

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



Département de Génie Mécanique

*Mémoire de master pour l'obtention du
Diplôme de Master en Energétique*

**Récupération du gaz naturel contenu dans un
tronçon de gazoduc endommagé au moyen de deux
unités de compression mobiles**

Présenté par :

AMARA Idir

Encadré par :

Mr: H. BENNOUR

Mr: A. BILEK

Présenté(e) et soutenue publiquement le 29/06/2016

Composition du jury :

Président	Mohamed BOUAZIZ	Pr	ENP
Promoteurs	Hocine BENNOUR	MAA	ENP
	Amar BILEK	MCA	ENP
Examineur	Mohamed BEN BRAIKA	MAA	ENP

ENP 2016

Remerciements

Je tiens d'abord à remercier mes parents. C'est grâce à eux que je suis arrivé là. Je leur dois tout, de toute façon.

Ce travail ne se serait pas fait, sans l'aide de plusieurs personnes qui ont contribué de près ou de loin à sa réalisation.

D'abord, j'adresse mes vifs remerciements à mes encadrants du côté de l'école Polytechnique et de Sonatrach, Division TRC.

A l'ENP, je ne remercie jamais assez mes deux promoteurs en l'occurrence Mr. BENNOUR H et Mr. BILEK A, pour leur permanente disponibilité, leur investissement et leurs précieux conseils qui m'ont guidé dans l'élaboration de ce travail.

Je suis très reconnaissant à Mr. A. OULHADJ, directeur de la direction Pipeline Integrity Management à TRC Sonatrach.

Mes remerciements les plus sincères vont également à Mr. M. BOUAZIZ qui ma fait l'honneur de présider notre Jury

Il sera accompagné de Mr. M. BENBRAÏKA que je remercie particulièrement pour avoir accepté d'évaluer ce travail et de faire partie du Jury.

J'ai également à cœur d'exprimer mes sincères remerciements à l'ensemble du personnel et l'encadrement de l'Ecole Nationale Polytechnique ainsi qu'à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation.

Je remercie enfin tous mes amis et camarades de promotion ainsi que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ma formation et à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

A mes parents bien aimés, pour leurs soutiens et leurs
amours.

A mon seul frère adoré Abderezak.

A mes sœurs Myassa, Lakri, Ghalia et Dihia.

A ma belle-sœur Aldjia

A mes beaux-frères Ouali, Ali, Akli, Arezki.

A mes nièces Malia et Milia.

A mon neveu le petit Ali.

A la mémoire de ma grand-mère.

A toute la famille AMARA.

A tous mes amis

AMARA IDIR

في هذه الدراسة، قمنا بنمذجة عمل وحدتين ضاغطتين متطابقتين ومركبتين على أنبوب غاز به عطب، وقمنا بدراسة نوعين من وحدتين اما مركبتين بالتوازي او بالتسلسل،

من أجل هذا، يتم تأسيس البرنامج باستخدام البرمجيات ماتلاب الذي يسمح بمحاكاة تشغيل هاتين الوحدتين الضغط النهائي، الوقت اللازم لإجراء العملية، درجات الحرارة المختلفة وقوة المحركات، أيضا تأثير الضغط وطول خط الانبوب على الخصائص المذكورة سابقا.

الكلمات الدالة: الضاغطة، الانابيب، الضغط الأساسي، وقت المستغرق لإتمام العملية

Abstract

In this study, we modeled the operation of two identical compressor units installed on a faulty pipeline, two different combinations of its units are used either in parallel or in series, for this, a program is established using the software MATLAB which allows for the simulation of the operation of these two units.

The final pressure in the pipeline, the time required for the procedure, different temperatures and the power of the drive motors have been shown, also the influence of the pressure and the languor of the pipeline on the parameters mentioned earlier.

Keywords : compression unit, pipeline, pipeline operating pressure, emptying time.

Résumé

Dans cette étude, nous avons modélisé le fonctionnement de deux unités de compression identique installées sur un gazoduc défectueux, deux combinaisons différentes de ses unités sont étudiées, soit les deux unités opèrent en parallèle ou en série, pour ce faire, un programme est établi à l'aide du logiciel MATLAB qui permet de faire la simulation du fonctionnement de ces deux unités.

La pression finale qui règne dans le gazoduc, le temps nécessaire pour l'intervention, les différentes températures ainsi que la puissance des moteurs d'entraînement ont été représentés, par ailleurs, l'influence de la pression de service et la longueur du gazoduc sur les paramètres cités auparavant.

Mots clés : unité de compression, gazoduc, pression de service, temps de vidange.

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Nomenclature

Introduction.....13

Chapitre 1 : Présentation de l'unité de compression 15

1.1 Description des deux phases de fonctionnement du compresseur :15

Chapitre 2: description de la méthode utilisée pour l'évacuation de la conduite endommagée : 18

2.1 Fonctionnement en parallèle des deux unités de compression :18

2.1.1 Description du fonctionnement des deux unités :18

2.2Fonctionnement en série des deux unités de compression :18

2.2.1 Description du fonctionnement des deux unités :19

Chapitre 3 : Résultats et interprétation 30

3.1 Les variables utilisées pour présenter les résultats des simulations :30

Conclusion 42

Bibliographie.....44

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Définition des phases de fonctionnement de l'unité de compression.....	15
Tableau 3.1 : résultats	39

Liste des figures

Fig.1.1 : Schéma de l'unité de compression.....	16
Fig.2.1 : schéma d'installation des deux unités de compression.....	18
Fig.2.2 : schéma d'installation des deux unités de compression.....	19
Fig.3.1 : Evolution de la pression à l'aspiration du compresseur en fonction du temps avec une seule unité qui opère	31
Fig.3.2 : Evolution de la pression à l'aspiration du compresseur en fonction du temps avec deux unités opérant en parallèle.....	32
Fig.3.3 : Evolution de la pression à l'aspiration du compresseur en fonction du temps avec deux unités opérant en série.....	33
Fig.3.4 : évolution des températures à la sortie des étages de compression de l'unité de compression en fonction du temps avec deux unités opérant en parallèle.....	34
Fig.3.5 : évolution des températures à la sortie des étages de compression de l'unité de compression en fonction du temps avec deux unités opérant en série.....	34
Fig.3.6 : Evolution de la puissance du moteur de l'unité 1 en fonction du temps avec deux unités opérant en série.....	35
Fig.3.7 : Evolution de la pression à l'aspiration de l'unité 2 en fonction du temps avec deux unités opérant en série	36
Fig.3.8 : Evolution de la puissance du moteur de l'unité 2 en fonction du temps avec deux unités opérant en série.....	36
Fig.3.9 : durée de l'opération de transfert pour différentes valeurs de la pression de d'exploitation avec deux unités opérant en parallèle.....	37
Fig.3.10 : durée de l'opération de transfert pour différentes valeurs de la pression d'exploitation avec deux unités opérant en série.....	37
Fig.3.11 : Durée de l'opération de transfert du gaz pour différentes longueurs du gazoduc avec deux unités opérant en parallèle.....	38
Fig.3.12 : Durée de l'opération de transfert du gaz pour différentes longueurs du gazoduc avec deux unités opérant en série.....	39

Nomenclature

D : Diamètres des pistons (m)

d : densité du gaz

E = Volume des espaces morts en %

g : accélération de la pesanteur (m/S^2)

\mathcal{H}_a : hauteur adiabatique (m)

H_{a1} : hauteur adiabatique du premier étage lorsque le compresseur fonctionne suivant la phase 2 (m)

H_{a2} : hauteur adiabatique deuxième étage lorsque le compresseur fonctionne suivant la phase 2 (m)

L : longueur du tronçon à évacuer (m)

M : masse molaire apparente du gaz ($kg/kmol$)

M_0 : masse molaire de l'air ($kg/kmol$)

\dot{m} : débit massique de gaz refoulé par le compresseur (kg/h)

\dot{m}_g : débit du gaz consommé par le moteur (kg/h)

\dot{m}_{tot} : débit massique total de gaz évacué (kg/h)

N_1 : Vitesse de rotation du moteur lors de la phase 1 (trs/min)

N_2 : Vitesse de rotation du moteur lors de la phase 2 (trs/min)

PCI : pouvoir calorifique inférieur (kJ/kg)

P_0 : Pression dans les conditions normales ($P_0 = 1,013 \text{ bar}$)

P_e : Pression d'entrée au compresseur (bar)

P_{ee2} : Pression à l'entrée du deuxième étage du compresseur lors de la deuxième phase (bar)

P_s : Pression de sortie compresseur (bar)

P_{ser} : Pression de service (bar)

P_{ec2} : Pression d'entrée compresseur de la deuxième unité (bar)

\dot{Q}_H : taux d'énergie thermique nécessaire au moteur (kJ/s)

\bar{R} : constante universel des gaz ($kJ/kmol.K$)

S : Course des cylindres (m)

t : temps de totale de vidange (h)

T : température entré étage 2 lors du fonctionnement du compresseur a la phase 2

T_0 : Température dans les conditions normales ($T_0 = 273K$)

T_a : Température ambiante (K)

T_e : température à l'entrée du compresseur (K)

T_s : température à la sortie du compresseur (K)

T_{se1} : température à la sortie du premier étage du compresseur lors de la deuxième phase
(K)

\dot{V} : le débit volumique à l'entrée d'un cylindre du premier étage de compression (m^3/h)

\dot{V}_1 : débit volumique d'un cylindre du premier compresseur (unité 1)

\dot{V}_2 : débit volumique d'un cylindre du deuxième compresseur (unité 2)

V_N : Quantité de gaz contenue dans le tronçon défectueux (Nm^3)

V_{N1} : Quantité de gaz contenue dans le tronçon non défectueux (Nm^3)

\dot{V}_{th} : Débit volumique théorique d'un cylindre (m^3/h)

W : travail spécifique du compresseur (kJ/kg)

\dot{W}_c : puissance du compresseur (W)

\dot{W}_{e1} : Puissance du premier étage lorsque le compresseur fonctionne suivant la phase 2 (W)

\dot{W}_{e2} : Puissance du deuxième étage lorsque le compresseur fonctionne suivant la phase 2 (W)

\dot{W}_m : puissance du moteur (W)

Z : facteur de compressibilité

Z_a : facteur de compressibilité dans le gazoduc défectueux

Z_{a1} : facteur de compressibilité dans le gazoduc non défectueux

Z_e : facteur de compressibilité du gaz à l'entrée du compresseur

Z_{ee2} : facteur de compressibilité du gaz à l'entrée du deuxième étage du compresseur lors de la deuxième phase

Z_s : facteur de compressibilité du gaz à la sortie du compresseur

Z_{se1} : facteur de compressibilité du gaz à la sortie de l'étage 1 du compresseur lors de la deuxième phase

ΔV_N : quantité de gaz évacuée entre deux instants correspondant à deux valeurs P et $P - p$ de la pression dans le tronçon en cours d'évacuation (Nm^3)

ΔV_{N1} : : quantité de gaz évacuée dans le tronçon non défectueux entre deux instants correspondant à deux valeurs P et $P - p$ de la pression dans le tronçon en cours d'évacuation (Nm^3)

Δt : temps nécessaire pour passer de la pression P à $P - p$ dans le tronçon défectueux (h)

γ : Rapport des chaleurs spécifique ($\frac{C_p}{C_v}$)

ϕ : Diamètre du tronçon à évacuer (m)

η_{is} : rendement isentropique

η_{mc} : rendement mécanique du compresseur

η_v : rendement volumétrique

η_{v1} : rendement volumétrique du premier étage lorsque le compresseur fonctionne suivant la phase 2

η_{v2} : rendement volumétrique du deuxième étage lorsque le compresseur fonctionne en phase 2

η_{vc1} : rendement volumétrique du premier compresseur (unité 1)

η_{vc2} : rendement volumétrique du deuxième compresseur (unité 2)

τ_{max} : Taux de compression maximum

τ_1 : taux de compression du premier étage lorsque le compresseur fonctionne en phase 2

τ_2 : taux de compression du deuxième étage lorsque le compresseur fonctionne en phase 2

τ_{c1} : taux de compression du premier compresseur (unité 1)

τ_{c2} : taux de compression du second compresseur (unité 2)

Introduction

Introduction

Cette étude est une extension du projet de fin d'études soutenu avec mon camarade Ali Badsı le 15 juin 2016 sur le thème "Etude d'une unité de compression mobile permettant la récupération du gaz naturel lors des interventions sur les gazoducs".

