

Université Kasdi Merbah Ouargla



Faculté des hydrocarbures 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

Présenté Par :

CHAOUKI Haithem, KESSAL Zineb

-THEME-

***Résolution du problème de chargement de
liquide dans les puits gazéifiés par la technique
FAL (Foam Assisted Lift)***

Soutenu le : 24 /05/ 2016 devant la commission d'examen

Jury :

Président : HADJ Seyd Abdelkader

Rapporteur : HADJADJ Souad

Examineurs : KHELIFA Cherif

Remerciement

Dédicace

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Glossaire

Liste des Abréviations

Nomenclature

Introduction

Chapitre I: GÉNÉRALITÉS

I.1 Chargement de liquide dans les puits de gaz :	1
(a) - Ecoulement dispersé (Mist flow) :	2
(b) - Ecoulement annulaire (Annular flow) :	2
(c) - Ecoulement agité (à forte coalescence – brassage intense) (Churn flow) :	2
(d) - Ecoulement de transition à bouchon/poche (Plug/slug flow) :	2
(e) - Ecoulement à bulles (Bubble flow) :	2
I.2 Les indicateurs de l'accumulation de liquide sont :	2
I.3 Le scénario classique de l'accumulation de liquide :	3
I.4 Les méthodes pour résoudre le chargement de liquide dans les puits de gaz :	6
I.4.1 Réduction de la section du tubing :	7
I.4.2 Séparation Gaz - Eau au fond :	7
I.4.3 production de l'eau et du gaz séparément :	7
I.4.4 La technique de pose de Bouchon :	8
I.5 Technique d'Assistance par Mousses Lift (Foam Assisted Lift : FAL) :	9
I.6 Les avantages de l'utilisation de la technique FAL :	9

Sommaire

I.7 Généralité sur les mousses :	10
I.7.1 Définition des tensioactifs :	10
I.7.2 Propriétés des agents tensioactifs :	11
I.7.3 Auto-assemblage des tensioactifs :	11

Chapitre II : LA TECHNIQUE FAL

II.1 Le choix d'une mousse convenable :	13
II.2 Considérations chimiques :	13
II.3 Paramètres nécessaire pour l'efficacité de la mousse :	14
II.4 Les facteurs pour la réussite de l'application FAL:	16
II.5 Sélection des puits candidats :	16
II.6 Les équipements de surface standard pour l'injection des mousses :	17
II.6.1 Un Echometre :	17
II.6.2 Pompe d'injection du produit :	18
II.6.3 Réservoirs :	19
II.6.4 Conduites :	19
II.7 Les types d'injection de mousse :	19
II.7.1. classification selon l'utilisation de tube capillaire :	19
<i>II.7.1.1. l'injection par tube capillaire :</i>	19
<i>II.7.1.2 l'injection à partir de surface :</i>	21
II.7. classification selon la continuité d'injection des agents moussants :	21
<i>II.7.2.1 Injection par Batch :</i>	21
<i>II.7.2.2 Injection continue :</i>	22

Chapitre III : ETUDE DE CAS

III.1 Le champ gazier de GTFT à In Amenas	23
III.1.1 Description du réservoir :	23
III.1.2 Les causes principales de venue d'eau :	24
III.1.3 Les causes principales de venue d'eau :	25
III.1.4 Historiques des puits TFT320 et TFT341Z :.....	26
<i>III.1.4.1 Pour TFT 341Z</i>	26
<i>III.1.4.2 Pour TFT 320</i>	28
III.1.5 Débits critique	30
<i>III.1.5.1 Pour TFT -341Z :</i>	31
<i>III.1.5.2 Pour TFT -320 :</i>	32
III.1.6 sélection des agents moussants :	32
<i>III.1.6.1 TFT-341Z :</i>	32
<i>III.1.6.2 Pour TFT -320 :</i>	34
III.1.7 Sélection des anti-mousses :	35
III.1.8 Le type d'injection proposé :.....	35
III.1.9 Etude économique de l'application de la technique FAL sur TFT341Z :	37
<i>III.1.9.1 Consommation intermédiaire</i>	37
III.2 Le champ du gaz Barbara en mer Adriatique	40
III.2.1 Le tube capillaire utilisé pour cette application présente les caractéristiques suivantes:	41

Sommaire

III.2.2 Le résultat final :	41
--	-----------

Conclusion

Références bibliographique

Annexe





Remerciement

Tout D'abord, Nous remercions Dieu de nous avoir guidés vers le bon chemin de la lumière et du savoir.

Mes sincères remerciements chaleureusement à notre promoteur. *HADJADH Souad*, pour nous avoir conseillé, dirigé, assisté et soutenu tout le long de la réalisation de ce travail.

Nous remercions l'ensemble des enseignants du département Hydrocarbures, et les responsables de Groupement GTFT et spécialement Monsieur **BEN SALEM Salah Eddine**, avec toute nos gratitude, nous vous prions d'agréer, l'expression de nos profonds respects.

Nous tenons également à ne pas oublier tous nos amis et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la bonne réalisation de ce travail.

Dédicaces

Pour chaque début il y a une fin, et ce qui beau dans toute fin c'est la réussite et l'atteinte du but.

Je dédie ce modeste travail à :

A ma très chère mère, qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais cessé de prier pour moi.

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

Mes dédicaces s'adressent également à tous mes frères, mes sœurs Et à tous les membres de ma famille, en particulier Mon très cher oncle Ben Salem Salah Eddine.

Aussi, je dédie ce travail à tous l'ensemble du personnel de la division Engineering et production de Groupement TET et aussi toutes mes chères amies sur tout:

Sabeg Naima, Braithel Ahmida, Chaouki Haithem et les autres.

KESSAL

Zineb





Dédicaces

Je dédie ce modeste travail en premier lieu, à mes chers parents que nulle dédicace ne puisse exprimer mes sincères sentiments pour leur patience illimitée, leur encouragement contenu, Leur aide en témoignage de mon profond amour et respect pour eurs grands sacrifices.

A ma grande mère maternelle

A la mémoire de la grande dame qui a tant sacrifié pour nous.

Mes très chers frères

Toufik, Hichem, Imen, Maroua pour leur grand amour Et leur soutien qu'ils trouvent ici l'expression de ma haute gratitude.

Monsieur Ben Salem Salah Eddine qui sans son encouragement ce travail n'aura jamais vu le jour. Vous avez toujours été présents pour les bons conseils votre affection et votre soutien m'ont été d'un grand secours au long de ma vie professionnelle et personnelle

*Veillez trouver dans ce modeste travail ma reconnaissance
Pour tous vos efforts.*

Mes chers ami(e)s

Faress, Moataz, Hassib, Romaisa, Zineb, Loubna, Selma et Je ne peux trouver les mots justes et sincères

*Pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi des frères, soeurs et des amis sur qui je peux compter. Je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine
De santé et de bonheur.*

*Un profond respect et un remerciement particulier
Au **Groupement TFI** pour la bonne contribution de ce travail.*

*A tous les membres de ma famille petits et grands
Veillez trouver dans ce modeste travail l'expression de
Mon affection.*



Liste des figures

Figure	Intitulé	Page
Figure I.1	Chargement de liquide dans les puits de gaz.	(p1)
Figure I.2	Les effets de chargement de liquide sur le déclin de production.	(p3)
Figure I.3	Les différentes forces agissent sur la gouttelette d'eau.	(p4)
Figure I.4	Schéma d'une complétion DWS.	(p8)
Figure I.5	Schéma d'une complétion avec Bouchon.	(p8)
Figure I.6	Principe de fonctionnement de la mousse.	(p9)
Figure I.7	Schéma d'une molécule tensioactive.	(p11)
Figure I.8	Evolution de l'équilibre en fonction de la concentration en tensioactifs.	(p12)
Figure II.1	L'installation de surface.	(p17)
Figure II.2	Echometre.	(p17)
Figure II.3	Les pompes d'injection.	(p18)
Figure II.4	L'installation d'un tube capillaire a l'intérieure de tubing.	(p20)
Figure II.5	Connexion d de capillaire avec la ligne de commande.	(p20)
Figure III.1	Coupe du réservoir TFT.	(p23)

Liste des figures

Figure III.2	General description de Basin D'ILIZI.	(p24)
Figure III.3	Historique de production de puits TFT 341z.	(p27)
Figure III.4	La production depuis sa mise en service de TFT 341z.	(p28)
Figure III.5	La production actuelle de puits TFT 341z.	(p28)
Figure III.6	Historique de production de puits TFT 320.	(p29)
Figure III.7	La production depuis sa mise en service de puits TFT 320.	(p30)
Figure III.8	La production actuelle de TFT 320.	(p30)
Figure III.9	La comparaison entre le débit de gaz et le débit critique pour TFT320.	(p31)
Figure III.10	La comparaison entre le débit de gaz et le débit critique pour TFT-341z.	(p32)
Figure III.11	La comparaison entre l'efficacité de la déférence mousse sur le produit de puits TFT341z.	(p33)
Figure III.12	La comparaison entre l'influence du débit de traitement sur le produit de puits TFT341z.	(p34)

Liste des figures

Figure III.13	La comparaison entre l'efficacité des déférences mousse sur le produit de Puits TFT 320.	(p34)
Figure III.14	La comparaison entre l'influence du débit de traitement sur le produit de puits TFT320.	(p35)
Figure III.15	Gain estimé de la production en fonction du temps de cycle prolongé pendant 30 jours.	(p36)
Figure III.16	L'installation de tube capillaire.	(p41)
Figure III.17	La production après l'injection de l'agent moussant.	(p43)
Figure A.1	L'appareil de test.	
Figure A.2	L'effet de température sur les tensionsactifs.	

Liste des tableaux

Tableau	intitulé	page
Tableau I.1	Comparaissent de la méthode FAL avec les autres méthodes de lifting.	(p10)
Tableau III.1	Les jours d'intermittence des deux puits TFT 320 et TFT 341z.	(p26)
Tableau III.2	Les données des deux puits TFT 320 et TFT 341z.	(p26)
Tableau III.3	L'évolution de puits TFT 341z.	(p27)
Tableau III.4	L'évolution de puits TFT 320.	(p29)
Tableau III.5	La consommation intermédiaire de l'agent moussant et l'anti mousse.	(p37)
Tableau III.6	Le gain estimé pour TFT 341z.	(p38)
Tableau III.7	Les dosages et les volumes consommés de produit d'injection.	(p40)
Tableau III.8	Les caractéristiques de tube capillaire.	(p40)
Tableau III.9	La comparaison avant et après l'injection.	(p42)

Glossaire

Bulles : Sphère de gaz ou d'air dans un liquide.

Goutte : Très petite quantité de liquide qui se détache sous forme plus ou moins sphérique.

Agrégat : Réunion d'un ensemble massif d'éléments hétérogènes.

Une micelle : (nom féminin dérivé du nom latin mica, signifiant « parcelle ») est un agrégat sphéroïdal de molécules possédant une tête polaire hydrophile dirigée vers le solvant et une chaîne hydrophobe dirigée vers l'intérieur. Une micelle mesure de 0,001 à 0,300 micromètre.

Texture : Constitution, agencement, disposition des différentes parties ou éléments d'un tout.

Elastomère : Un élastomère est un polymère présentant des propriétés « élastiques », obtenues après réticulation. Il supporte de très grandes déformations avant rupture. Le terme de caoutchouc est un synonyme usuel d'élastomère.

La demi-vie : c'est le temps au cours de laquelle le fluide est séparé de mousse.

.

Abréviation

FAL : Foam Assisted lift.

GTFT : Groupement tine Foy Tabankourt.

DGWS : Downhole Gas Water Séparation

DWS : Downhole Water Sink

CMC : la Concentration Micellaire Critique

SCSSV : Surface Controlled Subsurface Safety Valve

DHSV : down hole safety valve

WR-SCSSV : Wire Line Retrievable Surface Controlled Subsurface Safety Valve.

TRSV : Tubing Retrievable Safety Valve.

PPM: parties par million.

PVT: pression, temperature, volume

Nomenclature

Symbole	Indication	Unité
A	La section de tubing	ft ²
C	Concentration de la mousse	Pourcentage
<i>D_s</i>	Dosage de mousse	bbl/day
<i>d_t</i>	Diamètre intérieure de tubing	Pouce
GLR	Gaz-liquide ratio	Mft ³ /bbl
K	Coefficient de la vitesse critique	ft/s
n	Nombre des moles	Mole
P	Pression de tête	Psi
<i>p</i>	Pression de surface	Psi
Q	Débit	Nm ³ / jour
<i>Q_{t,eau}</i>	Débit critique d'eau	MMscf/D
<i>Q_{t,gaz}</i>	Débit critique de gaz	MMscf/D
<i>Q_{t,condensat}</i>	Débit critique condensat	MMscf/D
<i>Q_G</i>	Débit de production de	Mft ³ /day
<i>Q_w</i>	Débit de production d'eau	bbl/day
<i>Q_i</i>	Débit d'injection de mousse (surfactant).	bbl/day
<i>Q_{ga}</i>	Débit de gain	Nm ³ / jour
q	La quantité consommée	L /j
T	Température de surface	F
<i>U_{t,condensat}</i>	Vitesse critique de condensat	ft/sec
<i>U_{t,eau}</i>	Vitesse critique d'eau	MMscf/D
<i>U_{gcond}</i>	Vitesse gaz condensat	ft/sec
<i>U_G</i>	La vitesse de production de gaz	ft/s
<i>U_{geau}</i>	Vitesse gaz eau	ft/sec
<i>U_t</i>	Vitesse critique des liquides	ft/sec

Nomenclature

Symbole	Indication	Unité
V_g	Volume de gaz	m ³
V_l	Volume de liquide	m ³
Z	Facteur de compressibilité	-
Γ	La quantité du gaz	%
ρ_l	Densité de liquide	lbm/ft ³
ρ_g	Densité de gaz	lbm/ft ³
ρ_G	La densité de gaz	Lb/ft ³
$\sigma_{\text{condensat}}$	Tension de surface de condensat	dynes /cm
σ_{eau}	Tension de surface d'eau	dynes /cm
\$	Prix	USD

Introduction générale

L'assistance des puits producteurs est une opération indispensable lors de leurs vies, en face des problèmes qui influent directement sur leurs rendements.

Ils existent plusieurs méthodes d'intervention, dont chacune est cohérente à un problème bien déterminé. Parmi ces problèmes, le chargement de liquide, qui nécessite une intervention, telle que l'injection des mousses (FOAM), dite Faom Assited Lift (FAL). Cette méthode est basée sur un produit chimique surfactant qui a la particularité d'émulsionner l'eau et donc d'alléger la colonne.

L'objectif de cette étude est de décerner l'efficacité de cette méthode, en identifiant tous les critères et les moyens qui peuvent influencer ou aide à sa réussite.

Pour accomplir cet objectif, on a devisé notre travail en trois chapitres, où le premier chapitre était réservé pour définir le problème de chargement de liquide et le principe de cette application.

Dans le deuxième chapitre on a entamé la technique elle-même, le choix de la mousse, les méthodes et les équipements d'injection.

