

Université Kasdi-Merbah Ouargla



Faculté des hydrocarbures, des énergies renouvelables et des sciences de la terre et de l'univers

Département de production des hydrocarbures

MEMOIRE

Pour obtenir le Diplôme du Master

Option: Production Académique

Présenté Par :

BARDI Saadia, OUBIRA Aissa

-THEME-

**Modélisation et optimisation du réseau de collecte du
champ sud de Hassi Messaoud
« cas du satellite E2A »**

Soutenue le : 03 / 07 / 2019 devant la commission d'examen

Président:	Mr. KHELIFA Cherif	Enseignant	Univ. Ouargla
Rapporteur:	Mr. CHETTI Djamel Eddine	Enseignant	Univ. Ouargla
Examineurs:	Mr. KADRI Yacine	Enseignant	Univ. Ouargla
	Mr. FENNAZI Bilel	Enseignant	Univ. Ouargla



Dédicace

J'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail :

À ma très chère mère qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais cessé de prier pour moi ainsi que pour son amour et ses conseils.

À mon très cher père, mon exemple, pour ses encouragements, son soutien, surtout pour son amour et son sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études.

À toutes mes adorables sœurs.


À toute ma famille de près et de loin.

Aussi, je dédie ce travail à tous mes chères amies

À Latifa, Iman, Zahra et Sabrina.

Sans oublier tous mes collègues de la promo HC 2014,

BARDI SAADIA



جاء اليوم المشهود بعد موجات رياح و أعاصير
كبر النسر الصغير تحت ضل جناح والده العظيم
لقد رسم حلم الطفولة على لوح هزيل
ضحك الإخوة من التخطيط و لكن كانت لديه أم تعشق التحفيز،
حتى هو نفسه بهر من رسمه البسيط بعد التلوين
النسر اليوم جاهز للتخليق

إلى أسرتي..أخي و أخواتي
إلى كل عائلة اوبيرة
إلى أبناء العم
إلى أصدقاء الطفولة
و رفقاء الدرب أصدقائي من اليمن، فلسطين و موريتانيا.
إلى كل الأساتذة الكرام

أوبيرة عيسى

Remerciements

Tout d'abord, on remercie notre Dieu de nous avoir donné le courage pour réaliser ce modeste travail.

Tous nos remerciements à notre promoteur M^r:CHETTI Djamel qui nous a guidés à réaliser ce mémoire.

On tient également à remercier notre Co-encadreur M^{rs}: BOUSSANDEL, sans oublier Mrs : LEMIZE, SAKHRI,... et tout le personnel du Département Réseaux & Process (DP/SONATRACH Hassi Messaoud).

Sans oublier de remercier tous les enseignants du département production qui ont contribué de près ou de loin à notre formation durant tout le cursus universitaire.

Dédicace	I
Remerciements	II
Sommaire	III
Nomenclature	IV
Liste des figures	V
Liste des tableaux	VI
Résumé	VII
Introduction générale	01
Chapitre I: Généralité sur le champ de Hassi Messaoud	
I.1. Introduction	03
I.2. Situation du champ de Hassi Messaoud	03
I.2.1. Situation géographique	03
I.2.2. Cadre géologique	04
I.3. Zone et numérotation des puits	06
I.4. Caractéristiques pétro-physiques du réservoir Cambrien	07
I.5. Caractéristiques des fluides	08
I.5.1. Les caractéristiques des huiles	08
I.5.2. Les caractéristiques du gaz associé.	08
I.6. Description du réservoir	08
Chapitre II : Le réseau de collecte du champ de Hassi Messaoud	
II.1. Introduction	10
II.2. Définition du réseau de collecte	10
II.3. Classification des conduites	10
II.3.1. Selon leurs destinations	10
II.3.2. Selon leurs pressions de service	10
II.3.3. Selon le type de mouvement hydraulique	10
II.4. Plans de réseau de collecte	10
II.4.1. Liaison individuelle	11
II.4.2. Liaison par collecteur	11
II.4.3. Collectes enterrées et aériennes	12
II.4.4. Autres types de liaison	13
II .4.5 Les accessoires des collectes	13
II.5. Description du réseau de collecte du champ de Hassi Messaoud	16
II.5.1. Le réseau de collecte Nord	17
II.5.2. Le réseau de collecte Sud	17
II.6. La station satellite E2A	18
II.6.1. C'est quoi une station satellite	18
II.6.2. Opportunité des satellites	18
II.6.3. Description du satellite E2A	18
II.6.4. Schéma de principe du satellite E2A	19
II.7. Ecoulement multiphasique	19
II.7.1. Définition de l'écoulement multiphasique	19
II.7.2. Régimes d'écoulement multiphasique	20
II.8. Variation de la pression le long d'une conduite	22
II.9. Les pertes des charges dans les conduites horizontales	24

II.10. Liquid HOLD UP	25
Chapitre III : Modélisation du réseau de collecte E2A	
III.1.Introduction	27
III.2. Procédure de modélisation	27
III.3. Modélisation du réseau de collecte E2A	27
III.3.1. PFD du réseau des collecteur E2A	28
III.3.2. Données des tests de puits du satellite E2A	29
III.3.3. Propriété de fluide du satellite E2A	29
III.3.4. Données relatives aux collecteurs	30
III.3.4. Construction du modèle Pipesim	32
III.3.5. Calibration du modèle Pipesim	32
III.4. Résultats de la modélisation	35
III.4.1. Vitesses d'écoulement dans le réseau de collecte E2A	36
III.4.2. gradients de pression dans le réseau de collecte E2A	37
III.5. Conclusion	37
Chapitre IV : Optimisation du réseau de collecte du satellite E2A	
IV.1. Introduction	43
IV.2. Procédure de l'optimisation du réseau de collecte	43
IV.3. Optimisation du réseau de collecte E2A	43
IV.3.1. Optimisation des collecteurs E2A	43
IV.4. Optimisation des lignes de collecte E2A	47
IV.4.1. Optimisation de ligne de collecte 1	48
IV.4.2. Optimisation de ligne de collecte 2	49
IV.4.3. Optimisation de ligne de collecte 3	50
IV.4.4. Optimisation de ligne de collecte 4	51
IV.4.5. Optimisation de ligne de collecte 5	52
IV.4.6. Optimisation de ligne de collecte 6	54
IV.4.7. Optimisation de ligne de collecte 7	55
IV.5. Résultats de l'optimisation du réseau de collecte E2A	56
IV.5.1. Vitesses moyennes avant et après optimisation	56
IV.5. 2. Gradients de pression avant et après optimisation	56
IV.6. Conclusion	57
Conclusion générale	59
Références bibliographiques	61
Annexe A	i
Annexe B	ii

Nomenclature

Nomenclature

HMD:	Hassi Messaoud
UTBS :	unité de traitement de brute stabilisé en sud HMD
CINA :	Centre Industrielle Naili Abdelhalim Nord HMD
Z CINA :	Nouveau Centre Industrielle Naili Abdelhalim Nord HMD
CIS :	Centre Industriel Sud
GOR :	Rapport de gaz sur l'huile
Q :	Débit de production
WC :	Fraction de l'eau
$\Delta P/\Delta L$:	Gradient de pression
H_L :	holdup liquide
Q_o:	débit d'huile
Q_w:	débit d'eau
Q_g :	débit de gaz
P_p :	Pression de pipe
P_t :	Pression de tête
T_h :	Température d'huile
ρ_m:	la densité du mélange
V_m :	la vitesse du mélange
D :	diamètre du pipe
g_c :	facteur de conversion
f_m :	facteur de frottement du mélange
g :	accélération de la gravité (9,81 m/s ²)
Θ :	pente de la conduite
ψ:	facteur d'inclinaison
ϕ:	l'angle du pipe par rapport à l'horizontal
V :	La vitesse d'écoulement
ΔP :	Les pertes de charges
P_{pm} :	Pression de pipe mesurée
P_{pc} :	Pression pipe calculée
H_L :	Hold-up liquid
H_g :	Hold-up de gaz

Liste des figures

Fig. I.1.Situation géographique du champ de Hassi-Messaoud	05
Fig. 1.2.Cadre géologique du champ de Hassi-Messaoud.	07
Fig. I.3. Zone du champ de Hassi-Messaoud.	08
Fig. II.1.Schéma d'un réseau de collecte par une ligne individuelle.	13
Fig. II.2.Schéma représentant la liaison par collecteur	14
Fig. II.3.Schéma d'un manifold	17
Fig. II.4.Schéma du satellite E2A	20
Fig. II.5.schéma d'un écoulement en bulle	21
Fig. II.6.schéma d'un écoulement avec bouchant	21
Fig. II.7.schéma d'un écoulement stratifié	22
Fig. II.6.schéma d'un écoulement avec bouchant	22
Fig. II.8.schéma d'un écoulement avec vagues	22
Fig. II.9.schéma d'un écoulement avec vagues moutonnantes	22
Fig. II.10.schéma d'un écoulement annulaire	22
Fig. II.11.schéma d'un écoulement brouillard	23
Fig. II.12.Schéma de problème de liquide Hold Up	27
Fig.III.1.Schéma du réseau des collecteurs E2A	31
Fig.III.2.Profil du pipeline	33
Fig.III.3.Profile de collecteur MFD E1A'— MFD E1A''	34
Fig.III.4.Schéma du modèle Pipesim du satellite E2A	35
Fig.III.5. Illustration des erreurs relatives de chaque puits	37
Fig.III.6.Algorithme de modélisation	38
Fig.III.7.Gradient de pression dans le collecteur 6	40
Fig.III.8.Gradient de pression dans le collecteur 9	41
Fig.III.9.Gradient de pression dans le collecteur 10	41
Fig.III.10.Gradient de pression dans le collecteur 11	41
Fig.III.8. Gradient de pression dans la ligne MD122	42
Fig.III.9. Gradient de pression dans la ligne MD215	42
Fig.III.10. Gradient de pression dans la ligne MDZ703	43
Fig.III.11.Gradient de pression dans la ligne JCT 2→ JCT18	43
Fig.III.12. Gradient de pression dans la ligne JCT17→ JCT18	44
Fig.III.13. Gradient de pression dans la ligne MDZ548	44
Fig.III.14. Gradient de pression dans la ligne JCT4 → J20	44

Liste des figures

Fig. IV.1. Evolution des vitesses dans les collecteurs (10-11) en fonction du diamètre du nouveau collecteur à poser	47
Fig. IV.2. Evolution du gradient de pression dans le collecteur 10 en fonction du diamètre du nouveau collecteur	48
Fig. IV.3. Evolution du gradient de pression dans le collecteur 11 en fonction du diamètre du nouveau collecteur	48
Fig. IV.4. Evolution des vitesses dans les collecteurs (1-4) en fonction du diamètre du nouveau collecteur à poser	49
Fig. IV.5. Evolution du gradient de pression dans le collecteur 1 en fonction du diamètre du nouveau collecteur	49
Fig. IV.6. Evolution du gradient de pression dans le collecteur 4 en fonction du diamètre du nouveau collecteur	50
Fig. IV.7. Evolution de la vitesse en fonction du diamètre de la ligne de collecte 1.	51
Fig. IV.8. Evolution de la pression en fonction du diamètre de la ligne de collecte 1.	51
Fig. IV.9. Evolution de la vitesse en fonction du diamètre de la ligne de collecte 2.	52
Fig. IV.10. Evolution de la pression en fonction du diamètre de la ligne de collecte 2.	52
Fig. IV.11. Evolution de la vitesse en fonction du diamètre de la ligne de collecte 3.	53
Fig. IV.12. Evolution de la pression en fonction du diamètre de la ligne de collecte 3.	53
Fig. IV.13. Evolution de la vitesse en fonction du diamètre de la ligne de collecte 4.	54
Fig. IV.14. Evolution de la pression en fonction du diamètre de la ligne de collecte 4.	54
Fig. IV.15. Evolution de la vitesse en fonction du diamètre de la ligne de collecte 5.	55
Fig. IV.16. Evolution de la pression en fonction du diamètre de la ligne de collecte 5.	55
Fig. IV.17. Evolution de la vitesse en fonction du diamètre de la ligne de collecte 6.	56
Fig. IV.18. Evolution de la pression en fonction du diamètre de la ligne de collecte 6.	56
Fig. IV.19. Evolution de la vitesse en fonction du diamètre de la ligne de collecte 7.	57
Fig. IV.20. Evolution de la pression en fonction du diamètre de la ligne de collecte 7.	57

Liste des tableaux

Tab. I.1. Les caractéristiques pétrophysiques moyennes du réservoir cambrien	08
Tab. II.1. Pourcentage des termes des pertes de charge dans le réseau	24
Tab. II.2. Les valeurs (a, b et c) pour chaque régime d'écoulement	26
Tab. II.3. Les valeurs (d, e, f et g) pour chaque régime d'écoulement	27
Tab. III.1. Données des derniers tests (Jaugeage) des puits du satellite E2A.	32
Tab. III.2. Situation des collecteurs de satellite E2A	33
Tab. III.3. Choix de la corrélation (Exemple du puits MD122)	36
Tab. III.4. Résultats de la calibration du modèle PIPESIM	36
Tab. III.4. Vitesse d'écoulement dans les collecteurs du satellite E2A	39
Tab. III.5. Vitesse d'écoulement dans les pipes du satellite E2A	39
Tab. III.6. Gradient de pression dans les collecteurs du satellite E2A	40
Tab. III.7. Gradient de pression dans les lignes du satellite E2A	41
Tb. IV.1. Récapitulation des collecteurs sous dimensionnés	47
Tab. IV.2. Récapitulation des lignes de collecte sous dimensionnés	50
Tab. IV.3. Comparaison des vitesses des collecteurs avant et après l'optimisation	58
Tab. IV.4. Comparaison des vitesses des lignes de collecte avant et après l'optimisation	58
Tab. IV.5. Comparaison des gradients des pressions des collecteurs avant et après l'optimisation	59
Tab. IV.6. Comparaison des gradients des pressions des lignes de collecte avant et après l'optimisation	59

ملخص

هذا العمل يعتمد على دراسة شبكة التجميع لمحطة E2A بالحقول الجنوبي لحاسي مسعود بهدف تحليل و معاينة الوضع الحالي لخطوط التجميع و المجمعات اعتمادا على توصيات سونطراك و اقتراح حلول عقب ذلك على أساس النتائج المحصل عليها . المحاكاة ببرنامج PIPESIM . اعطت نتائج مطابقة للمواصفات المرغوبة.

الكلمات المفتاحية : برنامج PIPESIM ;التحليل ;لتحجيم ;التحسين. النمذجة و حقل التجميع.

Abstract

This work consist in studying the collecting network of the satellite E2A (South field of Hassi Messaoud), in order to analyze the actual state of the collectors and the lines of collect in terms of sizing as for the recommendations in effect of SONATRACH, and suggest afterward solutions according to the obtund results. The modeling by PIPESIM had gave identical results. The results of the optimization starting from the PIPESIM'S software have been concluant.

Key words: PIPESIM's software, sizing, modeling, optimization, collecting network.

Résumé

Ce travail consiste à étudier le réseau de collecte du satellite E2A (champ sud de Hassi Messaoud), afin d'analyser l'état actuel des lignes de collectes et les collecteurs en terme de dimensionnement par rapport aux recommandations en vigueur de la SONATRACH, et proposer par la suite des solutions en fonction des résultats obtenus. Avec le code PIPESIM un modèle du réseau actuel a été établi avec une grande précision. Les résultats de l'optimisation à partir du code informatique ont été concluant et conforme au cahier des charges.

Mots clés : Code PIPESIM, dimensionnement, optimisation, réseau de collecte.

Introduction générale

La perte de production due aux fuites des pipelines transportant les hydrocarbures reste considérable, notamment au niveau des anciens champs pétroliers ou gazier tel que Hassi Messaoud. Généralement, ces fuites sont le résultat direct d'un mauvais dimensionnement des pipelines par rapport aux débits de production actuels car plusieurs lignes de collecte et collecteurs ont été dimensionnés il y a plusieurs années. Avec le déclin du champ ainsi que le raccordement de nouveaux puits ces lignes deviennent sous-dimensionnées ou surdimensionnées selon le cas.

Un pipeline sous-dimensionné est caractérisé par une vitesse d'écoulement très élevée, ce qui se traduit par un enlèvement progressif de la matière (érosion) de la paroi intérieure conduisant à des fuites. Inversement, un pipeline surdimensionné est caractérisé par une vitesse d'écoulement très faible permettant la déposition des molécules corrosives lourdes dans les zones les plus basses du pipeline, ce qui se provoque une réaction chimique entre la paroi intérieure du pipeline et les particules corrosives déposées (corrosion du pipeline) conduisant aussi aux fuites.

L'objectif principale de cette étude est dans un premier lieu de localiser les lignes de collectes ainsi que les collecteurs sous-dimensionnés ou surdimensionnés à partir d'une modélisation du réseau de collecte actuel du satellite E2A et faire une optimisation (en faisant des sensibilités sur les diamètres des pipelines) en se basant sur les recommandations de SONATRACH. Le code PIPESIM version 2017.2 est utilisé pour la réalisation de ce travail.

Pour éviter ces deux problèmes nuisibles à la production, tout le réseau de collecte doit satisfaire les recommandations (notamment la vitesse d'écoulement) de SONATRACH relatives aux dimensionnements des pipelines destinés à acheminer un effluent multiphasique. On doit mentionner que les critères de SONATRACH sont comparables avec ceux recommandés par l'institut American du pétrole dans la section 14 (API 14 E).

Ce mémoire est organisé en six parties. La géographie et la géologie du champ de Hassi Messaoud sont présentés au premier chapitre. Le réseau de collecte actuel du champ du HMD est détaillé au deuxième chapitre. Puis un troisième et quatrième chapitre sur la modélisation et l'optimisation du réseau de collecte du satellite E2A respectivement où nous présentons les résultats de la modélisation et de l'optimisation du réseau. Nous terminons l'étude par une conclusion générale et des recommandations.

Chapitre



I

Généralités sur le champ de HMD

I.1.Introduction :

Le gisement de Hassi Messaoud est l'un des plus grands gisements au monde. Durant l'histoire géologique, ce gisement a subi une évolution tectonique intense lors de son enfouissement jusqu'à ce que le gisement a pris la forme actuelle. Ces événements peuvent améliorer les paramètres pétrophysiques (fracturation naturelle, la dissolution etc.....) comme ils peuvent les réduire. [4]

I.2.Situation du champ de Hassi Messaoud :***I.2.1.Situation géographique :***

Le champ de Hassi Messaoud se situe au Nord-Est du Sahara Algérien, à 850Km au Sud-est d'Alger et 350Km de la frontière Algéro-Tunisienne et en bordure du grand Erg oriental. Les dimensions du champ atteignent 2500 Km², il est limité au Nord par Touggourt et au Sud par Gassi-Touil, et à l'Ouest par Ouargla. [4]

Son repérage en coordonnées géographiques est le suivant :

- Au nord par la latitude 32°15
- Au sud par la latitude 31°30
- A l'ouest par la longitude 5°40
- A l'est par la longitude 6°35

En coordonnées Lambert :

- X= 790.000 à 840.000 Est.
- Y= 110.000 à 150.000 Nord.



Fig I.1. Situation géographique du champ de Hassi-Messaoud

1.2.2. Cadre géologique :

Le champ de Hassi Messaoud occupe la partie centrale de la province triasique. De par sa superficie et ses réserves, il est le plus grand gisement de pétrole d'Algérie (**fig 2**). Par rapport aux autres gisements, le champ de Hassi Messaoud est limité:

- ✓ au Nord-Ouest par les gisements de Ouargla (Guellela, Ben Kahla et Haoud Berkaoui),
- ✓ au Sud-Ouest par les gisements d'El Gassi, Zotti et El Agreb,

- ✓ au Sud-Est par les gisements Rhourde El Baguel et Mesdar.

Le dôme de Hassi Messaoud est le résultat d'une histoire paléotectonique assez compliquée, c'est le prolongement de la dorsale d'Amguid El Biod qui a plus de 800 km de long. Sa structure fait partie d'un ensemble de structures formant la province triasique Nord orientale. [4]

Géologiquement, il est limité :

- A l'Ouest par la dépression de Oued Mya.
- Au Sud se prolonge le môle d'Amguid El Biod.
- Au Nord par la structure Djamaa-Touggourt.
- A l'Est par les hauts fonds de Dahar, Rhoude El Baguel et la dépression de Berkine.

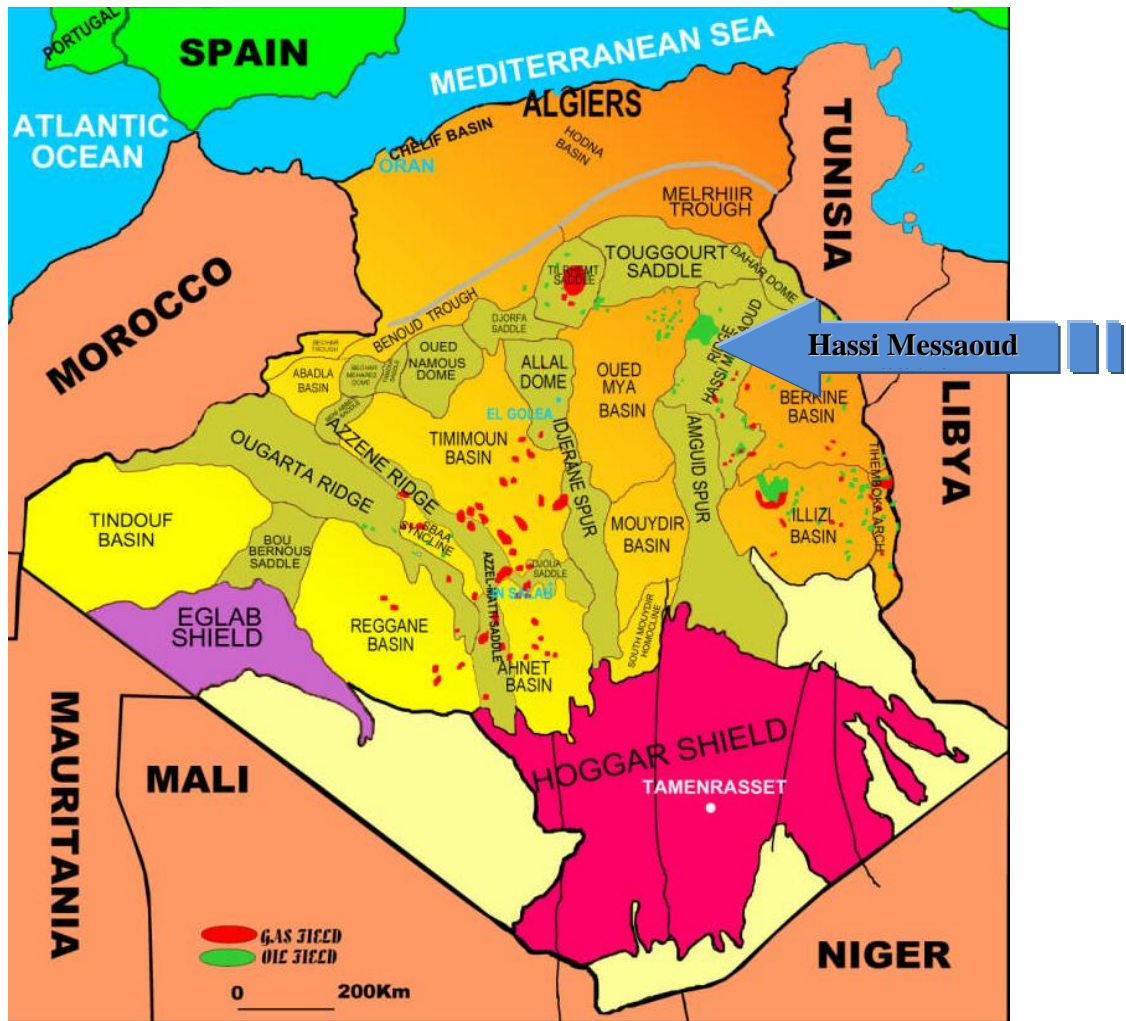


Fig 1.2. Cadre géologique du champ de Hassi-Messaoud.

I.3. Zonation et numérotation des puits:

Le champ de Hassi Messaoud est divisé en zones numérotées. Cette division est déduite naturellement des caractéristiques de la production et de la géologie.

L'évolution des pressions des puits, en fonction de la production, a permis de subdiviser le champ en 25 zones productrices. Une zone de production se définit comme un ensemble de puits qui communiquent entre eux mais pas ou peu avec ceux des zones voisines.

Il faut noter que la subdivision actuelle n'est pas satisfaisante car une même zone peut être subdivisée en sous zones.

Le champ de Hassi Messaoud est divisé d'Est en Ouest en deux parties distinctes :

Le champ Sud et le champ Nord, chacun a sa propre numérotation. (fig3).

- Le champ nord : C'est une numérotation géographique complétée par une numérotation chronologique, exemple : OMO38, ONM14.

O : Majuscule, permis d'Ouargla. m: superficie de la zone à huile: 1600 km².

o: Minuscule, superficie de la zone à huile de 100 km², 3 : Abscisse et 8 : Ordonnée.

- Le champ sud : La numérotation des zones est chronologique. Ex : MD33, MD254, MDZ703. [4]

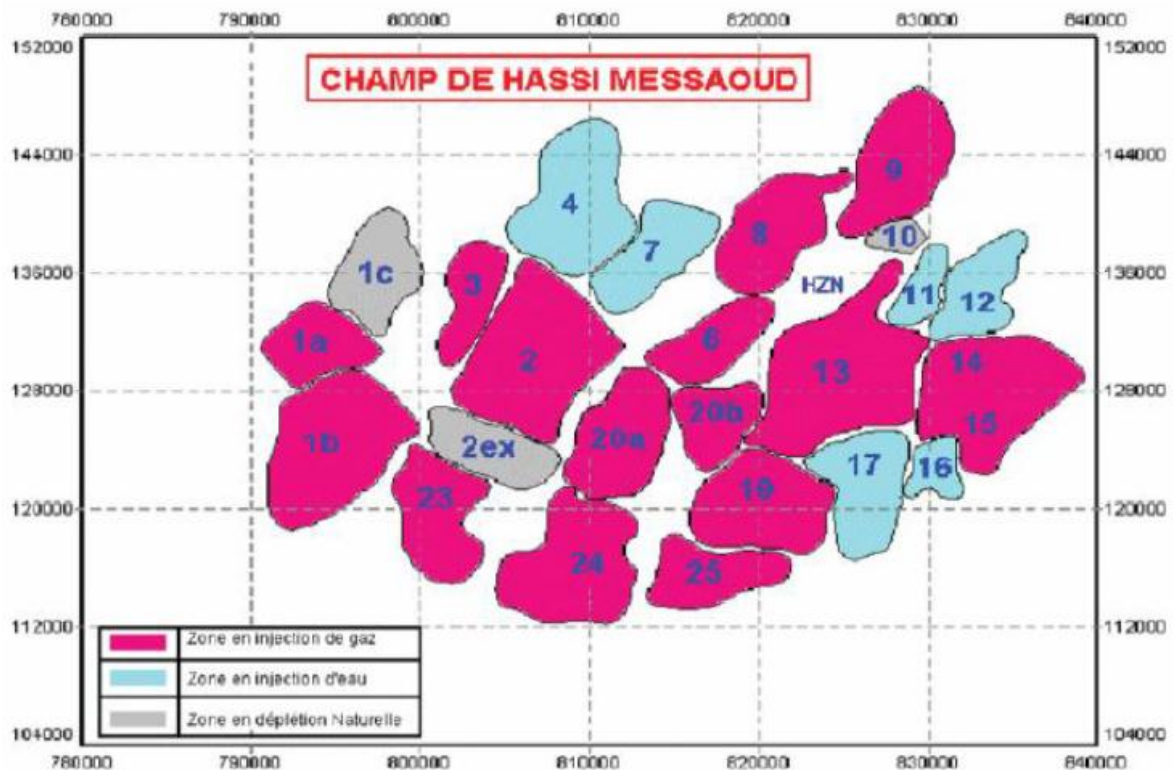


Fig I.3. Zonation du champ de Hassi-Messaoud.

