

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université BLIDA – 01-
Faculté de Technologie , Département de Génie Mécanique



Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master en Génie Mécanique Option :
Énergétique
Thème

**Givrage de régulateur de pression de poste de détente
Gaz naturel**

Présenté par :
Ben Alia Nabil
Sahraoui Sidali

Encadré par :
Dr. LAAFER Abdekader.

membres du jury :
MR . Salhi
Mr . Ali benyahia
Mr . Guergadj

Promotion : 2023/2024

Remerciment :

Alhamdullilah, Merei mon dieu, pour la santé, le courage et la détermination qui nous ont accompagnés tout au long de ces années d'étude et durant la préparation et l'élaboration de ce travail.

Ce mémoire est non seulement le résultat de notre persévérance, sacrifice et patience, mais aussi de l'intervention et de la conscience de nombreuses personnes. Nous souhaitons ici les en remercier.

Nous voudrions également adresser un remerciement spécial à nos professeurs, en particulier à notre encadrant pédagogique, Dr A. LAAFER, pour son précieuse contribution à notre formation de Master.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers tous les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail et pour avoir accepté de l'évaluer.

Un merci à tout le personnel de la SONELGAZ -transport du gaz- de Blida, ainsi les professeurs et enseignants du département de mécanique de l'université de Saad Dahlab Blida 1.

Nos remerciements vont également à notre famille pour leurs précieux soutien et leurs encouragements à poursuivre notre mémoire de fin d'études.

nous remercions enfin celles et ceux qui nous sont chers, leurs attentions et encouragements nous ont accompagnés tout au long de ces années. Nous somme redevable à nos parents , pour leur soutien moral et matériel, ainsi que pour leur confiance indéfectible dans nos choix.

Résumé:

Après sa production, le gaz naturel doit subir des traitements avant d'être transporté par le biais de canalisations. Lorsque le gaz est envoyé d'un réseau de transport du gaz vers un réseau de distribution, ou lorsqu'il est livré à l'abonné, il est nécessaire d'abaisser sa pression. La réduction de la pression est réalisée au moyen d'installations appelées postes de détente. Un poste de détente a pour principale fonction de fournir un certain volume de gaz à une pression réduite constante à partir d'un gaz à une pression supérieure variable.

Dans une première phase, on s'est intéressé à l'origine, aux propriétés et à différentes techniques de traitement du gaz naturel. Par la suite, une présentation détaillée des différents ouvrages de transport du gaz naturel a été faite.

Ce travail représente une étude pour trouver une solution de givrage des organes de poste détente, on a utilisé une méthode théorique avec un stage présentiel au niveau de site de la wilaya de Blida, on a proposé trois solutions (ruban chauffant, pré-détente et réchauffeur); après l'étude la meilleure solution proposée est Réchauffeur et nous étudions sa consommation

Mots clés: gaz naturel, postes détente, postes actifs, postes passifs, détendeur.

Abstract:

After its production, natural gas must undergo treatment before being transported through pipelines. When gas is sent from a gas transmission network to a distribution network, or when it is delivered to the subscriber, it is necessary to reduce its pressure. The pressure reduction is carried out by means of facilities called pressure reduction stations. The main function of a pressure reduction station is to provide a certain volume of gas at a constant reduced pressure from gas at a variable higher pressure.

In a first phase, we were interested in the origin, properties and different techniques of natural gas treatment. Subsequently, a detailed presentation of the various natural gas transportation works was made.

This work represents a study to find a solution for icing the expansion devices, we used a theoretical method with In-person internship at the site level of the wilaya of Blida, we proposed three solutions (heating ribbon, pre-expansion and heater); after the study the best solution proposed is heater and we study its consumption.

Keywords: Natural gas, Pressure reduction, stations Active, stations Passive, stations Pressure regulator.

ملخص

بعد إنتاجه، يجب أن يخضع الغاز الطبيعي لعمليات معالجة قبل نقله عبر خطوط الأنابيب. عندما يتم إرسال الغاز من شبكة نقل الغاز إلى شبكة التوزيع، أو عندما يتم تسليمه للمستهلك، من الضروري خفض ضغطه. يتم تخفيض الضغط باستخدام منشآت تسمى محطات خفض الضغط. الوظيفة الرئيسية لمحطة خفض الضغط هي توفير كمية معينة من الغاز بضغط منخفض ثابت من غاز ذي ضغط أعلى متغير. في المرحلة الأولى، اهتمنا بأصل وخصائص وتقنيات معالجة الغاز الطبيعي المختلفة. بعد ذلك، تم تقديم عرض مفصل للأعمال المختلفة لنقل الغاز الطبيعي يمثل هذا العمل دراسة لإيجاد حل لتجمد أجهزة التوسعة، استخدمنا طريقة نظرية مع تدريب حضوري على مستوى ولاية البلدة، واقترحنا ثلاثة حلول (شريط التسخين، التوسعة المسبقة و سخان)؛ وبعد الدراسة فإن الحل الأفضل المقترح هو السخان و درسنا استهلاكه.

الكلمات المفتاحية: الغاز الطبيعي، محطات خفض الضغط، محطات نشطة، محطات سلبية، صمام تخفيض الضغط.

Sommaire

CHAPITRE 01 : GENERALITES

Introduction générale.....	1
1.1 Introduction.....	3
1.2 Définition des hydrocarbures.....	3
1.3 Mode de transport des hydrocarbures.....	3
1.3.1 Définition d'une canalisation.....	4
1.3.2 Caractéristiques d'une canalisation.....	4
1.3.3 Les gazoduc.....	5
A. Définition d'un gazoduc.....	5
B. Réalisation de gazoduc.....	6
C. Épreuves hydrostatique.....	7
D. Séchage des canalisations.....	7
1.3.4 Les types de gazoducs.....	7
1.3.5 Les stations de compression « SC »:	8
1.3.6 Les terminaux de départ et d'arriver.....	9
1.3.6.1 Terminal de départ « TD »	9
1.3.6.2 Terminal arrivée « TA »	9
1.3.7. Poste de détente	9
A. Définition.....	9
B. Fonction.....	10
C. Mode de raccordement du poste.....	11
D. Maintenance des postes de détente	16
E. Dispositifs de sécurité	17
F. La surveillance des postes de détente.....	18
G. Recommandations de sécurité	19
H Protection contre incendie.....	19
I. Odorisation.....	20
J. Distances de sécurité.....	20
K. Conclusion.....	22
1.3.8 Postes de purges « PP ».....	22
1.3.9 Postes de coupures « PC »	22
1.3.10 Postes de sectionnement « PS »	22
1.3.11. Postes de piquage :.....	23
1.3.12. Postes de gares racleurs :.....	23
1.3.13 Postes de prélèvement.....	23
1.3.14 Postes de protection cathodiques.....	23
1.4 Utilisation du gaz naturel.....	24
1.4.1 Le marché résidentiel et tertiaire.....	24
1.4.2 Le chauffage et la cuisine.....	24
1.4.3 Les applications industrielles et la production d'énergie.....	24
1.5 Le réseau de transport du gaz en Algérie.....	25
1.5.1 Le réseau de transport du gaz de SONATRACH/TRC.....	25
1.5.2 Le réseau de transport du gaz de SONELGAZ/GRTG.....	26
1.6 Historique du transport du gaz en Algérie.....	27
1.7 Conclusion	29

Chapitre 02 : Les solutions de Givrage

II Introduction.....	31
2.1 La Détente.....	31
2.2 REGULATEUR DE PRESSION.....	31
2.3 FONCTIONNEMENT DE REGULATEUR.....	32
2.3.1 Vanne de Contrôle.....	32
2.3.2 Réglage de Pression.....	32
2.3.3 Capteur de Pression.....	32
2.3.4 Mécanisme de Rétroaction.....	32
2.3.5 Compensation des Variations de Pression.....	32
2.3.6 Sécurités intégrées.....	32
2.4 Mode de régulation.....	32
2.5 Technologie des détendeurs-régulateurs.....	33
2.5.1 Les détendeurs-régulateurs à action directe.....	33
2.5.2 les détendeurs-régulateur à poids.....	33
2.5.3 Les détendeurs-régulateurs à ressort.....	34
2.5.4 Les détendeurs-régulateurs à cloche ou à charge pneumatique.....	35
2.5.5 Les détendeurs-régulateurs à action indirecte ou pilotés.....	36
2.5.6. Les détendeurs-régulateurs à pilote à fuite continue.....	38
2.5.7 Les détendeurs-régulateurs à pilote à débit discontinu.....	41
2.5.8 Les détendeurs-régulateurs à pilote du type à fluide auxiliaire.....	42
2.6 Le givrage de gaz naturel.....	43
2.6.1 La cause de givrage gaz naturel.....	43
2.6.2 Les conditions de givrage gaz naturel.....	44
2.6.2.1 Présence d'eau.....	44
2.6.2.2 Condition de formation d'hydrates.....	45
2.7 Ponde chauffant (cordon chauffant).....	45
2.7.1 Composants du ruban chauffant	46
2.7.2 Pré détente.....	47
2.8. réchauffeur.....	47
2.8.1 INTRODUCTION.....	47
2.8.2 DESCRIPTION DES ECHANGEURS THERMIQUES.....	48
2.8.2.1 ECHANGEUR THERMIQUE TYPE RECHAUFFEUR.....	50
2.8.2.2. Réchauffeur du gaz.....	51
2.8.3 Différents types de réchauffeur.....	51
2.8.3.1 Réchauffeur direct.....	51
2.8.3.2 Réchauffeur indirect (bain d'eau).....	52
2.8.3.3 Pourquoi les réchauffeurs à bain d'eau sont-ils meilleurs que les techniques de chauffage direct	53
2.8.3.4Principe de fonctionnement.....	53
2.8.3.5Avantages de l'utilisation d'un bain d'eau pour le chauffage.....	54
2.8.3.6Entretien et Maintenance.....	55
2.8.4 FONCTIONNEMENT ET DEFAILLANCES DU RECHAUFFEUR.....	56
2.8.4.1 ETAT ACTUEL DU RECHAUFFEUR.....	56
2.8.4.2 LES DIFFERENTS TYPES DE DEFAILLANCES.....	57
2.8.4.3 RECENSEMENT DES MODES DE DEFAILLANCES.....	57
2.8.4.4 LA MAINTENANCE.....	57

2.9	L'appareillage poste de détente gaz.....	58
2.9.1	INTRODUCTION.....	58
2.9.2	MISE EN GAZ.....	59
2.9.2.1	Réglage de la première ligne.....	59
2.9.2.2	Réglage de la deuxième ligne.....	59
2.9.2.3	Réglage de la soupape de sûreté.....	59
2.9.2.4	Contrôle des réglages des lignes par by-pass.....	50
2.9.2.3	PRESSIONS DE REGLAGE	60
2.10	Définition de site	60
2.10.1	La partie de filtrage.....	61
2.10.2	la partie de détente.....	61
2.10.3	la partie de comptage.....	61
2.11	conclusion.....	61
Chapitre 3 : résultat et discussion		
3.1	Introduction.....	63
3.2	Les rubans chauffant.....	63
3.2.1	Détermination de Q_g [C1]	64
3.2.2	Détermination de Q_c	64
3.2.3	Conclusion.....	65
3.3	Réchauffeur	66
3.3.1	Détermination de Q_g [C1]	66
3.3.2	Détermination de Q_c	67
3.4	Consommation de réchauffeur du gaz naturel.....	68
3.5	Les différentes conditions de fonctionnement de réchauffeur	69
3.5.1	Résolution d'Équations.....	69
3.5.2	Propriétés des Fluides.....	69
3.5.3	Optimisation.....	69
3.5.4	Analyse Paramétrique.....	69
3.5.5	Interface Utilisateur.....	69
3.5.6	Intégration.....	69
3.5.7	Documentation et Support.....	69
3.6	Commenter de graphe de Q_g , Q_c et Q_{cc} en fonction de débit.....	79
3.7	Commenter de graphe du temps de fonctionnement et le temps d'arrêt en fonction de débit.....	79
3.8	Conclusion.....	79
3.9	Conclusion Générale.....	80

Liste des figures

CHAPITRE 01 : GENERALITES

Figure (1.1) Le bardage de gazoduc.....	6
Figure (1.2)chaîne de transport par gazoduc.....	8
Figure(1.3) Poste de détente gaz avec réchauffeur – BENI TALL.....	10
Figure(1.4) Composants d'un poste de détente.....	11
Figure(1.5)Filtre à gaz de poste détente chiffa.....	12
Figure(1.6) Régulateurs de poste de détente de l'entreprise sascoc	13
Figure(1.7) Schéma d'un poste de détente à deux lignes.....	15
Figure(1.8)Soupapes de sécurité de détente chiffa.....	18
Figure(1.9) Odoriseur de poste de détente chiffa.....	20
Figure(1.10) Vanne de sectionnement Boufarik.....	22
Figure(1.11)Gare racleur Boufarik.....	23
Figure(1.12):Un gazoduc de l'amont vers l'aval.....	26
Figure(1.13):Réseau du transport du gaz naturel En Algérie.....	29

Chapitre 02 :Les solutions de Givrage

Figure (2.1): Détendeur-régulateur à poids.....	33
Figure (2.2): Détendeur-régulateur à ressort.....	35
Figure (2.3): Détendeur-régulateur à cloche.....	36
Figure (2.4): Détendeur-régulateur à action indirecte.....	37
Figure (2.5): Détendeur-régulateur à pilote à fuite continue.....	39
Figure (2.6): Pré détendeur.....	39
Figure (2.7): Pilote.....	40
Figure (2.8): Détendeur-régulateur à pilote à débit discontinu.....	41
Figure (2.9): Détendeur-régulateur à pilote à fluide auxiliaire.....	42
Figure (2.10): Principe de fonctionnement du détendeur-régulateur à pilote à fluide auxiliaire.....	42
Figure(1.11) Givrage du pilote du poste et de la partie aval de régulateur.....	44
Figure(2.12) : le givrage dans le poste de détente gaz naturel.....	45
Figure (2.13):cordon chauffant.....	46
Figure (2.14). Schéma d'un ruban chauffant autorégulent type 20XTV.....	47
Figure (2.15) Fonctions d'échangeurs thermiques.....	48
Figure (2.16) : Classification selon le circuit des fluides.....	49
Figure (2.17) Photo du réchauffeur de gaz naturel.....	50
Figure (2.18): Réchauffeur raccordé avec poste détente.....	51

Figure (2.19) schéma de principe du réchauffeur de gaz naturel.....	52
Figure 2.20 : Fonctionnement le Réchauffeur du gaz.....	54
Figure(2.21) :schéma isométrique de poste de détente.....	58

Chapitre 3 : résultat et discussion

Figure (3.1) : Graphe de EES de Q_g , Q_c et Q_{cc} en fonction de débit a pression de 70 bar.....	71
Figure (3.2) :la fiche technique de réchauffeur.....	72
Figure (3.3) : Graphe d'EES représente le temps de fonctionnement en fonction de débit à pression de 70 bar	73
Figure (3.4) :Graphe d'EES représente le temps d'arrêt en fonction de débit à pression de 70.74	74
Figure (3.5) : Graphe de EES de Q_g , Q_c et Q_{cc} en fonction de débità pression de 50 bar.....	75
Figure (3.6) : Graphe d'EES représente le temps de fonctionnement en fonction de débit à pression de 50 bar.....	76
Figure (3.7) : Graphe d'EES représente le temps d'arrêt en fonction de débit à pression	76
Figure (3.8) : Graphe de EES de Q_g , Q_c et Q_{cc} en fonction de débità pression de 60 bar.....	77
Figure (3.9) : Graphe d'EES représente le temps de fonctionnement en fonction de débit à pression de 60 bar.....	78
Figure (3.10) : Graphe d'EES représente le temps d'arrêt en fonction de débit à pression ...	78

Liste des tableaux

Chapitre 3 : résultat et discussion

Tableau (3.1) : tableau de EES représente les valeur de Q_g , Q_c et Q_{cc} acer déférent débit a pression de 70 bar.....	70
Tableau (3.2) : tableau de EES représente le temps de fonctionnement et le temps d'arrêt en fonction de débit.....	73
Tableau (3.3) : tableau de EES représente les valeur de Q_g , Q_c , Q_{cc} ,le temps de fonctionnement et le temps d'arrêt acer déférent débit a pression de 50 bar.....	75
Tableau(3.4) :tableau de EES représente les valeur de Q_g , Q_c , Q_{cc} ,le temps de fonctionnement et le temps d'arrêt en fonction de débit acer déférent débit a pression de 60 ..	77
Tableau(3.5) : tableau de EES représente les valeur de Q_g , Q_c , Q_{cc} ,le temps de fonctionnement et le temps d'arrêt en fonction de débit acer déférent débit a pression de 70 ..	79

Nomenclature

Q_c : Quantité de chaleur dégagée par la paroi de la conduite.

Q_g : Quantité de chaleur transférée au gaz.

Q_{cc} : Quantité de chaleur dans la chambre de combustion

Q_p : Les pertes de Transfer de chaleur

Q_{pc} : Les pertes de Transfer de réchauffeur

Q_{pt} : La perte de chaleur totale

T : Température

T_{fe} : Température du gaz naturel à l'entrée du réchauffeur indirect ou à la sortie de la conduite avec ruban chauffant.

T_{fs} : Température du gaz naturel à la sortie du réchauffeur indirect ou à la sortie de la conduite avec ruban chauffant.

T_p : Température de la paroi du serpentin.

T_∞ : Température moyenne du fluide.

T₀ : Température normale considérée dans notre étude à 15 °

T_{∞2} : Température de service

P : Pression du gaz naturel.

P₀ : Pression normale du gaz considérée dans notre étude à 1 atm.

P₁ : Pression avant détente

Z₀ : Facteur de compressibilité du mélange gaz naturel aux conditions normales

Z₁ : Facteur de compressibilité du mélange gaz naturel aux conditions d'entrée

m_g : Débit massique du gaz naturel aux conditions d'entrée dans le réchauffeur(kg/h).

ṁ : Débit volumique du gaz naturel aux conditions normales (Nm³/h).

V_g : Débit volumique du gaz naturel aux conditions d'entrée dans le système de Chauffage (m³/h).

ρ_g : Masse volumique du mélange gaz naturel (kg/m³)

k : Conductivité thermique dans le cas général (W/m K).

C_p : Chaleur spécifique massique du gaz naturel (kJ/kg K)

R : résistance thermique

D_e : Diamètre extérieur du serpentin.

D_i : Diamètre intérieur du serpentin.

h : Coefficient de transfert de chaleur par convection.

h_i : Coefficient de transfert de chaleur par convection à l'intérieur du tube.

h₀ : Coefficient de transfert de chaleur par convection à l'extérieur du tube.

Nu : Nombre de Nusselt.

Pr : Nombre de Prandtl.

Red_i : Nombre de Reynolds.

L : Longueur du serpentin totale dans le réchauffeur ou avec les rubans chauffants.

S_i : Surface interne du serpentin.

$\Delta.p$: perte de charge

Chapitre 01: Généralités

Introduction générale

Le transport du gaz naturel est essentiel pour l'approvisionnement énergétique mondial, réalisé principalement par gazoducs et navires méthaniers. Les gazoducs, robustes et fiables, sont privilégiés pour les longues distances terrestres et sous-marines, tandis que le transport par navires méthaniers est utilisé lorsque le transport par gazoduc est impraticable. Le gaz naturel liquéfié (GNL) permet un transport sécurisé sur de très longues distances. Ces deux modes de transport garantissent un approvisionnement stable en gaz naturel malgré les défis logistiques et géopolitiques. **La Société Nationale de l'Electricité et du Gaz (Sonelgaz),** est une entreprise publique algérienne chargée de la production, du transport, de la distribution, de la vente et de l'exportation d'électricité et de gaz naturel. Créée en 1962, Sonelgaz joue un rôle crucial dans le développement économique et social de l'Algérie en garantissant un approvisionnement en énergie stable et fiable à l'ensemble du pays. En 2022, Sonelgaz comptait plus de **82 904 employés**, répartis à travers ses différentes filiales et branches d'activité.

Notre expérience de stage s'est déroulée au sein de Sonelgaz Transport Gaz (District de Blida), Wilaya de Blida. Cette entité stratégique est responsable du transport du gaz naturel à travers un réseau étendu de gazoducs et d'installations de traitement. Durant notre stage, nous avons eu l'opportunité de découvrir les différentes facettes des activités de Sonelgaz Transport Gaz, notamment :

- La gestion et l'exploitation des réseaux de transport de gaz naturel
- La maintenance et l'entretien des infrastructures gazières
- La supervision des opérations de pompage et de compression du gaz
- La mise en œuvre des procédures de sécurité et de contrôle qualité
- La contribution à des projets de développement et de modernisation du réseau

Ce rapport de stage vise à partager notre expérience enrichissante au sein de Sonelgaz Transport Gaz, Wilaya de Blida. Nous y décrirons en détail les missions accomplies, les compétences acquises et les défis rencontrés durant notre stage. Nous analyserons également l'impact des activités de Sonelgaz Transport Gaz sur le développement énergétique de la région de Blida et de l'Algérie dans son ensemble.

A travers ce rapport, nous espérons :

- Offrir un aperçu concret des activités et des responsabilités de Sonelgaz Transport Gaz.
- Mettre en lumière le rôle crucial joué par cette entreprise dans le transport du gaz naturel en Algérie.
- Partager les connaissances et les compétences acquises durant notre stage.
- Contribuer à une meilleure compréhension des enjeux et des défis liés au transport de gaz naturel.

Le gaz naturel, source d'énergie concurrentielle, bénéficie d'avantages significatifs par rapport à d'autres sources énergétiques. Les avancées technologiques constantes améliorent l'efficacité des processus d'extraction, de transport et de stockage, ainsi que la performance énergétique des équipements utilisant le gaz naturel. Ce gaz, incolore, inodore, insipide et plus léger que l'air, se présente sous forme gazeuse au-dessus de -161°C . Pour des raisons de sécurité, on lui ajoute souvent un parfum chimique, le THT, pour le rendre odorant et ainsi détecter toute fuite potentielle, prévenant ainsi les risques de catastrophe. En ce qui concerne sa composition, le gaz naturel est principalement constitué de méthane, un hydrocarbure composé d'un atome de carbone et de quatre atomes d'hydrogène, représentant entre 81 et 97% de sa composition. Cette simplicité et légèreté sont caractéristiques du gaz naturel. Les autres composants incluent de l'éthane, de l'azote, du dioxyde de carbone et du propane. En Europe, un exemple typique de composition du gaz naturel est le suivant : méthane (CH_4) à 90%, éthane (C_2H_6) à 5%, propane (C_3H_8) à 1%, butane (C_4H_{10}) à 0,2%, azote (N_2) à 2,2% et dioxyde de carbone (CO_2) à 1,4%. De plus, le gaz naturel présente une densité inférieure à celle de l'air, avec un rapport de seulement 0,6 par rapport à celui-ci.

1.1 Introduction

Les hydrocarbures occupent une place considérable dans la consommation énergétique à l'échelle mondiale, le pétrole et le gaz sont la source d'énergie la plus utilisée ; c'est en effet une source primordiale et difficilement remplaçable. Leurs abondance et facilité de production font du négoce de pétrole et de gaz est le commerce mondial le plus important.

Le gaz naturel est une source d'énergie qui peut être utilisée avec peu de transformation et qui se transporte facilement sur de longues distances continentales

En Algérie, le gaz naturel constitue une source privilégiée d'énergie domestique et industrielle. Ajouté à cela, il occupe une place importante dans la politique économique du pays et est considéré comme un outil de développement et d'édification de l'économie nationale, c'est une source financière sûre pour le commerce extérieur.

1.2 Définition des hydrocarbures

Le pétrole et le gaz naturel constituent les sources naturelles d'hydrocarbures les plus connues. Avec le charbon, ces ressources - inflammables à température ambiante - comptent parmi les énergies fossiles. Leurs stocks se trouvent en quantité limitée dans les profondeurs du sol ou sous les fonds marins, puisqu'ils proviennent de la dégradation de la matière organique des êtres vivants sur plusieurs centaines de millions d'années.

1.3 Mode de transport des hydrocarbures

Pour le transport des hydrocarbures il existe plusieurs moyens permettant de satisfaire cette instance, parmi ces moyens il y a :

- Le transport routier.
- Le transport par voie ferrée.
- Le transport par voie navigable.
- Le transport par canalisation.

Le gaz naturel est transporté soit par gazoduc sous forme de gaz comprimé au niveau de station de compression, soit par méthanier à l'état liquide (après liquéfaction).

