

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université SAAD DAHLEB BLIDA – 01-



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

Thème

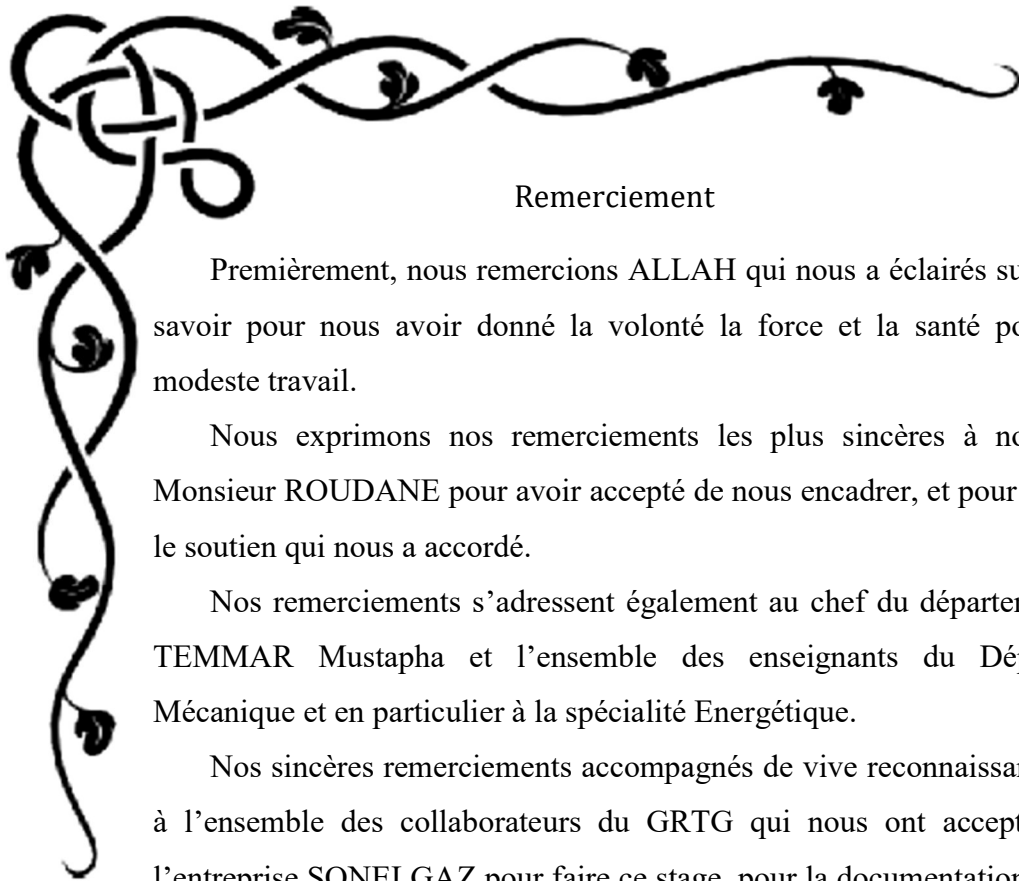
**Etude d'optimisation des investissements liés au
développement du réseau de transport gaz «Haute pression »
de la Région d'El Oued sur la période 2022-2036**

Soutenu le : 14/07/2021

Thème proposée en collaboration avec SONELGAZ
Encadré par : Mr Roudan Mohamed
Président de jury : Ketfi Omar
Jury : Guergadj Mohamed

Présente par : CHERRIH Abd El Aziz
DAOUADI Abd Esalam

Promotion : 2021/2022



Remerciement

Premièrement, nous remercions ALLAH qui nous a éclairés sur le chemin du savoir pour nous avoir donné la volonté la force et la santé pour achever ce modeste travail.

Nous exprimons nos remerciements les plus sincères à notre promoteur Monsieur ROUDANE pour avoir accepté de nous encadrer, et pour la confiance et le soutien qui nous a accordé.

Nos remerciements s'adressent également au chef du département Monsieur TEMMAR Mustapha et l'ensemble des enseignants du Département des Mécanique et en particulier à la spécialité Energétique.

Nos sincères remerciements accompagnés de vive reconnaissance s'adressent à l'ensemble des collaborateurs du GRTG qui nous ont acceptés au sein de l'entreprise SONELGAZ pour faire ce stage, pour la documentation qu'ils ont mis à notre disposition et l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail. Plus spécialement à Monsieur HAMADACHE Walid, qu'il trouve ici le témoignage de notre profonde gratitude pour son suivi durant les différentes phases de notre travail, et surtout pour son aide tant appréciée.

Nous tenons également à remercier les membres du jury, d'avoir accordé de leurs temps précieux pour expertiser notre travail ; nous espérons qu'ils en soient satisfaits.

Nous exprimons notre sincère gratitude à nos parents qui nous ont élevé et soutenu tout au long de notre vie pour leur patience et leur encouragement ainsi que leur sacrifice, à nos frères et sœurs qui nous ont épaulé pendant les moments les plus difficiles.

Dédicaces

A mon père, qui était et sera toujours mon école exemplaire, qui m'a toujours soutenu et aidé à affronter les difficultés, qui a veillé, tout au long de ma vie, à ce que je n'eusse besoin de rien, qui m'a encouragé à continuer mes études avec tout le soutien nécessaire et inconditionnel, je reste certain que sans lui, je ne serais jamais arrivé à ce point. J'espère que sa fierté ne sera pas que celle de ce titre obtenu, mais surtout d'avoir fait de moi ce que je suis,

Que Dieu le protège.

Ma chère mère, qui par sacrifice m'a mis au monde, qui par sacrifice a fait de moi ce que je suis.

Celle qui m'a donnée le sens de vie, celle qui a toujours été là pour moi, et qui n'a pas cessé de prier pour moi et de m'encourager, je la remercie pour tous ses efforts, ses souffrances et son sacrifice irréfutable,

Que Dieu me la garde.

A mon frère Abd El Moumen et qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite

A meine Löwin Ton encouragement et ton soutien étaient la bouffée d'oxygène qui me ressourçait dans les moments pénibles,
Merci d'être toujours à mes côtés, par ta présence, par ton amour,

Que Dieu me la garde.

A toute la famille Cherrih et Yahiaoui

A mon binôme Abd Esslam et toute sa famille

A Adrar Salah pour son aide

A tous mes camarades de la promotion sortante 2021 Énergétique

A tous mes amis en souvenir des plus beaux instants qu'on a passé ensemble.

A tous ceux qui me sont chers.

Abd El Aziz



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mes chers parents pour leur soutien, leur patience,

Leur encouragement durant mon parcours scolaire,

A mes sœurs et mon frère ainsi qu'à toute ma famille,

A tous mes amis,

A mon binôme Abd El Aziz et toute sa famille.

Et à l'ensemble des étudiants de la promotion master.

A Adrar Salah pour son aide.

A tous mes camarades de la promotion sortante 2021 Énergétique.

Abd Esslam

Résumé

La région d'El Oued a connu un développement socio-économique considérable, accompagné par une croissance particulière de besoins énergiques moteurs de développement.

La Société Algérienne de Gestion du Réseau de Transport du Gaz étant le transporteur de l'énergie gazière s'est vu confier les obligations d'accompagner ce développement par la réalisation des infrastructures énergétiques de base, répondant aux besoins de gaz naturel exprimés au fil des années et projetés dans le futur.

L'étude fera objet d'une optimisation des différentes solutions techniques à mettre en œuvre pour faire face à cette évolution des besoins en énergie gazière de cette région d'El Oued sur la période 2022-2036.

Abstract

The El Oued region has experienced considerable socio-economic development, accompanied by a particular growth of energetic needs driving development.

Since the Management of the Gas Transmission Network is a carrier of gas energy, it has been entrusted with the obligation to accompany this development by implementing basic energy infrastructure, meeting the needs of natural gas expressed over the years and projected in the future.

The study will aim to optimise the various technical solutions to be implemented in order to face with this evolution of the gas energy needs of this region of El Oued over the period 2022-2036.

شهدت منطقة "الواد" تطورا اجتماعيا واقتصاديا كبيرا، اقترن بنمو خاص في الاحتياجات الطاقوية الدافعة إلى التنمية. وبما أن الشركة الجزائرية لتسيير شبكة نقل الغاز هي المسؤولة عن نقل الغاز، فقد عُهد إليه دعم هذا التطور عن طريق تنفيذ الهياكل الأساسية للطاقة، وتلبية احتياجات الغاز الطبيعي المعرب عنها على مر السنين وستهدف الدراسة إلى ايجاد حلول تقنية مختلفة التي ستنفذ من أجل مواجهة هذا التطور في احتياجات منطقة "الواد" من الطاقة الغازية خلال الفترة 2022 - 2036

Sommaire

Résumé

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Nomenclatures

Abréviation

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE 01 : GENERALITES	18
1.1 Introduction :	19
1.2 Définition des hydrocarbures :	19
1.3 Mode de transport des hydrocarbures :	19
1.3.1 Définition d'une canalisation :	19
1.3.2 Les caractéristiques de la canalisation :	19
1.3.3 Les types de canalisation :	20
1.4 Définition du gaz naturel :	20
1.5 Composition du gaz naturel :	20
1.6 Utilisation du gaz naturel :	21
1.6.1 Le marché résidentiel et tertiaire :	21
1.6.2 Le secteur industriel :	22
1.6.3 La production d'électricité :	22
1.6.4 Les véhicules : Gaz Naturel Véhicules (GNV) :	22
1.7 Le réseau de transport du gaz en Algérie :	22
1.7.1 Le réseau de transport du gaz de SONATRACH/TRC :	22
1.7.2 Le réseau de transport du gaz de SONELGAZ/GRTG :	25
1.8 Historique du transport du gaz en Algérie :	28
1.9 Réseau de transport du gaz naturel de la région d'El Oued :	30
1.10 Conclusion :	31
CHAPITRE 02: L'ECOULEMENT D'UN FLUIDE DANS LES CONDUITES : ..	32
2.1 Introduction :	33
2.2 Définition du fluide :	33
2.3 Viscosité d'un fluide :	33
2.4 Fluides compressibles et incompressibles :	34
2.5 Equation d'état :	34