1.4. Caractéristiques pétrophysiques du réservoir Cambrien:

Tab. I.1. Les caractéristiques pétrophysiques moyennes du réservoir cambrien

Réservoir	K min md	K moy md	K max md	Φmin %	Φmoy %	Φmax %	Swi %	Vsh moy %	Hu/Ht (fraction)
Ri	0.3	1	2	6	7	8	17	15	0,5-0,9
Ra	2	15	100	6	8	10	10	7	0,8-1
R2	1	2.5	7	-	10	-	17	20	0,65-0,8
R3		<1			11		17	30	0,65

I.5. Caractéristiques des fluides :

L'huile a des propriétés variables selon les régions. A l'Est le point de bulle peut atteindre 200 kg /cm² pour un rapport de dissolution de gaz Rs égal à 240 stm³ /m³, à

l'Ouest il peut descendre jusqu'à un 140 kg / cm², pour un rapport de dissolution de gaz égal à 160 m³ / m³. [4]

Ci-dessous, les caractéristiques moyennes des fluides présentées à Hassi Messaoud :

1.5.1. Les caractéristiques des huiles :

- L'huile est légère de densité 0,8 (API = 45.4).
- La pression de gisement est variable : 400 à 120 kg/cm².
- La température est de l'ordre de 118°C.
- Le GOR est de 219 m³/m³ sauf pour les puits en percée où le GOR peut atteindre 800 m³/m³ et plus (cas d'Oml 63 et Oml 633).
- La porosité en moyenne est faible : 5 à 10%.
- La perméabilité est assez faible.
- La viscosité est de 0,2 cp.
- Le facteur de volume est de 1,7.

1.5.2. Les caractéristiques du gaz associé :

- Un point de bulle de 160 kg/cm².
- Viscosité de gaz est de 0.02 cp.
- La compressibilité est de 0.8 bar⁻¹.

I.6. Description du réservoir :

Le gisement de Hassi Messaoud a une profondeur qui varie entre 3100 et 3380 m. Son épaisseur va jusqu'à 200 m, il comprend trois réservoirs gréseux d'âge Cambrien, reposants directement sur le socle granitique. Il est représenté par une série gréseuse dont l'érosion post paléozoïque affecte une partie dans le centre du champ. Il se subdivise de haut en bas de:

- **Ri** : Zone isométrique dont l'épaisseur est de 45m essentiellement quartzite à grains fins et à tigillites. Elle correspond au drain D5.
- **Ra** : Zone anisométrique dont l'épaisseur moyenne est de 120m environ, composée de grès à ciment silico-argileux de grains moyens à grossiers. Il est subdivisé en drains respectivement de bas en haut : D1, ID, D2, D3, D4.
- **R2** : Série gréseuse à ciment argileux, d'une épaisseur moyenne de 80 m.
- **R3** : D'une hauteur d'environ 300 m, c'est une série gréseuse très grossière à micro-conglomératique, très argileuse reposant sur le socle granitique qui a été rencontré à une profondeur inférieure à 4000m, c'est un granite porphyroïde rose.

Chapitre

II

Réseau de collecte du champ HMD

II.1.Introduction :

L'effluent brut recueilli en surface doit être transporté et expédié vers les centres de traitement par un réseau de conduites munies d'accessoires appelé réseau de collecte.

Les lignes de collecte transportent presque toujours un effluent polyphasique où les lois d'écoulement sont complexes et les pertes de charge sont importantes. Ces derniers sont calculés par plusieurs méthodes qui utilisent des algorithmes différents. [5]

II.2.Définition du réseau de collecte :

Le réseau de collecte constitue l'ensemble des tuyauteries et accessoires de conduite, reliant les puits aux centres de traitements, via les stations satellites et les manifolds. [3]

II.3.Classification des conduites :

Elles peuvent être classées comme suite :

II.3.1.Selon leurs destination :

- Conduites d'huile.
- Conduites de gaz.
- Conduites d'eau.

II.3.2.Selon leurs pressions de service:

- À basse pression : 0-6 bars.
- À pression moyenne : 6-16 bars.
- À haute pression : > 16 bars.

II.3.3.Selon le type de mouvement hydraulique :

- Conduites forcées (la section est remplie complètement).
- Conduites gravitaires (la section est remplie partiellement). [5]

II.4. Plans de réseau de collecte:

Lors de l'établissement d'un projet de réseau de collecte, on doit choisir le tracé (chemin à suivre) des conduites le plus court et le type de réseau de collecte assurant le système le plus rationnel. On distingue les réseaux de collecte suivants :

II.4.1. Liaison individuelle

Dans ce cas chaque puits est relié individuellement à l'entrée du centre de traitement, ce système offre d'importants avantages techniques :

- Identification vers le centre des puits en service et à l'arrêt.
- Contrôle des puits en service par un simple examen des P et T° d'arrivée.
- Facilité d'isoler une production polluée.
- Rapidité de passage d'un puits en test.

L'inconvénient principal est l'installation de plusieurs conduites dans le cas d'un grand gisement et des puits nombreux. [3]

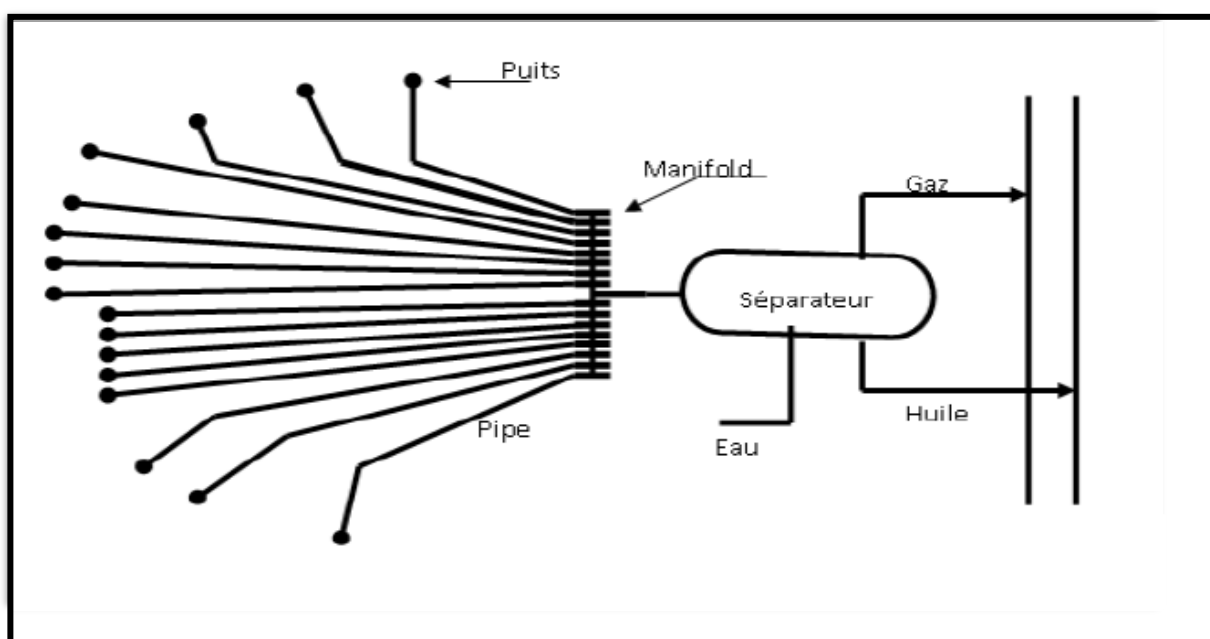


Fig. II.1. Schéma d'un réseau de collecte par une ligne individuelle.

II.4.2. Liaison par collecteur

L'effluent brut des différents puits est acheminé par un collecteur de grande capacité vers le centre de traitement. Le (ou les) point de groupement des lignes individuelles des puits est choisi sur le terrain de telle façon à avoir les lignes individuelles les plus courtes possibles. Au point de regroupement on installe un ensemble de vannes qui permettent d'isoler la production de chaque puits, ces points de groupement sont appelés manifold. Dans la plus part des cas on double le collecteur par une ligne de test.

Ce système de liaison prend un avantage incontesté sur le champ de grande étendue où les puits sont nombreux et sur ceux où le centre de traitement est assez éloigné.

Il faut en outre savoir que la formule de collecteur comporte un certain nombre d'inconvénients tant financiers que techniques :

- **Inconvénient financier :**

-Le réseau à peu près complet doit être achevé avant le début de l'exploitation, ainsi l'investissement total est engagé avant que le champ n'ait rien produit.

- **Inconvénients techniques :**

-La capacité des conduites doit être calculée sur les données prévisionnelles d'où risque d'erreurs d'estimation.

-La production entière peut être polluée par celle d'un seul puits émettant de l'eau. [3]

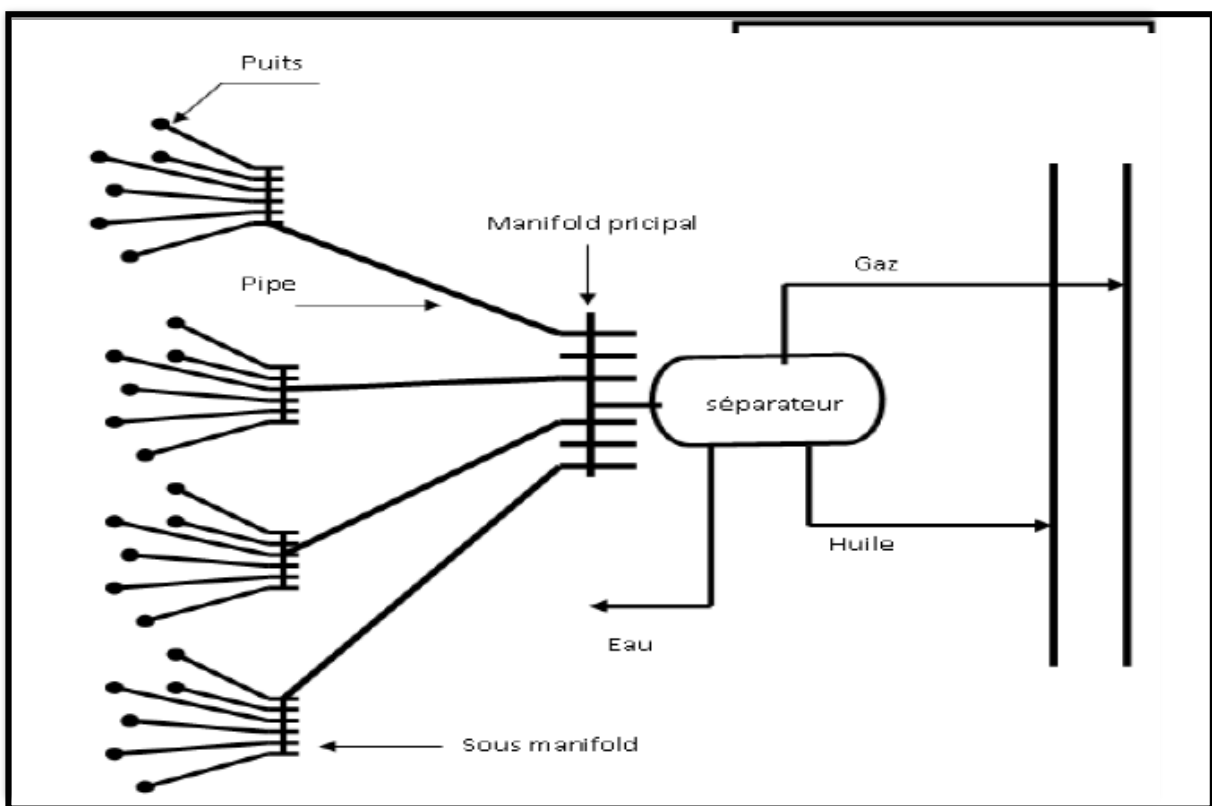


Fig. II.2. Schéma représentant la liaison par collecteur.

II.4.3. Collectes enterrées et aériennes :

Les règlements de sécurité imposent en général d'enterrer les conduites, il est parfois possible de laisser certaines lignes à la surface de sol, en zone désertique notamment.

On économise ainsi des dépenses de génie civil et souvent de revêtement. L'inconvénient est que le tube non abrité à des grands écarts de température qui en

modifiant sans cesse l'équilibre polyphasique des fluides transportés, nuisent à la qualité de traitement.

Des refroidissements importants favorisent en outre les dépôts de paraffine ou les sels et dans les conduites de gaz, amorcent parfois un processus de formation d'hydrates.

[3]

II.4.4. Autres types de liaison:

Dérivés des systèmes précédents, on rencontre assez souvent deux solutions intermédiaires. Dans la première, on installe au niveau de chaque manifold une batterie de séparateurs d'essai qui permet de supprimer la conduite de test. Sur les petits champs, on s'aide même parfois d'un séparateur mobile que l'on déplace selon le besoin. Dans la seconde solution, on implante au niveau de chaque manifold une station de traitement ; on revient ainsi à la collecte par lignes individuelles, le produit traité est ensuite expédié par pipe dans un bac de stockage général. Cette solution exige un effectif relativement élevé ou une automatisation poussée. [3]

II.4.5 Les accessoires des collectes :

- Les joints isolants : pour isoler électriquement les lignes de collecte des installations auxquelles elles se raccordent.
- Les racleurs ou « go devils » sont des pistons que l'on fait circuler dans une conduite sous l'action d'une pression de gaz ou de liquide ; Les gares-racleurs sont des circuits composant des dispositifs permettant l'envoi ou la réception des racleurs dans une conduite en service sans interrompre son fonctionnement.
- Des vannes de trois sortes : Les vannes montées en ligne placées aux extrémités de la conduite, vannes des manifolds et des vannes auxiliaires de soutirage ou de purge.
- Installation de purgeurs de gaz automatiques sur les points hauts du parcours.
- Installation de surface de sécurité dans le cas de pression statique en tête de puits plus élevée à cause de leur gros débit potentiel.
- ***Les manifolds :***

Afin de diriger l'effluent des puits dans des directions désirées et utiles, on groupe les vannes sur des manifolds qui doivent permettre d'aiguiller la production dans toutes les directions utiles. Un manifold doit présenter un accès facile en tous ces endroits, présenter tous les accessoires nécessaires à la bonne conduite des opérations et accueillir plusieurs entrées des puits. [5]

Chaque ligne lie un puits à un manifold comporte les éléments suivants :

a-Sortie puits :

A la sortie de chaque puits sur la ligne d'effluent, sont installés des prises de température et de pression, des vannes d'isolement et une gare racleur équipée d'une ligne de torche avec des vannes et un système de sécurité comporte un disque d'éclatement taré à une pression donnée (en cas d'augmentation de pression dans le pipe).

a-Arrivée au manifold :

Pour chaque ligne de puits, un dispositif uniforme de raccordement est prévu, sur chaque arrivée : vanne d'isolement, clapet anti-retour, manomètre, thermomètre et vannes de raccordement.

Le système des vannes prévu à l'arrivée au manifold permet de relier chaque ligne à l'une ou l'autre des transversales suivantes :

- Le collecteur principal de production.
- Le collecteur principal de teste.
- Le collecteur de torche.

Ce dispositif est constitué de 2 à 3 lignes transversales :

- Pour sélectionner les puits à basse pression (BP).
- Pour sélectionner les puits à moyenne pression (MP).
- Pour sélectionner les puits à haute pression (HP)

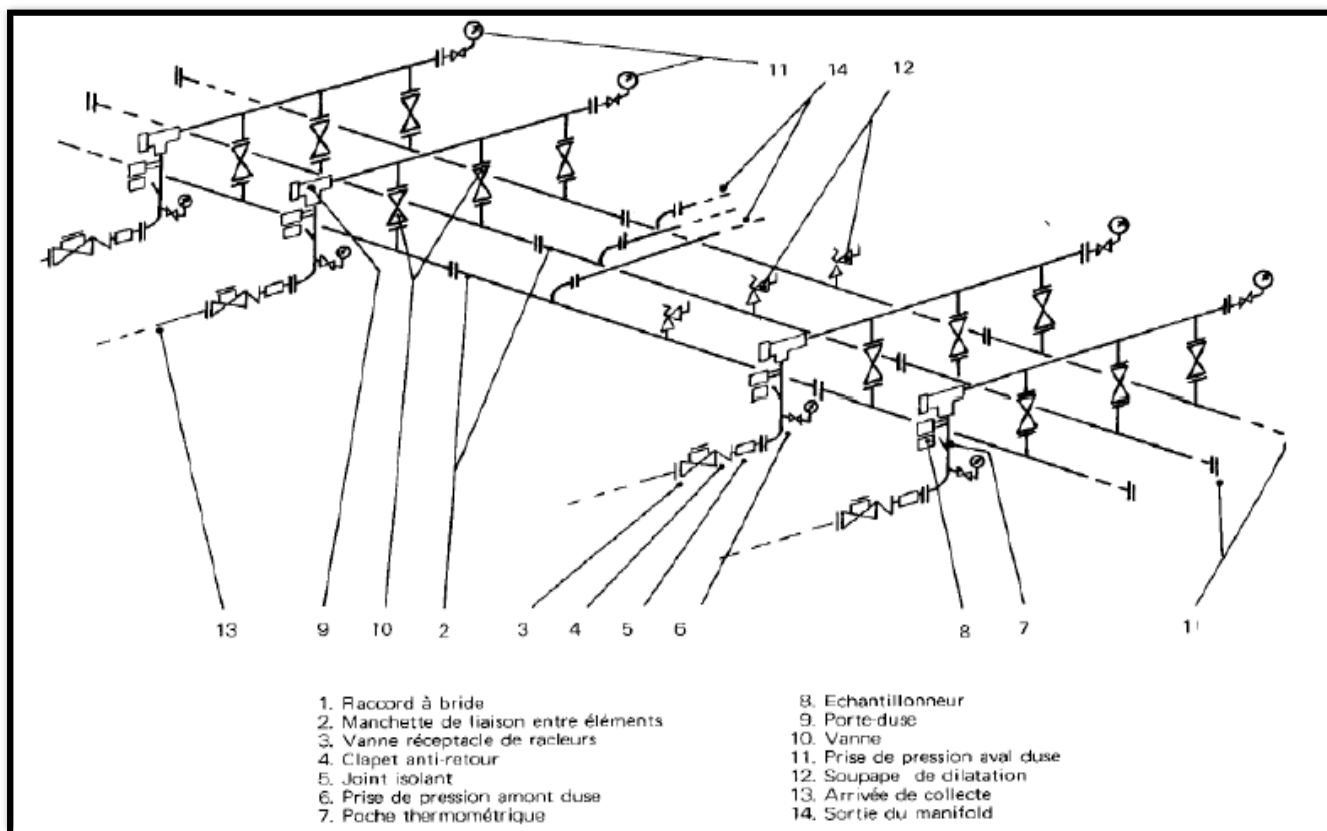


Fig. II.3. Schéma d'un manifold

II.5. Description du réseau de collecte du champ de Hassi Messaoud :

Le réseau de collecte de Hassi Messaoud est constitué d'une longueur d'environ 2400km, 500km lignes d'injection et 300km lignes de gaz lift. L'écoulement de l'effluent entre la tête de puits et le centre est diphasique, mais il est considéré monophasique une fois que le fluide est traité dans un séparateur. Il existe quatre types de réseaux au niveau de ce champ :

- Un réseau pour la **production d'huile** : Puits → Manifold → Stations → CIS, CINA.
- Un réseau pour l'**injection de gaz à haute pression & gaz lift** : CIS, CINA → Manifolds → Puits injecteurs gaz /gaz lift.
- Un réseau pour la production et l'**injection d'eau** (maintien de pression) : Puits Albien → Manifolds → Stations de pompage → Manifolds → Puits injecteurs d'eau.
- Un réseau pour **eau de traitement**. [9]

Le réseau de collecte de Hassi Messaoud est divisé en deux parties qui sont plus ou moins indépendantes :

II.5.1. Le réseau de collecte Nord :

Il comporte un système de collecte composé d'environ 1500 km de pipelines, 67 manifolds, 9 stations satellites et deux centres de traitement destinés au transport, à la séparation et au traitement de la production de plus de 600 puits entre (MP et HP). Une grande partie de la production de ces puits (MP) est séparées dans les neuf stations satellite de séparations avant une deuxième séparation et un traitement final au niveau du Centre Industriel Nord (CINA). Alors que pour les puits HP, leur production est transporté pour la séparation vers Centre Industriel Z-CINA par un réseau de collecte LDHP.

II.5.2. Le réseau de collecte Sud :

Il est plus compliqué que celui du nord. Il comporte un système de collecte composé d'environ 1300 km de pipelines, 45 manifolds, 7 stations satellites et deux centres de traitement destinés au transport, à la séparation et au traitement de la production de plus de 380 puits. Une grande partie de la production de ces puits est séparées dans les 7 stations satellites avant une deuxième séparation et un traitement final au niveau des Centres Industriels Sud (CIS) et UTBS. Toutes les stations satellites contiennent, chacune un manifold, un séparateur ou plus, une pomperie composée de plus de deux pompes d'expédition d'huile et une station de compression du gaz. L'huile séparée dans ces stations est pompée et le gaz est comprimé pour être envoyés vers CIS et UTBS. Au niveau du CIS l'huile venant des stations satellites est séparée dans le système de 2ème étage, où les séparateurs fonctionnent à une pression de 4,5 bars. La production des puits non séparée dans les stations satellite est envoyée directement vers les séparateurs HP et BP au niveau du CIS. Ces systèmes de séparation sont appelés LDHP, pour les puits connectés sur le système de séparation de 28 bar, et LDBP pour les puits connectés sur le système de séparation de 11 bar. La production d'huile venant des stations satellites est séparée au niveau UTBS dans le système de séparation 4,5 bar. Le gaz riche est envoyé vers les unités de GPL pour l'extraction des condensas, le gaz léger est comprimé, jusqu'à 400 bar, dans les stations de compression pour être injecté dans les puits injecteurs gaz et gaz lift. [9]

II.6.La station satellite E2A :**II.6.1.C'est quoi une station satellite ?**

Une station satellite est une unité de séparation préliminaire (séparation sur champ) avant une séparation plus raffinée au niveau des centres industriels. Généralement elle est constituée de 4 sections (manifolds, séparation, pompage et compression).L'effluent arrive à la section manifold puis envoyé vers la section séparation, l'huile séparée sera envoyé vers le centre industriel via la section pompage et le gaz aussi sera envoyé vers centre via la section compression.

Dans le champ sud de HMD il existe 6 stations satellites, E2A fait partie des 6, elle est située dans la zone EST. [8]

II.6.2.Opportunité des satellites :

Les installations satellites installées sur champ sont destinées à :

1. Améliorer la récupération d'huile dans le gisement et favoriser l'exploitation des puits par abaissement de la pression de tête.
2. Faciliter l'écoulement dans le réseau de collecte grâce à la séparation de l'effluent en produits transportables (huile et gaz).
3. Elimination d'eau et réduction du taux de salinité. [8]

II.6.3.Description du satellite E2A :

Cette unité est composée essentiellement d'une section séparation tri phasique et d'une section compression.

- La section séparation est constituée de séparateurs de production à basse pression où l'effluent subit un dégazage à 10 bars et 35°C.
- L'huile séparée est acheminée vers l'unité de traitement sud à l'aide de pompes centrifuges refoulant à 25 bars tandis que les gaz associés débarrassés des liquides, alimentent la section compression où ils sont comprimés à (30 bars, 140°C) par un compresseur centrifuge entraîné par un moteur électrique , refroidis dans une batterie d'aéroréfrigérants puis condensés avant d'être envoyés comme alimentation des unités de réinjection et du GPL via un manifold de gaz situé au niveau du centre industriel sud.
- Les condensât récupérés dans la section de compression sont recyclés à l'entrée du manifold des satellites pour obtenir un bon brassage du liquide avant d'entrer dans les séparateurs de production.