Le transport par gazoduc représente la solution la plus simple mais nécessite la mise en place d'un réseau de conduites reliant les sites de production aux sites de réception. [1]

1.3.1 Définition d'une canalisation

Une canalisation ou un pipeline (en anglais) est une conduite destinée à l'acheminement de matières gazeuses, liquides, ou poly-phasiques, d'un endroit à un autre. Les pipelines sont le plus souvent construits à partir de tubes d'aciers soudés bout à bout, Revêtus extérieurement voire intérieurement et généralement enfouis dans le sol. Ces pipelines s'avèrent coûteux et parfois difficiles à mettre en œuvre selon les caractéristiques des terrains traversés.

1.3.2 Caractéristiques d'une canalisation

Les canalisations se caractérisent essentiellement par leur diamètre et épaisseurs, ces deux paramètres étant étroitement liés au débit transporté et aux pressions de service exigées.

➤ Le diamètre

$$D_{ext} = D_{int} + 2E \tag{1.1}$$

- D_{ext} : Diamètre extérieur ;
- E : L'épaisseur.

Où le diamètre intérieur est donné par cette relation :

$$D_{int} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} \tag{1.2}$$

- Q : Le débit volumique [m³/s] ;
- v : La vitesse du gaz [m/s].

➤ L'épaisseur

L'épaisseur minimale du tube est calculée par la formule de Barlow.

$$E_{cal} = \frac{PMS D_{ext}}{2 \sigma_{ad}} \tag{1.3}$$

- E_{cal} : Epaisseur calculée de la canalisation (mm) ;
- D_{ext} : Diamètre Extérieur de la canalisation (mm) ;
- PMS : Pression Maximale de Service ;
- σ_{ad} : Contrainte admissible de l'acier (bars).

On définit la contrainte admissible en tenant compte des coefficients de sécurité :

$$\sigma_{ad} = \{K_r K_e, \sigma_e \sigma_r\} \quad (1.4)$$

Où :

- σ_e : Limite élastique de l'acier ;
- σ_r : Limite de rupture de l'acier ;
- K_e et K_r : Coefficients de sécurité.

La tolérance négative sur les épaisseurs commerciales est de :

- 0,1 mm pour $5mm < \delta < 15mm$;
- 1,5mm pour $\delta \geq 15mm$

Le nom et le type d'une canalisation dépendent des caractéristiques physiques et des conditions d'acheminement du produit à déplacer.

- Pour le gaz naturel, on parle de **gazoduc**.

1.3.3 Les gazoduc

A. Définition d'un gazoduc

Ils sont le moyen de transport du gaz naturel le plus utilisé sous haute pression entre le point source appelé terminal départ (gisement ou unité de traitement), vers un point de livraison appelé terminal arrivé (GNL, gazoduc sous-marin ou une installation industrielle).

Un gazoduc comprend :

- Une canalisation constituée de tubes d'acier soudés pour former une ligne pouvant atteindre plus de 3000 Kilomètres de long. Le diamètre de ces tubes varie entre 20" à 56" (1"pouce"=2.54cm) ;
- Des stations de compression ;
- Les terminaux de départ et d'arriver ;
- Les points de livraison et de prélèvement ;
- Les postes de purge et de protection cathodique ;
- Les postes de sectionnement et de coupures.

Pour des raisons de sécurité et d'environnement, les gazoducs sont le plus souvent enterrés (de 1 à 1.5 mètre).

Cependant, dans les régions désertiques ou lorsque le sol est gelé (ex : pergélisol), Les gazoducs sous-marins sont posés au fond de l'océan.

Chaque gazoduc à sa particularité c'est pour cela qu'il faut affecter à chaque conduite ses propres caractéristiques telles que :

- Les tronçons ;
- La longueur en kilomètres ;
- Le diamètre en pouce ;
- L'épaisseur de la paroi en mm ;
- Le produit qu'il transporte (gaz)
- Le nombre de stations de compression ;
- La provenance et la destination ;



Figure (1.1) Le bardage de gazoduc

B. Réalisation de gazoduc

La réalisation d'un réseau de transport du gaz naturel par canalisation (gazoduc) est effectuée d'après les étapes suivantes:

- Exécution des travaux de pose et préparation de la piste;
- Aménagement de la piste;
- Bardage;
- Cintrage,
- Soudage et contrôle des soudures;

- Enrobage des joints;
- Ouverture de tranchée;
- Remblai et remise en état.

C. Épreuves hydrostatique

Après la réalisation et la mise en place, les ouvrages de transport du gaz naturel Doivent subir, avant leur mise en service, des essais hydrostatiques ces derniers peuvent être

Classifiés en deux catégories:

- Épreuve de résistance;
- Épreuve d'étanchéité.

D. Séchage des canalisations

Une fois que les résultats des épreuves hydrostatiques sont concluants, on doit Procéder aux étapes suivantes:

- Vidange des canalisations;
- Essuyage des canalisations;
- Séchage.

Le séchage peut être entrepris selon l'une des trois méthodes de séchage suivante:

- Séchage par dilution de l'eau dans un liquide (méthanol);
- Séchage par évaporation dans un gaz circulant (air sec);
- Séchage par évaporation sous vide.

Cette opération est très importante, car la présence d'eau cause des problèmes qui peuvent être

De deux natures:

- Risque de corrosion interne du fait de la présence de composants acides dans le Gaz;
- Risque de formation de composés solides avec l'eau (hydrates, glace), plus Courants lors des débuts de l'exploitation d'ouvrage.

1.3.4 Les types de gazoducs

Il existe deux nappes de gazoducs :

- **Nappe sud**

Constituée de l'ensemble des gazoducs sud transportant le gaz produit par les gisements vers le Centre national de dispatching gaz CNDG.

- **Nappe nord**

Constituée de l'ensemble des gazoducs nord transportant le gaz du CNDG vers les principales installations gazières nationales au nord ainsi que les clients de Sonatrach (Espagne, Italie).

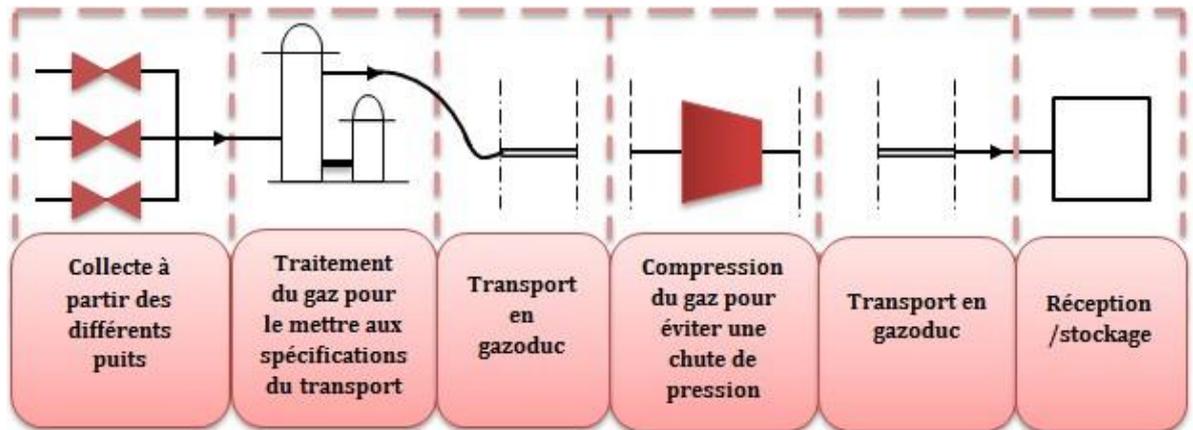


Figure (1.2) chaîne de transport par gazoduc

1.3.5 Les stations de compression « SC »

Les stations de compression servent à compenser les pertes de pression dues au déplacement du gaz naturel. Elles sont situées sur des intervalles réguliers sur les gazoducs (tous les 120 à 150 km), En effet, en circulant dans les canalisations, le gaz naturel est ralenti par le frottement sur les parois, entraînant une baisse de pression.

Les stations de compression permettent de redonner de la pression au gaz naturel afin que celui-ci soit transporté sur de grandes distances et dispose d'une pression suffisante pour être livré aux points de cession (réseaux de distribution et industriels).

Elles rassemblent plusieurs compresseurs qui aspirent le gaz à basse pression pour le rejeter à une pression importante.

Une station de compression est constitué principalement de :

- Plusieurs turbocompresseurs (un compresseur entraîné par une turbine à gaz) ;
- Des aérofrigorant ;
- Deux turbogénérateur ;
- Un bâtiment de contrôle ;
- Un bâtiment de service et de logistique ;
- Une base de vie ;

- Un bac d'eau et une pompe d'incendie.

1.3.6. Les terminaux de départ et d'arriver

1.3.6.1. Terminal de départ « TD »

Un terminal de départ est un point source, il est essentiellement constitué de :

- Une gare de lancement de racleur pour nettoyer périodiquement la conduite ;
- Un réseau de tuyauterie ;
- Un banc de filtration ;
- Un banc de régulation qui a pour but de régler la pression au départ du gazoduc,
- Un banc de comptage.

1.3.6.2. Terminal arrivée « TA »

Un terminal arrivée est un point de livraison où se terminent un ou plusieurs gazoducs principaux, il est constitué principalement de :

- Une gare de réception de racleur de nettoyage ;
- Un réseau de tuyauterie ;

1.3.7. Poste de détente

A. Définition

Le poste de détente est un matériel ayant pour fonction d'abaisser la pression du gaz distribué par un réseau général à des niveaux de pression utilisables par les différents types de clientèles : domestique, tertiaire, industriel. On distingue des postes de détente réseau et des postes de détente clients. [7] Il existe trois types de postes actifs :

- Poste de pré détente (PPD) : 70/20 bars.
- Poste de détente (DP ou Client) : 70/4 bars.
- Poste de détente (DP ou Client) : 20/4 bars.

Les éléments à prendre en compte pour le choix d'un poste sont généralement :

- la nature du gaz distribué (gaz naturel – propane,...),
- les plages de pressions en amont et en aval,
- la nature du réseau ou du client alimenté,
- le débit à assurer (**100 - 250 – 500 – 1000 – 1600 - 2500 Nm³/h**),
- le degré de sécurité à assurer,

- l'emplacement du poste,
- les fonctions complémentaires.



Figure (1.3) Poste de détente gaz avec réchauffeur – BENI TALL

B. Fonction

Un poste de détente a pour principale fonction de fournir un certain volume de gaz à une pression réduite constante à partir d'un gaz à une pression supérieure variable. On distingue deux grands types de postes de détente sur le réseau de transport,

- *Les postes de pré-détente*
- *Les postes de livraison*

➤ **Poste pré-détente: [2]**

Les postes de pré-détente assurent la séparation entre deux canalisations de transport de Pression Maximum en Service différente.

● **La pré-détente technique**

Il sert à étager la détente entre 2 réseaux de transport qui peuvent parfaitement avoir la même pression maximale de service. La mise en place d'un tel pré détente est un choix du transporteur afin, par exemple, de limiter les phénomènes de froid au niveau des postes de livraison situés en aval ou de limiter la pression dans un réseau traversant une zone urbaine.

● **La pré détente de sécurité**

Il est placé entre le réseau principal et le réseau secondaire lorsque ce dernier a une pression maximale de service inférieure à celle du réseau principal.

La pré détente de sécurité est une "installation imposée par la réglementation.

Donc, elle est obligatoirement équipée de dispositifs de sécurité de la pression aval.

➤ **Poste livraison**

Les postes de livraison assurent la connexion entre deux réseaux de Pression Maximum en Service différente. Ils sont situés à la sortie du réseau de transport et servent à alimenter les réseaux de distribution (MPB, MPC) ou les clients industriels raccordés directement sur le réseau de transport.

● **Poste de livraison à une distribution publique (« DP »)**

Il alimente des réseaux de distribution publique (l'ensemble des consommateurs) et il fonctionne selon deux types de pression moyenne **pression B** (MPB, pression 4 bar) ou moyenne **pression C** (MPC, entre 4 et 20 bar).

● **Le poste de livraison à un client industriel**

Il livre du gaz à une pression de livraison adaptée à l'usage du client (de 1,5 bar pour une chaufferie à 20 bars ou plus pour une turbine à gaz). Les débits peuvent être précisés par le client ainsi que leur croissance. Par contre, on peut rencontrer des variations brutales de débit pouvant aller du tout ou rien et souvent avec une capacité du réseau aval négligeable. Enfin, en France, le choix de l'équipement du poste (une seule ligne de détente ou deux lignes) peut dépendre en partie de l'attitude du client, puisque c'est lui qui le paie.

C. Mode de raccordement du poste

➤ **Composants d'un poste de détente [2]**

Les postes de détente sont constituées principalement d'appareils : robinets, régulateurs de pression ou de débit, dispositif de sécurité pression (soupapes, Vannes de Sécurité), d'appareil de mesure et de tuyauteries composées de tubes et de pièces de forme chaudronnées.

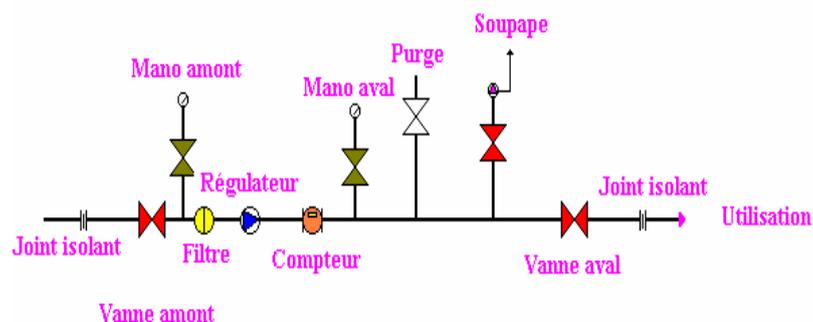


Figure (1.4) Composants d'un poste de détente [3]

La figure précédant schématise les principaux composants d'un poste de détente et leur implantation

➤ **Conception des postes de détente [2]**

Un poste de détente remplit de nombreuses fonctions :

- **La filtration du gaz**

Les postes de détente sont équipés d'un filtre à cartouche (feutre ou papier par exemple), vertical ou horizontal, servant à retenir la poussière que pourrait transporter le gaz.



Figure (1.5) Filtre à gaz de poste détente chiffa

- **La détente**

L'abaissement de la pression est réalisé au moyen d'appareils appelés **REGULATEURS** ou **DETENDEURS**. C'est à dire maintenir constant la pression aval, mais qui peut aussi être la pression amont (déverseur) ou le débit (régulateur de débit). Partout où la continuité d'alimentation est nécessaire, le bloc de détente du poste comporte deux lignes indépendantes : une ligne principale assure l'alimentation en temps normal, une ligne auxiliaire assure l'alimentation en cas d'incident sur la ligne principale.



Figure(1.6) Régulateurs de poste de détente en réalisation dans l'entreprise SASCOC

- **La sécurité contre les surpressions**

Cette fonction est imposée, afin d'éviter les risques de détérioration du réseau aval (lequel est généralement conçu pour une certaine gamme de pression, inférieure à celle du réseau amont) lors d'incidents sur le bloc de détente, ou en cas de fausse manœuvre entraînant une élévation de pression. Pour assurer la sécurité contre les surpressions, on peut utiliser plusieurs techniques :

Ensemble de deux vannes de sécurité (V.S.) : Une vanne de sécurité (VS), ou clapet de sécurité, est un organe qui se ferme automatiquement dès lors que la pression surveillée atteint une pression de consigne. La GRTG à adopter ce type de sécurité en installant une soupape sur ses postes « types », placées à l'aval des lignes de régulations et à l'amont de la rampe de comptage du poste. Dans tous les cas, l'ensemble du dispositif de sécurité de la pression aval (VS + soupape) doit être tel qu'un premier dispositif fonctionne à la PMS du réseau aval et que l'ensemble du dispositif ne permette pas que la pression aval dépasse les 120% de la PMS aval.

Montage Monitor avec vanne de sécurité : Dans le cas où il n'est pas possible d'installer des soupapes, et pour un réseau non maillé, une solution est d'adopter un montage Monitor (l'association de deux détendeurs régulateurs montés en série) sur la ligne principale ou la ligne auxiliaire ou les deux.

Les débits: Les tuyauteries d'entrée, y compris le robinet entrée poste ainsi que les tuyauteries de sortie, y compris le robinet sortie poste, sont dimensionnées pour assurer le débit correspondant au risque 2 % appliqué aux consommations prévues à l'échéance de 15 ans (cas des postes de livraison aux distributions publiques).

Implantation des postes: Pour le transport, les postes de pré détente sont généralement installés en plein air et en dehors des zones urbanisées.

Les postes de livraison sont quant à eux installés dans les lieux de livraison pour les DP à proximité du site urbain à alimenter pour les postes Clients c'est à l'intérieur de l'unité industrielle ex : Centrale électrique, Cimenterie, Briqueterie etc. et ces postes doivent être clôturé et installé à l'air libre). Ainsi, pour un poste destiné à renforcer l'alimentation d'un réseau de distribution, on cherchera un emplacement dans la zone où les pressions aux heures de pointe apparaissent les plus insuffisantes.

- **L'isolement du poste**

Les postes de détente sont équipés, au moins en entrée et en sortie, de robinets de barrage permettant l'arrêt du transit de gaz dans le poste (pour la maintenance des ensembles de régulation, les essais de fonctionnement des appareils...). De plus, sur les canalisations amont et aval reliées au poste, des robinets d'isolement ("sectionnements ou robinets d'arrêt amont et aval") sont installés à une certaine distance de la clôture du poste. Ils permettent l'isolement du poste en cas d'anomalie grave ne permettant pas l'accès au poste (incendie du poste).

- **Le by-pass**

La conception des postes à SONELGAZ, GRTG, est telle qu'en cas d'incident ou d'opération rendant le bloc de détente inopérant, on peut toujours assurer manuellement l'alimentation en gaz au moyen d'un circuit de bipse équipé d'un robinet de laminage manuel.

- **Le comptage**

Si le poste de détente est un poste de livraison, il est généralement équipé d'un système de comptage qui permet d'établir la facturation. Le comptage est généralement assuré par un compteur de volume associé à un dispositif de conversion en température (T), pression/température (PT) ou pression/température/facteur de compressibilité (PTZ).

● **Le froid:**

La détente du gaz naturel entraîne un abaissement de la température du gaz suivant la formule suivante :

$$\Delta T = 0.5 \Delta P \quad (1.5)$$

Pour les postes installés sur le réseau de transport, la différence entre la pression amont et la pression aval pouvant être importante, il en résulte une chute de température non négligeable.

Par conséquent, les problèmes qui peuvent se poser sont les suivants :

Fragilisation du matériau de la canalisation aval, il n'est donc pas recommandé de poser une canalisation en polyéthylène directement en sortie d'un poste de livraison transport [4].

Formation de glace ou d'hydrates dans le gaz si la température descend au-dessous du point de rosée, ce givrage se produit dans les détendeurs, et encore plus facilement dans les circuits de pilotage (en particulier dans le pré-détendeur qui est soumis à une différence de pression importante) [4].

Formation de glace à l'extérieur (autour des appareillages) pouvant obturer des orifices de communication avec l'extérieur ou empêcher le fonctionnement mécanique de certains organes (vannes de sécurité, compteur, robinet) si on ne prend pas de précautions.

● **Systèmes de sécurité de pression**

En cas de défaillance du système de détente-régulation de la pression, le système de sécurité de pression doit fonctionner automatiquement pour empêcher que la pression dans le réseau aval ne dépasse les niveaux autorisés. La mise à l'atmosphère du gaz il est donc recommandé de limiter les quantités de gaz mises à l'atmosphère.

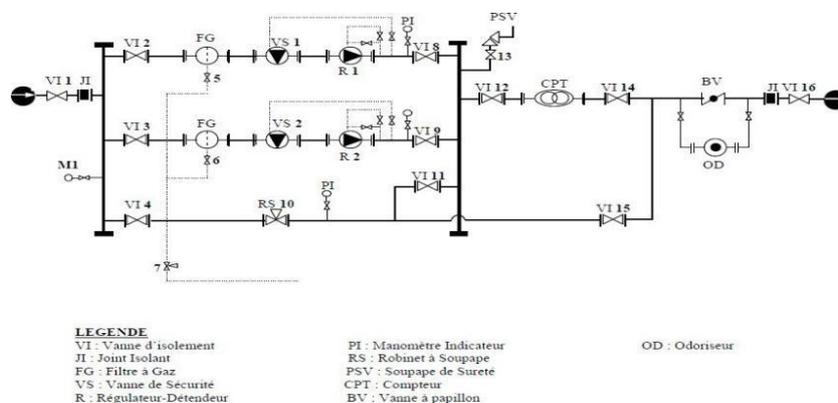


Figure (1.7) Schéma d'un poste de détente à deux lignes [9]

D. Maintenance des postes de détente [2]**➤ Inspections**

Généralement, il convient d'effectuer une inspection visuelle des postes et de leurs organes constitutifs selon des fréquences hebdomadaires à mensuelles. Durant ces inspections, il s'agit en particulier de s'assurer :

- de l'absence de fuite,
- du bon fonctionnement de l'appareil de détente principal,
- de la position ouverte des clapets de sécurité,
- du bon fonctionnement des appareils de mesure, notamment des diagrammes d'enregistrement de pression ou du dispositif de comptage ...
- de l'état du génie civil, clôture, portail...

➤ Essais de fonctionnement

Il s'agit de vérifier le fonctionnement de l'ensemble des principaux appareils constitutifs du poste de détente, en particulier :

- le point de consigne du régulateur principal et son étanchéité à débit nul,
- le fonctionnement du régulateur de secours (démarrage, point de consigne),
- le fonctionnement du (des) clapet(s) de sécurité (test de fermeture, point de consigne),
- le fonctionnement de la (ou des) soupape(s) (ouverture, point de consigne, étanchéité). Un essai d'ouverture complète peut être recommandé 1 fois par an,
- la manœuvre des robinets principaux (entrée, sortie...), graissage éventuel (cette manœuvre est généralement obligatoire pour les essais de fonctionnement des appareils).

La fréquence de réalisation de ces opérations à SONELGAZ, GRTG varie entre 3 fois et 4 fois par an.

Ces fréquences doivent être adaptées en fonction des conditions locales : postes nouvellement mis en service, réseau amont chargé de poussière ou transportant du gaz humide, poste sensible (client industriel non interruptible...).

➤ Révision

La révision consiste en un démontage complet d'un appareil dans un but préventif (changement de certaines pièces d'usure ou pièces sensibles afin d'éviter une anomalie)

ou dans le cadre d'une intervention corrective suite à découverte d'une anomalie (incident ou anomalie constatée lors des essais de fonctionnement). Pour ce qui est des fréquences à appliquer, elles varient entre « interventions correctives » et révision systématique (régulateurs, VS, soupapes). Toute révision doit être suivie d'un essai de fonctionnement. Cas des filtres : les fréquences de purge, de nettoyage et de changement des éléments filtrants varient suivant le positionnement et le type d'appareil, la nature et la composition du gaz, les changements de régime d'exploitation. Il est recommandé de manœuvrer la culasse de filtre et de vérifier l'état de la cartouche de filtrage au moins une fois par an.

➤ **Enregistrement des actes de maintenance**

Toute visite ou intervention effectuée sur le poste doit être consignée sur un support qui peut être soit du type « carnet de poste » soit de type informatique (logiciel de suivi des actes de maintenance).

➤ **L'intervention**

L'intervention est un acte de maintenance répétitif qui se déroule selon les étapes suivantes :

1. l'alerte, **2.** la reconnaissance, **3.** la mise en sécurité, **4.** la réparation en urgence.

E. Dispositifs de sécurité [5]

➤ **Vannes de sécurité**

Les vannes de sécurité ou clapets de sécurité montés en amont du régulateur constituent le premier appareillage de sécurité pour le poste. Leur rôle est d'interrompre instantanément l'écoulement du gaz par un pilote qui commande la fermeture de la vanne aussitôt que la pression détendue dans la ligne, en aval du régulateur, dépasse la valeur de consigne. La réouverture de cette vanne ne peut s'effectuer que manuellement, et pour cela, elle doit être munie, d'un système d'équilibrage de pressions pour le réarmement.

➤ **Soupapes de sécurité**

Les soupapes de sûreté installées à l'aval des lignes de régulation, constituent le deuxième appareil de sécurité pour le poste. Leur fonction est d'évacuer à l'atmosphère les surpressions en cas de défaillances des régulateurs. Elles doivent être de type pilote.



Figure (1.8) Soupapes de sécurité de détente chiffa

➤ **Vannes Oléopneumatiques (line break)**

Ces vannes sont munies d'un opérateur oléopneumatique avec fermeture par gradient de chute de pression (Line break) de 1 à 3 bar/min. Elles permettent d'isoler un ouvrage gaz ou un tronçon d'un autre et sont généralement installées à l'amont des postes de prélèvement, des interconnexions d'ouvrages et au niveau des postes.