2.6	Equation de continuité :.....	36
2.7	Equation du mouvement :	36
2.8	Régimes d'écoulement :.....	38
2.9	Pertes de charge :.....	40
2.9.1	Pertes de charge régulières :.....	41
➤	Expression de Blasius :.....	41
➤	Expression de Karman :.....	41
➤	Expression de Prandtl :.....	42
➤	Expression de Colebrook :.....	42
2.9.2	Pertes de charge singulières :	42
2.10	Approximation de la réserve gazométrique :.....	42
2.10.1	Réserve gazométrique	42
2.10.2	Réserve gazométrique exploitable :.....	43
2.11	Conclusion :.....	43
	CHAPITRE 03: PRESENTATION DE L'OUTIL DE TRAVAIL SIMONE.....	44
3.1	Introduction :	45
3.2	La modélisation :	45
3.3	Processus de simulation :	46
3.4	Le développement du réseau transport gaz en Algérie :	47
3.5	Les outils de planification à Sonelgaz :	47
3.6	Applications des outils de simulation :	47
3.7	Présentation de l'outil SIMONE :	48
3.7.1	Applications de SIMONE :.....	48
3.7.2	Objets du réseau :	48
3.7.3	Fonctions principales :	49
3.7.4	Lois utilisées par SIMONE :.....	50
3.7.5	Scénarios :	52
3.7.6	Formation SIMONE :.....	55
3.8	Conclusion :.....	55
	CHAPITRE 04: DONNEES ET HYPOTHESES DE TRAVAIL	56
4.1	Introduction :	57
4.2	Le réseau :.....	57
4.2.1	Les utilisateurs du réseau :	57
4.2.2	Source d'alimentation :	58
4.2.3	Conditions de pression :.....	59
4.3	Données de base :	59
4.4	I. 'analyse de la consommation des clients :	59

4.5	La Répartition les clients par système de consommation :.....	62
4.6	Evaluation de la prévision de la demande en gaz à long terme et hypothèses de travail :.....	64
4.6.1	Prévisions de consommation en gaz des Distributions Publiques. :	65
4.6.2	Prévisions de consommation en gaz des Clients Industriels :.....	67
4.6.3	Prévisions de consommation de la Centrale Electrique TG d’El Oued :	67
4.7	Hypothèses de travail pour l’élaboration des simulations :.....	68
	CHAPITRE 05: SIMULATION ET RESULTATS :	69
5.1	Résultats des simulations du réseau de transport :	70
➤	Horizon 2022 :	70
➤	Horizon 2023 :	71
5.2	Solution proposées :.....	72
5.3	Examen des solutions proposées :	72
5.3.1	Solution N°01 : les stations de compression du gaz :	72
A.	Généralités sur les stations de compression :	72
-	Les compresseurs :.....	73
	La compression du gaz naturel :	73
	Compresseur centrifuge :	74
-	Les turbines à gaz :	76
-	Les aéro-réfrigérants :.....	76
-	Contrôle à distance :	76
B.	L’emplacement de la station de compression :.....	76
C.	Analyse des emplacements choisis :	77
-	Déduction :	78
D.	Résultats de simulation avec une station de compression sur le réseau de transport du gaz	79
➤	Horizon 2023 avec une station de compression sur le réseau de transport du gaz :.	79
➤	Horizon 2024 avec une station de compression sur le réseau de transport du gaz :.	80
➤	Horizon 2025 avec une station de compression sur le réseau de transport du gaz :.	82
➤	Horizon 2026 avec une station de compression sur le réseau de transport du gaz :.	83
➤	Horizon 2027 avec une station de compression sur le réseau de transport du gaz :.	85
E.	Simulations et résultats par solution examinée :	87
-	Solution N°1.a : La mise hors service de la centrale électrique d’El Oued à partir de 2027.....	87
➤	Horizon 2027 avec une station de compression sur le réseau de transport du gaz et l’arrêt de la centrale électrique d’El Oued :	87
➤	Horizon 2028 avec une station de compression sur le réseau de transport du gaz et l’arrêt de la centrale électrique d’El Oued :	88

-	Solution N°1.b: L'implantation d'une deuxième station de compression sur l'ouvrage Ø28'' Hassi Messaoud, avec le maintien en exploitation de la centrale électrique El Oued.....	90
➤	Horizon 2027 avec deux stations de compression sur le réseau de transport du gaz :	90
➤	Horizon 2028 avec deux stations de compression sur le réseau sur le réseau de transport du gaz :.....	91
➤	Horizon 2029 avec deux stations de compression sur le réseau sur le réseau de transport du gaz :.....	93
-	Déduction :	94
➤	Horizon 2029 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued :	94
➤	Horizon 2030 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued :	96
➤	Horizon 2031 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued :	97
➤	Horizon 2032 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued :	98
➤	Horizon 2033 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued :	100
➤	Horizon 2034 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued :	101
➤	Horizon 2035 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued.....	102
➤	Horizon 2036 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued :	104
F.	Conclusion station de compression :	105
5.3.2	Solution N°2 : La réalisation d'un nouveau gazoduc :.....	106
A.	Propriété du nouveau gazoduc :.....	106
B.	Les ouvrages attendus sur le réseau :.....	106
C.	Résultats de simulation avec la réalisation d'un nouveau gazoduc :.....	107
D.	Conclusion générale solution gazoduc :.....	110
5.4	Comparaison techniques entre les deux solutions :.....	110
5.5	Evaluation économique des deux solutions :.....	111
A.	Couts directes :	111
B.	Couts indirects:	112
C.	Imprévus:	112
5.6	Evaluation technico-économique :	114

CONCLUSION GENERALE

Liste Des Figures

Figure 1-1: Un gazoduc de l'amont vers l'aval.....	24
Figure 1-2: Réseau du transport du gaz naturel En Algérie [3]	30
Figure 1-3: Réseau de transport du gaz naturel de la région d'El Oued [7].....	31
Figure 2-1 : Profil de vitesse dans un écoulement laminaire	38
Figure 2-2 : Trajectoire dans un écoulement laminaire	38
Figure 2-3 : Représentation d'un écoulement turbulent.....	39
Figure 3-1: Organigramme représentant le processus de simulation.	46
Figure 3-2 : Interface du logiciel SIMONE	49
Figure 3-3 : Schématisation du processus du scenario.....	53
Figure 3-4 : Exemple d'affichage pour un nœud du réseau sous forme graphique	54
Figure 3-5 : Exemple d'affichage sous forme de tableau	54
Figure 4-1 : Aperçu du réseau de transport de gaz naturel de la région de El oued modélisé	58
Figure 4-2: La consommation du gaz naturel par les distributions publique durant un an	60
Figure 4-3: La consommation du gaz naturel par les clients industriels durant un an.....	61
Figure 4-4 : La consommation du gaz naturel par la centrale électrique durant un an	61
Figure 4-5 : Courbe de charge moyenne des Distributions Publiques de la région	62
Figure 4-6 : Courbe de charge moyenne des clients industriels de la région.....	63
Figure 4-7 : Courbe de charge moyenne de la centrale électrique de la région (en période estivale)	63
Figure 4-8 : Courbe de charge moyenne de la centrale électrique de la région (en période hivernal)	64
Figure 5-1: les niveaux de pression durant l'horizon 2022.....	70
Figure 5-2: les niveaux de pression durant l'horizon 2023.....	71
Figure 5-3: Une station de compression avec (turbocompresseurs)	73
Figure 5-4 : Un compresseur centrifuge.....	74
Figure 5-5 : Schéma synoptique d'un Turbocompresseur	75
Figure 5-6 : Turbine à gaz General Electric.....	76
Figure 5-7 : Pression d'aspiration par emplacement de la station de compression.....	78
Figure 5-8: Pression enregistrée au niveau de la Central Electric El Oued par emplacement de la station de compression.....	78
Figure 5-9 : Température du gaz au refoulement de la station de compression par emplacement de la station de compression	79

Figure 5-10 : les niveaux de pression durant Horizon 2023 avec station de compression au niveau de l'emplacement N°1	80
Figure 5-11: les niveaux de pression durant Horizon 2024 avec station de compression au niveau de l'emplacement N°1	81
Figure 5-12: les niveaux de pression durant Horizon 2025 avec station de compression au niveau de l'emplacement N°1	82
Figure 5-13: les niveaux de pression durant Horizon 2026 avec station de compression au niveau de l'emplacement N°1	84
Figure 5-14: les niveaux de pression durant Horizon 2027 avec station de compression au niveau de l'emplacement N°1	85
Figure 5-15 : les niveaux de pression durant l'Horizon 2027 avec station de compression PS1 et l'arrêt de la centrale électrique d'El Oued.....	87
Figure 5-16: les niveaux de pression durant l'Horizon 2028 avec station de compression PS1 et l'arrêt de la centrale électrique d'El Oued.....	89
Figure 5-17: les niveaux de pression durant l'Horizon 2027 avec deux stations de compression sur le réseau.....	90
Figure 5-18 : les niveaux de pression durant l'Horizon 2028 avec deux stations de compression sur le réseau.....	92
Figure 5-19: les niveaux de pression durant l'Horizon 2029 avec deux stations de compression sur le réseau.....	93
Figure 5-20: les niveaux de pression durant l'Horizon 2029 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued.....	95
Figure 5-21: les niveaux de pression durant l'Horizon 2030 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued.....	96
Figure 5-22 : les niveaux de pression durant l'Horizon 2031 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued.....	97
Figure 5-23: les niveaux de pression durant l'Horizon 2032 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued.....	99
Figure 5-24: les niveaux de pression durant l'Horizon 2033 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued.....	100
Figure 5-25: les niveaux de pression durant l'Horizon 2034 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued.....	101
Figure 5-26 : les niveaux de pression durant l'Horizon 2035 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued.....	103

Liste Des Figures

Figure 5-27: les niveaux de pression durant l'Horizon 2036 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued.....	104
Figure 5-28: les principaux ouvrages attendus sur le réseau étudié et l'emplacement du nouveau gazoduc réalisé.....	107