- L'eau piégée dans les différents séparateurs est recueillie dans un puisard avant d'être expédiée à l'aide de pompes immergées vers le bassin API de traitement des eaux huileuses situé au centre industriel sud.
- En vue de favoriser la séparation (huile / eau), une quantité de désémulsifiant (5 à 10 ppm) est injectée au manifold d'entrée de production.
- La production de brut sera dirigée à travers une ligne d'expédition individuelle jusqu'à UTBS. [8]

II.6.4. Schéma de principe du satellite E2A :

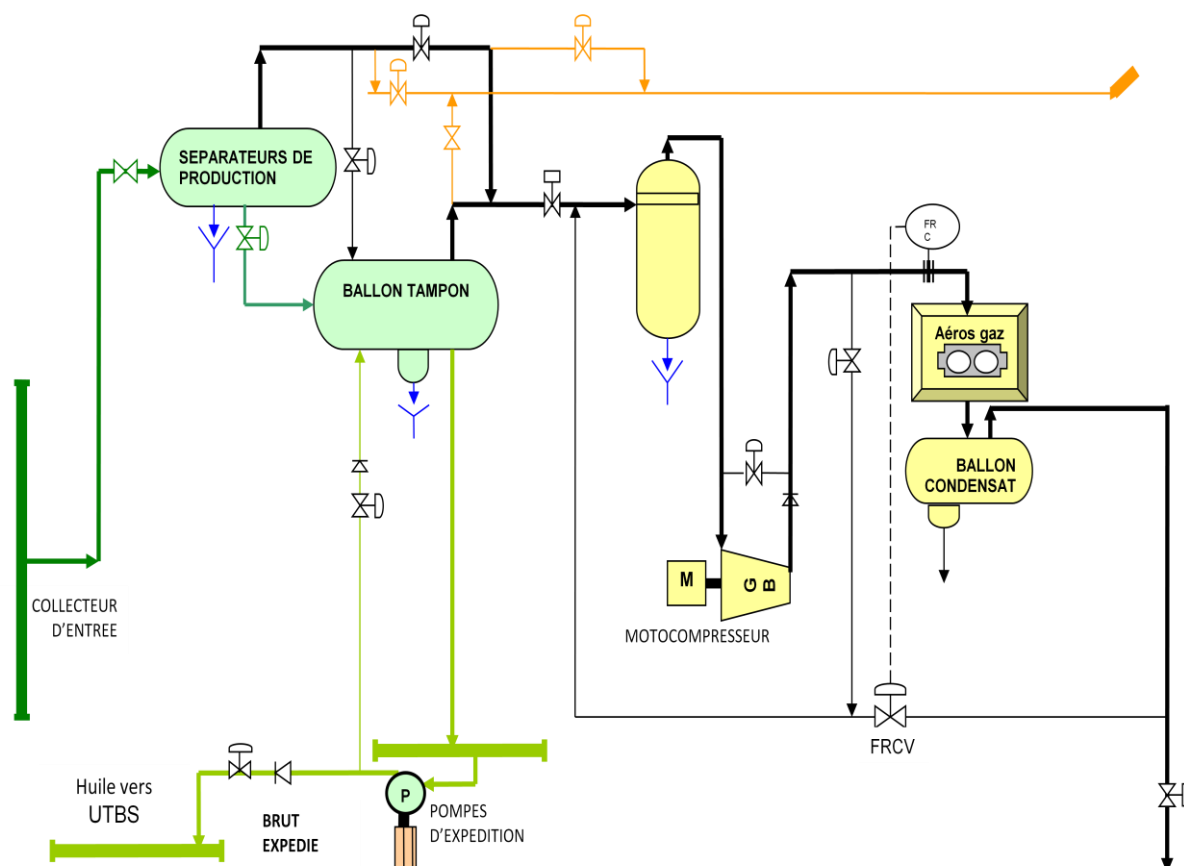


Fig. II.4. Schéma du satellite E2A

II.7. Écoulement multiphasique :

II.7.1. Définition de l'écoulement multiphasique :

On appelle un écoulement multiphasique tout déplacement d'un effluent dans lequel plusieurs phases sont en présence, c'est le cas des écoulements des fluides pétroliers du fond du puits aux installations de séparation sur champ. Les phases qui

existent dans ce type d'écoulement sont le gaz, l'huile ou le condensât, l'eau de gisement ainsi que des solides (sables et argiles ...).

En générale, dans les calculs, l'écoulement multiphasique est assimilé à un écoulement diphasique, se composant d'une phase gazeuse et d'une phase liquide. Les pertes de charge sont différentes suivant le type d'écoulement. [9]

Ces régimes dépendent :

- Des conditions d'opération (pression, température, apport de chaleur).
- Des propriétés physiques des phases.
- Des débits.
- De la géométrie et de l'orientation de la conduite.
- Ils sont définis ou caractérisés visuellement.
- Les transitions sont graduelles.
- La classification et les frontières sont dans une large mesure subjectives. [2]

II.7.2. Régimes d'écoulement multiphasique :

1. Ecoulement en bulle (bubble flow) :

Le gaz, en petites quantités (GOR très faible), se déplace sous forme de bulles à la partie supérieure de la conduite pipe à peu près à la même vitesse que le liquide. Le cheminement du fluide total s'apparente à celui d'une mousse ou d'une émulsion.



Fig. II.5. schéma d'un écoulement en bulle

2. Ecoulement avec bouchant (plug flow) :

La phase gazeuse croît. Le gaz s'accumule à la partie supérieure de la conduite, l'écoulement se fait par alternance de bouchons de liquide et de gaz.



Fig. II.6. Schéma d'un écoulement avec bouchant

3. *Écoulement stratifié (stratified flow) :*

Le gaz occupe toute la partie supérieure de la conduite et le liquide la partie inférieure, les vitesses d'écoulement étant encore à peu près identiques, l'interface Gaz-liquide est plan.



Fig. II.7. Schéma d'un écoulement stratifié

4. *Écoulement avec vagues (wavy flow) :*

Le régime d'écoulement est analogue au précédent Mais l'importance de la phase gazeuse s'étant accrue, le gaz circule plus vite que le liquide et des ondulations (vagues) apparaissent sur l'interface.

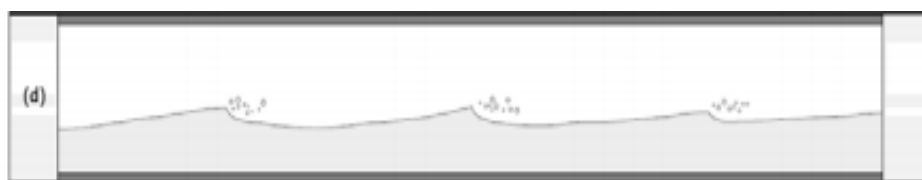


Fig. II.8. schéma d'un écoulement avec vagues

5. *Écoulement avec vagues moutonnantes (slug flow) :*

Lorsque les vagues atteignent le sommet de la paroi du pipe et la vitesse du gaz devient suffisante pour arracher des crêtes d'écume aux vagues. L'écume forme un brouillard qui se déplace avec le gaz, plus vite que le liquide.



Fig. II.9. schéma d'un écoulement avec vagues moutonnantes

6. *Écoulement annulaire (annular flow) :*

La vitesse du gaz est très grande. Le liquide est plaqué sur la paroi du tube et le gaz circule dans la partie centrale.

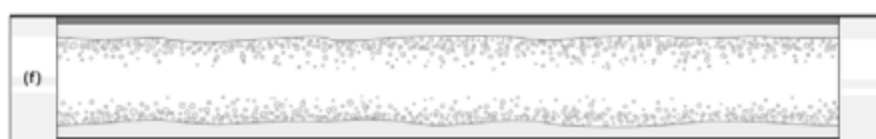


Fig. II.10. schéma d'un écoulement annulaire

7. Ecoulement brouillard (spray flow) :

L'importance de la phase liquide est faible de celle de la phase gazeuse. La plus grande partie du liquide, voir sa totalité est entraînée sous forme de brouillard. [9]



Fig. II.11. schéma d'un écoulement brouillard

II.8. Variation de la pression le long d'une conduite :

L'analyse physique des phénomènes conduit à écrire que pour un écoulement diphasique la variation de pression le long de la conduite est comme

pour un écoulement pour un écoulement monophasique, égal à la somme de trois termes : [7]

$$\left(\frac{dP}{dl}\right)_{totale} = \left(\frac{dP}{dl}\right)_{accélération} + \left(\frac{dP}{dl}\right)_{élévation} + \left(\frac{dP}{dl}\right)_{friction} \dots\dots\dots(2,1)$$

L'équation spécifique pour un écoulement monophasique représenté par trois termes est écrite comme suite :

$$\left(\frac{dP}{dl}\right)_{totale} = \frac{g}{g_c} \rho \sin \theta + \frac{f \rho V^2}{2 g_c \cdot D} + \frac{\rho V \cdot dV}{g_c \cdot dl} \dots\dots\dots(2,2)$$

Pour un écoulement multiphasique ou diphasique, l'équation est comme suite :

$$\left(\frac{dP}{dl}\right)_{totale} = \frac{g}{g_c} \rho \sin \theta + \frac{f_m \rho_m V_m^2}{2 g_c \cdot D} + \frac{\rho_m V_m \cdot dV_m}{g_c \cdot dl} \dots\dots\dots(2,3)$$

Où :

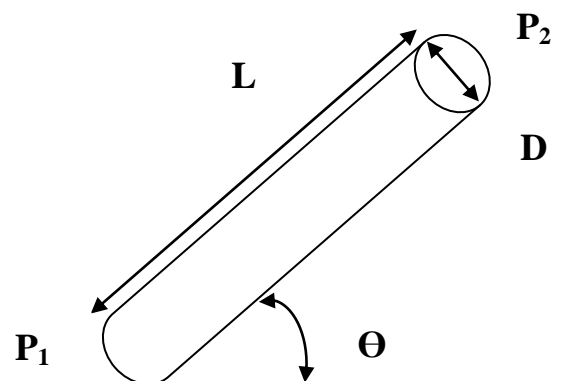
ρ_m : la densité du mélange.

V_m : la vitesse du mélange.

D : diamètre du pipe.

g_c : facteur de conversion.

f_m : facteur de frottement du mélange.



Il est fonction de Re , ϵ , D .

g : accélération de la gravité ($9,81 \text{ m/s}^2$).

Θ : pente de la conduite.

Dans le tableau suivant, on a présenté le pourcentage de chaque terme dans les pertes de charges totales dans un système de production :

Tab. II.1. Pourcentage des termes des pertes de charge dans le réseau

Composante	Puits à huile	Puits à gaz
Elévation	70% - 90%	20% - 50%
Friction	10% - 30%	30% - 50%
Accélération	0% - 10%	0% - 10%

- Le terme d'accélération qui correspond à la variation de l'énergie cinétique de la masse fluide, est d'une façon générale négligeable dans les écoulements monophasique pétroliers. Il est basé sur le changement de la vitesse entre différentes positions dans le pipe, ce terme est proche de zéro. Mais on doit cependant en tenir compte dans certain écoulement à grande vitesse (cas de basse pression et GOR élevé).

$$\left(\frac{dP}{dl} \right)_{\text{accélération}} = \frac{\rho_m V_m \cdot dV_m}{g_c \cdot dl} \dots\dots\dots(2,4)$$

- Le terme d'élévation où gravité est indépendant du débit de fluide et dépend seulement des dénivellations de la conduite. Il est égal au poids de la colonne de fluide. Il faut dire aussi que pour un même débit massique de fluide à l'entrée, la proportion de gaz et liquide va varier tout le long de la conduite en fonction de la chute de pression et de température.

$$\left(\frac{dP}{dl} \right)_{\text{élévation}} = \frac{g}{g_c} \rho \sin \theta \dots\dots\dots(2,5)$$

- Le terme de friction due aux forces de frottements.

$$\left(\frac{dP}{dl}\right)_{friction} = \frac{f_m \rho_m V_m^2}{2g_c \cdot D} \dots\dots\dots(2,6)$$

II.9. Les pertes des charges dans les conduites horizontales :

Plusieurs études ont été réalisées pour estimer les pertes de charges dans les conduites horizontales, la première publication dans ce domaine était en 1949 par Lockhart&Martinelli, puis plusieurs corrélations ont été publiées, ces corrélations sont basées sur des études expérimentales à fin de définir des équations générant l'écoulement polyphasique dans les conduites horizontales.

Parmi ces corrélations les plus réponsus sont :

- Ovid Baker (1954)
- Dukler
- Eaton
- Lockhart & Martinelli (1949)
- Beggs&Brill (1973) [7]

II.10. Liquid HOLD UP :

Dans une ligne de collecte caractérisée par des points bas avec des dénivelés importants, le problème de Liquid Hold-up peut se manifester. Si on a des vitesses faibles du fluide circulant, sa partie lourde (l'eau) a tendance de stagner dans ces points bas, ce qui réduit la section de passage des conduits et par conséquent, les pertes de charges augmentent. Le liquide HOLD up (taux de présence locale de liquide dans la conduite) est calculé pour chaque type d'écoulement comme suit :

$$H_L(\phi) = \psi H_{L(0)} \dots\dots\dots(2,7)$$

Où :

ψ :facteur d'inclinaison.

$H_L(0)$: le liquide HOLD up dans un pipe horizontale, il est calculé par la formule suivante :

$$H_{L(0)} = a \lambda_L^b / N_{FR}^c \dots\dots\dots(2,8)$$

a, b et c sont déterminés pour chaque régime d'écoulement à l'aide du tableau suivant :

Tab. II.2. Les valeurs (a, b et c) pour chaque régime d'écoulement

Régime d'écoulement	a	b	c
Ségrégation	0.98	0.4846	0.0868
Intermittent	0.845	0.5351	0.0173
Distribué	0.1065	0.5824	0.0609

La valeur calculée de $H_L(0)$ doit être : $H_L(0) \geq \lambda_L$

Le facteur de correction du HOLD UP dû à l'effet de l'inclinaison du pipe est donné par:

$$\psi = 1 + C \left[\sin(1.8\phi) - 0.333 \sin^3(1.8\phi) \right] \dots \dots \dots (2,9)$$

$$C = (1 - \lambda_L) \ln \left[d L^e N_{LV}^f N_{FR}^g \right] \dots \dots \dots (2,10)$$

Où :

ϕ : l'angle du pipe par rapport à l'horizontal.

e, f et g sont donnés par le tableau suivant :

Tab. II.3. Les valeurs (d, e, f et g) pour chaque régime d'écoulement

Régime d'écoulement	d	e	f	g
Ségrégation	0.011	-3.768	3.539	-1.614
Intermittent	2.96	0.305	-0.4473	0.0978
Distribué	Pas de correction		c=0, $\Psi = 1$, $H_L \neq f(\phi)$	
Tout régime	4.70	-0.3692	0.1244	-0.5056

Donc la même équation est utilisée pour calculer le HOLD Up pour chaque régime, seuls les coefficients et les exposants utilisés diffèrent d'un régime à un autre. Quand le régime d'écoulement est transitoire, le HOLD up doit être calculé en

utilisant à la fois les équations du régime intermittent et celui en ségrégation en introduisant deux facteurs A et B :

$$H_L \text{ (transition)} = A \times H_L \text{ (ségrégation)} + B \times H_L \text{ (intermittent)} \dots\dots\dots(2,11)$$

Où :

$$A = L3 - N_{FR} / L3 - L2$$

$$B = 1 - A$$

Une fois $H_L(0)$ est déterminé, la densité diphasique peut être calculée comme suit :

$$\rho_m = \rho_L H_L + \rho_g H_g \dots\dots\dots(2,12)$$

Tel que :

$$H_g = 1 - H_L$$

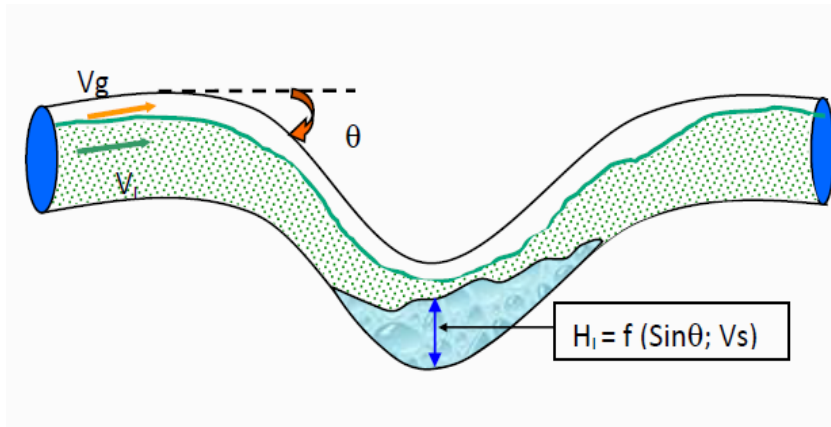


Fig .II.12.Schéma de problème de liquide Hold Up

Chapitre

III

**Modélisation du réseau de
collecte du satellite E2A**

III.1.Introduction

L'objectif principal de la modélisation du réseau de collecte de satellite E2A est de reproduire un modèle du réseau actuel tel qu'il est dans la réalité pour faire par la suite une analyse détaillée des paramètres de production de chaque ligne de collecte. Cette analyse consiste à localiser les collecteurs surdimensionnés (problèmes de corrosion) ou sous-dimensionnés (problèmes d'érosion + augmentation de la pression au niveau des manifolds) moyennant le logiciel PIPESIM2017.2.

III.2. Procédure de modélisation

Généralement, la modélisation d'un réseau de collecte s'effectue en plusieurs étapes à savoir :

- Construction de PFD (Pipe Flow Diagram) du réseau de collecte.
- Collecte des données relatives aux puits (Q_h , Q_g , P_p , GOR, WC ...etc.).
- Collecte des données relatives au fluide (PVT).
- Collecte les données relatives aux lignes de collecte et collecteur.
- Construction du modèle PIPESIM.
- Calibration du modèle PIPESIM (Choix des corrélations).
- Lancement des calculs.

III.3. Modélisation du réseau de collecte E2A

III.3.1. PFD du réseau des collecteurs E2A

Dans le but de faciliter la modélisation, il est nécessaire d'établir un schéma simplifié (Fig.III.1) illustrant les différents composants du réseau de collecte E2A (Collectes, collecteurs, manifolds et centres de traitement).

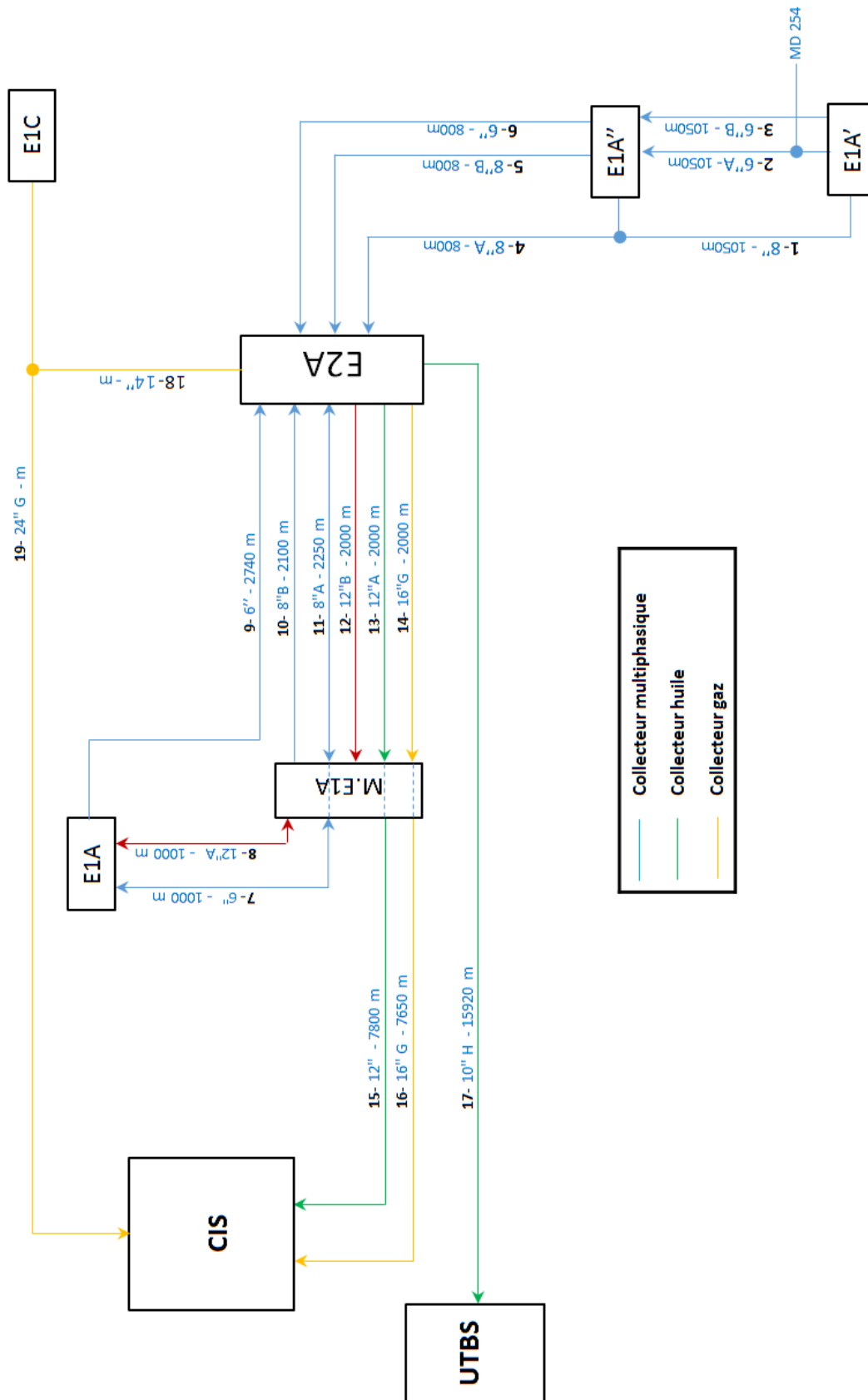


Fig.III.1.Schéma du réseau des collecteurs E2A

III.3.2. Données des tests de puits du satellite E2A

Le tableau III.1 ci-dessous regroupe les données obtenues lors des derniers jaugages des puits du satellite E2A. L'exactitude de ces résultats joue un rôle primordial pour que la modélisation soit représentative.

Tab. III.1. Données des derniers tests (Jaugage) des puits du satellite E2A.

Puits/MFD	Qh (m3/J)	Qe (m3/J)	Qg (m3/J)	GOR	Pp (kg/cm²)	WC
MD289	106.32	0.00	28300.32	266.18	14.05	0.00
MD444	8.64	3.36	10666.32	1234.53	12.89	0.28
MFD E1A	114.96	3.36	38966.64	338.96	**	0.03
MD406	96.72	0.00	198057.36	2047.74	16.50	0.00
MFD E1A	96.72	0.00	198057.36	2047.74	16.50	0.00
MD33	36.96	0.00	99520.08	2692.64	14.10	0.00
MD368	85.68	6.96	94967.00	1108.00	13.90	0.08
M.E1A	122.64	6.96	194487.08	1585.84	**	0.05
MD318	31.20	0.00	59506.80	1907.27	13.00	0.00
MD204	23.76	52.80	36583.20	1539.70	13.00	0.69
MD215	56.64	48.00	60424.80	1066.82	16.00	0.46
MD122	132.24	33.60	66627.84	503.84	16.50	0.20
MD322	49.20	5.04	49980.24	1015.86	16.30	0.09
MDZ550	103.20	59.33	42308.88	409.97	16.50	0.37
MDZ534	37.92	0.00	39886.80	1051.87	12.25	0.00
MFD E1A'	434.16	198.77	355318.56	818.40	**	0.31
MDZ548	85.20	0.00	18464.64	216.72	13.60	0.00
MFD E1A''	85.20	0.00	18464.64	216.72	**	0.00
MD188	40.80	0.00	67936.08	1665.10	12.00	0.00
MD239	66.00	0.00	43986.48	666.46	14.00	0.00
MD256	67.68	0.00	100212.48	1480.68	14.80	0.00
MD441	23.76	28.80	35666.88	1501.13	12.00	0.55
MD358	124.08	0.00	69066.72	556.63	12.50	0.00
MD366	13.68	0.00	30353.76	2218.84	12.00	0.00
MDZ703	123.60	0.00	44032.56	356.25	14.70	0.00
MFD E2A	459.60	28.80	391254.96	851.29	**	0.06
MD254	100.80	0.00	43531.44	431.86	13.60	0.00

III.3.3. Propriété de fluide du satellite E2A

Le satellite E2A est composé d'environ 22 puits, qui sont actuellement en service. Ils n'ont pas exactement les mêmes propriétés PVT. Les valeurs moyennes de ces propriétés sont :

- Densité de l'huile : 43 API

- Densité du gaz : 0,8
- Azote : 2,5 %
- Gaz carbonique : 2,1 %
- Densité de l'eau produite : 1,0
- Température ambiante : entre 5° et 55°C

III.3.4. Données relatives aux collecteurs

La carte de réseau de collecte du satellite E2A est nécessaire pour déterminer l'emplacement des puits et manifolds ainsi que les chemins des pipes. Les longueurs des lignes ainsi que les élévations sont tirées à partir de la base de données du service Collecte & Desserte Sud (une légère différence d'élévation des pipes peut-être obtenue en comparaison avec celles de Google Earth), Une formule appliquée par ce service qui sert à simuler des profils artificiels des pipes, à partir des profils réels. Ces derniers sont visualisés sur des fichiers, ils sont utilisés pour calculer le dénivelé de chaque segment du pipeline.