➤ **Torches et événements**

La torche permet d'évacuer, dans les conditions de sécurité voulues, le gaz à l'atmosphère. Elle doit être placée en un endroit suffisamment éloigné des lignes et dépasser d'au moins un (01) mètre le point le plus élevé du poste. Elle doit déboucher à une distance comprise entre 10 et 15 mètres de toute source d'allumage, de fils électriques nus ou d'ouverture dans les bâtiments voisins. L'événement doit être autant que possible protégé par un système adéquat. L'orifice d'évacuation doit être suffisamment dimensionné (1/3 du diamètre de la canalisation, en général) pour permettre la vidange rapide des tronçons en cas de nécessité. Les purges des filtres et des lignes de régulation doivent être reliées au collecteur de la torche.

F. La surveillance des postes de détente [5]

Les postes de détente sont contrôlés à travers la vérification de :

- l'état d'encrassement des filtres,

- Les réglages et le bon fonctionnement des vannes de sécurité,
- Le bon fonctionnement de la soupape de sécurité si elle existe, Le repérage, l'accessibilité et la manœuvrabilité de l'organe de coupure d'entrée, les installations électriques.

Il est également précisé que le gestionnaire du réseau doit planifier la visite des postes de détente de réseau selon leurs caractéristiques (emplacement sur le réseau et dans l'environnement et qualités reconnues du matériel en place).

G. Recommandations de sécurité [3]

Les dispositions de sécurité dans un poste gaz sont les suivantes :

- Port d'un masque respiratoire dans les lieux où existent des risques d'émanations nocives (chambre à vanne, lieux de manipulation du THT,...),
- Connaître la signification précise des symboles de signalisation utilisés,
- Veiller à la sécurité de l'individu et à celle de ses collègues,
- Seuls les agents habilités peuvent intervenir dans un poste,
- Prendre, en cas de situation dangereuse, les mesures urgentes.
- Utiliser les équipements individuels et collectifs réglementaires de sécurité,
- Porter les gants de travail (gants en plastique pour la manipulation du THT),
- Se munir d'extincteurs, lors de toute intervention dans un poste gaz,
- Avant toute intervention, contrôler l'atmosphère environnante à l'aide d'un appareil de détection approprié.
- Utiliser de l'outillage anti-étincelant (au bronze - béryllium),
- Travailler dans les limites de la zone de travail et en limiter l'accès,
- Ne pas ouvrir un appareil sous pression si la décompression n'est pas totale,
- Toujours vérifier la classe de pression des appareils, tubes et accessoires avant installation,

H. Protection contre incendie[5]

Les postes doivent être équipés d'extincteurs disposés sous abri dans un coin accessible. Les produits inflammables nécessaires à l'exploitation ou à la maintenance des postes (THT, méthanol) doivent être stockés sous abri spécialement réservé à cet usage en quantité limitée.

I. Odorisation [5]

L'accumulation de gaz dans les locaux fermés présente un danger d'explosion dans le cas où la limite inférieure d'explosivité (qui se situe aux environs de 5% de gaz dans l'air) est atteinte. Pour éviter ce danger potentiel, on donne au gaz une odeur caractéristique permettant à un individu de détecter l'intensité d'alerte, définie comme étant le 1/5 de la limite inférieure d'explosivité. Cette intensité est obtenue avec un taux de 15 à 20 mg de THT (Tétrahydrothiophène) de formule moléculaire **C₄H₈S**, par Nm³/h qui correspond d'un degré olfactif de 2 (échelle de mesure : 1 à 5). En l'absence d'un système centralisé d'odorisation du gaz à partir des points de prélèvement ou des nœuds de desserte importante, les postes de distribution publique doivent être pourvus d'odoriseur choisis en fonction du débit horaire.



Figure (1.9) Odoriseur de poste de détente chiffa

J. Distances de sécurité [5]

➤ Aménagement de l'emplacement

L'aménagement de l'emplacement doit permettre un accès facile aux montages, démontages, manœuvres et opérations d'entretien des différents éléments du poste. De même, il doit permettre au personnel de se dégager rapidement en cas de nécessité. A cet effet, les passages entre appareils voisins doivent avoir au moins 50 cm de largeur.

➤ **Zones de sécurité**

Autour des installations des postes gaz, la Commission Electrotechnique Internationale (C.E.I) a définie des zones de danger selon la probabilité de formation d'un mélange explosif. On distingue deux (02) types de zones:

Zone 1

Dans laquelle la formation d'atmosphère explosive peut survenir en fonctionnement normal de l'installation et elle est appelée zone dangereuse. Elle comprend :

- Les contours de certains appareils (ex.: proximité des garnitures d'étanchéité non étanches, des orifices de décharges, événements, etc...).
- Les emplacements ou les locaux à danger d'explosion.
- Les endroits proches des locaux au droit de leurs ouvertures et non ventilés efficacement.

Zone 2

Dans laquelle la formation d'atmosphère explosive est assez exceptionnelle et elle est appelée zone non dangereuse. Elle comprend les endroits adjacents à la zone 1, autour de mise à l'atmosphère de soupapes de sûreté (ex.: proximité des événements de soupapes de sûreté). En règle générale, la distance minimale à adopter entre toute tuyauterie et appareil, et la clôture, est de 05 mètres.

➤ **Distances entre les postes et les voies publiques et voies ferrées**

La distance minimale exigée entre les postes et les bornes des voies publiques (autoroutes, routes nationales, routes départementales) et bornes d'emprises d'une voie ferrée est de 05 mètres.

➤ **Distances entre les postes et les diverses constructions voisines**

Les distances minimales à respecter entre la clôture extérieure des postes et toute construction sont:

- 10 mètres lorsqu'il s'agit d'un établissement recevant du public (hôpital, école, etc...)
- 05 mètres lorsqu'il s'agit d'un immeuble habité ou non.

➤ **Distances entre les postes et les lignes électriques aériennes HT**

La distance exigée entre les postes et la projection verticale d'une ligne électrique aérienne de transport d'énergie est d'au moins 30 m, et dans tous les cas supérieure à 1,5 fois la hauteur des pylônes.

K. Conclusion

Les postes de détente sont des dispositifs indispensables pour le transport et la distribution du gaz naturel, d'où la nécessité de le entretenir et d'adopter la meilleure méthode de maintenance

1.3.8. Postes de purge « PP »

Permet à l'opérateur de vérifier d'éventuelles présences des liquides (gazoline, eau, huile.) et de les éliminer. Il est situé au niveau des points bas des conduites et aux entrés des postes de coupures.

1.3.9. Postes de coupures « PC »

Ces postes sont utilisés pour entretenir (nettoyer) les canalisations, ou en cas de travaux sur le réseau lorsqu'il est nécessaire d'isoler une partie des canalisations, et chaque postes de coupure est projeté pour l'installation future d'une station de compression.

1.3.10. Postes de sectionnement « PS »

Les postes de sectionnement permettent d'isoler un tronçon de canalisation afin d'assurer sa maintenance ou de limiter les conséquences néfastes en cas de fuite. Ces postes sont parfois équipés de coupure pour introduire et recevoir des pistons destinés à contrôler les différents paramètres d'intégrité de la canalisation : géométrie, propreté, perte de métal, fissuration, etc.



Figure (1.10) Vanne de sectionnement Boufarik

1.3.11. Postes de piquage

Un piquage est le branchement d'une tubulure soudée en dérivation sur une canalisation principale pour alimentation d'une antenne et munie d'un dispositif d'isolement. Les postes de piquage sont équipés de vannes et de joints isolants.

1.3.12. Postes de gares racleurs

Ce sont des postes conçus pour le lancement (gare racleur départ) et la réception (gare racleur arrivée) de pistons racleurs. Les racleurs permettent de nettoyer les pipelines pour éviter les pollutions à l'interface.



Figure (1.11) Gare racleur Boufarik

1.3.13. Postes de prélèvement

Ce sont des installations qui assurent généralement les fonctions régulation de pression et de comptage du gaz naturel et qui livrent le gaz naturel au réseau de transport du gaz du GRTG. Le branchement se fait principalement à partir d'un gazoduc à grand débit de SONATRACH.

1.3.14 Postes de protection cathodiques

Les systèmes de protection cathodique sont conçus pour atténuer l'effet de la corrosion sur les parties enterrées du gazoduc.

1.4 Utilisation du gaz naturel [7]**1.4.1 Le marché résidentiel et tertiaire**

Le gaz naturel est habituellement utilisé comme combustible dans la production de chaleur pour la cuisson ou le chauffage. En Algérie, plus de 50% de la consommation de gaz naturel est destinée aux distributions publiques alimentant le secteur résidentiel/tertiaire, notamment pour le chauffage, ainsi que les clients industriels moyenne et basse pression.

Les installations au gaz naturel sont de plus en plus performantes. Qu'il s'agisse de la chaudière à condensation ou de la pompe à chaleur, les solutions permettant de réaliser des économies d'énergie, dans le neuf comme dans l'ancien, sont nombreuses.

1.4.2. Le chauffage et la cuisine

Parmi les utilisations du gaz, on note la production de chaleur pour le chauffage des habitations et la cuisson. À titre d'exemple, cet usage domestique du gaz naturel représente 40% de la consommation de gaz naturel en Europe.

Dans la maison, le chauffage est le premier poste de dépense pour les habitants, puis l'eau chaude et enfin la cuisson.

Par ailleurs, les installations au gaz naturel sont de plus en plus performantes grâce à la chaudière à condensation ou la pompe à chaleur. Ces avancées techniques permettent ainsi d'économiser de l'énergie dans les logements.

1.4.3. Les applications industrielles et la production d'énergie

Le gaz naturel est aussi utilisé dans l'industrie en tant que matière première dans la pétrochimie ou le raffinage.

Dans l'industrie, il sert pour la production de chaleur, de vapeur d'eau ou d'eau chaude, très utile pour certains domaines industriels. Parmi les secteurs qui utilisent le gaz naturel, on retrouve l'industrie agroalimentaire, l'industrie des métaux ou des matériaux.

Il est aussi possible de produire des composés comme le méthanol, l'ammoniac ou l'hydrogène à partir du gaz naturel. De même, on fait appel à cette énergie pour la production d'engrais agricole.

La production d'électricité, Depuis 10 ans, le secteur électrique contribue à l'augmentation de l'utilisation du gaz naturel dans le monde, représentant aujourd'hui plus de 30% de cette utilisation en Algérie. Cette tendance devrait se poursuivre du fait de la forte demande des pays émergents.

L'utilisation du gaz naturel dans la production d'électricité permet de réduire les émissions de CO₂, notamment comparé aux émissions dues à l'utilisation de centrales à charbon. De même les investissements nécessaires et les coûts de fonctionnement pour une centrale électrique au gaz sont bien moindres, permettant un rendement souvent supérieur de 50 %.

Artis accompagne les projets de rénovation ou de création d'infrastructures gazières depuis 2007 grâce à une offre complète : génie civil, terrassement, canalisations enterrées, skids procès. Vous avez un projet dans ce domaine ? Contactez-nous.

1.5.Le réseau de transport du gaz en Algérie [8]

Le gaz naturel en Algérie est transporté par deux (02) sociétés à des fins conjointes. Il s'agit des sociétés SONATRACH/TRC et SONELGAZ/GRTG.

1.5.1.Le réseau de transport du gaz de SONATRACH/TRC [9]

Le réseau de transport du gaz naturel de SONATRACH/TRC se compose de systèmes de gazoducs axés autour du champ de gaz de Hassi R'Mel. Les systèmes les plus importants relient Hassi R'Mel aux terminaux d'exportation de gaz naturel liquéfié (GNL) situés à Arzew et Skikda.

Hassi R'Mel constitue le centre du réseau de transport de gaz naturel d'Algérie. Les gazoducs de toutes les régions de production de gaz du pays s'y connectent. Un gazoduc de 970 km, le relie à la région d'In Amenas, un gazoduc de 530 km, le relie à la région d'In Salah et un système de 145 km traverse les champs de gaz de Gassi Touil.

Un système de canalisations de plus de 500 km relie Hassi R'Mel à Arzew, alors qu'un autre système de près de 600 km le relie à Skikda. Un gazoduc de 437 km va de Hassi R'Mel jusqu'à Bordj Menaiel (Boumerdès).

Il existe deux systèmes de gazoducs reliant l'Algérie à l'Europe. L'un vers l'Italie via la Tunisie, appelé Gazoduc Enrico Mattei (GEM) et l'autre vers

l'Espagne via le Maroc, appelé Gazoduc Pedro Duran Farel (GPDF).

Il existe deux moyens complémentaires pour transporter le gaz efficacement au niveau de SH/TRC [10] :

- les gazoducs.
- la transformation en gaz naturel liquéfié (GNL).



Figure (1.12): Un gazoduc de l'amont vers l'aval

1.5.2. Le réseau de transport du gaz de SONELGAZ/GRTG [8]

Le réseau de transport et de distribution du gaz naturel de SONELGAZ cumule plus de 120 000 km de canalisation tout diamètres confondus. Le réseau de transport du gaz du GRTG est composé de gazoducs de diamètre allant de 4'' à 28'' et cumulant une longueur globale de plus de 22 500 km à la fin de l'année 2020. Ce réseau transite un volume annuel de l'ordre de 40 milliards de m³ de gaz naturel au profit de ses utilisateurs (Distribution Publique, Clients Industriels et Producteurs d'Electricité).

Le réseau de transport du gaz alimentant le marché national est composé principalement de canalisations enterrées en acier. Les canalisations sont dimensionnées pour satisfaire, de manière continue, les besoins des utilisateurs en capacité sur la base des prévisions de la demande.

Elles sont constituées, d'artères de longue distance et de gros diamètre (allant de 14'' à 28'') et d'antennes de moyenne et petite distance avec des diamètres de 4'' à 12'' pour l'alimentation des postes de livraison ainsi que d'autres canalisations servant d'interconnexion entre canalisations. Le réseau est exploité à des pressions variant entre 04 bars et 70 bars, fixées par la réglementation.

L'étendue et la consistance du réseau de transport du gaz alimentant le marché national sont définies par arrêté du Ministre chargé de l'Energie, conformément à l'article 47 de la loi n° 02-01 du 5 février 2002, relative à l'électricité et à la distribution du gaz par canalisations.

Le réseau exploité par le GRTG au 31.12.2020 est constitué de 22 634 km et de 4808 postes tous types confondus. Ce réseau s'étend sur l'ensemble du territoire national et dessert 1418 communes sur un total de 1541 communes, 73 centrales électriques, y compris celles en TG mobiles et plus de 250 clients industriels.

Ce réseau est développé à partir des principaux gazoducs de SONATRACH issus du gisement de Hassi R'Mel et allant vers les Terminaux d'Arzew et du GPDF à l'Ouest, Skikda et GEM à l'Est, Boumerdes au Nord. Le réseau de transport du gaz du Sud du pays est desservi par le gazoduc Sonatrach 48'' GR5 pour l'alimentation des régions de Timimoune, Adrar, El Goléa et In Salah.

1.6.Historique du transport du gaz en Algérie [11]

Trois grandes périodes ont caractérisé l'industrie gazière

- ***Avant 1961***

Depuis la construction de la 1^{ère} usine à gaz à Alger en 1856 jusqu'en 1961, le gaz distribué était du gaz manufacturé destiné à l'usage exclusif du secteur domestique.

- ***De 1961 à 1968***

Avec la découverte du gisement de Hassi R'Mel et sa mise en production dès 1961, le gaz naturel est venue substituer progressivement au gaz manufacturé dans le secteur domestique et pénétrer dans le secteur industriel et permettant ainsi la desserte en gaz naturel de sept (07) premières localités : El Harrach, Blida, Sidi Bel Abbes, Mostaganem, Relizane, Tiaret, Chlef.

- ***En 1962, l'infrastructure gazière se composait:***

L'infrastructure gazière se composait :

- D'un réseau d'une longueur de 413 km, transportant 0,2 Gm³ de gaz naturel ;

- De 09 Localités ;
- De 02 Centrales électriques, TV Alger Port et TV Ravin Blanc (Oran) ;
- De 03 Clients industriels, CELPAP Baba Ali, ENCG RSA et ENCG HRSA.

- ***De 1969 à 1998***

C'est à partir de 1969 que l'industrie gazière nationale connaîtra son véritable essor avec le premier plan national de développement industriel ayant pour objectif la fourniture pour tous les citoyens une énergie propre et à bas prix.

Cette période a connu une forte croissance des consommations de gaz dans les trois secteurs d'utilisation, le domestique, l'industriel et la production d'électricité.

L'activité transport gaz a toujours existé et a évolué avec l'évolution de l'opérateur historique dans le domaine de la fourniture des énergies électrique et gazière en Algérie.

- **1947** : Création de l'établissement public « Electricité et Gaz d'Algérie » par abréviation EGA, auquel est confié le monopole de la production, du transport et de la distribution de l'électricité et du gaz.

- **1969** : EGA devient SONELGAZ, société nationale de l'électricité et du gaz.
- **1991** : SONELGAZ devient Etablissement Public à Caractère Industriel et Commercial (EPIC).
- **2002** : Promulgation de la loi 02-01 du 05 février 2002 relative à l'électricité et à la distribution du gaz par canalisations ; SONELGAZ devient Société Par Actions (SPA) qui exerce par le biais de ses filiales les activités de production, de transport et de distribution de l'électricité et du gaz.

Les principales réformes introduites par la loi pour le transport du gaz :

- Monopole naturel
- Gestionnaire unique
- Activité régulée
- Accès libre et non discriminatoire aux réseaux
- Mise en place d'une autorité de régulation

- **2003** : Création de la filiale, chargée du transport du gaz, dénommée « Gestionnaire du Réseau de Transport du Gaz »
- **2004** : Adoption de la dénomination « SONELGAZ Transport du Gaz ».
- **2009** : Adoption de la dénomination « Société Algérienne de Gestion du Réseau de Transport du Gaz ».

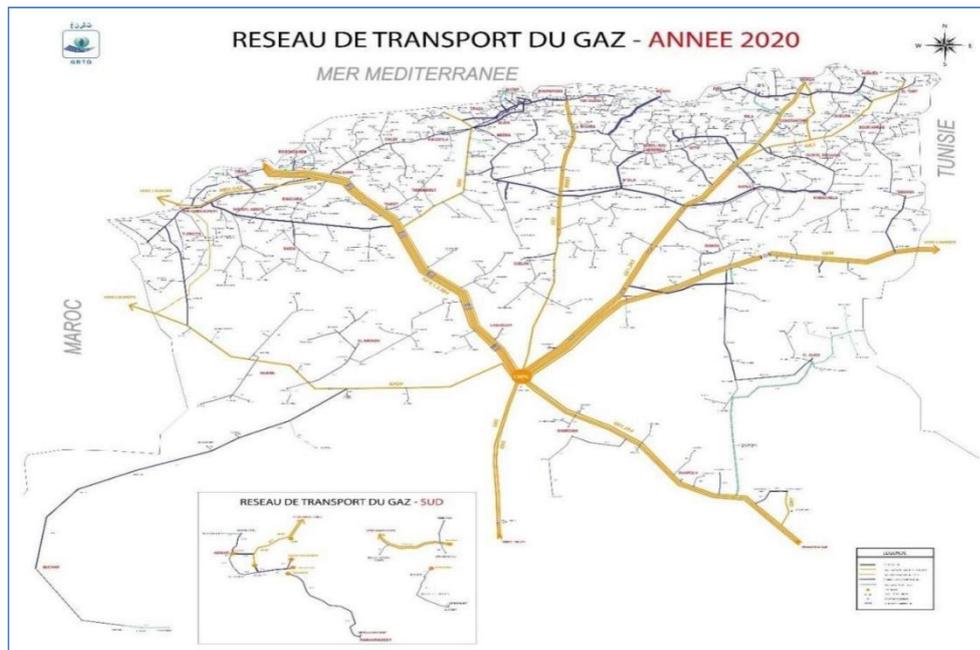


Figure (1.13):Réseau du transport du gaz naturel En Algérie [8]

1.7 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les généralités du gaz naturel, des réseaux de transport de gaz, les caractéristiques des gazoducs ainsi qu'un bref aperçu sur l'historique de transport de gaz en Algérie.

Chapitre 2
Les solutions
de
Givrage

II. Introduction

Le gaz naturel provenant du sud par gazoducs sous pression doit subir une détente afin de répondre aux normes sécuritaires et exigences des consommateurs en matière de pression et température. Une importante chute de pression entraîne automatiquement une importante chute de température.

Le gaz peut atteindre ainsi une température conduisant à la formation de givre découlant de la condensation de la vapeur d'eau présente dans le milieu ambiant externe des conduites.

Il peut y avoir, dans les conditions favorables en pression et température, formation d'Hydrates dérivant de la présence d'eau dans le gaz suite à un mauvais essuyage après les essais hydrostatiques.

À cet effet, et pour éviter les problèmes de formation d'hydrates et de givrage, la détermination du meilleur procédé de chauffage du gaz naturel dans les postes de détente doit être préconisée.

Ces phénomènes sont évités grâce à des méthodes physiques ou chimiques appliquées au gaz en amont ou en aval du détendeur comme l'utilisation de réchauffeurs indirects à bain d'eau et/ou les rubans chauffants utilisés actuellement par la SONELGAZ.

La température minimale désirée après chauffage sera prise en fonction de la température de formation des hydrates à l'intérieur du circuit qui est supérieure à celle du givrage à l'extérieur.

2.1 La Détente

L'abaissement de la pression est réalisé au moyen d'appareils appelés RÉGULATEURS ou DÉTENDEURS. On demande en outre à ces appareils de jouer le rôle de régulateurs, c'est à dire maintenir constant un paramètre qui est généralement la pression aval, mais qui peut aussi être la pression amont (déverseur) ou le débit (régulateur de débit).

Partout où la continuité d'alimentation est nécessaire, le bloc de détente du poste comporte deux lignes indépendantes : une ligne principale assure l'alimentation en temps normal, une ligne auxiliaire assure l'alimentation en cas d'incident sur la ligne principale. [12]

2.2 REGULATEUR DE PRESSION

Un régulateur de pression poste détente est un dispositif utilisé dans les systèmes de distribution de gaz pour maintenir une pression constante en aval d'un détendeur, en fonction des fluctuations de pression en amont. En d'autres termes, son rôle est de réguler la pression du gaz à la sortie du détendeur, assurant ainsi un fonctionnement sûr et efficace des équipements et des appareils alimentés en gaz. Il agit comme une sorte de "gardien" de la pression, garantissant qu'elle reste stable et conforme aux spécifications requises pour les processus ou

les applications dans lesquels le gaz est utilisé. Les régulateurs de pression poste détente sont largement utilisés dans de nombreuses industries, y compris l'industrie chimique, pétrochimique, l'industrie alimentaire, les installations de distribution de gaz naturel, etc. Ils sont essentiels pour maintenir des conditions de fonctionnement sûres et cohérentes dans ces environnements.

2.3 FONCTIONNEMENT DE REGULATEUR

Voici comment il fonctionne typiquement :

2.3.1 Vanne de Contrôle : Le cœur du régulateur est une vanne de contrôle qui régule le débit de gaz en fonction de la pression de sortie souhaitée. Cette vanne peut être actionnée par un ressort ou pilotée par la pression.

2.3.2 Réglage de Pression : Avant l'installation, le régulateur est réglé pour maintenir une pression de sortie spécifique. Ce réglage est souvent effectué à l'aide d'un bouton ou d'une vis de réglage.

2.3.3 Capteur de Pression : Le régulateur est équipé d'un capteur de pression qui surveille en permanence la pression de sortie du détendeur.

2.3.4 Mécanisme de Rétroaction : En fonction des lectures du capteur de pression, le régulateur ajuste la position de la vanne de contrôle pour augmenter ou réduire le débit de gaz afin de maintenir la pression de sortie constante.

2.3.5 Compensation des Variations de Pression : Lorsque la pression en amont varie, le régulateur réagit en ajustant automatiquement le débit de gaz pour compenser ces variations et maintenir la pression de sortie constante.

2.3.6 écrites intégrées : Certains régulateurs de pression poste détente peuvent également être équipés de dispositifs de sécurité, tels que des soupapes de sécurité intégrées, pour protéger le système en cas de surpression .

En résumé, un régulateur de pression poste détente fonctionne en ajustant le débit de gaz à travers une vanne de contrôle pour maintenir une pression constante à la sortie du détendeur, garantissant ainsi un fonctionnement sûr et efficace des équipements alimentés en gaz.