En dernier lieu, on a traité l'application de cette méthode en Algérie au champ GTFT plus un cas réussit ailleurs au champ Barbara au large de la mer Adriatique fait une étude de cas dans la qu'elle on a confirmé la rentabilité de cette technique par un cas réussit (Barbara) et les tests en laboratoire pour le cas de ou ils ont donné des résultats encourageantes.

Chapitre I

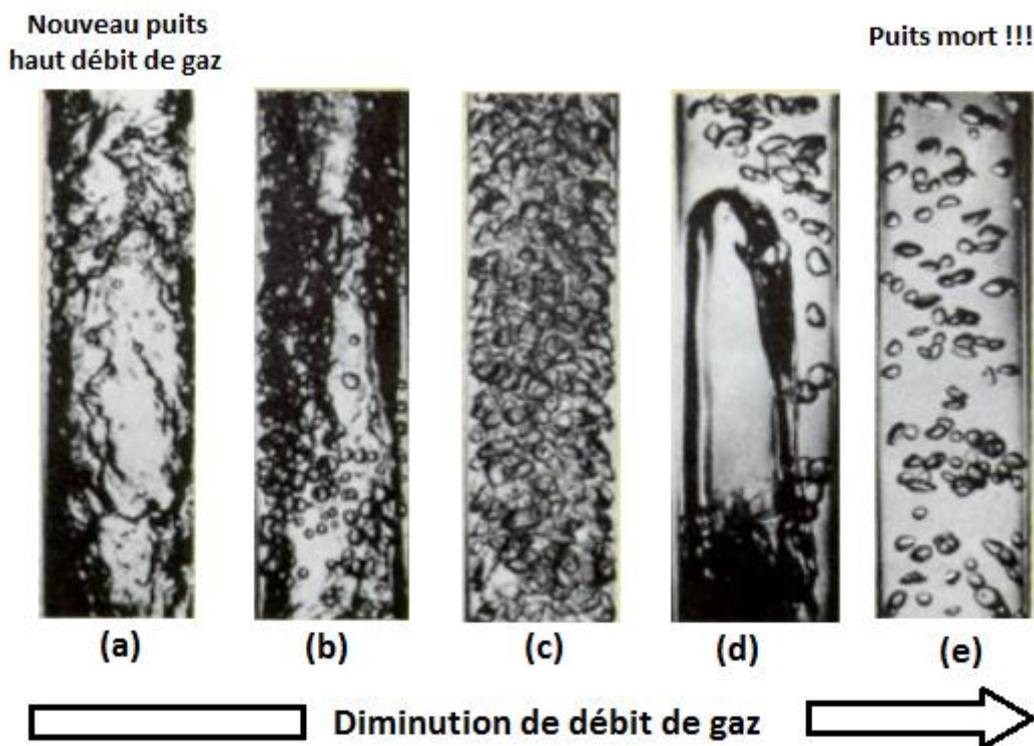
Généralité

La production d'eau dans les puits est l'un des majeurs problèmes associé à la production de gaz et d'huile. Elle peut limiter la vie productive des puits et causer divers ennuis incluant la corrosion du matériel tubulaire, alourdissement de la colonne hydrostatique, les ennoiements fréquents et les problèmes de traitements et de séparation. [1]

I.1 Chargement de liquide dans les puits de gaz :

Le chargement de liquide dans les puits de gaz se produit en raison de l'incapacité de faire remonter le liquide hors du puits. Comme il s'accumule progressivement dans le puits, en faisant considérablement augmenter la pression hydrostatique et fortement chuter le débit de gaz. Un processus de self-killing s'amorce. [2]

Le puits de gaz passe en mode de chargement par le liquide quand le débit de gaz produit chute en dessous d'un seuil critique, calculé par les équations de Turner.



(Figure I.1 :) Chargement de liquide dans les puits de gaz [3]

La figure (I.1), montre les étapes du chargement de liquide dans un puits de gaz, selon le principe des écoulements multiphasiques :

(a) - Ecoulement dispersé (Mist flow) :

Le liquide se présente comme des petites gouttes dispersées dans la phase gazeuse continue et le liquide mouillent la paroi de la conduite. [3]

(b) - Ecoulement annulaire (Annular flow) :

La phase liquide circule comme un film près des parois de tube avec ou sans bulles. Cette phase est aussi présente sous une forme dispersée dans la phase gazeuse qui s'écoule dans le centre de tube. [3]

(c) - Ecoulement agité (à forte coalescence – brassage intense) (Churn flow) :

Lorsque le débit de gaz s'affaiblit, les gouttes de liquide s'allongent pour donner lieu à des bouchons de liquide et des poches de gaz séparées. C'est la transition vers la configuration stratifiée, qualifiée d'intermittence entre la phase liquide et la phase gazeuse. [3]

(d) - Ecoulement de transition à bouchon/poche (Plug/slug flow) :

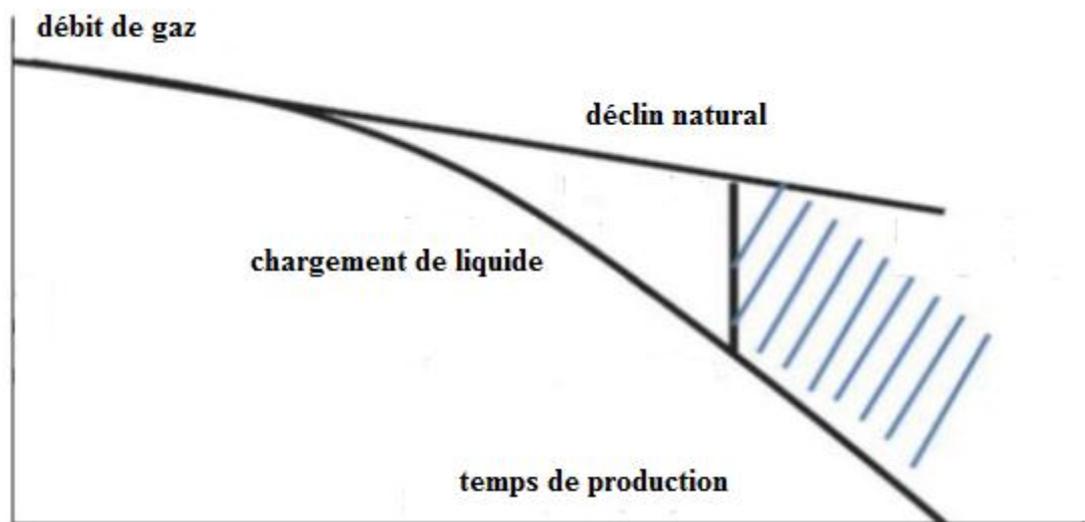
Le débit de gaz s'affaiblit encore, le volume des bouchons de liquide augmente et ces derniers s'alourdissent, en cessant de se lever vers le haut ; par contre les poches de gaz se dispersent sous forme de bulles. [3]

(e) - Ecoulement à bulles (Bubble flow) :

La phase gazeuse est répartie sous forme des petites bulles (en comparaison avec le diamètre de tubing) dispersées dans la phase liquide qui constitue la phase continue. Ce régime n'apparaît que pour des vitesses superficielles de gaz. [3]

I.2 Les indicateurs de l'accumulation de liquide sont :

- déclin anormal de la production figure (I.2) ;



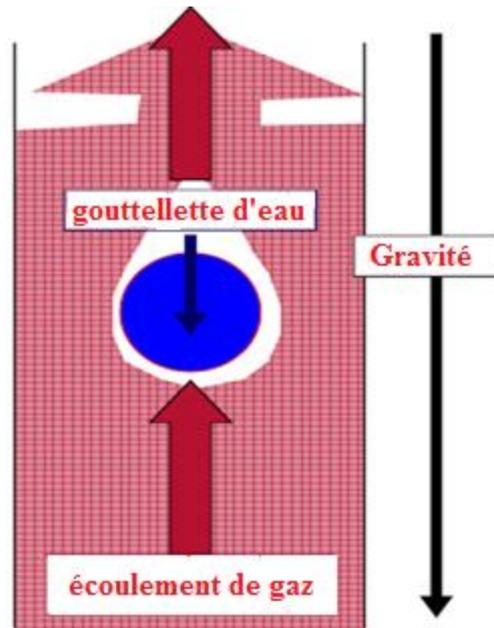
(Figure I.2 :) les effets de chargement de liquide sur le déclin de production [4]

- Un fort GWR ;
- écoulement de gaz par bouchon d'eau ;
- diminution de la pression de la tête du puits jusqu'à l'égalisation avec la pression de la ligne de production ;
- la chute de pression dans le tubing et son augmentation dans le casing (dans le cas de la complétion sans packers) qui peut créer Problème de sécurité dans l'annulaire ;
- La corrosion des conduites. [4]

I.3 Le scénario classique de l'accumulation de liquide :

L'apparition de chargement de liquide dans le puits de gaz commence lorsque la vitesse du gaz, qui transporte les gouttelettes de liquide à la surface, diminue par rapport à un seuil minimal, dit la vitesse critique, dont le débit de gaz chute en cours de production. [5]

Le calcul de cette vitesse appuie sur plusieurs approches mathématiques, telles que celle de Turner, Coleman,...etc.



(Figure I.3 :) les différents forces agissent sur la gouttelette d'eau [6]

Turner a mis en corrélation tous les critères qui agissent pour faire transporter une gouttelette d'eau vers la surface comme indique la figure (I.3). ces critères il les résumant en deux forces, le poids de cette dernière et la résistance du gaz qui exerce une force vers le haut à travers sa vitesse, à partir de plusieurs tests, sur plusieurs puits, dont la pression de tête égale à 1000 Psi et sur des puits à pression tête qui varie entre 500 et 800 Psi.

Pour un milieu gaz condensat, la vitesse (U_{gcond}) égale à :

$$U_{gcond} = \frac{4.02(45-0.0031p)^{1/4}}{(0.0031p)^{1/2}} \text{ ft/sec} \dots \dots \dots (1)$$

Où P : pression de tête en psi.

Pour un milieu gaz Eau, la vitesse (U_{geau}) se calcule à partir de l'équation suivante :

$$U_{geau} = \frac{5.02(67-0.0031p)^{1/4}}{(0.0031p)^{1/2}} \text{ ft/sec} \dots \dots \dots (2)$$

On se basant sur l'équation théorique de la vitesse Critique (U_t) pour les liquides :

$$U_t = \frac{1.593\sigma^{1/4} (\rho_l - \rho_g)^{1/4}}{\rho_g^{1/2}} \text{ ft/sec} \dots \dots \dots (3)$$

Avec :

$\sigma_{\text{condensat}}$: tension de surface 20 dynes /cm ;

σ_{eau} : tension de surface 60 dynes /cm ;

ρ_l : Densité de liquide 45 lbm/ft³ ;

ρ_g : Densité de gaz 60 lbm/ft³.

Donc on aura les vitesses critiques de condensat ($U_{t,\text{condensat}}$) et de l'eau ($U_{t,\text{eau}}$) respectivement :

$$U_{t,\text{condensat}} = \frac{4.043(45-0.0031P)^{1/4}}{(0.0031P)^{1/2}} \dots\dots\dots (4)$$

$$U_{t,\text{eau}} = \frac{5.321(67-0.0031P)^{1/4}}{(0.0031P)^{1/2}} \dots\dots\dots (5)$$

Selon la recommandation de Turner si le puits produit du condensat et de l'eau il préconise d'utiliser l'équation développée pour l'eau parce que l'eau est plus lourde et il a besoin d'une grande vitesse critique.

Le calcul de vitesse critique aide à trouver le débit critique ($Q_{t,\text{gaz}}$) :

$$Q_{t,\text{gaz}} = \frac{3.067PV_g A}{(T+460)Z} \text{ MMscf/D} \dots\dots\dots (6)$$

p : Pression de surface ;

U_g : vitesse de gaz ;

A : La section de tubing ;

T : Température de surface ;

Z : facteur de compressibilité.

$$A = \frac{(\pi)d_t^2}{4 \times 144} \text{ ft}^2 \dots\dots\dots (7)$$

Dont

A : La section de tubing ;

d_t : Diamètre intérieure de tubing, pouce.

En introduisant la valeur de U_g dans cette dernière on obtient : [8]

$$Q_{t,\text{condensate}} \left(\frac{\text{MMscf}}{\text{D}} \right) = \frac{0.0676 P d_t^2}{(T+460)Z} \frac{(45-0.0031P)^{1/4}}{(0.0031P)^{1/2}} \dots\dots\dots (8)$$

$$Q_{t,\text{eau}} \left(\frac{\text{MMscf}}{\text{D}} \right) = \frac{0.0890 P d_t^2}{(T+460)Z} \frac{(67-0.0031P)^{1/4}}{(0.0031P)^{1/2}} \dots\dots\dots (9)$$

La vitesse terminale et en fonction de :

- la taille, la forme et la densité de la gouttelette de liquide ;
- la densité et la viscosité du fluide de production (les deux phases liquide et gaz) ;
- coefficient de frottement et de tension superficielle entre les deux (gaz et liquide). [7]

I.4 Les méthodes pour résoudre le chargement de liquide dans les puits de gaz :

Ils existent plusieurs mécanismes pour résoudre le problème du chargement de liquide dans les puits de gaz (le dessèchement du puits), ou bien la déliquifaction du puits. [1]

I.4.1 Réduction de la section du tubing :

L'autre solution adoptée est de type physique ; elle consiste en la mise en place d'un dispositif dans le puits pour réduire l'aire de passage du gaz afin d'augmenter la vitesse d'écoulement.

Un tubing concentrique a été proposé pour améliorer la vitesse de gaz. Cette méthode est vue comme étant 'non-définitive', car après une certaine période de production et avec le déclin de pression, le diamètre doit être réduit car il entraînera de l'eau ; à ce moment une autre méthode doit être employée pour libérer l'eau accumulative dans le puits. [1]

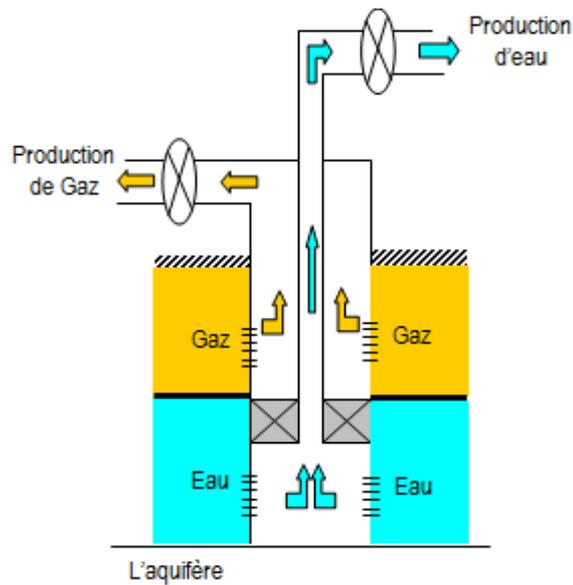
I.4.2 Séparation Gaz - Eau au fond :

La séparation gaz-eau DGWS (Downhole Gas Water Separation) consiste à séparer le gaz de l'eau au fond du puits de gaz. L'eau séparée est injectée dans une zone non productive pendant que le gaz est produit en surface. [1]

I.4.3 production de l'eau et du gaz séparément :

Une complétion est particulièrement destinée pour cette méthode, dite ; Downhole Water Sink (DWS) C'est une solution parmi celles développées pour réduire le phénomène du water coning et de la production d'eau dans les puits verticaux. Cette technique exige une complétion double (voir la figure I.4) dans les zones à eau et à gaz. Les intervalles de perforation de la zone de gaz et de l'eau sont isolés par un packer.