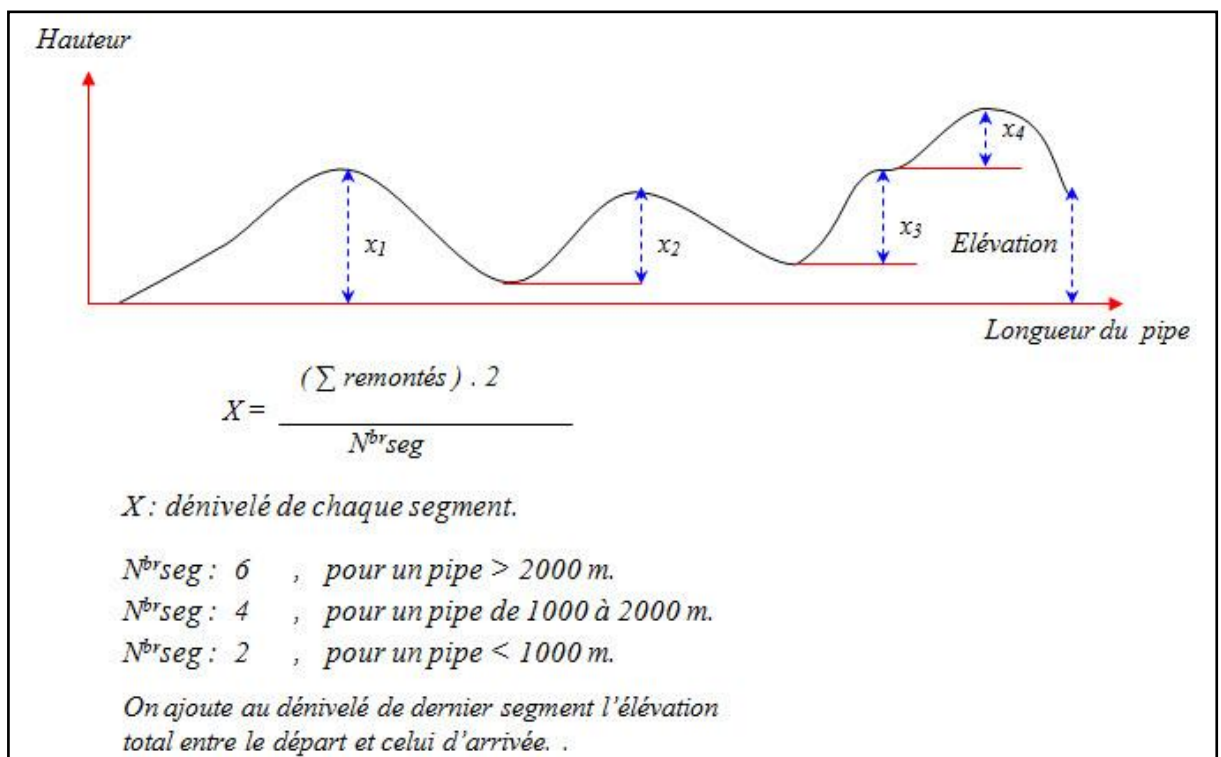


Figure III.2. Calcul de l'élévation (Dénivelé) du pipeline

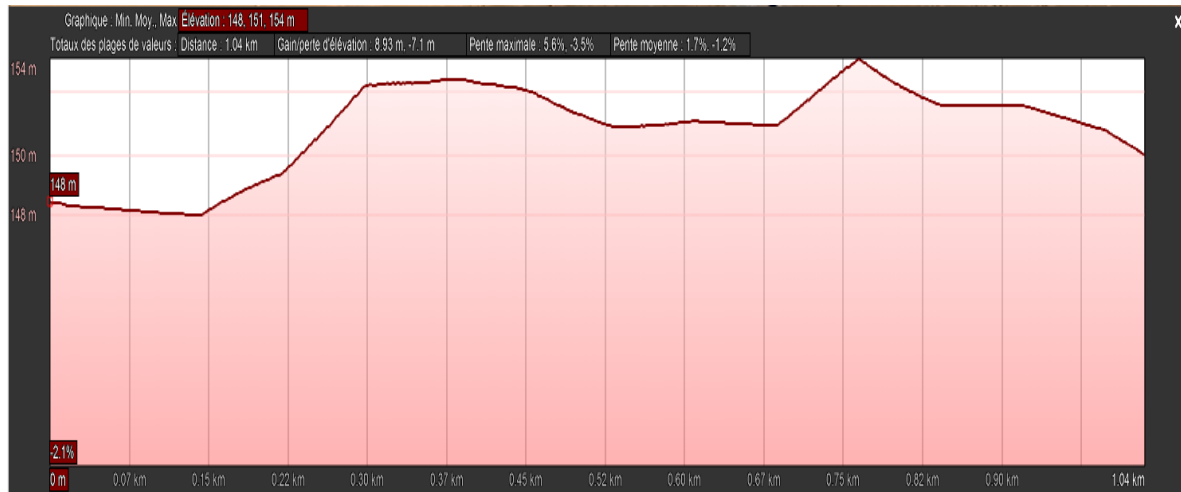


Figure III.3 : Élévation du pipeline (Exemple du collecteur N°1)

a. Situation des collecteurs

La connaissance de la situation actuelle du réseau de collecte le jour de la modélisation est un élément essentiel car cela facilite beaucoup la calibration du modèle PIPESIM et par conséquent, améliore la précision des résultats.

Tab.III.2. Situation des collecteurs de satellite E2A

Collecteur N°	Diamètre (")	Indice	Départ	Arrivée	Longueur (m)	Situation
1	8		MFD E1A'	MFD E1A''	1050	En service
2	6	A	MFD E1A'	MFD E1A''	1050	En service
3	6	B	MFD E1A'	MFD E1A''	1050	En service
4	8	A	MFD E1A''	MFD E2A	800	En service
5	8	B	MFD E1A''	MFD E2A	800	En service
6	6		MFD E1A''	MFD E2A	800	En service
7	6		MFD E1A	MFD M.E1A	1000	En service
8	12	A	MFD E1A	MFD M.E1A	1000	Fermé
9	6		MFD E1A	MFD E2A	2740	En service
10	8	B	MFD M.E1A	MFD E2A	2100	En service
11	8	A	MFD M.E1A	MFD E2A	2250	En service
12	12	B	MFD M.E1A	MFD E2A	2000	En service
13	12	A	MFD E2A	MFD M.E1A	2000	Fermé
14	16		MFD E2A	MFD M.E1A	2000	Fermé
15	12		MFD M.E1A	MFD CIS	7800	Fermé
16	16		MFD M.E1A	MFD CIS	7650	Fermé
17	10		MFD E2A	MFD UTBS	15900	En service
18	14		MFD E2A	JCT MFD E1A	1590	En service
19	24		JCT MFD E1A	MFD CIS	4610	En service

III.3.4. Construction du modèle PIPESIM

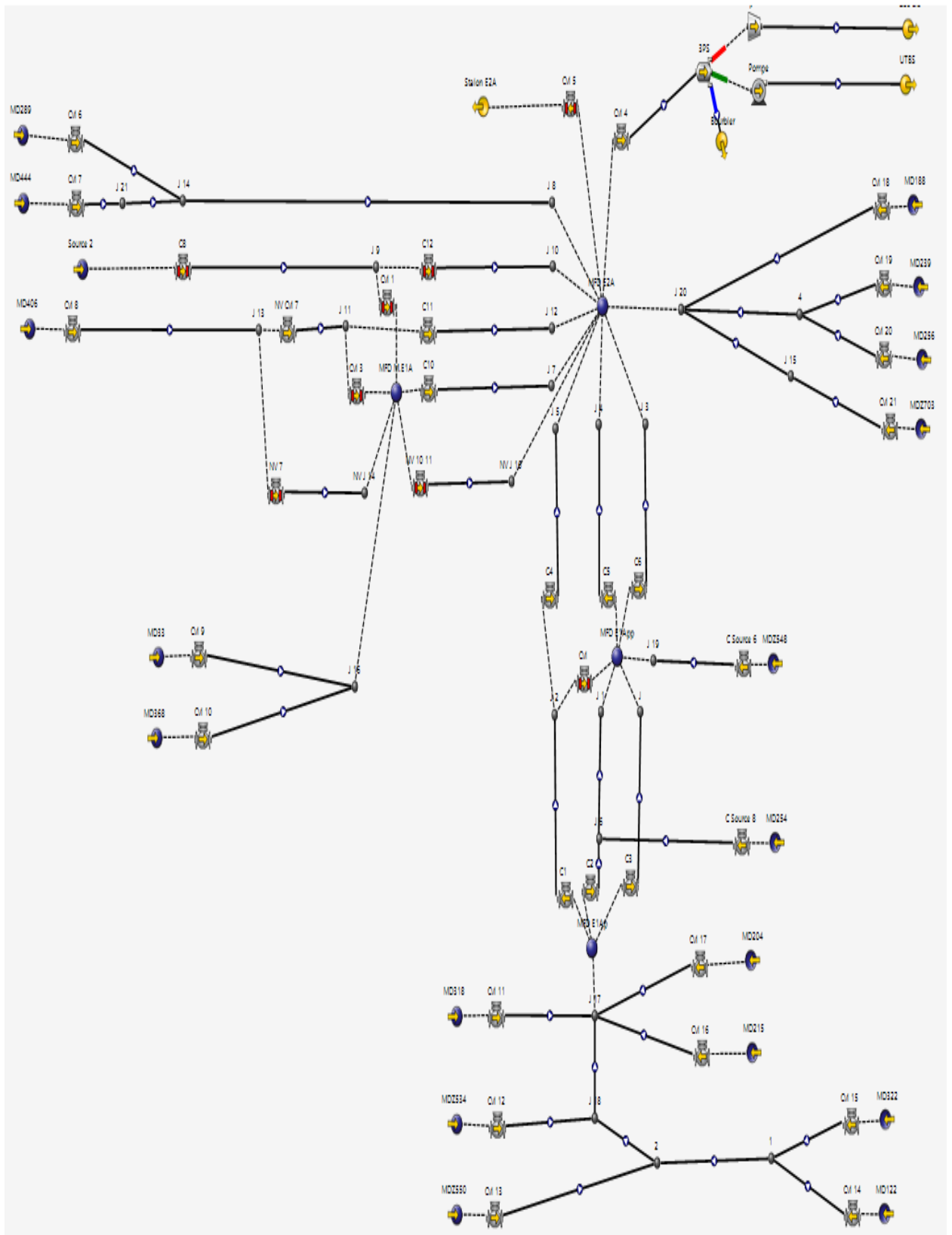


Fig.III.4.Schéma du modèle PIPESIM du satellite E2A

III.3.5. Calibration du modèle PIPESIM (Choix des corrélations)

Afin d'obtenir un modèle PIPESIM représentatif au réseau de collecte tel qu'il est dans la réalité, des corrélations d'écoulement multiphasique doivent être bien choisis en se basant sur les données de test de puits les plus récents. Le choix de la corrélation convenable se fait selon les étapes suivantes :

1. Insérer les débits et les pressions dans les sources et les séparateurs respectivement.
2. Sélectionner la pression de pipe comme un variable à calculer.
3. Sélectionner plusieurs corrélations d'écoulement multiphasique.
4. Lancer le calcul (run du logiciel PIPESIM) pour obtenir les résultats.
5. Calculer l'erreur relative entre la pression mesurée (Jaugeage de puits) et celle calculée :

$$Erreur (\%) = \frac{P_{Calculée} - P_{Mesurée}}{P_{Mesurée}} \times 100 \quad (3,1)$$

6. Choisir la corrélation relative à l'erreur minimale.

a. Choix de la corrélation (Exemple de la ligne du Puits MD122)

Le choix de la corrélation est effectué à la base d'un test de plusieurs corrélations reconnues. La corrélation qui présente la plus faible erreur relative moyenne de la pression de pipe calculée (ou le débit calculé) par rapport à celle mesurée lors de dernier jaugeage sera choisi, pour la ligne de collecte du puits MD 122 on a choisi la corrélation de Beggs & Brill parce qu'elle donne la plus petite erreur (Tableau III.3).

Tab.III.3. Choix de la corrélation (Exemple du puits MD122)

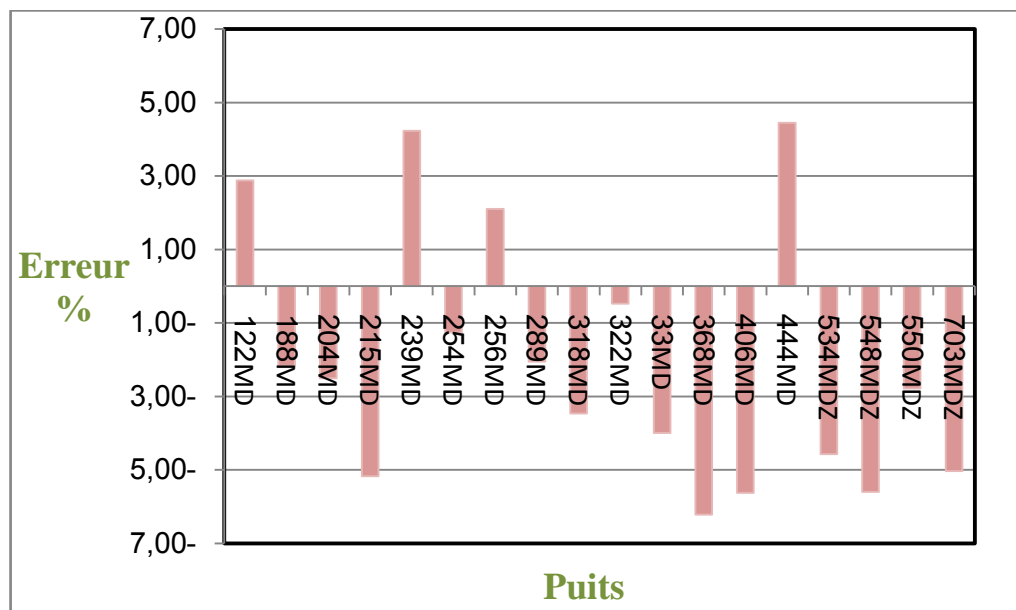
Corrélation	Pp mesurée (kg/cm ²)	Pp calculée (kg/cm ²)	Ecart	Erreur (%)
Beggs & Brill	18.00	18.52	0.52	2.88
Beggs & Brill revised	18.00	18.99	0.99	5.5
Dukler Aga and Flanagan	18.00	19.68	1.68	9.33
Dukler Aga and Flanagan (hold up)	18.00	18.75	0.75	4.16
Mukherjee & Brill	18.00	16.61	-1.39	-7.72
No Slip Assumption	18.00	16.17	-1.83	-10.01
Oliemans	18.00	17.33	-0.67	-3.72
Xiao	18.00	16.90	-1.1	-6.11

b. Résultats de calibration du modèle

Le tableau III.4 et la figure III.5 récapitulent les erreurs relatives de toutes les lignes de collecte du satellite E2A après calibration du modèle.

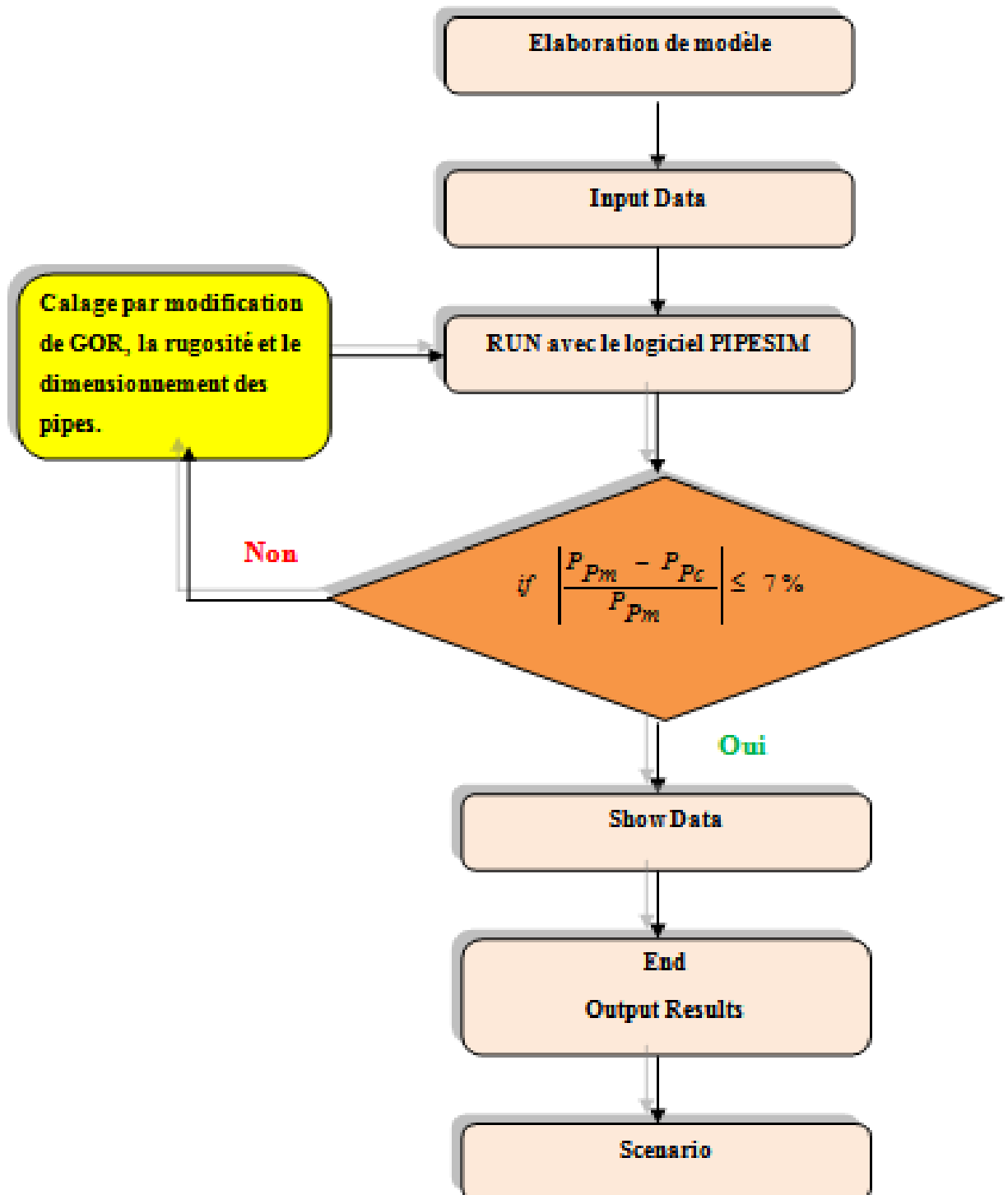
Tab.III.4. Résultats de la calibration du modèle PIPESIM

Puits	Pression du pipe (kg/cm ²)		Ecart (kg/cm ²)	Erreur relative (%)
	mesurée	calculée	$P_{calculée} - P_{mesurée}$	
MD122	18.00	18.52	0.52	2.88
MD188	12.00	11.74	-0.26	-2.17
MD204	13.00	12.67	-0.33	-2.51
MD215	16.00	15.17	-0.83	-5.17
MD239	14.00	14.59	0.59	4.23
MD254	13.60	13.43	-0.17	-1.26
MD256	14.80	15.11	0.31	2.10
MD289	14.05	13.76	-0.29	-2.05
MD318	13.00	12.55	-0.45	-3.47
MD322	16.30	16.22	-0.08	-0.48
MD33	14.10	13.54	-0.56	-4.00
MD368	13.90	13.04	-0.86	-6.22
MD406	16.50	15.57	-0.93	-5.63
MD444	12.89	13.46	0.57	4.45
MDZ534	14.40	13.74	-0.66	-4.57
MDZ548	13.60	12.84	-0.76	-5.60
MDZ550	16.50	16.04	-0.46	-2.79
MDZ703	14.70	13.96	-0.74	-5.03

**Fig.III.5. Illustration des erreurs relatives de chaque puits**

c. Algorithme de modélisation

L'algorithme (fig.III.6) montre les différentes étapes à suivre durant la modélisation pour d'établir un modèle représentatif au modèle actuel du réseau de collecte du satellite E2A. Nous avons exigé une erreur relative maximale de 7% entre les paramètres calculés et mesuré c.à.d. tout puits excédant cette limite d'erreur nécessite un nouveau examen.

*Fig.III.6. Algorithme de modélisation*

III.4. Résultats de la modélisation

III.4.1. Vitesses d'écoulement dans le réseau de collecte E2A

a) Vitesses d'écoulement dans les collecteurs

Tab.III.4. Vitesse d'écoulement dans les collecteurs du satellite E2A

N° Collecteur	Départ	Arrivée	Diamètre (")	Longueur (m)	V (m/s)	Observation
1	MFD E1A'	MFD E1A"	8	1050	5.4	Sous dimensionné
2	MFD E1A'	MFD E1A"	6	1050	3.59	acceptable
3	MFD E1A'	MFD E1A"	6	1050	5.02	acceptable
4	MFD E1A"	MFD E2A	8	800	5.6	Sous dimensionné
5	MFD E1A"	MFD E2A	8	800	4.39	acceptable
6	MFD E1A"	MFD E2A	6	800	3.62	acceptable
7	MFD E1A	MFD M.E1A	6	1000	8.63	Sous dimensionné
9	MFD E1A	MFD E2A	6	2740	1.73	acceptable
10	MFD M.E1A	MFD E2A	8	2100	5.276	Sous dimensionné
11	MFD M.E1A	MFD E2A	8	2250	5.42	Sous dimensionné

b) Vitesses d'écoulement dans les lignes de collecte

Tab.III.5. Vitesse d'écoulement dans les pipes du satellite E2A

Puits/ligne	Départ	Arrivée	Diamètre (")	Longueur (m)	V (m/s)	Observation
MD322	MD322	JCT 1	6	233	1.78	Acceptable
MD122	MD122	JCT 1	4	1057	5.76	Sous dimensionné
MDZ550	MDZ550	JCT 2	6	112	2.50	Acceptable
MDZ534	MDZ534	JCT 18	6	2360	1.68	Acceptable
MD318	MD318	JCT 17	6	983	2.71	Acceptable
MD215	MD215	JCT 17	4	1389	5.75	Sous dimensionné
MD204	MD204	JCT 17	6	1158	1.69	Acceptable
MD254	MD254	JCT 6	4	1270	2.31	Acceptable
MDZ548	MDZ548	JCT 19	4	1488	2.25	Acceptable
MD368	MD368	JCT 16	6	440	4.23	Acceptable
MD33	MD33	JCT 16	6	1355	4.31	Acceptable
MD406	MD406	JCT 13	8	2970	4.52	Acceptable
MD444	MD444	JCT 14	6	2000	1.03	Acceptable
MD289	MD289	JCT 14	6	987	1.2	Acceptable
MD188	MD188	JCT 20	8	3671	1.91	Acceptable

Puits/Ligne	Départ	Arrivé	Diamètre	Longueur	V	Observation
PMDZ7O3	MDZ7O3		6	1300	3.45	Acceptable
MD256	MD256	JCT 4	6	154	3.89	Acceptable
MD239	MD239	JCT 4	6	110	1.73	Acceptable
Ligne (J1-J2)	JCT 1	JCT 2	6	4,2	4,2	Acceptable
Ligne (J2-J18)	2	JCT 18	6	7,32	7,32	Sous dimensionné
Ligne (J18-J17)	JCT 18	JCT 17	6	10,15	10,15	Sous dimensionné
Ligne (J4-J20)	JCT 4	JCT 20	8	6,32	6,32	Sous dimensionné

III.4.2. gradients de pression dans le réseau de collecte E2A

a) Gradient de pression dans les collecteurs du satellite E2A

Tab.III.6.Gradient de pression dans les collecteurs du satellite E2A

N° Collecteur	Départ	Arrivée	Diamètre (")	Longueur (m)	Gradient	Observation
1	E1A'	E1A''	8	1050	0,651	Acceptable
2	E1A'	E1A''	6	1050	0,012	Acceptable
3	E1A'	E1A''	6	1050	0,782	Acceptable
4	E1A''	E2A	8	800	0,472	Acceptable
5	E1A''	E2A	8	800	0,324	Acceptable
6	E1A''	E2A	6	800	1,384	Sous dimensionné
7	E1A	M.E1A	6	1000	0,764	Acceptable
9	E1A	E2A	6	2740	1,696	Sous dimensionné
10	M.E1A	E2A	8	2100	1,384	Sous dimensionné
11	M.E1A	E2A	8	2250	1,22	Sous dimensionné