2.4 Mode de régulation

Le choix du mode de régulation est lié au système de sécurité d'alimentation adopté. En principe, la régulation est obtenue par une ou plusieurs lignes. Leur nombre dépend du débit et des exigences de continuité de la fourniture. Le choix du mode de régulation doit donc être étudié au cas par cas en fonction du poste client à alimenter (importance stratégique, existence d'un combustible de secours, débit souscrit, etc.). [13]

2.5 Technologie des détendeurs-régulateurs

Dans tous les cas, on note la présence du servomoteur qui est l'organe de régulation et qui est généralement constitué par une membrane soumise à des forces antagonistes.

Dans les trois premiers cas, (poids, ressorts, gaz sous pression), on parlera de régulateurs à action directe, dans le quatrième cas on parlera de régulateur à action indirecte appelés encore régulateurs pilotés.[14]

2.5.1 Les détendeurs-régulateurs à action directe

Dans ce cas, l'écart E de pression entre la pression aval P_a et la valeur de consigne P_{as} commande directement et mécaniquement les variations de la section de passage A_c .

2.5.2 Les détendeurs-régulateur à poids

Autrefois, largement employés sur les réseaux à grands débits et de faibles pressions amont, les SCHLUMBERGER (Division gaz de compteurs) – Manuel technique (régulateur détendeur) .détendeurs-régulateur à poids (Fig.2.1) ont pratiquement disparu avec l'élévation des pressions.

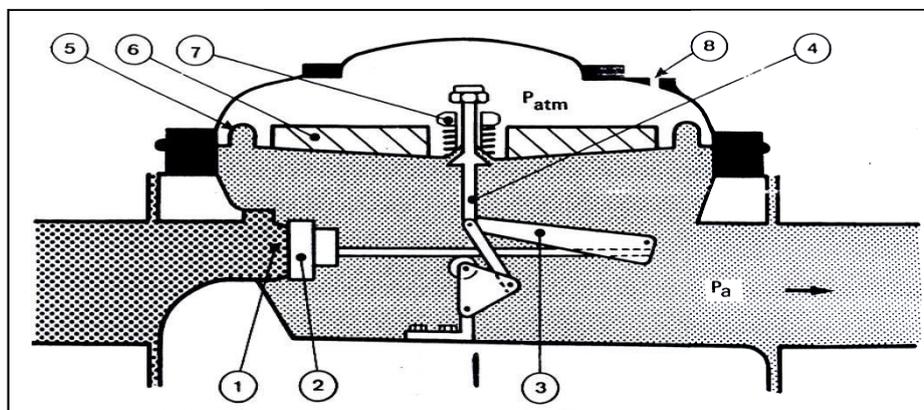


Figure (2.1): Détendeur-régulateur à poids. [15]

Les composantes :

Cette image représente les composantes de détendeur régulateur

- 1- siège
- 2- clapet
- 3- équipage mobile
- 4- axe

5- membrane

6-poids de chargement

7-soupape

8-mise à l'atmosphère

Ils sont constitués d'un corps de dimensions importantes, surmonté d'une l'are membrane de travail directement soumise à l'influence de la pression aval. Celle-ci nécessite une lourde charge pour actionner, par un jeu de leviers amplificateurs, le clapet qui peut être horizontal ou vertical et muni d'une rotule pour parfaire l'étanchéité à clapet fermé. La membrane de travail est souvent équipée d'une soupape de sûreté en cas d'excès de pression aval. Leur tendance naturelle à l'instabilité (pompage) nécessite l'installation sur l'évent d'une vanne destinée à freiner la respiration de la membrane de travail pour amortir les oscillations de l'équipage mobile lors des variations importantes du débit.

2.5.3 Les détendeurs-régulateurs à ressort

L'emploi d'un ressort (Fig.2.2) pour agir sur la membrane permet de diminuer la surface de celle-ci, donc les dimensions de l'appareil. En outre, les plages de fonctionnement tant en pression amont qu'en pression aval sont nettement élargies, d'autant que les constructeurs fournissent plusieurs types de ressort pour un même appareil. Le réglage de point de consigne s'obtient en agissant sur la pression initiale du ressort, logé dans un capot surmontant le servomoteur. Ce dernier est un ensemble constitué de deux demi-coquilles métalliques séparées par une membrane étanche, dite membrane de travail (4), qui est solidaire de la tige (3) du clapet et qui assure le déplacement de celle-ci sous l'action du ressort (6) et de la différence de pression régnant dans les demi-coquilles. Dans la demi-coquille supérieure, règne la pression atmosphérique grâce à l'évent (5) alors que dans la demi-coquille inférieure règne la pression régulée P_a (Fig.2.2) correspondant à la pression absolue P_a .

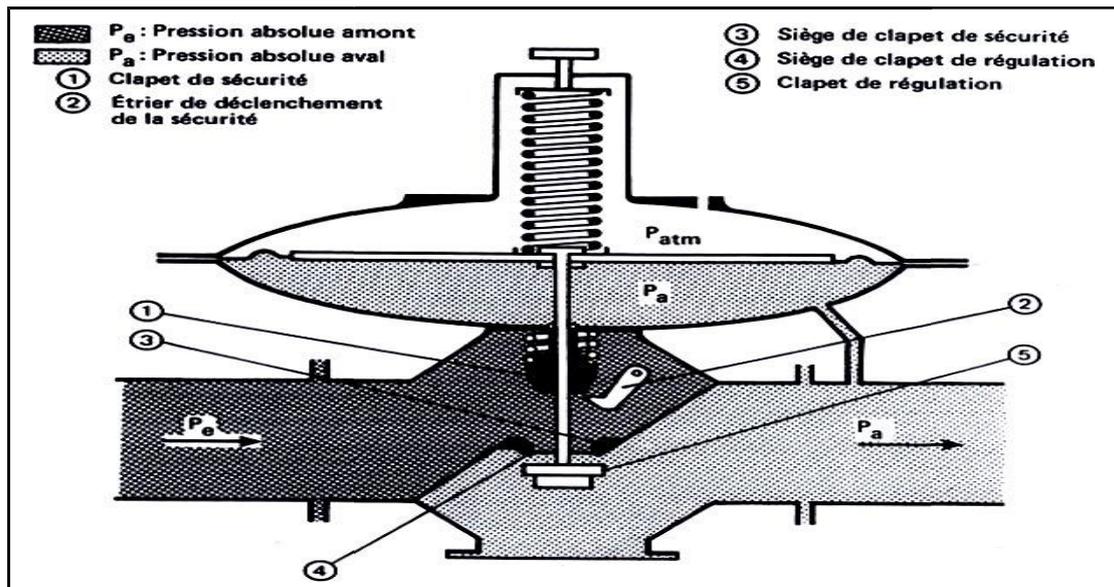


Figure (2.2): Détendeur-régulateur à ressort. [14]

Sous servomoteur, le corps du régulateur, en ligne ou d'équerre, reçoit le siège horizontal. Le clapet peut être relié à la membrane par une tige rigide ou souple. La plupart du temps, l'influence de la pression amont est compensée, soit par un double clapet, soit par une membrane de compensation. Parfois un clapet de sécurité opposé au clapet de régulation est incorporé à l'appareil. Suivant les pressions amont admises, les corps des régulateurs sont en alliage d'aluminium, fonte ou acier.

2.5.4 Les détendeurs-régulateurs à cloche ou à charge pneumatique

La pression d'une masse gazeuse enfermée au-dessus de la membrane fournit la force antagoniste. Lorsque le clapet se déplace, le volume de la masse gazeuse varie et cette variation ΔV est proportionnelle au déplacement Δz du clapet:

$$\Delta V = \tau \Delta z. \quad (2.1)$$

Il s'ensuit une variation ΔP de la pression régnant au-dessus de la membrane :

$$\Delta P = \frac{-P\tau\Delta z}{V} \quad (\text{Loi de Mariotte}) \quad (2.2)$$

Contrairement aux appareils précédents, les détendeurs à charge pneumatique peuvent être utilisés pour les hautes pressions, car en service normal, la membrane n'est soumise qu'à la différence de pression régnant entre la pression aval et la pression motrice P_m soit quelques bars. Ce type d'appareil présente, cependant quelques inconvénients, il est sensible aux fuites sur la capacité contenant le gaz moteur, ainsi

qu'aux fluctuations de la température du gaz moteur car celles-ci entraînent une variation de la pression motrice P_m et donc une variation de la pression aval P_a . En conséquence, on l'utilise en généralement sur les postes de pré détente, car il coûte moins cher qu'un détendeur piloté.

Pour pallier les inconvénients énumérés ci-dessus, on peut relier la capacité motrice à une capacité auxiliaire, ayant un volume nettement supérieur à celle du servomoteur, que l'on enterre afin de garantir une température quasi constante pour le gaz moteur (Fig.2.3). Dans ce cas, la pression aval P_a est obtenue avec une précision suffisante pour un poste de livraison.

L'appareil n'ayant pas de circuit de pilotage, les dysfonctionnements liés à la formation d'hydrates sont inexistantes, et il peut être intéressant d'installer de ce type de régulateur détendeur, ainsi appareillé sur la ligne auxiliaire d'un poste de livraison

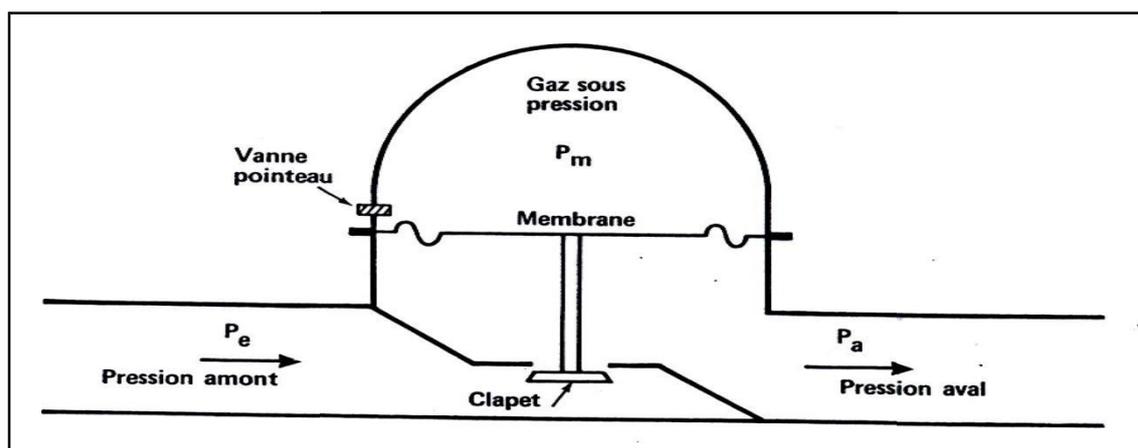


Figure (2.3): Détendeur-régulateur à cloche. [14]

2.5.5 Les détendeurs-régulateurs à action indirecte ou pilotés

Dispositif amplificateur appelé pilote (permettant en outre de faire consigne P_{as}).

Le rôle de pilote est double: d'abord, il compare la pression aval effective avec le point de consigne P_{as} ; ensuite, en fonction de l'écart constaté entre ces deux valeurs, il agit sur le servomoteur par l'intermédiaire d'une pression modulée, qui déplace le clapet dans le sens voulu.

Cette pression modulée résulte de la détente contrôlée d'un gaz à une pression intermédiaire. Cette pression intermédiaire peut être fournie soit par un dispositif

extérieur (par exemple air comprimé séché), soit par le gaz lui-même prélevé à l'amont de détendeur, ce dernier cas étant le plus fréquent sur les réseaux de transport et de distribution de gaz.

Le gaz prélevé en amont est alors détendu grâce à un petit détendeur auxiliaire, appelé pré détendeur, à une pression intermédiaire déterminée et introduit ensuite dans la partie active

Du pilote. Ce détendeur auxiliaire a pour objet de rendre la qualité de la régulation indépendante de la pression amont P_e . Le gaz à la pression intermédiaire P_i est détendu à travers le clapet du pilote jusqu'à une pression P_m dite pression modulée qui est transmise ensuite au servomoteur. Une partie du gaz à cette pression P_m s'échappe également vers l'aval à travers un orifice réglable ou calibré et ceci de façon permanente ou épisodique suivant le type de pilote.

Fig.2.4: Détendeur-régulateur à action indirecte

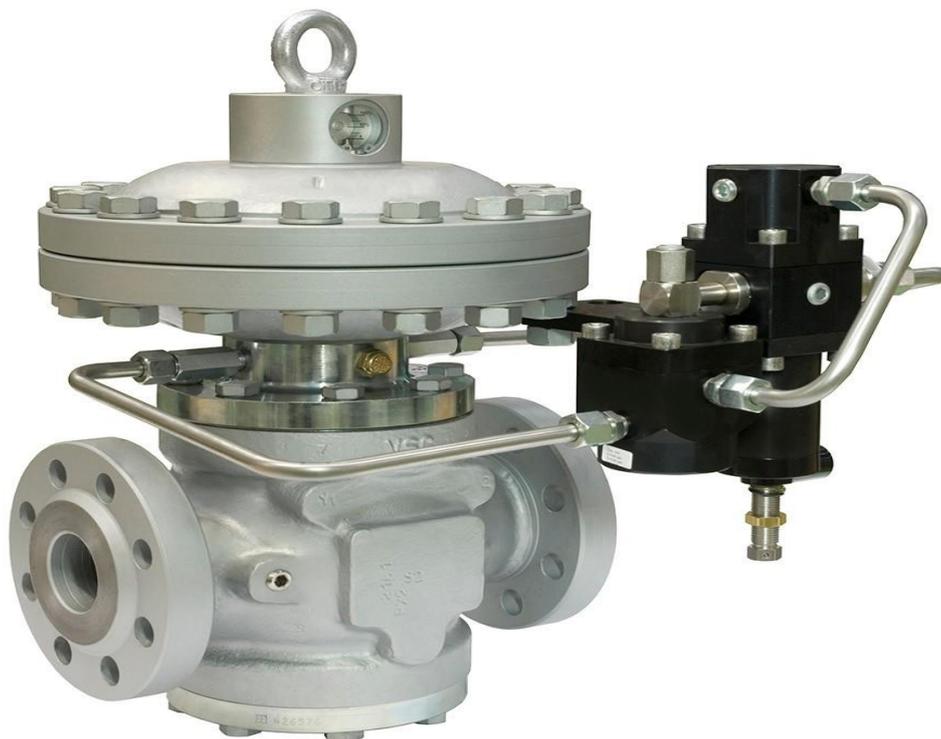


Figure (2.4): Détendeur-régulateur à action indirecte. [14]

Le fonctionnement correct du détendeur exige une pression intermédiaire appropriée pour assurer un déplacement rapide du clapet, tout en évitant les phénomènes de pompage (oscillations incontrôlées); la pression de sortie du détendeur auxiliaire, donc la pression de l'alimentation du pilote, est généralement supérieure d'environ 2 bar à la

pression de consigne P_{as} , ceci pour les détendeurs équipés d'un clapet équilibré. Si le gaz moteur du détendeur est fourni par le réseau (type automoteur), celui-ci est prélevé en amont du détendeur, et une pression amont minimale est donc nécessaire pour un fonctionnement correct du détendeur. On trouve différents types de pilote qui se classent en trois catégories:

- Pilotes à fuite continue vers l'aval:

Ce sont les plus courants; une partie du débit de gaz à la pression modulée P_m est dérivée vers l'aval, ce qui permet lorsque l'orifice d'échappement est réglable d'ajuster l'action proportionnelle.

- Pilotes à débit discontinu:

Dans ce type de pilote, il n'y a admission ou échappement de gaz que lors d'une modification de la pression aval.

- Pilotes du type à fluides auxiliaires:

Ce sont ceux qui fonctionnent généralement, avec une source de fluide autre que le gaz de la canalisation. Ils sont toujours à fuite permanente et combinent, en général, deux ou trois actions (proportionnelle, intégrale, et dérivée).

2.5.6. Les détendeurs-régulateurs à pilote à fuite continue

Cet appareil du type automoteur (**Fig.2.5**) est à charge pneumatique modulée par un relais pilote. Le fluide moteur utilisé est le gaz lui-même et le fonctionnement a lieu sans échappement de fluide à l'atmosphère. Le gaz moteur est prélevé à l'amont du détendeur (1), il traverse un filtre (3), puis est détendu dans un relais de pré détente (2), qui assure la fourniture du gaz à la pression intermédiaire stabilisée P_i . Le gaz est ensuite détendu dans le relais pilote

(4) qui fournit la pression modulée P_m au servomoteur (6) à l'intérieur duquel la pression P_m s'oppose à l'action de la pression aval P_a et de la force du ressort de rappel; en conséquence, une augmentation de la pression P_m provoque une augmentation de la section de passage du gaz et une élévation de la pression aval P_a . D'autre part, lorsque la pression aval de consigne P_{as} est atteinte, il est nécessaire de fermer le détendeur, il faut donc que P_m diminue ce qui signifie qu'il faut arrêter l'arrivée de gaz au servomoteur et au contraire en soutirer, d'où l'existence d'un orifice calibré (5) (qui peut être aussi une vanne pointeau) qui permet un échappement permanent de gaz à l'aval du

détendeur ce qui justifie l'appellation «à fuite continue». A la fermeture, le clapet à simple siège et portée plastique assure l'étanchéité.

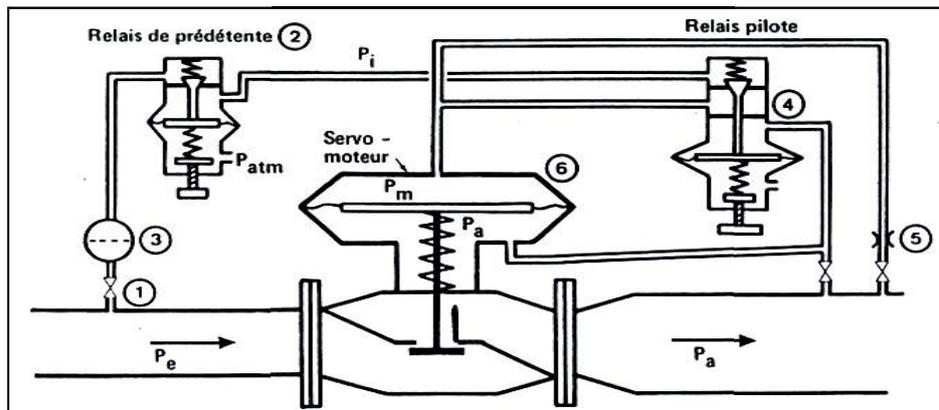


Figure (2.5): Détendeur-régulateur à pilote à fuite continue. [14]

Le fonctionnement général de l'appareil ayant été présenté, il est intéressant d'étudier les principaux éléments du circuit de pilotage :

- Le pré détendeur (2):

C'est un détendeur à ressort à action directe. L'organe moteur est la membrane (M₂) qui est soumise, d'une part, à la pression P_i et d'autre part, à la pression atmosphérique et à l'action du ressort de réglage (R₂). Plaçons-nous dans un état d'équilibre:

- Si la pression P_i augmente, son action devient prépondérante et la membrane comprime (R₂). Le clapet (C₂), sous l'action de (R₁), tend alors à diminuer la section de passage du gaz;
- Si la pression P_i diminue, l'action de (R₂) devient prépondérante et elle provoque le soulèvement de la membrane et de l'ensemble tige-clapet, ce qui entraîne l'augmentation de la section de passage du gaz.

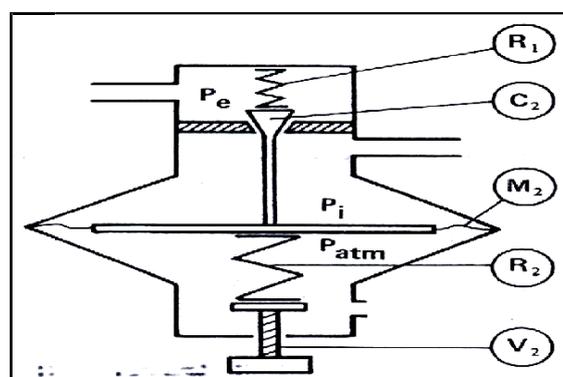


Figure (2.6): Pré détendeur. [14]

Où:

(C₂): ensemble tige-clapet; (M₂): membrane;

(R₁): ressort de rappel; (R₂): ressort de réglage; (V₂): vis de réglage.

- Le pilote(4):

Comme pour Le détendeur, l'organe moteur et la membrane (M₄); cependant Le fonctionnement est différent puisqu'il s'agit d'obtenir une pression modulée P_m en fonction de la pression aval P_a. Plaçons-nous dans un état d'équilibre :

- Si P_a diminue, Le ressort (R₄) soulève la membrane et l'ensemble tige-clapet (C₄), on augmente donc Le débit de gaz passant de la pression P_i à la pression P_m qui progressivement, va augmenter provoquant l'ouverture du détendeur et donc à terme, une augmentation de P_a;
- Si P_a augmente, ceci provoque la compression du ressort (R₄), donc l'abaissement de la membrane et de l'ensemble tige-clapet: on diminue Le débit

De gaz passant de la pression P_i à la pression P_m. Or il existe une fuite

Permanente au niveau de l'orifice calibre (5) donc P_m va diminuer ce qui provoquera la fermeture du détendeur. On notera sur ce type de détendeur que, du fait de l'admission directe de la pression aval par la prise d'impulsion, sur un côté de la membrane du servomoteur, il s'opère également un effet «d'action directe». Ce point est important car il permet un meilleur

Temps de réponse de l'appareil; on verra que dans Le cas de pilote à fluide

Auxiliaire, cet effet n'existe pas ce qui engendre des appareils plus« lents ».

Où:

(C₄): ensemble tige-clapet; (M₄): membrane;

(R₃): ressort de rappel; (R₄): ressort de réglage; (V₄): vis de réglage

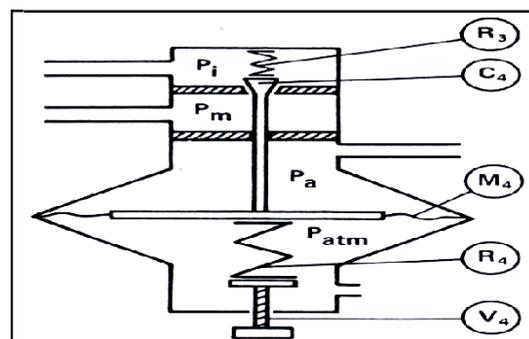


Figure (2.7): Pilote. [14]

2.5.7 Les détendeurs-régulateurs à pilote à débit discontinu

Par rapport aux détendeurs précédents seule la conception du pilote change. Le schéma simplifié de la (Fig.2.8) représente Le principe de fonctionnement d'un tel pilote. Il est évident que ce type de pilote peut également être associé à tout type de régulateur- détendeur automoteur.

L'équilibre entre le ressort (1) et la force due à la pression à contrôler P_a régnant dans la chambre (2) définit la position de la membrane (3). Cette membrane commande la position des clapets (4) et (5) d'admission et d'échappement de la partie réglant la pression pilote P_m .

La seule position stable de la membrane correspond à la fermeture du deux clapets, donc à une pression contrôlée parfaitement définie. La pression pilote est obtenue à partir de la pression amont du gaz après pré détente. La chambre (6) où règne la pression pilote est directement en liaison avec un côté de la membrane du servomoteur. Cette chambre (6) peut être :

- Isolée, les clapets (4) et (5) étant fermés;
- Mise en communication avec l'alimentation par le clapet (4);
- Mise en communication avec la pression aval par le clapet (5).

On voit d'après ce principe que le pilote ne fonctionne que lorsqu'un changement de régime nécessite le déplacement du clapet du détendeur. Ceci conduit donc à une demande de débit dans le pilote beaucoup plus faible que pour un pilote de type continu.

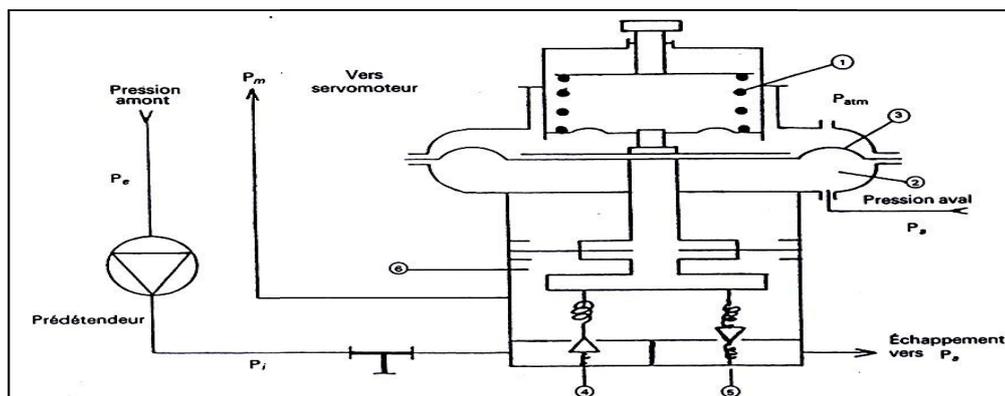


Figure (2.8): Détendeur-régulateur à pilote à débit discontinu. [14]

2.5.8 Les détendeurs-régulateurs à pilote du type à fluide auxiliaire

Ces appareils sont généralement du types à ressort avec une pression motrice auxiliaire (Fig.2.9 et 2.10).



