard, dans lequel les gouttelettes de liquide retenues dans les chicanes tombent aussi, après coalescence, dans la chambre inférieure en ruisselant sur les parois. Le gaz séparé, quant à lui, s'échappe alors par la sortie supérieure. La décharge des liquides est assurée de son côté par une conduite basse. Elle est réalisée soit en continu à niveau constant, soit à régime intermittent par remplissage et vidange alternés du compartiment, entre un niveau haut et un niveau bas. L'important est que le temps de rétention nécessaire à la libération du gaz dissous dans l'huile soit suffisant. La tendance est à utiliser une séparation verticale lorsqu'on a très peu de liquide ou des arrivées très irrégulières de ce dernier cas des écoulements par bouchons dans le réseau de collecte ou des pipes transportant un gaz humide.....

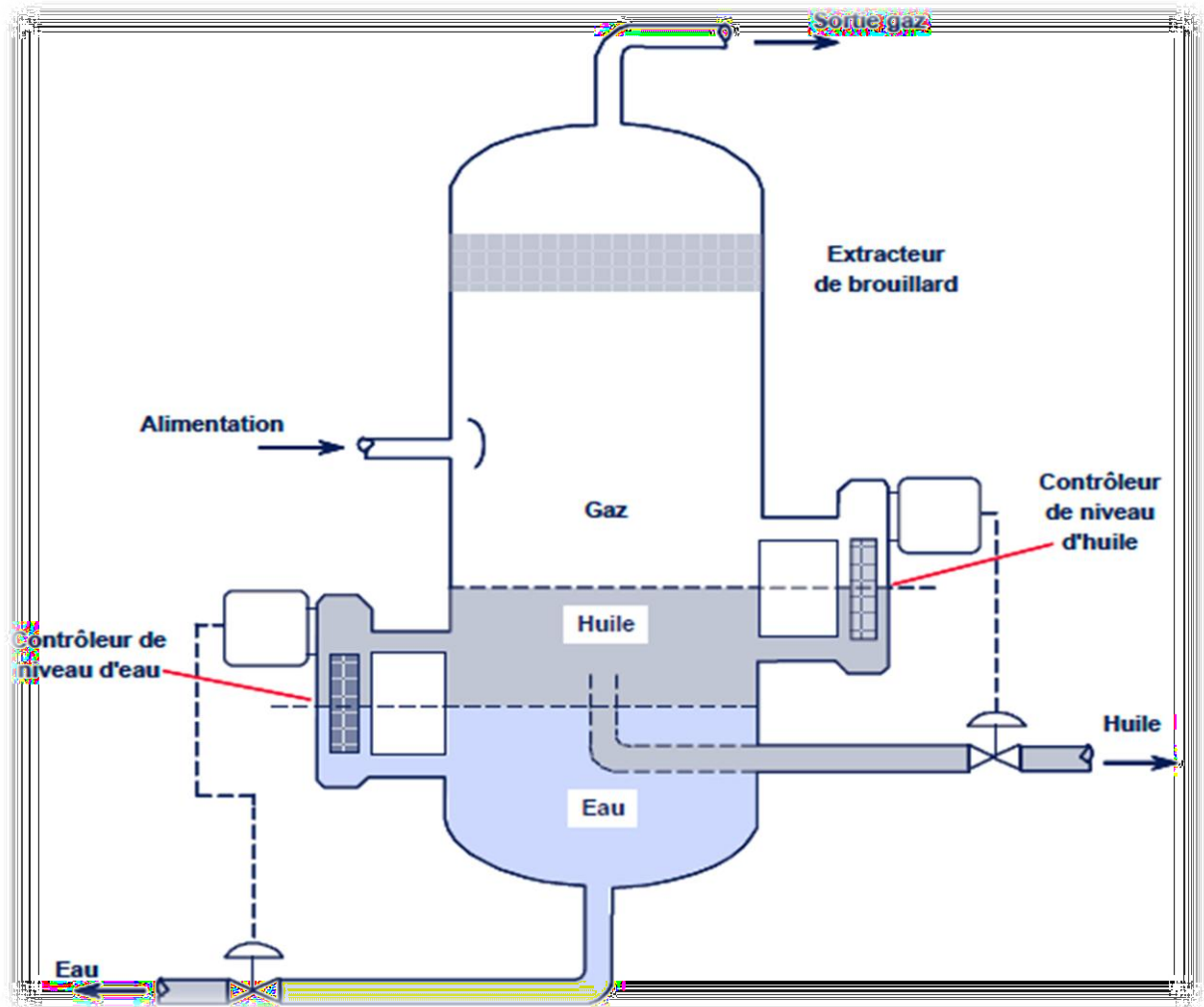


Fig. III. 7: séparateur vertical triphasiques.

### III. 4. 3. 1. 2. Séparateur horizontal:

Les séparateurs horizontaux sont plus efficaces lorsqu'il s'agit de grands volumes de liquide. Ils sont aussi généralement préférés pour les applications de séparation triphasée.

#### ❖ Les équipements internes:

L'enveloppe cylindrique à fonds bombés est de construction identique à celle des séparateurs verticaux. L'appareil, par contre, est installé horizontalement sur un châssis (Skid). Cette disposition facilite le chargement, le transport et la mise en place, elle permet surtout de grouper en un ensemble homogène tous les accessoires, conduites, vannes et appareil de mesures nécessaires au fonctionnement du séparateur.

**A noter deux différences**

- ☞ La séparation par centrifugation n'est plus utilisée ; le déflecteur brise le jet d'effluent, mais ne l'oriente pas.
- ☞ La présence d'une section de tranquillisation et d'une chambre secondaire où les gouttelettes de liquide entraînées avec le gaz tombent par gravité.

On n'a pas parlé de chambre secondaire pour les séparateurs verticaux. Elle existe en fait, mais elle est située dans une zone parcourue par le courant du gaz ascendant, ce qui réduit considérablement son efficacité.

**❖ Fonctionnement:**

L'effluent pénètre par l'extrémité amont du séparateur, il est diffusé dans la chambre primaire par le déflecteur. Les gaz s'échappent vers le haut, les liquides s'accumulent sous un plancher perforé dans la chambre de décantation.

Le gaz encore chargé de brouillard pénètre dans une chambre secondaire en franchissant la section de tranquillisation et traverse cette chambre à une vitesse qui est fonction du débit, et de la section de passage disponible. Durant ce trajet, les gouttelettes de liquide les plus lourdes tombent sous le plancher perforé.

L'extracteur de brouillard arrête les plus légères. Si la vitesse d'écoulement du gaz est trop grande, l'entraînement de liquide est important et l'extracteur de brouillard s'engorge. La séparation est alors mauvaise.

Il peut même arriver que l'engorgement de l'extracteur de brouillard crée une perte de charge telle que le liquide déposé dans la chambre inférieure se trouve siphonné par la conduite de drainage.

Cet accident est surtout à craindre avec les extracteurs à tamis ou à bourrages filtrants. La plupart des constructeurs ont heureusement porté remède à ce défaut soit en modifiant le tube de drainage, soit en prévoyant des événements d'équilibrage.

Dans un séparateur horizontal, les liquides décantés sont étalés sur grande longueur. Pour stabiliser le plan d'interface, on dispose généralement quelque cloison brise vague transversale.

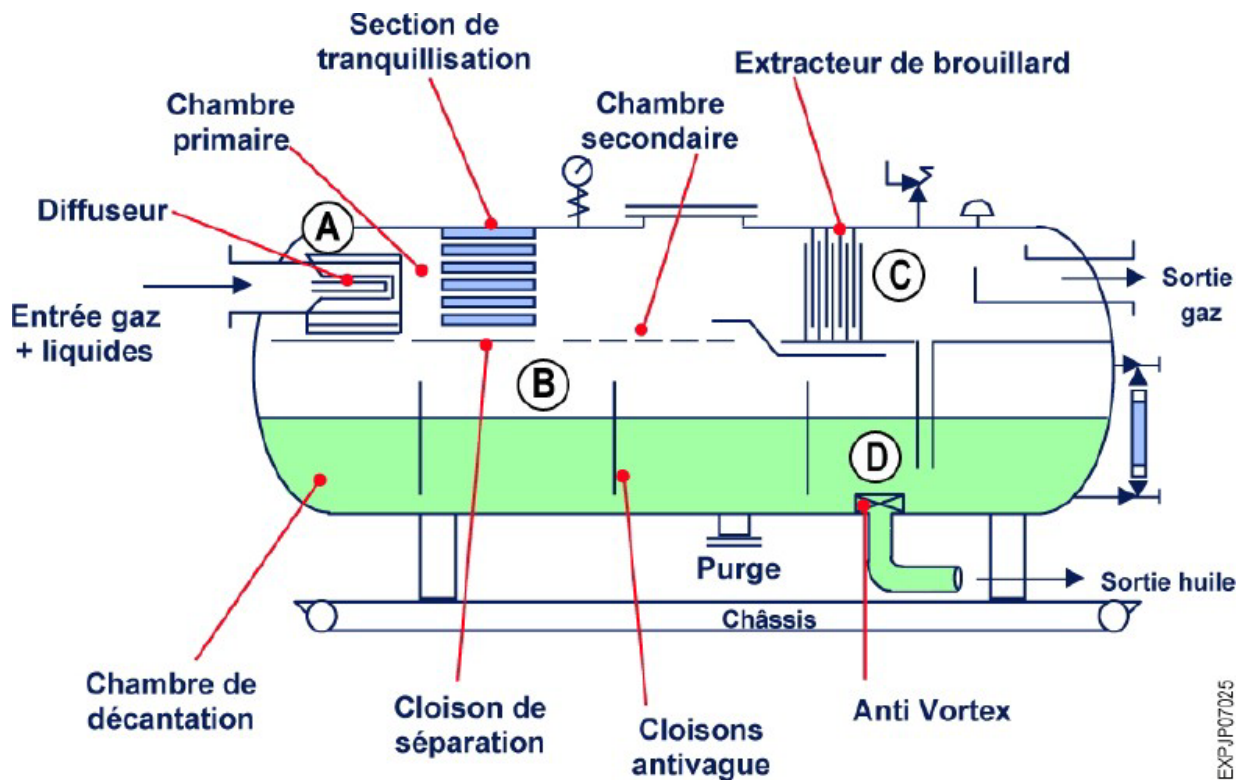


Fig. III. 8 : Séparateur horizontale bi-phasiques

**Remarque :**

Pour en finir avec la description des internes, noter qu'il existe aussi des :

- ✓ **Sand jets** : dispositif permettant l'enlèvement de sables et sédiments par jet d'eau.
- ✓ **Vortex breaker** : Installation sur la sortie liquide pour éviter l'entraînement de gaz dans le liquide.

❖ **Séparateurs horizontaux à double corps:**

Il est utile de citer pour mémoire ce type d'appareil constitué par deux corps cylindriques horizontaux superposés. Le corps supérieur est le séparateur, le corps inférieur la chambre de décantation. Une telle construction permet de réduire le diamètre des viroles et donc, à pression de service égale leur épaisseur. A prix égal, la formule mono tube reste cependant supérieur.

La section de passage libre offerte à l'écoulement des fluides est plus important et l'interface gaz liquide plus grand.

Le nettoyage interne et l'accès aux divers organes sont aussi plus commodes



### III. 4. 3. 1. 3. Séparateur sphérique

L'effluent pénètre dans le haut de l'appareil et ruisselle sur un déflecteur en forme de cloche hémisphérique. Le liquide s'accumule dans la partie inférieure où il est drainé par deux vannes de purge. Le gaz humide monte, passe dans la section de filtration (et s'accumule sous la cloche intérieure). Il est repris par une conduite de décharge qui traverse la section de filtration et ressort au bas de l'appareil. Les contrôles sont automatiques.

Ce type de séparateur est relativement récent. Sa construction ramassée le rend peu encombrant et facilement transportable. Il offre une excellente résistance aux fortes pressions. Le dégazage des produits décantés est très bon puisque la forme en calotte sphérique de la chambre de décantation est celle qui donne le meilleur rapport surface/volume. Par contre, le rendement est mauvais dans le cas de production liquide par bouchons. Ces caractéristiques particulières font que ces séparateurs sont habituellement réservés à des champs de distillation où le GOR est très élevé (quelque centaines de grammes de gazoline par m<sup>3</sup> de gaz).

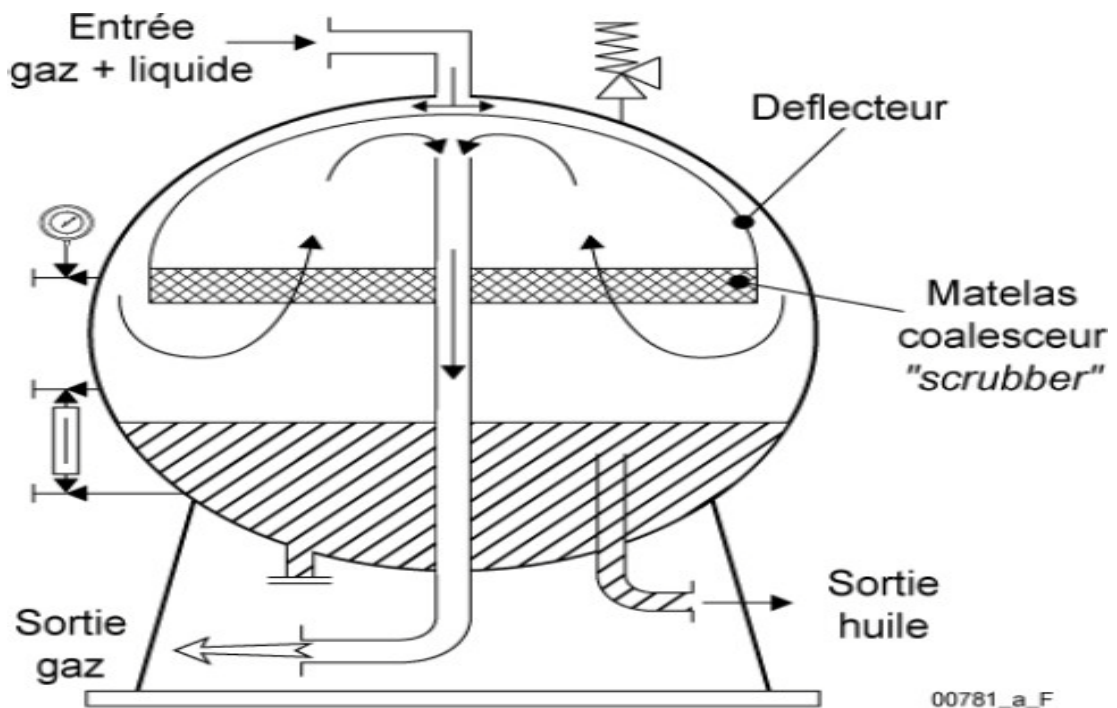


Fig. III. 9 : Séparateur sphérique

**Tab. III. 1 : les avantages et les inconvénients de trios types de séparateur.**

Les Séparateurs	Les avantages	Les inconvénients
<b>Vertical</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Traitement possible des hydrocarbures salés.</li> <li>- Nettoyage facile (aisé).</li> <li>- Faible encombrement.</li> <li>- Hydrocarbures pauvres en liquides.</li> <li>- Utilisé en moyenne et haute pression.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diamètre plus grand</li> <li>- Plus chers</li> <li>- Plus difficiles à monter sur skid</li> <li>- Rapport très réduit n'est pas favorable au dégazage, mauvais rendement en présence d'un GOR élevé &gt; à 200 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup></li> </ul>
<b>Horizontal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Meilleur marché</li> <li>- Plus facile à monter sur skid</li> <li>- Diamètre plus petit pour une capacité de gaz donné</li> <li>- Interface plus large entre gaz et liquide</li> <li>- Dégazage rapide car élevé, GOR &gt; 200 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contrôle du niveau liquide plus difficile</li> <li>- Difficulté possible sur support flottant</li> <li>- Acceptent beaucoup moins bien les sédiments</li> </ul>
<b>sphérique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilisation possible sur une unité de production off shore.</li> <li>- Utilisé à de très hautes pressions</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Séparation à phases difficile.</li> <li>- Coût très cher.</li> <li>- Mauvaise séparation en cas d'hydrocarbure moussant.</li> <li>- L'utilisation de ce séparateur n'est pas courante.</li> </ul>