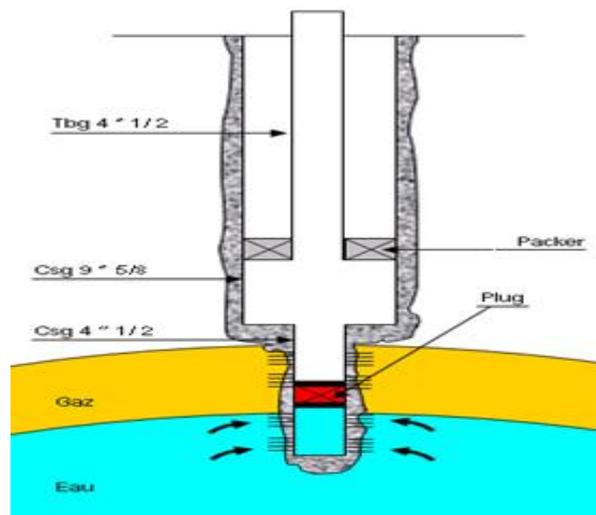
Le gaz est produit séparément de l'eau. Cette technique peut être économiquement rentable et Techniquement faisable. [1]



(Figure I.4 :) schéma d'une complétion DWS [1]

I.4.4 La technique de pose de Bouchon :

Les Plugs qui consistent à l'isolation des intervalles inondés par l'aquifère sont de plusieurs types. Ils peuvent être un bouchon de ciment ou mécanique, selon la figure (I.5). [1]

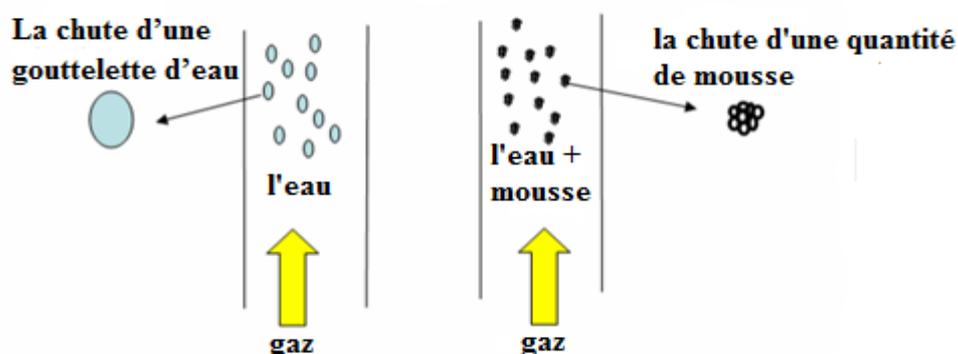


(Figure I.5 :) schéma d'une complétion avec Bouchon [1]

I.5 Technique d'Assistance par Mousses Lift (Foam Assisted Lift : FAL) :

FAL ou l'Assistance par Mousses Lift, est une méthode qui consiste à injecter des produits chimiques dans les puits de gaz chargés par le liquide, afin de prolonger la période d'extraction et améliorer la productivité du puits.

Ces produits chimiques sont des agents moussants (ou bien des tensions actifs) employés pour porter l'eau à l'extérieur du puits. L'objectif de l'utilisation des mousses est de créer une adhérence moléculaire entre les phases Gaz – Liquide et de maintenir leur stabilité dans une marge de temps utile pour que le liquide s'accumule et se transporte en surface sous l'état moussant. [1]



(Figure I.6 :) principe de fonctionnement de la mousse [5]

I.6 Les avantages de l'utilisation de la technique FAL :

- ✓ Evaluer facilement l'efficacité de l'utilisation d'un agent Moussant ;
- ✓ Réalisation sur terrain ne nécessite pas des modifications importantes ;
- ✓ Influence sur le régime d'écoulement par élimination des Bouchons de liquide (Plug) figure (I.6) ;
- ✓ Le cout réduit par rapport aux autres méthodes, voir tableau tableau (I.1) ;
- ✓ Réduire de la tension superficielle ;
- ✓ Maximiser la production et réduire les temps d'arrêt ;
- ✓ Remonter les liquides qui peuvent provoquer la corrosion des équipements. [4]

(Tableau I.1 :) comparaison de la méthode FAL avec les autres méthodes de lifting. [2]

Type de technologie	Besoins en énergie	Conforme aux règles internes	CAPEX	OPEX	Empreinte
Vélocité string	Non	Non	Elevé	Faible	Faible
Plunger lift	Non	Non	Faible	Faible	Faible
Pompe	Oui	Non	Elevé	Elevé	Elevé
Colonne capillaire FAL	Non	Oui	Faible	Faible	Moyenne
Gaz lift	Oui	Non	Elevé	Elevé	Elevé

I.7 Généralité sur les mousses :

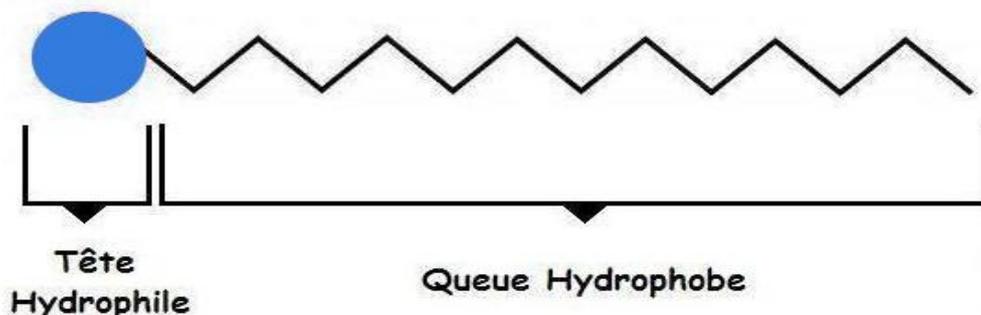
Une mousse est constituée de bulles de gaz emprisonnées dans un réseau continu de liquide. Ces propriétés mécaniques dépendent du rapport entre la quantité de liquide et la quantité de gaz. Ce rapport s'appelle la fraction fluide.

Chaque interface liquide/gaz a une énergie par unité de surface, appelée tension de surface et chaque bulle cherche à minimiser son énergie interfaciale. Cela explique qu'une bulle isolée prend la forme d'une sphère, au contraire dans un réseau, chaque bulle lors de sa relaxation s'expose aux forces exercées par les autres bulles au voisinage. [9]

I.7.1 Définition des tensioactifs :

Les agents de surfaces ; encore appelés agents surfactifs ou agents tensioactif ; sont des substances naturelles ou synthétiques leur rôle est de modifier les propriétés des interfaces, l'agent de surface est défini comme un '' composé chimique qui, dissous ou dispersé dans un liquide ; est préférentiellement adsorbé a une interface ; ce qui détermine un ensemble de propriétés physico-chimiques ou chimique d'intérêt

Pratique “. Tous les agents de surface ont une structure commune et sont composés de deux parties distinctes : l’une hydrophile ou polaire et l’autre hydrophobe (lipophile) ou apolaire figure (I.7). [10]



(Figure I.7 :) Schéma d’une molécule tensioactive [11]

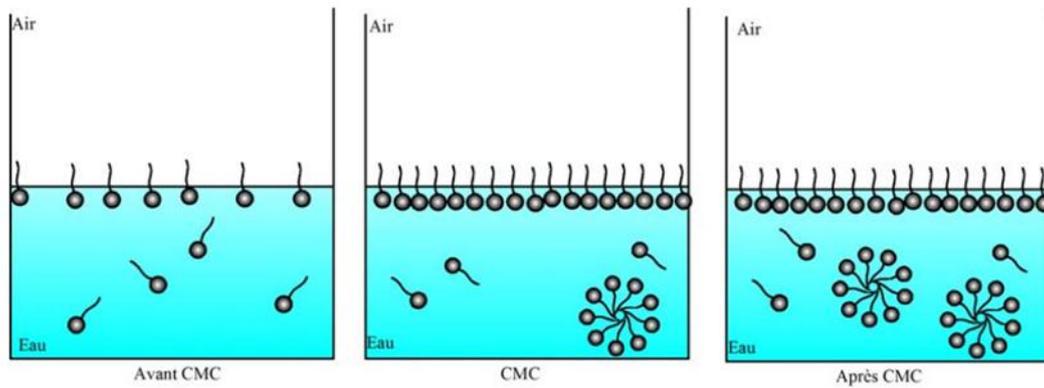
I.7.2 Propriétés des agents tensioactifs :

Les propriétés essentielles des tensioactifs qui permettent de comprendre les phénomènes observés et qui déterminent leurs domaines d’application sont :

- l’adsorption aux interfaces qui provoque une diminution des tensions interfaciales. Cette propriété est responsable des phénomènes de mouillage, de dispersion, de détergence et d’émulsification ;
- l’auto-association en solution (ex : micellisation) qui gouverne les propriétés de solubilisation et de micro-émulsification. [12]

I.7.3 Auto-assemblage des tensioactifs :

A une faible concentration, les tensioactifs existent à l’état d’unimères en solution aqueuse. Ces unimères s’entassent à l’interface et forment une monocouche qui contribue à abaisser la tension de surface. Lorsque la concentration en tensioactif augmente, la place disponible à la surface devient de plus en plus faible et les molécules commencent à s’accumuler dans la solution. L’addition supplémentaire de tensioactifs provoque un auto-assemblage figure (I.8) spontané des monomères en agrégats qui peuvent être divers, définis par leur taille et leur nombre d’agrégation (nombre de molécules composant l’agrégat). [13]



(Figure I.8 :) Évolution de l'équilibre en fonction de la concentration en tensioactifs [13]

Le phénomène de micellisation est dirigé par l'effet hydrophobe et à partir d'une certaine concentration appelée la Concentration Micellaire Critique (CMC) Les agrégats peut prendre entre autres la forme de micelles sphériques, cylindriques, bicouches.....ect.

Chapitre II

La technique FAL

La fiabilité de la technique FAL, dépend de plusieurs facteurs, comme la sélection du puits pour réaliser cette technique, conformité de la mousse aux fluides produits et la méthode de son injection dans le puits.

II.1 Le choix d'une mousse convenable :

La mousse utilisée dépend de plusieurs facteurs, pour cela on doit avoir des données bien précises sur :

- ✓ La composition des fluides produits par le puits eau condensat et gaz ;
- ✓ prendre en considération les analyses PVT pour voir le comportement de la mousse dans les conditions réelles, La pression et la température de fond (le lieu où l'injection va se faire) ;
- ✓ La qualité de mousse ;
- ✓ La texture et les interactions de mousse ;
- ✓ La concentration de l'agent tensio-actif. [4]

Sachant que deux choix de mousse sont disponibles, une qui réagit avec l'eau est la plus performante et une autre s'utilise en présence plus élevée de condensats.

Si le pourcentage des composants liquides (de l'eau et de condensat) n'est pas équilibré, la sélection du mousse sera plus facile par rapport un pourcentage similaire, où le choix deviendra difficile et les performances de la mousse pourraient être inefficaces ou médiocres.

En présence de deux liquides, il est recommandé d'utiliser qu'un seul type des tensioactifs, car l'utilisation de plusieurs types (un désigné au condensat et l'autre à l'eau) annule mutuellement leurs effets. En outre, ils peuvent produire un mélange chimique, comme le gel qui sera difficile à enlever.

En conclusion le choix d'une mousse efficace dépend du rapport eau condensat. [14]

II.2 Considérations chimiques :

Plusieurs projets de recherche ont confirmé que la mousse est corrosive en raison de présence d'une quantité d'oxygène dissous, plus la stabilité thermique identifiée comme un problème très important.

Pour ces raisons et d'autres, il faut que la mousse utilisée dans la technique FAL, réponde aux critères suivants :

- Bonne capacité moussante ;
- Non corrosif (pour les applications de mousse en continu), en utilisant des additifs qui peuvent réduire l'effet corrosif de la mousse) ;
- Stabilité thermique (en compte tenu les conditions de puits) ;
- Compatible aux élastomères (pour des applications de mousse en continu) ;
- Faible tendance à l'émulsion. [14]

II.3 Paramètres nécessaire pour l'efficacité de la mousse :

Après la sélection d'une mousse, il est important de déterminer sa concentration, son dosage et son débit d'injection pour avoir un débit utile, afin de garantir son efficacité et réduire ses coûts.

Ces paramètres peuvent être calculés, suivant :

- La concentration de mousse (C)

$$C = \frac{U_G^4 \cdot \rho_G^2}{K^4} \dots\dots\dots (10)$$

Dont :

U_G : la vitesse de production de gaz ;

ρ_G : la densité de la phase gazeuse ;

K : coefficient de la vitesse critique.

- Le dosage de mousse (Ds)

$$D_s = C \cdot n \cdot (Q_w + Q_i) \dots\dots\dots (11)$$

- n : nombre des moles ;
- Q_w : débit de production d'eau ;
- Q_i : débit d'injection de mousse (surfactant).

- La Fonction objective (rendement) est le rapport entre le débit de gaz et la mousse injectée :

$$\frac{Q_G}{D_s} = \frac{GLR}{C.n.\rho.(1+\frac{Q_i}{Q_w})} \dots\dots\dots (12)$$

GLR : gaz-liquide ratio ;

C : concentration de la mousse ;

Q_i : débit d'injection de mousse ;

Q_w : débit de production d'eau. [5]

- en plus la qualité de mousse calculée par :

$$\Gamma = \frac{v_g}{v_g+v_l} \times 100 \dots\dots\dots (13)$$

Où :

Γ : la quantité de gaz ;

V_g : est volume de gaz ;

V_l : est volume liquide.

Une mousse de bonne qualité se situe 52-96 % de gaz en volume et une mousse de mauvaise qualité contient plus de liquide. [4]

Si le puits ne réagit pas, dont le liquide ne remonte pas à la surface, il est possible que la formation de mousse n'est pas suffisante.

La fermeture de puits après l'injection et avant le démarrage en production, donne assez du temps à la mousse pour réagir, ainsi que l'injection d'une quantité supplémentaire de liquide (habituellement la saumure) pour pousser la mousse vers le fond.

Pour évite les effets négatifs des mousses, il ne faut jamais dépasser la limite de saturation en liquide voir la figure (I.8).

Si le puits toujours ne régit pas, on conclue que le pourcentage d'eau et de condensat est probablement presque similaire, donc l'utilisation de mousse n'est pas la solution privilégiée.