Dans notre projet de fin d'études d'ingénieur, deux configurations d'unités de compression ont été étudiées, chacune pouvant être exploitée successivement selon un "mode parallèle" puis selon un "mode mixte" combinant des éléments opérant en parallèle avec des éléments opérant en série. L'objectif étant de transférer le maximum de gaz naturel d'une partie de gazoduc endommagée vers une autre partie saine, en un minimum de temps. L'étude avait montré que la configuration II, qui est la plus performante, permet de réaliser l'opération de transfert du gaz d'un tronçon de 40'' de diamètre et 20 km de long vers un gazoduc où la pression d'exploitation est de 45 bars, en 41 heures, tout en réduisant la pression dans la partie endommagée à une valeur juste au-dessus de 5 bars. Nous avons également pu comprendre à partir de cette étude qu'une unité de compression mobile serait un investissement très rentable pour Sonatrach, au vu des gains qu'elle permettrait de réaliser en évitant la mise à l'évent de quantités considérables de gaz, ainsi que les pénalités et taxes dont Sonatrach doit s'acquitter afin d'obtenir à chaque fois les autorisations nécessaires pour procéder à ces mises à l'évent. Sans oublier le rôle que pourra jouer une telle unité en tant que mesure de lutte contre les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

La présente étude tentera, dans la perspective que l'acquisition de deux unités de compression mobiles plutôt qu'une serait possible, de déterminer les gains de performance qui seraient dus à l'utilisation de deux unités de compression mobiles selon différents modes d'exploitation. Nous avons choisi pour cette étude deux unités identiques correspondant à la configuration II étudiée dans le cadre du PFE [8].

Chapitre 1 : Présentation de l'unité de compression

Chapitre 1 : Présentation de l'unité de compression

Les deux unités de compression utilisées comportent chacune un compresseur volumétrique à piston qui fonctionne selon deux phases (phase 1 et phase 2), le compresseur est constitué de quatre cylindres identiques qui sont arrangés soit en parallèle (phase 1) ou bien en série (phase 2). Lors de la phase 2, le premier étage comporte trois (3) cylindres arrangés en parallèle et le second comporte un seul cylindre, les deux étages de compression fonctionnent en série (voir tableau 1 ci-dessous) [1].

Tableau 1.1 : Définition des phases de fonctionnement de l'unité de compression.

Disposition des 4 cylindres lors de la phase 1	Disposition des 4 cylindres lors de la phase 2
Les quatre cylindres sont en parallèle	Deux étages en série dont le premier comprend trois cylindres identiques en parallèle de diamètre d et le second comprend un seul cylindre de diamètre D .
Tous les cylindres ont la même course.	

1.1. Description des deux phases de fonctionnement du compresseur :

L'unité de compression est représentée schématiquement à la figure 1 ci-dessous. Au début, le compresseur fonctionne à vide (les vannes V2 et V6 sont fermées, tandis que toutes les autres sont ouvertes), jusqu'à ce que le moteur d'entraînement et le compresseur atteignent les conditions leur permettant une montée en puissance en toute sécurité. Dans ce mode, le moteur et le compresseur sont très faiblement chargés, et leur montée en température se fera en douceur et sans danger.

Une fois la montée en régime accomplie (par exemple, lorsque la valeur de la température de l'huile de lubrification atteint sa consigne), la vanne de refoulement V6 s'ouvre et la vanne de dérivation V5 se referme. C'est à ce moment que la première phase de compression entre en lice. Lors de cette phase de fonctionnement, le gaz est aspiré par les quatre cylindres du compresseur, les vannes V1, V3, V4 et V6 sont ouvertes et les vannes V2 et V5 sont fermées (voir figure 1). Chaque cylindre comprime le gaz puis un refroidissement aura lieu avant de refouler le gaz en aval du gazoduc isolé.

Pour le phase 2, les vannes V3 et V4 se ferment et la vanne V2 s'ouvre pour mettre les deux étages en série, le gaz est comprimé par le premier étage de compression qui comprend trois cylindres, suivis de trois échangeurs pour assurer le refroidissement du gaz entre les deux étages. A la sortie du deuxième étage, le gaz est de nouveau refroidi avant d'être refoulé dans le gazoduc de destination.

Le compresseur cesse automatiquement de fonctionner une fois qu'il aura atteint son taux de compression maximum.

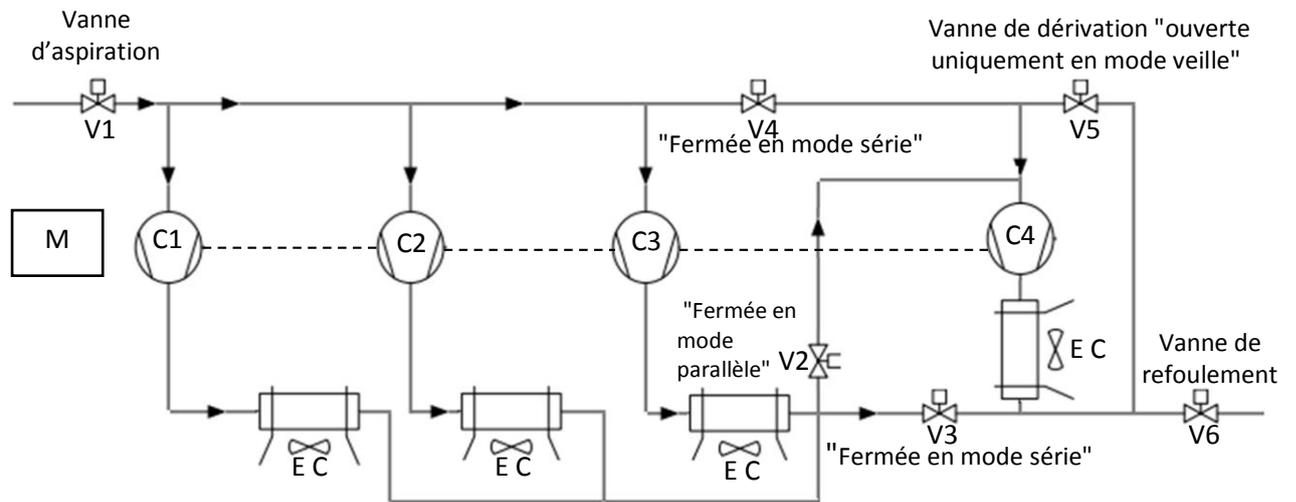


Fig.1.1 : Schéma de l'unité de compression.

***Chapitre 2: Description de la
méthode utilisée pour
l'évacuation de la conduite
endommagée***

Chapitre 2: description de la méthode utilisée pour l'évacuation de la conduite endommagée :

Fonctionnement en parallèle des deux unités de compression :

Cette méthode permet l'utilisation de deux unités de compression identiques qui fonctionnent suivant la configuration auparavant, les deux unités sont installées de façon à ce qu'elles aspirent du gazoduc affecté et refoulent en aval de ce dernier, cette méthode permet de doubler le débit évacué.

Ci-dessous le schéma explicatif de l'installation des deux unités de compression utilisées lors de l'intervention.

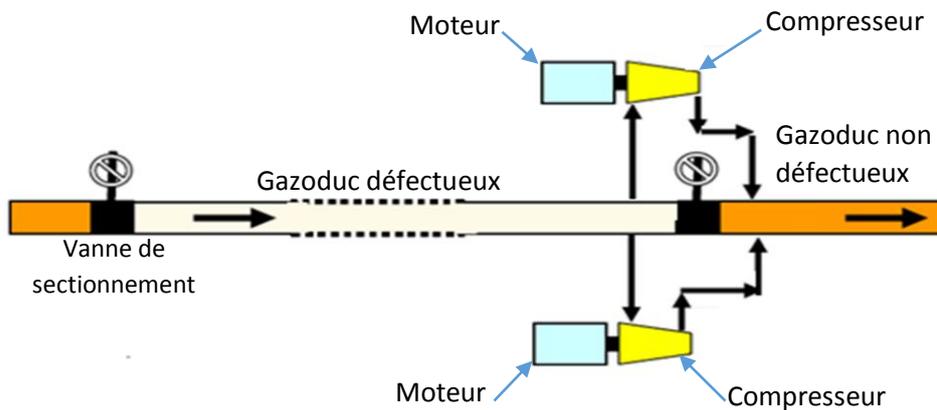


Fig.2.1 : schéma d'installation des deux unités de compression.

2.1.1 Description du fonctionnement des deux unités :

Pour ce cas les deux unités aspirent toutes les deux dans le gazoduc endommagé et elles refoulent dans le gazoduc qui se trouve en aval ou en amont de ce dernier, en premier lieu les deux compresseurs des deux unités fonctionnent suivant leurs premières phases jusque à ce qu'ils atteignent leurs taux de compression maximum par cylindre. Les deux compresseurs des deux unités passent de la phase 1 à la phase 2, pour cette méthode la pression finale atteinte est la même quand on utilise une seule unité par contre le temps de vidange est différent.

Fonctionnement en série des deux unités de compression :

Cette méthode permet l'utilisation de deux unités de compression identiques, la première unité est installée de façon à ce qu'elle aspire du gazoduc affecté et refoule en aval de ce dernier

par contre la deuxième unité est prévu qu'elle aspire d'un gazoduc non endommagé isolé qui se trouve en aval du gazoduc endommagé et elle refoule dans la partie aval.

Ci-dessous le schéma explicatif de l'installation des deux unités de compression utilisées lors de l'intervention.