**Tab. III. 2 : Répartition des diverses sections sur les divers types de séparateurs.**

Types de séparateur Section	Verticale	Horizontale	Sphérique
1	Au milieu	A l'extrémité	Au top sphère
2	Toute la section	Au minimum 50% de la section	Section diamétrale
3	Toute la section	A 75% de la section	Section diamétrale
4	En haut	A l'autre extrémité	Légèrement au dessus du grand axe
5	Au fond pour les liquides/sédiments Au sommet pour les gaz	Partie inférieure pour liquide/sédiments Génératrice supérieure pour les gaz	Au Fond

### III. 4. 3. 2. Classification Selon l'usage:

Des aménagements intérieurs de la capacité améliorent l'efficacité selon l'usage auquel on les destine, on distingue :

#### III. 4. 3. 2.1. Les séparateurs de détente :

Utilisés pour le traitement des gaz à condensât .Ils fonctionnent à haute pression et à basse température. Ils sont équipés de duses servant à régler le taux de détente et souvent

##### ❖ Les séparateurs gaz/huile:

Ces appareils sont utilisés pour le traitement des effluents où la phase principale est liquide. Ils sont généralement du type cylindrique horizontal dont le rendement est meilleur.

Dans certains cas particuliers, toutefois, production avec apport de sédiments par exemple, on peut faire appel au type vertical plus facile à nettoyer.

❖ **Les séparateurs purgeurs:**

Ce sont des séparateurs dont l'aménagement interne est simplifié et dont le rôle est de soutirer, dans un circuit, un fluide déjà séparé et indésirable, dans le but d'alléger la charge d'une conduite ou d'un appareil situé en aval. Placés sur une conduite véhiculant un fluide poly-phasique gaz liquide, ils éliminent le gaz et recyclent le liquide. Quand la production d'eau est importante, un séparateur d'eau libre (F W K O) peut purger l'eau et recycler le gaz et l'huile.

❖ **Les scrubbers et filtres:**

Ce sont des séparateurs destinés à parfaire la dessiccation d'un gaz déjà traité par un séparateur et à arrêter les particules solides, poussières écailles de rouille et d'autres impuretés charriées.

On les utilise pour affiner le gaz d'alimentation des régulateurs automatiques et des moteurs. Leur capacité et leur pression de service ne sont en général pas très importantes. Ils font parfois appel à des systèmes de filtration peu ou pas employés dans les séparateurs conventionnels.

### **III. 4. 3. 2.2. Mécanismes mis en œuvre dans les séparateurs:**

❖ **Mécanisme de base:**

Toute séparation s'opère par le jeu des différences de densité existant entre les fluides non miscibles. Tout calcul de volume d'un séparateur, toute étude de son architecture interne se ramènent à une recherche de moyens propres à favoriser ce phénomène.

❖ **Extraction de gaz libre de l'huile:**

L'huile déposée au fond de cuve contient encore du gaz libre dans les conditions de pression et de température du séparateur. Ce gaz sorti de solution doit cheminer sous forme de petites bulles vers la surface du liquide. La libération se réalise si le temps imparti est suffisant. Ce temps de rétention utile du liquide, qui est la donnée de base de calcul de capacité, est fonction de la pression dans l'enceinte, de la viscosité de l'huile, de la hauteur du

niveau de liquide, de l'étendue du plan d'interface liquide/gaz. Normalement et suivant les cas, il est compris entre cinquante secondes et cinq minutes.

#### ❖ Récupération de l'huile entraînée par le gaz:

La turbulence dans les conduites et la diffusion par les font qu'après entrée dans le séparateur, des gouttelettes de liquide restent en suspension dans le gaz sous forme de brouillard.

Le temps nécessaire pour que les plus fines de ces gouttelettes atteignent, en tombant, la surface du liquide décanté serait beaucoup trop grand, aussi doit-on aidé processus par des recours à des artifices.

#### ❖ Projection contre une paroi:

Dés l'entrée dans le séparateur, les fluides sont projetée contre une paroi. Sous l'effet de la force d'impact, les particules liquides s'écrasent, se rassemblent, et, entraînées par leur poids, ruissellent vers le bas.

On met à profit la force des liquides plus grande que celle du gaz. Le courant est contrarié dans son acheminement par un réseau de chicanes. Il subit des changements de direction, des accélérations et des ralentissements successifs qui provoquent la ségrégation des phases.

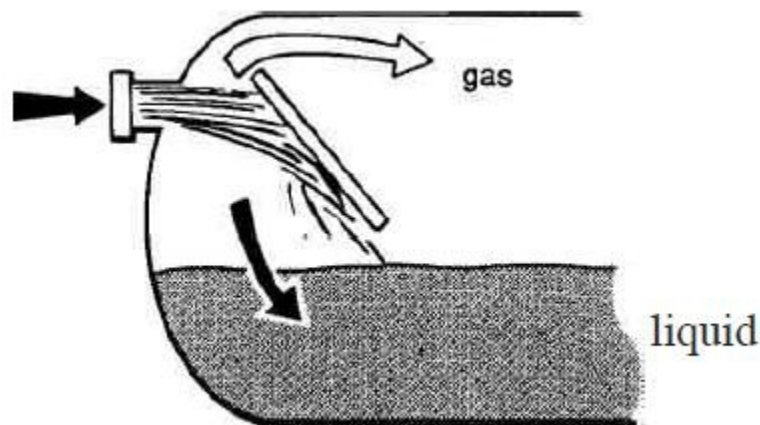


Fig. III. 10 : Projection contre une paroi.

#### ❖ Filtration par tamis:

Des tamis tressés sont interposés devant la sortie de gaz. Dans la pratique, ces tamis sont établis pour retenir les gouttelettes de brouillard jusqu'à une finesse de 10 p.

### ❖ Centrifugation:

On utilise des forces d'inertie. Le courant pénètre dans le séparateur par une entrée tangentielle ou bien est dévié latéralement par un déflecteur, Il prend une allure tourbillonnaire rapide. Le liquide se porte à la périphérie, mouille la paroi et s'écoule vers le bas.

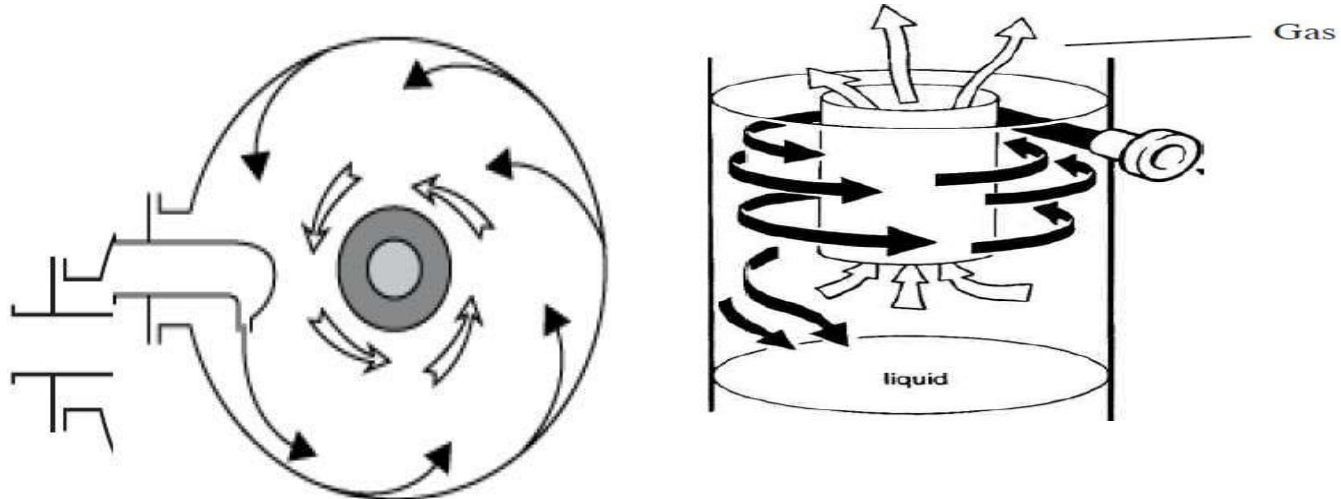


Figure. III. 11 : Centrifugation.

### ❖ Récupération de l'eau et de l'huile:

En l'absence d'émulsion, la séparation gravitaire de l'eau et de l'huile ne présente pas de difficulté. Si les quantités d'eau sont importantes, on installe un (F W K O) qui purge l'eau librement amont de l'unité de séparation et allège la charge de cette dernière. Si non, un séparateur trois phases (gaz, huile, eau) suffit. Il faut noter toutefois que l'élimination de l'eau par un (F W K O) ou par un séparateur est rarement complète. Elle se termine en général dans les bacs de stockage, où le liquide est maintenu en repos pendant une période suffisamment longue. Avec des huiles de viscosité élevée on peut même être amené à réchauffer le bac pour accélérer la décantation.

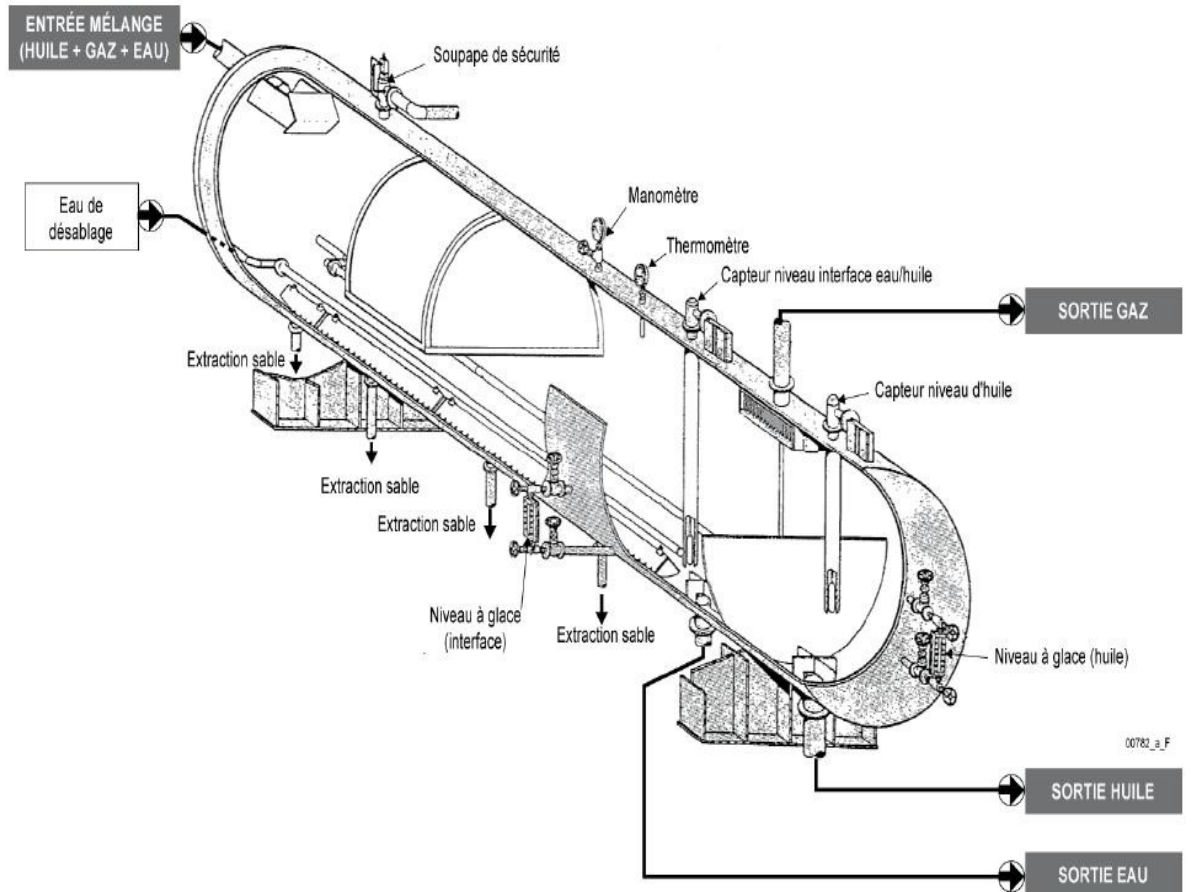
## II. 4. 4. Les équipements dans un séparateur:

### ❖ Les organes de contrôle:

- ✓ Manomètre : 1,5 fois la pression de travail.
- ✓ Thermomètre sur la sortie huile et gaz.
- ✓ Niveau à glace testée à 2 fois la pression de travail.
- ✓ Signaux d'alarme.

❖ **Les organes de commande:**

- ✓ Vanne automatique sortie huile et gaz.
- ✓ Flotteur de commande.
- ✓ Circuit d'alimentation du gaz pilote.
- ✓ Détendeur avant régulation.