Pour éviter l'endommagement des équipements de surface et l'installation de traitement d'usine, on a besoin de faire une injection de l'anti-mousse qui doit briser la mousse. [5]

II.4 Les facteurs pour la réussite de l'application FAL :

Une fois on choisit la mousse efficace, on va sélectionner les facteurs qui influent sur la réussite de l'opération d'injection :

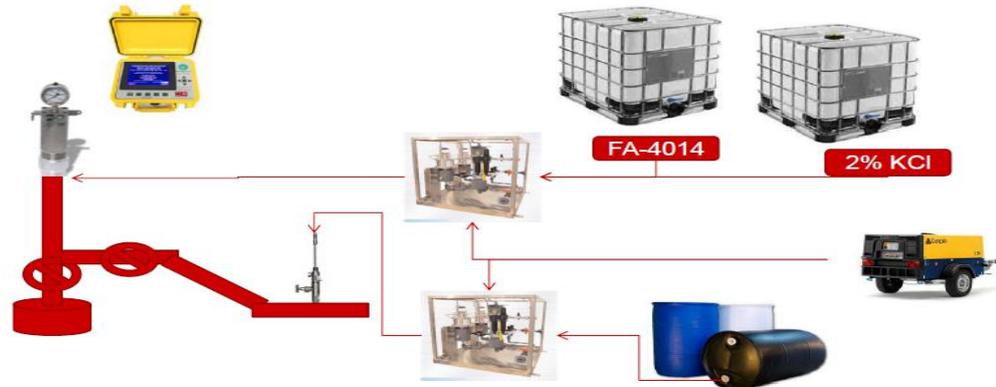
- ✓ Les tests labo doivent être effectués et confirmés d'avoir des Bons résultats ;
- ✓ Le débit d'injection de l'agent Moussant doit être d'une quantité nécessaire à la bonne réussite de cette application ;
- ✓ Le choix du point d'injection au niveau du puits ;
- ✓ Le respect strict du programme d'injection de l'agent moussant ;
- ✓ Le monitoring du débit injecté de l'agent moussant et l'anti –moussant ;
- ✓ Eviter l'injection de toute autre produit chimique dans le puits ;
- ✓ Le choix de la méthode d'injection. [4]

II.5 Sélection des puits candidats :

La sélection des puits (bons candidats) proposés pour l'application FAL est soumise à certains critères :

- Le débit de gaz est inférieur au débit critique après calcul, où La mise en production sera par intermittence ;
- S'assurer de la rentabilité des réserves (gaz, condensat) au niveau du puits sélectionné ;
- Prise en compte du rapport (eau/condensat) ;
- Le type de la complétion existante dans le puits ; le diamètre du tubing doit être assez suffisant pour de l'application de FAL. [5]

II.6 Les équipements de surface standard pour l'injection des mousses :



(Figure II.1 :) l'installation de surface [15]

II.6.1 Un Echometre :

Cet équipement sert à déterminer le niveau du liquide à l'intérieur du tubing, à chaque test, ce qui aide à déterminer le volume du liquide à l'intérieur du tubing.

Son principe de fonctionnement est basé sur la propagation d'onde sonore, il est composé d'une chambre d'explosion sous l'appellation Gun gas.



(Figure II.2 :) Echometre [15]

On charge cette chambre par une petite quantité de gaz et on provoque son explosion par étincelle électrique, cette explosion génère des ondes sonores qui se propagent à l'intérieur du tubing, ces ondes son réfléchies par le niveau du liquide vers la surface, puis elles sont captée par des dispositifs et transmises à un ordinateur via des câbles qui interprète les résultats, par un logiciel. [15]

II.6.2 Pompe d'injection du produit :

L'injection s'effectue par deux pompes à piston, pour assurer la grande capacité et la haute pression, afin de vaincre la pression statique du puits.

- ✓ une est pour l'injection de l'agent moussant type surfactant ;
- ✓ l'autre est utilisée pour l'injection d'un anti-mousse pour dissoudre le gel causé par le produit chimique. [15]



(Figure II.3 :) les pompes d'injection [15]

II.6.3 Réservoirs :

Deux BAC de capacité suffisante pour le stockage des agents moussants et les anti-mousses désignés à l'injection. [15]

II.6.4 Conduites :

Un certain nombre de conduite type capillaire est nécessaire pour relier les bacs au pompe et à la tête de puits selon la procédure d'injection. [15]

II.7 Les types d'injection de mousse :

L'injection de la mousse peut être classifiée selon : l'utilisation ou non de tube capillaire et la continuité ou non d'injection des agents moussants, selon les conditions du puits (complétion et la quantité d'eau produite). [14]

II.7.1 Classification selon l'utilisation de tube capillaire :

Selon l'utilisation de tube capillaire (dans le tubing ou dans l'annulaire), ou son non utilisation, donc à partir de surface.

II.7.1.1 L'injection par tube capillaire :

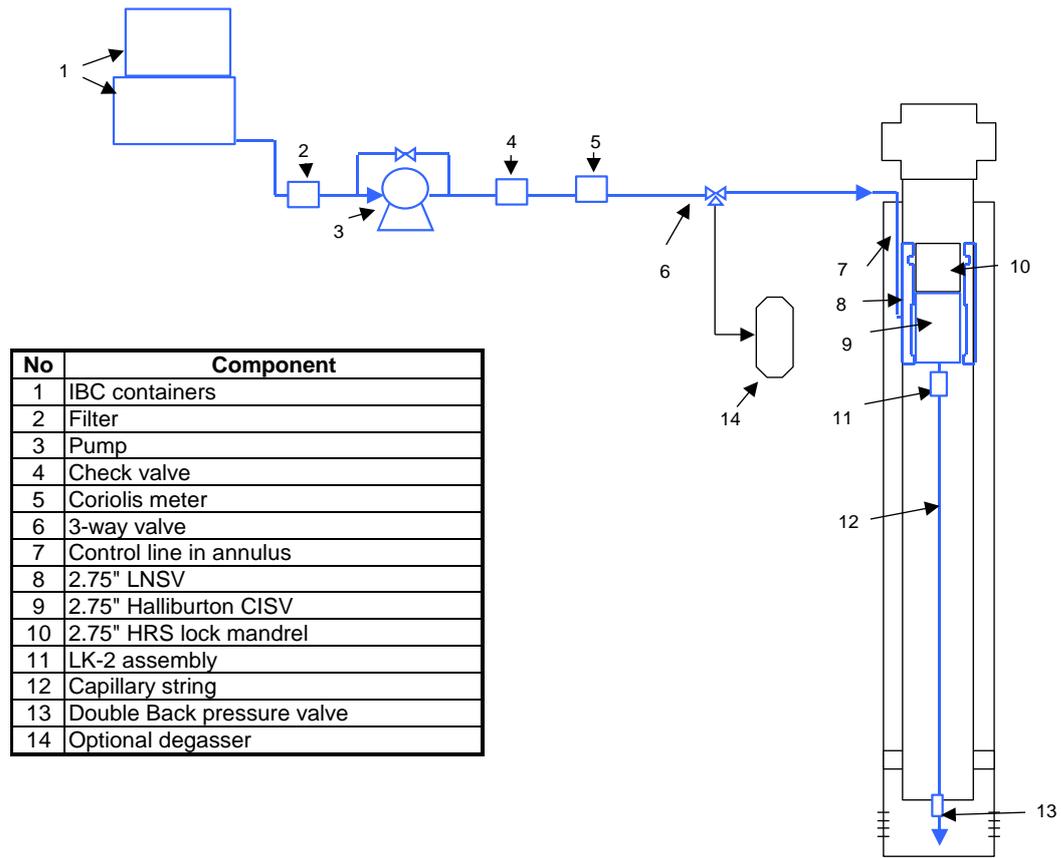
- **A l'intérieure de tubing :**

Le capillaire s'étend du fond de puits jusqu'à down hole safty valve (DHSV), il est connecté à la surface par la ligne de commande de la DHSV, qui assure sa liaison avec l'installation de surface (citée ci-dessus) Voir figure (II.4).

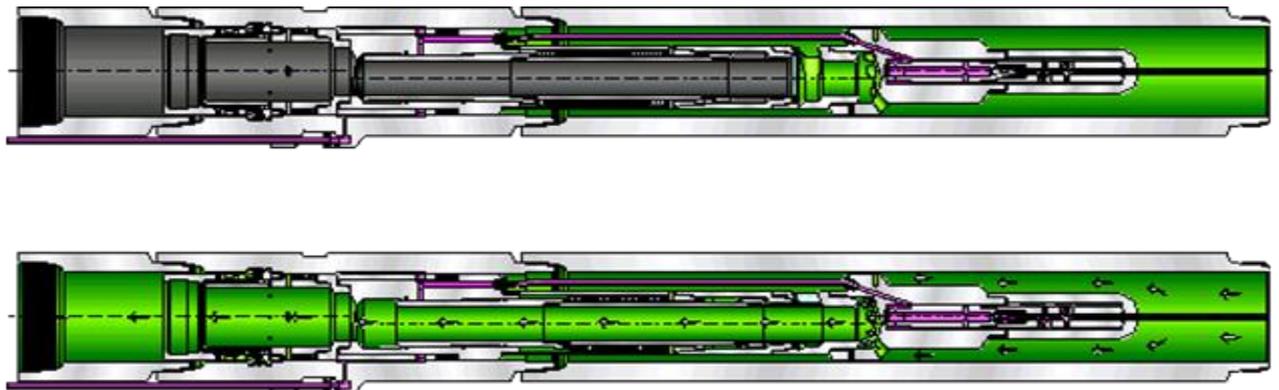
Le tensioactif remplace le fluide hydraulique dans la ligne de commande et la DHSV est déclenchée par le module d'instrumentation, qui possède une interface avec le tableau de commande de la tête de puits Voir figure (II.5).

En cas d'un arrêt d'urgence, le système purge automatiquement la pression de la DHSV et commande sa fermeture. Le système mis en place à la fois pour les équipements de fond et de surface permet de se conformer aux règles internes qui définissent le nombre de barrières de sécurité requises sur les puits complétés.

En fond le capillaire est équipé par un clapet anti retour et un régulateur afin d'éviter la vibration de capillaire. [2]



(Figure II.4 :) l'installation d'un tube capillaire a l'intérieur de tubing [14]



(Figure II.5 :) connexion d de capillaire avec la ligne de commande [14]

- **L'injection dans l'espace l'annulaire :**

Le principe d'injection dans ce cas repose sur l'idée d'injecter l'agent moussant depuis la surface à travers d'un capillaire descendu dans l'annulaire (tubing / casing), à partir d'une vanne de circulation placée au niveau side pocket mandrel, le capillaire sera muni d'un clapet anti retour pour éviter tout retour de pression ou de produit. [14]

II.7.1.2 L'injection à partir de surface :

Ce type d'injection nécessite seulement les équipements de surface standard pour pomper l'agent moussant à l'intérieure de puits à travers la vanne latérale.

Autre type d'injection, injection par balancement d'un stick à partir de la surface qui nécessite seulement une tête d'injection et qui atteint le fond par gravitation. [14]

II.7.2 Classification selon la continuité d'injection des agents moussants :

D'autre part pour, on peut classifier les types d'injection selon la continuité de l'opération d'injection, continu ou discontinu (batch), qui dépend du comportement du puits et la quantité de liquide produite. [14]

II.7.2.1 Injection par Batch :

L'injection d'agent moussant par quantité consiste à pomper périodiquement un volume fixe de ce dernier vers le fond de puits, accompagné avec un volume de KCl, pour l'alourdir et le faire tomber. Après, le puits doit être fermé assez long temps pour permettre à l'agent moussant d'entré jusqu'à la profondeur nécessaire avant son ouverture.

Il est recommandé de refaire l'opération d'injections plusieurs fois (au moins 5 fois) dans le même puits, en comparant sa réaction actuelle avec son comportement lors d'intermittence appliquée auparavant, pour décider la réussite de la méthode ou no. [14]

II.7.2.2 Injection continue :

Cette méthode consiste à injecter un agent moussant de façon continue, en cas où le débit d'eau est important, ou lorsque l'injection par batch ne donne pas un résultat significatif

L'application de cette dernière impose l'installation d'un tube capillaire dans l'annulaire ou à l'intérieure de tubing selon la complétion existante. [14]

Chapitre III

Etude de cas

Dans ce chapitre on va entamer l'application de la technique FAL en Algérie, au champ gazéifier GTFT à In Amenas et en deuxième lieu nous allons citer un cas réussit hors l'Algérie, le champ du gaz Barbara en mer Adriatique.

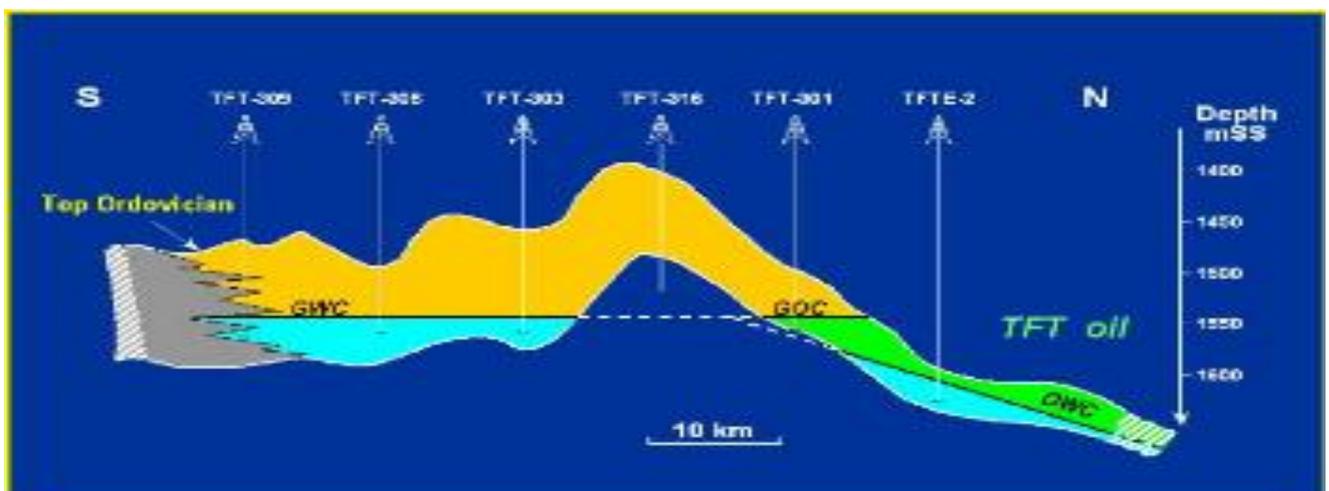
III.1 Champ gazier de GTFT à In Amenas

Les puits producteurs de gaz au champ Tin Fouye Tabankourt (TFT) fonctionnent par intermittences vu leur chargement par liquide, ce qui nécessite leur fermeture, en moyenne, de quatre à cinq jours pour qu'ils reprennent leurs énergies qui leurs permettent de produire à nouveau avant de se noyer une autre fois.

III.1.1 Description du réservoir :

Le gisement de TFT (Figure III.1 :) est un gisement du gaz humide, très riche en condensat. Il fait partie d'un anticlinorium complexe d'extension régionale, comportant des structures alignées le long d'accidents majeurs, Le réservoir est recoupé par des failles d'orientation diverses qui délimitent des compartiments d'orientation subméridienne.