Liste des tableaux

Tableau 4-1 :la structure des bases de donnees	60
Tableau 4-2 : les ouvrages attendu sur le reseau.....	66
Tableau 4-3 : Prévisions de consommation en gaz des distributions publique.....	67
Tableau 4-4 : Prévisions de consommation en gaz des Clients Industriels	67
Tableau 4-5 : Prévisions de consommation de la Centrale Electrique TG d’El Oued.....	67
Tableau 4-6 : récapitulatif des prévisions totales	68
Tableau 5-1 : les parametres de la station de compression par les deffirentes emplacements	77
Tableau 5-2 :Tableau récapitulative de niveau de pressions enregistrées pendant la période d’étude dans quelque distribution publique :	108
Tableau 5-3 : Tableau récapitulatif de niveau des pressions enregistrées pendant la période d’étude dans la centrale électrique et le client industriel sp2.....	109
Tableau 5-4 :le coût de la réalisation des deux station de compression	113
Tableau 5-5 : le coût de la réalisation du nouveau gazoduc	113
Tableau 5-6 :comparatif entre le coût des deux solutions.....	113
Tableau annexe 1 : Caractéristiques de gaz naturel	117
Tableau annexe 2 :Liste des distributions publique existantes:	118
Tableau annexe 3 :Liste des distributions publiques prévues :	119
Tableau annexe 4 : Liste des clients industriels existants	120
Tableau annexe 5 :Liste des clients industriels prévus	120
Tableau annexe 6 :Le volume annuel de gaz en Nm3 consommé distributions publiques pendant les trois dernières années	121

Nomenclature

u : Composante de vitesse [m/s]

$\frac{\partial u}{\partial y}$: Variation de la composante de vitesse u selon l'axe oy

P: Pression [Pa]

T: Température [K]

V: Volume [m³]

\tilde{v} : Volume molaire [m³/mole]

N : Nombre de moles

R : Constante des gaz parfaits [R=8,314 j.mole⁻¹ .k⁻¹]

M: Masse molaire [kg/mole]

r : Constante spécifique [j .kg⁻¹ .k⁻¹]

m : Masse [Kg]

G: Débit massique [kg/s]

Z: Facteur de compressibilité

D : Diamètre de la conduite [m]

R_e : Nombre de Reynolds

g : Force de gravité [g=9.81 m.s⁻²]

h : Hauteur [m]

ΔP_{12} : Perte de pression entre deux points 1 et 2 [Pa]

A : section droite de la conduite [m²]

x : Coordonnée longitudinal [m]

t : temps [s]

u : vitesse d écoulement [m .s⁻¹]

L : Longueur de la conduite [m]

$P_r = \frac{P}{P_c}$: Pression réduite adimensionnel

$T_r = \frac{T}{T_c}$: Température réduite adimensionnel

$P_c = \sum_{i=1}^N x_i P_{c,i}$: Pression critique des mélanges gazeux [Pa]

$T_c = \sum_{i=1}^N x_i T_{c,i}$: Température critique des mélanges gazeux [k]

$X_1... X_N$: Fractions molaires des composants du gaz

$P_{C,i}$: Pression critique du composant i [Pa]

$T_{C,i}$: Température critique du composant i [T_a]

Symboles grecs :

τ : Contrainte tangentielle entre les couches de fluide [Pa]

μ : Viscosité dynamique [Pa.S]

ν : Viscosité cinématique [m²]

ρ : Densité du fluide [kg .m⁻³]

$\bar{\rho}$: Densité molaire [kg .m⁻³]

ρ_r : Densité réduite adimensionnel

λ : Coefficient de perte de charge

ε : Rugosité de la conduite [m]

$\omega = [\sum_{i=1}^N x_i \omega_i]$: Facteur acentrique du mélange gazeux

ω_i : Facteur acentrique du composant i

Abréviations :

SONATRACH : Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la Transformation, et la Commercialisation des Hydrocarbures S.p.a

SONELGAZ : Société Algérienne de l'Electricité et du Gaz

GRTG : Société Algérienne de Gestion du Réseau de Transport du Gaz

TRC : Transport par Canalisation

GEM : Gazoduc Enrico Mattei, 48" HASSI R'MEL - OUED SAFSAF

GR1 : Gazoduc 42"- GASSI TOUIL – ALRAR – HASSIR'MEL

DP : Distribution publique

CI: Client industriel

CE : Centrale électrique

GNV : Gaz Naturel Véhicule.

GNL : Gaz naturel liquéfié

PPR : Point de prélèvement

SP2 : Station de pompage

PK : Point Kilométrique

SC : Station de compression

TG : Turbine à GAZ

Introduction Générale

La thématique choisie, chacun en conviendra aisément, est pour le moins actuelle. En plein débat mondial sur les grandes orientations énergétiques, nous ne pouvions délaissé ce sujet essentiel aux questions multiples et cruciales : le gaz naturel pourrait-il à terme se substituer à l'autre grande énergie naturelle qu'est l'énergie renouvelable ? Quid des questions techniques liées à son stockage ? Quel rôle géopolitique le gaz naturel joue-t-il dans les rapports de force internationaux ?

Quant au gaz de schiste plus précisément, n'a-t-on pas ici et là depuis une décennie un peu rapidement surestimé ses qualités ? En Algérie en particulier, existe-t-il d'abondantes réserves ? Si oui, pourrait-on l'exploiter aussi massivement qu'en Amérique du Nord et à quels coûts financiers et environnementaux ...

Le recours gaz de schiste n'étant pas envisagé à court terme par l'Algérie, le thème de ce projet de fin d'études fait allusion alors au gaz naturel en Algérie qui est utilisé dans les secteurs industriels et domestiques, dont deux (02) sociétés se partagent les missions allant de la production à la distribution aux clients finaux à savoir :

La société SONATRACH qui fournit la matière première (le gaz naturel) et dont l'une de ses filiales « Activité Transport par Canalisations – SH/TRC » s'occupe du transport du gaz naturel depuis les pôles de production au sud vers les pôles de demande et de transformation au nord (marché national et exportation)

La société SONELGAZ qui s'emploie à acheminer le gaz naturel, livré par SONATRACH, par le biais de canalisations, jusqu'aux utilisateurs finaux que sont les abonnés domestiques, les clients industriels et les producteurs d'électricité grâce à l'une de ses filiales qu'est la « Société Algérienne de Gestion du Réseau de Transport du Gaz – GRTG » exclusivement dédiée à l'approvisionnement en gaz naturel des utilisateurs du marché national.

Le projet de fin d'études a cependant ciblé un des réseaux de transport du gaz naturel du GRTG alimentant le Sud-Est de l'Algérie, dont on cite celui desservant des localités relevant des wilayas de Ouargla, Meghaier, Touggourt et El Oued, qui connaissent un développement important en matière d'installation d'industries dans le but de promouvoir l'économie du pays.

Il sera alors décrit le réseau actuel de transport du gaz naturel de cette région du pays et envisager les perspectives à long terme pour garantir la continuité d'alimentation en gaz sans aucune perturbation de l'ensemble des utilisateurs de ce réseau.

Pour mener à bien notre projet nous avons élaboré le plan suivant :

- Le premier chapitre servira à donner quelques généralités sur le gaz naturel et les termes techniques utilisés dans ce mémoire.
- Dans le deuxième chapitre, nous rappelons les lois fondamentales qui régissent l'écoulement en conduite d'un fluide.
- Dans le troisième chapitre nous présentons logiciel SIMONE utilisé pour la simulation.
- Le quatrième chapitre est réservé pour l'analyse des données de base ainsi que l'évaluation de la prévision de la demande en gaz à long terme et hypothèses de travail.
- Le cinquième chapitre est consacré à la modélisation et l'optimisation du problème et l'analyse des résultats de la simulation.
- Enfin, nous terminons notre travail par une conclusion générale portant sur ce qui a été élaboré.

Chapitre 01 : Généralités

1.1 Introduction

Confrontés à une problématique d'optimisation liée au transport des hydrocarbures dans ce chapitre, nous introduirons la terminologie nécessaire avant de décrire le problème et ses aspects.

1.2 Définition des hydrocarbures

Les hydrocarbures sont des molécules organiques composées uniquement de carbone et d'hydrogène. Ce sont deux carburants importants qui sont inflammables comme le pétrole et le gaz naturel. Ils ne se mélangeront pas non plus avec de l'eau.

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.

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 de 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 (c'est le cas sous l'eau).

1.3.2 Les caractéristiques de la canalisation

Les caractéristiques de la canalisation ainsi définies, diamètre et épaisseur permettant de fixer pression de service et perte de charges, conduisant à la détermination de l'énergie de pression à fournir au fluide par pompage ou par compression, le problème simple pour les fluides incompressibles, pour lesquels la perte de charges est proportionnelle à la distance, devient évidemment plus complexe pour les gaz, pour lesquels la perte de charge dépend de la pression moyenne dans le tronçon de la canalisation, donc l'espacement des points d'injection de puissance, c'est-à-dire des stations de compression.

1.3.3 Les types de canalisation

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**.
- Pour le pétrole, on parle **d'oléoduc**.
- Pour l'eau on parle **d'aqueduc**.
- Pour l'eau salée, on utilise le terme de **saumoduc**.
- Pour l'oxygène, on utilise le terme d'oxygénoduc ou **d'oxyduc**.
- Pour l'hydrogène, on utilise le terme **d'hydrogénoduc**.

1.4 Définition du gaz naturel :[1]

Le gaz naturel présente un avantage concurrentiel par rapport aux autres sources d'énergie. En outre, les progrès technologiques améliorent constamment l'efficacité des techniques d'extraction, de transport et de stockage ainsi que le rendement énergétique équipements fonctionnant à base de gaz naturel. Le gaz naturel est incolore, inodore, insipide, sans forme particulière et plus léger que l'air, il se représente sous sa forme gazeuse au-delà de -161°C . Pour des raisons de sécurité, un parfum chimique, « THT » qui lui donne une odeur, lui est souvent ajouté afin de permettre de détecter une fuite de gaz éventuelle et par conséquent éviter une catastrophe.