b) Gradient de pression dans les collecteurs sous dimensionnés

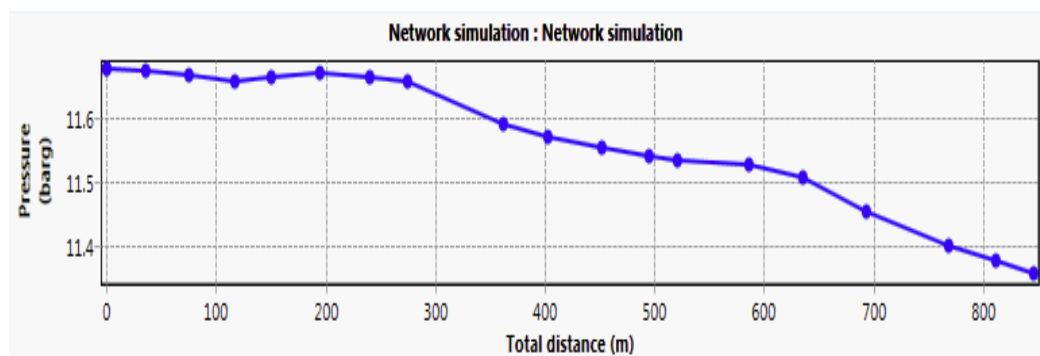


Fig.III.7.Gradient de pression dans le collecteur 6

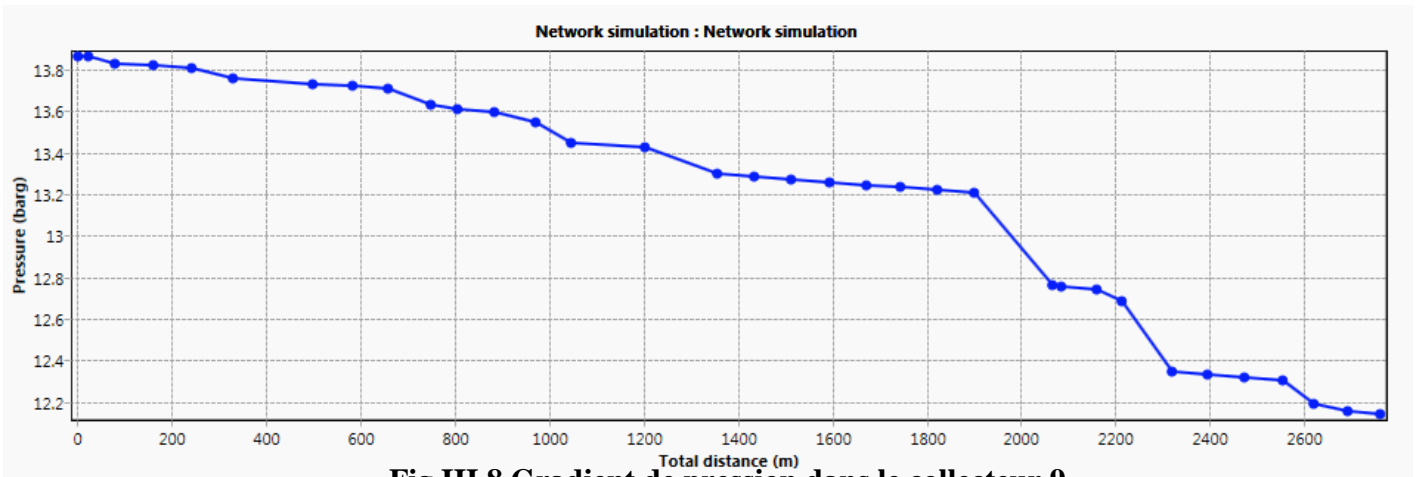


Fig.III.8.Gradient de pression dans le collecteur 9

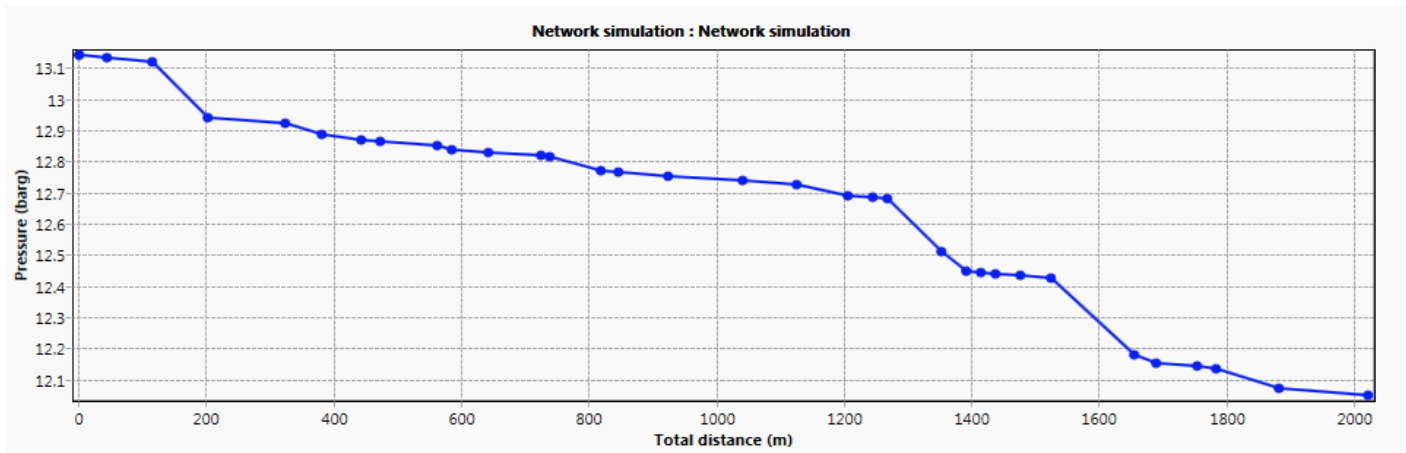


Fig.III.9.Gradient de pression dans le collecteur 10

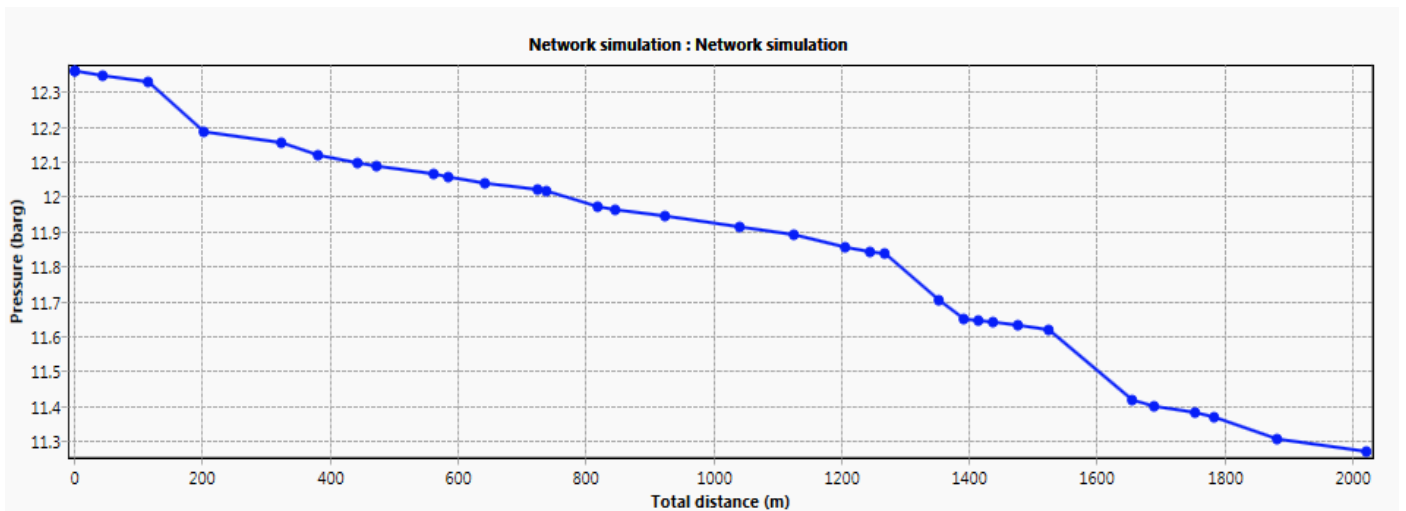


Fig.III.10.Gradient de pression dans le collecteur 11

c) *Gradient de pression dans les lignes de collecte*

Tab.III.7. Gradient de pression dans les lignes du satellite E2A

Puits	Départ	Arrivée	Diamètre (")	Longueur (m)	Gradient	Observation
MD322	MD322	JCT 1	6	233	0,03	Acceptable
MD122	MD122	JCT 1	4	1057	2,32	Sous dimensionné
MDZ550	MDZ550	JCT 2	6	112	0,048	Acceptable
MDZ534	MDZ534	JCT 18	6	2360	0,719	acceptable
MD318	MD318	JCT 17	6	983	0,078	Acceptable
MD215	MD215	JCT 17	4	1389	2,7	Sous dimensionné
MD204	MD204	JCT 17	6	1158	0,203	Acceptable
MD254	MD254	JCT 6	4	1270	0,969	Acceptable
MDZ548	MDZ548	JCT 19	4	1488	1,164	Sous dimensionné
MD368	MD368	JCT 16	6	440	0,286	Acceptable
MD33	MD33	JCT 16	6	1355	0,786	Acceptable
MD406	MD406	JCT 13	8	2970	2,212	Sous dimensionné
MD444	MD444	JCT 14	6	2000	0,169	Acceptable
MD289	MD289	JCT 14	6	987	0,7	Acceptable
MD188	MD188	JCT 20	8	3671	0,374	Acceptable
MDZ703	MDZ703	JCT 15	6	1300	2,595	Sous dimensionné
MD256	MD256	JCT 4	6	1547	0,55	Acceptable
MD239	MD239	JCT 4	6	110	0,031	Acceptable
Ligne (J1-J2)	JCT 1	JCT 2	6	358	0,198	Acceptable
Ligne (J2-J18)	JCT 2	JCT 18	6	1437	2,95	Sous dimensionné
Ligne (J18-J17)	JCT 18	JCT 17	6	182	0,549	Acceptable
Ligne (J4-J20)	JCT 4	JCT 20	8	3865	3,192	Sous dimensionné

d) Gradient de pression dans les lignes de collecte sous dimensionnés

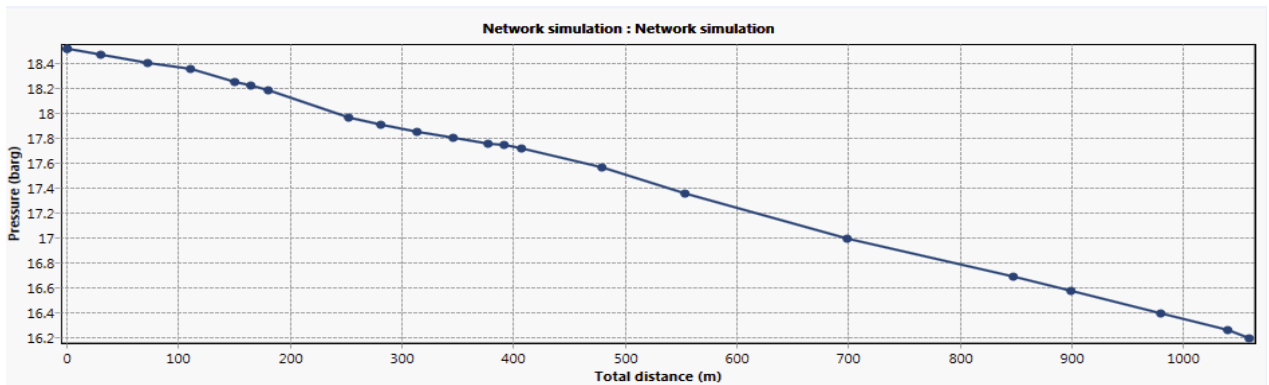


Fig.III.8. Gradient de pression dans la ligne MD122

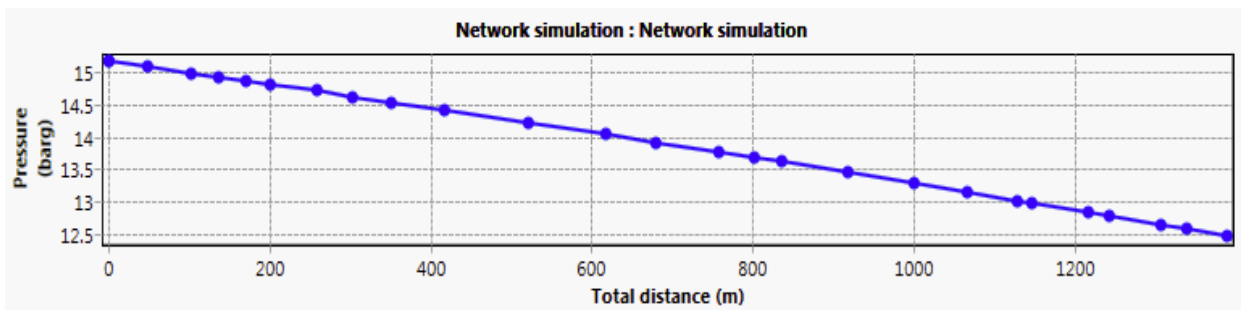


Fig.III.9. Gradient de pression dans la ligne MD215

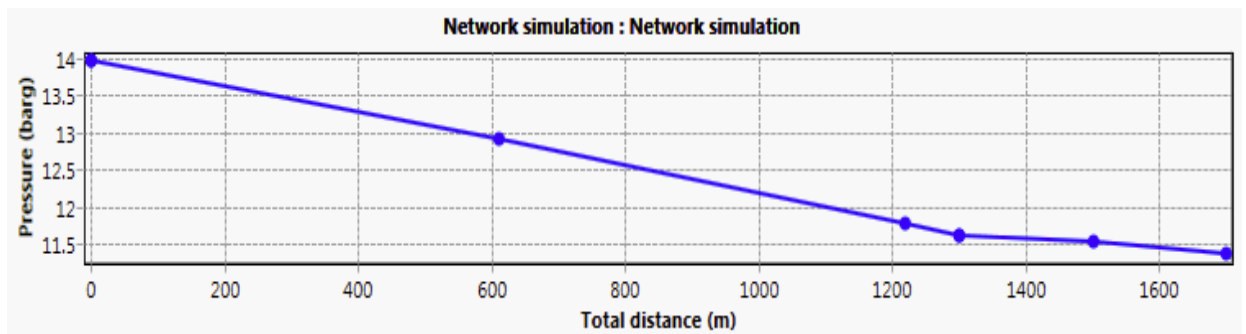


Fig.III.10. Gradient de pression dans la ligne MDZ703

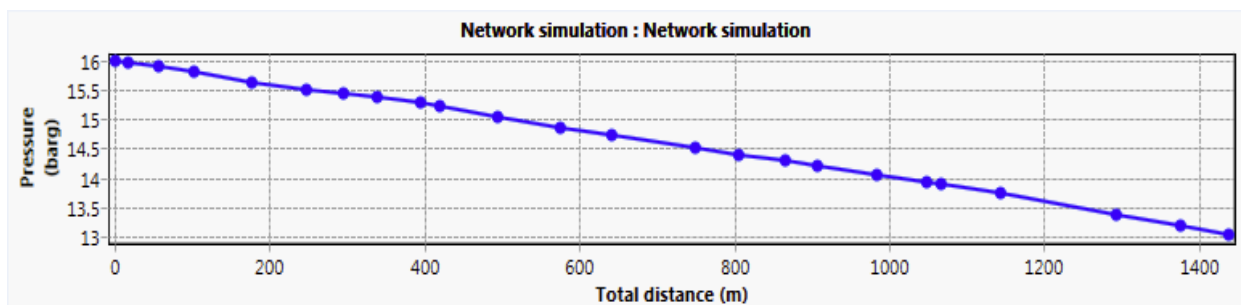


Fig.III.11. Gradient de pression dans la ligne JCT 2 → JCT18

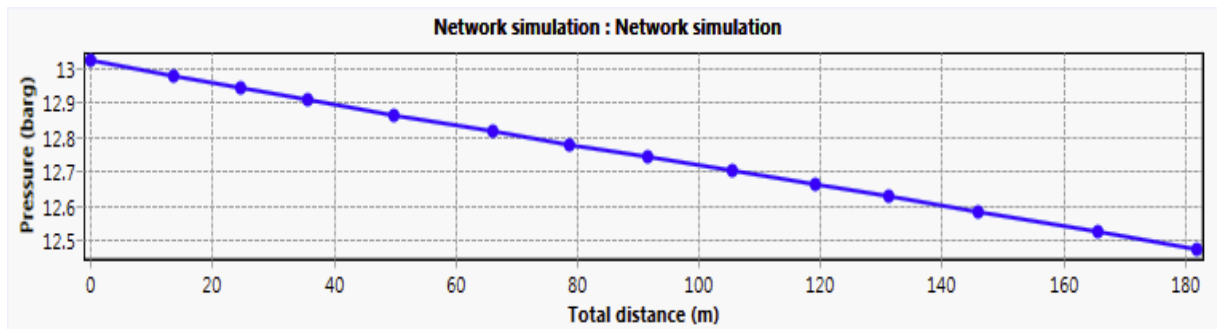


Fig.III.12. Gradient de pression dans la ligne JCT17 → JCT18

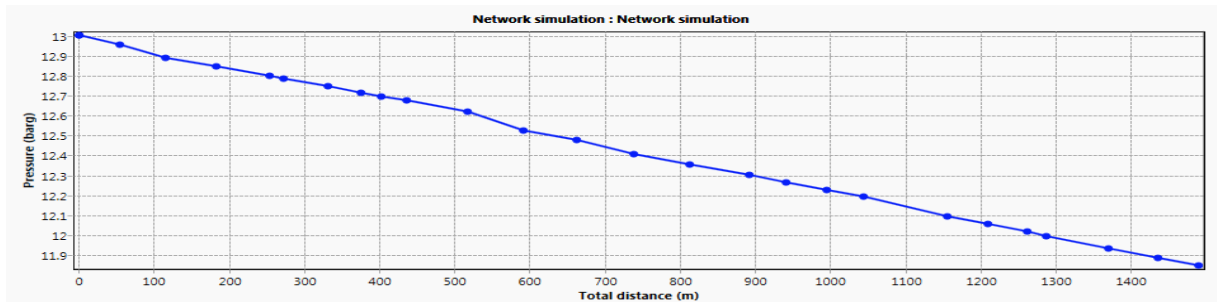


Fig.III.13. Gradient de pression dans la ligne MDZ548

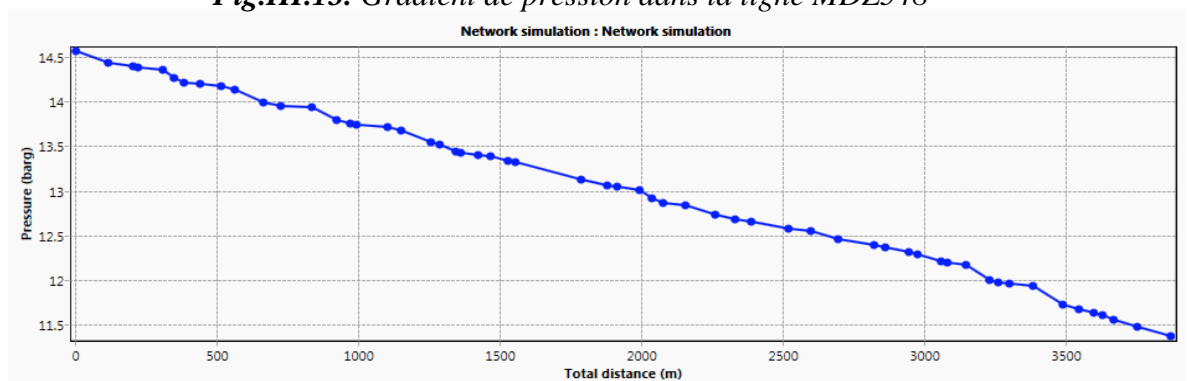


Fig.III.14. Gradient de pression dans la ligne JCT4 → J20

III.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait une modélisation du réseau de collecte (y compris les collecteurs) du satellite E2A en utilisant le logiciel PIPESIM 2017.2. Cette modélisation du réseau nous a permis de bien localiser les lignes de collecte ainsi que les collecteurs sous dimensionnés ou surdimensionnés (en se référant aux standards de SONATRACH).

Quatre (04) collecteurs et sept (07) lignes de collectes sont sous dimensionnés dans tout le réseau de collecte E2A qui comprend dix (10) collecteurs et vingt-deux (22) lignes de collecte. Pour remédier à ce problème nous allons faire une étude d'optimisation dans le chapitre suivant.

Chapitre

IV

Optimisation du réseau de collecte du satellite E2A

IV.1. Introduction

L'optimisation du réseau de collecte du satellite E2A consiste à faire des sensibilités sur les parties sous-dimensionnées ou surdimensionnées de ce dernier en se référant aux recommandations de SONATRACH qui définissent les intervalles des vitesses et des gradients de pressions admissibles pour éviter les problèmes de corrosion et d'érosion des pipelines acheminant les fluides multiphasiques. Cette étude d'optimisation a été effectuée moyennant le logiciel PIPESIM 2017.2.

IV.2. Procédure de l'optimisation du réseau de collecte

Généralement, la procédure d'optimisation s'effectue selon les étapes suivantes :

- Localiser les pipelines (collecteurs + collecte) sous-dimensionnés ou surdimensionnés en se basant sur la vitesse d'écoulement et le gradient de pression.
- Ajouter ou retirer des collecteurs selon la vitesse d'écoulement.
- Faire des sensibilités sur le diamètre des collecteurs à poser et prendre le plus adéquat.
- Proposer de remplacer les lignes de collecte sous-dimensionnés ou surdimensionnés.
- Faire des sensibilités sur le diamètre des collectes à poser et prendre le plus adéquat.

Selon les critères de SONATRACH relatifs au dimensionnement des pipelines de production des hydrocarbures, les vitesses d'écoulement doivent être comprises entre 1 m/s et 5 m/s. dans le cas des vitesses inférieure à 1 m/s on considère que le pipeline est surdimensionné par contre dans le cas où la vitesse est supérieure à 5 m/s le pipeline est sous-dimensionné. Le gradient de pression tolérable ne doit pas dépasser 1 bar/Km.

IV.3. Optimisation du réseau de collecte E2A

IV.3.1. Optimisation des collecteurs E2A

D'après les résultats de la modélisation effectuée dans le chapitre III, le tableau ci-dessous récapitule les collecteurs sous-dimensionnés (les collecteurs dont la vitesse d'écoulement est supérieure à 5 m/s ou le gradient de pression est supérieur à 1 bar/Km)

Tab. IV.1. Récapitulation des collecteurs sous dimensionnés

N° Collecteur	Départ	Arrivée	Diamètre (")	Longueur (m)	Observation
1	MFD E1A'	MFD E1A"	8	1050	Sous dimensionné
4	MFD E1A"	MFD E2A	8	800	Sous dimensionné
10	MFD M.E1A	MFD E2A	8	2100	Sous dimensionné
11	MFD M.E1A	MFD E2A	8	2100	Sous dimensionné

a. Optimisation des collecteurs reliant MFD E1A' au MFD E2A via MFD E1A''

Les quatre (04) collecteurs (1, 4,10 ,11) acheminent un fluide multiphasique avec des vitesses d'écoulement relativement élevées (collecteurs sous-dimensionnés), pour remédier à ce problème nous devons poser un nouveau collecteur reliant le manifold E1A' au manifold E2A via le manifold E1A''. Le diamètre de ce dernier sera déterminé par une étude de sensibilité à l'aide du logiciel PIPESEM.

▪ Sensibilité sur le diamètre du nouveau collecteur à poser

Nous avons testé plusieurs diamètres (entre 4'' et 14'') pour voir l'influence du diamètre sur l'écoulement dans les collecteurs sous-dimensionnés.

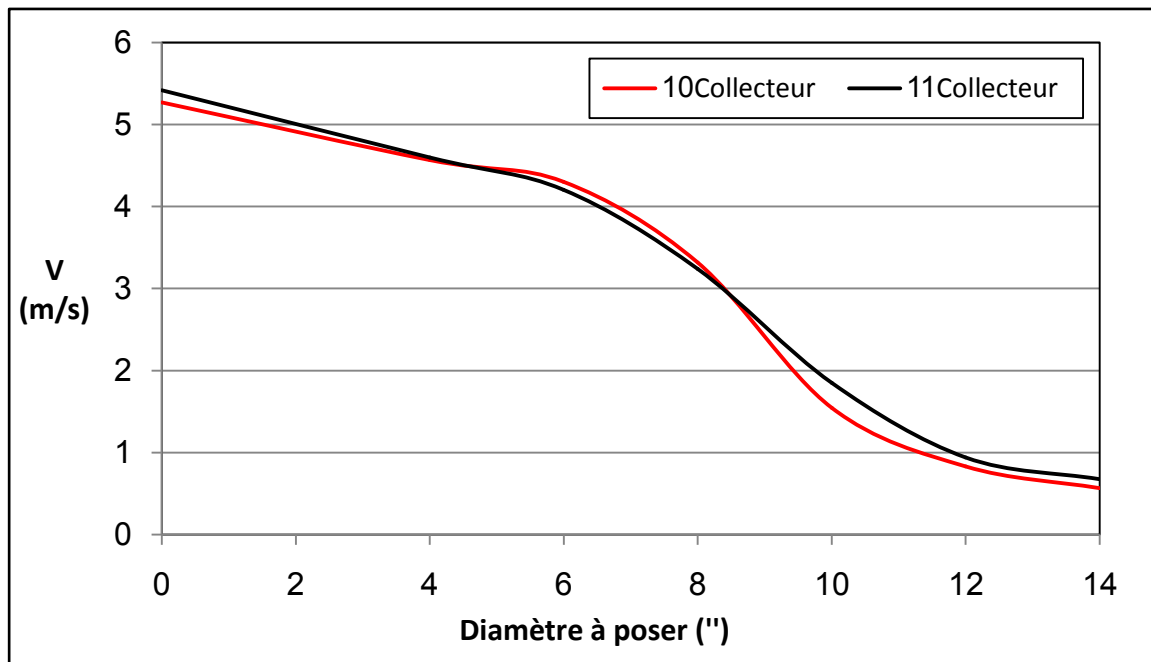


Fig. IV.1. Evolution des vitesses dans les collecteurs (10-11) en fonction du diamètre du nouveau collecteur à poser

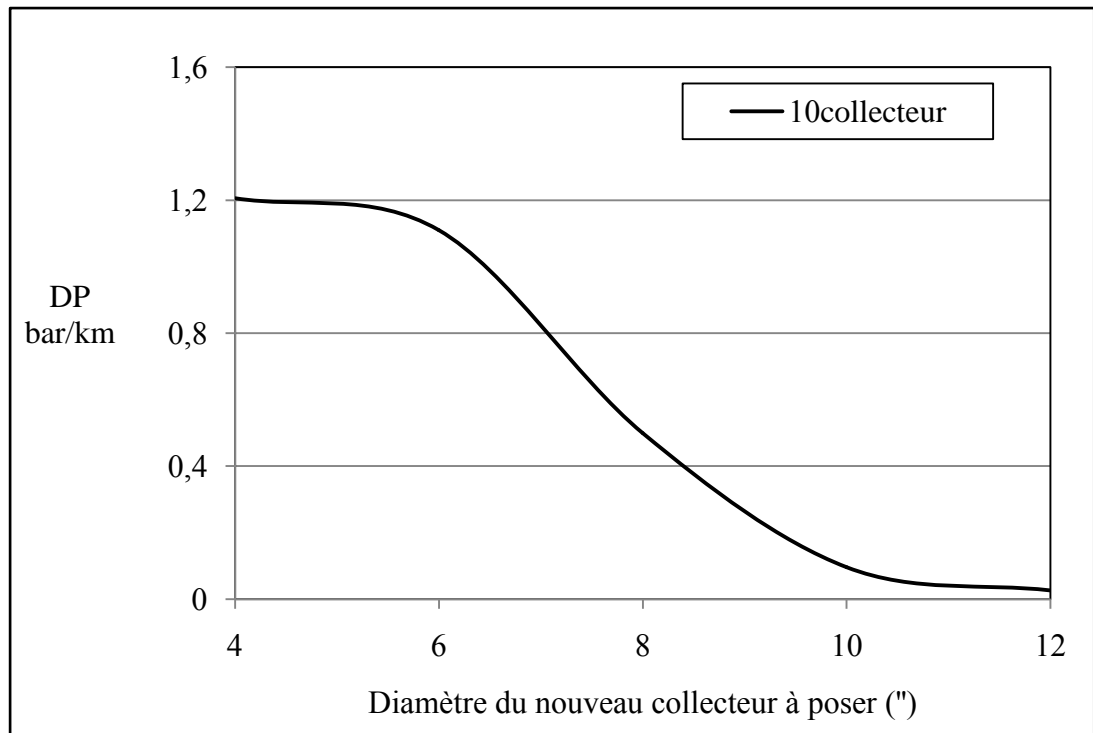


Fig. IV.2. Evolution du gradient de pression dans le collecteur 10 en fonction du diamètre du nouveau collecteur

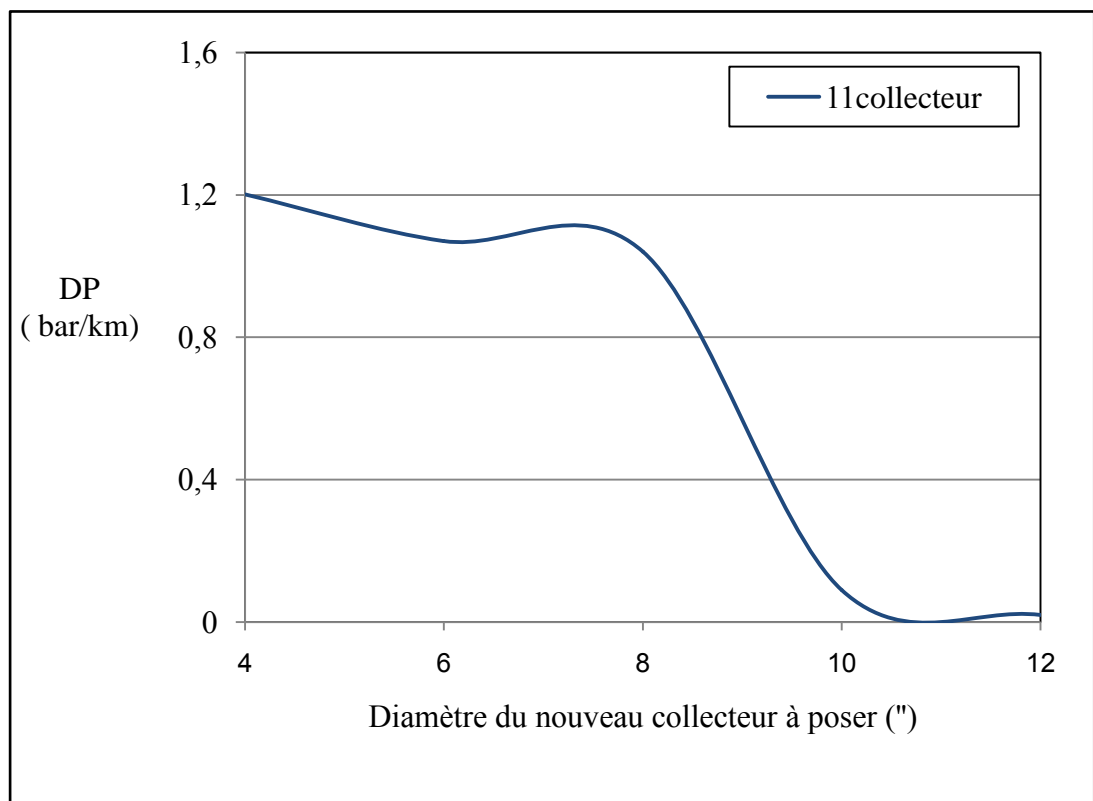


Fig. IV.3. Evolution du gradient de pression dans le collecteur 11 en fonction du diamètre du nouveau collecteur