Les rejets des accidents majeurs sont importants, Ces failles sont généralement sub-verticales, de type normal et parfois inverse, Les formations rencontrées vont du PRECAMBRIEN au CRETACE avec le réservoir ORDOVICIEN, très fissuré et très hétérogènes, dont la couverture est assuré par une couche argileuse d'environ 2000m de puissance. [16]



(Figure III.1 :) coupe du réservoir TFT [16]

Ce gisement comporte deux unités principales sont:

- **L'unité IV-2** : Représente l'objectif principal de l'ordovicien. Cette série est très hétérogène. L'analyse des données pétro physiques montre que :
 - sa perméabilité est généralement inférieure à 1md.
 - sa porosité varie de 2 à 20 % (environ 11,08 % en moyenne).
 - sa saturation moyenne en eau est de 33,01 %.
- **L'unité IV-3** : à une épaisseur moyenne de l'ordre de 26 m.
 - sa porosité moyenne varie entre 6 et environ 12 %, avec quelques variations ponctuelles. Les moyennes arithmétiques et géométriques des mesures de la perméabilité réalisées sur les carottes varient de 0,6 à 31 md.
 - La saturation initiale de l'eau (pour l'ensemble de gisement) varie de 13,2 à 35,6 %.
 La saturation moyenne en eau à l'échelle du gisement est de 22,56%.

La hauteur utile moyenne de l'ensemble du réservoir IV-2 est plus grande par rapport à l'unité IV-3 et varie de 10 à 170 m. [16]

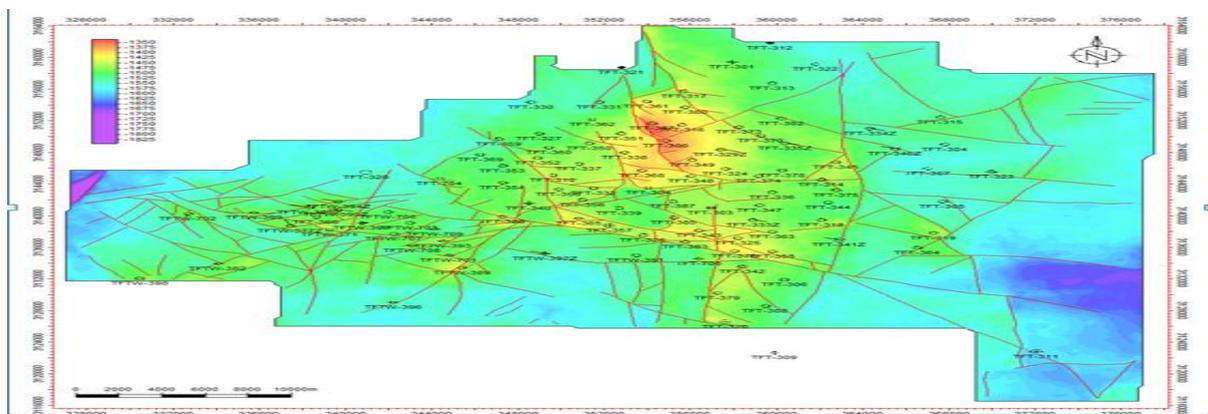
III.1.2 Les causes principales de venue d'eau :

Les venues d'eau sont causées essentiellement par :

- ✓ La proximité du plan d'eau à l'horizon producteur voir figure (III.2)

Profondeur de réservoir : de 1300 à -2000 m

Le contact gas/eau : la zone de center-East 1549 m / ET la zone West 1559 m



(Figure III.2 :) général description de basin D'ILIZI [17]

- ✓ Le gisement présente des fissures naturelles qui forment des canaux et des ouvertures qui facilite le drainage de l'eau vers le réservoir.
- ✓ Les caractéristiques petro-physiques du réservoir sont médiocres ce qui nécessite une stimulation par fracturation hydraulique de ce dernier pour le mettre en production mais cette opération le plus souvent se propage vers le plan d'eau, vu sa complexité de son exécution de point de vu désigne qui doit être bien modélisé.

[17]

III.1.3 Les puits candidats :

Dans le champ de TFT certains puits sont passés en mode d'intermittence de production, vu à leur chargement de liquide important et leur énergie potentielle faible, ce qui provoque leur neutralisation.

Ce mode de production consiste à fermer le puits dès sa neutralisation pour lui donner le temps nécessaire pour reprendre son énergie potentielle en pression, qui va lui permettre de reprendre sa production pendant un certain temps

Nous avons sélectionnés les puits : TFT320 (vertical) et TFT341Z (horizontal) comme candidat pour l'application de la technique FAL, afin de trouver une solution à leur problème de chargement du liquide. Le tableau (III.1) présente les jours d'ouverture et de fermeture (l'intermittence), des puits candidats, durant quatre mois de production (décembre 2015, janvier, février et mars 2016) :

(Tableau III.1 :) les jours d'intermittence des deux puits TFT 320 et TFT 341z. [19]

	Cycle décembre 2015		Cycle janvier 2016		Cycle février 2016		Cycle mars 2016	
	ouverture [jours]	fermeture [jours]	ouverture [jours]	fermeture [jours]	ouverture [jours]	fermeture [jours]	ouverture [jours]	fermeture [jours]
TFT320	10.6	20.4	11.9	19.1	11.6	17.4	12.6	18.4
TFT341Z	7.7	23.3	7.5	23.5	6.5	22.5	6.9	24.1

(Tableau III.2 :) les données des deux puits TFT 320 et TFT 341z. [19]

Donnés	TFT 320	TFT 341Z
Démarrage de production	23-05-1999	17-04-1999
Le diameter intérieure	2.99” de 1851.5 meter	3,688” à 2070,48 mètre
Perforations	à 1886.6 de 1925.6	-
débit de gaz moyenne Au démarrage (Q gaz)	355.500 KSm3/j	365 KSm3/j
Temperature de surface	47°C	49°C
Temperature de fond	91°C	91°C
Le gradient de pression	0.21 psi/ft	0.24 psi/ft
Puits intermittent Depuis	01/2010	2012

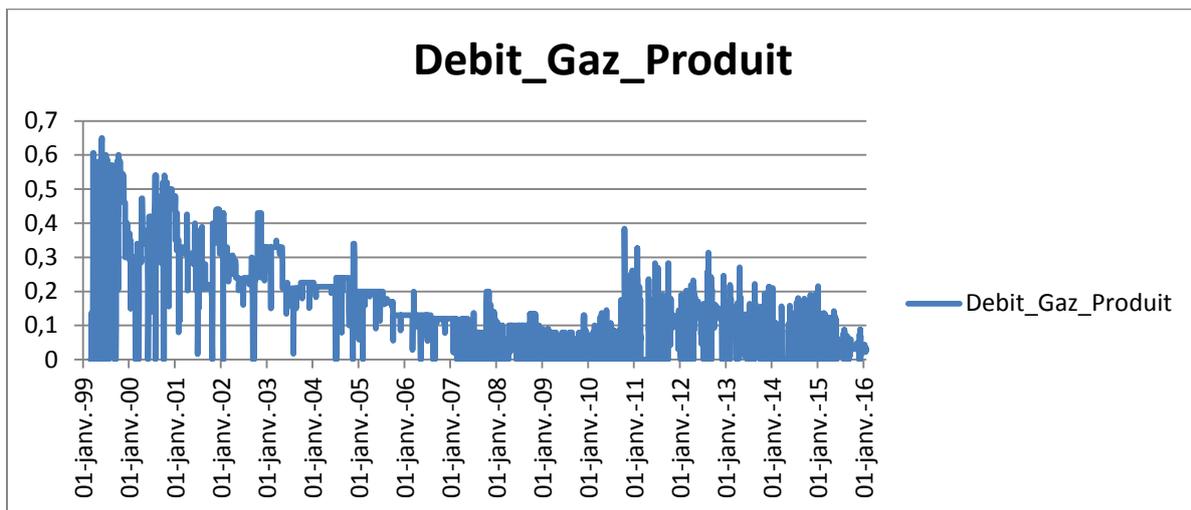
III.1.4 Historiques des puits TFT320 et TFT341Z :

L'évolution de leurs productions en eau à partir des résultats de Wells test, depuis leur mise en service jusqu'à 2013, (Tableau III.3).

III.1.4.1 TFT 341Z

(Tableau III.3 :) l'évolution de puits TFT 341z. [18]

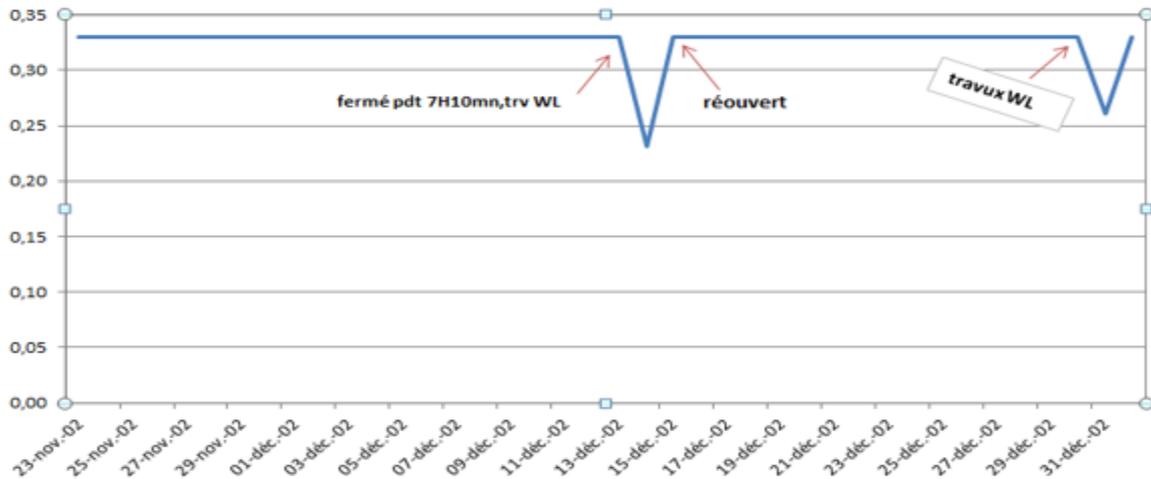
Les années de production	2002	2004	2006	2012	2013
Debit d'eau m3/jour	0.304	2.105	7.240	25	31
Pression tête dynamique (bar)	108	97	85	48.95	42
Pression tête statique (bar)	120	102	96	68	61



(Figure III.3 :) historique de production de puits TFT 341z [19]

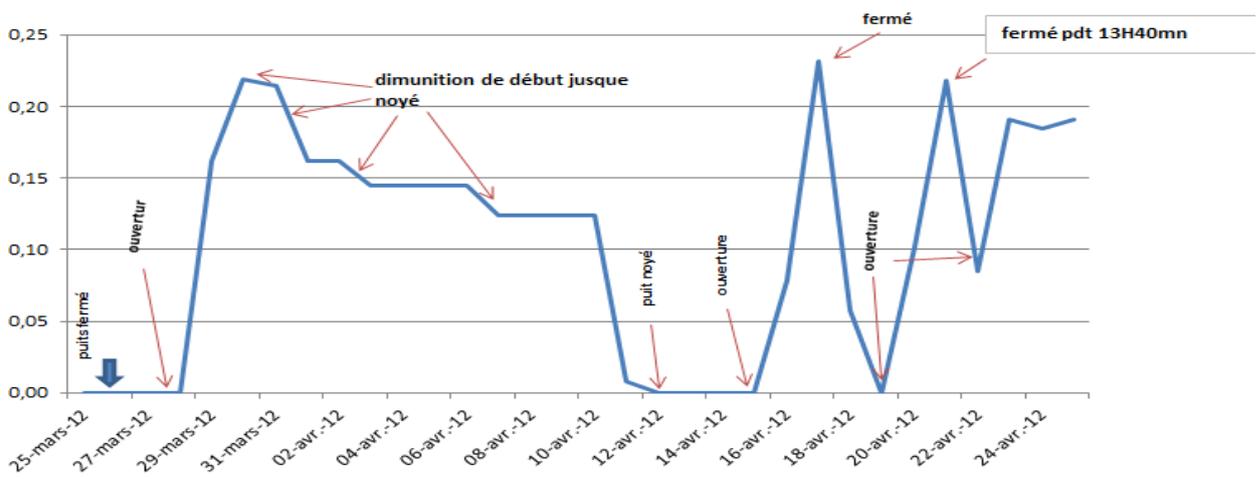
La figure (III.3) montre la production de puits TFT341Z depuis sa mise en service en 1999 jusqu' au 2015, on remarque que son déclin de production à atteindre son maximum à partir de 2006 jusqu' à 2011.

En 2012 commence son intermittence, vu que le débit d'eau a augmenté d'environ 25 m³/jrs par rapport à 0.3 m³/jrs, par contre la pression dynamique de tête a chuté de presque 50 % voir le tableau (III.3)



(Figure III.4 :) Production depuis sa mise en service de TFT 341z [19]

Selon la figure (III.4), la production de TFT 341Z en 2002 était régulière et stable, Sauf en cas des interventions programmées par rapport à sa production en 2012 (Figure III.5), où plusieurs arrêts sont introduits pour la motiver.