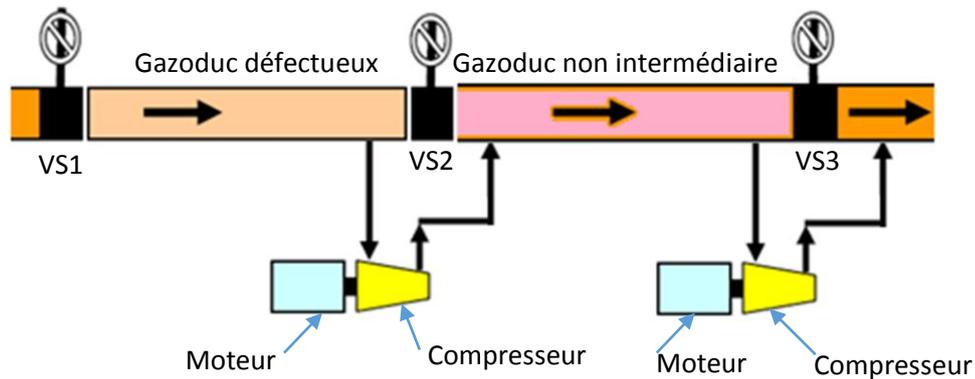


Fig.2.2 : schéma d'installation des deux unités de compression.

2.2.1 Description du fonctionnement des deux unités :

L'exploitation des deux unités de compression en mode série comporte les quatre étapes suivantes :

Etape 1 : Au démarrage, seule l'unité 1 se mettra en marche pour transférer le gaz du tronçon endommagé vers le tronçon intermédiaire. Les vannes VS1 et VS2 sont fermées et la vanne VS3 est ouverte (voir fig.2.2 ci-dessus). L'unité 1 fonctionne selon la phase 1 correspondant à une marche en parallèle de ses quatre cylindres.

Etape2 : Lorsque la pression dans le tronçon endommagé atteint une valeur suffisamment basse (30 bars par exemple quand la pression d'exploitation de la ligne est de 45 bars), on ferme la vanne VS3 et on met en marche l'unité 2, afin de réduire la pression dans le tronçon intermédiaire et prolonger ainsi la durée de fonctionnement de l'unité 1 selon la phase 1. Lors de cette étape, les deux unités opèrent simultanément selon la phase 1.

Etape 3 : L'arrivée à la limite de fonctionnement de l'unité 2 selon la phase 1 marque la fin de l'étape 2. L'unité 2 s'arrête alors et l'unité 1 va continuer à fonctionner selon la phase 1 et fera remonter progressivement la pression dans le tronçon intermédiaire. Dès que cette dernière atteint une valeur de consigne inférieure à la limite de fonctionnement de l'unité 1 selon la phase 1, l'unité 2 redémarre pour réduire une nouvelle fois cette pression et prolonger encore la durée de fonctionnement de l'unité 1 selon la phase 1. Lors de cette étape, l'unité 2 fonctionnera de façon intermittente, près de sa zone de basculement de la phase 1 vers la phase 2. L'objectif de ce fonctionnement intermittent est de prolonger au maximum le mode de fonctionnement en phase 1 de l'unité 1.

Etape 4 : La fin de l'étape 3 est marquée par l'incapacité de l'unité 1 fonctionnant selon la phase 1 à remonter suffisamment la pression dans le tronçon intermédiaire pour permettre à l'unité 2 de continuer à opérer selon la phase 1. L'unité 2, ne pouvant plus aider l'unité 1, s'arrête définitivement et laisse l'unité 1 continuer en basculant vers un fonctionnement selon la phase 2 jusqu'au terme de l'opération de transfert.

Procédure de calcul

Introduction des données et des variables

- Pression de service P_{ser} (bars)
- Température ambiante $T_a = 298 K$
- Diamètre et course du piston $D = 18 \text{ cm}$ et $S = 12 \text{ cm}$
- Taux de compression maximum par cylindre $\tau_{max} = 4$
- Diamètre et longueur du tronçon à évacuer $\phi = 1.06 \text{ m}$ et L en (m)
- Vitesses de rotation N (tr/min)

Phase 1 : $N_1 = 1800 \text{ tr/min}$

Phase 2 : $N_2 = 1500 \text{ tr/min}$

Calculs :

Débit volumétrique théorique d'un cylindre :

$$\dot{V}_{th} = S \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) N \cdot (60)$$

Pression d'entrée au compresseur :

Cette pression est obtenue à partir de la pression qui règne en amont à un instant t donné en tenant compte des pertes de charge dans les raccordements du compresseur au gazoduc du côté aspiration. En estimant les pertes à 2,5% [2] et en notant P la pression en amont à l'instant (t), on aura :

$$P_e = (1 - 0,025)P$$

Calcul du facteur de compressibilité dans le gazoduc défectueux Z_a à la pression P [3] :

$$Z_a = 1 - 3,52 P_{ra} e^{-2,26 \cdot T_{ra}} + P_{ra}^2 e^{-1,878 \cdot T_{ra}}$$

Calcul du facteur de compressibilité à l'entrée Z_e :

$$Z_e = 1 - 3,52 P_{re} e^{-2,26 \cdot T_{re}} + P_{re}^2 e^{-1,878 \cdot T_{re}}$$

Coefficient de compressibilité du gaz dans les conditions normales P_0, T_0 :

$$Z_0 = 1 - 3,52 P_{r0} e^{-2,26 \cdot T_{r0}} + P_{r0}^2 e^{-1,878 \cdot T_{r0}}$$

La première unité fonctionne d'abord toute seule :

Les quatre cylindres travaillent en parallèle (phase 1)

Calcul de :

La pression à la sortie du compresseur :

Cette pression est obtenue en retranchant à la pression de service P_{ser} qui reste constante en aval, les pertes de charge dans la tubulure et les équipements qui raccordent le compresseur au gazoduc du côté aval. Ces pertes sont estimées à 2,4% [2], Ce qui donne

$$P_s = \frac{P_{ser}}{1 - 0,024}$$

Taux de compression :

$$\tau_{c1} = \frac{P_s}{P_e}$$

Facteur de compressibilité et température à la à la sortie du compresseur [4]:

$$T_s = T_e + T_e \left(\frac{Z_e + Z_s}{2} \right) * \left(\tau^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right)$$

$$Z_s = 1 - 3,52 P_{rs} e^{-2,26*T_{rs}} + P_{rs}^2 e^{-1,878*T_{rs}}$$

Ces deux équations seront résolues par une procédure itérative pour obtenir T_s et Z_s

Rendement volumétrique η_v :

$$\eta_v = 1 - r - E \left(\tau^{\frac{1}{\gamma}} \frac{Z_e}{Z_s} - 1 \right)$$

Débit volumique :

$$\dot{V} = \dot{V}_{th} \frac{P_e T_0 Z_0}{P_0 T_e Z_e} \eta_v$$

Quantité de gaz contenue dans le tronçon défectueux (Nm^3)

$$V_N(P) = L \left(\frac{\pi \phi^2}{4} \right) \frac{P T_0 Z_0}{P_0 T_a Z_a}$$

Quantité de gaz évacuée entre deux instants correspondant à deux valeurs P et $P - p$ de la pression dans le tronçon en cours d'évacuation.

$$\Delta V_N = V_N(P) - V_N(P - p)$$

p Étant l'incrément par lequel on réduit la pression entre deux séquences de calcul successive.

Débit massique de gaz transféré

$$\dot{m} = \frac{P_e}{R} \frac{1}{T_e} \frac{1}{Z_e} \sum_n \dot{V}$$

n : représente le nombre de cylindres utilisés en parallèle ($n=4$ en phase 1 ; $n=3$ en phase 2).

Puissance du compresseur [5]

$$\dot{W}_c = \dot{m} g H_a \frac{1}{\eta_{mc}}$$

$$H_a = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \frac{29,3}{d} T_e \left(\frac{Z_e + Z_s}{2} \right) \left[\tau^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] \frac{1}{\eta_{is}}$$

Puissance du moteur

$$\dot{W}_m = \dot{W}_c \frac{1}{\eta_{mm}}$$

Taux d'énergie thermique nécessaire au moteur

$$\dot{Q}_H = \dot{W}_m \frac{1}{\eta_{thm}}$$

Détermination du débit du gaz consommé par le moteur

$$\dot{m}_g = \dot{Q}_H \frac{1}{PCI} * 3600$$

Le débit massique instantané du gaz quittant le tronçon du gazoduc défectueux, est :

$$\dot{m}_{tot} = \dot{m} + \dot{m}_g$$

Estimation du temps nécessaire à la pression dans le tronçon défectueux pour passer de P à $P - p$:

$$\Delta t = \frac{\Delta V_N}{\dot{m}_{tot} \frac{R T_0 Z_0}{P_0}}$$

Les deux unités fonctionnent en même temps :

Quand la pression dans le gazoduc endommagé atteint une valeur de consigne, la deuxième unité commence à transférer le gaz du gazoduc intermédiaire après avoir fermé la vanne de sectionnement VS3, vers l'aval de cette dernière. Les deux unités fonctionnent alors chacune suivant la phase 1.

Calculs :

Pression dans le gazoduc intermédiaire :

On initialise les rendements volumétriques du premier et du deuxième compresseur à 1, le facteur de compressibilité à la sortie du premier compresseur à $Z_s = 1$ et la valeur de la pression qui règne dans le gazoduc intermédiaire P_{ec2} à P_{ser} .

Débit volumique de la première unité de compression, celle qui aspire à partir du gazoduc endommagé :

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_{th} \frac{P_e T_0 Z_0}{P_0 T_e Z_e} \eta_{v1}$$

Débit volumique de la deuxième unité de compression, celle qui aspire à partir du gazoduc intermédiaire :

$$\dot{V}_2 = \dot{V}_{th} \frac{P_{ec2} T_0 Z_0}{P_0 T_e Z_e} \eta_{v2}$$

Quantité de gaz contenue dans le tronçon défectueux (Nm^3)

$$V_N(P) = L \left(\frac{\pi \Phi^2}{4} \right) \frac{P}{P_0} \frac{T_0}{T_a} \frac{Z_0}{Z_a}$$

Calcul de la quantité de gaz évacuée par l'unité de compression 1 entre deux instants correspondant à deux valeurs P et $P - p$ de la pression dans le tronçon endommagé :

$$\Delta V_N = V_N(P) - V_N(P - p)$$

p étant l'incrément par lequel on réduit la pression entre deux séquences de calcul successive.

Calcul du débit massique

$$\dot{m} = \frac{P_e}{R} \frac{1}{T_e} \frac{1}{Z_e} \sum_n \dot{V}_1$$

n : représente le nombre de cylindres utilisés en parallèle ($n=4$ en phase 1 ; $n=3$ en phase 2).