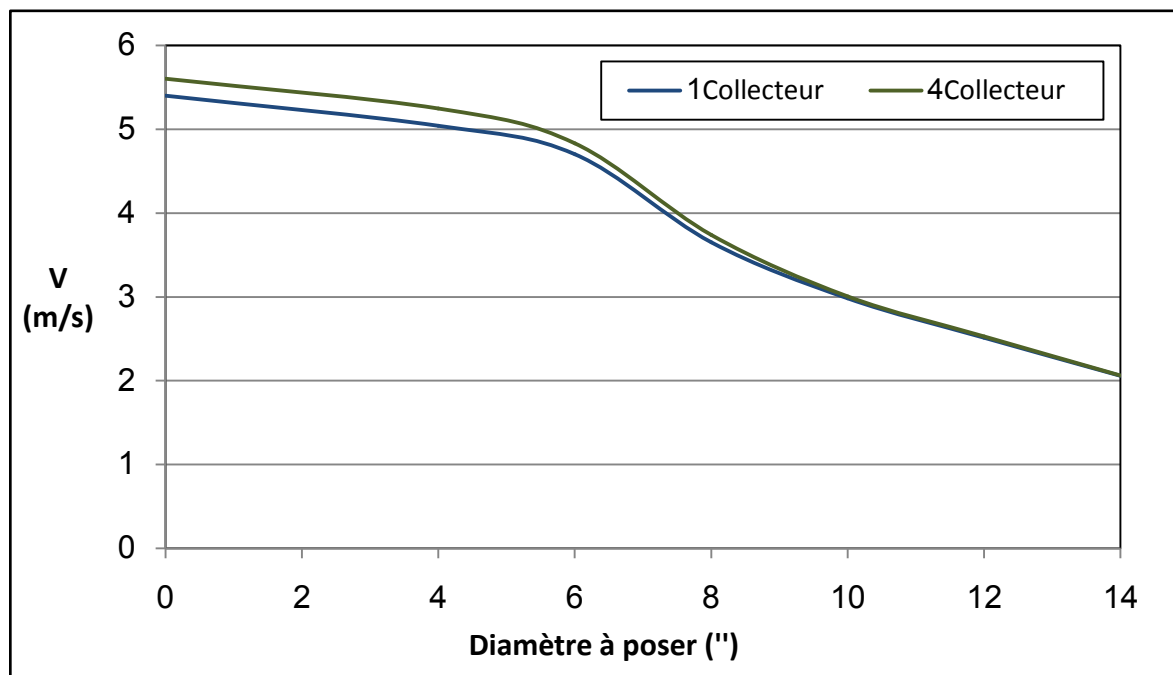
b. Optimisation des collecteurs reliant MFD M.E1A au MFD E2A

Fig. IV.4. Evolution des vitesses dans les collecteurs (1-4) en fonction du diamètre du nouveau collecteur à poser

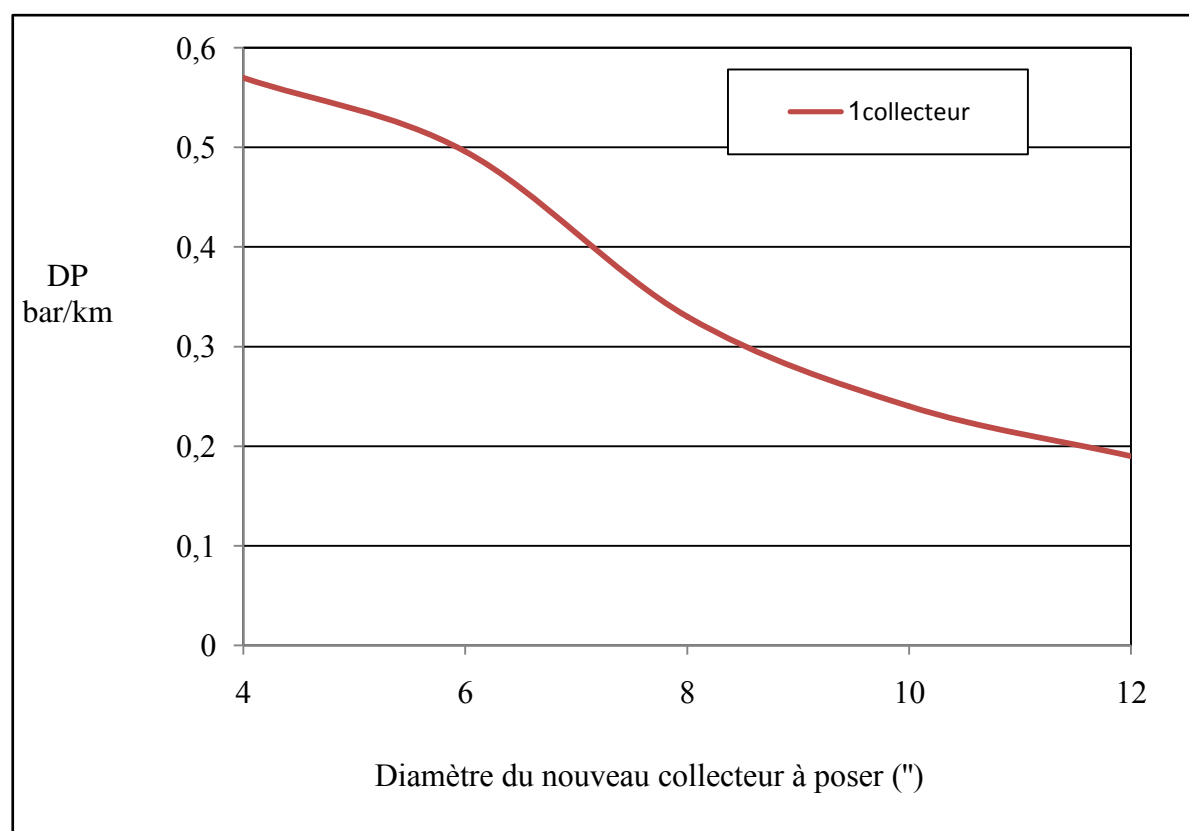


Fig. IV.5. Evolution du gradient de pression dans le collecteur 1 en fonction du diamètre du nouveau collecteur

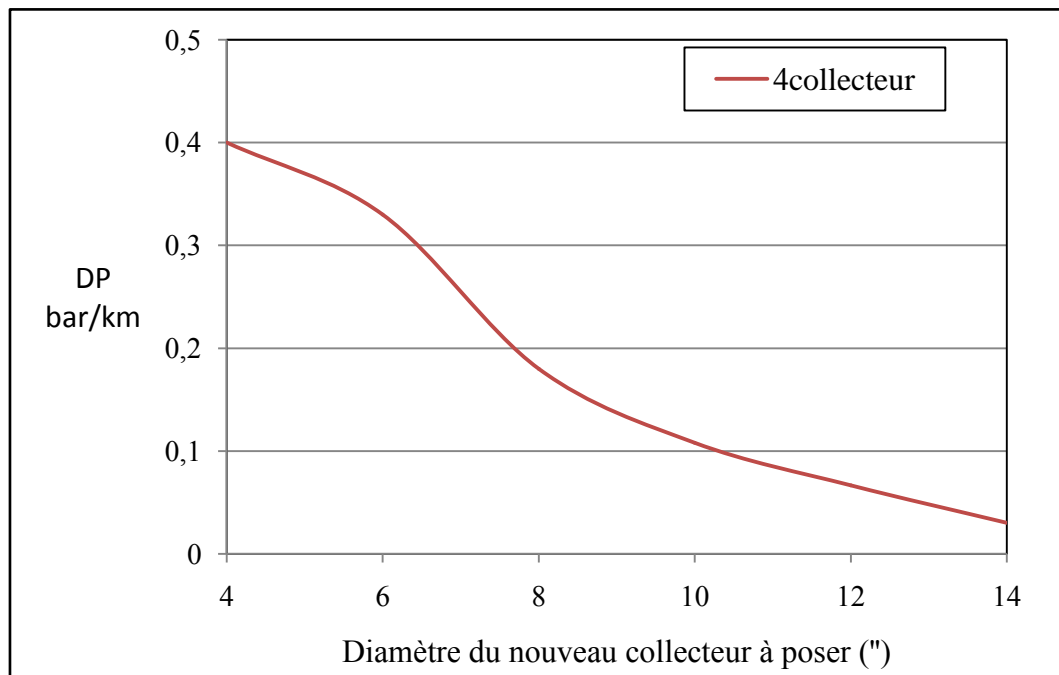


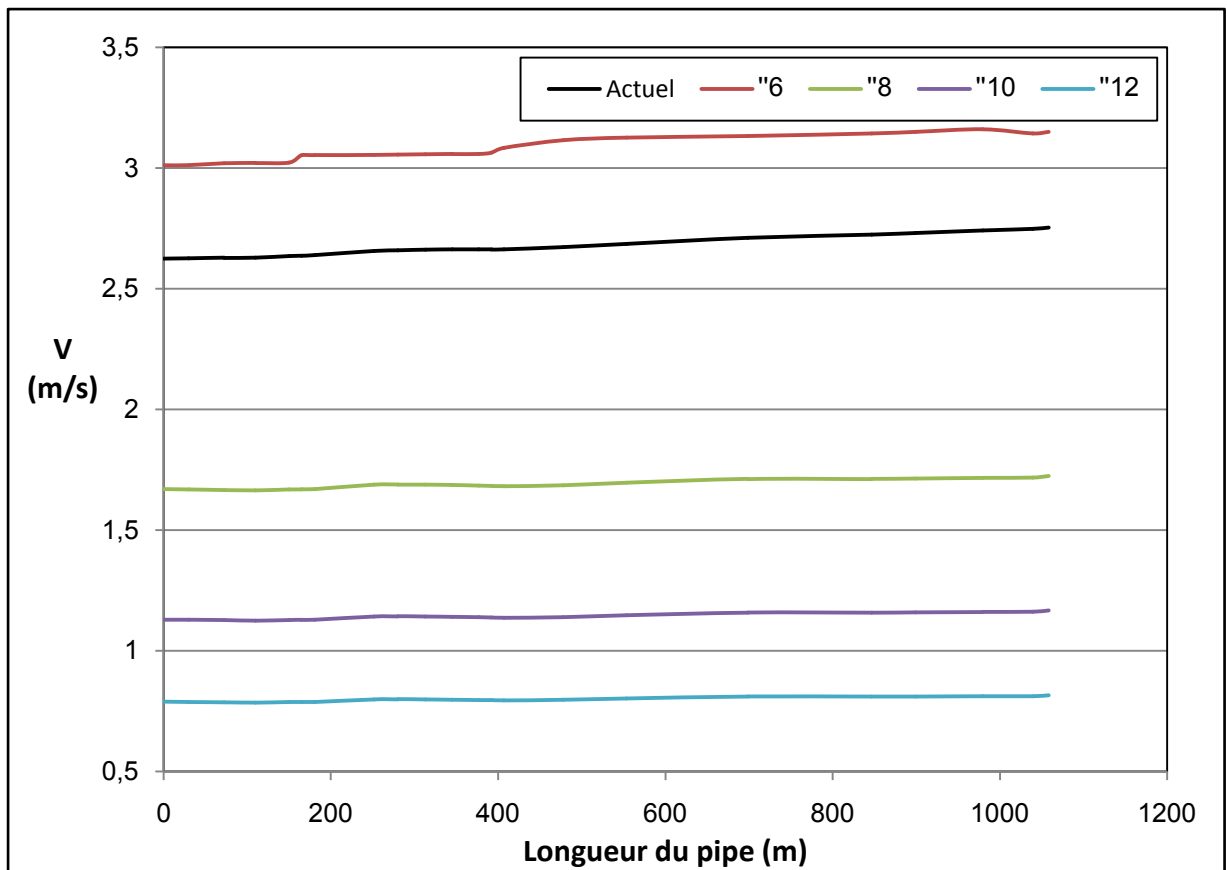
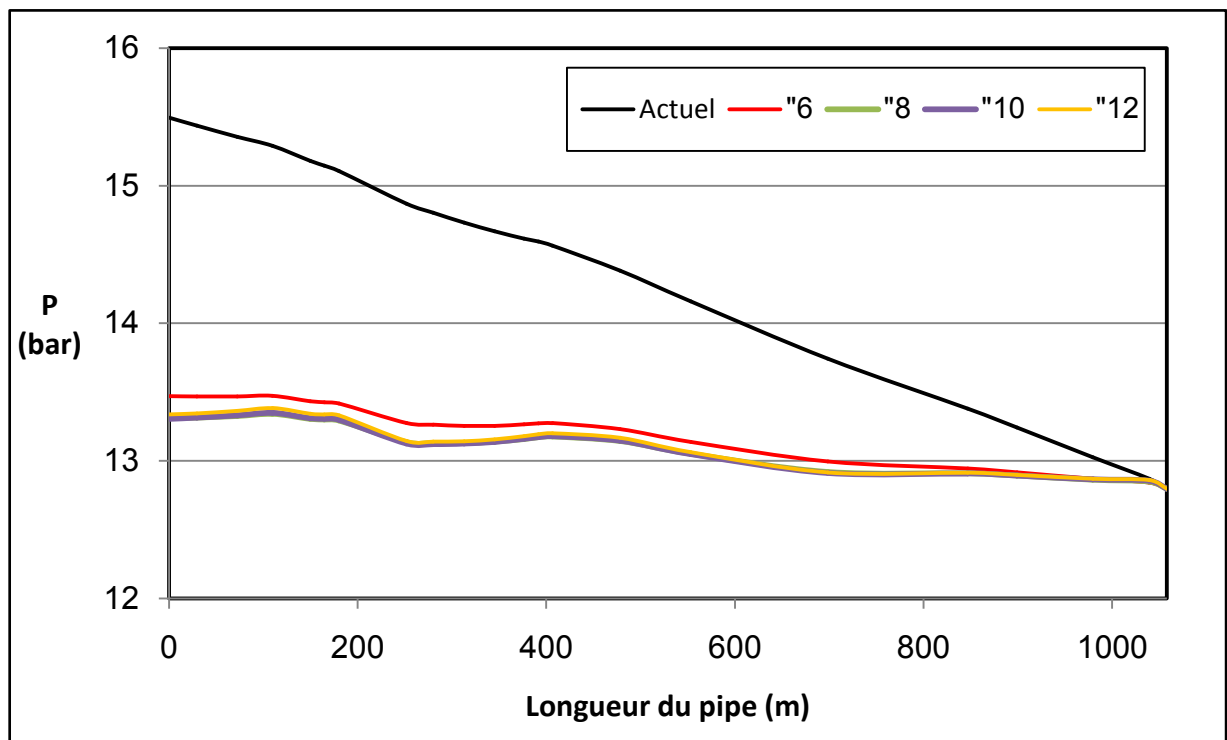
Fig. IV.6. Evolution du gradient de pression dans le collecteur 1 en fonction du diamètre du nouveau collecteur

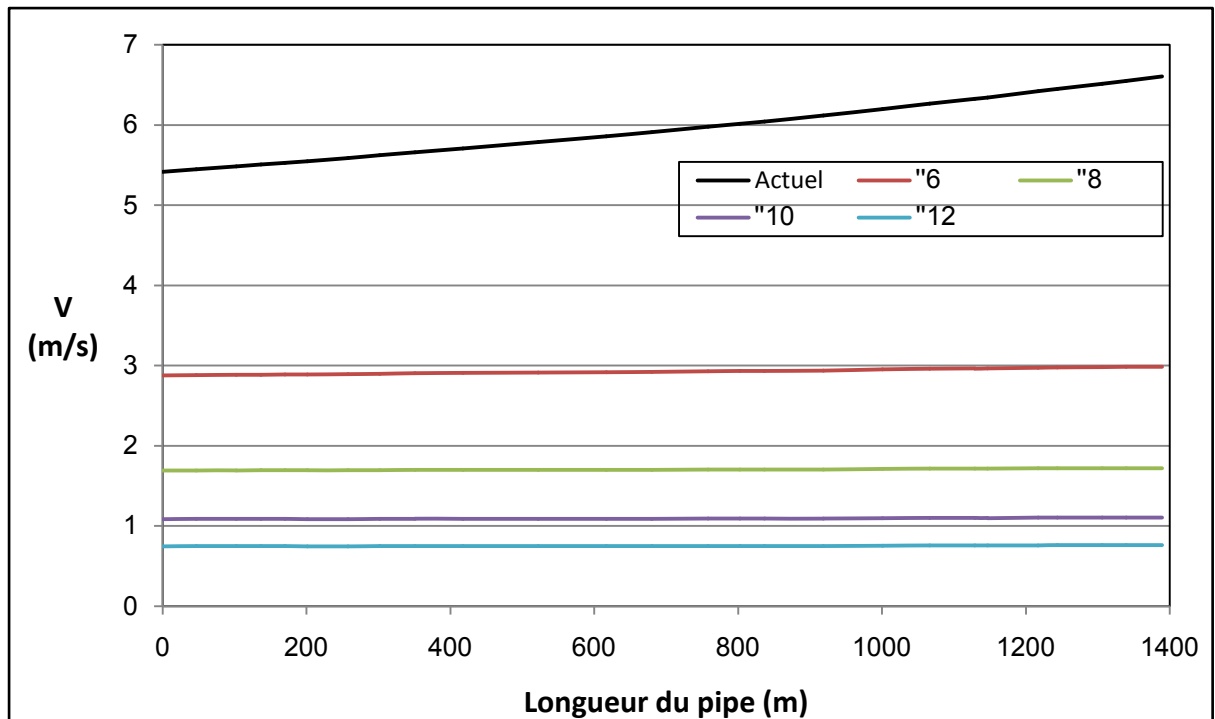
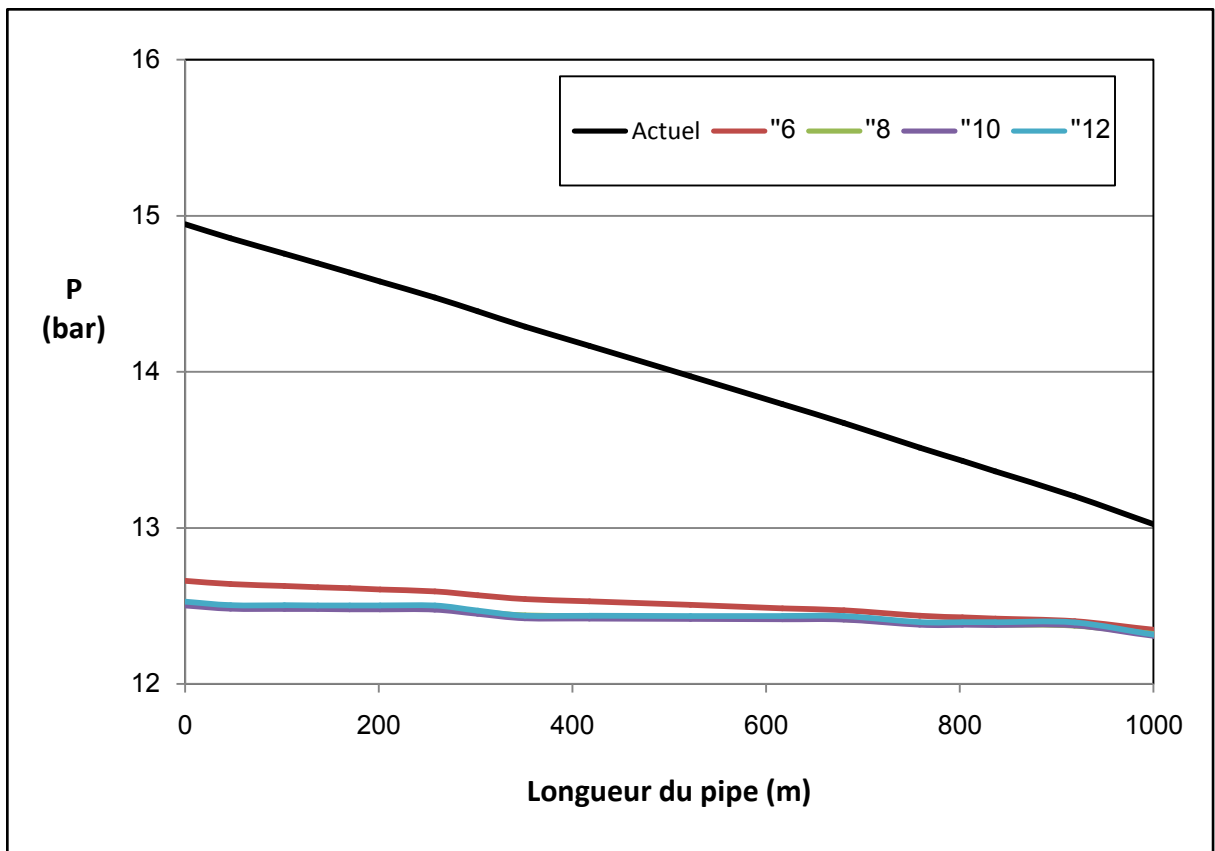
IV.4. Optimisation des lignes de collecte E2A

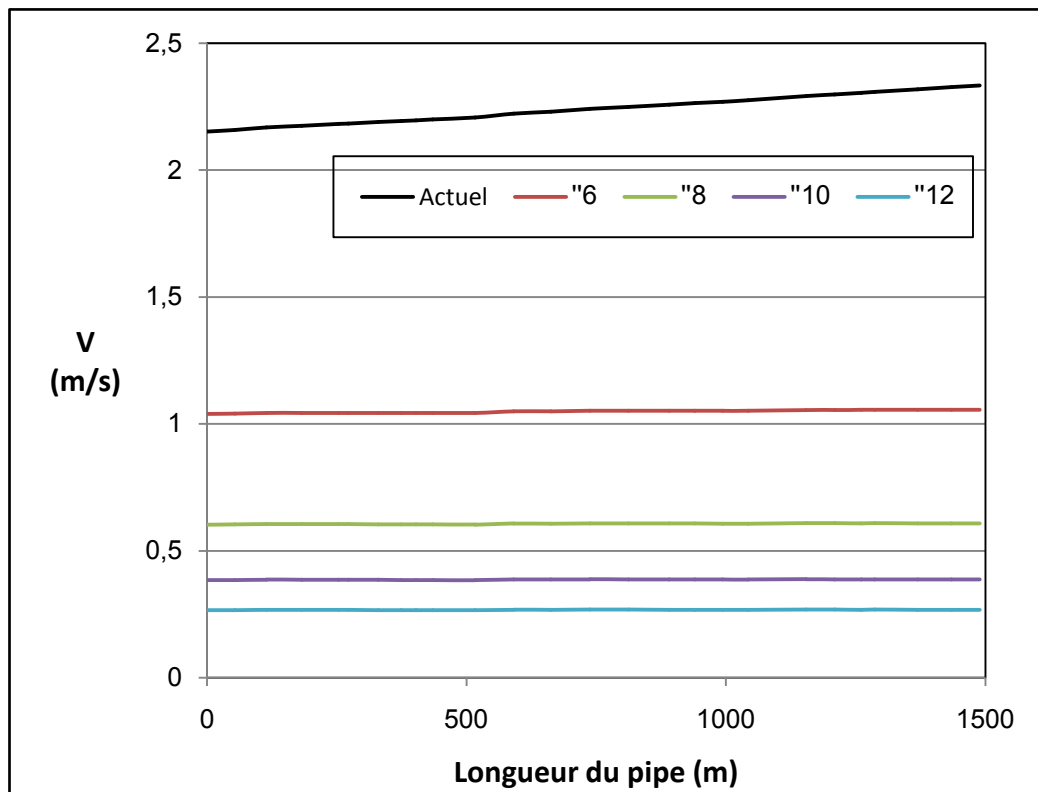
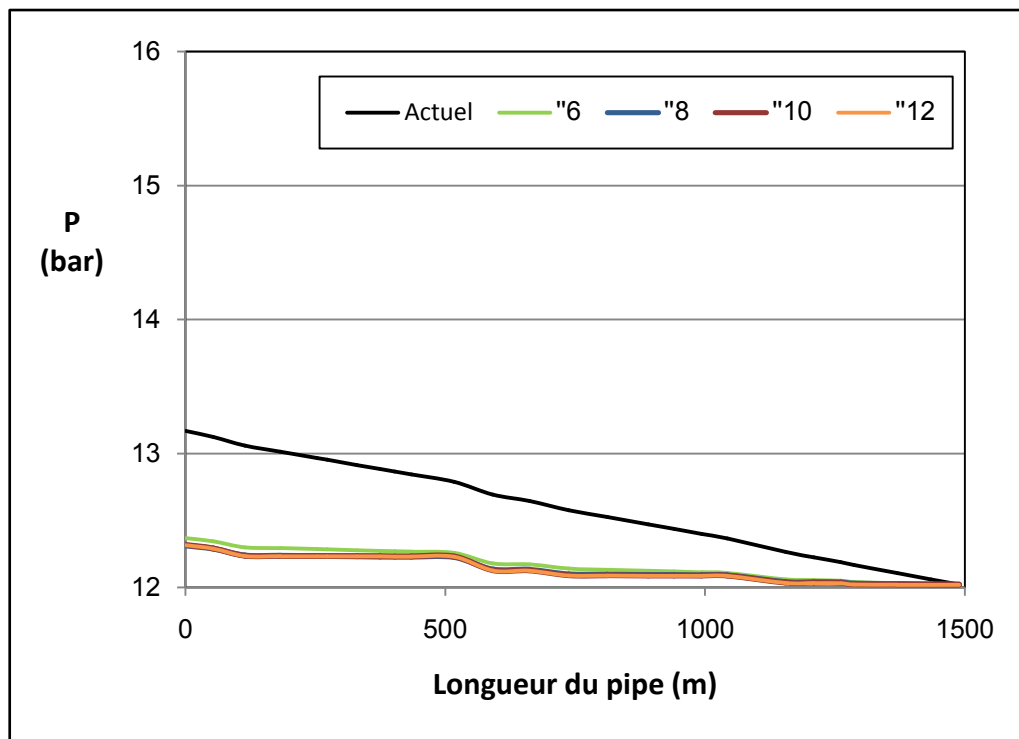
D'après les résultats de la modélisation effectuée dans le chapitre III, le tableau ci-dessous récapitule les lignes de collecte sous-dimensionnés (les collecteurs dont la vitesse d'écoulement est supérieure à 5 m/s ou le gradient de pression est supérieur à 1 bar/Km).