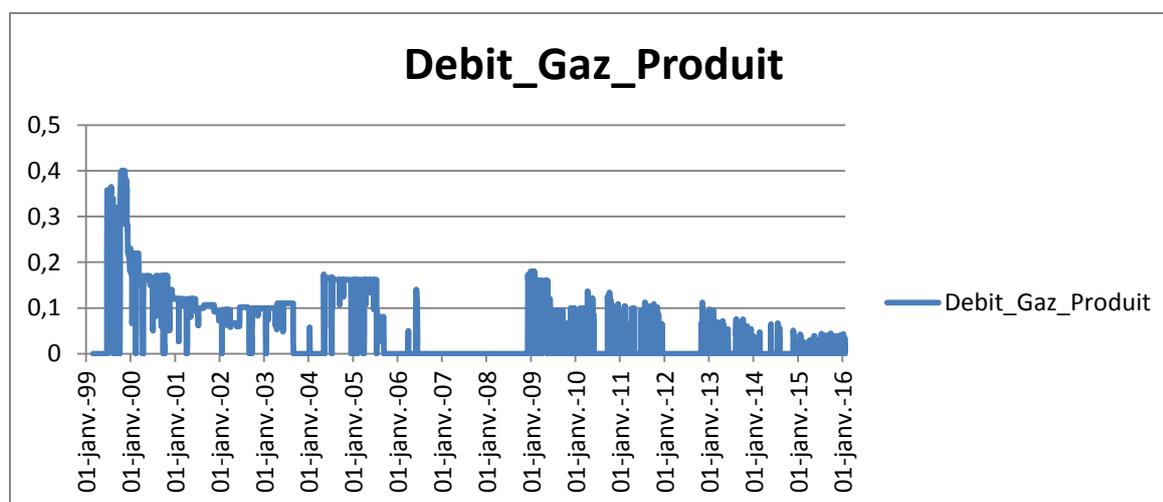


(Figure III.5 :) Production actuelle de puits TFT 341z [19]

III.1.4.2 TFT 320

(Tableau III.4 :) l'évolution de puits TFT 320. [18]

Les années de production	2004	2006	2008	2011	2013
Débit d'eau m3/jour	5.36	7.91	12.780	46	52
Pression tête dynamique (bar)	97	90	87	56	51
Pression tête statique (bar)	125	112	105	75	65

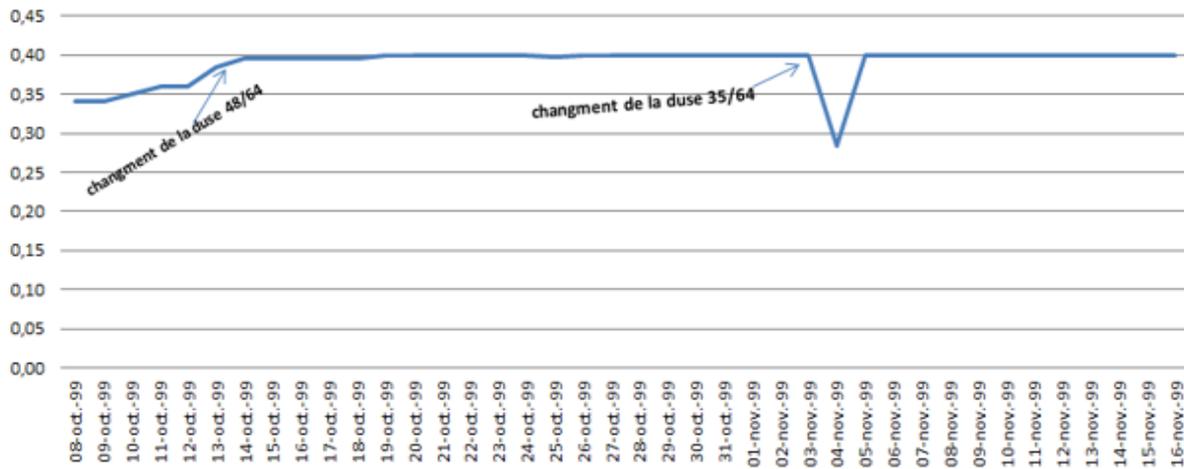


(Figure III.6 :) historique de production de puits TFT 320 [19]

Concernant la production de TFT 320, on remarque d’après la figure (III.6) que sa chute était significative à partir de l’année 2001 jusqu’à 2007, où sa production est devenue presque nulle.

Les périodes entre 2007-2009 et entre 2012-2013, le TFT320 a été isolé volontairement de la production, par la mise en place d’un bouchon au fond du puits.

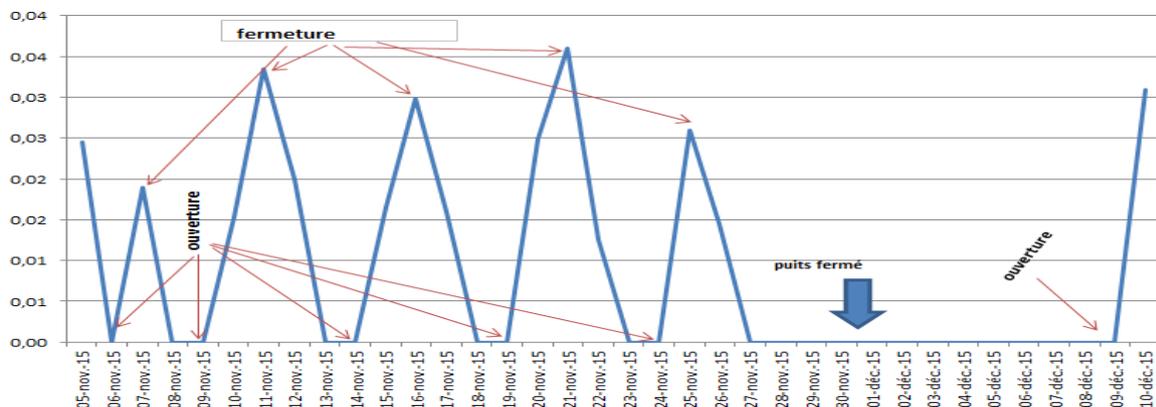
En 2009 après sa reprise en production, il a marqué une production instable avec des chutes fréquentes et accentuées, dû la production excessif d'eau qui participe a son auto neutralisation et en 2013 le débit d'eau est devenu flagrant, 52 m³/jrs et la pression dynamique de la tete a chuté de plus de 40 %.(Tableau III.4)



(Figure III.7 :) Production depuis sa mise en service de puits TFT 320 [19]

Au démarrage de production de TFT320, en 1999, ce puits a eu une production stable aussi que régulière, ce qui signifie que le puits ne présente aucun signe de défaillance en production. Les seuls moments de chute de débit son dû à des interventions, Telle que le changement de dusses.

Par contre, sa production en 2015 était en intermittence (Figure III.8), vu sa neutralisation par sa propre production d'eau. La période nul en production représentée dans le graph fait référence à un arrêt volontaire (shut down usine).



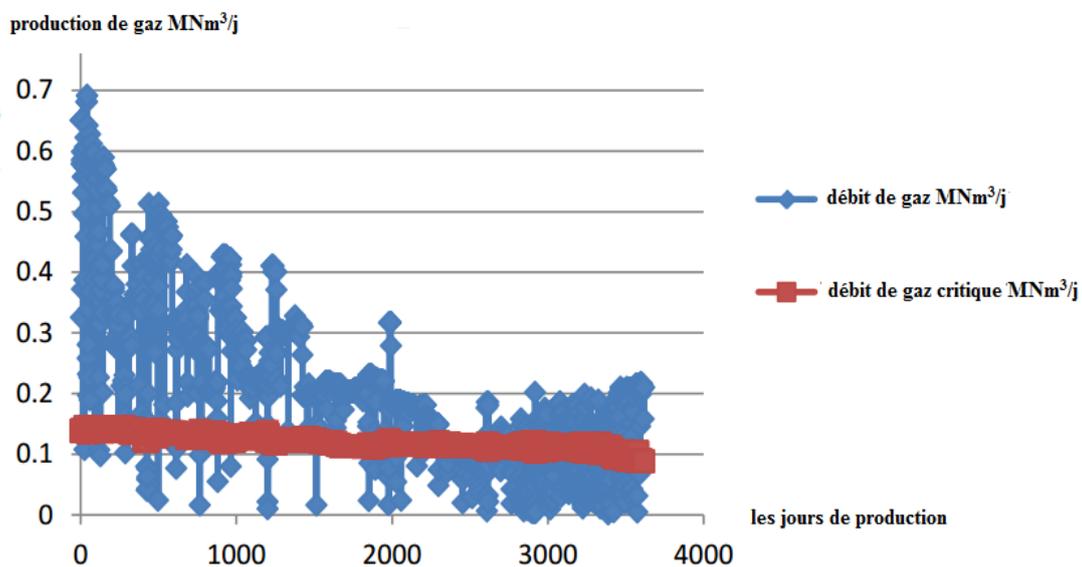
(Figure III.8 :) Production actuelle de TFT 320 [19]

III.1.5 Débits critique :

Pour les deux puits TFT341Z et TFT320, le débit critique a été calculé selon l'équation (6) et ces résultats ont été reportés sur le graphe (figure III.9), afin de voir l'emplacement de la production de gaz, si elle est au-dessous ou au-dessus de débit critique.

Si le débit du puits est plus haut que le débit critique calculé, l'assistance à la production ne s'avère pas nécessaire et en contraire, lorsque le gaz produit est inférieur au débit critique le liquide commence à s'accumuler dans le puits, ce qui nécessite l'assistance. [15]

III.1.5.1 TFT -341Z :



(Figure III.9 :) Comparaison entre le débit de gaz et le débit critique pour TFT-341z

[15]

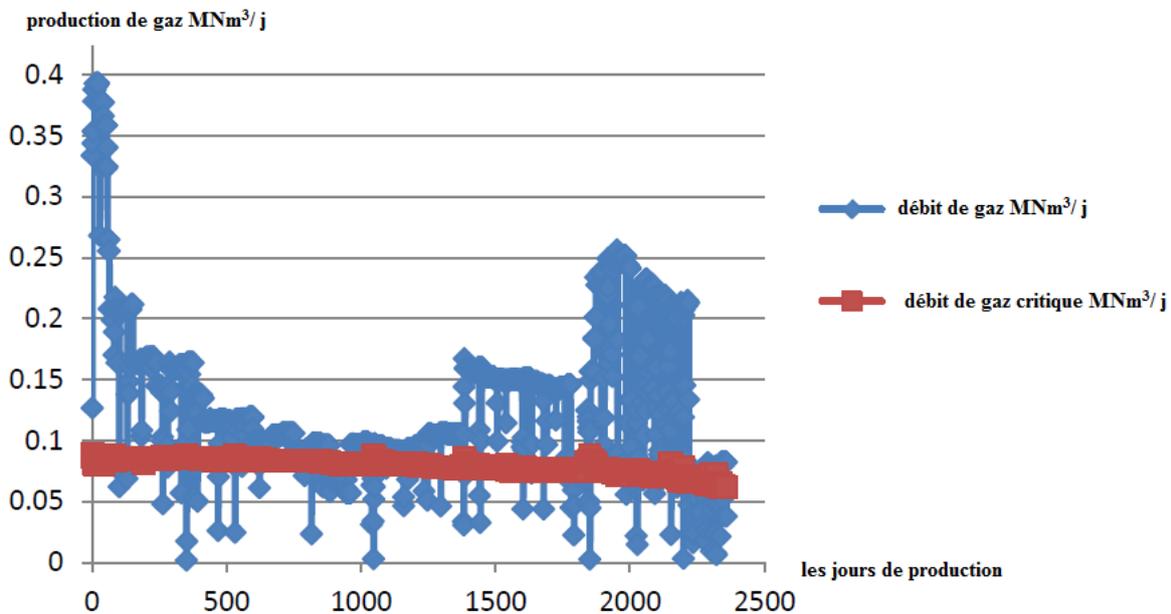
La figure III.9 représente la position du débit de gaz produit par le puits en Bleu par rapport au débit critique calculée et représenté en Rouge.

Ce graph est établi en fonction du cumule de nombre de jour de production par rapport au débit de gaz produit tout le long de cette période. En parallèle le calcul de débit critique a été aussi, établi et reporté sur le même graph durant la même période.

Selon le graph TFT341Z dans les premier temps sa production se situe au-dessus des débits critiques, donc aucun problème de production n'est prévisible.

En dernière période (à partir de 2500 jours) le débit est passé sous la marge du débit critique, effectivement la position des débits de gaz n'est pas localisable et cela est dû à la production par intermittence.

III.1.5.2 TFT -320 :



(Figure III.10 :) Comparaison entre le débit de gaz et le débit critique pour TFT320

[15]

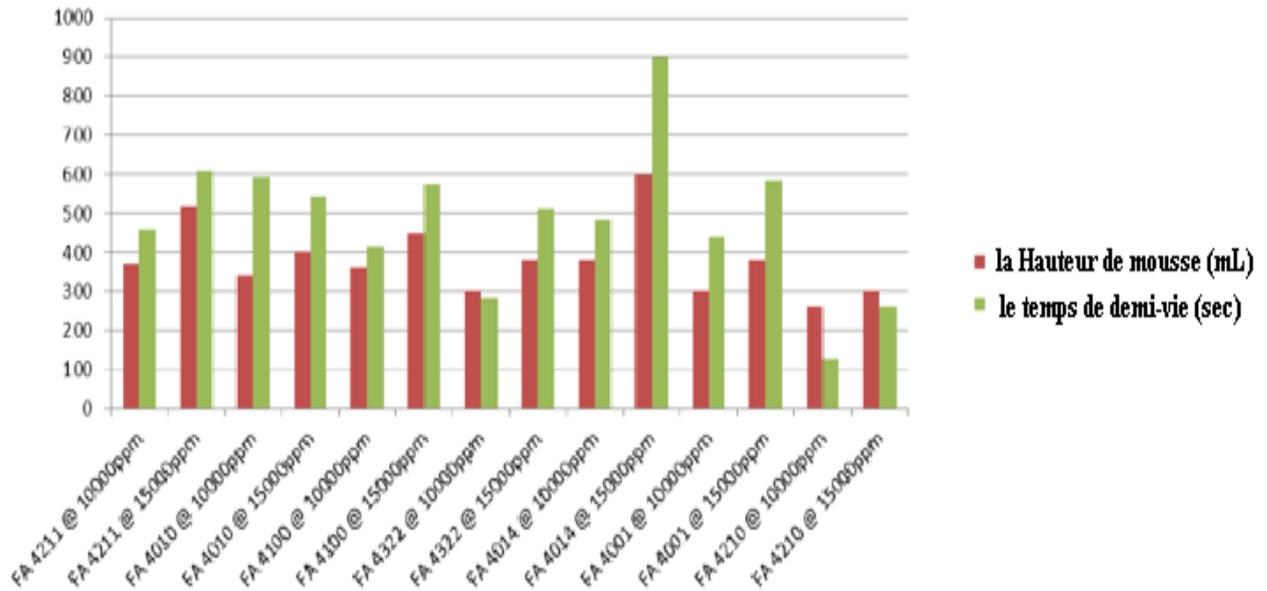
TFT320 en première période son débit a été positionné au-dessus du débit critique, aucune assistance est nécessaire pour le faire produire, mais en dernière période (au-delà de 2100 jours) le débit du puits est passé sous la barre du débit critique.

En cette position le puits nécessite une assistance pour produire.

III.1.6 sélection des agents moussants :

III.1.6.1 TFT-341Z :

Tous les essais des mousses ont été effectués en utilisant un échantillon et deux débits de traitement 10 000 ppm et 15 000 ppm, respectivement.



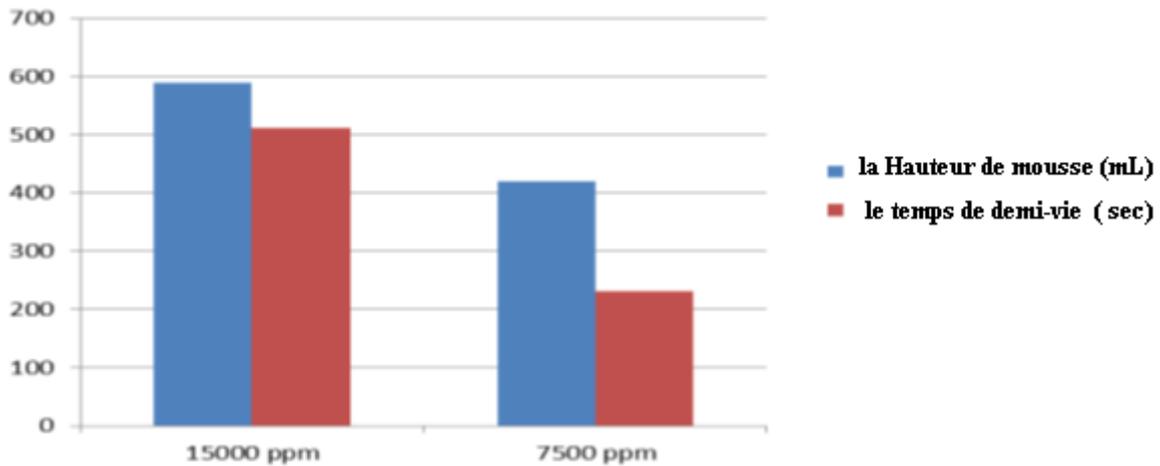
(Figure III.11 :) Comparaison entre l'efficacité des déférences mousse sur le produit de puits TFT 341Z [15]

L'axe des ordonnées représente la hauteur de mousse en ml, et la demi-vie en secondes.