Calcul de la puissance du compresseur

$$\dot{W}_c = \dot{m} g H_a \frac{1}{\eta_{mc}}$$

$$H_a = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \frac{29,3}{d} T_e \left(\frac{Z_e + Z_s}{2} \right) \left[\tau^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] \frac{1}{\eta_{is}}$$

Calcul de la puissance du moteur

$$\dot{W}_m = \dot{W}_c \frac{1}{\eta_{mm}}$$

Calcul du taux d'énergie thermique nécessaire au moteur

$$\dot{Q}_H = \dot{W}_m \frac{1}{\eta_{thm}}$$

Détermination du débit du gaz consommé par le moteur

$$\dot{m}_g = \dot{Q}_H \frac{1}{PCI} * 3600$$

Le débit massique instantané du gaz quittant le tronçon du gazoduc défectueux, est :

$$\dot{m}_{tot} = \dot{m} + \dot{m}_g$$

Estimation du temps nécessaire à la pression dans le tronçon défectueux pour passer de P à $P - p$:

$$\Delta t = \frac{\Delta V_N}{\dot{m}_{tot} \frac{R T_0 Z_0}{P_0}}$$

Calcul du facteur de compressibilité dans le gazoduc intermédiaire Z_{a1} à P_{ec2} :

$$Z_{a1} = 1 - 3,52 P_{ra1} e^{-2,26 * T_{ra1}} + P_{ra1}^2 e^{-1,878 * T_{ra1}}$$

Quantité de gaz contenue dans le tronçon non défectueux à la pression P_{ec2} (Nm^3)

$$V_{N2}(P_{ec2}) = L \left(\frac{\pi \Phi^2}{4} \right) \frac{P_{ec2} T_0 Z_0}{P_0 T_a Z_{a1}} + \Delta V_N$$

Quantité évacuée par l'unité de compression 2 :

$$\Delta V_{N2} = \dot{V}_2 \Delta t \frac{P_{ec2} T_0 Z_0}{P_0 T_e Z_{ec2}}$$

Quantité de gaz contenue dans le tronçon intermédiaire à la pression P_{ec2} (Nm^3) après avoir évacué une quantité ΔV_{N2} avec l'unité 2 :

$$V_{N2} = V_{N1} - \Delta V_{N2}$$

Calcul de la pression dans le gazoduc intermédiaire P_{ec2} :

$$P_{ec2} = V_{N2} \frac{1}{L \left(\frac{\pi \Phi^2}{4} \right) \frac{1 T_0 Z_0}{P_0 T_a Z_{a1}}}$$

Taux de compression de l'unité 1 :

$$\tau_{c1} = \frac{P_{ec2}}{P_e}$$

Taux de compression de l'unité 2 :

$$\tau_{c2} = \frac{P_{ser}/(1 - 0.024)}{P_{ec2}}$$

Rendement volumétrique de l'unité 1 η_{v1} :

$$\eta_{vc1} = 1 - r - E \left(\tau_1^{\frac{1}{\gamma}} \frac{Z_e}{Z_s} - 1 \right)$$

Rendement volumétrique de l'unité 2 η_{v2} :

$$\eta_{vc2} = 1 - r - E \left(\tau_2^{\frac{1}{\gamma}} \frac{Z_{ec2}}{Z_{sc2}} - 1 \right)$$

Calcul du facteur de compressibilité et de la température à la sortie de l'unité 1 à la pression P_{ec2} :

$$T_s = T_e + T_e \left(\frac{Z_e + Z_s}{2} \right) * \left(\tau_{c1}^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right)$$

$$Z_s = 1 - 3,52 P_{rs} e^{-2,26 * T_{rs}} + P_{rs}^2 e^{-1,878 * T_{rs}}$$

Ces deux équations seront résolues par une procédure itérative pour obtenir T_s et Z_s

Pour toute cette partie, où les deux unités fonctionnent simultanément en phase 1, les équations précédentes seront résolues par une procédure itérative jusqu'à la convergence de la pression P_{ec2}

L'unité de compression 2 fonctionne par intermittence :

Au bout d'un certain temps de fonctionnement, l'unité 2 atteint le taux de compression maximum par cylindre et s'arrête de fonctionner. L'unité 1 continue alors de fonctionner toujours suivant la phase 1 jusque à ce que la pression dans le gazoduc intermédiaire remonte à une valeur de consigne à laquelle l'unité 2 redémarre.

Ce mode de fonctionnement où l'unité 2 opère de façon intermittente va se poursuivre jusqu'à ce que l'unité 1 n'arrive plus à remonter la pression au sein du gazoduc intermédiaire à la valeur de redémarrage de l'unité 2. L'unité 2 s'arrête alors définitivement et l'unité 1 continue à la phase 2 dès que le taux de compression maximum par cylindre est atteint. La procédure de calcul pour cette dernière phase de fonctionnement de l'unité 1 est identique à celle de la phase de départ, avant la mise en marche de l'unité 2, sauf que la condition d'arrêt de l'unité 1 dans ce cas portera sur le taux de compression maximum dont elle sera capable. La procédure de calcul pour la phase 2 de l'unité 1 est décrite de façon détaillée ci-dessous.

Pour une pression d'exploitation de 45 bars, cette façon de procéder nous permettra d'atteindre 1.2 bar dans le gazoduc endommagé. Une fois cette pression atteinte, l'unité de compression 1 s'arrête à son tour, on ouvre la vanne VS3, on met à l'évent le gaz qui reste dans la partie endommagée puis on procède aux interventions prévues.

Calculs :

La pression à la sortie du compresseur :

Cette pression est obtenue en retranchant à la pression de service P_{ec2} qui reste constante en aval, les pertes de charge dans la tubulure et les équipements qui raccordent le compresseur au gazoduc du coté aval., Ce qui donne :

La pression à l'entrée du second étage :

La température à l'entrée de l'étage 2 est fixé, pour notre étude la température entrée étage 2 est égale à $T = 313 K$.

$$P_{ee2} = P_e \frac{T}{T_e} \frac{Z_{ee2}}{Z_e} \frac{1}{c}$$

$$Z_{ee2} = 1 - 3,52 P_{re2} e^{-2,26*T_{re2}} + P_{re2}^2 e^{-1,878*T_{re2}}$$

$$\tau_1 = \frac{P_{ee2}/(1 - 0.024)}{P_e}$$

$$\tau_2 = \frac{P_s}{P_{ee2}}$$

Ces équations seront résolues par une procédure itérative pour obtenir P_{ee2} , Z_{ee2} , τ_1 et τ_2 .

Le facteur de compressibilité et de la température à la sortie du premier étage du compresseur :

$$T_{se1} = T + T \left(\frac{Z_{ee2} + Z_s}{2} \right) * (\tau_1^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1)$$

$$Z_{se1} = 1 - 3,52 P_{rs1} e^{-2,26*T_{rs1}} + P_{rs1}^2 e^{-1,878*T_{rs1}}$$

Le facteur de compressibilité et de la température à la sortie du compresseur :

$$T_s = T + T \left(\frac{Z_{ee2} + Z_s}{2} \right) * (\tau_2^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1)$$

$$Z_s = 1 - 3,52 P_{rs} e^{-2,26*T_{rs}} + P_{rs}^2 e^{-1,878*T_{rs}}$$

Ces deux équations seront résolues par une procédure itérative pour obtenir T_s et Z_s

Coefficient de compressibilité du gaz dans les conditions normales P_0, T_0 :

$$Z_0 = 1 - 3,52 P_{r0} e^{-2,26*T_{r0}} + P_{r0}^2 e^{-1,878*T_{r0}}$$

Le rendement volumétrique η_{v1} et η_{v2}

$$\eta_{v1} = 1 - r - E(\tau_1^{\frac{1}{\gamma}} \frac{Z_e}{Z_{se1}} - 1)$$

$$\eta_{v2} = 1 - r - E(\tau_2^{\frac{1}{\gamma}} \frac{Z_{ee2}}{Z_s} - 1)$$

Débit volumique :

$$\dot{V} = \dot{V}_{th} \frac{P_e T_0 Z_0}{P_0 T_e Z_e} \eta_{v1} \eta_{v2}$$

Quantité de gaz contenue dans le tronçon défectueux (Nm^3)

$$V_N(P) = L \left(\frac{\pi \Phi^2}{4} \right) \frac{P T_0 Z_0}{P_0 T_a Z_a}$$

Quantité de gaz évacuée entre deux instants correspondant à deux valeurs P et $P - p$ de la pression dans le tronçon en cours d'évacuation.

$$\Delta V_N = V_N(P) - V_N(P - p)$$

p Étant l'incrément par lequel on réduit la pression entre deux séquences de calcul successive.

Calcul du débit massique

$$\dot{m} = \frac{P_e}{R} \frac{1}{T_e} \frac{1}{Z_e} \sum_n \dot{V}$$

n : représente le nombre de cylindres utilisés en parallèle.

Puissance du compresseur

Pour le premier étage

$$\dot{W}_{e1} = \dot{m} g H_{a1} \frac{1}{\eta_{mc}}$$

$$H_{a1} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \frac{29,3}{d} T_e \left(\frac{Z_e + Z_{se1}}{2} \right) \left[\tau_1^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] \frac{1}{\eta_{is}}$$

Pour le second étage :

$$\dot{W}_{e2} = \dot{m} g H_{a2} \frac{1}{\eta_{mc}}$$

$$H_{a2} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \frac{29,3}{d} T \left(\frac{Z_{ee2} + Z_s}{2} \right) \left[\tau_2^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] \frac{1}{\eta_{is}}$$

Ce qui donne la puissance du compresseur

$$\dot{W}_c = \dot{W}_{c1} + \dot{W}_{c2}$$

Puissance du moteur

$$\dot{W}_m = \dot{W}_c \frac{1}{\eta_{mm}}$$

Taux d'énergie thermique nécessaire au moteur

$$\dot{Q}_H = \dot{W}_m \frac{1}{\eta_{thm}}$$

Débit du gaz consommé par le moteur

$$\dot{m}_g = \dot{Q}_H \frac{1}{PCI} * 3600$$

Débit massique instantané du gaz quittant le tronçon du gazoduc défectueux, est :

$$\dot{m}_{tot} = \dot{m} + \dot{m}_g$$

Estimation du temps nécessaire à la pression dans le tronçon défectueux pour passer de P à $P - p$:

$$\Delta t = \frac{\Delta V_N}{\dot{m}_{tot} \frac{R T_0 Z_0}{P_0}}$$

Quand la pression dans le gazoduc d'aspiration (affecté) atteint une valeur de consigne, c'est la condition pour que la deuxième unité commence à fonctionner

Le temps total de vidange du gazoduc est la somme des temps calculer pour passer de P à $P - p$.

$$t = \sum \Delta t$$

Chapitre 3: Résultats et interprétation

Chapitre 3 : Résultats et interprétation

3.1 Les variables utilisées pour présenter les résultats des simulations :

Pression de service :

Cette pression est celle qui règne dans l'ensemble du gazoduc avant de procéder à l'isolement du tronçon concerné par l'intervention, cette pression sera donc également celle qui va régner partout après fermeture des vannes de sectionnement par conséquent :

Dans le tronçon isolé, au moment de la mise en marche du premier compresseur, la pression sera égale à la pression de service, puis elle sera en décroissant à mesure que la quantité de gaz transférée augmentera.

Dans le tronçon non isolé, au moment de la mise en marche du second compresseur, la pression sera égale à la pression de service, puis elle sera en décroissant à mesure que la quantité de gaz transférée augmentera.