Figure (2.9): Détendeur-régulateur à pilote à fluide auxiliaire. [14]

Les pilotes sont, en général conçus sur le principe du système buse-palette associé à un élément manométrique qui reçoit la pression P_a à contrôler (Fig.2.10).

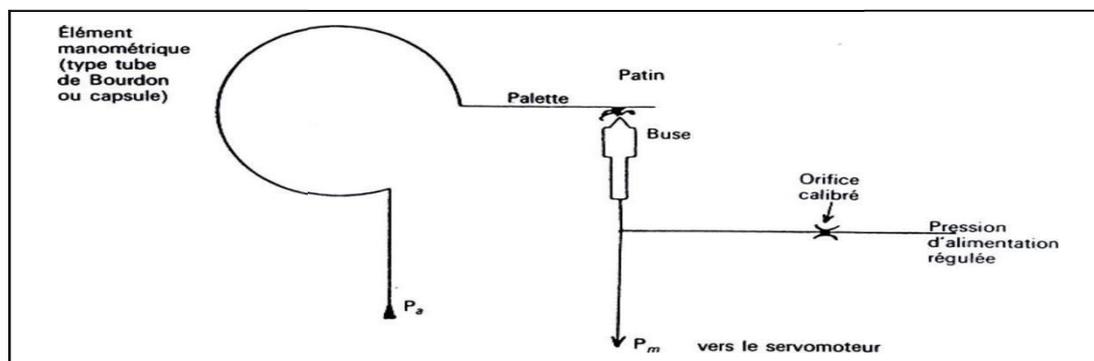


Figure (2.10): Principe de fonctionnement du détendeur-régulateur à pilote à fluide auxiliaire.[14]

Le pilote est alimenté par un fluide dont la pression est régulée c'est-à-dire qu'elle varie peu dans le temps. Si nous nous plaçons dans un état d'équilibre, on constate que la pression P_a , que l'on doit contrôler, a déformé l'élément manométrique donnant une position déterminée à la palette qui limite la fuite de fluide auxiliaire à la base. La perte de charge au niveau de l'orifice calibré implique que la pression motrice P_m est inférieure à la pression d'alimentation. Supposons maintenant que P_a varie, Le détendeur étant de type de fermeture par manque de pression motrice (Fig.2.10).

- Si P_a augmente, l'élément manométrique se déforme un peu plus, la palette s'écarte de la buse et Le débit de fuite augmente. Le débit transitant au travers de l'orifice calibré augmente, donc la perte de charge entraîne une diminution de P_m et la fermeture du détendeur;
- Si P_a diminue, l'élément manométrique tend à retrouver sa forme originale, la palette se rapproche de la buse ce qui diminue Le débit de fuite. Le débit transitant au travers de l'orifice calibré diminue, la perte de charge fait de même, et P_m augmente entraînant l'ouverture du détendeur.

2.6 Le givrage de gaz naturel

Le givrage du gaz naturel se produit lorsque l'eau contenue dans Le gaz naturel se condense et gèle sur l'équipement de production ou de transport, ce qui peut entraîner des problèmes opérationnels. Cela peut être contrôlé en régulant la température et la pression du gaz ou en utilisant des méthodes de déshydratation pour éliminer l'eau du gaz.

2.6.1 La cause de givrage gaz naturel

Le givrage d'un régulateur de pression sur un poste de détente de gaz naturel peut être causé par plusieurs facteurs :

Les hydrocarbures et l'eau peuvent former sous pression à des températures supérieures à 0 °C, des combinaisons solides appelées hydrates .Cette formation entraîne l'obturation partielle ou complète des conduites, les cristaux d'hydrates ressemblent à de la glace et ont une densité entre 0.88 et 0.90

On suppose que l'ossature des hydrates est formée de molécules d'eau dont les vides sont occupés par les hydrocarbures ; H_2S et CO_2 donnent également des hydrates et comme ils sont plus solubles que les hydrates ils accélèrent la formation de ces derniers ; ils croissent comme cristaux, une forte turbulence réduit leur formation. Ils auront donc tendance à se former à tous les endroits où l'écoulement est freiné par exemple par une vanne de régulation.

- **Pression** : Des fluctuations importantes de pression dans Le système peuvent entraîner une baisse de la température du gaz, ce qui favorise la formation de givre.
- **Humidité** : Si l'air ambiant est très humide, cela peut contribuer à la formation de condensation et de givre sur Le régulateur de pression.
- **Défaillance du régulateur** : Un régulateur de pression défectueux peut ne pas fonctionner correctement, ce qui peut entraîner des fluctuations de pression et favoriser Le givrage.
- **Manque d'entretien** : Un manque d'entretien régulier du système peut entraîner des problèmes de fonctionnement, y compris Le givrage du régulateur de pression.

Il est important de diagnostiquer correctement la cause du givrage pour mettre en œuvre les mesures correctives appropriées. Cela peut impliquer l'isolation du régulateur de pression, l'utilisation de régulateurs de pression chauffés, la surveillance et la correction des fluctuations de pression, ainsi que l'entretien régulier du système. Si nécessaire.



Figure (2.11) Givrage du pilote du poste et de la partie aval de régulateur

2.6.2 Les conditions de givrage gaz naturel

Les conditions de givrage :

2.6.2.1 Présence d'eau

Le gaz naturel algérien, est un gaz sec avec une quantité de 50 ppm; Il est déshydraté à sa sortie du gisement, les normes tolèrent la présence de 90 ppm soit 77 mg/100 m³ d'eau dans Le gaz naturel .Il arrive que Le gaz contienne de l'eau dans Le cas d'une mauvaise déshydratation, cette dernière n'est jamais parfaite .Il existe une autre cause à la présence d'eau dans Le gaz naturel quand il y a un mauvais essuyage (séchage) après des essais hydrauliques

2.6.2.2 Condition de formation d'hydrates

Pour un hydrocarbure gazeux donné, les conditions de formation d'hydrates peuvent être représentées par des lignes sur Le diagramme pression /température du système. (Eau/hydrocarbures).

Détermination des conditions de formation d'hydrates.

A chaque température et pression correspond une composition bien déterminée de l'hydrate.

Il y aura donc équilibre entre la phase solide et la phase vapeur, il est donc possible de faire correspondre à cet équilibre, une constante d'équilibre K_{vsi} selon la corrélation de Katz et Carson. $K_{vsi} = y_i/x_i$ analogie avec équilibre liquide /vapeur

En résumé, Le givrage d'un régulateur de pression sur un poste de détente de gaz naturel est plus probable lorsqu'il fait froid, que l'humidité est élevée, qu'il y a des fluctuations de pression significatives et qu'il n'y a pas de protection contre Le vent ou d'isolation adéquate.



Figure (2.12) : Le givrage dans Le poste de détente gaz naturel

2.7 Ponde chauffant (cordon chauffant):

Afin de mettre votre tuyauterie hors givrage et de la maintenir à une température optimale, mettre en place votre câble chauffant. Vous pouvez en effet l'enrouler autour de votre canalisation ou Le fixer de manière linéaire en partie basse.

Afin de déterminer la technique à suivre, il est essentiel de savoir si votre cordon chauffant réussit à compenser les déperditions de chaleur.

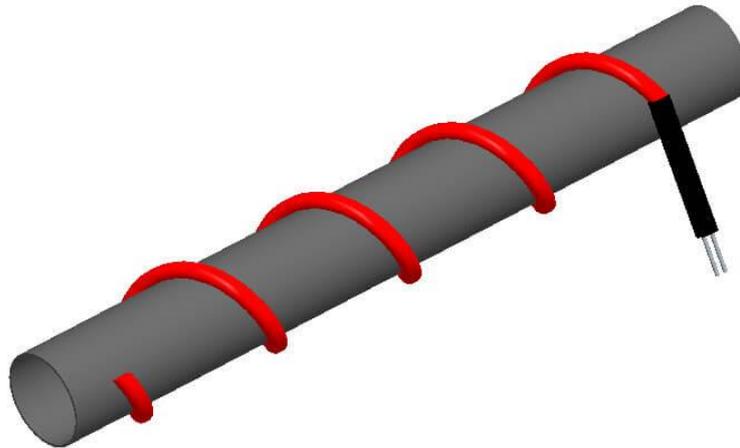


Figure (2.13):cordon chauffant

2.7.1 Composants du ruban chauffant :

Un ruban chauffant autorégulant se compose en général des éléments suivants :

- **Elément chauffant** : C'est un polymère conducteur présentant une résistance fortement dépendante de la température .La puissance est obtenu en faisant passer un courant électrique dans Le polymère conducteur.
- **Conducteurs** : Distribuent Le courant électrique sur toute la longueur du ruban sous la forme d'un circuit parallèle.
- **Gaine ou isolation électrique** : L'élément chauffant est isolé par une ou plusieurs matériaux isolants d'une épaisseur suffisante pour fournir une bonne résistance électrique .Ce matériau à l'exclusion de toute tresse ou gaine supplémentaire est appelé « ruban de base ».
- **Tresse Métallique** : Le ruban chauffant autorégulant peut être entouré d'une tresse métallique pour la réalisation d'une mise à la terre qui ne conduit aucun courant dans les conditions normales.
- **Gaine Extérieure** : pour la protection contre les agressions chimiques et la protection mécanique.

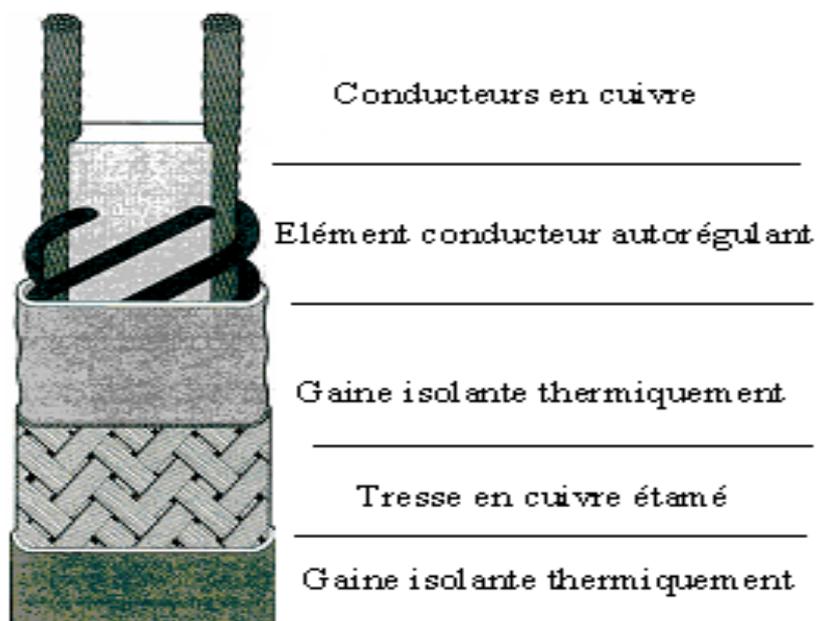


Figure (2.14). Schéma d'un ruban chauffant autorégulent type 20XTV

2.7.2 pre-détente:

On installe un poste de pré détente 70/20-30 bars effectifs pour alimenter

Un réseau de répartition de 20-30 bars effectifs et des postes de détente et de livraison en bout d'antenne. Ce système de détente sera utilisé lorsque Le nombre de clients à alimenter est supérieur à deux ou chaque fois que les prévisions permettent d'envisager des implantations futures de nouveaux postes de livraison. Ce système présente en plus les avantages suivants:

- Meilleure souplesse d'exploitation et de maintenance;

- Faible chute de température après détente, à condition que les deux postes pré détente

Et détente soient assez éloignés (distance > 4 km en moyenne) Le gaz retrouve sa température avant d'entrer à la poste de livraison, ce qui permet d'éviter Le givrage et le recours en réchauffage du gaz

2.8 réchauffeur

2.8.1 INTRODUCTION

Le transfert de chaleur est l'un des modes, les plus connus d'échange d'énergie, lorsqu'il existe une différence de température entre deux points d'un système à des températures différentes sont mises en contact, on constate une tendance à l'égalisation des températures, on dit qu'il y'a transfert de chaleur.

Le transférer de chaleur d'un fluide chaud a un fluide froid se réalisé dans des appareils appelés échangeurs thermiques, ces dernier interviennent dans l'industrie énergétique (pétrolière et gazière) qui exigent souvent que Le fluide traités soient chauffé ou refroidis, avec ou sans changement de phase.

Dans ce chapitre, nous allons aborder la notion sur les échangeurs thermique, ainsi que la classification les plus couramment utilisés et une partie sur l'équipement de type réchauffeur du gaz.

2.8.2 DESCRIPTION DES ECHANGEURS THERMIQUES

Dans les sociétés industrielles, l'échangeur thermique est un élément essentiel de toute politique de maîtrise de l'énergie, il permet de modifier la température (de l'abaisser ou de la relever) ou l'état d'un fluide (liquide ou gaz) en vue de Le : Séparer, Distiller, Stocker, Transporter. Les échangeurs thermiques assurent plusieurs [fig.2.13] fonctions suivant la terminologie utilisée :

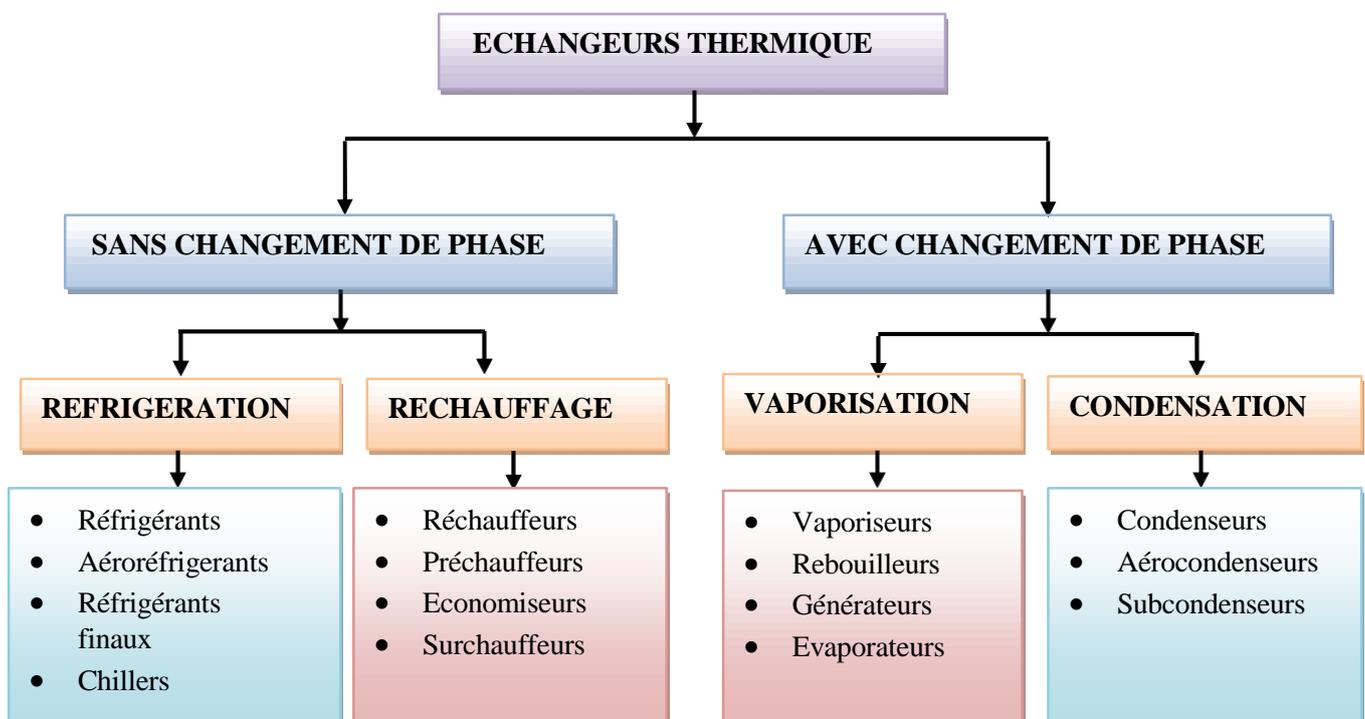


Figure (2.15) Fonctions d'échangeurs thermiques [19].

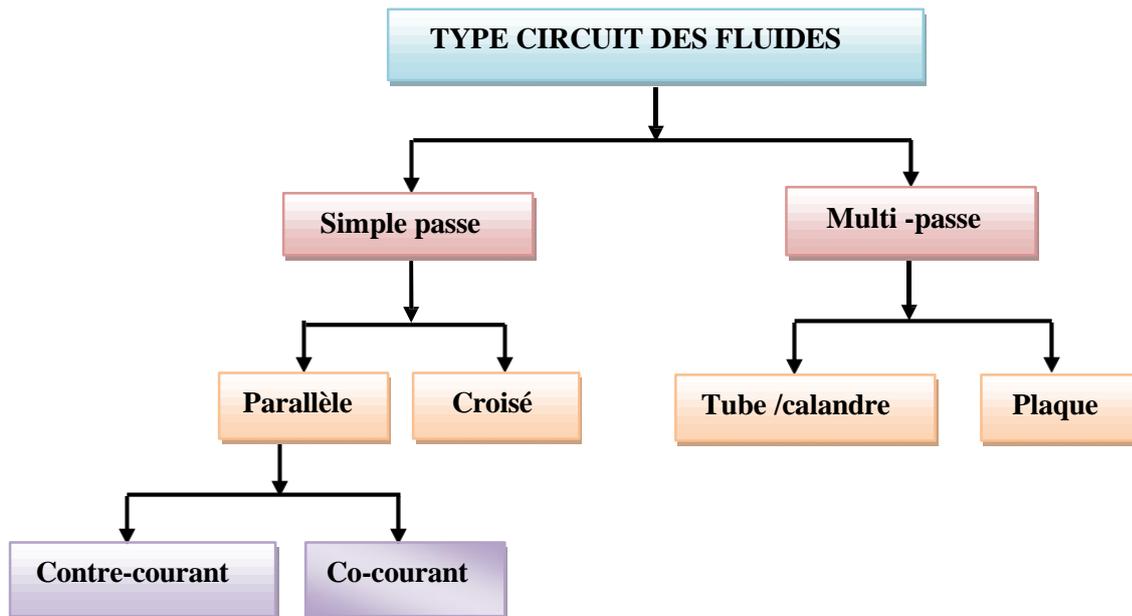


Figure (2.16) : Classification selon Le circuit des fluides [21]

Le choix d'un échangeur de chaleur pour une application donnée dépend de nombreux paramètres :

- Les propriétés physiques des fluides.
- Leur agressivité.
- Les températures.
- Les pressions de service.
- Les contraintes d'encombrement et de maintenance.
- les considérations économiques.

Après toutes connaissances et la classification des échangeurs thermiques, on prendre Le type Le plus intéressant (**réchauffeur**), il s'agira plus précisément de connaître ce que c'est qu'un **réchauffeur du gaz**



Figure (2.17) Photo du réchauffeur de gaz naturel

2.8.2.1 ECHANGEUR THERMIQUE TYPE RECHAUFFEUR

Les réchauffeurs possèdent une grande variété d'applications efficaces dans la production, Le traitement et la distribution du pétrole et du gaz, parmi les applications les plus courantes, on peut citer :

- Réchauffage de point de rosée du gaz : réchauffage du gaz naturel à haute pression en amont des stations de régulation de pression pour prévenir les phénomènes de condensation dus à l'effet Joule-Thomson.
- Réchauffage du gaz naturel haute pression : en amont de la régulation de la pression afin d'empêcher la formation du givre externe.
- Sur chauffage du gaz combustible en amont des turbines à gaz (performance hâter).
- Réchauffage en aval du stockage à basse température.
- Prévention des hydrates.
- Réduction de la viscosité : réchauffage du pétrole brut en amont des traitements pour faciliter Le dégazage et la vidange [15].

2.8.2.2 Réchauffeur du gaz

Le réchauffeur de gaz naturel est un échangeur thermique qui a pour but de réchauffer Le gaz naturel avant la réduction de sa pression

Dans Le cas de la détente unique (70/4bar), il y a une génération du froid (détente Joule-Thomson), pouvant favoriser la formation de condensats ou d'hydrates et par là même entraînant des problèmes au niveau des appareillages du poste détente, Pour éviter d'éventuels problèmes de fonctionnement du poste il y a nécessité absolue de procéder au réchauffage du gaz avant la détente.

Le réchauffage du gaz a pour objectif de maintenir la température du gaz au-dessus d'un certain seuil afin de permettre Le bon fonctionnement de l'appareillage (régulateur, clapet, compteur) et d'éviter la formation d'hydrates ou de condensât [16].



Figure (2.18): Réchauffeur raccordé avec poste détente [17].

2.8.3 Différents types de réchauffeur

Il existe deux types de réchauffeur utilisé dans l'industrie :

- Réchauffeurs direct
- Réchauffeurs indirect (bain d'eau)

2.8.3.1 Réchauffeur direct

Les réchauffeurs directs, forment une enceinte au sein de laquelle de l'énergie sous une forme non thermique, est convertie en chaleur (on y brûle du fuel gaz), et

plus particulièrement au sein de laquelle la chaleur est générée par combustion d'un combustible approprié.

Les réchauffeurs de processus directs, fournissent de l'énergie calorifique directement au procédé industriel, sans utiliser de vapeur ni d'échangeur de chaleur.

Ce sont les appareils dont Le tube de flamme est immergé dans Le produit, ce sont les plus simples et les moins chers [18].

2.8.3.2 Réchauffeur indirect (bain d'eau)

Le réchauffeur est dit « indirect » car, la chaleur transférée au gaz est transmise par l'eau environnante, Le tube foyer est installé à l'intérieur du serpentin d'écoulement, et Le tube foyer et Le serpentin sont tous deux immergés dans l'eau, dont est rempli Le foyer [18].

Les réchauffeurs indirects. Sont constitués des éléments suivants :

- Bac à bain d'eau pour Le transfert de la chaleur au gaz naturel
- Tube à flammes et à fumées, où la chaleur produite par la réaction de combustion est transmise à l'eau
- Serpentins à gaz, où Le gaz naturel est chauffé par l'eau chaude
- Cheminée avec extincteur de flamme pour l'évacuation du gaz de combustion dans l'atmosphère
- Réservoir d'expansion pour permettre l'expansion de l'eau
- Instruments et les dispositifs de contrôle.

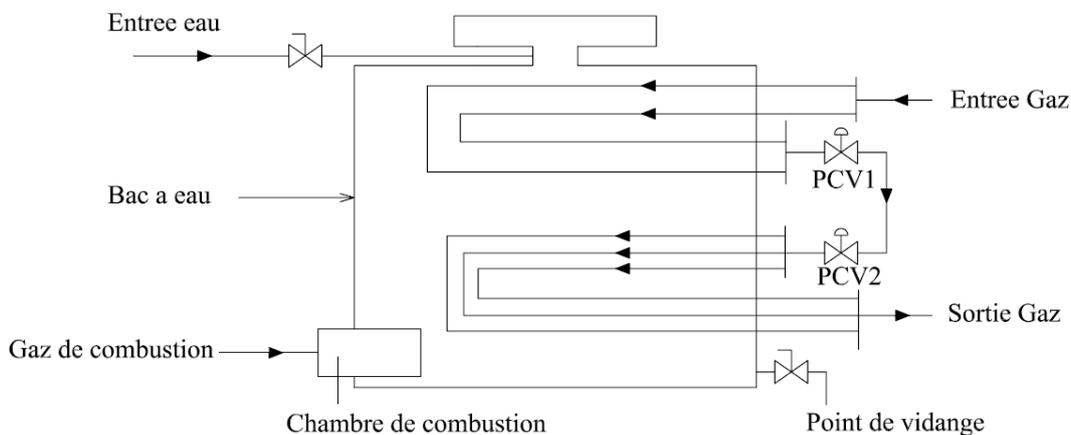


Figure (2.19) schéma de principe du réchauffeur de gaz naturel

2.8.3.3 Pourquoi les réchauffeurs à bain d'eau sont-ils meilleurs que les techniques de chauffage direct ?

Il existe des arguments de poids en faveur des réchauffeurs à bain d'eau par rapport aux techniques de chauffage direct.