1.5 Composition du gaz naturel :[1]

Le gaz naturel est un mélange d'hydrocarbures légers comprenant du méthane, de l'éthane, du propane, des butanes. D'autres composés tels que CO_2 , l'hélium, le sulfure d'hydrogène et l'azote peuvent également s'y trouver. Bien que la composition du gaz naturel varie, son composant principal est le méthane (au moins 90%). Il possède une structure d'hydrocarbure simple, composé d'un atome de carbone et de quatre atomes d'hydrogène CH_4 . Le méthane est extrêmement inflammable, il brûle facilement et presque totalement et n'émet qu'une faible pollution. Le gaz naturel n'est ni corrosif, toxique, sa température de combustion est élevée et il possède un intervalle restreint d'inflammabilité, ce qui en fait un combustible fossile sur comparé à d'autres sources d'énergie. En outre, en raison de sa densité de 0,60, inférieure à celle de l'air (1,00), le gaz naturel a tendance à s'élever et peut, par conséquent, disparaître facilement du site où il se trouve par n'importe quelle fissure. Le gaz naturel est une source d'énergie polyvalente qui peut être employée dans des domaines très variés,

traditionnellement, la fourniture de chauffage et d'électricité en sont principaux débouchés. En outre, les préoccupations grandissantes liées à la protection de l'environnement, devraient conduire à accroître encore le recours au gaz naturel dans les transports. (Caractéristiques de gaz naturel Données en Annexe)

1.6 Utilisation du gaz naturel [2]

Le gaz naturel est une énergie propre aux multi-usages. Comme son nom l'indique le gaz naturel ne subit pas de transformation majeure après son extraction, il est initialement incolore et inodore mais pour une plus grande sécurité, il est « odorisé ».

La combustion du gaz naturel produit essentiellement de la vapeur d'eau et du dioxyde de carbone et ne dégage ni fumée, ni particules. Pour une production d'énergie équivalente, le gaz naturel dégage deux fois moins d'oxyde d'azote que le fioul et le charbon et près de 30 % de moins de dioxyde de carbone.

En comparaison aux autres énergies non renouvelables, le gaz naturel est l'énergie rejetant le moins de CO₂ (55 kg par gigajoule de chaleur alors que le pétrole brut en rejette 75 kg et le charbon près de 100). De même, toute chaudière à condensation au gaz naturel émet 2 fois moins de CO₂ qu'une nouvelle installation de chauffage électrique direct.

Le gaz naturel est aujourd'hui souvent utilisé en complément des énergies renouvelables lors de la construction de bâtiments à basse consommation.

Le gaz naturel a deux atouts principaux.

D'une part il représente la meilleure efficacité énergétique de toutes les énergies fossiles du marché. D'autre part il s'agit d'une énergie ne nécessitant pas de capacité de stockage chez le consommateur.

1.6.1 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.

1.6.2 Le secteur industriel

En Algérie, l'industrie représente plus de 15% de la consommation de gaz naturel. Celui-ci est utilisé comme matière première pour ses applications industrielles touchant les secteurs des matériaux de construction, de la chimie plastique et caoutchouc, de l'agro-alimentaire, du textile, des mines et carrières, du raffinage, du bois, papier et liège, du cuir, etc..

1.6.3 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 %.

1.6.4 Les véhicules : Gaz Naturel Véhicules (GNV)

Le gaz naturel est aujourd'hui également utilisé comme carburant pour les véhicules. Il s'agit du même gaz naturel que celui utilisé pour le chauffage ou la cuisson domestique, excepté qu'il a été comprimé afin de faciliter son stockage.

Le GNV est comprimé à 200 bars, pression comparable à celle des bouteilles de plongée sous-marine. Au-delà de la compression, le GNV ne nécessite aucune transformation et reste donc une énergie propre, dégageant bien moins de CO₂ que l'essence ou le diesel. A titre indicatif, plus d'un million de véhicules au gaz naturel roulent déjà dans le monde.

1.7 Le réseau de transport du gaz en Algérie [3]

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.

1.7.1 Le réseau de transport du gaz de SONATRACH/TRC[4]

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 [5] :

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

1.7.1.1 Les gazoducs

Ils sont le moyen de transport du gaz naturel le plus utilisé car ils sont fiables et rentables. Des tubes d'acier sont soudés pour former une canalisation pouvant atteindre plusieurs kilomètres de long. Le diamètre de ces tubes varie entre 20" à 48" (1"pouce"=2.54cm)

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, le gazoduc est installé à même le sol. Les gazoducs sous-marins sont posés au fond de l'océan.

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

- les ouvrages actifs et passifs (poste de sectionnement, de coupure, gares racleurs, postes de livraison...)
- La longueur en kilomètres.
- Le diamètre en pouce.
- le produit qu'il transporte.
- Le nombre de stations de compression.
- La provenance et la destination.

Il existe deux types de gazoducs :

- **Gazoducs Amont :**

Les lignes amont transportent le gaz produit par les gisements vers les Centres de Dispatching.

- **Gazoducs Aval :**

Les lignes avales transportent le gaz acheminé par les Gazoducs Amont vers les principales installations gazières nationales au nord ainsi que les clients de Sonatrach (exportation).



Figure 1-1: Un gazoduc de l'amont vers l'aval

1.7.1.2 Terminal de départ et d'arrivée

- **Terminal de départ**

Un terminal de départ est un point source qui sert à exploiter le gaz via le réseau principal, 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 pour permettre l'exploitation à des valeurs basses en débit et pression,
- Un banc de comptage.

- **Terminal arrivée**

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,
- Un terminal d'arrivée peut également comporter un bacs de stockage.

1.7.2 Le réseau de transport du gaz de SONELGAZ/GRTG [3]

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.

Ajouté aux gazoducs, le réseau de transport du gaz est équipé de systèmes qui servent de guides et facilitent les tâches de maintenance et d'exploitation en vue d'assurer une meilleure fiabilité des ouvrages et une plus grande sécurité d'exploitation. Pour cela le réseau gaz est équipé de postes actifs et de postes passifs.

1. Les postes actifs :

Les postes actifs sont composés de :

a) Postes de pré-détente :

Il s'agit des postes placés sur le réseau de transport et se subdivisent en 02 catégories :

- La pré-détente technique qui sert à étager la détente entre 02 réseaux de transport qui peuvent avoir la même pression maximale de service. Sa mise en place 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 qui est placée 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 et est donc dotée de dispositifs de sécurité de la pression avale.

b) Postes de détente ou de livraison :

Les postes de détente ou poste de régulation permettent de diminuer la pression du fluide à l'aval. Ces postes sont souvent associés à des postes de livraison.

Les différents postes de détente existant sur le réseau de transport gaz peuvent être des :

- Postes de détente unique où la détente se fait de façon directe, c'est-à-dire la pression amont est de 70 bars et celle avale de 4 bars,
- Des postes de détente où la pression amont est de 20 bars et celle avale de 4 bars.

c) Choix de type de poste

Le choix qui consiste à déterminer le type de poste à installer, poste de détente unique ou de détente étagée (poste de pré-détente et poste de détente), doit tenir compte :

- Du cadre réglementaire
- Du nombre de clients à alimenter,
- De l'implantation du poste,
- Des prévisions de consommation,
- De l'économie générale du projet.

Suivant les besoins des consommateurs, les postes de détente ou de livraison sont classés comme suit :

- Les postes de livraison pour les clients industriels,
- Les postes de livraison pour les centrales électriques,
- Les postes de livraison pour les distributions publiques.

2. Les postes passifs :

Les postes passifs sont composés de :

a) 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.

b) Postes de piquage :

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

c) Postes de coupure :

Ils sont utilisés en cas de travaux sur le réseau lorsqu'il est nécessaire d'isoler une partie des canalisations mais aussi lors du nettoyage des canalisations. Cette opération se fait grâce à l'utilisation d'un piston qui est introduit dans la canalisation et qui récupère l'ensemble des particules déposées au fil du temps par le gaz naturel dans le tube.

d) Postes de sectionnement :

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.

e) 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.

1.8 Historique du transport du gaz en Algérie :[6]

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 venu 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 Abbès, 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 ».