En revanche, la partie aval du gazoduc défectueux, dans laquelle le gaz sera refoulé par le premier compresseur, nous supposons que la pression restera égale à sa valeur de service quand la deuxième unité ne marche pas et que cette pression diminue quand on met en service la deuxième unité et elle reste constante durant la dernière phase. Et que la partie aval du gazoduc non défectueux, dans laquelle le gaz sera refoulé par le second compresseur, nous supposons que la pression restera égale à sa valeur de service durant toute la durée de l'opération.

Les données :

Pour les deux compresseurs, on a :

- La course des cylindres : $S=0.12$ m.
- Vitesse de rotation :
 - Première phase : 1800 trs/min.
 - Deuxième phase : 1500 trs/min.
- Diamètre du gazoduc : 42'' (1 m).
- Taux de compression maximum : $\left(\frac{P_S}{P_e}\right)_{max} = 4$.
- Température d'aspiration : $T_a = 298$ K.
- Température d'entrée au deuxième étage : $T = 313$ K (40 °C).

Pour tous les résultats qui seront présentés, les deux unités de compression sont considérées identiques et sont prises avec les dimensions qui leur confèrent les meilleures performances, soit : $D = 0.18 \text{ m}$.

La figure 3.1 présente l'évolution de la pression dans le gazoduc endommagé en fonction du temps, lorsqu'une seule unité de compression est utilisée, tandis que la figure 3.2 présente l'évolution de la même pression lorsque deux unités de compression identiques sont utilisées en parallèle pour transférer plus rapidement le gaz.

En comparant les deux figures, nous pouvons relever que, la pression jusqu'où on peut aller est la même dans les deux cas, qu'on ait utilisé une ou deux unités. Cependant le temps qu'on met pour atteindre cette pression avec deux unités de compression est exactement moitié de celui nécessaire avec une seule unité de compression

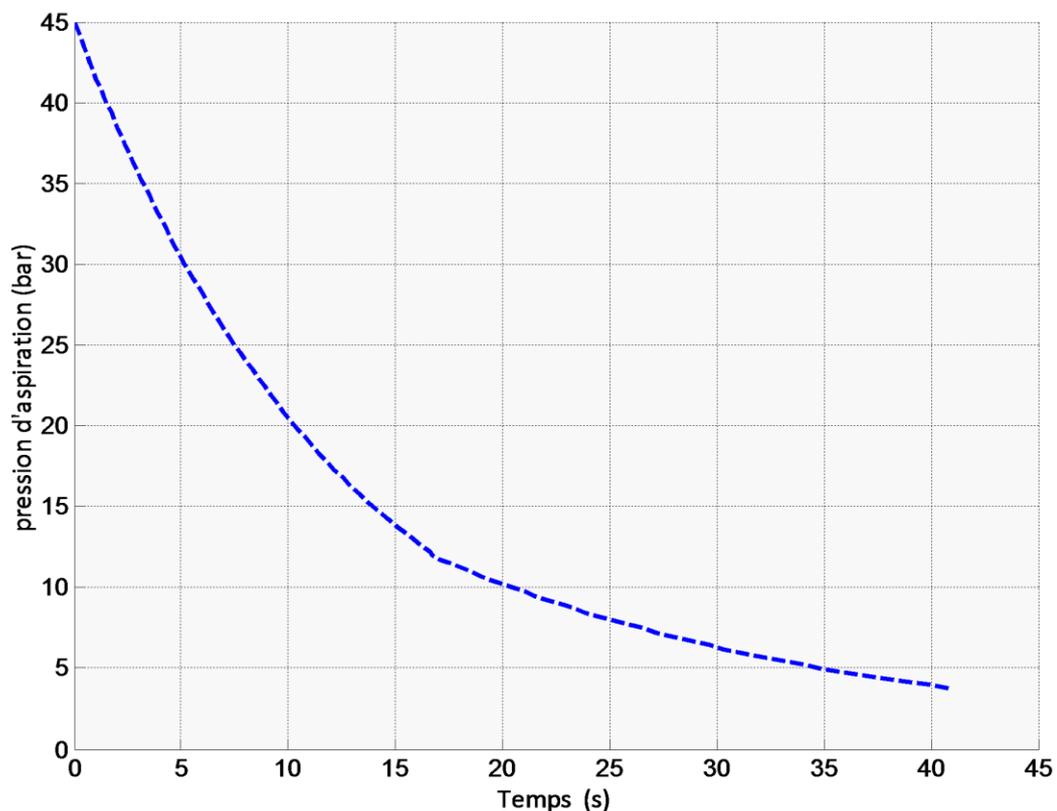


Fig.3.1 : Evolution de la pression à l'aspiration du compresseur en fonction du temps avec une seul unité qui opère.

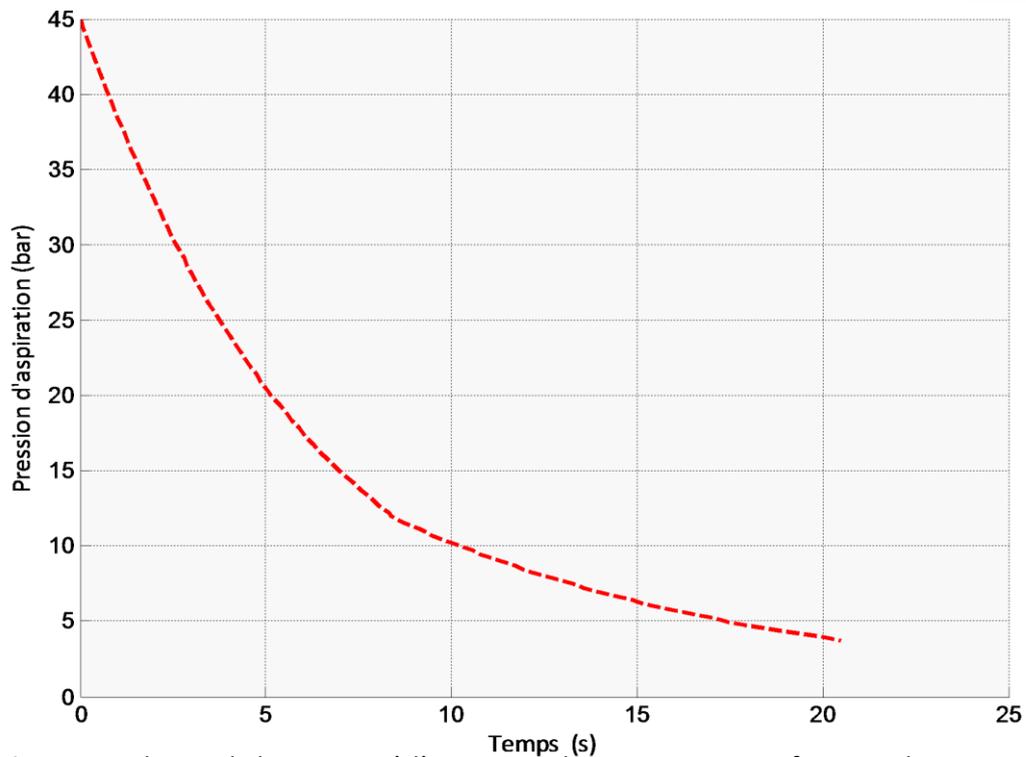


Fig.3.2 : Evolution de la pression à l'aspiration du compresseur en fonction du temps avec deux unités opérant en parallèle.

la figure 3.3 présente l'évolution de la pression dans le gazoduc endommagé en fonction du temps lorsque les deux unités sont utilisées en série.

En comparant les figures 3.2 et 3.3, on peut noter que pour la même pression d'exploitation, l'utilisation des deux unités en parallèle permet d'atteindre la limite de fonctionnement en un temps beaucoup plus petit que lorsque les deux unités sont utilisées en série (soit, pour une pression de service de 45 bars, 21 heures en fonctionnement parallèle contre 55 heures en fonctionnement en série). Cependant dans le premier cas (fonctionnement en parallèle), la limite correspond à une pression minimale dans le gazoduc endommagé de 4 bars, alors que cette limite correspond dans le deuxième cas (fonctionnement en série) à 1.12 bar seulement, toujours pour la même pression de service, soit 45 bars.

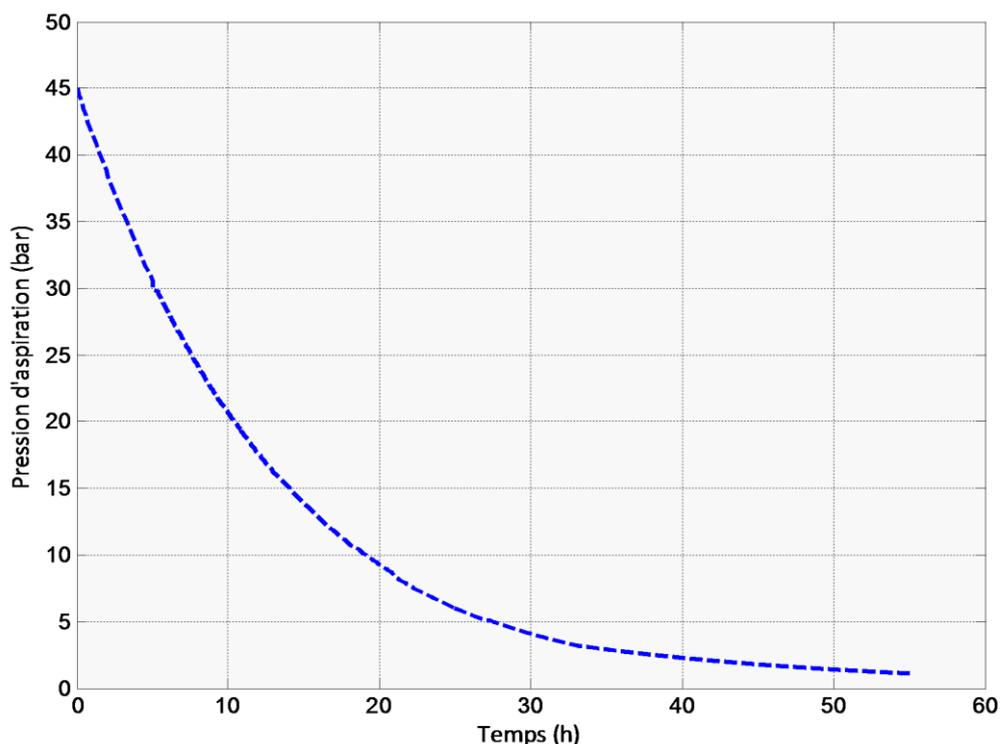


Fig.3.3 : Evolution de la pression à l'aspiration du compresseur en fonction du temps avec deux unités opérant en série.

L'évolution de la température du gaz à la sortie des cylindres de compression est présentée à la figure 3.4 pour le fonctionnement d'une unité individuelle, et à la figure 3.5 pour le fonctionnement de deux unités en série.

En comparant les résultats des deux figures, nous pouvons noter que par rapport à un fonctionnement en individuel, un fonctionnement de deux unités en série permet d'abaisser légèrement les températures du gaz à la sortie des cylindres, mais surtout de pouvoir se passer carrément du refroidissement pendant les 25 premières heures de fonctionnement puisque la température à la sortie des cylindres n'atteint la valeur de 80 °c qu'au bout de ces 25 heures, la pression dans le gazoduc endommagé ayant alors atteint 6 bars.