Le graphe (Figure III.11 :) est basé sur la demi-vie et la hauteur de la mousse comme indicateur de qualité, dans ce cas, la mousse convenable est FA4014 (600 ml et 900 sec)

D'autres tests sur la mousse sélectionnée vont être réalisés, en variant le débit, cette fois ci, on garde le même débit maximal précédant 15000 ppm et le nouveau débit 7500 ppm

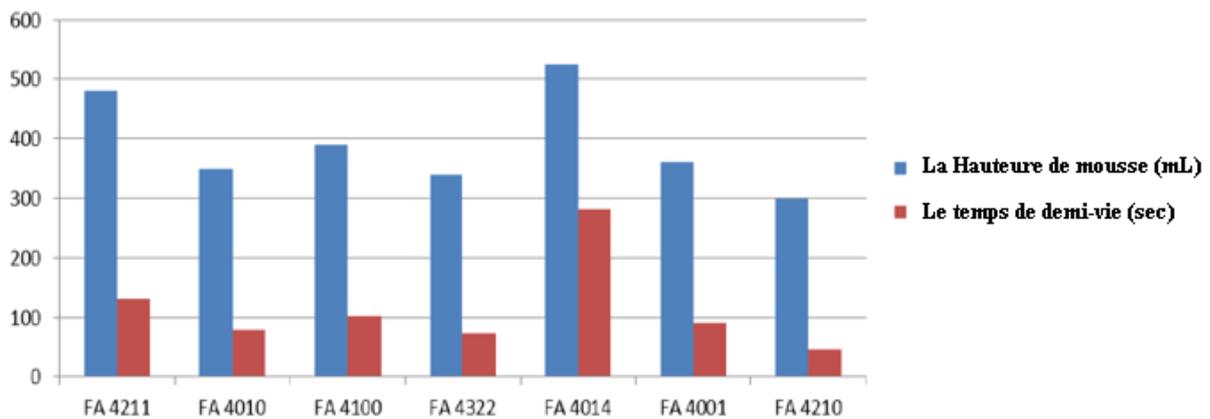
Le débit de traitement 15000 ppm est plus efficace (hauteur 590 ml et temps de stabilisation 511 sec) que le débit 7500 ppm. (Figure III.12)



(Figure III.12 :) Comparaison entre l'influence du débit de traitement sur le produit de puits TFT341Z [15].

III.1.6.2 TFT -320 :

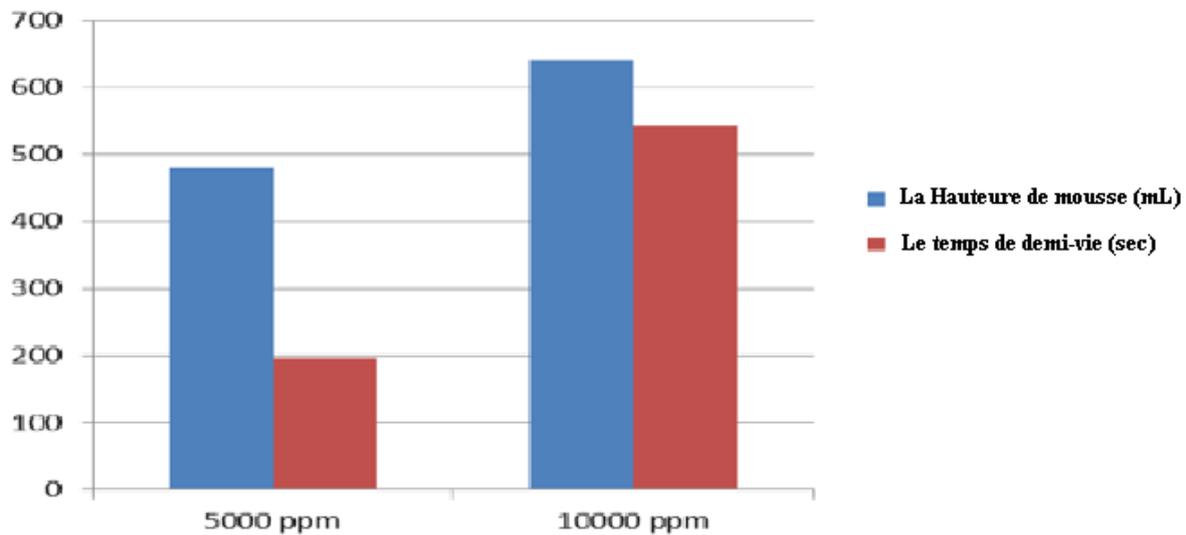
De la même manière, le mousse convenable à TFT320 était sélectionné, sur la base de son effluent et un seul débit (10000 ppm). (Figure III.13)



(Figure III.13 :) Comparaison entre l'efficacité de la déférence mousse sur le produit de puits TFT320 [15].

Comme TFT320 se situe dans le même réservoir de TFT341Z, donc le type de la mousse choisie sera le même (FA4014). La confirmation de ce choix était effectuée sur le même débit précédent et un autre débit 5000 ppm (Figure III.14), le débit de traitement 10000

ppm était plus efficace (hauteur 640 ml et temps de stabilisation 544 sec) que le débit 5000 ppm.



(Figure III.14 :) Comparaison entre l'influence du débit de traitement sur le produit de puits TFT320 [15]

III.1.7 Sélection des anti-mousses :

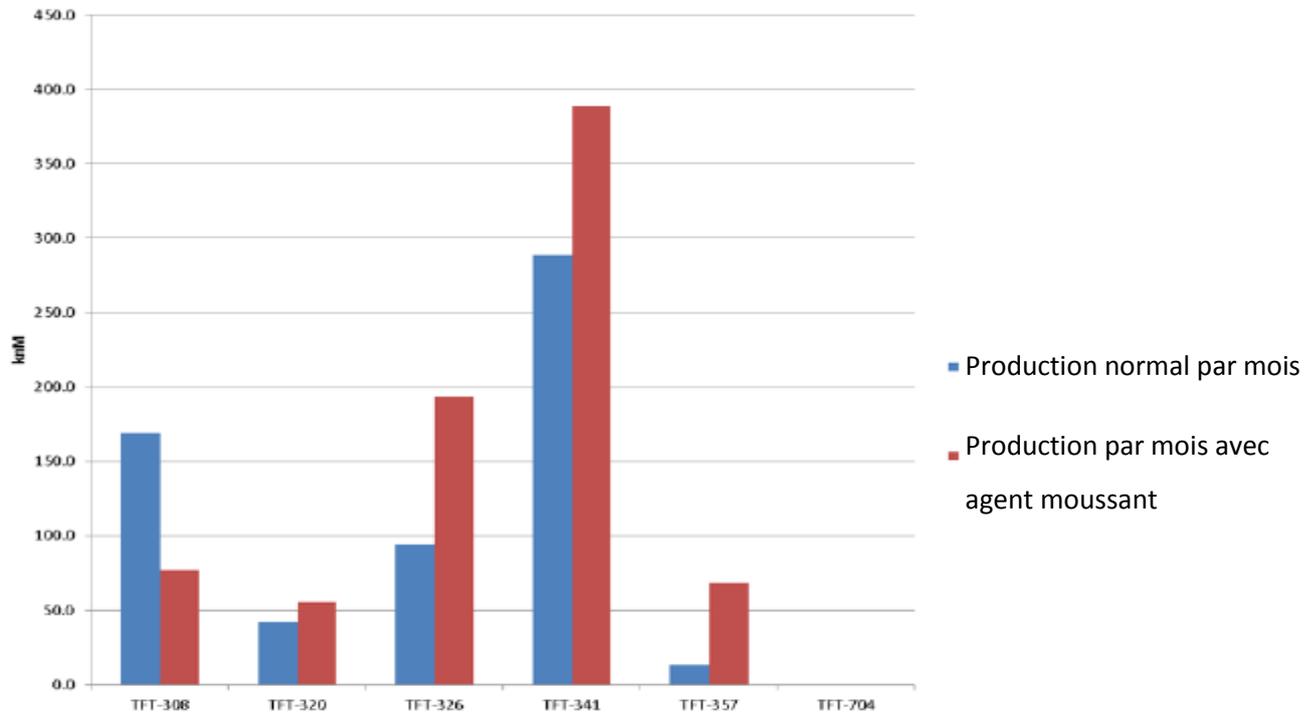
L'injection de l'antimousse doit être faite à travers un piquage dans la ligne de production, pour éviter l'endommagement de l'installation de surface et le débit de cette est basé sur le débit de traitement programmé. La gamme de traitement d'antimousse proposée pour les deux puits est de 400 ppm à 1000 ppm.

L'antimousse proposé pour TFT320 est (MX 7-2091) à cause de faibles concentrations de condensat. Par contre pour TFT 341Z qui contient des grandes quantités de condensat nécessite l'utilisation d'une antimousse de type (MX 7-3430). [20]

III.1.8 Type d'injection proposé :

Pour le cas de GTFT les puits ne sont pas équipés d'un système d'injection dans le fond tel qu'un capillaire ou autre système et ne peuvent pas l'être. Pour cette raison en premier lieu l'injection se fera par l'intermédiaire du coiled tubing, dont une certaine quantité d'un agent moussant sera injectée au fond du puits, Si les résultats sont satisfaisants et que la

production récupérée devient importante, la méthode d'injection par batch sera le bon choix. [20]



(Figure III.15 :) Gain estimé de la production en fonction du temps de cycle prolongé pendant 30 jours [20]

Le gain estimé de la production par l'utilisation de technique FAL dans le GTFT, comme solution de problème de chargement liquide est représenté dans la (figure III.15).

A partir de ces résultats on peut conclure que cette nouvelle technologie va éventuellement être efficace pour remédier le problème de chargement de liquide dans la plupart des puits intermittents, ce qui influe sur l'augmentation de leur production.

III.1.9 Etude économique de l'application de la technique FAL sur TFT341Z :

Un gain de 35 % de la production de TFT341Z est estimé, après l'étude de son cas en test laboratoire,

1m³ de gaz à une valeur de 0.09 USD et BBL de condensat a une valeur de de 39.87 USD.

III.1.9.1 Consommation intermédiaire :

La consommation de l'agent Moussant et dans la marge de 60-90 L / J avec un prix de 5.85 USD/L.

La consommation de l'anti-mousse est dans la marge de 5-10 L /J pour un prix 5.35 USD / L. [20]

(Tableau III.5 :) Consommation intermédiaire de l'agent moussant et l'anti-mousse. [21]

Produit	La marge (q)	Prix (\$)
		q × \$
Agent moussant	60-90	351-526.5
Anti-moussant	5-10	26.75-55.3
		377.75-581.8

(Tableau III.6 :) Gaine estimé pour TFF 341z. [21]

	Débit quotidien avant l'injection (Q) [Nm³/jour]	Le prix quotidien Q × prix [USD /jour]	Débit de gain $\frac{Q \times 35}{100}$ [Nm³/jour]	Prix de gain Q_{ga} × prix [USD /jour]	Débit total Q + Q_{ga} [Nm³/jour]
Gaz	37000	De 3330 USD/ J	12949.06	1165	49949.06
condensat	5.37	1356 USD / J	0.34	0.51USD /J	5.71
					Profit : 581.73 USD/jour

Pour n'autre calcul on a pris la consommation Max journalière des deux produits qui donne une valeur total de 581.8 USD / J, Par différence en terme financier entre le gain journalier en gaz et condensat par rapport dépense journalier.

L'investissement pour la réalisation de cette application FAL, se devise en deux catégories.

CAPEX et OPEX.

Le CAPEX Représente les dépenses concernant tous les équipements et modifications subit sur puits pour adapter la méthode FAL, et sont amortissement est calculé en paye back time.

L'OPEX Représente la consommation journalière de l'agent moussant et l'antimousse, et son remboursement est affecté sur sa production journalière.

III.2 Champ du gaz Barbara en mer Adriatique

Le puits de candidat est Barbara E 45 réalisé en 2004, situé sur le champ gazéifié géant Barbara, dans le secteur nord de la mer Adriatique. Les paramètres Barbara # E45 sont [5] :

- ✓ Diamètre de tubing 3,5 "
- ✓ Profondeur totale 1150 m
- ✓ La déviation maximale de 27,5 ° à 550 m
- ✓ Température de tête dynamique 19 °C
- ✓ Température de fond dynamique 40°C
- ✓ La pression de tête statique =35 bar
- ✓ La pression de tête dynamique =20 bar

En raison de chargement de liquide, le puits était en état d'arrêt (pas de production) depuis un an. Avant l'arrêt définitif, la faible production d'eau 0.6 m³/jrs a diminué la productivité et, elle a été complètement arrêtée seulement qu'après 12 à 24 heures. [5]

Ce problème était traité par la technique FAL, où l'injection des agents moussants ont été assurés à partir d'un tube capillaire (tableau III.9), à partir de la ligne de commande existante et de la vanne de sécurité de subsurface (WR-SCSSV : Wire Line Retrievable Surface Controlled Subsurface Safety Valve) sans modifier la tête de puits. [22]

Deux types des mousses et anti-mousses ont été testés afin de choisir les plus convenables pour effectuer cette technique (Tableau III.7), dont le dosage initial de mousse dépend de la société de service et son débit d'injection a été décidé à partir des paramètres de production réelle et l'équation (11).