- **Considérations en matière de sécurité** : Les méthodes de chauffage direct, telles que les flammes nues, présentent des problèmes de sécurité inhérents, tels que Le risque de fuites de gaz ou d'incendie. Comme les réchauffeurs à bain d'eau utilisent des systèmes clos et des méthodes de transfert de chaleur indirectes, ils constituent une alternative plus sûre.
- **Efficacité opérationnelle** : Les réchauffeurs à bain d'eau distribuent la chaleur plus efficacement que Le chauffage direct, réduisant ainsi la consommation d'énergie et les coûts d'exploitation.
- **Qualité du produit** : En éliminant Le risque de dégradation thermique ou de traitement irrégulier, Le chauffage uniforme fourni par les réchauffeurs à bain d'eau garantit une qualité constante des produits.
- **Impact sur l'environnement** : La combustion de combustibles fossiles, qui émettent des polluants tels que Le dioxyde de carbone et les oxydes d'azote, fait partie intégrante des systèmes de chauffage direct. Les réchauffeurs à bain d'eau minimisent leur impact sur l'environnement en utilisant une transmission indirecte de la chaleur et en réduisant les polluants.

2.8.3.4 Principe de fonctionnement

Ce réchauffeur est constitué, d'un serpentin immergé dans un bain d'eau liquide sous la pression atmosphérique, dans ce serpentin circule Le fluide à réchauffer (Le gaz naturel) avant la détente, Le gaz doit avoir une température sortie réchauffeur supérieure à celle de la formation des hydrates à l'intérieur des conduites, et supérieure à celle conduisant au givrage à l'extérieur des conduites et appareillages du poste de détente.

Le tube à feu est également immergé dans Le bain d'eau et alimenté par un piquage de gaz entre 1 et 0.8 bar pour subir une combustion et fournir la chaleur nécessaire au chauffage [25].

Le réchauffage du gaz se fait par un transfert de chaleur thermique passant par plusieurs compartiments et qui sont :

- Rayonnement entre les gaz brûlés et l'intérieur du tube à feu.
- Conduction dans l'épaisseur de tube à feu.

- Convection entre Le tube à feu et bain d'eau.
- Convection entre l'eau et les tubes du faisceau tubulaire.

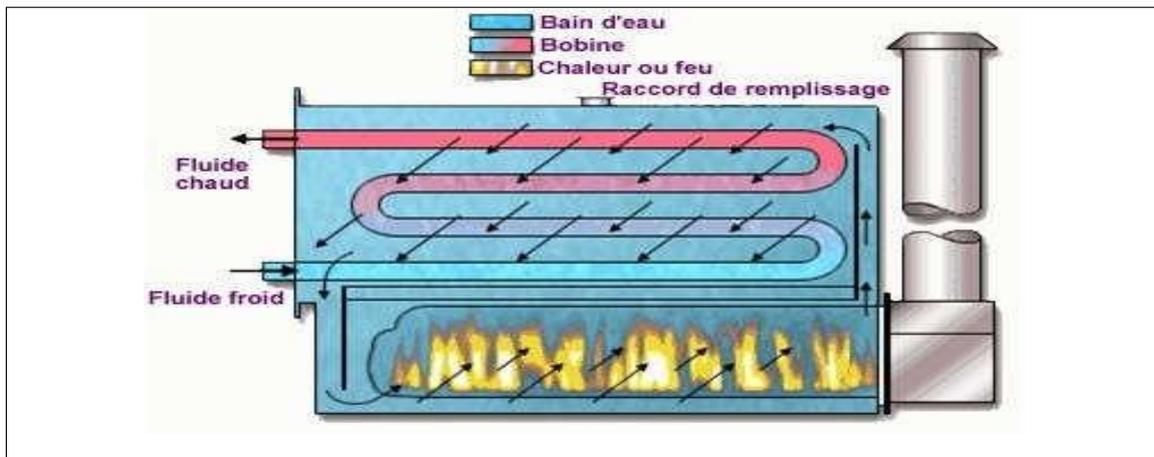


Figure 2.20 : Fonctionnement Le Réchauffeur du gaz [18].

Chaque équipement industriel (échangeur tube/calandre) en trouve une plaque d'identification, à partir de cette plaque en peut déduire ses caractéristiques tel que :

- Le constructeur et désignation de l'équipement.
- La nature de fluide coté tube et coté calandre.
- La température de fonctionnement.
- La pression de fonctionnement des fluides.
- La pression d'preuve hydrostatique.
- la capacité de chaque fluide (coté tube/calandre).etc.

2.8.3.5 Avantages de l'utilisation d'un bain d'eau pour Le chauffage

Les réchauffeurs à bain d'eau présentent les avantages suivants par rapport aux autres techniques de chauffage :

- Les réchauffeurs à bain d'eau réduisent les surchauffes localisées et distribuent la chaleur de manière uniforme dans Le flux de gaz afin de maintenir une qualité constante du produit.
- **Sécurité accrue** : Comme les réchauffeurs à bain d'eau utilisent des systèmes clos et une transmission indirecte de la chaleur, ils offrent des niveaux de sécurité plus élevés que les techniques de chauffage direct utilisant des flammes nues ou des réchauffeurs électriques.
- **Réduction de l'encrassement** : La durée de vie de l'équipement et les exigences en

matière d'entretien sont accrus lorsque les serpentins à gaz sont immergés dans un liquide chauffé, ce qui réduit le risque d'encrassement dû aux contaminants ou aux impuretés présentes dans le flux de gaz.

- **Respect de l'environnement** : Les réchauffeurs à bain d'eau constituent une option plus respectueuse de l'environnement que les systèmes de chauffage à combustion, car ils émettent moins de polluants.

2.8.3.6 Entretien et Maintenance

Le réchauffeur doit fonctionner automatiquement, sans surveillance permanente en tenant la température du gaz à l'aval de la détente $\geq 10^{\circ}\text{C}$, il est muni d'un système de sécurité intégral, qui empêche que :

- La température du bain d'eau dépasse une certaine valeur ;
- Le niveau du bain d'eau ne s'abaisse en dessous d'une certaine hauteur ;
- La flamme du pilote ne s'éteigne ;
- La température du gaz ne dépasse les 50°C .

L'efficacité de fonctionnement, et la durée de vie des réchauffeurs, dépend du soin qui leur est apporté lors de leur fonctionnement, et leur maintenance, quelques points majeurs sont abordés:

- ✚ Inspection et nettoyage : Les tubes foyer, doivent être inspectés à intervalles réguliers pour éviter l'accumulation de tartre, de rouille et de produit corrosif. Les conditions dans lesquelles le réchauffeur fonctionne sont un facteur déterminant, pour la fréquence des inspections, quand des dépôts de ce genre sont remarqués, les tubes foyer doivent être retirés et nettoyés ou remplacés, selon son état [18].
- ✚ Contrôle de la corrosion : La corrosion des réchauffeurs indirects, provient de l'action de l'eau, et de l'oxygène sur les tubes à gaz et tubes foyer, et entraîne la rouille et le piquage du métal, afin de réduire cette attaque, les réchauffeurs sont remplis de condensat de vapeur traité dans l'usine pour en retirer l'oxygène.
- ✚ Contrôle de la température : Le flux de gaz de carneau du réchauffeur, est contrôlé par un thermostat. Afin de maintenir une température définie du gaz sortant du serpent. Les thermostats sont un élément important de

tout réchauffeur, s'ils ne fonctionnent pas correctement, Le brûleur restera généralement éteint ou allumé en permanence, ce qui dans les deux cas n'est pas souhaitable. En général, la réparation sur Le terrain des régulateurs de température n'est pas conseillée, mais certains types peuvent être réparés dans les conditions du terrain [15].

Lors de l'allumage d'un réchauffeur du gaz, différentes procédures sont utilisées, les étapes suivantes sont considérées comme importante :

- Couper l'alimentation de gaz et laisser quelque minute au réchauffeur pour vider entièrement Le gaz du tube.
- Vérifiez que Le niveau de fluide est au-dessus des niveaux du tube foyer et du thermostat.
- Allumer un chiffon trempé d'huile, placez-vous sur un côté au vent et tenez-vous près du pilote.
- Assurez-vous que Le brûleur pilote s'allume.
- Régler Le thermostat à la température désirée.
- Activer l'alimentation en gaz du brûleur.

Un allumage incorrect peut occasionner des blessures au personnel, des dommages pour l'équipement, ou causer d'autres pertes augmentant Le coût de l'opération [15].

2.8.4 FONCTIONNEMENT ET DEFAILLANCES DU RECHAUFFEUR

2.8.4.1 ETAT ACTUEL DU RECHAUFFEUR

Au début de notre stage, Le réchauffeur était à l'arrêt. Pour Le remettre en état de fonctionnement, une intervention corrective est nécessaire.

Le réchauffeur fonctionne avec trois fluides :

- Le gaz combustible;
- l'eau comme fluide caloporteur ;
- Le gaz naturel (procès gaz)

Si la pression du gaz combustible est basse (inférieur à 0,85 bar), ou s'il y a manque de flamme dans la chambre de combustion, Le système s'arrête automatiquement ; il en est de même lorsque la quantité d'eau dans Le bac est insuffisante.

La maintenance préventive est suivie régulièrement, avec des vérifications mensuelles, trimestrielles, semestrielles et annuelles.

Outre la maintenance préventive, il y a aussi la maintenance corrective qui est assurée par des dépannages et différentes réparations en somme par les interventions.

Les dysfonctionnements et les défaillances liées à la maintenance, la réadaptation du circuit d'allumage et Le manque de pièces de rechange affectent la disponibilité de la machine.

2.8.4.2 LES DIFFERENTS TYPES DE DEFAILLANCES

L'expérience professionnelle nous permet de les classer de manière à y remédier Le plus facilement possible, et à effectuer ce travail à la phase préparatoire (détection, localisation, diagnostique).

2.8.4.3 RECENSEMENT DES MODES DE DEFAILLANCES

Cette partie liste les symptômes plausibles et potentiels du réchauffeur. Bien que la défaillance pourrait survenir, elle n'est pas nécessairement imminente.

- Fuite
- Bouchage
- Encrassement
- Mauvais réglage
- Dérégulation des électrodes d'allumage
- Défectuosité
- Usure
- Dérégulation
- Pression insuffisante
- Manque de flamme
- Défaut d'étincelle d'allumage
- Obturation
- Circuit non alimenté
- Circuit électrique en court-circuit
- Rendement

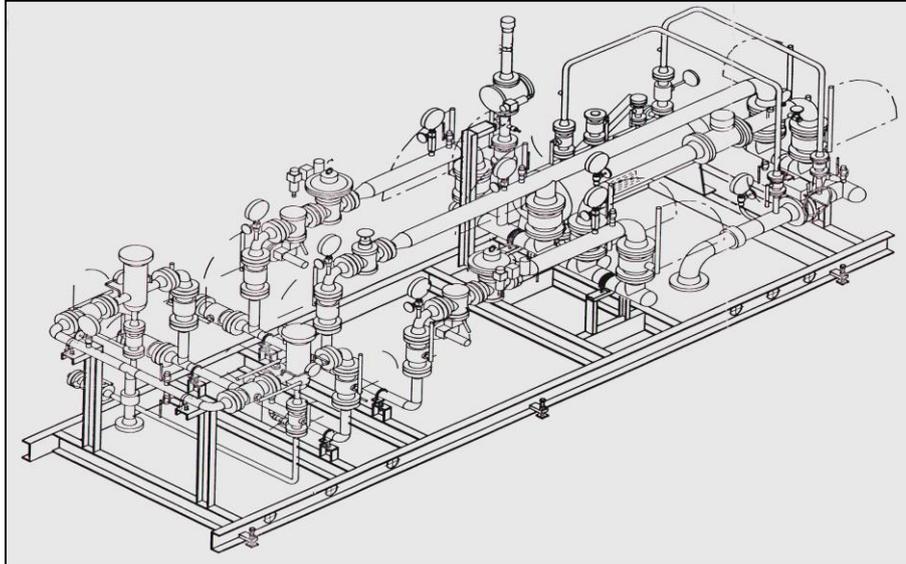
Fatigue Si la pression P_1 diminue, l'action de (R_2) devient prépondérante et elle provoque Le soulèvement de la membrane et de l'ensemble tige-clapet, ce qui entraîne l'augmentation de la section de passage du gaz.

2.8.4.4 LA MAINTENANCE

Le réchauffeur a pour rôle principal de chauffer Le gaz naturel et de Le maintenir entre une température comprise entre 30°C et 40°C après l'avoir réduit d'une pression allant jusqu'à 70 bars à une pression moyenne de 4 bar. Ce système fonctionne avec une puissance thermique de 8.55 GJ/h et un rendement de 76%. La maintenance a pour mission d'assurer Le fonctionnement optimal du réchauffeur à des coûts réduits. La maintenance ici est pratiquée en opérations (préventive, dépannage, réparation, mise au rebut). Cette situation nous pousse alors à élaborer un dispositif anti-panne.

2.9 L'appareillage poste de détente gaz

2.9.1 INTRODUCTION



Figure(2.21) :schéma isométrique de poste de détente

Dans Le transport gaz il existe trois types de postes actifs :

- Poste de pré_détente 70/20 (PPD)
- Poste de détente 70/4 (DP ou CLT)
- Poste de détente 20/4 (DP ou CLT)

Avant toute mise en gaz il faut :

- Vérifier la conformité de l'ouvrage
- Réceptionner l'ouvrage
- Contrôler Le sens du montage des appareils
(Filtres, vannes de sécurité, régulateurs, soupape de sûreté et
Compteur)
- Isoler la partie avale du poste

PREPARATION DE LA MISE EN GAZ

- Manipulation et lubrification des vannes.
- Enlever les cartouches filtrantes.

- Démonter les appareils.
(Vanne de sécurité, régulateur et compteur).
- Souffler et nettoyer Le poste
(Avec une faible pression de gaz).
- Nettoyer et remonter les cartouches filtrantes.
- Remonter les appareils.
- Dérégler les vis de réglage du pilotage des régulateurs.
- Régler au maximum les pilotes des vannes de sécurité et soupape.
- Déclencher la vanne de sécurité.

2.9.2 MISE EN GAZ

S'ASSURER QUE TOUTES LES VANNES SONT EN POSITION FERMETURE.

2.9.2.1 Réglage de la première ligne.

- Ouvrir la vanne amont du poste progressivement à une pression de dix (10) bars environ puis la fermer.
- Ouvrir les robinets Ø ½ ‘’ des impulsions de retour.
- Ouvrir la vanne amont ligne.
- Équilibrer la pression de part et d'autre de la vanne de sécurité à l'aide du by-pass.
- Réarmer la vanne de sécurité.
- Régler Le régulateur à une pression de 4,5 bars.
- Déclencher la vanne de sécurité à cette pression.
- Dérégler Le pilotage.
- Purger et abaisser la pression à 3bars.
- Réarmer la vanne de sécurité.
- Reprocéder un deuxième déclenchement.
- Réarmer la vanne de sécurité.
- Régler définitif Le régulateur à une pression de 4bars.
- Bloquer la vis de réglage du régulateur.

2.9.2.2 Réglage de la deuxième ligne.

Procéder aux mêmes opérations que la ligne principale mais à une pression de 5,5bars pour déclencher la vanne de sécurité.

- Régler la ligne de secours à 3,8bars.
- Bloquer la vis de réglage du régulateur.

2.9.2.3 Réglage de la soupape de sûreté.

- Placer un manomètre sur Le collecteur aval du poste.

- Ouvrir la vanne de la soupape de sûreté.
- Ouvrir les vannes amont et aval du by-pass.
- Laminer à une pression de 5bars.
- Régler la décharge de la soupape.
- Faire un dixième essai.
- Bloquer la vis de réglage.

2.9.2.4 Contrôle des réglages des lignes par by-pass

- Fermer la vanne de la soupape.
- Ouvrir les vannes aval des deux lignes.
- Laminer à une pression de 4,5bars (pour déclencher la première vanne de sécurité) puis à 5,5bars (pour la deuxième).
- Purger à 4bars
- Réarmer les vannes de sécurité.
- Isoler Le by-pass.
- Ouvrir la vanne de la soupape.
- Ouvrir la vanne amont du poste.

2.9.2.5 PRESSIONS DE REGLAGE

Poste de pré détente :

1er ligne - régulateur	20 bars
- vanne de sécurité	22 bars
2em ligne - régulateur	18bars
- vanne de sécurité	26 bars
Soupape -	24 bars

Poste détente : (70/4 ou 20/4)

1er ligne - régulateur	4 bars
- vanne de sécurité	4,5 bars
2em ligne - régulateur	3,8bars
- vanne de sécurité	5,5 bars
Soupape -	5bars

2.10 Définition de site

La ville de buinan contains trois postes de détentes buinan 1 capacité 1 5000Nm³/h il a été mis en œuvre en 2000 et buinan 2 capacité 15000Nm³/h il a été mis en œuvre en 2016 et buinan 3 capacité 30000 Nm³/h il a été mis en œuvre en 2022 dans Le cadre d'alimentations en gaz naturel de la ville nouvelle de buinan Pour se satisfaire du développement urbain

En générale Les poste de détente gaz Natural divisé par trois parties :

- La partie de filtrage
- la partie de détente
- la partie de comptage

2.10.1 La partie de filtrage :

Partie de la filtration occupée par deux filtres (SOP CANALISATION HIDJAZI) avec des rechanges nous changeons chaque deux mois, Les accessoires comme les vannes Avant et après Le filtre.

Les deux filtres se jettent dans la même et après Le gaz entre dans Le réchauffeur et sortie dans la nourrice de deuxième partie.

2.10.2 La partie de détente :

Dans la partie de détente, il y a trois tubes de sorties du la nourrice, deux tubes de régulation et une tube de bypass ,Le bypass est occupé par une vanne de laminage et est lié directement à la partie de comptage.

Iles deux tubes de régulation sont occupés par un clapet de sécurité. (Valvitalia ALP2 6'') , Vanne a boisseau sphérique amont Le régulateur (Pietro Fiorentini REFLUX 819 6 '') et autre aval ,les deux tubes distribuent dans la nourrice en aval de la régulation et relié par une soupape de sécurité (Pietro Fiorentini PV/S 782 6 '')

2.10.3 La partie de comptage

Après la détente deux tubes sortir de la nourrice aval la régulation, chaque tube Occupé par un compteur à turbine (VEMMTEC G4000 12'') et vanne après et avant.

Ce sera avec Le compteur une correcteur de débit calculée de Le débit réel en (Nm³/h) avec 15 degrés de température Et enregistrer la consommation et tout ce qui est relié par poste de détente.

A la fin Le poste occupe par L'odoriseur (AIPAWER 927 L) et une joint isolant dans l'entrée et la sortie pour isoler Le post de protection catholique

2.11 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présente Le problème et les conditions du givrage et où il se produit. Nous avons proposé trois solutions au problème et comment y faire face.

Chapitre 3

Résultats

et

Discussions

3.1 Introduction

Le but de notre étude réside dans le fait de comparer les deux procédés de chauffage étudiés précédemment, pour y parvenir nous avons récolté et élaboré une multitude d'éléments techniques et économiques pouvant mettre en évidence les points communs et divergents entre le chauffage du gaz naturel par réchauffeurs indirects à bain d'eau et les rubans chauffants utilisés par SONELGAZ dans les postes de détente.

3.2 Les rubans chauffants

D'après la documentation accompagnant le ruban chauffant utilisé par SONELGAZ, les rubans chauffants sont utilisés pour le maintien en température des conduites transportant le gaz naturel et la mise en hors gel des conduites et non pas pour le chauffage des fluides.

Alors que le chauffage du gaz naturel destiné aux postes de détente est la meilleure solution pour lutter contre le givrage des postes et pour éviter la formation des hydrates dans les conduites après une détente. [25]

L'utilisation des rubans chauffants pour le chauffage n'est pas évidente. Elle dépend de :

- **La longueur de la conduite** { Qui dépendent eux même de la température de la paroi

Du débit

8.92m ≈ 9 m est la longueur nécessaire d'une conduite 2 " maintenue à une température maximale égale à 120 °C citée dans la fiche technique du ruban chauffant 20 XTV, dans cette conduite passe un gaz naturel sous pression de 70 bars et avec une température d'entrée minimale de -15°C pour différents diamètres de conduites et le ce gaz chauffer à 43°C avec un débit de 5000Nm³/h. [25]

Nous allons déterminer la longueur nécessaire d'une conduite 6 " maintenue à la température maximale de 120 °C pour débit de 30000 Nm³/h

Le calcul de la longueur de la conduite est détaillé ci-dessous pour Tp=120°C et un serpentin de 6'' à partir du bilan suivant :

La quantité de chaleur dégagée par la paroi de la conduite =La quantité de chaleur transférée au gaz

$$Q_c = Q_g \Leftrightarrow (T_p - T_\infty) / R = m_g * C_p * (T_{fs} - T_{fe}) \quad [26] \quad (3.1)$$

Avec

$$Q_g = m_g * C_p * (T_{fs} - T_{fe}) \dots\dots\dots (3.2)$$

$$Q_c = (T_p - T_\infty) / R \dots\dots\dots(3.3)$$

$$R = \frac{1}{h \cdot D_i \cdot L} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi K L} \dots\dots\dots(3.4)$$

$$R = \frac{T_p - T_\infty}{Q_g} \dots\dots\dots(3.5)$$

$$K_1 = 45 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$D_e = 0,16492 \text{ m}$$

$$r_2 = D_e/2 = 0,08246 \text{ m}$$

$$D_i = 0,1538 \text{ m}$$

$$r_1 = D_i/2 = 0,0769 \text{ m}$$

$$T_\infty = 43^\circ\text{C}$$

$$\dot{m} = 30000 \text{ m}^3/\text{h}$$

3.2.1 Détermination de Q_g :

Le calcul du premier terme du bilan thermique cité ci-dessus s'effectue de la manière suivante :

$$Q_g = \dot{m}_g \cdot C_p \cdot (T_{fs} - T_{fe}) \quad (3.6)$$

$$\dot{m}_g = V_g \cdot \rho_g \quad (3.7)$$

V_g et ρ_g aux conditions d'entrée

$$V_g = \dot{m} \cdot \left(\frac{Z_1}{Z_0}\right) \cdot \left(\frac{p_0}{p_1}\right) \cdot \left(\frac{T_{fe}}{T_0}\right) \quad (3.8)$$

$$V_g = 30000 \cdot \left(\frac{0,7124}{0,997}\right) \cdot \left(\frac{1}{70}\right) \cdot \left(\frac{273-15}{273+15}\right) \quad (3.9)$$

$$V_g = 274,32 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\rho_g = 82,72 \text{ kg/m}^3$$

C_p : à T_m

$$T_m = (T_{fs} + T_{fe})/2$$

$$T_m = (43-15)/2 = 14^\circ\text{C} \rightarrow c_p = 2,781 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

$$Q_g = 274,32 \cdot 82,72 \cdot 2,781 \cdot 10^3 \cdot (43 - (-15)) = 3,66 \cdot 10^9 \text{ J/h}$$

$$Q_g = 1,017 \cdot 10^6 \text{ W}$$

$$R = \frac{\Delta T}{Q} = \frac{120-14}{1,017 \cdot 10^6} = 0,0001043^\circ\text{C/W}$$

3.2.2 Détermination de Q_c :

La quantité de chaleur dégagée par la paroi de la conduite est donnée par :

$$Q_c = h \cdot S_i \cdot (T_p - T_\infty)$$

Avec la surface interne du serpent $S_i = \Pi * D_i * L$

h : Déterminé en calculant le nombre de Nusselt

Le nombre Nusselt est calculé à partir de corrélations empiriques nous choisissons la corrélation de Putekhov (1970) [25]

$$Nu = 0.023 * Re^{0.8} * Pr^{0.3}$$

Dont les hypothèses : [25]

- $10^4 < Re_{Di} < 5 * 10^6$
- $0.5 < Pr < 2000$
- $\mu_\infty / \mu_p < 40$
- $n = 0.11$ si $T_p > T_\infty$
- $n = 0.25$ si $T_p < T_\infty$
- Propriétés physiques à $T_f = (T_p + T_\infty) / 2$

Vérification des hypothèses

$$\checkmark Re_{Di} = \frac{V_g * 4}{\pi * D_i * v} = \frac{4 * 274.32 * 10^6}{3.14 * 3600 * 0.1538 * 0.2856} = 2.21 * 10^6$$

$$\checkmark Pr = \frac{Cp * \mu}{k} = \frac{2.753 * 10^3 * 1.421 * 10^{-5}}{4.375 * 10^{-2}} = 0.8942$$

✓ $n = 0$ gaz naturel

$$Nu = 0.023 * Re^{0.8} * Pr^{0.3}$$

$$Nu = 2646 = \frac{h * k}{D_i} \quad \text{ce qui implique que} \quad h = \frac{Nu * k}{D_i} = 752.8 \text{ w/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Après ces calculs nous pouvons déterminer la longueur L :

$$(3.4) \Leftrightarrow L = \frac{1}{R} * \left(\frac{1}{h * \pi * D_i} + \frac{\ln(r^2 / r_1)}{2\pi k_1} \right)$$

$$L = \frac{1}{R} * \left(\frac{1}{752.8 * 3.14 * 0.1535} + \frac{\ln(0.08246 / 0.0769)}{2 * 3.14 * 45} \right) = 28.75 \text{ m}$$

D'après ces calculs il nous faut **29 mètres** de serpent pour assurer le bon chauffage du gaz naturel. En réalité la température du ruban chauffant n'atteint jamais les 120°C à cause de l'autorégulation qui sert à maintenir la température de la paroi selon la quantité d'énergie fournie au ruban qui dépend de la température de la canalisation.