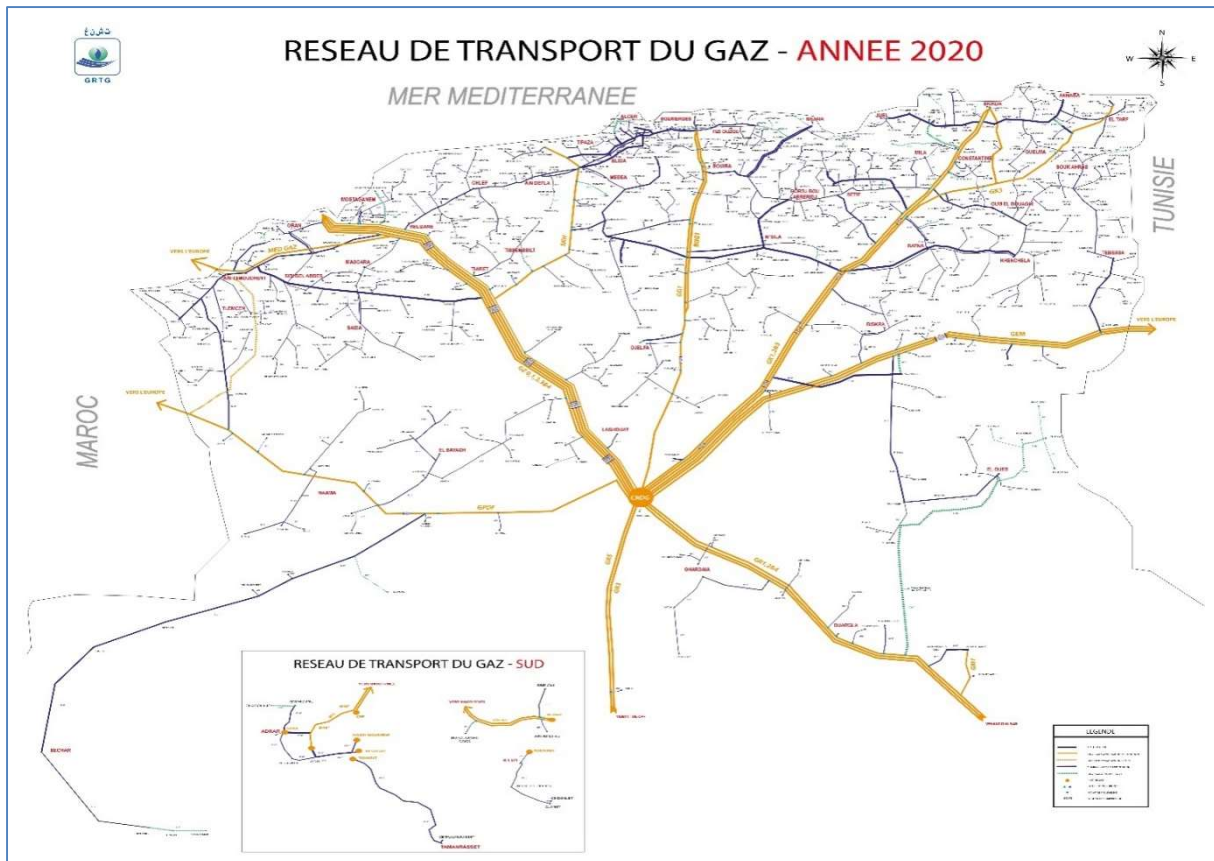


Figure 1-2: Réseau du transport du gaz naturel En Algérie [3]

1.9 Réseau de transport du gaz naturel de la région d'El Oued [7]

Le réseau de transport du gaz naturel desservant cette région, communément appelé par le GRTG le réseau de transport du gaz Meghaier – Touggourt – El Oued, est alimenté actuellement par le point de prélèvement Meghaier , raccordé à partir du gazoduc Sonatrach Ø48’’ GEM.

Le réseau de transport du gaz Meghaier – Touggourt – El Oued se compose principalement des gazoducssuivants :

- Ø16’’ Meghaier - Djamaa, d’une longueur de 120 km ;
- Ø20’’ Djamaa - Touggourt, d’une longueur de 73,5 km ;
- Ø16’’ Touggourt - El Oued, d’une longueur de 96,0 km ;
- Ø8’’ Touggourt - Hadjira, d’une longueur de 86,5 km ;
- Ø8’’ Reguiba, d’une longueur de 29,8 km ;
- Ø8’’ Nakhla, d’une longueur de 19,4 km ;

Au 31.11.2020, ce réseau de transport du gaz dessert :

- Trente-sept (37) postes de distribution publique ;
- Une (01) centrale électrique ;
- douze (12) clients industriels ;

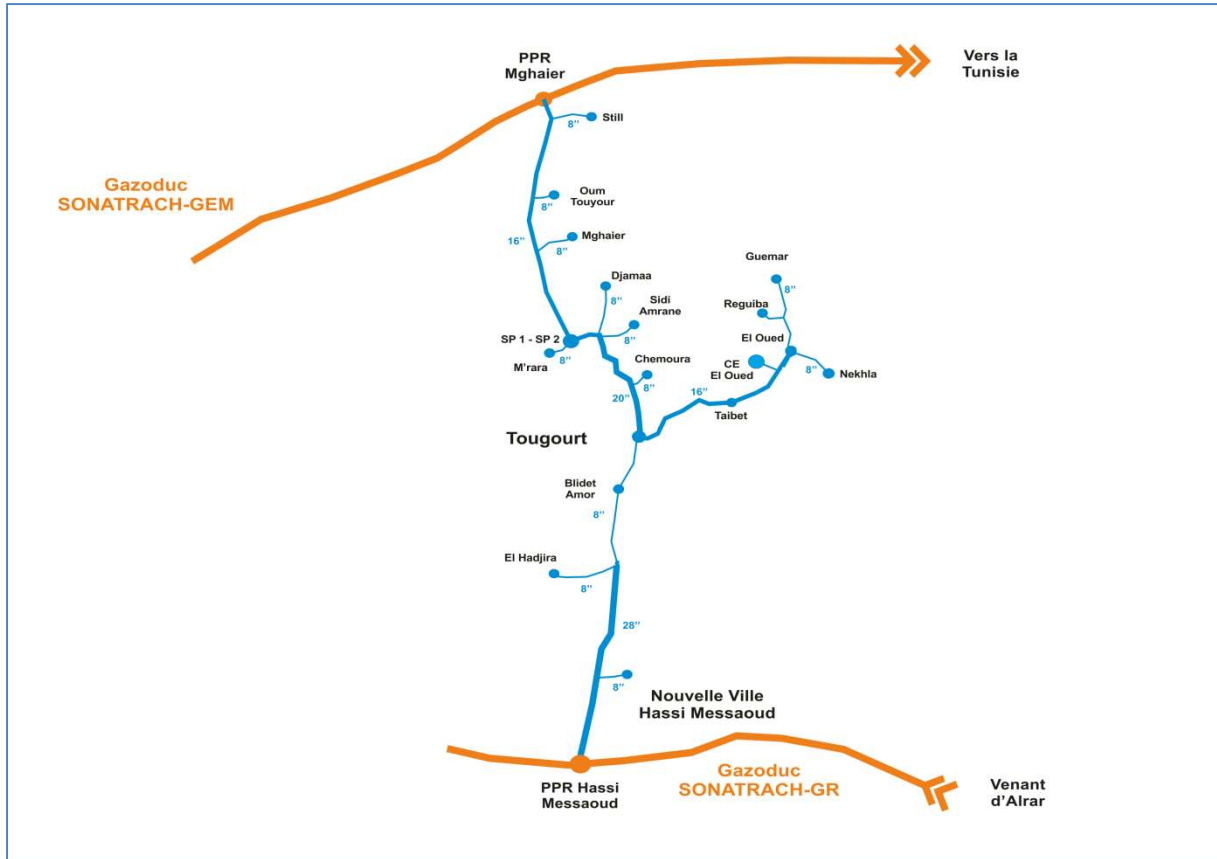


Figure 1-3: Réseau de transport du gaz naturel de la région d'El Oued [7]

1.10 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 02: l'écoulement d'un fluide dans les conduites

2.1 Introduction :

L'état d'un fluide au repos est défini en chaque point de l'espace qu'il occupe par les paramètres suivants : Pression, température et poids spécifique. Si le fluide est en mouvement, il est nécessaire de connaître aussi la grandeur et la direction de sa vitesse en fonction du temps.

Dans ce qui va suivre nous allons présenter les lois fondamentales qui définissent L'écoulement d'un gaz réel dans les conduites.

2.2 Définition du fluide :[8]

Les fluides peuvent prendre la forme exacte des récipients qui les contiennent. La déformation qu'ils subissent peut se faire avec ou sans résistance. Dans le premier cas, on dira que le fluide est *visqueux ou réel*, alors que dans le second, il sera dit parfait.

Les fluides peuvent aussi être classés en deux autres catégories : les *liquides* et les *gaz*. On considère que les liquides sont *incompressibles*, ce qui n'est vrai qu'en première approximation, alors que les gaz sont essentiellement *compressibles*. Dans certains cas cependant, l'écoulement d'un gaz peut s'étudier comme celui d'un fluide incompressible, en particulier, lorsque la température et la pression varient faiblement.

2.3 Viscosité d'un fluide :[8]

La viscosité est le critère qui différencie un fluide réel d'un fluide parfait. Elle est la cause des frottements internes qui entraînent la dissipation d'énergie mécanique en chaleur.

On distingue deux types de viscosité :

$$\text{➤ Viscosité dynamique : } \tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \quad (2.1)$$

$$\text{➤ Viscosité cinématique : } \nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.2)$$

A viscosité augmente avec la pression mais l'influence de la température se manifeste aussi. Ainsi, à la pression atmosphérique et aux pressions relativement basses, la viscosité des gaz augmente avec la température.

Dans le cas d'un liquide ou d'un gaz réel, il existe des interactions à distance (de type potentiel) entre les molécules. Le déplacement relatif entre couches s'écoulant à des vitesses différentes conduit alors à augmenter la distance entre molécules en interaction potentielle. L'opposition de la force d'interaction à ce déplacement entre également dans la constitution de la force de viscosité.

2.4 Fluides compressibles et incompressibles :

Un fluide incompressible est un fluide dont la masse volumique ρ est constante, indépendante de la pression P . Un fluide compressible est un fluide pour lequel il faut tenir compte des variations de ρ avec P . Dans la pratique, il est nommé fluide incompressible un fluide pour lequel ρ est indépendante de P et de la température T .

Dans le cas des fluides compressibles, il faut préciser les conditions (P, T) pour connaître l'expression de ρ . Les gaz sont des fluides compressibles.

2.5 Equation d'état : [9]

L'étude de l'écoulement des fluides compressibles dans les gazoducs a pour objet la détermination de la pression, de la vitesse, de la masse spécifique et de la température du fluide. De ce fait on aura comme équation générale :

$$F(P, T, \rho) = 0 \quad (2.3)$$

Dans le cas des gaz parfait, la loi de Mariotte, complétée par les travaux de Gay-Lussac, conduit à l'équation d'état des gaz parfaits :

$$PV = NR T \quad (2.4)$$

En désignant par M la masse molaire d'un gaz on pose :

$$r = \frac{R}{M}$$

Dans ces conditions, r est une constante qui dépend de la nature du gaz et l'équation d'état d'un gaz parfait peut s'écrire

$$PV = mrT \text{ Ou } PV = rT \quad (2.5)$$

Le comportement des gaz réels dans le domaine des pressions de l'ordre de $P > 10$ atm a montré que celles-ci ne satisfont pas l'équation d'état des gaz parfait. Puisque dans le transport des gaz par gazoducs on rencontre des pressions de l'ordre de dizaines d'atmosphères, il est nécessaire que l'équation d'état soit prise sous une forme qui tienne compte du facteur de compressibilité.

$$Z = \frac{PV}{RT} \quad (2.6)$$

Où z , le facteur de compressibilité est une fonction de la pression et de la température (ce facteur est égal à 1 pour les gaz parfaits). Il existe un diagramme de compressibilité généralisé qui

Donne z en fonction de la pression et de la température réduites P_r et T_r . Ce diagramme fournit le facteur z avec une assez bonne précision pour un gaz quelconque.