Par contre, le débit d'injection de l'anti-mousse est en fonction de la quantité de liquide récupéré plus le débit d'injection de la mousse. [5]

(Tableau III.7 :) Dosages et Volumes consommé de produit d'injection. [5]

La société de service	produits	fonctionnalités	Débit initiale	Débit final	Le volume consommé
A	Mousse	No- toxique	43 l/jour	29 l/jour	530 litres
A	Anti mousse	No- toxique	43 l/jour	36 l/jour	630 litres
B	Mousse	No- toxique	24 l/jour	48 l/jour	137 litres
B	Anti mousse	Légèrement- toxique	24 l/jour	12 l/jour	108 litres

III.2.1 Tube capillaire utilisé pour cette application présente les caractéristiques suivantes :

(Tableau III.8 :) caractéristiques de tube capillaire. [22]

Diamètre extérieur	¼- in
Matériau TP	316 Ti (inox)
Pression de service	8744 psi
la pression Hydraulique de l'essai	12.000 psi
Poids linéaire	0,1585 kg / m



(Figure III.16 :) l'installation de tube capillaire [22]

III.2.2 Résultat final :

Selon le tableau (III.9), l'application de la technique FAL sur le puits Barbara E45 était réussite [5] :

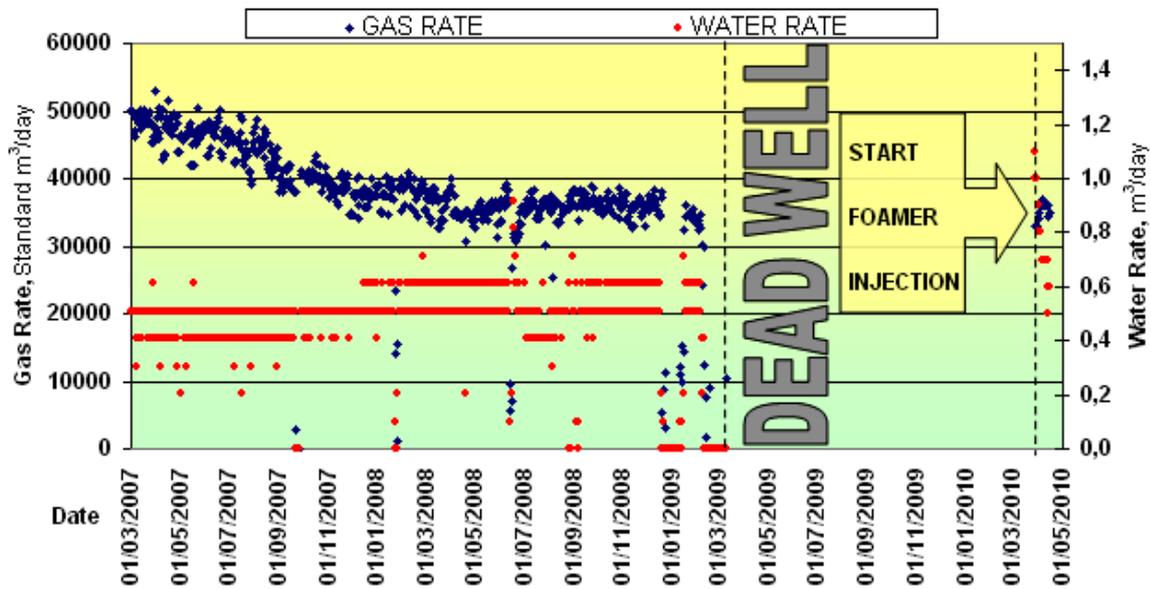
(Tableau III.9 :) Comparaison avant et après l'injection. [5]

Les paramètres	Avant stopper la production (Mars 2009)	Après l'injection (Mars 2010)
Pression de tête dynamique	9.2 kg/cm ²	10.6 kg/cm ²
Vitesse de gaz critique(Turner)	6.9 m/s	0.6 m/s
Vitesse de gaz critique (Coleman)	5.6 m/s	0.5 m/s
Débit de gaz critique (Turner)	31500 m ³ /jour	2800 m ³ /jour
Débit de gaz critique (Coleman)	25000 m ³ /jour	2300 m ³ /jour
Débit de gaz	29000 m ³ /jour (irrégulier)	34000m ³ /jour (régulière)
Débit de l'eau	0.6 m ³ /jour	0.7 m ³ /jour
période d'écoulement	Max 12-24 heures	pas arrêté

En fait, l'injection continue de mousse a augmenté le débit de gaz d'environ 17%, par rapport aux anciens paramètres de production de puits, cités dans le tableau (III.11), en plus la production n'a jamais été arrêtée ni réduite, comme auparavant avant l'application de la technique FAL, mais elle est restée constante et régulière (voir Figure suivante).

En outre la récupération de l'eau était accrue par 16% et la pression dynamique de la tête du puits a eu une amélioration de 13%.

Donc d'une façon générale l'injection de la mousse a pu résoudre le problème de chargement de liquide dans ce puits en optimisant la récupération de gaz et de liquide. [5]



(Figure III.17 :) la production après l'injection de l'agent moussant [21]

Conclusion générale

Ce travail a comme objectif l'étude de la technique FAL (Foam Assisted Lift) pour résoudre le problème de chargement de liquide dans les puits gazéifiés. Afin de le satisfaire on a essayé de traiter le projet d'application de cette technique en Algérie dans le champ gazéifié Tin Fouye Tabankourt (TFT) à In Amenas, sur les deux puits candidats, TFT341Z (horizontal) et TFT320 (vertical) et comme ce projet n'a pas eu encore lieu pour prouver sa réussite ou sa déficite, on a entamé un cas réussit ailleurs, le puits E45 dans le champ Barbara au large de la mer adriatique.

La réussite de cette technique appuie sur trois étapes essentielles, la sélection des puits candidats, le choix de la mousse et l'anti-mousse convenables en fonction des effluents produits par le puits, en prenant en compte les conditions d'environnement et le type d'injection selon l'installation existante et l'état chargement de puits par le liquide.

Concernent l'application de cette méthode en Algérie et en attendant ses résultats, on peut proposer ce qui suit, afin d'atteindre sa réussite :

- ✓ L'injection continue par installation de tube capillaire situé dans l'annulaire, car les puits candidat présentent un débit d'eau très important.
- ✓ La séparation des phases produites à la surface, avant la collecte avec des autre puits voisin, ce qui nécessite un séparateur fixe proche de la tête de puits ou au niveau de manifold (selon l'installation).

Pour enrichir et compléter ce travail on recommande le suivi de l'application de cette technique a TFT, pour critiquer sa réussite ou sa déficite.

Références bibliographiques

- [1] H. ZEGHOUD, Mémoire etude et analyse des problemes de venues d'eau dans le champ d'ohanet devonien, université boumerdes, 2007/2008.
- [2] T. PURWANTO et al, Une application de « foam assisted lift» pour améliorer la productivité des puits de gaz, TECHNOHUB (Le magazine des techniques de l'Exploration-Production de Total), Total, juillet 2013.
- [3] M. DJEMAI, Simulation Numérique de l'écoulement gaz-liquide ascendant à POCHEs DANS UNE CONduite verticale, Université M'Hamed Bouguerra, Boumerdes,2003.
- [4] A. FRIDA, use foam to solve liquid loading probleme in gas well, Norwegian university of science and technology, 5 décembre 2013.
- [5] C. PASSUCCI et al, downhole injection of foaming agent with capillary string in a mediterranean offshore gas well, 10 th Offshore Mediterranean Conference and Exhibition in Ravenna, Italy, March 23-25, 2011.
- [6] J. WAGENER, de Weatherford ALS Sales, 10-11-11.
- [7] F. JAMES et al, gas well deliquification, second edition, gulf driling guides, 2008.
- [8] Foam assisted lift (FAL) solutions, multichem halliburton, 2014.
- [9] B. SYLVAIN, Modélisation et simulation du comportement des milieux plastique nous : mousses liquides, émulsion, these de doctorat, universite bordeaux I, 2009.
- [10] Caroline RONDEL, Synthèses et propriétés de mélanges de nouvelles molécules polyfonctionnelles lipopeptidiques tensioactives, these doctorat, Université de Toulouse, 17 février 2009.
- [11] R. GRUMBE et al, Impact d'un tensioactif sur les propriétés de mouillage, projet, universite Nice Sophia-Antipolis.
-
-

Références bibliographiques

[12] Pr. BENHAMZA Med El-Hocine, Nouvelles formulations pour peintures, résines et adjuvants, à base de tensioactifs biodégradables Laboratoire d'Analyses Industrielles et Génie des Matériaux, Université 08 Mai 1945 – Guelma.

[13] Djivedé Elvire TOGNISSO, Ecoulements de fluides complexes en milieu poreux : Utilisation de Micelles Géantes pour la Récupération Améliorée du Pétrole, these doctorat, l'université bordeaux 1, 2011.

[14] Chad Wittfeld et al, A foam lifting manual : Current Best Practices from the Land Asset. Nederlandse AARDOLIE MAATSCHAPPIJ B.V.23.

[15] Multi-chime Groupement Tin-Fouye Tabenkort Hassi Messaoud, Foam Assisted Lift in Algeria June 15th, 2013.

[16] Kamel Lemlouma, Mémoire simulation d'un traine de traitement de gaz à l'aide des outils HYYSYS et PRO, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique, juin 2009.

[17] Groupement TFT, discussion with the service companies : Gaz Intermittent Wells in tft-solution on the market, groupement TFT.

[18] Archive de well test des puits GTFT.

[19] Excel OFM.

[20] Pieter Vijn, Foamer Assisted Lift GFTF AlgeriaTFT-320 and TFT-341Z, multi-chime, Nov,17 2015.

[21] http://www.opec.org/opec_web/en/data_graphs/40.htm.

[22] Pasquale Imbò et Marco Pelucchi Innovative, Capillary Deliquification Safety System Resolves Liquid Loading Problems with a Cost-Effective Solution that Maximizes Production While Maintaining Well-Safety Requirements, 7th European Gas Well Deliquification Conferenc Groningen on 24-26 September 2012, ENI.

Annexe

Test de mousse

Tests de mousse a été effectuée en utilisant les fluides produits à partir de chaque puits de candidat et en utilise l'appareil de test (**Hamilton Beach malt mixer**) voir la figure (A.1) fonctionnant à la vitesse la plus basse.

Des tests en labo sont réalisés suivant les critères suivants :

- ✓ On prépare un mélange eau de formation (200ml) / agent moussant avec des concentrations différentes.
- ✓ On agite ce mélange durant 30 sec.
- ✓ Transfert de ce mélange en éprouvette et on mesure la hauteur de mousse.
- ✓ On note le temps au bout duquel 100ml d'eau est séparé de la mousse. Ce temps est appelé (temps de demi-vie)
- ✓ Ce temps est très important car il ne faut pas que celui-ci soit trop faible (pas assez pour produire) ni trop long (la mousse doit se dissoudre rapidement).
- ✓ L'objectif est donc de trouver le bon produit suivant la qualité des effluents que l'on possède à GTFT.

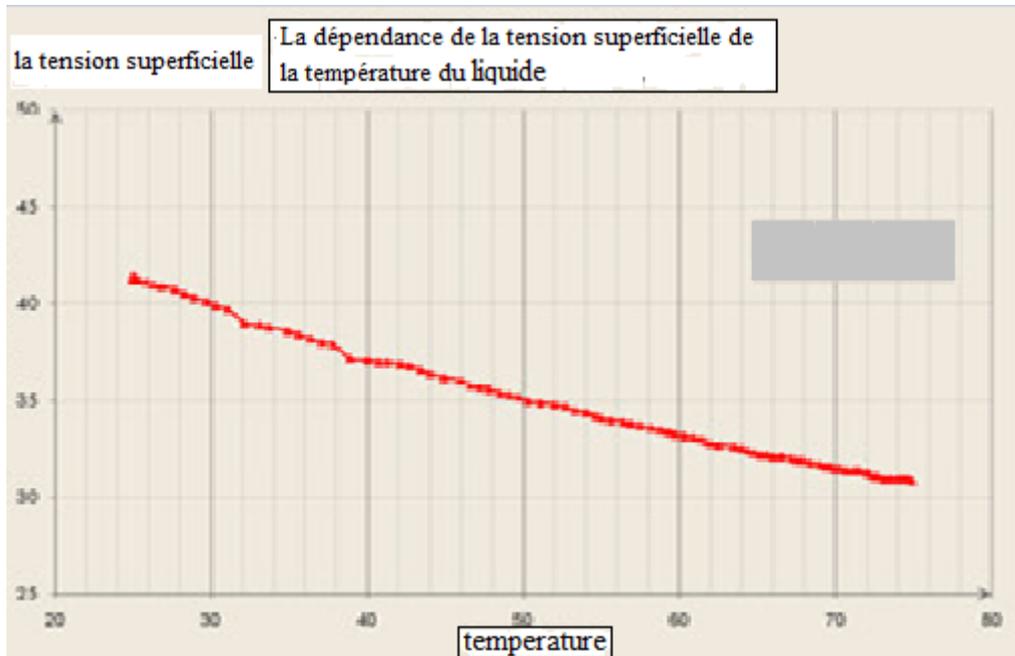


(Figure A.1 :) l'appareil de test.

Annexe

Les effets de température :

En général, la tension superficielle diminue lorsque la température augmente figure (A.2), ce qui facilite le rôle des molécules tensioactives en plus augmenté leur dynamique.



(Figure A.2 :) L'effet de température sur les tensioactifs

En conséquence, les caractéristiques du surfactant contenant des liquides sont sensiblement influencées par les changements de température. Selon le produit, l'influence de la température peut avoir un positif ou négatif effet sur les caractéristiques requises. Afin d'éviter des changements négatifs, il est essentiel d'ajouter d'autres agents tensio-actifs ou diluer la solution respectivement.

Le déroulement d'injection proposé par batch pour les puits candidats de GTFT :

- Kick off meeting sur site sur le Procédé par batch pour première observation des effets de l'agent moussant et la procédure à suivre
 - Risk assessment
 - Elaboration permis de travail
 - Check List des équipements.
 - Check List produits chimiques(MSDS).
 - Montage des pompes (moussant et des émulsifiant)
-

Annexe

- Fermer le puits 1 heure avant.
 - Réaliser Echometer pour déterminer le niveau de liquide dans le puits.
 - Démarrer le pompage du volume de KCL prédéfinie.
 - Démarrer le pompage du volume moussant prédéfinie.
 - Démarrer le pompage du volume post flush prédéfinie.
 - Fermer le puits par 24 heures pour permettre l'action du moussant.
 - Re-ouvrir le puits pendant 24-48 heures avec monitoring des paramètres en surface.
 - Echantillonnage et suivi des paramètres d'action des produits.
-

Résumé :

Toutes les techniques de lifting sont destinées à obtenir le même objectif ; soulager les colonnes hydrostatiques et reprendre la production.

Ce travail consiste à étudier la minimisation ou l'élimination du problème de chargement liquide dans les puits gazéifiés, en utilisant la technique FAL (Foam Assisted lift). Pour aborder cette problématique, on a étudié l'application de cette technique en Algérie, au champ GTFT.

Mots clés : Assistant par mousse lift, agent tensioactifs, tube capillaire, champs TFT, puits gazéifiés, déliquéfaction.

Abstract:

All lifting techniques are designed to achieve the same purpose, relieve hydrostatic columns and restart production.

This work is to study the minimization or elimination of liquid loading problem in gas wells, using the FAL technique (Foam Assisted Lift). To address this issue, we studied the application of this technique in Algeria, GTFT field.

Key words: foam assisted lift, tensionactif agent, capillary string, TFT field, gas well, deliquification.

ملخص:

تعمل جميع تقنيات رفع الموائع على تحقيق نفس الهدف الا وهو تخفيف كتلتها الحجمية وتحسين انتاج المحروقات. هذه الدراسة من اجل تقليل او القضاء نهائيا على مشكلة تجمع الماء في الابار الغازية باستخدام تقنية FAL أو ملء البئر بالرغوة. لمعالجة هذه التقنية قمنا بدراسة تطبيقها في الجزائر في حقل الغاز في TFT

الكلمات المفتاحية : الرفع بواسطة الرغوة، المصينات، الانبوب الشعري، حقل الغاز TFT، الابار الغازية.