3.2.3 Conclusion:

Le ruban chauffant ne pas efficace pour les grandes capacités de poste de détente.

3.3 Réchauffeur

D'après la documentation accompagnant le réchauffeur utilisé par SONEGAS, le réchauffeur est utilisé pour chauffer le gaz naturel et la mise en hors gel de gaz naturel et non pas pour le chauffage des conduites.

Alors que le chauffage du gaz naturel destiné aux postes de détente est la meilleure solution pour lutter contre le givrage des postes et pour éviter la formation des hydrates dans les conduites après une détente.

$$Q_c = Q_g \Leftrightarrow (T_p - T_\infty) / R = m_g * C_p * (T_{fs} - T_{fe})$$

Avec

$$Q_g = m_g * C_p * (T_{fs} - T_{fe}) \dots\dots\dots(3.10)$$

$$Q_c = (T_{\infty 2} - T_{\infty 1}) / R \dots\dots\dots(3.11)$$

$$R = \frac{1}{h * \pi * D_i * L} + \frac{\ln(r_2 / r_1)}{2 * \pi * K * L} + \frac{1}{h * \pi * D_e * L} \dots\dots\dots(3.12)$$

$$K = 45 \text{ W/m} \cdot \text{°C}$$

$$D_e = 0,06 \text{ m}$$

$$r_2 = D_e / 2 = 0,03015 \text{ m}$$

$$D_i = 0,049 \text{ m}$$

$$r_1 = D_i / 2 = 0,02461 \text{ m}$$

$$L = 23,13 \text{ m}$$

$$h_e = 2933 \text{ w/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$T_{\infty 1} = 43 \text{ °C}$$

$$T_{\infty 2} = 85 \text{ °C}$$

$$\dot{m} = 30000 \text{ m}^3/\text{h}$$

3.3.1 Détermination de Q_g :

Le calcul du premier terme du bilan thermique cité ci-dessus s'effectue de la manière suivante :

$$Q_g = m_g * C_p * (T_{fs} - T_{fe})$$

$$m_g = V_g * \rho_g$$

V_g et ρ_g aux conditions d'entrée

$$V_g = \dot{m} * \left(\frac{Z_1}{Z_0}\right) * \left(\frac{p_0}{p_1}\right) * \left(\frac{T_{fe}}{T_0}\right)$$

$$V_g = 3000 * \left(\frac{0,7124}{0,997}\right) * \left(\frac{1}{70}\right) * \left(\frac{273-15}{273+15}\right)$$

$$V_g = 274,3 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\rho_g = 82,72 \text{ kg/m}^3$$

C_p : à T_m

$$T_m = (T_{fs} + T_{fe})/2$$

$$T_m = (43-15)/2 = 14^\circ\text{C} = 2.781 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$$

$$Q_g = 68.58 \cdot 82.72 \cdot 2.781 \cdot 10^3 \cdot (43 - (-15)) = 9703425732 \text{ J/h}$$

$$Q_g = 1017 \text{ kW}$$

3.3.2 Détermination de Q_C :

La quantité de chaleur dégagée par la paroi de la conduite est donnée par :

$$Q_C = h \cdot S_i \cdot (T_p - T_\infty)$$

Avec la surface interne du serpent $S_i = \Pi \cdot D_i \cdot L$

h : Déterminé en calculant le nombre de Nusselt

Le nombre Nusselt est calculé à partir de corrélations empiriques nous choisissons la corrélation de Putekhov (1970)

Dont les hypothèses :

- $10^4 < Re_{Di} < 5 \cdot 10^6$
- $0.5 < Pr < 2000$
- $\mu_\infty / \mu_p < 40$
- $n=0.11$ si $T_p > T_\infty$
- $n=0.25$ si $T_p < T_\infty$
- Propriétés physiques à $T_f = (T_p + T_\infty)/2$

Vérification des hypothèses

$$\checkmark Re_{Di} = \frac{V_g \cdot 4}{\Pi \cdot D_i \cdot \nu} = \frac{4 \cdot 68.58 \cdot 10^6}{3.14 \cdot 3600 \cdot 0.049 \cdot 0.2856} = 6.933 \cdot 10^5$$

$$\checkmark Pr = \frac{c_p \cdot \mu}{k} = \frac{2.753 \cdot 10^3 \cdot 1.421 \cdot 10^{-5}}{4.375 \cdot 10^{-2}} = \mathbf{0.8942}$$

✓ $n=0$ gaz naturel

$$Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.3}$$

et

$$Nu = 6605 = \frac{h \cdot k}{D_i} \quad \text{ce qui implique que} \quad h = \frac{Nu \cdot k}{D_i} = 1946 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Après ces calculs nous pouvons déterminer la température de la paroi :

$$T_p = \frac{Q_g}{\Pi \cdot h \cdot D_i \cdot L} + T_\infty$$

$$T_p = \frac{2.695 \cdot 10^5}{3.14 \cdot 1946 \cdot 0.049 \cdot 23.13} + 43 = 55.1^\circ\text{C}$$

$$(3.12) \Leftrightarrow R = \frac{1}{h \cdot \pi \cdot D_i \cdot L} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi K 1L} + \frac{1}{h \cdot \pi \cdot D_e \cdot L}$$

$$Q_C = \frac{(T_{\infty 2} - T_{\infty 1})}{R}$$

$$Q_C = \frac{(85 - 43)}{0.0002543} = 1087 \text{ kW}$$

Les pertes de Transfer de chaleur est :

$$Q_p = Q_c - Q_g = 1087 - 1017 = 70.25 \text{ kW}$$

La chaleur gaspillée par Transfer de chaleur représente 6.46 % de chaleur de bain d'eau

3.4 Consommation de réchauffeur du gaz naturel

Les pertes de Transfer de réchauffeur

Le rendement de combustion est 70 % donc 30 % de perde de chaleur :

$$Q_{pc} = 465.858 \text{ kW}$$

$$Q_{cc} = Q_c + Q_{pc}$$

$$Q_{cc} = 1087 + 465.858$$

$$Q_{cc} = 1553 \text{ kW}$$

La perte de chaleur totale :

$$Q_{PT} = Q_{cc} - Q_g$$

$$Q_{PT} = 1553 - 1017$$

$$Q_{PT} = 117,881 \text{ kW}$$

Et devient 34.52 % de chaleur perdue

3.5 Les différentes conditions de fonctionnement de réchauffeur :

Logiciel EES:

EES, ou Engineering Equation Solver, est un logiciel utilisé principalement pour la résolution d'équations thermodynamiques et d'ingénierie. Développé par F-Chart Software, EES est largement employé dans les domaines de l'ingénierie mécanique et chimique pour analyser des systèmes énergétiques.

Voici quelques caractéristiques et fonctionnalités clés de EES :

3.5.1 Résolution d'Équations : EES permet de résoudre simultanément des systèmes d'équations algébriques et différentielles. Cela inclut des équations non linéaires courantes en thermodynamique et en mécanique des fluides.

3.5.2 Propriétés des Fluides : Le logiciel inclut des bases de données complètes sur les propriétés thermo physiques des fluides, facilitant le calcul de propriétés telles que l'enthalpie, l'entropie, la densité, etc., pour diverses substances.

3.5.3 Optimisation : EES offre des outils pour l'optimisation des systèmes, permettant aux utilisateurs de trouver des solutions optimales en termes de paramètres comme l'efficacité énergétique ou les coûts.

3.5.4 Analyse Paramétrique : Les utilisateurs peuvent réaliser des études paramétriques pour observer comment les variations des paramètres d'entrée affectent les résultats de leur modèle.

3.5.5 Interface Utilisateur : EES propose une interface conviviale avec des capacités de visualisation graphique, facilitant la compréhension et l'interprétation des résultats.

3.5.6 Intégration : Il permet l'importation et l'exportation de données vers et depuis d'autres logiciels de simulation et de calcul.

3.5.7 Documentation et Support : Le logiciel est bien documenté, avec des tutoriels et un support utilisateur pour aider à la résolution de problèmes spécifiques.

EES est particulièrement utile pour les ingénieurs travaillant dans des domaines nécessitant des calculs thermodynamiques complexes, tels que la conception de systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC), les centrales électriques, et les applications de réfrigération.

Nous avons utilisé le logiciel EES pour simuler les différentes conceptions de fonctionnement de réchauffeur :

La variation de débit

Tableau (3.1) : tableau de EES représente les valeur de Q_g , Q_c et Q_{cc} aces défèrent débit à pression de 70 bar

1..10	1 m [m ³ /h]	2 Q_g [kW]	3 Q_c [kW]	4 Q_{cc} [kW]
Run 1	3000	101,7	412,5	589,3
Run 2	6000	203,4	601,2	858,8
Run 3	9000	305	725,2	1036
Run 4	12000	406,7	815,4	1165
Run 5	15000	508,4	885	1264
Run 6	18000	610,1	940,7	1344
Run 7	21000	711,7	986,7	1410
Run 8	24000	813,4	1025	1465
Run 9	27000	915,1	1058	1512
Run 10	30000	1017	1087	1553

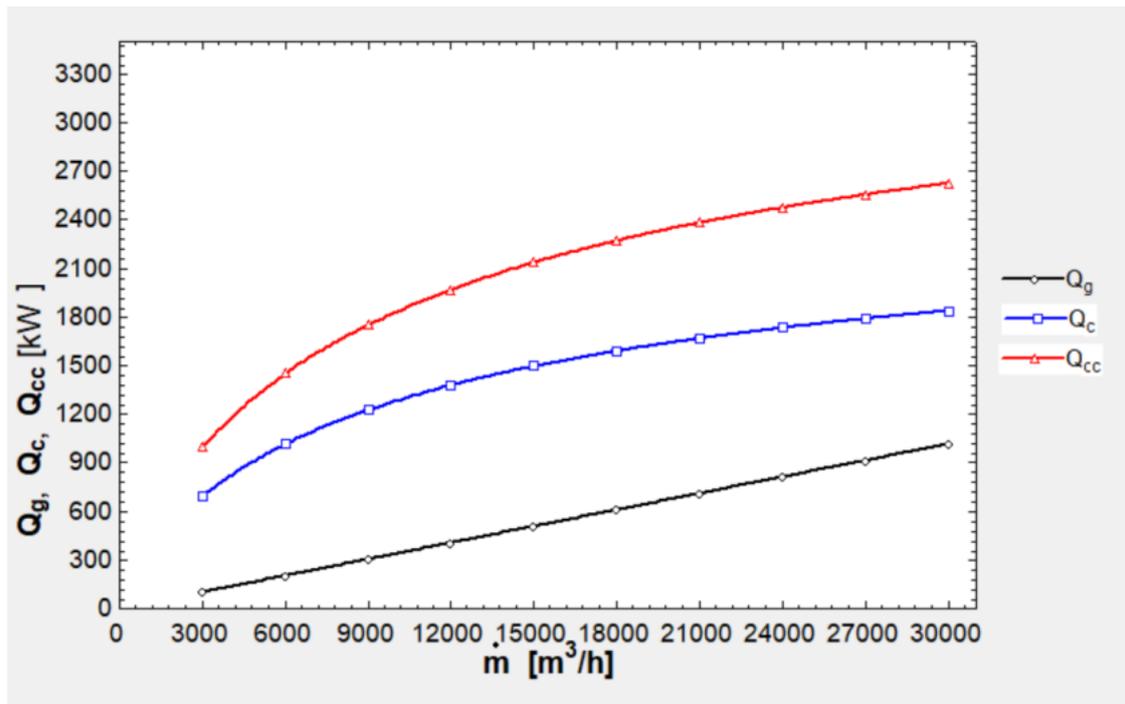


Figure (3.1) : Graphe représente la variation de Q_g , Q_c et Q_{cc} en fonction de débit à pression de 70 bar

Le réchauffeur augmente la température dans certain moment et Il s'éteint et le gaz consomme l'énergie que génère

Ou débit il faut calculer l'énergie réservé par bain d'eau

Volume de bain d'eau est 9500L=9.5 m³ donc la masse est 9500 kg

La température initial est 15°C est nous augment a 85°C

$$T_1=15^\circ\text{C}$$

$$T_{\infty 2}=85^\circ\text{C}$$

$$T_m = (T_1 + T_2) / 2$$

$$T_m = (15 + 85) / 2$$

$T_m=50^\circ\text{C}$ donc le $cp=4180$ Joule/kgK

$$Q_e = m \cdot cp \cdot (T_{\infty 2} - T_1)$$

$$Q_e = 9500 \cdot 4180 \cdot (80 - 15)$$

$$Q_e = 2.779 \cdot 10^9 \text{ J}$$

$$Q_e = 772,138 \text{ kW}$$

$$Q_{ccc} = 1.103 \cdot 10^3 \text{ kW}$$

La quantité de chaleur nécessaire pour chauffer l'eau de 15°C à 85°C, en considérant que 30% de l'énergie est gaspillée, est de $1,103 \cdot 10^6$ W générée par la chambre de combustion. Cela s'arrête lorsque la température atteint 85°C et redémarre lorsque la température baisse de 10°C, soit à 75°C. L'énergie conservée à cette température est $Q_i = 661,833$ kW, donc l'intervalle de

l'énergie conservée est $Q_r = 110,305 \text{ kW}$. Cette énergie est consommée par le gaz en 6.089 minutes (6 minutes, 5 secondes) et doit être rechargée en même temps que la consommation.

Il y a une puissance de réchauffeur de 1000 kW (Figure (3.4)) avec 30% de pertes, donc il reste 700 kW. Lorsque la production commence, il faut compenser l'énergie perdue par le gaz pendant le temps d'arrêt et pendant la période de fonctionnement.

$$Q_{cr} = Q_r + Q_c = 1197.305 \text{ kW}$$

Le réchauffeur reste allumé pendant τ_1 (102min, 36s) et s'éteint pendant τ_2 (6 min, 5s)

Données Technique RECHAUFFEUR - Technical Data HEATER			
Puissance installée : <i>Heat input by burner :</i>	1000 Kw	Rendement de combustion : <i>Combustion efficiency :</i>	>70 %
Type de brûleur : <i>Burner type :</i>	Atmosphérique	Pression alimentation brûleur : <i>Burner pressure :</i>	1.5 bar maxi
Matériaux réchauffeur : <i>Heater Material :</i>	Acier	Code de construction <i>Code of construction</i>	Règles de l'art
Isolation : <i>Insulation</i>	50 mm	Habillage : <i>Cover :</i>	Aluminium RAL 9006
Fluide : <i>Liquid :</i>	Eau	Système contre le gel : <i>System against freezing</i>	NON
Température de service : <i>Working temperature</i>	+80 °C	Contrôle non destructif <i>Control nondestructive</i>	R.T. : 100 %
Température mini - maxi : <i>Min - Max temperature :</i>	0 / +85 °C	Capacité <i>Capacity</i>	9500 Litres
Poids de l'appareil vide <i>Weigth empty</i>	9206 kg	Poids plein d'eau <i>Weigth full of water</i>	18706 kg
Protection Interieur : <i>Inner Protection :</i>	Nettoyage	Protection exterieure : <i>Outer Protection :</i>	Peinture RAL 5017 - Chassis Peinture RAL 1003 Peinture RAL 9007 - Cheminée

Figure (3.2) : la fiche technique de réchauffeur

Pour déferrent débit avec logiciel EES:

Tableau (3.2) : tableau d'EES représente le temps de fonctionnement et le temps d'arrêt en fonction de débit

1..10	m [m ³ /h]	temps ₁ [min]	temps ₂ [min]
Run 1	3000	44,81	16,05
Run 2	6000	60,98	11,01
Run 3	9000	71,61	9,126
Run 4	12000	79,35	8,116
Run 5	15000	85,31	7,478
Run 6	18000	90,09	7,035
Run 7	21000	94,03	6,708
Run 8	24000	97,34	6,455
Run 9	27000	100,2	6,254
Run 10	30000	102,6	6,089

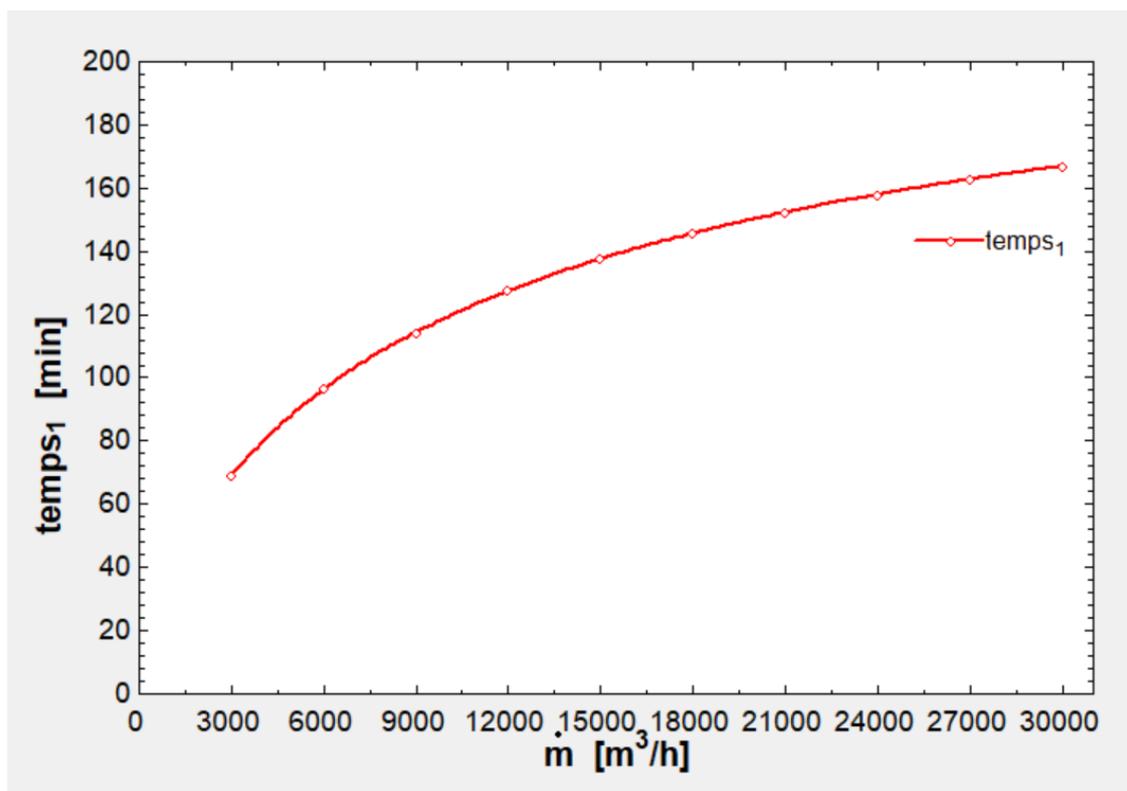


Figure (3.3) : Graphe d'EES représente le temps de fonctionnement en fonction de débit à pression de 70 bar

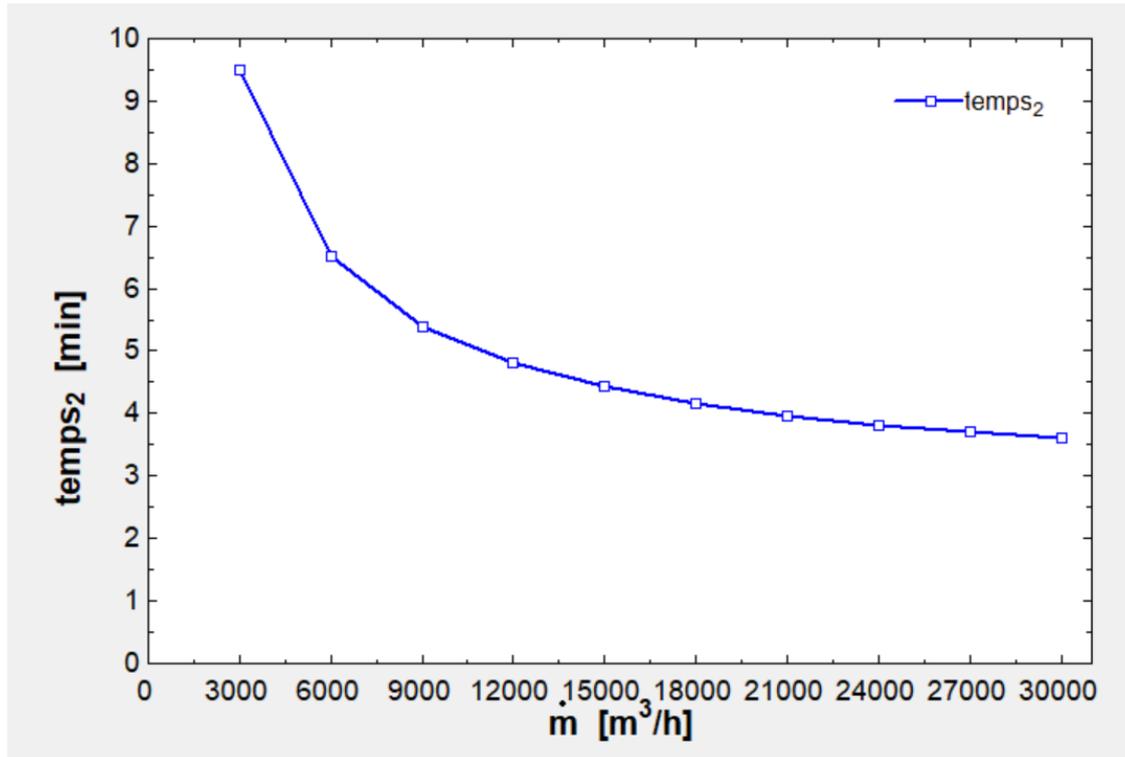


Figure (3.4) : Graphe d'EES représente le temps d'arrêt en fonction de débit à pression de 70 bar

La pression de réseau de transport gaz varie 50 et 70 bar, par conséquent nous avons effectué des calculs dans différentes conditions de pression 50 bar ,60 bar70 bar

Car quand on baisse la pression de 1 bar, la température diminue de 0,5°C Quand on réduit la pression de 70 à 4a la température baisse de 33 °C Alors on se réchauffe le gaz a 43°C et pour 60 bar baisse de 28°C et pour 50 baisse de 23 °C Alors ce n'est pas nécessaire de chauffe le gaz a 43°C donc nous réglé la température sur 38 °c a 60 bar et 33 a 50 bar

Tableau (3.3) : tableau de EES représente les valeur de Q_g , Q_c , Q_{cc} , le temps de fonctionnement et le temps d'arrêt aces déferrent débit à pression de 50 bar

1..10	m [m ³ /h]	temps ₁ [min]	temps ₂ [min]	Q_g [kW]	Q_c [kW]	Q_{cc} [kW]
Run 1	3000	86,91	7,324	117,8	903,7	1291
Run 2	6000	118,6	5,198	235,6	1273	1819
Run 3	9000	138,3	4,403	353,4	1503	2147
Run 4	12000	152,1	3,976	471,2	1664	2378
Run 5	15000	162,5	3,707	589	1785	2551
Run 6	18000	170,6	3,52	706,8	1880	2686
Run 7	21000	177,2	3,382	824,6	1957	2796
Run 8	24000	182,7	3,275	942,4	2021	2887
Run 9	27000	187,3	3,19	1060	2075	2964
Run 10	30000	191,3	3,12	1178	2121	3030