**Fig. III. 12 : Les différents organes des séparateurs.**

❖ **Les organes de sécurité d'un séparateur:**

- ✓ **La soupape de sécurité** : C'est une soupape à ressort taré à la pression de service maxi du séparateur, elle débite à l'atmosphère mais le plus souvent elle est reliée à la torche par une conduite munie d'un clapet anti-retour. Elle est tarée à 1,05 fois la pression de travail.
- ✓ **Plaque d'éclatement** : C'est un disque concave en métal très fin servant à assurer la sécurité du séparateur ou pipe en cas de défaillance de la soupape. La partie bombée de la plaque est du côté de la pression atmosphérique.

Les caractéristiques de la plaque d'éclatement sont portées sur la queue de la plaque.

La plaque est intercalée entre deux brides, la pression d'éclatement est comprise entre 1,1 et 1,2 fois la pression de travail du séparateur en moyenne 1,15.

❖ **Les organes d'entretien:**

- ✓ Le trou d'homme : C'est un orifice permettant l'accès à l'intérieur du séparateur pour le nettoyage.
- ✓ Purge de vidange
- ✓ Témoin anticorrosion

### III. 4. 5. Dénomination d'un séparateur :

Chaque constructeur est tenu d'apposer visiblement à l'extérieur de chaque appareil une plaque signalétique désignant cet appareil et comportant ses caractéristiques.

FLOPETROL
B.P 592 77005 MELUN (France)
H.S 66 x 20 x 500
Capacité Gaz : 310 000 m <sup>3</sup> / Jour
Capacité Huile : 3180 m <sup>3</sup> / Jour
Pression de service à 38 ° C : 34,323 Bars
Pression d'épreuve à 38 ° C : 51,485 Bars
Capacité totale : 149000 Litres
Date de fabrication : 19.08.78
Pression de service à 38 ° C : 34,323 Bars
Pression d'épreuve à 38 ° C : 51,485 Bars
Capacité totale : 149000 Litres
Date de fabrication : 19.08.78

**Fig. III. 13 : Dénomination d'un séparateur.**



**III. 4. 6. Les paramètres à surveillé sur un séparateur:**

- ✓ la pression de séparation.
- ✓ la température.
- ✓ le niveau d'eau.
- ✓ le compteur d'huile.
- ✓ les vannes automatiques.
- ✓ le niveau d'huile.

*Chapitre IV :*  
*Modélisation numérique*  
*du phénomène de*  
*séparation*

## IV. 1. Introduction

Pour optimiser les performances des séparateurs on a recours non seulement à l'expérience mais surtout à la simulation numérique. Cette dernière, offre une flexibilité permettant la maîtrise des variables géométriques, thermiques et thermodynamiques de ces appareils. Ainsi, on peut simuler l'influence des paramètres gouvernants tels que la variation de la structure de séparateur, qualité des effluents, la pression, le chauffage et/ou le refroidissement ...etc. Aussi, on peut optimiser la configuration géométrique d'un séparateur pour optimiser la séparation.

Pour atteindre ces objectifs, on trouve dans la littérature une multitude de techniques pour modéliser un séparateur. Ces techniques peuvent être apparentées à deux grandes familles, à savoir : la modélisation globale et la modalisation détaillée.

## IV. 2. L'écoulement multiphasique

L'écoulement multiphasique est un écoulement avec la présence simultanée de différentes phases, où la phase se réfère à l'état solide, liquide ou vapeur de la matière. Il existe quatre grandes catégories d'écoulement multiphasique; les flux gaz-liquides, gaz-solides, liquides-solides et triphasés. Une caractérisation plus poussée est généralement effectuée en fonction de l'aspect visuel de l'écoulement comme un écoulement séparé, mélangé ou dispersé. Il s'agit de schémas d'écoulement ou de régimes d'écoulement et la catégorisation d'un écoulement multiphasique dans un certain régime d'écoulement est comparable à l'importance de savoir si un écoulement est laminaire ou turbulent dans l'analyse d'écoulement monophasique<sup>1</sup>. Un schéma de flux décrit la distribution géométrique des phases et le schéma de flux affecte considérablement la distribution de phase, la distribution de vitesse et ainsi de suite pour une certaine situation de flux. Un certain nombre de régimes d'écoulement existent et l'exemple d'écoulement horizontal possible et les modèles diffèrent en fonction de la géométrie du domaine d'écoulement. Pour certaines formes simples, pour les tuyaux verticaux, les schémas d'écoulement qui se produisent pour les différentes vitesses de phase etc. ont été résumés dans

---

<sup>1</sup> Thome, J.R. (2004), "Engineering Data Book III", Wolverine Tube Inc., Decatur, Alabama, USA

Une carte dite d'écoulement. Les deux extrêmes sur une carte de flux sont le flux dispersé et le flux séparé. Dans le flux séparé, il y a une frontière distincte entre les phases. Des exemples de flux séparés sont des flux stratifiés où une phase s'écoule sur une autre ou un flux annulaire dans un tuyau avec une pellicule liquide le long du tuyau et un noyau de gaz au milieu. Le flux dispersé est un flux où une phase est largement distribuée sous forme de particules solides ou de bulles dans une autre phase continue. Plusieurs régimes intermédiaires existent également, qui contiennent à la fois des phases séparées et dispersées telles que par exemple le flux bulleux annulaire<sup>2</sup>. En raison des instabilités croissantes dans un régime, la transition vers un autre régime peut se produire. Ce phénomène complique encore plus la modélisation du d'écoulement multiphasique, car la transition est imprévisible et les différents régimes de flux sont dans une certaine mesure régis par des physiques différentes.

Les modèles sont utilisés pour pouvoir décrire et prédire la physique du flux multiphasique. Comme mentionné précédemment, la modélisation du flux multiphasique est très complexe. En outre, il y a également des limites de temps, de capacité informatique, etc. lors de la réalisation d'études numériques. Cela a conduit à l'élaboration de modèles pouvant tenir compte de différents niveaux d'information, c'est-à-dire de différents niveaux de précision, et adaptés à différentes applications de flux multiphasiques<sup>2</sup>. Certaines de ces approches de modélisation sont présentées ci-dessous.

### **IV. 3. Équations gouvernantes dans la CFD**

Les équations qui permettent de décrire un problème de transfert thermique et d'écoulement de fluide sont : l'équation de continuité, l'équation de conservation de la quantité de mouvement et l'équation de l'énergie.

#### **❖ Équation de continuité**

Le principe de conservation de la masse s'écrit sous la forme :

---

<sup>2</sup> E. Stenmark, "Multiphase Flow Models in ANSYS CFD Software", Göteborg: Chalmers University of Technology, 2013.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \bar{V}) = 0$$

Si on travaille dans les coordonnées cartésiennes, on obtient :

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

Où toutes les variables sont explicitées dans la nomenclature.

### ❖ Équation de conservation de la quantité de mouvement

Les équations de conservation de la quantité de mouvement pour un fluide visqueux, incompressible dans un repère Cartésien sont :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left\{ \left[ \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right] + \left[ \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] + \left[ \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] \right\} + F_x$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left\{ \left[ \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \right] + \left[ \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] + \left[ \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] \right\} + F_y$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \left\{ \left[ \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right] + \left[ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right] + \left[ \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] \right\} + F_z$$

### ❖ Équation de conservation de l'énergie

Pour un fluide newtonien incompressible à conductivité thermique constante, l'équation de conservation de l'énergie ou équation d'énergie peut s'écrire de la façon suivante (Jiji, 2009):

$$\rho c_p \frac{dT}{dt} = \lambda \nabla^2 T + \mu \phi$$

En coordonnées cartésiennes cette équation devient,

$$\rho c_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \mu \phi$$

Où  $\phi$  est la fonction de dissipation visqueuse qui est exprimée de la façon suivante :

$$\phi = 2 \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] +$$
$$\left[ \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 \right] - \frac{2}{3} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2$$

## IV. 4. Approche de modélisation d'un écoulement multiphasique

Les modèles sont utilisés pour pouvoir décrire et prédire la physique du flux multiphasique. Comme mentionné précédemment, la modélisation du flux multiphasique est très complexe. En outre, il y a également des limites de temps, de capacité informatique, etc. lors de la réalisation d'études numériques. Cela a conduit à l'élaboration de modèles pouvant tenir compte de différents niveaux d'information, c'est-à-dire de différents niveaux de précision, et adaptés à différentes applications de flux multiphasiques <sup>3</sup>. Certaines de ces approches de modélisation sont présentées ci-dessous.

### IV. 4. 1. Approche d'Euler-Lagrange

Dans l'approche Euler-Lagrange, les particules sont suivies au niveau d'une seule particule où la particule se réfère soit à une particule solide, soit à une bulle/gouttelette de gaz/fluide. Les équations de conservation sont résolues pour la phase continue et la phase de particule est suivie en résolvant les équations de mouvement pour chaque particule.

$$\frac{\partial \alpha_f \rho_f}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha_f \rho_f \mathbf{u}_f) = S_{mass}$$

$$\frac{\partial \alpha_f \rho_f}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha_f \rho_f \mathbf{u}_f \mathbf{u}_f) = \alpha_f \nabla p - \alpha_f \nabla \cdot \boldsymbol{\tau}_f - S_p + \alpha_f \rho_f \mathbf{g} = 0$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}_p}{\partial t} = \sum \mathbf{F}$$

Les équations de conservation sont résolues pour la phase continue et la phase de particule est suivie en résolvant les équations de mouvement pour chaque particule. Les forces agissant sur les particules varient en fonction de la situation d'écoulement. La force de traînée est généralement incluse et d'autres forces qui peuvent être importantes sont par exemple la force de levage, la force de masse virtuelle et/ou la force historique.

### IV. 4. 2. Approche d'Euler-Euler

Dans les modèles Euler-Euler, toutes les phases sont traitées comme continues. Pour cette raison, ces modèles sont souvent aussi appelés modèles multi-fluides. Les modèles multi-fluides

<sup>3</sup> E. Stenmark, "Multiphase Flow Models in ANSYS CFD Software", Göteborg: Chalmers University of Technology, 2013

conviennent aux flux séparés où les deux phases peuvent être décrites comme un continuum. Cependant, l'approche Euler-Euler peut également être utilisée pour modéliser les flux dispersés lorsque le mouvement global des particules est intéressant plutôt que de suivre des particules individuelles. Les équations de phase dispersées sont moyennées dans chaque cellule de calcul pour atteindre les champs moyens. Pour pouvoir décrire une phase dispersée comme un continuum, la fraction de volume devrait être élevée et, par conséquent, cette approche convient aux flux denses. Les phases sont traitées séparément et un ensemble d'équations de conservation est résolu pour chaque phase

Les coefficients d'échange entre les phases doivent être modélisés. Tout comme dans l'approche d'Euler-Lagrange, il appartient au modélisateur de décider quels phénomènes d'interphase inclure. En plus des équations de transport régulières, une équation de transport pour la fraction de volume est également résolue pour chaque phase. La somme des fractions de volume doit être égale à une. Les équations gouvernantes pour un modèle à deux fluides avec deux phases continues sont montrées ci-dessous.

$$\frac{\partial \alpha_k \rho_k}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha_k \rho_k \mathbf{U}_k) = 0$$

$$\frac{\partial \alpha_k \rho_k \mathbf{U}_k}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha_k \rho_k \mathbf{U}_k \mathbf{U}_k) = -\alpha_k \nabla \mathbf{P} + \alpha_k \nabla \cdot \boldsymbol{\tau}_k + \alpha_k \rho_k \mathbf{g}_k + \mathbf{S}_k = 0$$

$$\frac{\partial \alpha_k}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha_k \mathbf{U}_k) = 0$$

Un modèle de mélange est une version simplifiée d'un modèle Euler-Euler. Comme dans les modèles d'Euler-Euler, les deux phases sont traitées comme continue d'interpénétration, mais dans le modèle de mélange, les équations de transport sont basées sur les propriétés du mélange, telles que la vitesse du mélange, la viscosité du mélange, etc. Pour suivre les différentes phases, une équation de transport pour la fraction de volume est également résolue. Les phases peuvent se déplacer avec des vitesses différentes en utilisant le concept de vitesse de glissement, qui comprend à son tour une modélisation plus poussée.



### IV. 4. 3. Approche du volume de liquide

Une troisième approche de modélisation est la méthode du volume de fluide (VOF). Le VOF appartient au cadre Euler-Euler où toutes les phases sont traitées comme continues, mais contrairement aux modèles présentés précédemment, le modèle VOF ne permet pas l'interpénétration des phases. La méthode VOF utilise une fonction d'indicateur de phase, parfois aussi appelée fonction couleur, pour suivre l'interface entre deux ou plusieurs phases. La fonction indicateur a une valeur un ou zéro quand un volume de contrôle est entièrement rempli avec une des phases et une valeur entre un et zéro si une interface est présente dans le volume de contrôle. Par conséquent, la fonction d'indicateur de phase a les propriétés de la fraction de volume. Les équations de transport sont résolues pour les propriétés du mélange sans vitesse de glissement, ce qui signifie que toutes les variables de champ sont supposées être partagées entre les phases.

Pour suivre l'interface, une équation d'advection pour la fonction indicatrice est résolue. Afin d'obtenir une interface nette la discrétisation de l'équation de fonction d'indicateur est cruciale. Différentes techniques ont été proposées pour cela. Les équations résolues par la méthode VOF sont illustrées ci-dessous.

$$\frac{\partial \rho_m}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_m \mathbf{u}) = 0$$

$$\frac{\partial \rho_m \mathbf{u}}{\partial t} + \nabla (\rho_m \mathbf{u} \mathbf{u}) = -\nabla P + \nabla \boldsymbol{\tau} + \rho_m \mathbf{g} + \mathbf{S} = 0$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \nabla (\alpha \mathbf{u}) = 0$$

La méthode VOF étant axée sur le suivi de l'interface entre deux ou plusieurs phases, elle convient aux flux avec des interfaces nettes, telles que les flux de limaille, stratifiés ou de surface libre

### IV. 4. 4. Conditions aux limites et initiales

#### IV. 4. 4. 1. Conditions initial

Les conditions initiales représentent l'état du modèle à l'instant  $t=0$  où commence le calcul. Il s'agit d'un paramètre important dans toute modélisation. En effet, les résultats désirés sont étroitement liés aux conditions imposées au début de calcul. L'aspect de ces conditions varie

selon la méthode de calcul choisi.

Au démarrage de la simulation, il faut préciser le modèle numérique pour la représentation de l'état de l'écoulement. Il faut donner des valeurs initiales de la vitesse de l'eau et de l'air ainsi pour la fraction volumique et la pression.