Aussi a-t-on cherché à traduire les propriétés des fluides par des équations d'état plus conformes à la réalité. La plus célèbre est celle de *VAN DER WAALS*.

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right)(V-b) = RT \quad (2.7)$$

Elle présente l'avantage de ne comporter que deux paramètres a et b , qui peuvent s'exprimer en fonction des coordonnées critiques (P_c, V_c, T_c). Pour cela, on écrit que pour ce triplet, deux Conditions sont réalisées :

$$\frac{\partial P}{\partial v} = 0 \text{ et } \frac{\partial^2 P}{\partial v^2} = 0 \quad (2.8)$$

Les constantes a et b sont déterminées expérimentalement en fonction de P_c, V_c, T_c :

$$a = \frac{9}{8} R T_c V_c \quad (2.9)$$

$$b = \frac{RT_c}{8P_c} \quad (2.10)$$

2.6 Equation de continuité [10]:

L'équation de continuité exprime la liaison qui existe entre le mouvement des molécules voisines.

L'augmentation pendant le temps dt de la masse contenue dans l'élément de volume est égale à la différence entre la masse qui entre et la masse qui sort (conservation de masse).

Tous calculs faits, l'équation de continuité, s'écrit :

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + A \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (2.11)$$

Pour une section constante l'équation (II.11) devient :

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (2.12)$$

2.7 Equation du mouvement : [11]

Les équations de continuité et d'état ne permettent pas une représentation complète de l'écoulement. Dans l'hypothèse d'un écoulement isotherme et d'un point de vue hydrodynamique, l'écoulement des fluides dans des conduites se réduit en générale au mouvement d'un fluide visqueux compressible dans un espace limité par des parois solides. Si l'écoulement est laminaire, alors l'équilibre dynamique des forces s'exprime par les équations de Navier-Stokes qui, pour une Conduite horizontale, deviennent :

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + V \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right) \quad (2.13)$$

Les nombreuses recherches expérimentales faites par Weisbach et Darcy sur l'écoulement des fluides par conduites ont permis d'établir pour la perte de pression la relation suivante :

$$\frac{\partial P}{\partial x} = -\frac{\lambda}{2D} \rho u^2 \quad (2.14)$$

L'équation (II.14) permet d'écrire l'équation du mouvement en considérant une valeur Moyenne de la vitesse sur la section de la conduite, sous la forme :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\lambda}{2D} u^2 = 0 \quad (2.15)$$

D'autre part l'équation de continuité (2.12) peut s'écrire :

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + u \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \quad (2.16)$$

En introduisant (2.16) dans (2.15), l'équation du mouvement prend la forme suivante :

$$\frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial \rho u^2}{2D} = 0 \quad (2.17)$$

Qui après intégration sur toute la longueur de la conduite devient :

$$\int_0^L \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} dx + (\rho u^2)_{x=L} - (\rho u^2)_{x=0} = P(0,t) - P(L,t) - \int_0^L \frac{\lambda \rho u^2}{2D} dx \quad (II.17.a)$$

La section de la conduite étant constante, la vitesse massique varie peu entre les extrémités de la conduite ; on peut donc écrire :

$$(\rho u^2)_{x=L} - (\rho u^2)_{x=0} \cong \rho u (u_k - u_0) \quad (2.17.b)$$

Avec u_k est la vitesse qui correspond au point d'alimentation de la conduite, et u_0 est la vitesse au point de consommation, dans la pratique l'écoulement est assez lent donc le terme $\rho u (u_k - u_0)$ est négligeable dans la conduite de grandes longueurs, donc le

terme $\frac{\partial(\rho u)^2}{\partial x}$ est négligé dans l'équation du mouvement (II.17) et si de plus on a $c^2 = \frac{dp}{d\rho}$

alors $\frac{\partial p}{dx} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial \rho}{dx}$ en utilisant ensuite l'équation de continuité on obtient cette autre forme de l'équation du mouvement Dans les conditions de l'écoulement des gaz par gazoducs :

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right) \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\lambda \rho u^2}{2D} = 0 \quad (2.17.b)$$

Ou c'est la vitesse du son.

D'autre part la vitesse des gaz dans les gazoducs est beaucoup inférieure à celle du son,

De sorte $\left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right) \frac{\partial p}{\partial x} \cong \frac{\partial p}{\partial x}$ et par conséquent, pour un écoulement des gaz dans les gazoducs

L'équation de mouvement sera :

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\lambda \rho u^2}{2D} = 0 \quad (2.18)$$

2.8 Régimes d'écoulement :

En écoulement de fluide réel, on distingue deux grands types de comportement. Chacun de ces comportements caractérise un régime d'écoulement particulier : le *régime laminaire* et le *régime turbulent*. L'écoulement d'un fluide est dit laminaire lorsqu'il est strictement permanent ou lorsque le champ de vitesse évolue de façon continue et ordonnée en fonction du temps et de l'espace. Pour un tel écoulement d'un fluide réel, la vitesse peut avoir une intensité variable dans une section droite à cause de la viscosité. La vitesse est nulle pour les particules voisines de toute surface matérielle immobile et maximale pour les points les plus éloignés.

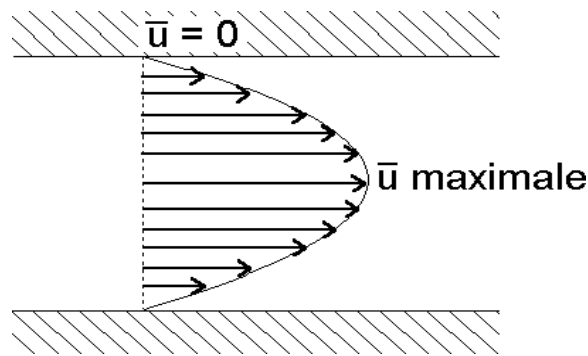


Figure 2-1 : Profil de vitesse dans un écoulement laminaire

Dans ce type d'écoulement, en régime permanent, les trajectoires (qui sont alors confondues avec les lignes de courant) ne se coupent jamais au cours de l'écoulement.

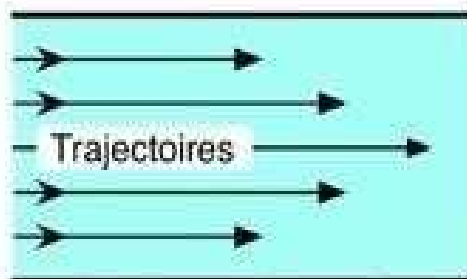


Figure 2-2 : Trajectoire dans un écoulement laminaire

Pour les écoulements turbulents le régime permanent n'existe pas. On ne peut constater, dans certains cas, qu'un régime permanent en moyenne, encore appelé : pseudo-permanent dans lequel les trajectoires s'enchevêtrent. En effet, l'observation d'un tel écoulement montre que si, dans l'ensemble ou en moyenne, les particules fluides s'écoulent bien dans une direction donnée, en tout point, quel que soit le temps "macroscopique", la vitesse observée à cette échelle n'est en fait qu'une vitesse moyenne. L'observation à une échelle de temps plus réduite fait apparaître un mouvement désordonné des particules de fluide.

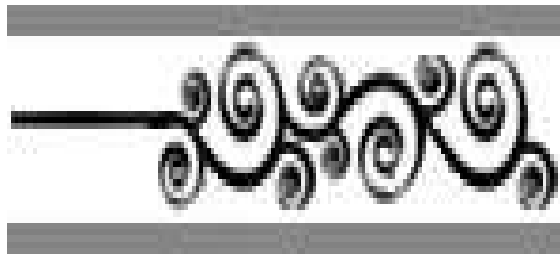


Figure 2-3 : Représentation d'un écoulement turbulent

Dans le cas précis d'un tube de section circulaire, le critère qui permet de classer un écoulement dans l'une ou l'autre de ces deux catégories est une grandeur sans dimension appelée *nombre de REYNOLDS*.

$$Re = \frac{\rho u D}{\mu} \quad (\text{II.19})$$

On note que, quel que soit le fluide :

- Pour $Re < 2000$ l'écoulement est laminaire ;
- Pour $Re > 3000$ l'écoulement est turbulent.

Lorsque le nombre de Reynolds est compris entre ces deux valeurs, le type d'écoulement dépend d'un certain nombre d'autres facteurs dont l'état de la canalisation. [12]

2.9 Pertes de charge :

La pression d'un fluide réel diminue tout au long d'une canalisation dans laquelle il s'écoule, même si elle est horizontale et de section uniforme. On parle alors de *perte de charge*.

Expérimentalement on constate que les pertes de charge générales dépendent des éléments suivants :

Longueur de la canalisation : la perte de charge est directement proportionnelle à la longueur de la canalisation : elle augmente quand la longueur de la canalisation augmente.

➤ **Viscosité du liquide** : plus le liquide est visqueux, plus les frottements sont importants donc la perte de charge augmente.

➤ **Diamètre intérieur** : quand le diamètre diminue, la perte de charge augmente considérablement. Le liquide a plus de difficultés à s'écouler donc les frottements augmentent pour un débit identique.

➤ **Débit** : plus le débit augmente et plus les forces de frottement augmentent pour un diamètre identique.

➤ **Rugosité de la canalisation** : la rugosité correspond à la notion habituelle de présence plus ou moins importante d'aspérités sur une surface. On constate ici que lorsque la rugosité d'une canalisation augmente les frottements seront plus nombreux donc la perte de charge augmentera. La perte de charge est donc fonction du matériau de la canalisation.

On utilise dans ce cas le théorème de Bernoulli généralisé, qui s'écrit :

$$P_1 + \rho g h_1 + \rho \frac{u_1^2}{2} = P_2 + \rho g h_2 + \rho \frac{u_2^2}{2} + \Delta P_{1,2} \quad (2.20)$$

$\Delta P_{1,2}$, : étant la perte de charge entre la section 1 et la section 2 de la canalisation.