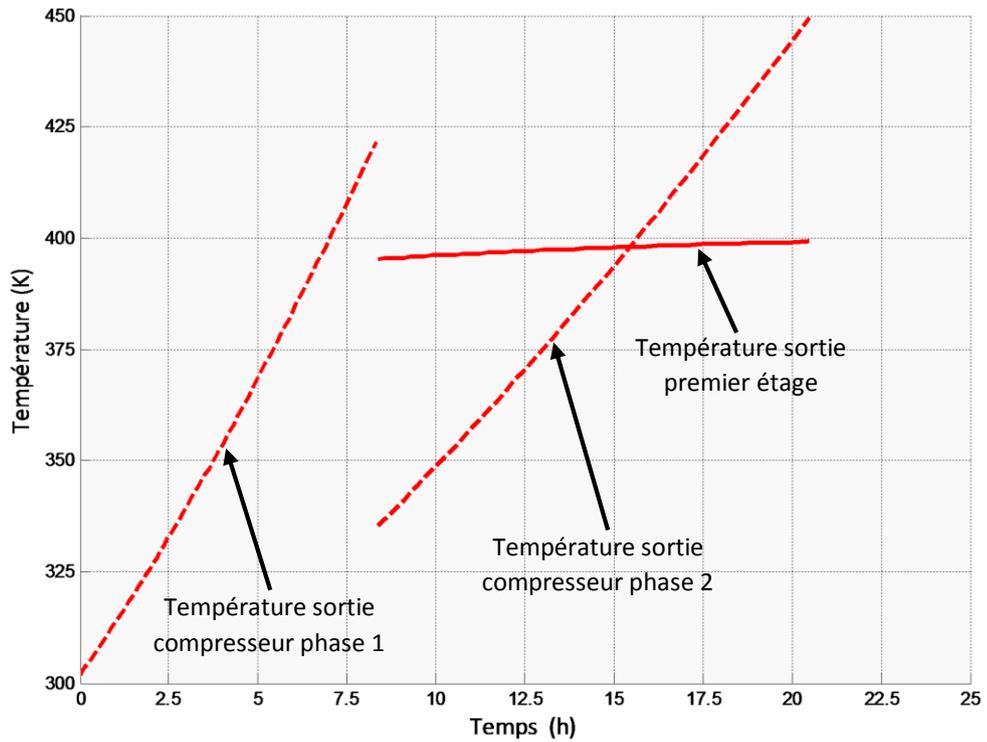


Fig.3.4 : évolution des températures à la sortie des étages de compression de l'unité de compression en fonction du temps avec deux unités opérant en parallèle.

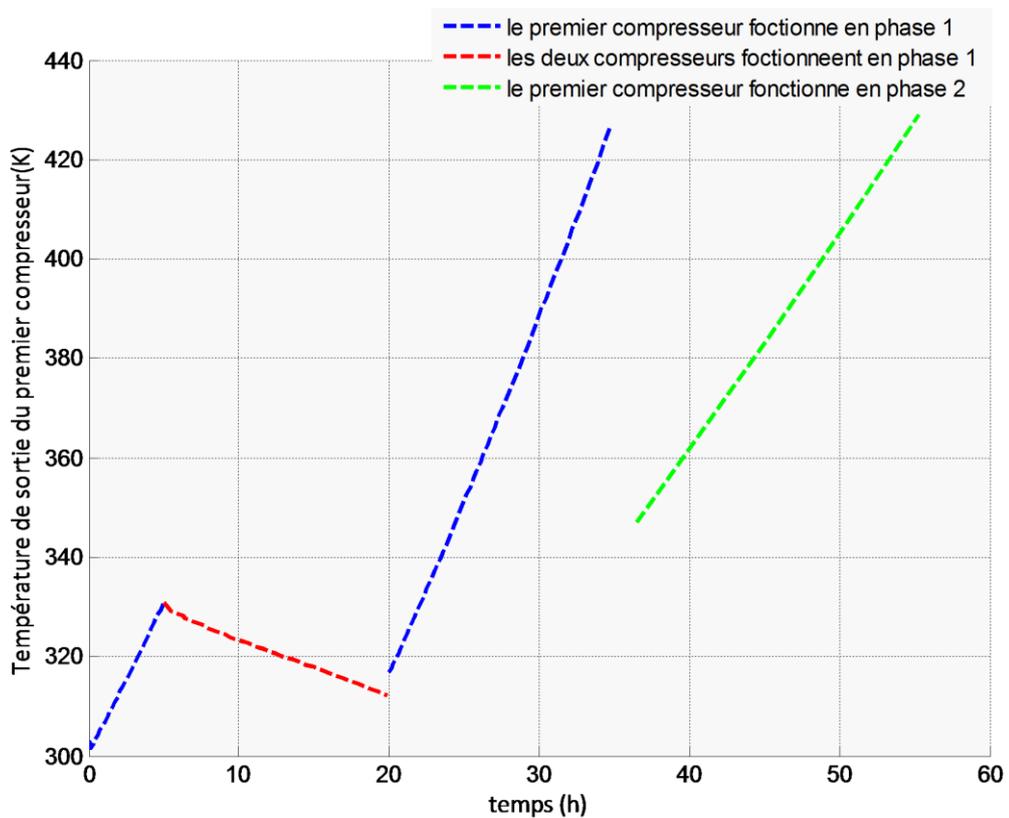


Fig.3.5 : évolution des températures à la sortie des étages de compression de l'unité de compression en fonction du temps avec deux unités opérant en série.

Nous relevons que la température du gaz au refoulement de l'unité individuelle croît fortement avec le temps, ceci allant de pair avec la croissance du taux de compression global du compresseur. Notons cependant qu'au moment de basculer de la phase 1 à la phase 2, cette température chute brusquement pour reprendre sa croissance à partir d'une valeur beaucoup plus petite que celle correspondant à la fin de la phase 1. Ceci s'explique par le fait qu'au cours de la seconde phase de fonctionnement, le gaz subit un refroidissement entre les deux étapes de la compression qui ramène, rappelons-le, sa température à une valeur de 40°C à l'entrée du deuxième étage de compression. Au cours de cette seconde phase, la température du gaz au refoulement croît au fur et à mesure que le taux de compression du deuxième étage augmente.

La figure 3.6 présente l'évolution de la puissance nécessaire pour la compression en fonction du temps concernant l'unité 1 au cours d'un fonctionnement en série. Notons d'abord les 4 étapes de fonctionnement selon la pression qui règne instantanément dans la section endommagée. Le maximum de puissance sera atteint par l'unité 1 lors de la première étape où elle opère seule dans la phase de fonctionnement une.

Dès que l'unité 2 se met en marche, l'unité 1 sera soulagée et sa puissance diminuera jusqu'à ce que l'unité entre dans sa phase de fonctionnement intermittent, au cours de laquelle la puissance de l'unité 1 se remettra à augmenter. Lorsque finalement l'unité 2 s'arrêtera, on entre dans l'étape 4 où l'unité 1 continuera de fonctionner en phase 2 avec une consommation de puissance assez faible, traduisant un rendement de transfert très modeste.

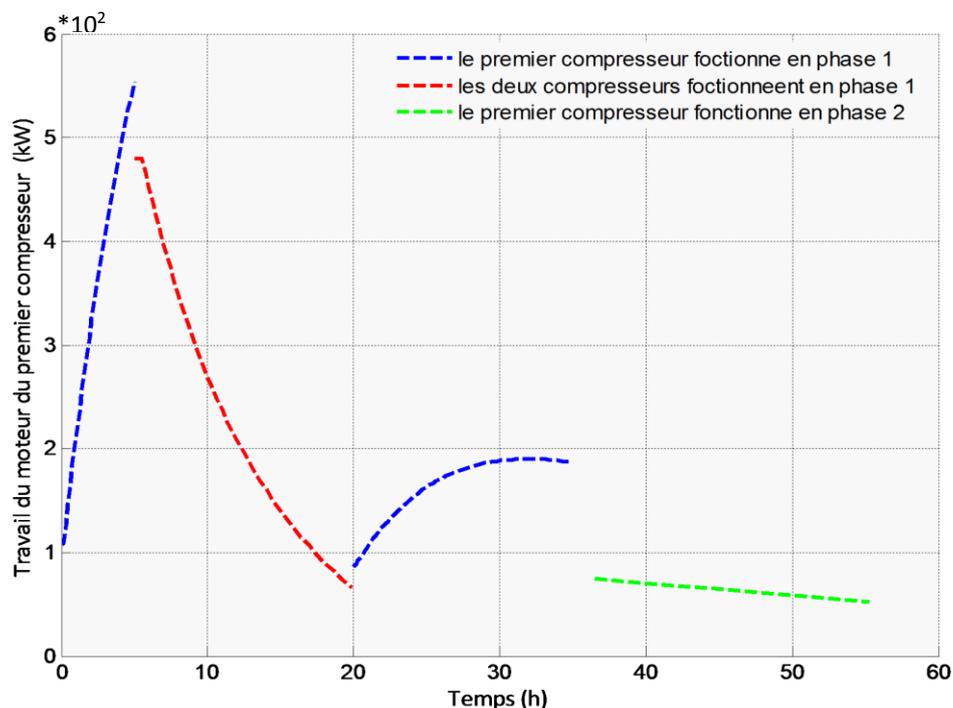


Fig.3.6 : Evolution de la puissance du moteur de l'unité 1 en fonction du temps avec deux unités opérant en série.

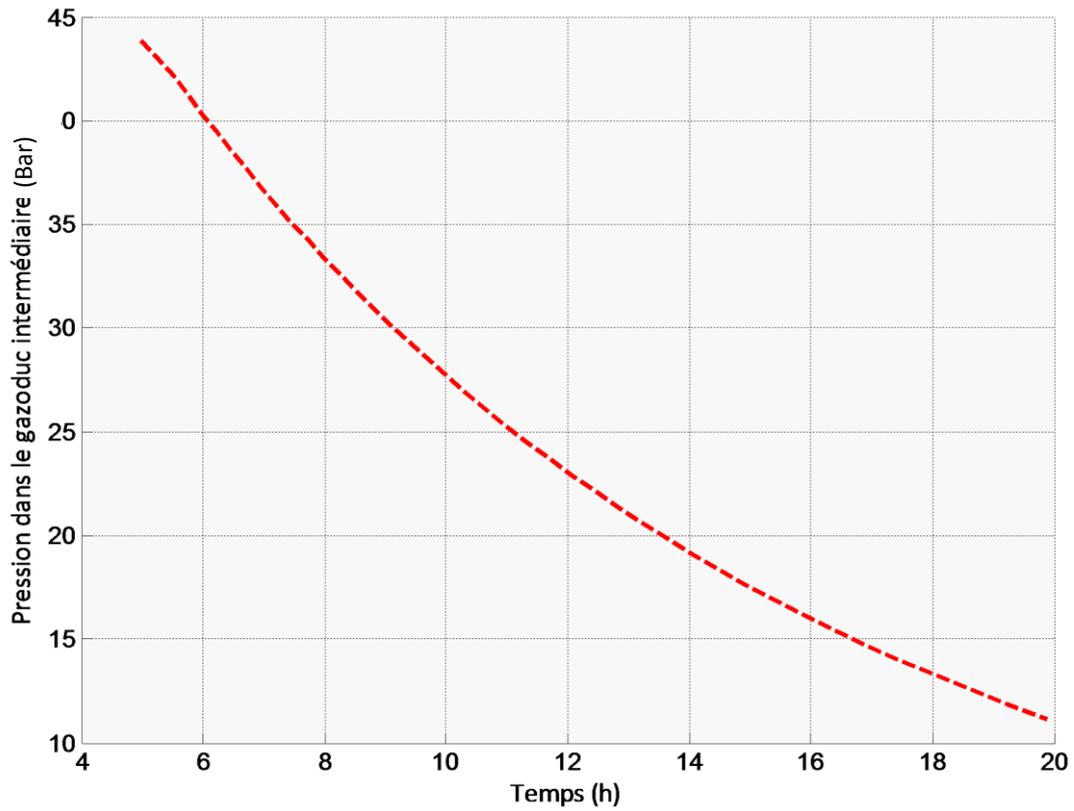


Fig.3.7 : Evolution de la pression à l'aspiration de l'unité 2 en fonction du temps avec deux unités opérant en série.