#### IV. 4. 4. 2. Condition aux limites

La prise en compte des limites est un aspect très important lors de l'utilisation des techniques numériques dans le but d'obtenir de bons résultats. Les équations hyperboliques sont particulièrement très sensibles, car chaque erreur qui s'introduit au niveau des frontières se propage à travers la grille de calcul, ce qui mène dans la plupart des cas à de fortes instabilités.

Les conditions introduites:

- **Pressure inlet:** C'est la pression d'entrée du fluide, au début du canal.
- **Velocity inlet:** C'est la vitesse initiale des fluides, au début du canal, peut présenter sous forme de débit et de la section mouillée.
- **Pressure outlet:** C'est la pression au niveau des sorties.
- **Type wall:** ou bien la rugosité de la paroi qui représente l'effet de paroi sur l'écoulement. Elle est introduite sous forme de hauteur.

#### IV. 5. La convergence de calcul

La convergence des calculs itératifs est obtenue (solution quasi stationnaire) lorsque la valeur spécifiée des grandeurs résiduelles est atteinte. D'autres contrôles de la convergence peuvent être également obtenus en comparant les courbes donnant l'évolution de certaines variables, telle que le frottement pariétal en fonction du nombre d'itérations.

##### IV. 5. 1. Le couplage pression vitesse

Ce terme est le plus dur à modéliser. En effet il faut consentir à de lourdes hypothèses pour pouvoir exprimer la fluctuation de pression en fonction des vitesses moyennes et des corrélations doubles de vitesse fluctuante. Une multitude de modèles existent, chacun étant adapté à une catégorie d'écoulement. Aussi la caractérisation de l'écoulement et de la turbulence est-elle essentielle pour le choix du modèle. Une classification claire et complète des écoulements turbulents.

Les équations de Navier Stokes heurtent vers deux difficultés. Le premier c'est que ces équations ne sont pas linéaire et le deuxième qu'il fait mal le couplage pression-vitesse. Fluent tend vers un calcul itératif. La convergence de calcul cherche une solution acceptable. Le problème de couplage s'avère par l'apparition des vitesses et des pressions dans les équations de mouvement où il est difficile de déterminer la pression ainsi que la vitesse. Pour résoudre ce problème, l'algorithme simple est le plus universel dans la résolution de ces problèmes. Il est découvert par **PATANKAR** et **SPALDING** (1972). Il calcule les pressions et les vitesses itérativement jusqu'à où la différence de pression s'annule.

### IV. 5. 2. Méthodes de calcul du champ de pression

Fluent utilise la méthode de calcul du champ de pression illustrée dans l'organigramme de la Fig. IV. 7.

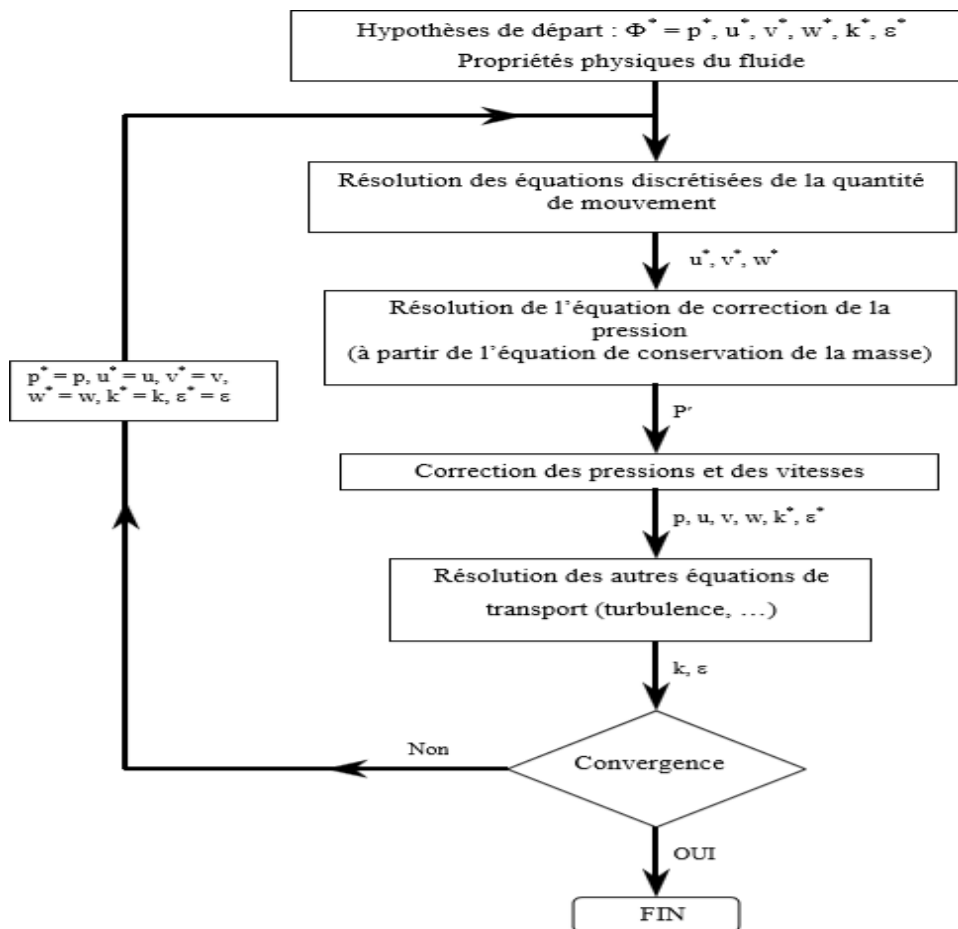


Fig. IV. 1: Algorithme de calcul. (LIPEME KOUYI, 2004)

### IV. 5. 2. 1. Algorithme Simple

L'algorithme SIMPLE, acronyme pour « Semi-Implicite Method for Pressure Linked Equations » permet de résoudre le système d'équations discrétisées (Fluent, 2001). Cet algorithme stipule l'existence d'une relation entre les vitesses corrigées et les pressions

Corrigées, en vue de vérifier l'équation de conservation de la masse. (LIPEME KOUYI, 2004)

$$U_n = U^* + U' \quad ; \quad P_n = P^* + P'$$

IL utilise l'équation de continuité pour estimer une équation pour  $P'$ . Il corrige la pression  $P_n$ , par suite la vitesse  $U_n$ . Il revient au début pour itérer.

### IV. 5. 2.2. Algorithme Simpler

Cet algorithme ne nécessite pas une pression initiale. Il l'génère par l'initialisation du champ de vitesse. IL estime le champ de vitesse plus facile que celle de pression. L'estimation de la pression est plus proche de la réalité. Il prend plus de temps dans la simulation que l'algorithme Simple.

### IV. 5. 2.3. Algorithme Simplec

Pour des problèmes relativement simples (flux laminaires sans modèles supplémentaires activés) dans lesquels la convergence est limitée par le couplage pression-vitesse, vous pouvez souvent obtenir une solution convergée plus rapidement en utilisant SIMPLEC. Avec SIMPLEC, le facteur de sous-relaxation de correction de pression est généralement fixé à 1,0, ce qui facilite l'accélération de la convergence. Dans certains problèmes, cependant, l'augmentation de la sous-relaxation de correction de pression à 1,0 peut entraîner une instabilité. Pour de tels cas, vous devrez utiliser une valeur de sous-relaxation plus conservatrice ou utiliser l'algorithme SIMPLE. Pour les écoulements compliqués impliquant des turbulences et/ou des modèles physiques supplémentaires, SIMPLEC n'améliorera la convergence que s'il est limité par le couplage pression-vitesse. Ce sera souvent l'un des paramètres de modélisation supplémentaires qui limite la convergence; dans ce cas, SIMPLE et SIMPLEC donneront des taux de convergence similaires. (jullio.pe.kr)

**Conclusion**

Dans ce chapitre, d'abord nous avons commencé par une présentation de logiciel ANSYS. Ensuite, nous avons cerné les équations de l'écoulement à surface libre, ainsi le système d'équations gouvernant la CFD. Pour résoudre ce système, il nous faut utiliser la résolution numérique en choisissant un code de calcul Fluent où nous appliquons des modèles de fermeture et des méthodes de calcul à obtenir les résultats.

*Chapitre V :*  
*Simulation &*  
*interprétation des*  
*Résultat*

*s*

## V. 1. Introduction

La simulation permet de prédire l'évolution de la pression, la température, le temps et de la vitesse de la séparation dans l'ensemble du volume du séparateur. Couplée à l'expérience, la simulation permet de mieux comprendre les phénomènes de transferts de masse et de chaleur en jeu lorsque celle-ci a été validée. Elle peut aussi être mise en œuvre pour optimiser différentes géométries de séparateur, ou étudier l'influence des paramètres des matériaux sur son fonctionnement.

Au cours de ce chapitre, nous avons fait un aperçu sur ANSYS Fluent qu'on aura utilisé dans notre simulation numérique, dont, il est décomposé en trois sous logiciel: Design Modeler pour la schématisation de la géométrie, le deuxième est pour faire le maillage, et le troisième le solveur Fluent qui fait la simulation. Ensuite, nous définirons les modèles de modélisation qui sert à la fermeture du système ainsi les algorithmes du calcul des pressions et des vitesses.

## V. 2. Modélisation numérique

Le modèle du séparateur horizontal est modélisé à l'aide de deux logiciels de modélisation différents; ANSYS Design Modeler et AUTO CAD. La meilleure conception compatible serait alors utilisée pour être intégrée dans le logiciel CFD.

En raison de sa facilité à modéliser par rapport à d'autres logiciels de modélisation disponibles tels que CATIA, Auto CAD serait le logiciel préféré pour concevoir le modèle avant de l'exécuter dans le logiciel CFD ANSYS Fluent. Néanmoins, il est conseillé d'utiliser ANSYS CFX dans le cas où les résultats obtenus ne présentent pas une conclusion raisonnable.

Le modèle de CFD développé se concentrera sur la simulation du mouvement du fluide et du processus de séparation dans le séparateur. La simulation se concentrera sur la fraction volumique et la vitesse du flux liquide. Bien que des expériences et des modèles mathématiques aient été développés, la simulation pourrait encore s'avérer débloquent la clé de ce problème de report brut dans les séparateurs horizontaux. En comparant les données expérimentales aux résultats de simulation (Fluent), il prédit mieux la séparation de phase et les vitesses, tout en étant capables de simuler les conditions les plus près possibles de la situation exacte.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> E. Stenmark, "Multiphase Flow Models in ANSYS CFD Software", Göteborg: Chalmers University of Technology, 2013.

## V. 2. 1. Présentation du logiciel ANSYS

ANSYS est le premier éditeur mondial dans le domaine du calcul par éléments finis (FEA). Les solutions logicielles proposées permettent de résoudre les problèmes de validation produits de manière efficace et d'optimiser le processus de conception. L'interface Workbench est la plateforme qui encapsule les différentes applications de simulation: Mechanical, Fluent, ACP (Composite), DesignXplorer (Optimisation), SpaceClaim (Modélisation), etc. Cette plateforme s'appuie sur une vue schématique du projet de simulation pour permettre à l'utilisateur de facilement organiser et lier ses différents calculs. (Catalogue de formation ANSYS)

## V. 2. 2. Méthodologie de simulation

Le projet commence par l'identification des problèmes et l'examen de la documentation. La MPS est modélisée en utilisant ANSYS Design Modeler et AUTO CAD tandis que la simulation est exécutée sur ANSYS Fluent. Le débit prévu du projet est indiqué dans la Fig. ci-dessous.