Tab. IV.2. Récapitulation des lignes de collecte sous dimensionnées

Collecte	Départ	Arrivée	Diamètre (")	Longueur (m)	Observation
1	MD122	1	4	1058	Sous dimensionné
2	MD215	J17	4	1389	Sous dimensionné
3	MDZ548	J19	4	1489	Sous dimensionné
4	MDZ703	J20	6	1700	Sous dimensionné
5	2	J18	6	1437	Sous dimensionné
6	J18	J17	6	182	Sous dimensionné
7	4	J20	8	3865	Sous dimensionné

IV.4.1. Optimisation de ligne de collecte 1 (MD122 →I) :*Fig. IV.7. Evolution de la vitesse en fonction du diamètre de la ligne de collecte**Fig. IV.8. Evolution de la pression en fonction du diamètre de la ligne de collecte*

IV.4.2. Optimisation de ligne de collecte 2 (MD215 → J17) :*Fig. IV.9. Evolution de la vitesse en fonction du diamètre de la ligne de collecte**Fig. IV.10. Evolution de la pression en fonction du diamètre de la ligne de collecte*

IV.4.3. Optimisation de ligne de collecte 3 (MDZ548 → J19)*Fig. IV.11. Evolution de la vitesse en fonction du diamètre de la ligne de collecte**Fig. IV.12. Evolution de la pression en fonction du diamètre de la ligne de collecte*

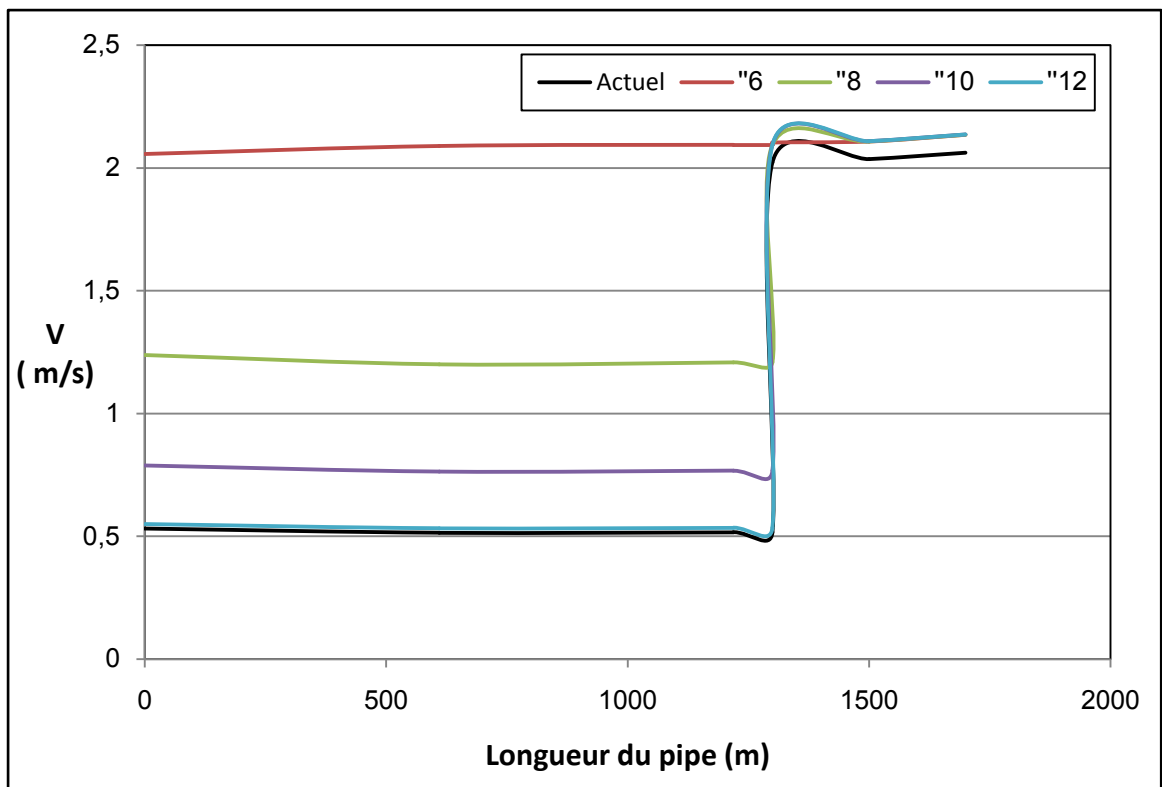
IV.4.2. Optimisation de ligne de collecte 4 (MDZ703 →J20)

Fig. IV.13. Evolution de la vitesse en fonction du diamètre de la ligne de collecte

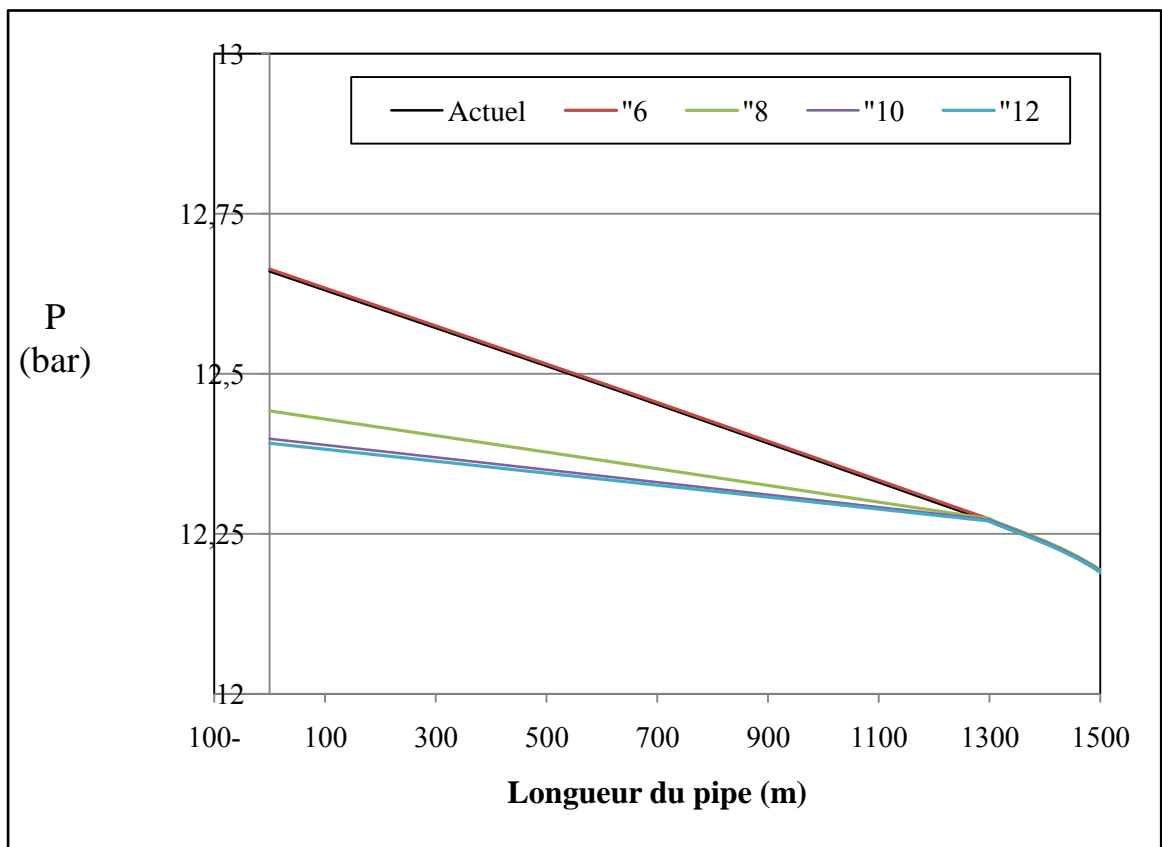


Fig. IV.14. Evolution de la pression en fonction du diamètre de la ligne de collecte

IV.4.3. Optimisation de ligne de collecte 5(2 → J18)

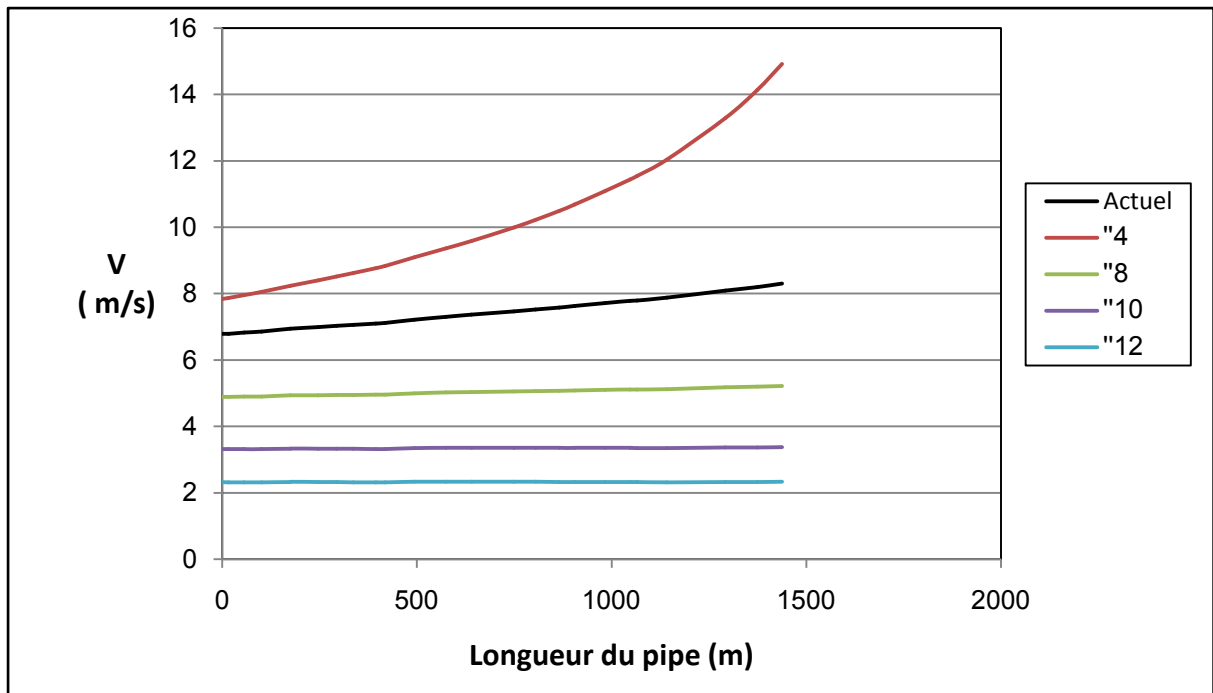


Fig. IV.15. Evolution de la vitesse en fonction du diamètre de la ligne de collecte

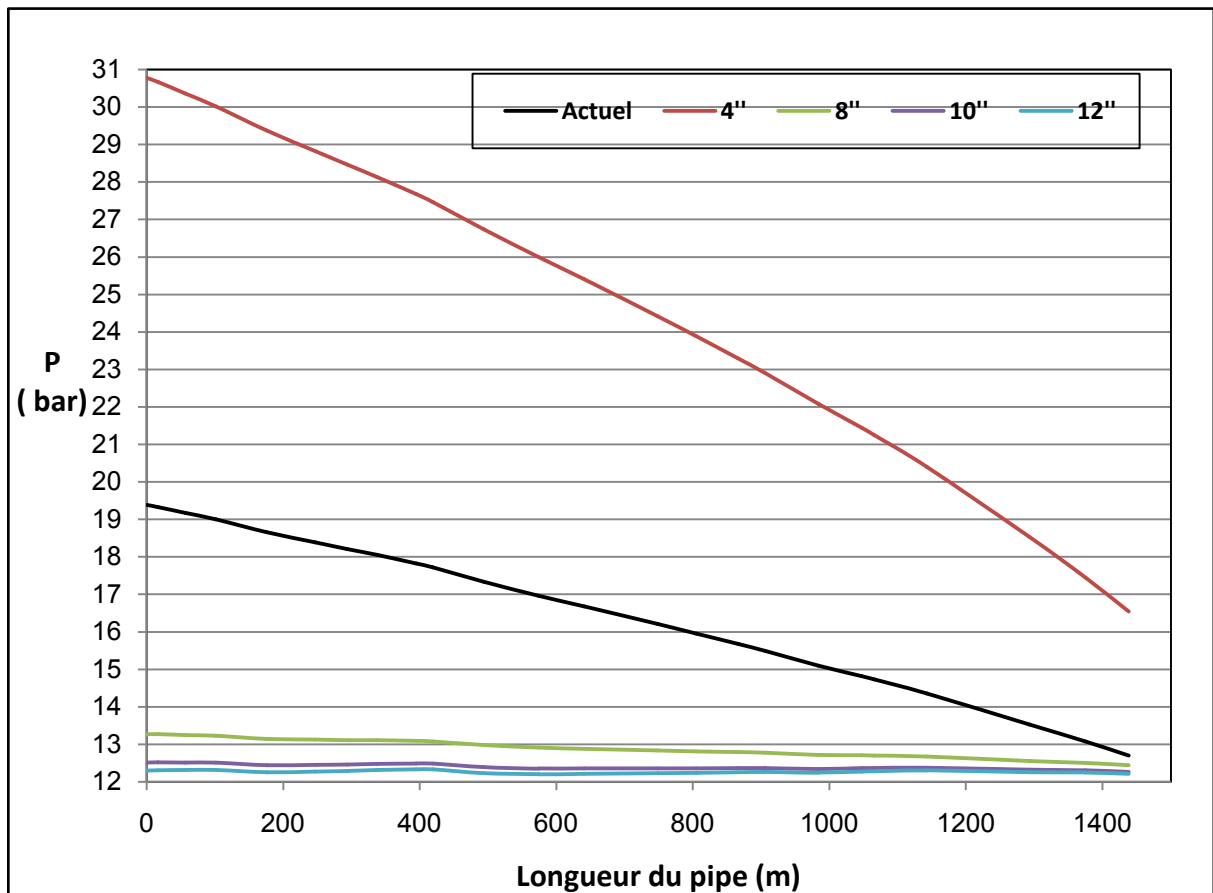


Fig. IV.16. Evolution de la pression en fonction du diamètre de la ligne de collecte

IV.4.2. Optimisation de ligne de collecte 6(J18 → J17)

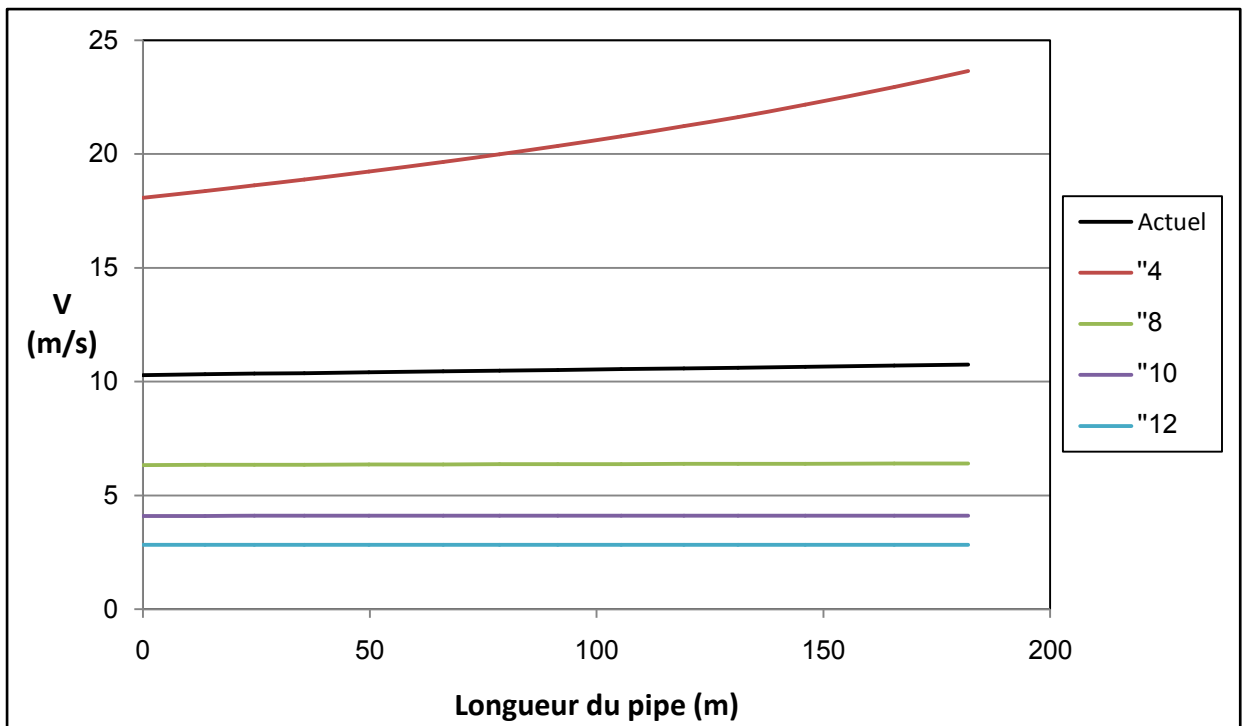


Fig. IV.17. Evolution de la vitesse en fonction du diamètre de la ligne de collecte

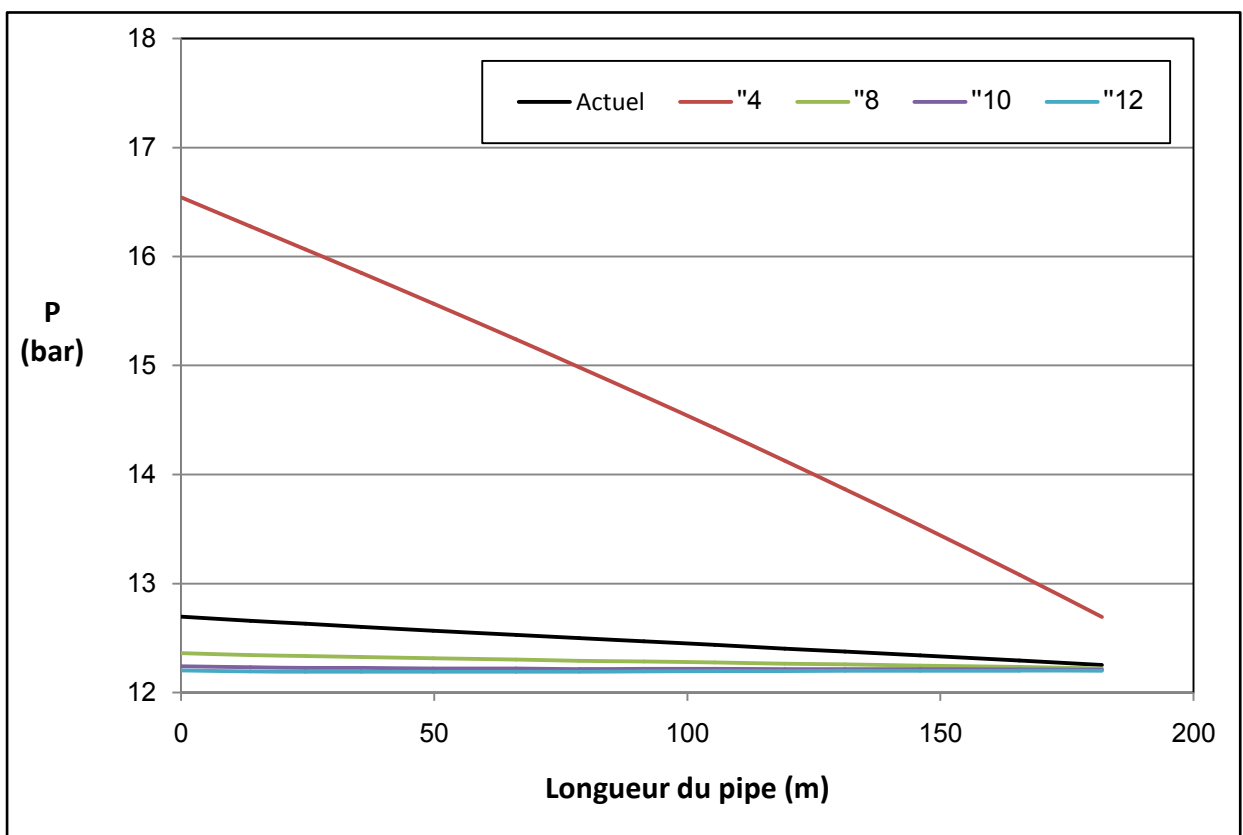


Fig. IV.18. Evolution de la pression en fonction du diamètre de la ligne de collecte

IV.4.3. Optimisation de ligne de collecte 7(4→J20)

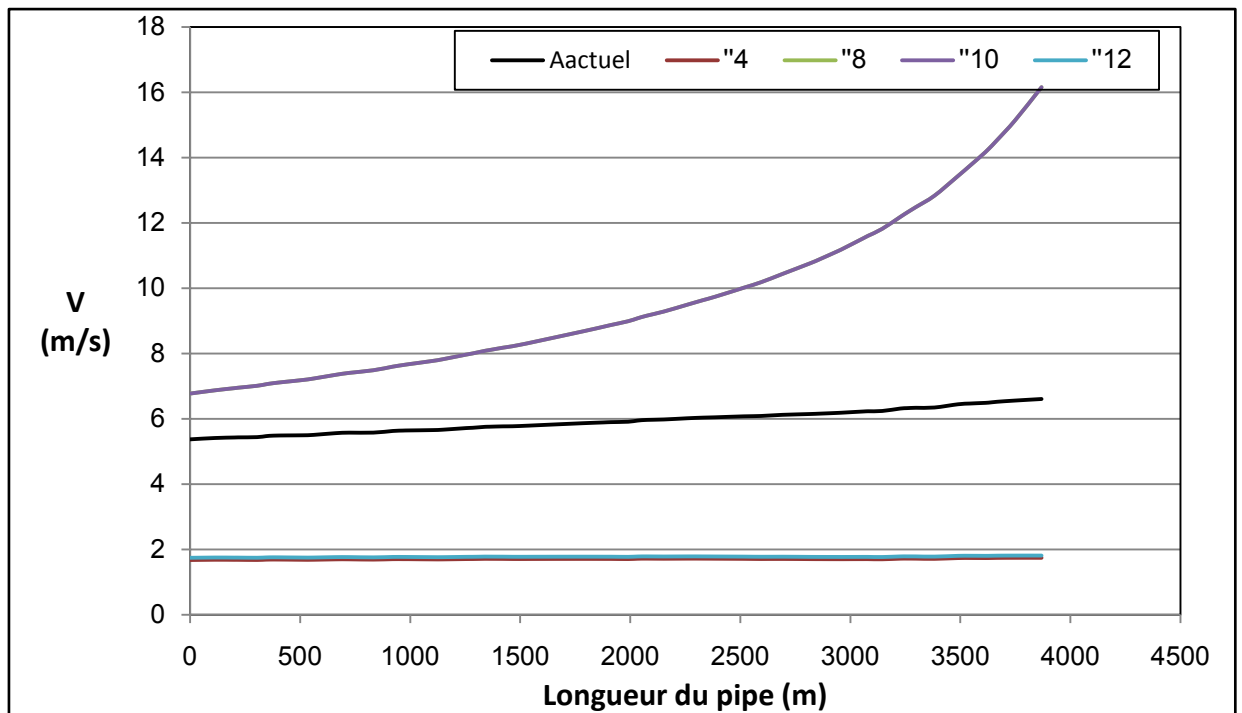


Fig. IV.19. Evolution de la vitesse en fonction du diamètre de la ligne de collecte

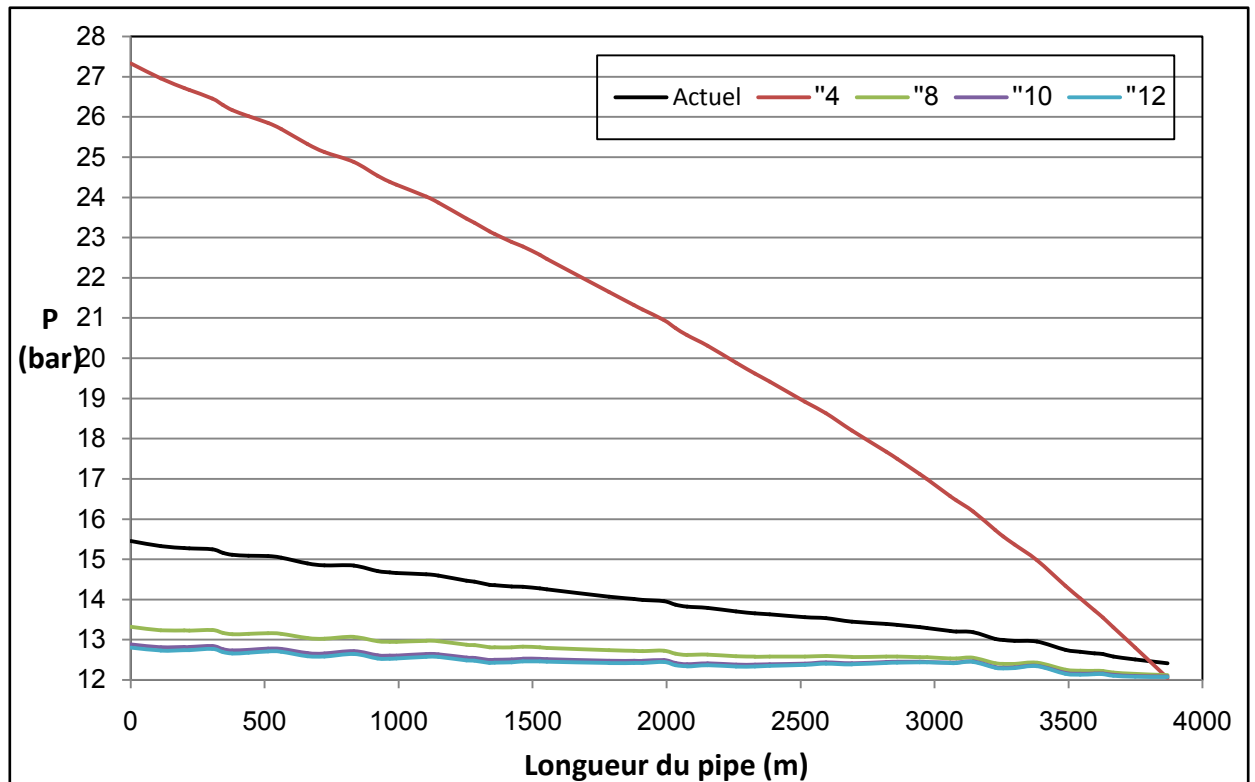


Fig. IV.20. Evolution de la pression en fonction du diamètre de la ligne de collecte

IV.4. Résultats de l'optimisation du réseau de collecte E2A

IV.4.1. Vitesses moyennes avant et après optimisation

▪ Dans les collecteurs

Tab. IV.3. Comparaison des vitesses dans les collecteurs avant et après optimisation.