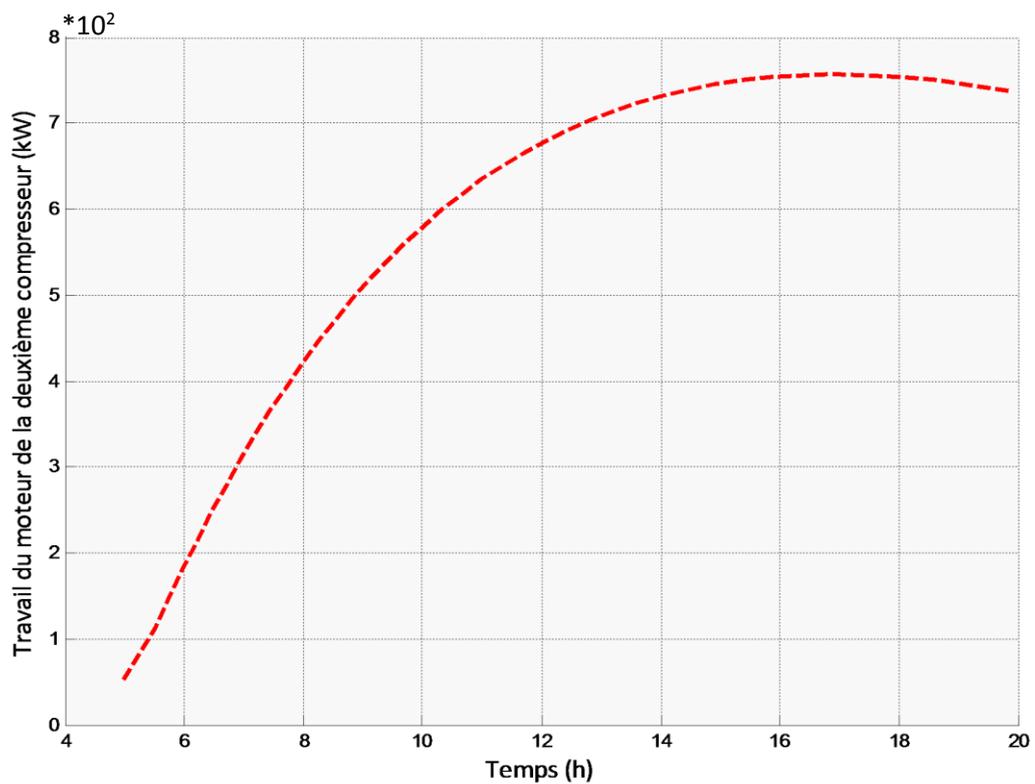


Fig.3.8 : Evolution de la puissance du moteur de l'unité 2 en fonction du temps avec deux unités opérant en série.

La puissance du moteur d'entraînement du second compresseur augment (figure 8) ceci est dû à l'augmentation du taux de compression des cylindres.

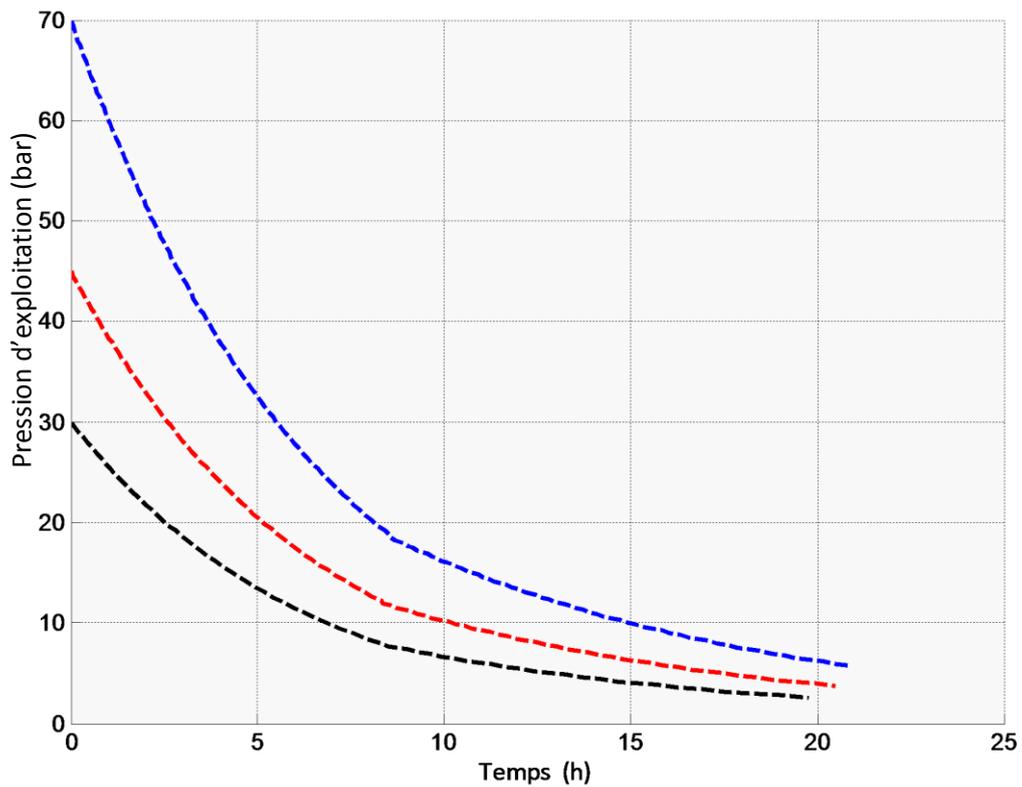


Fig.3.9 : durée de l'opération de transfert pour différentes valeurs de la pression de d'exploitation avec deux unités opérant en parallèle.

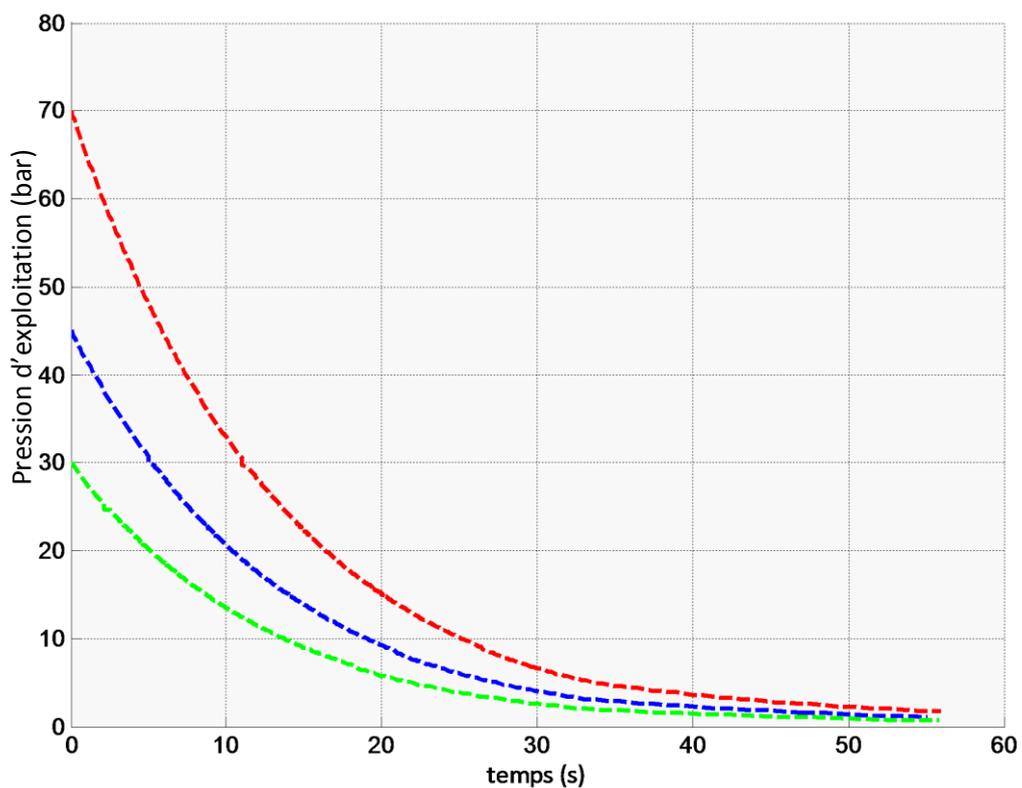


Fig.3.10 : durée de l'opération de transfert pour différentes valeurs de la pression d'exploitation avec deux unités opérant en série.

Les figures 9 et 10 montrent l'évolution de la durée de l'opération de vidange pour différents valeurs de la pression de service, elles montrent que, pour une valeur donnée du taux de compression maximum, la pression minimale réalisable dans la partie isolée du gazoduc sera d'autant plus élevée que la pression qui règne dans le gazoduc au refoulement du compresseur est plus élevée, mais que le temps nécessaire pour atteindre cette valeur minimale de la pression d'aspiration dépend très peu de la pression au refoulement.

Les deux figures (11) et (12) montrent simplement que le temps nécessaire pour atteindre la valeur minimale de la pression à l'aspiration, est directement proportionnel à la longueur du gazoduc soit quand on utilise deux unités en série ou bien en parallèle.