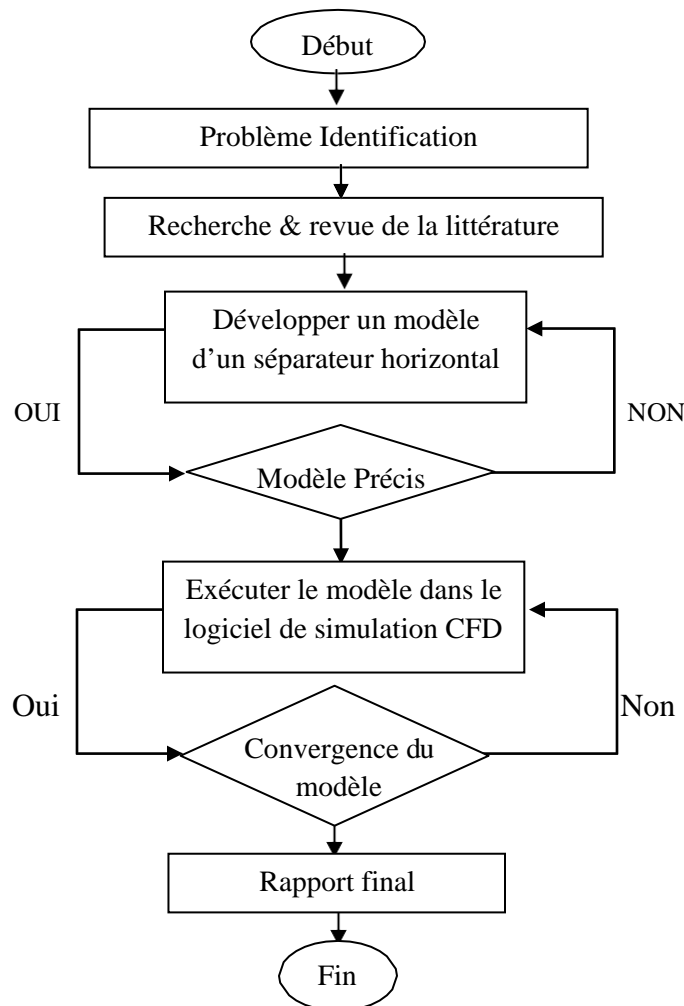


Fig. V.1. : Organigramme du projet

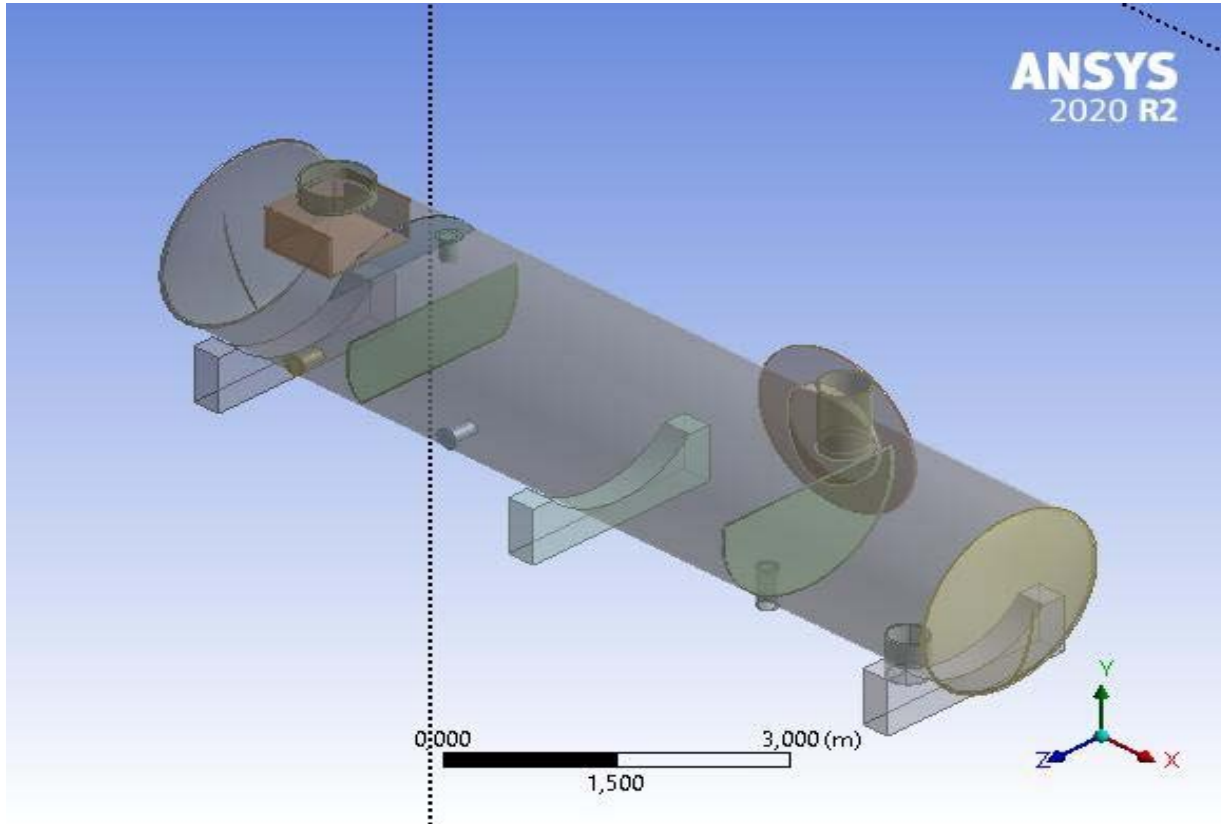


### V. 2. 2. 1. Conception du modèle

Pour avoir une conception réaliste, un paramètre de conception réaliste serait nécessaire. Le MPS est divisé en plusieurs parties principales, y compris l'entrée, le déflecteur d'entrée, la sortie de liquide, la sortie de gaz, le pack de palettes et le navire. Le paramètre de conception est obtenu auprès d'un opérateur majeur pour la production onshore dans cette région. Les données physiques de la MPS V-200 sont les suivantes :

**Tableau V.1 : Données physiques de la MPS V-200**

	Diamètre interne (mm)
Diamètre intérieur du vaisseau	2133
longueur du navire	9144
Entrée	355.6
Sortie de liquide	203
Sortie de gaz	254



**Fig. V.2 : Le modèle de séparateur MPS V-200 par ANSYS Design Modeler**

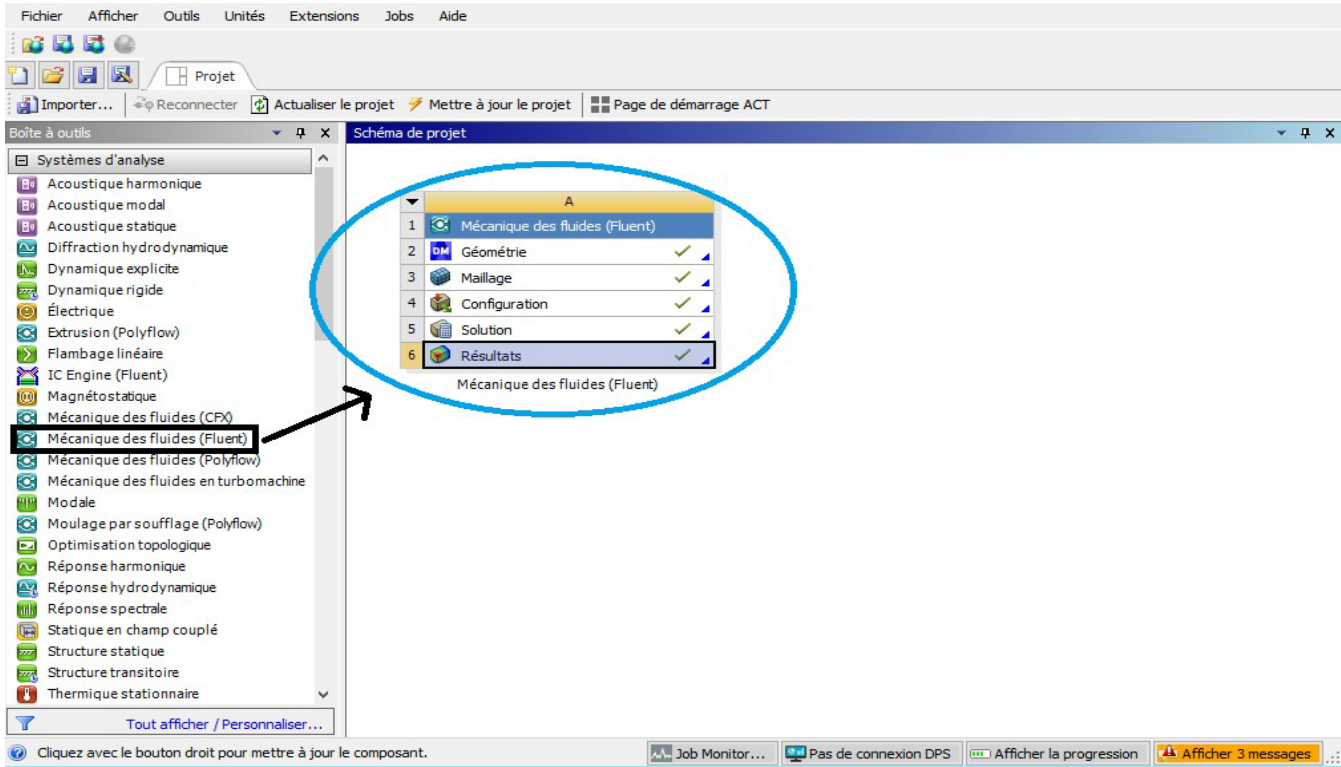


Fig. V.2: Interface de WorkBench R2020

### V. 2. 2. Géométrie (Design Modeler)

La géométrie comprend les positions physiques de points caractéristiques définissent la zone que l'on a à mailler: coordonnées spatiales des quatre sommets d'un carré; du point de départ et du point d'arrivée d'une ligne; du centre et de l'ouverture angulaire d'un arc de cercle. Il faut pouvoir représenter la zone à étudier par un ensemble de Fig.s géométriques simples raccordées les unes aux autres.

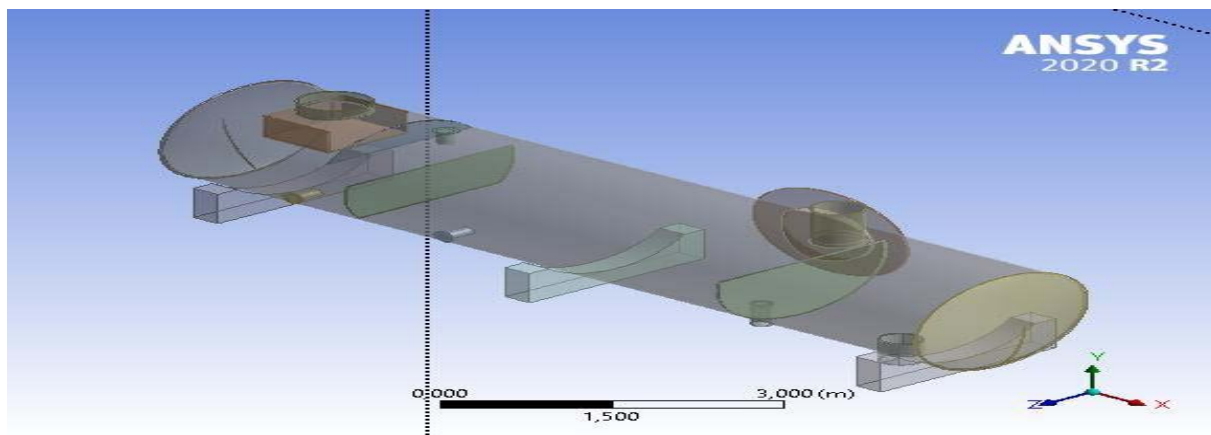
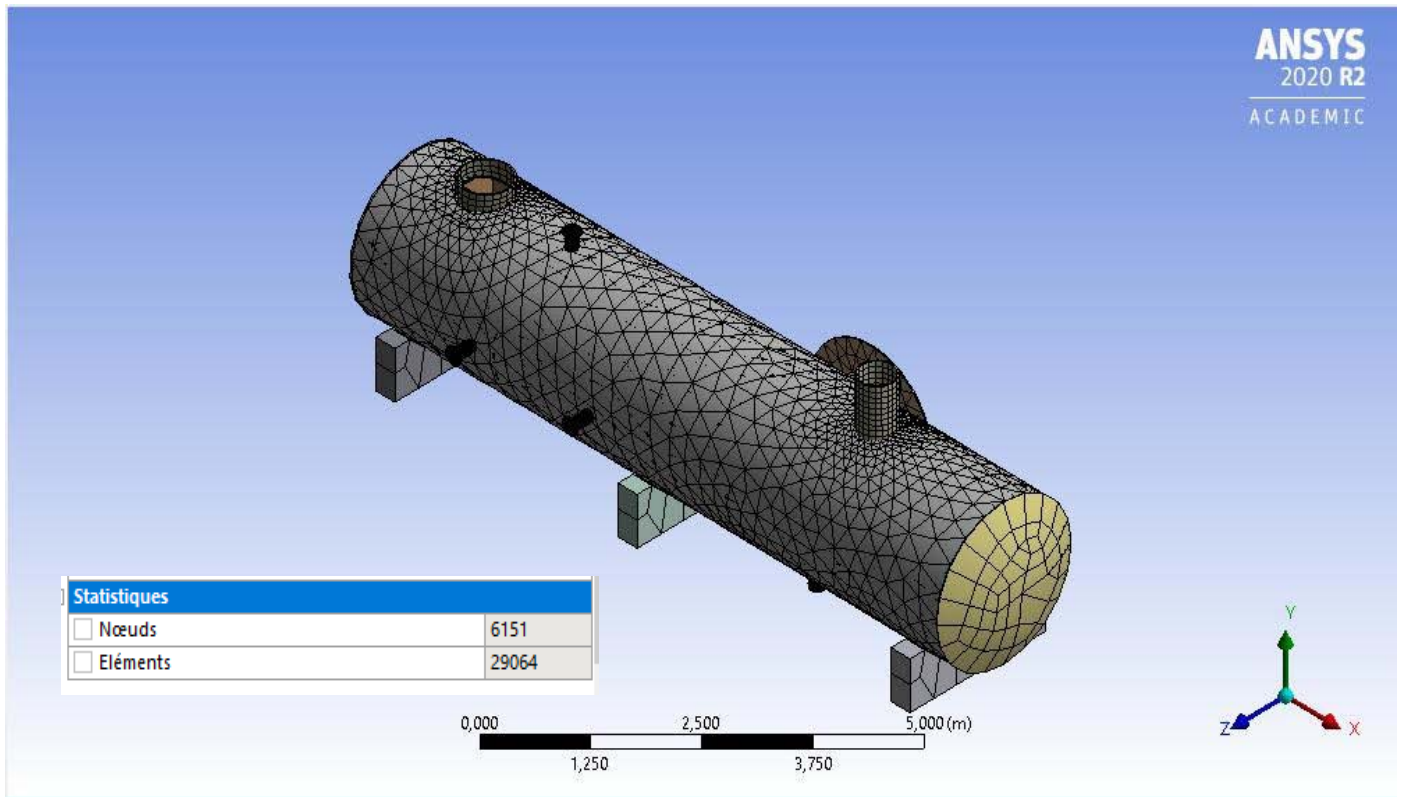


Fig. . V.3: Géométrie d'un séparateur 'V-200 MP'

### V. 2. 3. Le maillage

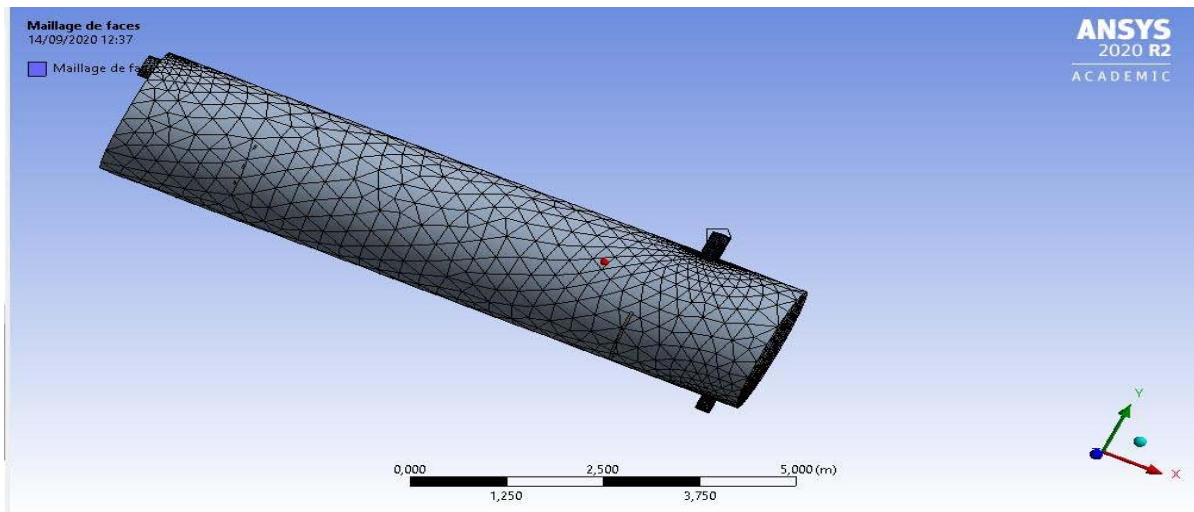
Pour des maillages structurés, on peut faire la liaison entre la géométrie et le maillage, Aussi, avant de réaliser le maillage, il faut spécifier par écrit d'une part la géométrie adoptée pour définir la zone à mailler, d'autre part les numéros des mailles correspondant aux points caractéristiques de la géométrie. Un nœud pourra alors être repéré par ces coordonnées physiques x et y ou indices I et J.