N° Collecteur	Départ	Arrivée	Diamètre (")	V (m/s) Avant optimisation	V (m/s) Après optimisation	Observation
1	MFD E1A'	MFD E1A"	8	5,4	2,512	Ajouter nouveau collecteur de 12"
4	MFD E1A"	MFD E2A	8	5,6	2,529	Ajouter nouveau collecteur de 12"
10	MFD M.E1A	MFD E2A	8	5,276	1,547	Ajouter nouveau collecteur de 10"
11	MFD M.E1A	MFD E2A	8	5,42	1,85	Ajouter nouveau collecteur de 10"

▪ Dans les collectes

Tab. IV.4. Comparaison des vitesses dans les lignes de collecte avant et après optimisation.

Collecte	Départ	Arrivée	Diamètre (")	V (m/s) Avant optimisation	V (m/s) Après optimisation	Observation
1	MD122	1	4	5,76	2,33	Remplacé par 6"
2	MD215	J17	4	5,75	2,79	Remplacé par 6"
3	MDZ548	J19	4	2,25	1,001	Remplacé par 6"
4	MDZ703	J20	6	3,45	2,011	Remplacé par 8"
5	2	J18	6	7,322	2,22	Remplacé par 12"
6	J18	J17	6	10,151	2,7	Remplacé par 12"
7	4	J20	8	6,321	2,39	Remplacé par 10"

IV.4. 2. Gradients de pression avant et après optimisation▪ **Dans les collecteurs***Tab. IV.5. Comparaison des gradients de pression dans les collecteurs avant et après optimisation.*

N° Collecteur	Départ	Arrivée	Diamètre (")	Gradient P Avant optimisation	Gradient P Après optimisation	Observation
1	MFD E1A'	MFD E1A"	8	0,651	0,19	Ajouter nouveau collecteur de 12"
4	MFD E1A"	MFD E2A	8	0,472	0,0665	Ajouter nouveau collecteur de 12"
10	MFD M.E1A	MFD E2A	8	1,384	0,096	Ajouter nouveau collecteur de 10"
11	MFD M.E1A	MFD E2A	8	1,22	0,09	Ajouter nouveau collecteur de 10"

▪ **Dans les collectes***Tab. IV.6. Comparaison des gradients de pression dans les lignes de collecte avant et après optimisation.*

Collecte	Départ	Arrivée	Diamètre (")	Gradient P Avant optimisation	Gradient P Après optimisation	Observation
1	MD122	1	4	2,32	0,67	Remplacé par 6"
2	MD215	J17	4	2,7	0,531	Remplacé par 6"
3	MDZ548	J19	4	1,164	0,35	Remplacé par 6"
4	MDZ703	J20	6	2,595	0,63	Remplacé par 8"
5	2	J18	6	2,95	0,2	Remplacé par 12"
6	J18	J17	6	0,549	0,036	Remplacé par 12"
7	4	J20	8	3,192	0,75	Remplacé par 10"

IV.5. Conclusion

Après avoir localisé les collecteurs et les collectes sous dimensionnés du réseau de collecte du satellite E2A dans le chapitre précédent, nous avons procédé dans ce chapitre à les optimiser en se référant aux recommandations de SONATRACH.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le présent travail représente une simulation du réseau de collecte du satellite E2A (situé au champ sud de Hassi Messaoud) en utilisant le logiciel PIPESIM comme outil de calcul.

La sélection des pipelines présentant un problème de dimensionnement est effectuée en se basant sur les deux critères (Vitesse moyenne d'écoulement et gradient de pression dans le pipeline en question) de SONATRACH concernant le dimensionnement des pipelines acheminant un effluent multiphasique.

La simulation de la configuration actuelle du réseau de collecte E2A nous a montré que ledit réseau n'est pas en conformité vis-à-vis des critères sus cités. On conclue que plusieurs lignes de collecte et collecteurs sont sous-dimensionnés à savoir :

- Trois (03) lignes de collecte de diamètre 4".
- Trois (03) lignes de collecte de diamètre 6".
- Une (01) ligne de collecte de diamètre 8".
- Quatre (04) collecteurs de diamètre 8".

Pour résoudre à ce problème de dimensionnement, nous avons procédé à une étude d'optimisation en faisant des sensibilités sur les diamètres des pipelines sous-dimensionnés. Nous avons obtenu les résultats suivants conformément aux recommandations de l'entreprise à savoir :

- Changer les trois lignes de collecte de diamètre 4" par des lignes 6".
- Changer une ligne de collecte de diamètre 6" par une ligne 8", les deux autres par deux lignes de 12".
- Changer la ligne de collecte de diamètre 8" par une ligne 10".
- Poser un nouveau collecteur de diamètre 12" reliant MFD E1A' au MFD E1A''.
- Poser un nouveau collecteur de diamètre 12" reliant MFD E1A'' au MFD E2A.
- Poser un nouveau collecteur de diamètre 10" reliant MFD E1A au MFD M.E1A.

Ces modifications vont nous permettre d'un côté la mise en conformité du réseau par rapport aux recommandations en vigueur de SONATRACH et d'un autre côté de soulager le réseau de collecte en diminuant les pressions au niveau des manifolds.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

✓ Livres

- [1] Arnold, Ken, Surface Production Operations VOLUME 1, Design of Oil-Handling Systems and Facilities, Ken Arnold, Maurice Stewart. — 2nd Ed., ISBN 0-88415-821-7 P286
- [2] Florent Ravelet, Ecoulements multiphasiques en conduite, Laboratoire DynFluid, Arts et Métiers ParisTech, novembre 2012 p16.
- [3] L. Mailhe, Cours de production, Tome 13 : Collecte-Traitement-Stockage, Edition: technip, ISBN : 2.7108-0239-2 p17.19.20
- [4] Marcel Dekker. Liquid Pipeline Hydraulics. Mechanical engineering. Chapter 4 & Chapter 5.

✓ Thèses et mémoires

- [5] M.Larkem et L.Abbas (2012). Analyse et diagnostic du réseau de collecte du satellite S1A(champ sud HMD). Mémoire d'ingénieur d'état. Université de Boumedas. p1.p2.p5.p12.p17.
- [6] N.ZIADNA et M.FERGANI et M.DJENANE (2017). Early Production Facilities. Mémoire de licence. Université de Ouargla. P15.18.

✓ Rapport

- [7] Etude de perte de charge dans les conduites P18/19.20.21.22.23
- [8] Présentation Satellite SUD1
- [9] Théorie générale. P16.p17

Annexe A

Satellite E2A

La fiche du satellite E2A :

Les données topographiques :

Satellite	E2A
Démarrage Unité	Juin 1975
Altitude	144M
Superficie	4.9h
Distance vers CIS	12 km
Manifolds et Puits	Manifolds : E2A, E1A', E1A'' et E1A, 33 puits producteurs dont 15 sont fermés

Capacité de séparation et de boosting des satellites CIS

Satellite	Capacité de séparation Design		Capacité de séparation Actuelle (m3/j)		Capacité de boosting		
	Huile (m3/j)	Gaz (10 ⁶ sm3/j)	Huile (m3/j)	Gaz (10 ⁶ sm3/j)	Design 10 ⁶ sm3/j)	Potentiel EP (10 ⁶ sm3/j)	Observations
S1A	17250	2,112	3800	1,500	2,100	2,500	Gaz excédentaire vers LDBP ou torché
E2A	15187	1,827	1700	1,200	1,800	1,000	-
E1C	15000	3,800	5100	2,500	3,800	2,800	Le complément de gaz pour saturer les compresseurs provient de OMP53 (R200)

Fiche technique des séparateurs de production

Satellite	Repère Eng.	Nombre	Débit huile (m ³ /j)	Débit gaz (sdm ³ /j)	Débit total en Huile m ³ /j	Débit total en gaz (10 ³ .sdm ³ /j)	Pression service (bar)	Volume (m ³)
S1A	FD601 A/B/C/S	04	4312	528000	17248	2,112	10.5	11,000
E2A	FD1901 A/B/S	03	5062	600000	15187	1,800	11-41	32,540
E1C	FD2101 A/B	02	7500	1900000	15000	3,800	9-15	125,000

Fiche technique des compresseurs

Satellite	Nbre de Moto compresseur	Marque	Nbre étages	Vitesse Tr/min	Puissance moteur (kw)	Pression asp (bar)	Pression Ref bar	Débit (10 ⁶ .sm3/j)
S1A	1	Creusot Loire	4	9550	6000	10	33	2,100
E2A	1	Creusot Loire	4	9280	6000	10	33	1,800
E1C	2	Creusot Loire	4	9660	6000	10	33	1,900

Pipes d'huile et de gaz :

Satellite	Diamètre Pipe expédition Brut	Diamètre Pipe expédition Gaz
S1A	8 et 12'' vers CIS, 6140 m	12'' vers LDBP (FTS1)
	10'' vers UTBS, 7504 m	16'' vers CIS, 5250 m
E2A	12'' vers CIS, 7800 m	16'' vers CIS, 7650 m
	10'' vers UTBS, 15920 m	14'' banalisée avec E1C
	12'' (vers CIS via E1A) avec EP	
E1C	18'' vers CIS , 13784 m	24'' vers CIS, 15400 m
	14'' vers UTBS, 24551 m	14'' Arrivée OMP53

Annexe B

Les données du calcul

	Départ	Arrive	LONG	VM	DP	GRADIEN T
MD122	MD122	1	1058	5,76	2,32	2,1928166
MD322	MD322	1	234	1,78	0,03	0,1282051
MDZ550	MDZ550	2	112	2,505	0,048	0,4285714
MDZ534	MDZ534	J18	2360	1,682	0,719	0,304661
MD204	MD204	J17	1157	1,69	0,203	0,1754538
MD215	MD215	J17	1389	5,75	2,7	1,9438445
MD318	MD318	J17	984	2,715	0,078	0,0792683
MD254	MD254	J6	1270	2,31	0,969	0,7629921
MDZ548	MDZ548	J19	1489	2,25	1,164	0,7817327
MD33	MD33	J16	1356	4,31	0,786	0,579646
MD368	MD368	J16	402	4,23	0,286	0,7114428
MD406	MD406	J13	2973	4,516	2,212	0,7440296
MD444	MD444	J21	1450	1,03	0,169	0,1165517
MD289	MD289	J14	988	1,2	0,7	0,708502
MD239	MD239	4	110	1,73	0,031	0,2818182
MD256	MD256	4	1550	3,89	0,55	0,3548387
MD188	MD188	J20	3672	1,91	0,374	0,1018519
MDZ703	MDZ703	J20	1700	3,45	2,595	1,5264706
1	MFD E1Ap	J2	1039	5,4	0,651	0,626564
2	MFD E1Ap	MFD E1App	1039	3,59	0,012	0,0115496
3	MFD E1Ap	MFD E1App	1039	5,02	0,782	0,7526468
4	J2	MFD E2A	845	5,6	0,472	0,5585799
5	MFD E1App	MFD E2A	845	4,39	0,324	0,383432
6	MFD E1App	MFD E2A	845	3,62	1,384	1,6378698
7	J13	J11	754	8,63	0,764	1,0132626
8	FERMER	FERMER	754	FERMER	FERMER	**
9	J14	MFD E2A	2756	1,73	1,696	0,6153846
10	MFD M.E1A	MFD E2A	2018	5,276	1,384	0,6858276
11	J11	MFD E2A	2018	5,42	1,22	0,604559
MD122_MD322	1	2	358	4,2	0,198	0,5530726
MDZ550_MDZ534	2	J18	1437	7,322	2,95	2,052888
MDZ534_MD318	J18	J17	182	10,151	0,549	3,0164835
MD239-MD256_J20	4	J20	3865	6,321	3,192	0,8258732

Les données de modélisation

COLLECTEUR 1		
DIAMERTRE	VM	DP
4	5,04	0,57
6	4,7	0,496
8	3,65	0,33
10	2,98	0,24
12	2,512	0,19

Les données du CLT 1

COLLECTEUR 10		
DIAMETRE	VM	DP
4	4,57	1,206
6	4,304	1,11
8	3,32	0,5
10	1,547	0,096
12	0,832	0,026

Les données du CLT10

COLLECTEUR 4		
DIAMETRE	VM	DP
4	5,245	0,4
6	4,83	0,33
8	3,739	0,18
10	3,005	0,108
12	2,529	0,0665
14	2,04	0,03

Les données du CLT 4

COLLECTEUR 11		
Diamètre	DP	Vm
4	1,201	5,42
6	1,07	4,205
8	1,04	4,09
10	0,09	1,85
12	0,02	0,84

Les données du CLT 11

Vm(m/s)							
DIAMETRE	MD122	2_J18	J18_J17	MD215	MDZ703	4_J20	MDZ548
4	5,76	11,24	20,43	5,9	2,014	3,72	2,01
6	2,33	7,4	10,31	2,79	2,011	3,72	1,001
8	1,61	4,8	6,07	1,62	1,72	3,72	0,57
10	1,08	3,15	3,87	1,03	1,38	2,39	0,365
12	0,76	2,22	2,7	0,72	1,27	1,675	0,36

Les données de vitesse des collectes

Données de pression des lignes de collecte sous-dimensionnées :

MD122

longueur	4	6	8	10	12
0	15,49489	13,47171	13,30945	13,30642	13,33701
29,66467	15,43708	13,46911	13,31514	13,3146	13,34607
72,27619	15,35703	13,46906	13,32728	13,3306	13,3636
109,6991	15,29014	13,47307	13,34237	13,34899	13,38364
149,8776	15,181	13,43368	13,30539	13,31052	13,34254
164,7899	15,14534	13,42551	13,30024	13,3058	13,33771
180,4323	15,1067	13,41597	13,29302	13,29881	13,33044
251,826	14,87014	13,27552	13,13544	13,12715	13,14395
280,1548	14,80384	13,26302	13,12955	13,12246	13,13942
313,0007	14,73216	13,25485	13,13052	13,12514	13,14288
345,1376	14,66916	13,25525	13,14031	13,13786	13,15683
376,6373	14,61602	13,26493	13,15972	13,15991	13,17999
391,7078	14,59379	13,27266	13,17193	13,17297	13,19317
406,6824	14,56554	13,27434	13,17812	13,1805	13,20136
478,1729	14,38234	13,22989	13,14403	13,14746	13,16691
553,3088	14,15877	13,13809	13,05243	13,05044	13,06265
698,4423	13,7422	12,99625	12,92007	12,91309	12,91615
846,8799	13,38071	12,94533	12,91037	12,90885	12,91436
899,0667	13,24257	12,91616	12,8926	12,89267	12,89787
979,5436	13,02573	12,86977	12,86265	12,86493	12,86941
1039,194	12,86934	12,84293	12,85029	12,85514	12,85999
1058,519	12,79675	12,7966	12,79619	12,79573	12,79526

2_J18

L	4	6	8	10	12
0	30,77527	19,38133	13,26729	12,50777	12,29926
16,94558	30,66174	19,3267	13,26737	12,51614	12,31002
56,57628	30,35986	19,17294	13,24737	12,51269	12,31214
101,3203	30,01761	18,9996	13,2262	12,51053	12,31622
175,4485	29,3705	18,65499	13,14463	12,44267	12,25124
247,0104	28,82114	18,38374	13,12251	12,45336	12,27198
294,0902	28,45616	18,20492	13,10952	12,46228	12,28758
337,3666	28,12999	18,04907	13,10575	12,47978	12,31137
394,6595	27,67228	17,82613	13,08923	12,48994	12,32965
419,0132	27,46497	17,72267	13,07535	12,48612	12,3293
493,8194	26,73809	17,33942	12,97724	12,3887	12,23127
574,479	25,9928	16,96348	12,91119	12,35276	12,20139
640,6892	25,40299	16,67806	12,88245	12,35377	12,21159
748,757	24,41365	16,20468	12,83787	12,3585	12,23119
804,754	23,88175	15,95156	12,81238	12,35821	12,23875
866,033	23,29379	15,67608	12,78985	12,3644	12,25357
905,7534	22,90096	15,49209	12,77254	12,36525	12,25996
983,6017	22,08107	15,10151	12,71584	12,34184	12,24273
1047,393	21,43841	14,81431	12,70608	12,3646	12,27501

1065,844	21,24638	14,72827	12,70157	12,36927	12,28241
1142,491	20,40428	14,35629	12,67441	12,37887	12,30295
1292,802	18,53096	13,52992	12,55344	12,32059	12,25327
1374,915	17,44537	13,07551	12,50213	12,30453	12,24913
1438,269	16,54178	12,69613	12,44288	12,26582	12,21487

MDZ703					
L	4	6	8	10	12
0	12,66024	12,66354	12,44211	12,39873	12,39164
609,6007	12,47946	12,48277	12,36355	12,33961	12,33467
1219,201	12,29432	12,29766	12,28398	12,2801	12,27748
1300,004	12,26966	12,273	12,27341	12,27219	12,26988
1300,004	12,26966	12,273	12,27321	12,27188	12,26952
1500,007	12,18999	12,19334	12,19354	12,19221	12,18985
1700,034	12,03266	12,03601	12,03621	12,03488	12,03252

J18_J17	4	6	8	10	12
0	16,54178	12,69613	12,36022	12,24063	12,2025
13,70617	16,27593	12,65728	12,34375	12,23015	12,19315
24,59622	16,06495	12,62952	12,33387	12,2263	12,19127
35,60514	15,85031	12,60273	12,32521	12,22406	12,19097
49,82723	15,56736	12,56655	12,3125	12,21929	12,18885
66,21852	15,23892	12,52836	12,30155	12,21832	12,19081
78,64826	14,98303	12,49718	12,29102	12,21488	12,1896
91,46331	14,71847	12,46841	12,2837	12,2156	12,19272
105,4283	14,42506	12,43714	12,27587	12,21657	12,19632
119,2571	14,12535	12,40278	12,26471	12,21346	12,19567
131,1717	13,86461	12,37542	12,25747	12,21365	12,19806
146,0324	13,53156	12,34004	12,24724	12,21246	12,19952
165,623	13,07958	12,29244	12,2329	12,20988	12,20035
181,8936	12,69217	12,2521	12,22026	12,20688	12,20023

MD215	4	6	8	10	12
0	14,94498	12,66075	12,51933	12,5022	12,52766
46,95336	14,85581	12,63986	12,50161	12,48192	12,50449
102,609	14,75637	12,62777	12,49754	12,48055	12,50391
136,7726	14,69505	12,62033	12,49505	12,47971	12,50356
169,9734	14,63526	12,61311	12,49262	12,4789	12,50321
201,2653	14,57872	12,6063	12,49033	12,47813	12,50289
257,9946	14,47575	12,59393	12,48618	12,47673	12,5023
302,0577	14,38741	12,56918	12,46268	12,44851	12,46965
351,0183	14,28986	12,54365	12,43923	12,42072	12,43761

417,4741	14,16713	12,5291	12,43434	12,41908	12,43692
522,0059	13,97226	12,50617	12,42665	12,41649	12,43582
616,784	13,7936	12,48534	12,41966	12,41413	12,43482
680,3127	13,67277	12,47135	12,41497	12,41255	12,43415
758,6189	13,51405	12,43699	12,3862	12,37982	12,3968
802,5552	13,42914	12,42728	12,38295	12,37873	12,39634
836,7112	13,36281	12,41973	12,38042	12,37787	12,39598
918,7637	13,20236	12,40157	12,37433	12,37582	12,39511
1001,042	13,02228	12,34705	12,31938	12,30835	12,31659
1066,64	12,8822	12,31335	12,28874	12,27222	12,27496
1129,246	12,75611	12,29938	12,28406	12,27064	12,27428
1146,833	12,7205	12,29546	12,28274	12,2702	12,2741
1217,342	12,56394	12,25197	12,24005	12,21833	12,21385
1243,8	12,50672	12,2397	12,22949	12,2062	12,19995
1306,349	12,37758	12,22566	12,22479	12,20461	12,19927
1339,576	12,30852	12,2182	12,22229	12,20376	12,19891
1389,472	12,20422	12,20699	12,21854	12,20249	12,19837

4_J20					
L	4	6	8	10	12
0	27,32911	15,45007	13,31728	12,88421	12,80351
112,3413	26,95591	15,32561	13,23699	12,81201	12,73013
199,8993	26,71933	15,27978	13,23053	12,81729	12,73982
218,9798	26,66483	15,26755	13,22686	12,81632	12,73934
304,7042	26,45713	15,24401	13,24147	12,84268	12,7699
344,5771	26,29355	15,1563	13,16701	12,76631	12,68843
379,4703	26,16899	15,11007	13,13438	12,73545	12,65647
440,1717	26,01529	15,09043	13,14226	12,75176	12,67581
512,5141	25,84491	15,07805	13,16197	12,78109	12,70833
561,4068	25,69415	15,04124	13,14931	12,77236	12,70091
660,4961	25,32236	14,89371	13,03963	12,66593	12,58962
723,0431	25,12734	14,84782	13,02417	12,65664	12,58213
832,7193	24,87921	14,84499	13,06874	12,71379	12,64195
920,9686	24,53522	14,70463	12,96165	12,60858	12,53147
967,2078	24,38748	14,671	12,95048	12,60247	12,52672
991,8695	24,31423	14,65809	12,94929	12,60469	12,53023
1102,784	24,0171	14,62922	12,97261	12,64353	12,57443
1149,023	23,8663	14,59544	12,96143	12,63741	12,56967
1253,828	23,46951	14,46407	12,87245	12,55465	12,48448
1283,67	23,3678	14,43989	12,86403	12,54818	12,47875
1340,033	23,14705	14,36254	12,80919	12,49598	12,42457
1359,242	23,08837	14,35367	12,80971	12,49925	12,4288
1422,35	22,89141	14,32185	12,80882	12,5073	12,44011
1464,358	22,77879	14,31673	12,82349	12,52739	12,46166
1527,055	22,56781	14,27378	12,811	12,52406	12,46001
1554,101	22,46858	14,25218	12,79792	12,51357	12,44984

1785,088	21,64752	14,07304	12,73834	12,4758	12,41868
1877,932	21,32284	14,0128	12,72447	12,47541	12,42176
1910,637	21,20562	13,98992	12,7179	12,47367	12,42089
1990,68	20,94323	13,95892	12,72767	12,49522	12,44658
2033,268	20,74678	13,87223	12,65553	12,4215	12,36808
2076,319	20,56863	13,82157	12,62313	12,39212	12,33811
2153,582	20,3055	13,7901	12,63164	12,41209	12,36211
2259,22	19,88354	13,70072	12,58769	12,37883	12,33074
2330,209	19,61368	13,65337	12,57696	12,37854	12,33317
2385,351	19,41467	13,62914	12,58178	12,39161	12,34912
2517,057	18,91617	13,55759	12,57972	12,40887	12,37329
2594,809	18,62979	13,53328	12,59674	12,43741	12,40566
2692,567	18,1992	13,45127	12,56942	12,41745	12,38828
2819,319	17,67621	13,39309	12,57983	12,447	12,42449
2860,41	17,49634	13,36807	12,5769	12,45	12,42974
2945,212	17,117	13,31429	12,56874	12,45416	12,43837
2972,371	16,98863	13,29164	12,56135	12,44905	12,434
3059,247	16,57055	13,21751	12,53684	12,43095	12,41815
3081,071	16,46692	13,20218	12,53328	12,43065	12,41864
3145,224	16,18946	13,18486	12,55143	12,45819	12,44904
3227,729	15,72349	13,01941	12,41406	12,31738	12,29889
3257,431	15,56682	12,99296	12,39777	12,30382	12,28551
3298,686	15,36468	12,97061	12,39867	12,31101	12,29486
3382,742	14,97622	12,95189	12,42708	12,35125	12,33818
3489,252	14,33627	12,74412	12,25674	12,17736	12,15309
3543,343	14,02658	12,69687	12,23048	12,15648	12,13289
3598,186	13,72313	12,66262	12,22776	12,16205	12,14144
3628,21	13,55181	12,64112	12,22332	12,16216	12,14284
3668,452	13,30123	12,58454	12,18418	12,12481	12,10401
3749,672	12,80223	12,51059	12,14873	12,09778	12,07838
3869,55	12,04874	12,416	12,12242	12,09022	12,07401

MDZ548

L	4	6	8	10	12
0	13,16932	12,36808	12,31289	12,31853	12,31633
53,44239	13,12278	12,34483	12,28883	12,29231	12,29011
114,2179	13,05782	12,29959	12,23779	12,23551	12,23332
182,3355	13,01258	12,29274	12,23587	12,23484	12,23265
253,5857	12,96508	12,28556	12,23387	12,23414	12,23195
272,4476	12,95247	12,28365	12,23333	12,23395	12,23176
330,1026	12,91385	12,27782	12,2317	12,23338	12,23119
374,1412	12,88427	12,27336	12,23046	12,23294	12,23075
402,4272	12,86523	12,27049	12,22965	12,23266	12,23047
434,9232	12,84332	12,26718	12,22873	12,23234	12,23015
516,6523	12,78804	12,25886	12,2264	12,23152	12,22933
591,0746	12,6929	12,17984	12,1341	12,12801	12,12582
662,3072	12,64418	12,17251	12,13205	12,12729	12,1251
737,7782	12,57694	12,13993	12,09854	12,09079	12,0886
812,1645	12,52559	12,13223	12,09638	12,09003	12,08784
890,8141	12,47106	12,12407	12,09408	12,08922	12,08703
940,0393	12,43681	12,11895	12,09264	12,08871	12,08653
993,5223	12,39949	12,11337	12,09108	12,08816	12,08597
1042,763	12,36502	12,10823	12,08963	12,08765	12,08546
1154,902	12,2642	12,06066	12,04102	12,03479	12,03261
1209,381	12,22566	12,05493	12,03941	12,03422	12,03204
1260,741	12,18921	12,04952	12,03788	12,03368	12,0315
1286,924	12,16614	12,03945	12,02786	12,02285	12,02067
1369,723	12,10705	12,03069	12,02539	12,02198	12,0198
1434,706	12,06048	12,0238	12,02345	12,02129	12,01911
1489,181	12,0213	12,01801	12,02182	12,02072	12,01853