On distingue deux types de pertes de charge :

- Pertes de charge régulières ou souvent appelées linéaires;
- Pertes de charge singulières.

2.9.1 Pertes de charge régulières :

Entre deux points séparés par une longueur L , dans un tuyau de diamètre D apparaît une perte de charge due aux dimensions de la canalisation et de son état de surface interne ; cette perte est dite *perte de charge régulière*. Elle est exprimée sous la forme suivante (Relation de Weisbach et Darcy) :

$$\Delta P = \lambda \frac{\rho u^2 L}{2 D} \quad (2.21)$$

Le coefficient λ est un coefficient sans dimension appelé *coefficient de perte de charge régulière*. Le calcul des pertes de charge repose entièrement sur la détermination de ce coefficient et dépend de la nature de l'écoulement :

➤ **Cas de l'écoulement laminaire :**

Dans ce cas le coefficient est uniquement fonction du nombre de Reynolds Re ; l'état de la surface n'intervient pas et donc ne dépend pas de ε (Rugosité absolu de la canalisation), ni de la nature de la tuyauterie :

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (2.22)$$

➤ **Cas de l'écoulement turbulent :**

Les phénomènes d'écoulement sont beaucoup plus complexes et la détermination du coefficient de perte de charge λ résulte de mesures expérimentales. C'est ce qui explique la diversité des formules anciennes qui ont été proposées pour sa détermination, citons par exemple, les expressions suivantes :

➤ **Expression de Blasius :**

$$\lambda = 0,316 Re^{-0,25} \quad (2.23)$$

Valable pour $2000 < Re < 10^5$ et des conduites lisses $\frac{\varepsilon}{D} < 10^{-3}$

➤ **Expression de Karman :**

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log \frac{Re}{3,71D} \quad (2.24)$$

Cette relation, dans laquelle le nombre de Reynolds n'intervient pas est applicable aux Écoulements dits hydrauliquement rugueux $Re > 10^5$ et $\frac{\varepsilon}{D} > 10^{-3}$.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right) \quad (2.25)$$

➤ **Expression de Prandtl :**

Cette relation, dans laquelle la rugosité n'intervient pas, est valable pour les écoulements dits hydrauliquement lisses (conduites lisses) $Re > 10^5$ et $\frac{\epsilon}{D} < 10^{-3}$

➤ **Expression de Colebrook :**

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{\epsilon}{3,71D} \right) \quad (2.26)$$

Elle correspond à une association des deux équations précédentes. On considère souvent cette Relation comme l'équation universelle des écoulements turbulents.

2.9.2 Pertes de charge singulières :

La résistance à l'écoulement provoquée par les accidents de parcours (coudes, élargissements ou rétrécissement de la section, organes de réglage, etc.) ; ce sont les *perles de charge accidentelles ou singulières*

La perte de charge entre deux points 1 et 2 encadrant un accident est donné par la relation suivante :

$$\Delta P_{2,1} = \frac{ku^2 \rho}{2} \quad (2.27)$$

Le coefficient K est caractéristique de l'accident : il faut retenir que la perte de charge augmente quand ce coefficient augmente.

2.10 Approximation de la réserve gazométrique

2.10.1 Réserve gazométrique [13]

C'est le volume de gaz régnant dans une conduite aux conditions normales d'exploitation.

$$R = P_m * V_{eau} / P_a * Z \quad (2.28)$$

Avec :

R : Réserve gazométrique (en m³)

P_a : Pression atmosphérique (1,01325 bars)

P_m : Pression moyenne (aux conditions normales d'exploitation) en bars.

Z : Facteur de compressibilité.

➤ **Volume en eau** : Volume de la conduite à la pression atmosphérique (en m³).

$$V_{\text{eau}} = \text{PI} * D^2 * L / 4 \quad (2.29)$$

Avec :

PI = 3,14159265

D : Diamètre intérieur de la conduite en mètre

L : Longueur de la conduite en mètre

➤ **Pression moyenne P_m** : Pression moyenne entre la pression maximale (prélèvement) et la pression minimale sur une conduite (bout d'antenne).

$$P_{\text{moy}} = 2/3 * (P^3_{\text{max}} - P^3_{\text{min}}) / (P^2_{\text{max}} - P^2_{\text{min}}) \quad (2.30)$$

2.10.2 Réserve gazométrique exploitable :

Volume de gaz, dans une conduite, utile pour l'alimentation des clients.

$$R_{\text{exp}} = (P_{\text{moy}} - P_{\text{moy-cr}}) * V_{\text{eau}} / (P_a * Z) \quad (2.31)$$

Avec :

R_{exp} : Réserve gazométrique exploitable (en m³)

P_{moy-cr} : Pression moyenne aux conditions critiques d'exploitation (en bars).

2.11 Conclusion :

A travers ce chapitre nous avons fait une synthèse des lois fondamentales qui régissent l'écoulement d'un gaz réel à travers une conduite

Chapitre 03: Présentation de l'outil de travail SIMONE

3.1 Introduction :

Compte tenu de la diversité des facteurs impliqués dans la recherche sur les réseaux de gaz naturel, l'utilisation de moyens de calcul performants est indispensable, ces moyens étant essentiellement des outils de simulation qui serviront de base à la définition des opérations réalisées dans le milieu. Et à long terme.

Les outils dits de «simulation» nous fournissent des fonctions puissantes, y compris l'édition et la construction géométriques, de multiples méthodes de construction de modèles et de multiples solutions pour simuler des conditions réelles. Les informations sur les performances de conception nous sont renvoyées sous forme graphique, ce qui nous permet de mieux comprendre et communiquer le processus de conception. Leurs puissantes fonctions sont faciles à utiliser et constituent un moyen intelligent de nous guider tout au long du processus de simulation.

Dans ce chapitre nous définirons ce qu'est la modélisation des réseaux de transport du gaz naturel, pour ensuite passer à la présentation de l'outil de travail SIMONE avec une synthèse des lois utilisées par cet outil.

3.2 La modélisation :

La modélisation d'un système consiste à lui donner une description simplifiée et une image virtuelle

Dans le but d'examiner le fonctionnement et le comportement de ce système par simulation. Elle permet de :

- Réaliser un grand nombre d'essais et de simulations dans un temps très réduit.
- Réduire substantiellement les coûts et les délais.
- Reproduire des situations extrêmes impossibles à tester réellement.

Le développement du matériel informatique nous a donné la possibilité d'utiliser des modèles de plus en plus puissants et de résoudre des problèmes mathématiques très complexes en termes de puissance et de vitesse. En outre, le secteur de l'énergie, en particulier les secteurs de l'électricité et du gaz naturel, est l'une des activités dans lesquelles la sélection de la technologie implique des décisions d'investissement majeures. Les conséquences de la décision se déroulent sur de nombreuses années, et il est nécessaire de formuler clairement des alternatives et d'envisager l'avenir. Le rôle de l'ingénieur est de développer la meilleure solution techniquement et économiquement, afin qu'il soit possible de répondre à la demande à un risque tolérable.

3.3 Processus de simulation :

Le processus de la simulation des systèmes gaziers peut être représenté par l'organigramme ci- dessous :

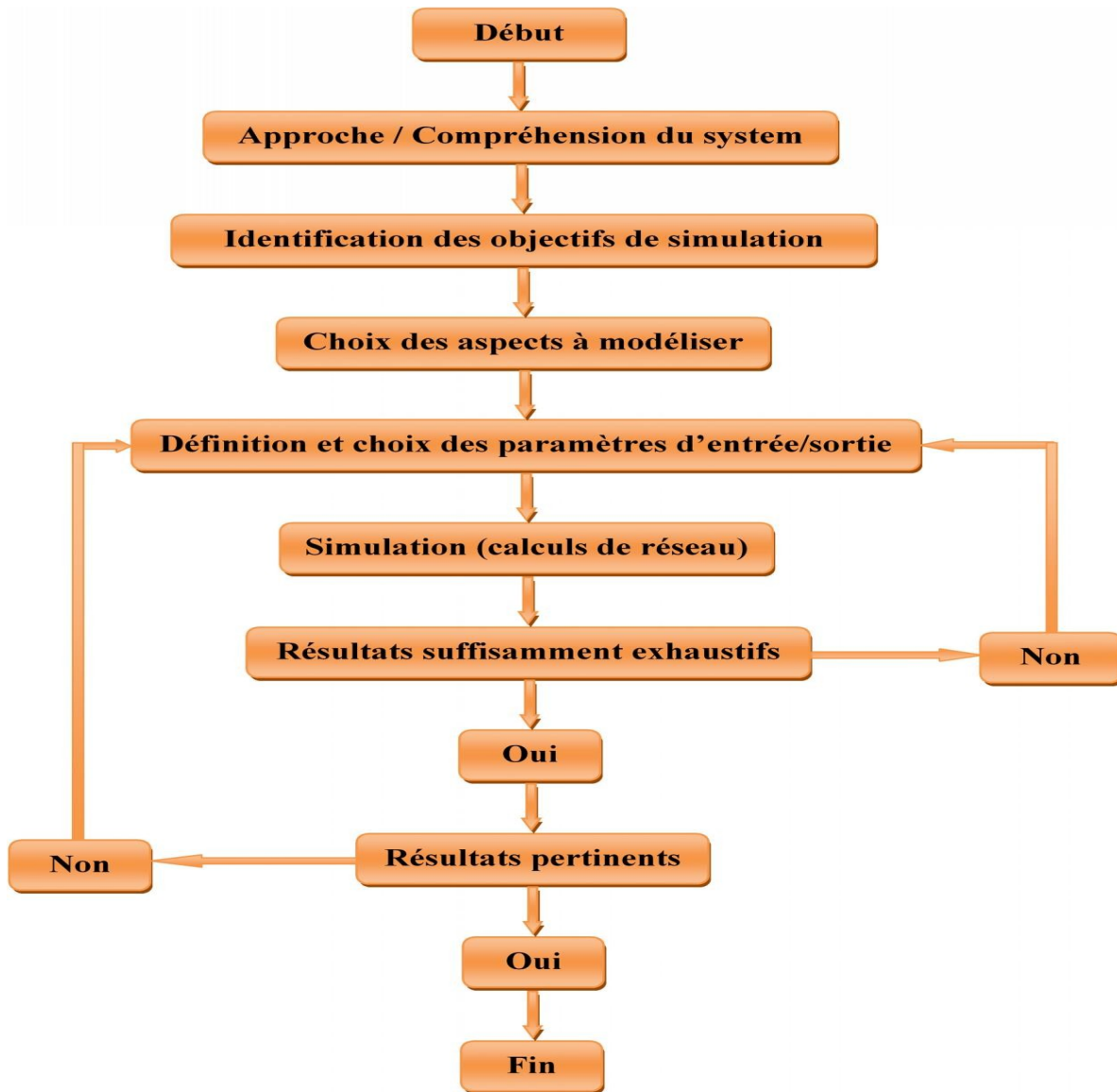


Figure 3-0-1: Organigramme représentant le processus de simulation.