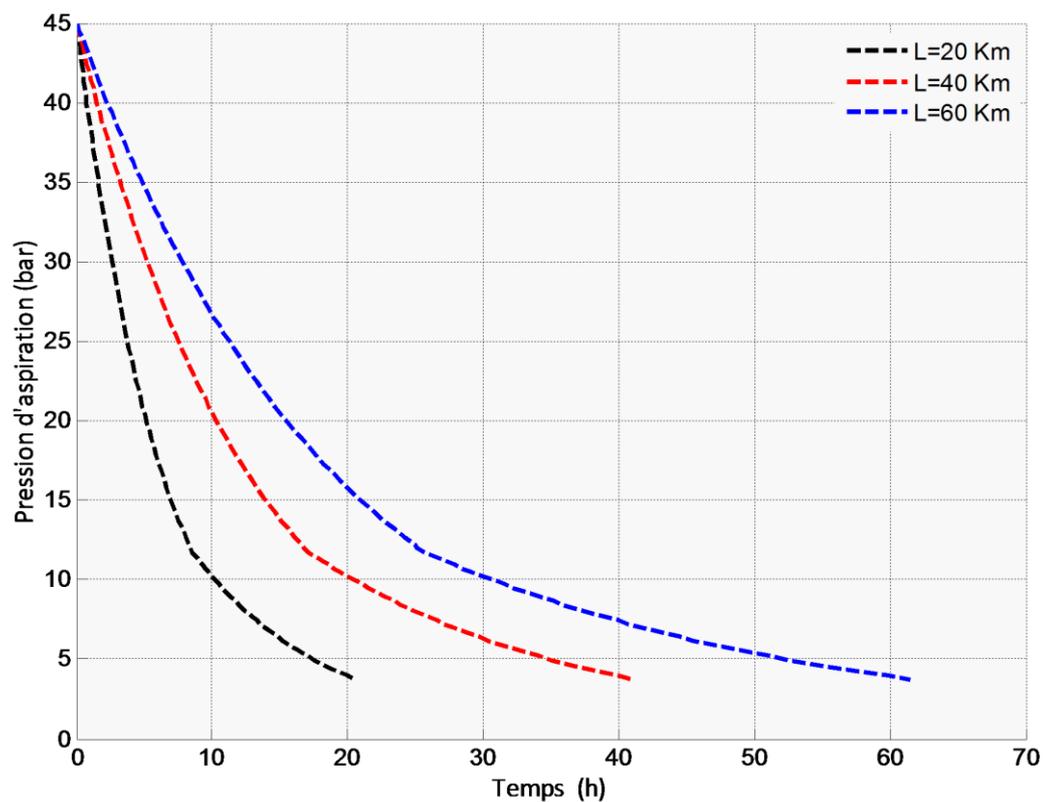


Fig.3.11 : Durée de l'opération de transfert du gaz pour différents longueurs du gazoduc avec deux unités opérant en parallèle.

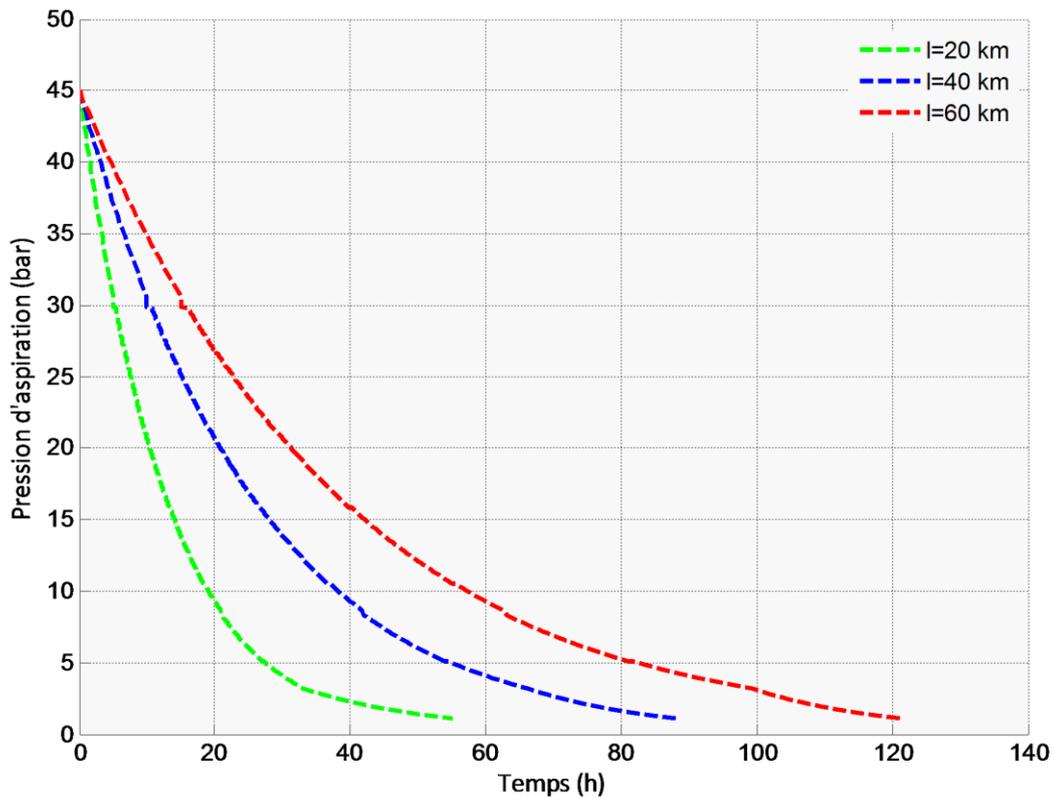


Fig.3.12 : Durée de l'opération de transfert du gaz pour différents longueurs du gazoduc avec deux unités opérant en série.

Tableau 3.1: résultats.

P_{ser} (bars)	P (bar)	Temps (h)	\dot{W}_m 1 ^{er} moteur (kW)	P_{ec2} (bar)	\dot{W}_m 2 ^{eme} moteur (kW)
30	0.7252	50.06	220	7.1731	501
45	1.1232	55.27	554	11.1643	756
70	1.7051	55.71	610	17.4171	795

La figure 3.7 montre comment évolue la pression dans le gazoduc intermédiaire lorsque les deux unités sont en marche. Notons que dès le démarrage de l'unité 2, qui aspire à partir de ce gazoduc intermédiaire, la pression décroît, facilitant ainsi le travail de l'unité 1, dont le rôle est de transférer le gaz du gazoduc endommagé vers le gazoduc intermédiaire. Cette étape permet à l'unité 1 de poursuivre son fonctionnement en phase 1 jusqu'à des valeurs de pression

très basses dans le gazoduc endommagé, ce qui réduit de façon importante le temps de l'opération dans son ensemble, tout en permettant de sauvegarder un maximum de gaz.

La figure 3.8 représentant l'évolution de la puissance de l'unité 2 en fonction du temps, montre la montée progressive de la charge imposée à cette unité tout au long de son opération. La courbe révèle les conditions particulièrement sévères auxquelles sont soumis les équipements de l'unité au cours d'une telle opération.

La figure 3.9 présente les courbes d'évolution de la pression dans le gazoduc endommagé pour différentes valeurs de la pression d'exploitation, avec les deux unités de compression fonctionnant en parallèle. On notera que dans ce cas la durée totale de l'opération reste quasiment indépendante de la pression d'exploitation. Cette durée est approximativement de 20 heures pour un gazoduc de 40'' de diamètre et de 20 km de long. En revanche, la pression de mise à l'évent sera d'autant plus importante que la pression d'exploitation sera plus élevée.

Si les deux unités sont exploitées en série, on réalise les mêmes performances que lors de leur exploitation en parallèle, mais en un temps 1.5 fois plus grand (voir figure 3.10) (mêmes valeurs de la pression, mais atteinte au bout de 30 heures contre les 20 heures du fonctionnement des deux unités en parallèle). Cependant, dans ce cas, on peut si on dispose encore de temps, réduire la pression de mise à l'évent à des valeurs assez proches de la pression atmosphérique.

La figure 3.11 montre qu'avec les deux unités exploitées en parallèle, la durée de l'opération est directement proportionnelle à la longueur du gazoduc. En revanche, lorsque les deux unités sont exploitées en série, la figure 3.12 semble indiquer que la durée sera multipliée par un facteur plus petit que celui par lequel on augmentera la longueur du gazoduc.

Dans le tableau 1, sont présentés les résultats principaux de l'exploitation des deux unités en "mode série" sur un gazoduc de 40'' de diamètre et 20 km de long pour différentes valeurs de la pression d'exploitation. On remarquera notamment qu'avec un tel mode d'exploitation des deux unités de compression, l'opération de transfert pourrait se faire à la pression d'exploitation du gazoduc en 55 heures approximativement et permet de réduire la pression dans le gazoduc endommagé à une valeur très légèrement au-dessus de la pression atmosphérique.

Conclusion

Conclusion

Le transfert du gaz naturel d'un gazoduc endommagé vers un gazoduc sain, au moyen de deux unités de compression mobiles, a été simulé sur MATLAB.

Deux modes d'exploitation des deux unités ont été considérés : un premier mode dans lequel les deux unités opèrent parallèlement pour transférer simultanément du gaz du tronçon endommagé vers la ligne principale ; et un deuxième mode où il est nécessaire d'isoler deux tronçons du gazoduc : le tronçon endommagé et un autre tronçon sain situé en aval du premier et qu'on a appelé "tronçon intermédiaire". Les deux unités opèrent alors à distance l'une de l'autre : l'unité 1 transférant le gaz du tronçon endommagé vers le tronçon intermédiaire, et l'unité 2 transférant le gaz du tronçon intermédiaire vers la ligne principale où règne une pression d'exploitation constante. Dans ce mode de fonctionnement où les deux unités sont exploitées en série, l'unité 2 a pour rôle de créer dans le tronçon intermédiaire, les conditions de pression qui permettraient à l'unité 1 de puiser dans le tronçon endommagé jusqu'à des pressions proches de l'atmosphérique.

Alors que le mode parallèle permet de diviser le temps d'intervention par 2 par rapport à l'exploitation d'une seule unité, le mode série permet d'atteindre les plus basses pressions possibles dans le gazoduc endommagé, ce qui laissera très peu de gaz pour la mise à l'évent.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] Martin Rotink and Gerco van Dijk, Gasunie , Recompression of natural gaz saving the environnement and money, Juin, 2009.
- [2] Document Sonatrach , Service réparation TRC : Catalogue COMPRESSOR UNIT -Rosen 2015
- [3] Armin Fügenschuh and Björn Geißler, Physical and technical fundamentals of gas networks Chapitre 2: Physical and technical fundamentals of gas networks
- [4] Iranien Journal of Oil & Gas Science and Technology, . Oil and gas compression : mois, Vol. 3 (2014), No. 2, pp. 66-79.2015
- [5] ROYCE N. BROWN, « compressors selection and sizing » rédigé par second edition page 23 à 90,2001
- [6] M GRAILLE« UTILISATEURS ET CHOIX DES COMPRESSEURS », Centre d'expertise et de Services Direction Production Transport gaz de France
- [7] Renaud Gicquel. Extrait de système énergétique tome 1, presse de l'école des mines de Paris, page 110-119. In : Méthodologie d'analyse, bases de thermodynamique, composants, Thermoptim
- [8] AMARA idir, BADSI Ali : Etude d'une unité de compression mobile permettant la récupération du gaz naturel lors des interventions sur les gazoducs, DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE.: GÉNIE MÉCANIQUE : ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER: JUIN 2016.