Le maillage subdivise le domaine physique en petites cellules qui est en relation entre eux. Chaque cellule est défini par un nœud qui stocke les paramètres des inconnues en fonction des conditions aux limites



**Fig. V.4: Maillage d'un séparateur**

Le logiciel CFD utilisé dans ce projet est ANSYS Fluent. Le logiciel se concentrera sur la simulation du mouvement du fluide et du processus de séparation dans le séparateur et sa sortie.

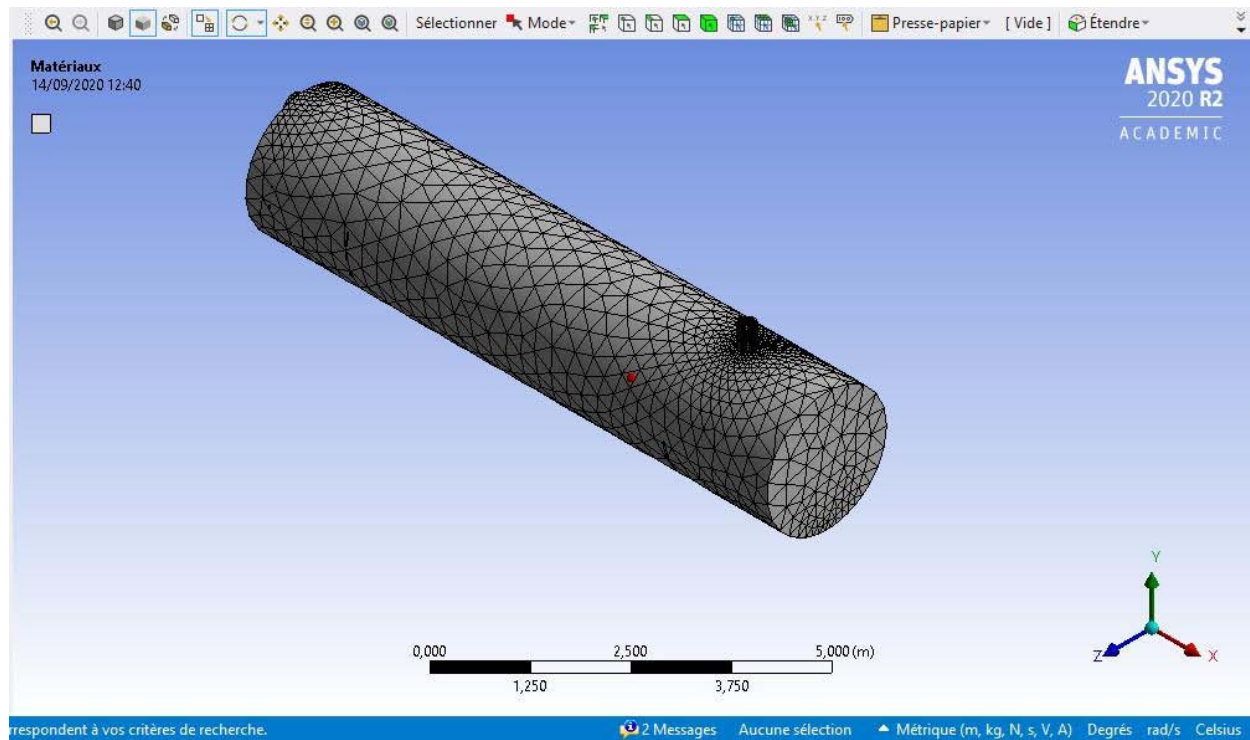


**Fig. V.5 : Maillage réalisé à l'aide du deuxième modèle ANSYS Design Modeler**

Le premier maillage est le maillage du second modèle ANSYS Design Modeler utilisant la méthode automatique. Ce modèle s'est avéré erroné à bien des égards. Principalement en raison de sa géométrie ne couvre que l'extérieur ou la peau du modèle. Le côté intérieur du modèle est creux.

Le deuxième modèle d'Auto CAD s'est révélé meilleur, car il s'emboîtait magnifiquement en utilisant la « méthode automatique ». Néanmoins, les valeurs de maillage sont encore grossières; avec 28980 nœuds et 6134 éléments. Ce modèle de maillage est utilisé pour exécuter la simulation préliminaire.

Le modèle final d'Auto CAD s'est avéré être le bon modèle, car il s'est magnifiquement agencé en utilisant la méthode « Patch Independent » avec d'autres ajustements effectués en ajustant sa méthode de « automatique » à « tétraèdres » et son algorithme de « patch conformant » à « patch indépendant ». Les valeurs de maillage sont très fines avec 285647 nœuds, 184567 éléments. Devenant ainsi le meilleur maillage produit pour ce projet. Une amélioration supplémentaire du maillage est effectuée et jugée non pertinente en raison du temps nécessaire pour le maillage et l'exécution des calculs.



**Fig. V.6 : Maillage réalisé à l'aide du modèle Auto CAD final**

#### V. 2. 4. Le solveur Fluent

Le code de calcul Fluent est commercialisé par le groupe FLUENT. Ce groupe est actuellement l'un des pôles de compétence en mécanique des fluides numérique les plus importants. Il développe et commercialise une solution complète sous forme de logiciels de CFD (Computational Fluid Dynamics) généralistes qui simulent tous les écoulements fluides, compressibles ou incompressibles, impliquant des phénomènes physiques complexes tels que la turbulence, le transfert thermique, les réactions chimiques, les écoulements multiphasiques pour toute l'industrie. Les produits et services proposés par le groupe FLUENT aident les ingénieurs à développer leurs produits, à optimiser leur conception et à réduire leurs risques.

ANSYS Fluent utilise la méthode des volumes finis pour la discrétisation de la géométrie en petit volumes élémentaires (quadrilatère, triangulaire, ou les deux). L'ensemble d'équation de Navier Stokes se transforme en systèmes algébrique que le code de calcul applique pour chacune cellule. Cette étape est importante pour faire la simulation.<sup>2</sup>

Fluent cherche les résidus du calcul correspond au l'instabilité de l'addition des cellules pour juger la convergence des calculs. Une fois le résultat est diverge la simulation s'arrête.

<sup>2</sup> Ali Pourahmadi Laleh and William Y. Svrcek, University of Calgary, and Wayne D. Monnery, Chem-Pet Process Tech Limited Computational Fluid Dynamics-Based Study of an Oilfield Separator— Part I: A Realistic Simulation



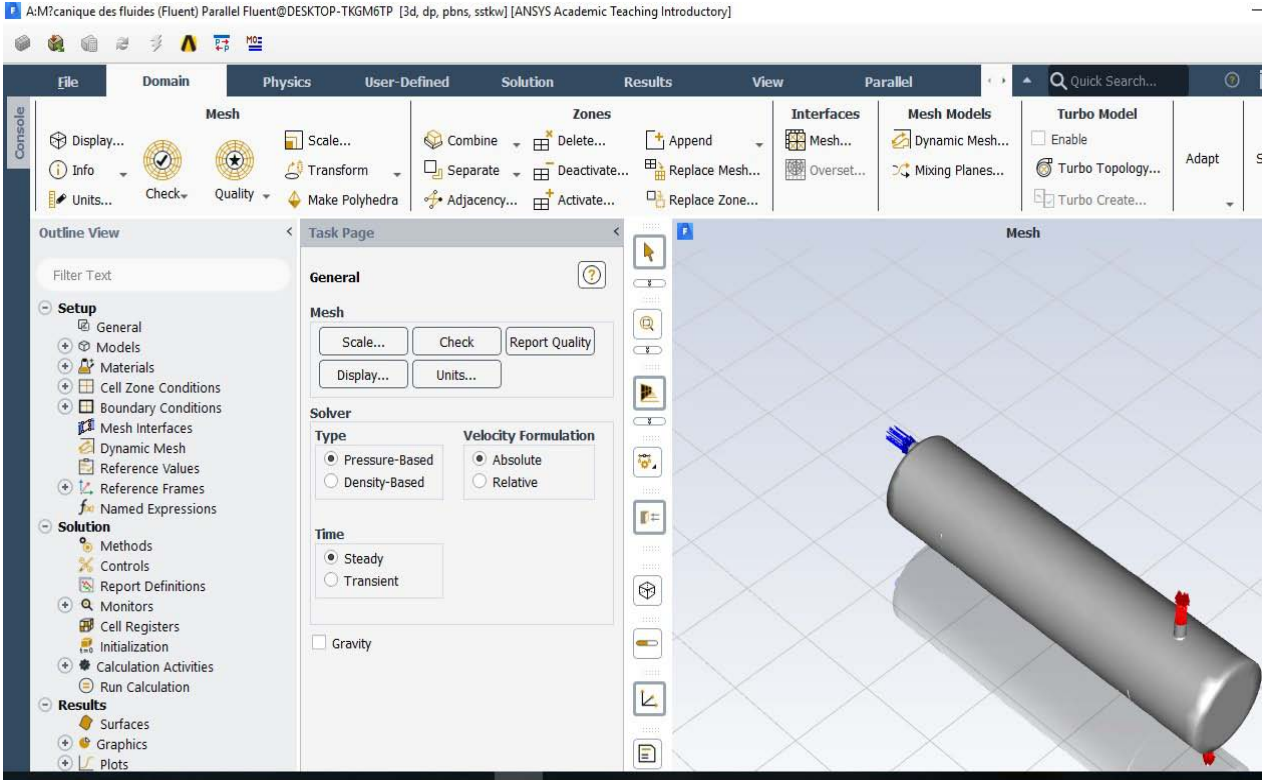


Fig. V.7: Interface de solveur fluent

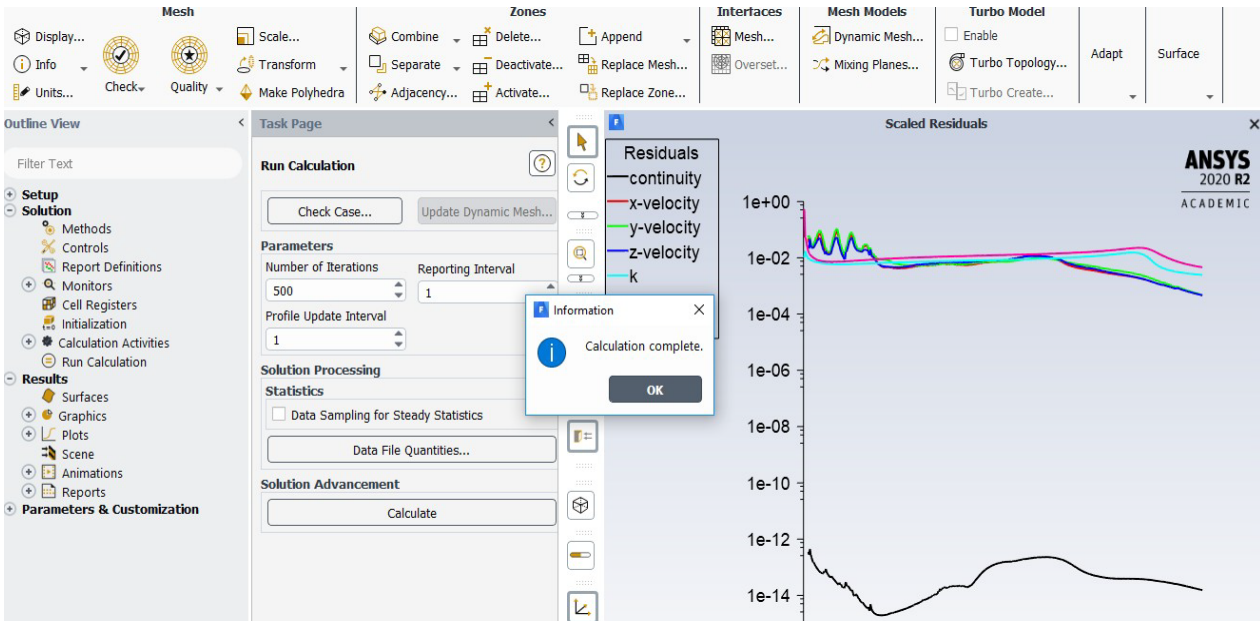


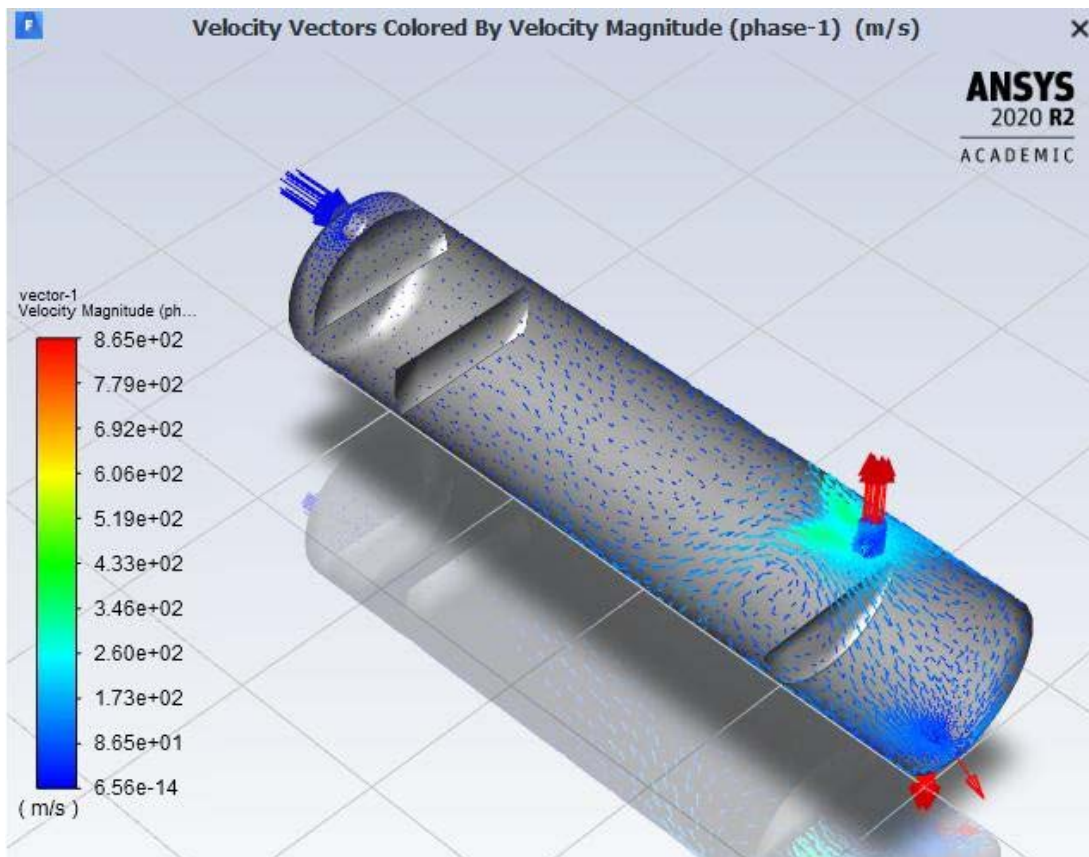
Fig. V.8: Fluent calcul des résidus

## V. 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

### V. 3. 1. Résultats préliminaires de la simulation

Les résultats préliminaires de la simulation sont présentés sous forme de graphiques, de contours, de vecteurs, etc.