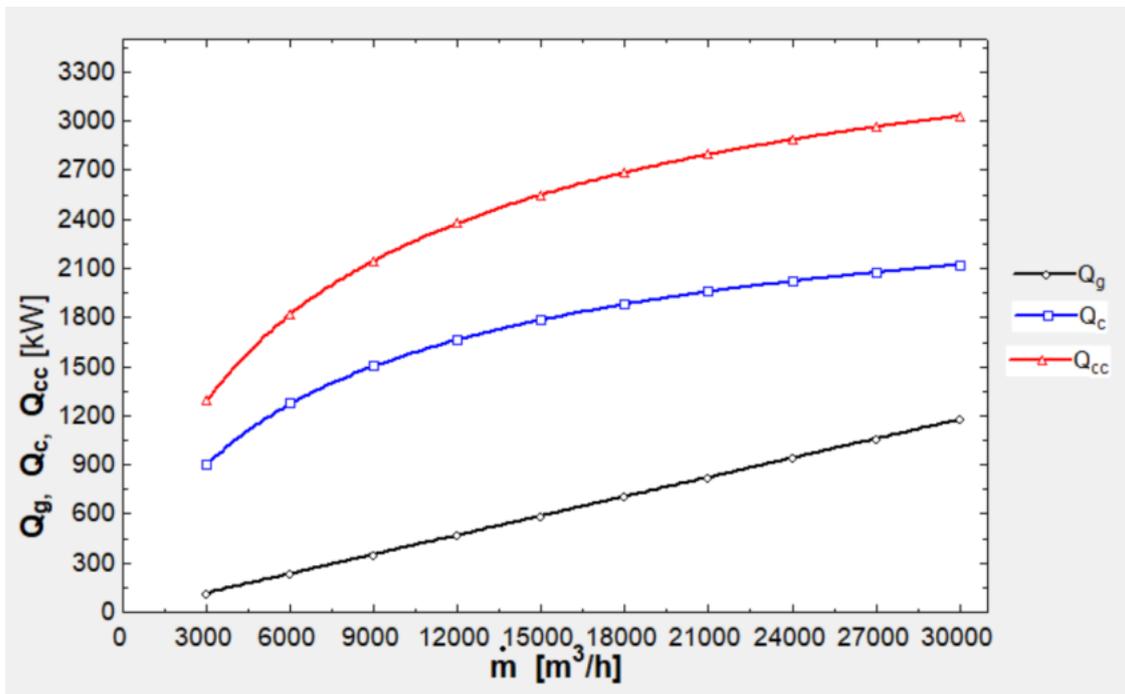


Figure (3.5) Graphe représente la variation de Q_g , Q_c et Q_{cc} en fonction de débit à pression de 50 bar

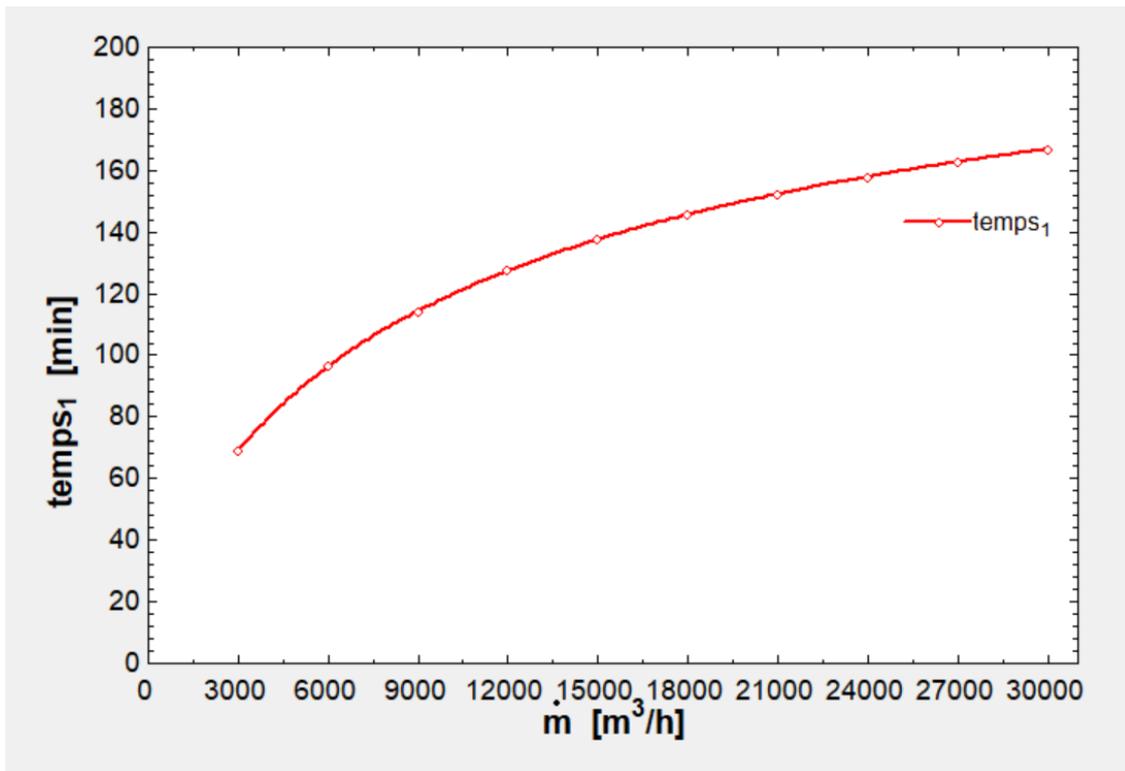


Figure (3.6) : Graphe d'EES représente le temps de fonctionnement en fonction de débit à pression de 50 bar

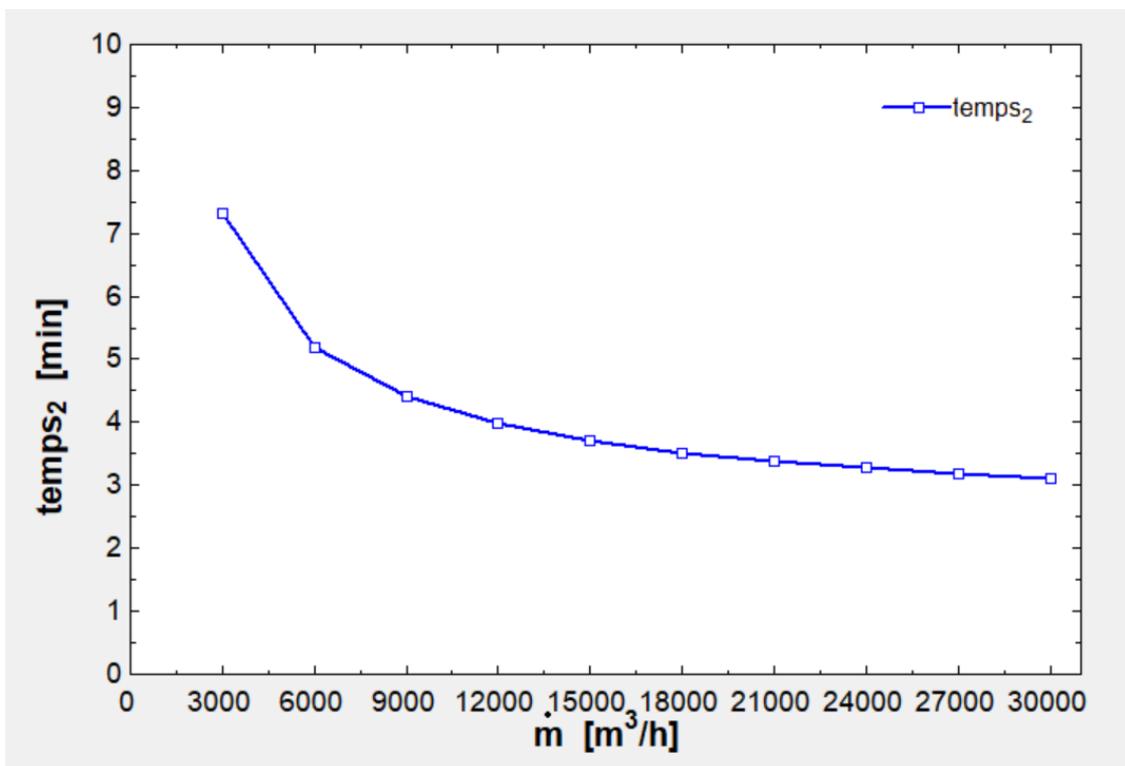


Figure (3.7) : Graphe d'EES représente le temps d'arrêt en fonction de débit à pression de 50 bar

Tableau (3.4) : tableau de EES représente les valeur de Q_g , Q_c , Q_{cc} ,le temps de fonctionnement et le temps d'arrêt en fonction de débit avec déferrent débit à pression de 60 bar

1..10	m [m ³ /h]	temps ₁ [min]	temps ₂ [min]	Q_g [kW]	Q_c [kW]	Q_{cc} [kW]
Run 1	3000	77,12	8,384	108,4	789,4	1128
Run 2	6000	106,6	5,84	216,8	1133	1619
Run 3	9000	125,5	4,889	325,2	1354	1934
Run 4	12000	139	4,379	433,6	1511	2159
Run 5	15000	149,3	4,057	542	1631	2331
Run 6	18000	157,5	3,833	650,4	1727	2467
Run 7	21000	164,1	3,668	758,8	1805	2578
Run 8	24000	169,7	3,54	867,2	1870	2671
Run 9	27000	174,5	3,438	975,6	1925	2750
Run 10	30000	178,5	3,355	1084	1973	2818

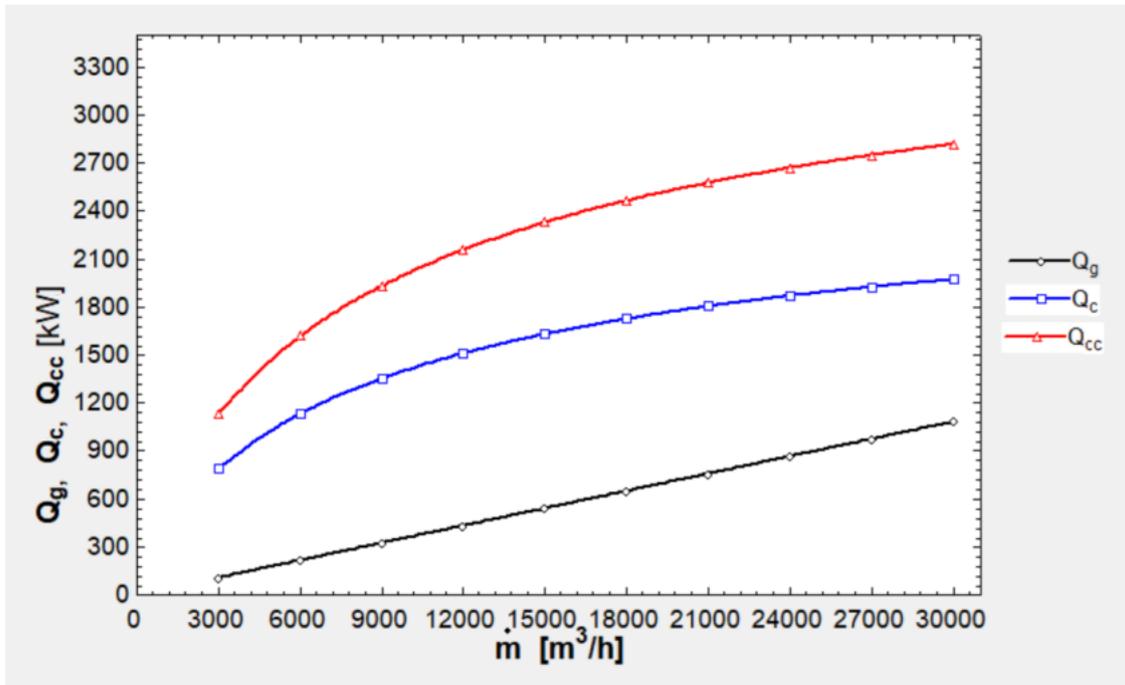


Figure (3.8) : Graphe représente la variation de Q_g , Q_c et Q_{cc} en fonction de débit à pression de 60 bar

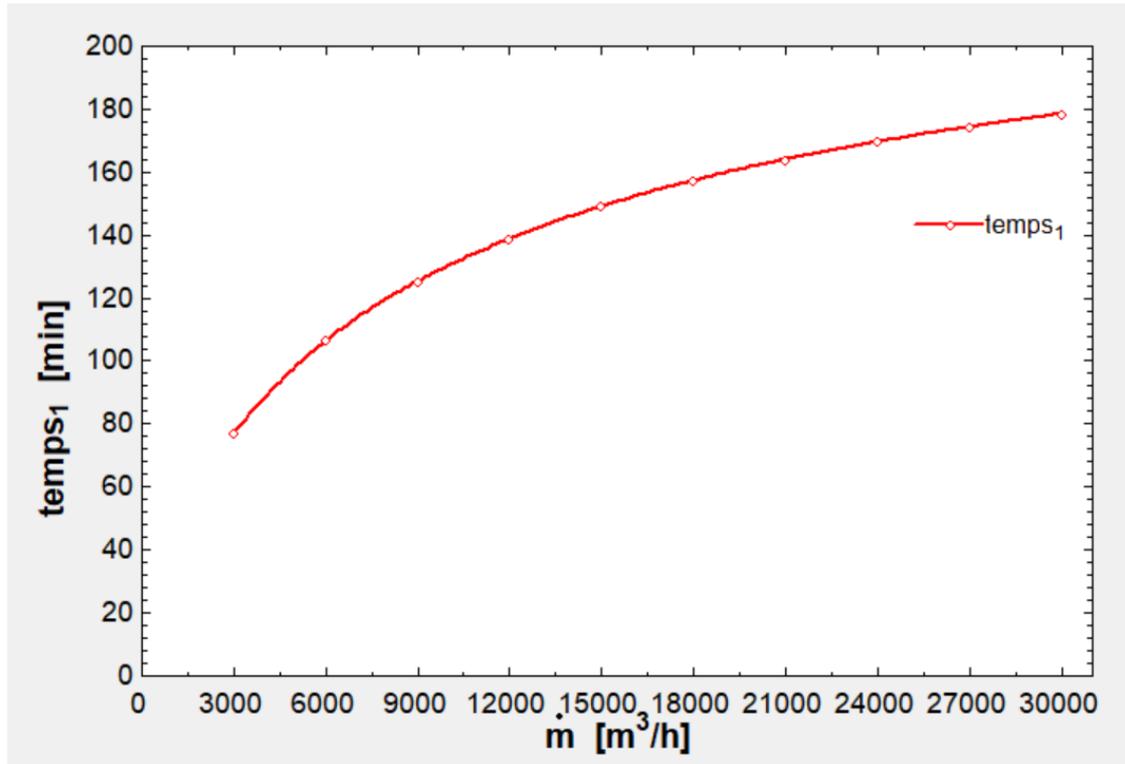


Figure (3.9) : Graphe d'EES représente le temps de fonctionnement en fonction de débit à pression de 60 bar

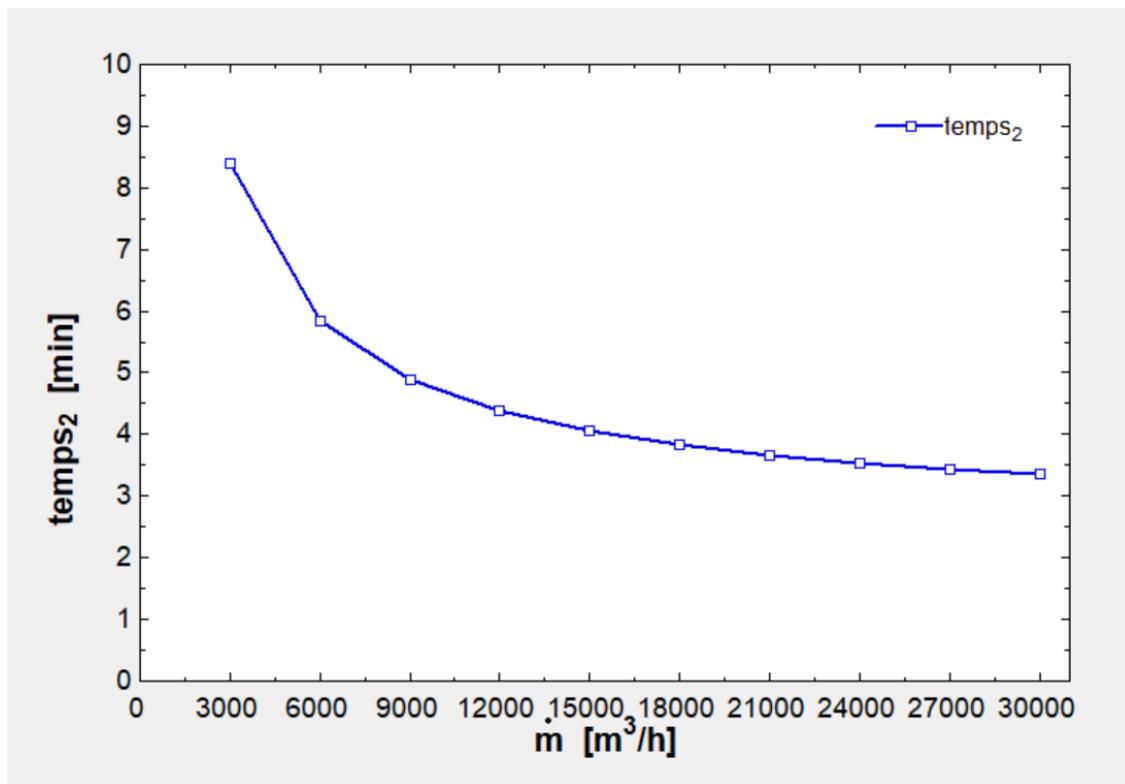


Figure (3.10) : Graphe d'EES représente le temps d'arrêt en fonction de débit à pression de 60 bar

Tableau (3.5): tableau de EES représente les valeur de Q_g , Q_c , Q_{cc} ,le temps de fonctionnement et le temps d'arrêt en fonction de débit aces déferrent débit à pression de 70 bar

1..10	1 m [m ³ /h]	2 temps ₁ [min]	3 temps ₂ [min]	4 Q_g [kW]	5 Q_c [kW]	6 Q_{cc} [kW]
Run 1	3000	44,81	16,05	101,7	412,5	589,3
Run 2	6000	60,98	11,01	203,4	601,2	858,8
Run 3	9000	71,61	9,126	305	725,2	1036
Run 4	12000	79,35	8,116	406,7	815,4	1165
Run 5	15000	85,31	7,478	508,4	885	1264
Run 6	18000	90,09	7,035	610,1	940,7	1344
Run 7	21000	94,03	6,708	711,7	986,7	1410
Run 8	24000	97,34	6,455	813,4	1025	1465
Run 9	27000	100,2	6,254	915,1	1058	1512
Run 10	30000	102,6	6,089	1017	1087	1553

3.6 Commenter de graphe de Q_g , Q_c et Q_{cc} en fonction de débit

Nous notons que tout ce qui a augmenté le débit a augmenté la chaleur dont le gaz a besoin afin d'augmenter sa température .Donc, la chaleur produite par la chambre de combustion augmente. Et aussi la chaleur stockée dans l'eau, cela s'applique à venir différentes conditions de pression

3.7 Commenter de graphe du temps de fonctionnement et le temps d'arrêt en fonction de débit:

Les deux courbes, elles évoluent de manière logarithmique. Le temps d'arrêt est long et diminue du fait de l'augmentation de l'énergie nécessaire au chauffage, et le temps nécessaire au chauffage augmente pour la même raison.

3.8 Conclusion

Après les études que nous avons menées sur le ruban chauffant, il est devenu évident que le ruban chauffant n'était pas adapté aux débits importants. Nous nous sommes donc concentrés sur le réchauffeur dans notre étude et avons calculé sa consommation , son temps de chauffage et son temps d'arrêt, dans diverses conditions de pression et d'arrêt. Nous avons conclu que le temps de chauffage est directement lié à la consommation, et le temps d'arrêt est inversement lié à la consommation.

3.9 Conclusion Générale:

Ce stage à la Sonelgaz Transport Gaz a été une expérience enrichissante qui nous a permis d'approfondir nos connaissances sur le transport de gaz naturel, en mettant particulièrement l'accent sur l'importance des postes de détente. Nous avons acquis une compréhension approfondie des principes opérationnels des réseaux de transport, des techniques de compression, et de régulation indispensables pour garantir une distribution fiable du gaz aux consommateurs finaux.

La visite d'un poste de détente nous a offert une perspective concrète sur l'ensemble des composants critiques tels que les vannes, les filtres, les régulateurs de pression, ainsi que sur les systèmes de sécurité associés. Nous avons pu constater de manière tangible comment ces éléments contribuent à la sécurité et à la robustesse des infrastructures gazières.

En explorant les différences entre les technologies de chauffage comme les réchauffeurs et les rubans chauffants, nous avons identifié leurs avantages et leurs défis respectifs en termes de fiabilité, de maintenance, d'efficacité énergétique et de sécurité. Chaque technologie présente des compromis uniques qui doivent être soigneusement évalués en fonction des besoins spécifiques du réseau.

En conclusion, ce stage a non seulement renforcé notre intérêt pour l'industrie gazière et ses défis techniques, mais il nous a également sensibilisés à l'importance de l'optimisation énergétique et de la gestion efficace des ressources. Nous sommes reconnaissants envers les équipes de la Sonelgaz Transport Gaz pour leur expertise partagée et leur dévouement à maintenir des normes élevées de performance et de sécurité dans le secteur du transport de gaz naturel.

Références bibliographiques

- [1] J. VINCENT, GENOD – Le transport des hydrocarbures liquides et gazeux par canalisation. Edition technique, Paris 1980.
- [2] Conception des poste de détente, M^{elle} Aubert, 1998
- [3] Directives et recommandations pour la maintenance des postes, Epic SONELGAZ
- [4] Nathalie AUBERT, Conception les poste de détente, Département Transport du Center d'Expertise et de Services Direction Production Transport GAZ DE France, 1998
- [5] SONELGAZ, conception des postes gaz, conférence sur les équipements de transport du gaz, octobre 1995
- [6] Bulletin signalétique : Combustibles, énergie, Volume 38, Numéros 8938 à 16440.
- [7]:- Programme indicatif d'approvisionnement du marché national en gaz naturel
- Données disponibles au niveau du GRTG
- [8]: Document « étude de schéma directeur national de transport du gaz » élaboré par Sonelgaz GRTG
- [9]: Document « schéma directeur national gaz » élaboré par Sonatrach TRC
- [10] A. ROJEY, B. DURAND, C. JAFFRET, S. JULLIAN, M. VALAIS ; «Le gaz naturel : production, traitement, transport» ; Editions Technip-P
- [11]: Document « Conception et Réglage des Poste de détente Gaz » élaboré par Sonelgaz GRTG
- [12] : A. BENZONI et J.P. CORNIL – Étude et réalisation d'un appareil pour la régulation de pression et le comptage du gaz (Congrès A.T.G 1980).
- [13] : SCHLUMBERGER (Division gaz de compteurs) – Manuel technique (régulateur détenteur).
- [14] Réchauffeurs indirects, PIETRO FIERONTINI, (<https://docplayer.fr/15318031-Rechauffeurs-indirects.html>)
- [15] Smath Gontran ESSAH, gestion de la maintenance du réchauffeur de gaz nature, mémoire pour l'obtention de la licence professionnelle en gestion et maintenance des installations industrielles et énergétiques, Institut International d'Ingénierie BURKINA FASO, Année [2011/2012].
- [16] Méthodologie d'Exploitation et de Maintenance des Ouvrages de Transport Gaz (formation sonelgaz /GRTG ETB BLIDA 2019)
- [17] Équipement Réchauffeurs et Fours, manuel de formation (EXP-PR-EQ110-FR), TOTAL, dernière révision : 08/06/2007
- [18] BENKAHLA, Cours échangeurs thermique, université Houari Boumediene, Alger, (<http://www.youtube.com/@youb.benkahla>)
- [19] Polycopié Initiation aux transferts thermiques, rédigé par ALI AGHA Hamza, université Abderrahmane MIRA BEJAIA, Année universitaire 2018/2019
- [20] Cours : Calcul et dimensionnement des échangeurs de chaleur, université MSILA 2016/2017

- [21] www.techniques-ingenieur.fr/Ti203 thermique pour l'industrie échangeur de chaleur
- [22] Échangeurs de chaleur à plaques et joints (www.arsopi.thermal.pt/fr/produits/echangeurs-de-chaleur-a-plaques-et-joints).
- [23] ABDELLI Aymen, Etude et simulation sous matlab d'un échangeur thermique a faisceau tubulaire et calandre, mémoire fin d'étude, université BADJI MOKHTAR ANNABA 2018/2019.
- [24] Maintenance et entretien des réchauffeurs (formation sonelgaz/GRTG ETB BLIDA 2019)
- [25] document sonalgaz <JOURNEE TECHNIQUE SUR LE RECHAUFFAGE DU GAZ>