Le résultat le plus attendu serait le profil vectoriel et est comme indiqué ci-dessous :

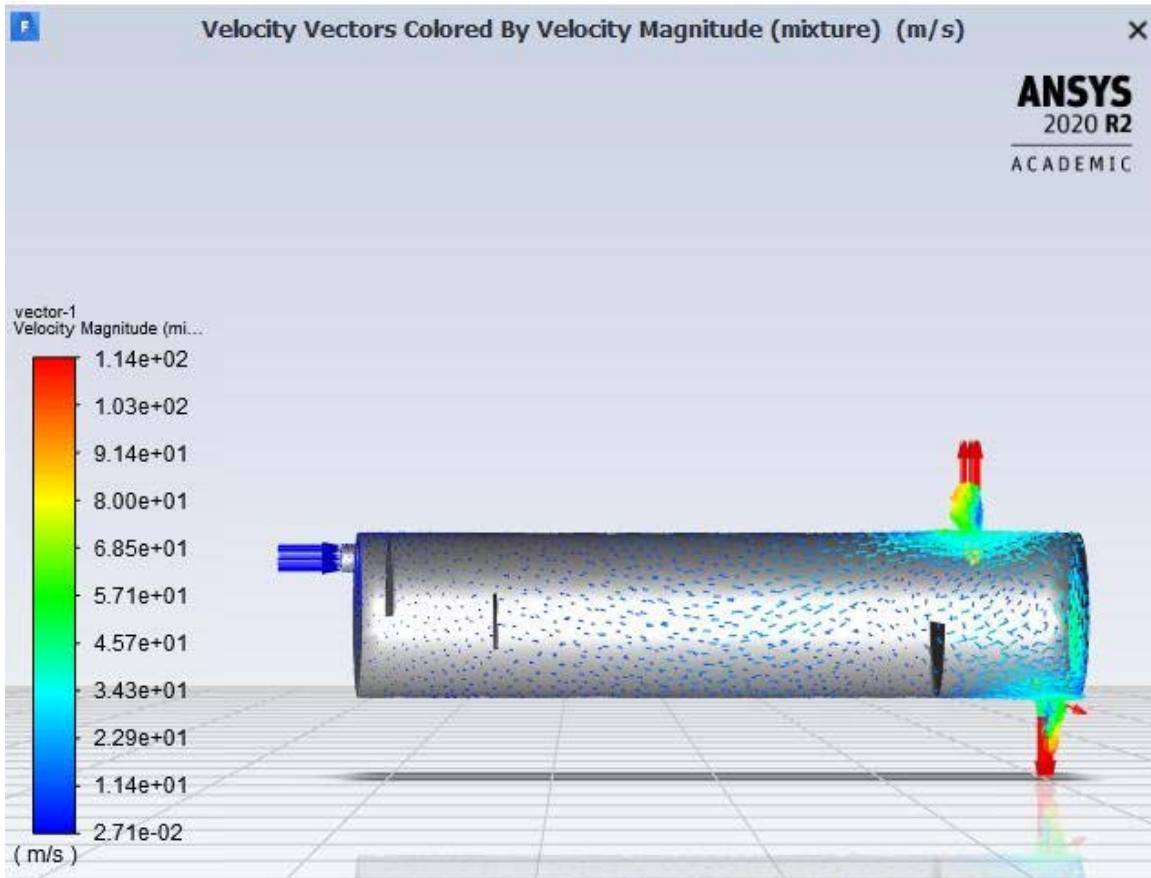


**Fig. V.9 : Vecteur de vitesse de la simulation préliminaire**

En raison du fait que le liquide et le gaz sont compris par le logiciel comme un seul fluide, ces fluides n'ont aucune différence de caractéristiques individuelles. Dans la Fig. ci-dessus, on voit que le mélange entrant n'a aucune caractéristique démontrée comme étant liquide ou gazeuse, mais plus probablement comme un mélange. Plus d'ajustements sont effectués, ce qui aboutit finalement à un meilleur résultat dans d'autres simulations.

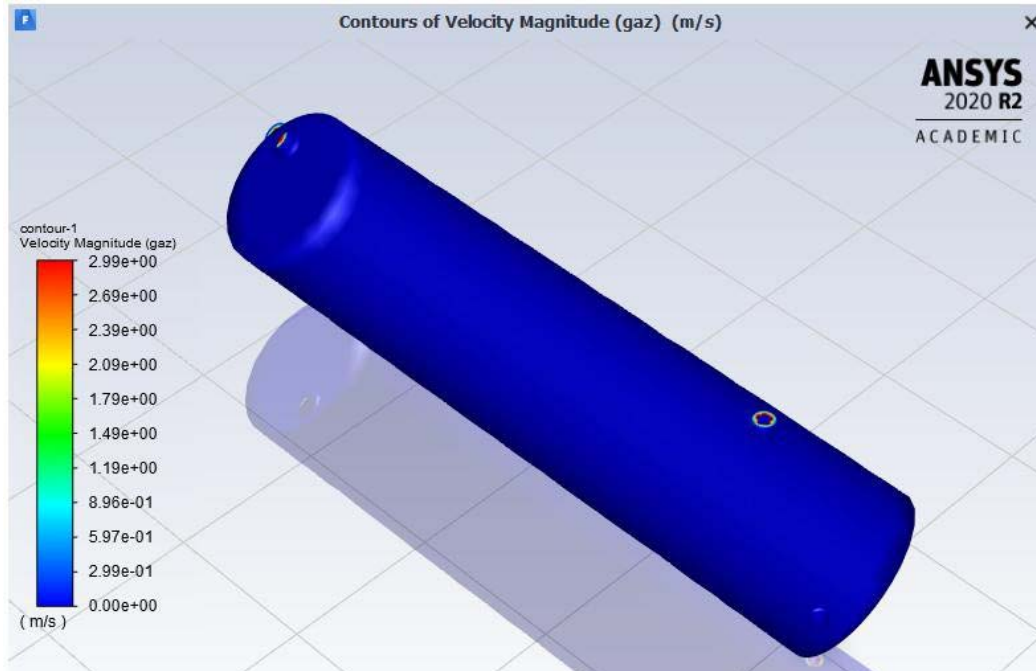
## V.2 Résultats de la simulation secondaire

Le meilleur résultat de la simulation secondaire est présenté dans les courbes de vitesse, les lignes de courants et les vecteurs des phases gazeuse et liquide, comme indiqué ci-dessous.



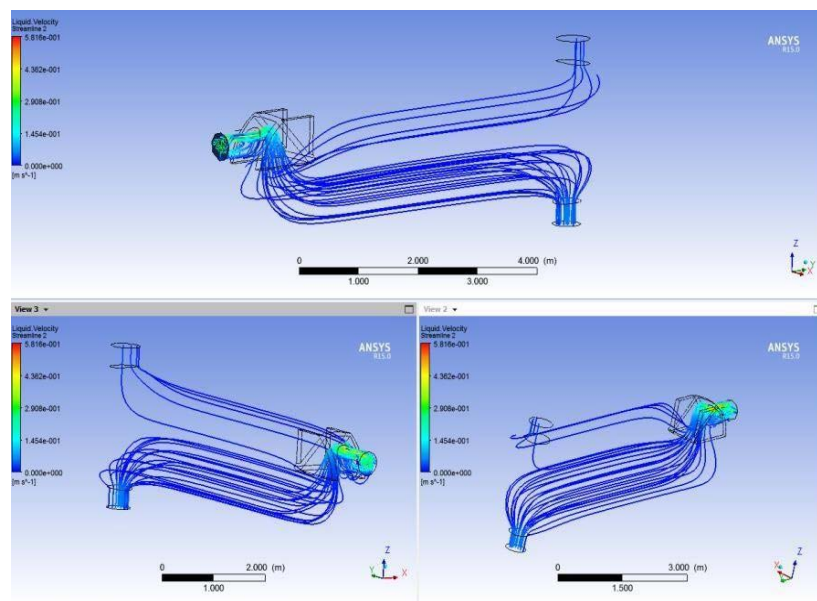
**Fig. V.10 : Contour de la vitesse fuel**





**Fig. V.11 : Rationalisation de la vitesse du gaz**

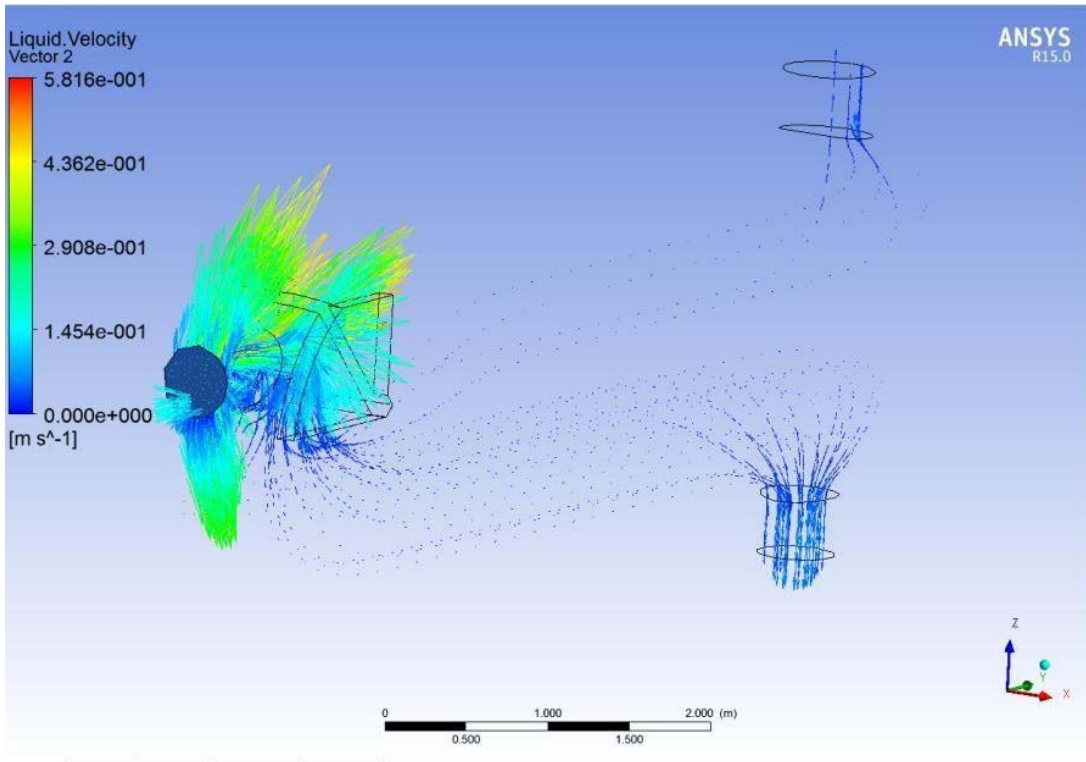
La rationalisation du gaz montre une bonne séparation. Malgré cela, on peut voir que de nombreuses particules de gaz sont sorties par la sortie de liquide qui n'est pas tout à fait juste. Il ne devrait y avoir que des traces de gaz qui s'écoulent par la sortie de liquide, alors que la majeure partie du gaz s'écoule par la sortie de gaz.



**Fig. V.12 : Rationalisation de la vitesse du liquide**

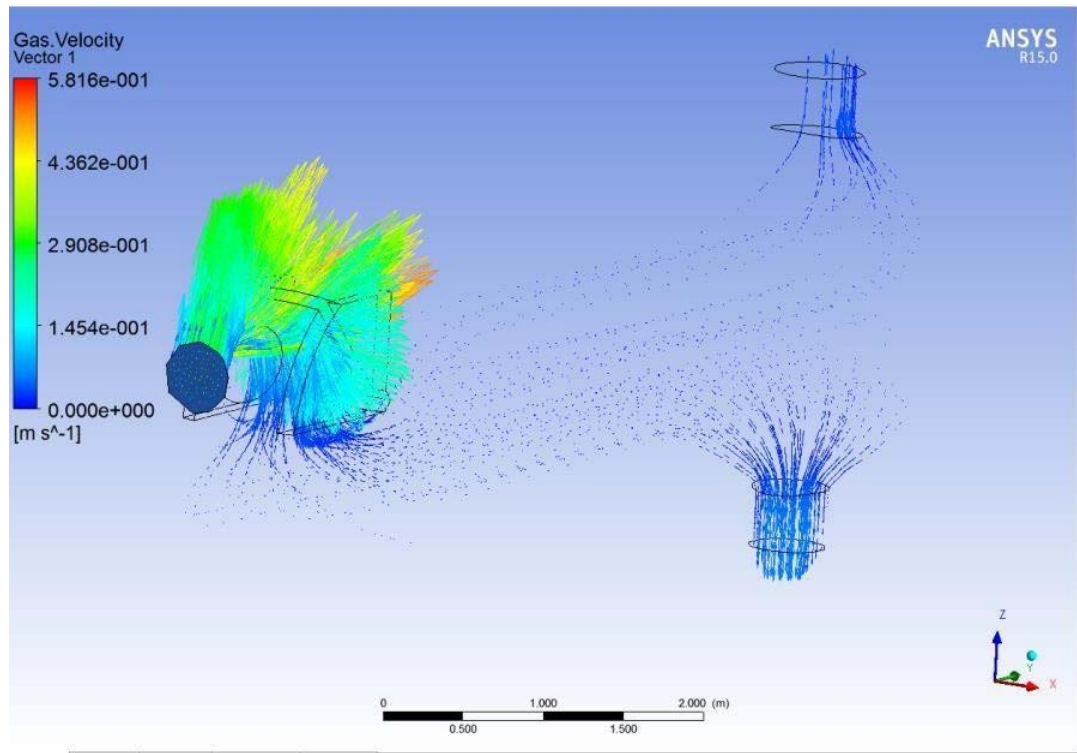
Cela a également été observé dans la vitesse du liquide rationaliser, mais dans un sens qui est néanmoins correcte. La majeure partie du liquide sort à la sortie du liquide et seulement quelques

particules sortent à la sortie du gaz. Cette constatation améliore en fin de compte la compréhension de la simulation multiphasique.



**Fig. V13 : Vecteur de vitesse du gaz**

Les vecteurs de vitesse des gaz et des liquides montrent également des résultats similaires à la rationalisation. Cependant, on constate que la plupart des particules perdent leur vitesse avant d'atteindre leurs sorties correspondantes. Ceci est considéré comme inexact et, par conséquent, a opté pour une autre simulation à effectuer

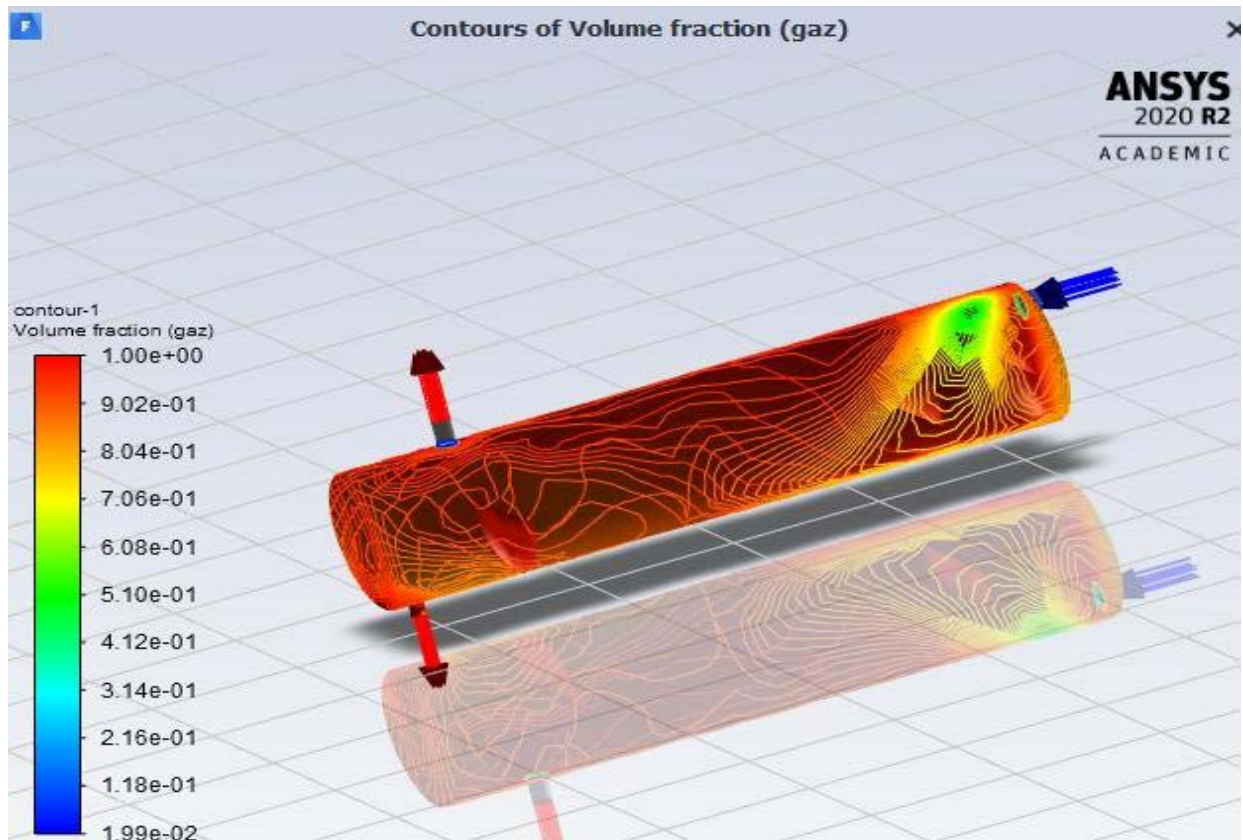


**Fig. V.14 : Vecteur de vitesse du liquide**

### V. 3 .3. Résultats finaux de la simulation

Le meilleur résultat de la simulation finale est présenté dans les courbes de volume fraction, les lignes de flux et les vecteurs des phases gazeuse et liquide, comme indiqué ci-dessous.

Ici, il est clairement vu que la vitesse du gaz est comme ce qui a été mis en place dans la configuration, qui est de 2,9454m/s à l'entrée. On peut également voir que la vitesse élevée des gaz a créé beaucoup de turbulence dans le modèle et a également poussé le liquide patché à la partie inférieure du MPS sur le côté. Probablement en raison de la petite étape de temps, le mouvement du liquide patch ne peut pas être entièrement simulé. On a constaté que des particules de gaz sortaient des sorties aux deux extrémités, mais comme la partie inférieure du SPH est recouverte de combustible pétrole-liquide, il est entendu que la pression créée par les particules de gaz ne pousse le liquide que plus vers la sortie du liquide et aucun gaz ne pourrait passer la barrière liquide.

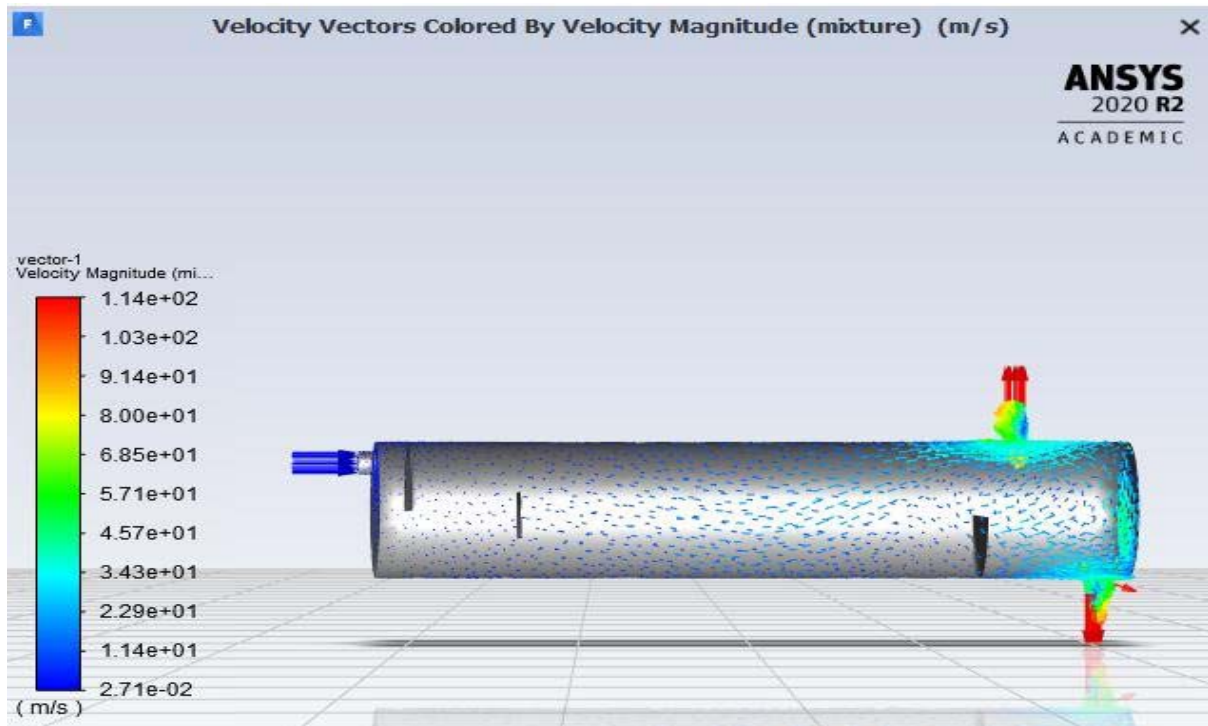


**Fig. V.15 : Contour de fractionnement**

Comme on l'a vu ci-dessus, le gaz rationalisé montre un graphique très convaincant. Les particules sont considérées comme étant dans la turbulence à l'intérieur du MPS et c'est très attendu. Sur les 100 particules libérées dans l'entrée du MPS, 8 sont sorties par la sortie de gaz et une seule s'est dirigée vers la sortie de liquide. Ce résultat est remarquable.

D'autres tracés ont été trouvés au bas de la MPS, quelque part à l'intérieur. Il est conclu que c'est là que les particules perdent leur énergie et dans ce cas, le gaz serait alors poussé par d'autres particules de gaz qui circulent à l'intérieur du MPS et en raison de sa très faible densité, il flottera vers la sortie de gaz située dans le coin supérieur droit

D'autre part, la vitesse du liquide rationalisé montre un résultat très convaincant. On peut voir que les particules s'écoulent turbulent dans le MPS et que sur les 100 particules placées à l'entrée, 9 sont allées à la sortie de gaz. Cela donne une hypothèse de 9% de particules liquides du mélange finissent par s'écouler par la sortie de gaz. Ce résultat est très attendu dès le début.



**Fig. V.16 : Rationalisation de la vitesse du liquide**

La possibilité que le pourcentage de liquide s'écoule pourrait être considérablement réduite si un groupe de palettes était présent avant la sortie du gaz. Sa conception en zigzag devrait pouvoir réduire la vitesse du liquide et ainsi l'empêcher de sortir par la sortie de gaz. Néanmoins, 9 % du liquide qui circule vers la sortie de gaz est un nombre très important à considérer, d'où la raison pour laquelle le liquide est reporté à la turbine à gaz.

Une autre préoccupation concerne la vitesse du gaz et la rationalisation des liquides. Un expert local de l'industrie suggère que le report de liquide est principalement dû à la vitesse des particules de gaz se déplaçant dans un MPS. Dans l'industrie, le mélange à l'entrée est normalement sous forme de gaz humide. Le principal constituant de ce gaz est principalement le gaz, comme dans ce projet qui a une fraction de volume de gaz de 98%. Par conséquent, lorsque le liquide est maintenu à un niveau au bas de la MPS; Comme prévu dans la simulation, il est prévu que le gaz à grande vitesse frapperait le liquide et certaines traces de liquide seront transportées avec le gaz à la sortie du gaz. Ce projet est en effet d'accord avec l'énoncé et le chiffre ci-dessus appuie la demande.

*CONCLUSION ET  
RECOMMANDATION*



## **CONCLUSION ET RECOMMANDATION**

Cette étude est considérée comme un succès. Avec le résultat du projet CFD et la vue modèle, le séparateur serait facile à comprendre et ouvert à d'autres développements ou améliorations à l'avenir. Sur la base des résultats obtenus, il est conclu que les objectifs du projet sont atteints. Le schéma de flux d'un écoulement multiphasique dans un MPS peut être simulé. Mais en raison de sa complexité, d'autres études doivent être réalisées afin de présenter des résultats plus concrets.

Le principal domaine d'intérêt de la séparation multiphasique, est de prédire l'évolution de la pression, la température, le temps et de la vitesse de la séparation dans l'ensemble du volume du séparateur. La séparation est considérée comme due à l'effet gravitationnel sur le liquide et à la très faible densité de gaz.

Le cas du report de liquide est considéré comme un obstacle majeur dans la MPS. Ce projet est tout à fait d'accord avec cet énoncé. Mais en raison de l'absence du pack de palettes, le résultat ne serait pas aussi précis que prévu. Une simulation plus poussée avec un plus grand nombre d'éléments de maillages serait recommandée pour améliorer les résultats, mais avec cela, plus de temps sera nécessaire car le matériel informatique joue un rôle vital.

La conception du déflecteur pourrait également être révisée de manière à être déviée vers le haut du MPS. Ceci afin que le gaz ne soit pas en contact direct avec le liquide au fond du MPS. Cela pourrait en effet réduire l'impact du report du pétrole brut par le gaz. D'autres études seraient suggérées pour cette méthode. Un déversoir pourrait également jouer un rôle essentiel dans la prévention des éclaboussures de liquide dans la MPS. Ces théories doivent d'abord être simulées avant que tout changement puisse être introduit dans l'industrie.

La circonstance exceptionnelle que nous avons vécue cette année 'CO-VID 19' et les mesures de distanciations sociales décidées par le Gouvernement a influé directement sur notre étude en raison du manque stage pratique et des données réel qui sont nécessaire pour obtenue des résultats fiable.

# *Bibliographie*



- [1] A. J. Jaworski, G. Meng, “*On-line measurement of separation dynamics in primary gas/oil/water separators: Challenges and technical solutions*». Journal of Petroleum Science and Engineering, 2009, pp. 47-59.
- [2] N. AMAHJOUR et N. KHAMLIHI, « *Analyse CFD De L’effet De Modèle De Turbulence Sur Le Champ De Vitesse Perçu Par Une Eolienne Placée Derrière Un Obstacle Topographique* », Congrès de Mécanique, Maroc, 11-14 Avril 2017.
- [3] E. Stenmark, “*Multiphase Flow Models in ANSYS CFD Software*”, Göteborg: Chalmers University of Technology, 2013.
- [4] F. Kavousi, Y. Behjat, S. Shahhosseini, “*Optimal design of drainage channel geometry parameters in vane demister liquid-gas separators*”, Chemical Engineering Research and Design, 2013
- [5] H. I. Shaban, “*A study of foaming and carry-over problems in oil and gas separators*”. Elsevier Science Ltd., 1995.
- [6] T. HARRIBEY, « *Simulation Numérique Directe De La Turbulence En Présence D’une Paroi Ablatable* », Mémoire De Doctorat, Université de Toulouse, 2011.
- [7] H. Devold, « *ABB Oil and Gas* », 3rd. ed., Oslo, 2013.
- [8] H. Vernon Smith, MeridiCaonr PETROLEUM ENGINEERING handbook, oil and gaz separator CHAPITRE 12.
- [9] H. I. Shaban, “*A study of foaming and carry-over problems in oil and gas separators*, 1995. Great Britain: Elsevier Science Ltd.
- [10] M. J. Simmons, J. A. Wilson, B. J. Azzopardi, “*Interpretation of the flow characteristics of a primary oil-water separator from the residence time distribution* ». Trans IChemE, 2002, pp. 471-481.
- [11] R. HREIZ, « *Étude expérimentale et numérique de séparateurs gaz-liquide cylindriques de type cyclone* » Thèse de Doctorat de l’Institut National Polytechnique de Lorraine, 2011.
- [12] J.R. Thome, “*Engineering Data Book III*”, Wolverine Tube Inc., Decatur, Alabama, USA, 2004.
- [13] V. Brault, « *Senior E & I Engineering TOTAL Support de Formation: EXP- PR-EQ080-FR* », Dernière Révision 2007.