Les calculs du réseau et l'interprétation des résultats forment une section Facteurs qui déterminent la fiabilité de la simulation.

3.4 Le développement du réseau transport gaz en Algérie :

Le transport du gaz par canalisations est reconnu comme étant le moyen le plus sûr et le plus économique par rapport aux autres moyens de transport de l'énergie. Son développement a été très rapide ces dernières années suite à l'accroissement continu des besoins du marché national en énergie gazière.

Le développement du réseau de transport du gaz Algérien répond aux :

- **Besoins du marché** : ces besoins concernent trois types de consommateurs :

- Les distributions publiques,
- Les clients industriels et
- Les centrales électriques.

3.5 Les outils de planification à Sonelgaz :

Le GRTG utilise un modèle de calcul scientifique qui été acquis auprès d'organismes étrangers, il s'agit de :

SIMONE : outil de planification et de gestion des réseaux transport et distribution du gaz acquis en 2007.

3.6 Applications des outils de simulation :

L'utilisation d'un outil de planification et de gestion des réseaux gaz permet la simulation de l'état constant et dynamique et l'optimisation du développement des réseaux à court, moyen et longs termes.

Le développement actuel des outils de planification permet d'exécuter tous les calculs pour un système de canalisations quel que soit sa configuration, il n'y a pas de contraintes pour la complexité de la structure du système de canalisations à simuler.

Actuellement à GRTG, le logiciel utilisé permet la simulation d'un réseau comprenant plus de 12 000 éléments (tube, vanne, régulateur, station de compression, résistance etc.), cette capacité, déjà importante, peut être portée à 250 000 éléments.

Il permet aussi d'effectuer des calculs pour une amplitude de pression de 0.01 bar à 300 bars et pour un gaz ou un mélange de gaz de n'importe quel type.

3.7 Présentation de l'outil SIMONE : [14]

SIMONE calcule tous les processus dans les réseaux de gaz à l'aide de scénarios dynamiques et statiques. Il est possible de définir n'importe quel nombre de réseaux et pour chaque réseaux de nombreux cas de simulation (scénarios).

SIMONE est un logiciel de simulation et d'optimisation pour les réseaux gaz. Sa philosophie est d'édifier un premier modèle de réseau et puis démarrer des scénarios avec différentes conditions d'entrée.

3.7.1 Applications de SIMONE : [14]

Ces applications sont dirigées vers le gaz naturel et les autres types de gaz à partir de système basse pression jusqu'à 300 bars et des températures qui varient entre (-20°C) jusqu'à (130°C) pour des phases gazeuses seulement.

3.7.2 Objets du réseau : [14]

Le réseau est constitué d'éléments tubes et non tubes. Pour les éléments tube ça englobe les canalisations et pour les éléments non tube on trouve les stations de compression, régulateurs, vannes et résistances.

Au bout de chaque canalisation se trouve un ou plusieurs *NŒUDS*, ils peuvent être des nœuds de consommation ou bien une *source*. Dans chaque réseau il doit y avoir au moins une (01) source d'alimentation.

3.7.3 Fonctions principales : [14]

Les fonctions disponibles à partir d'un environnement d'utilisateur sont :

- Simulation statique.
- Simulation dynamique.
- Simulation en temps réelles.
- Optimisation statique.
- Optimisation du développement du réseau.
- Détection et localisation des fuites.

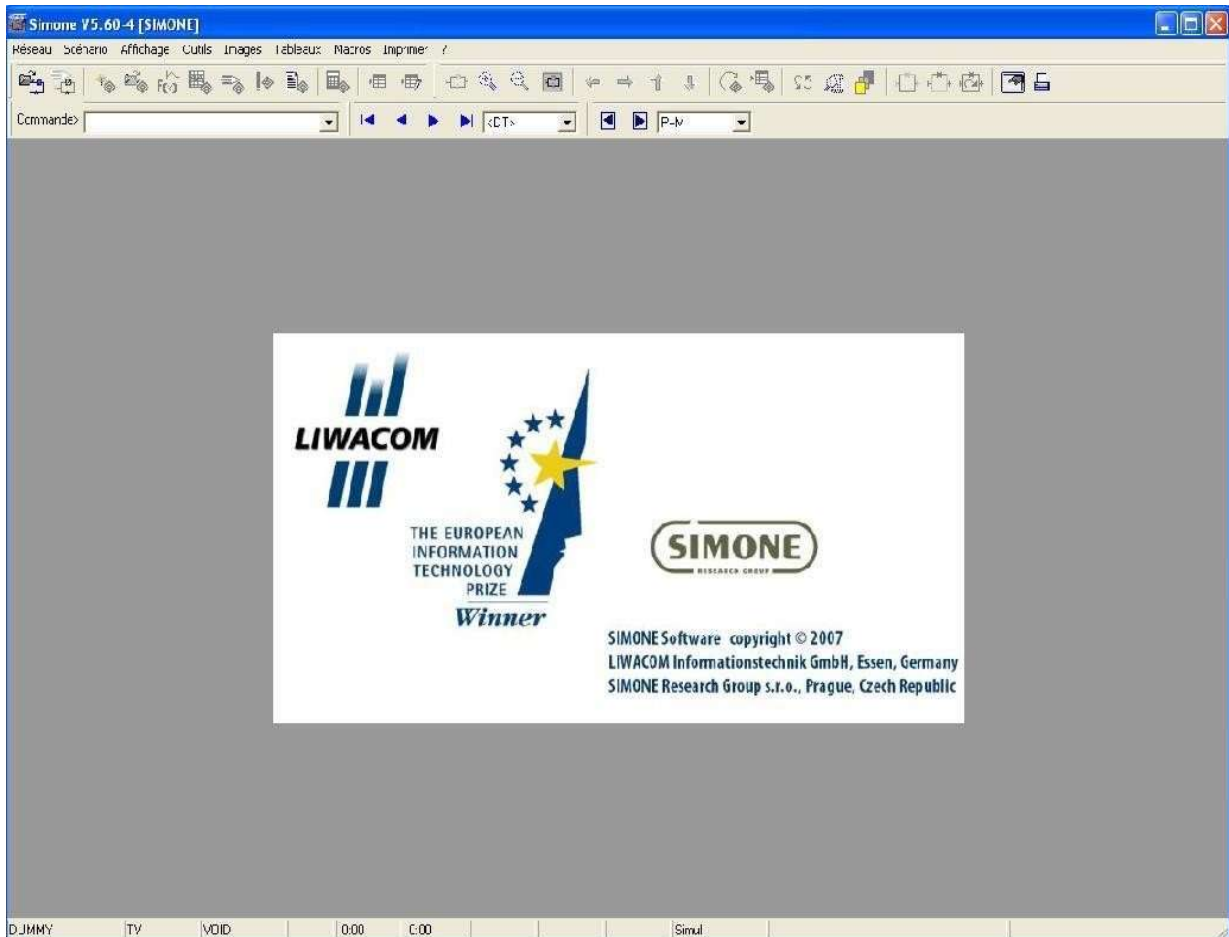


Figure 3-0-2 : Interface du logiciel SIMONE

3.7.4 Lois utilisées par SIMONE : [15]

➤ **Equation de continuité :**

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (3.1)$$

➤ **Equation d'inertie :**

SIMONE est dotée de plusieurs formules de calcul du coefficient de frottement λ qui sont définies comme paramètre de travail du logiciel avant simulation, ces formules sont :

✓ **Formule de HOFFER :**

La formule de HOFFER est une approximation de la formule générale de Colebrook-White, elle est donnée par la relation :

$$\lambda = \frac{1}{[2 \log(\frac{4,518}{Re} \log(\frac{Re}{7} + \frac{\epsilon}{3,71D}))]^2} \quad (3.2)$$

- **Formule de Nikuradze :**

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \frac{\epsilon}{3,71D} \quad (3.3)$$

- **Formule PMT-1025 :**

$$\lambda = 0,067 \left(\frac{158}{Re} + \frac{2\epsilon}{D} \right)^{0,2} \quad (3.4)$$

Dans cette formule la rugosité de la conduite est prise comme constante ($\epsilon = 0.03\text{mm}$)

➤ **Equation d'état :**

Dans le cas des écoulements dans les gazoducs le facteur de compressibilité z n'est pas négligeable, dans ce qui suit nous allons citer les formules de calcul du facteur de compressibilité ainsi que les équations d'états dont dispose SIMONE :

✓ **Formule AGA (American Gas Association) :**

$$z = 1 + 0,257 P_r - 0,533 \frac{P_r}{T_r} \quad (3.5)$$

Cette formule est utilisable pour le gaz naturel et pour une valeur de pression pouvant aller Jusqu'à 70 bars.

✓ **Formule PAPAY :**

$$z = 1 - 3,52 P_r \cdot \exp(-2,260 T_r) + 0,274 P_r^2 \cdot \exp(-1,878 T_r) \quad (3.6)$$

Cette formule est utilisable pour le gaz naturel et pour une valeur de pression pouvant aller Jusqu'a 150 bars. ²

✓ **Equation Redlich-Kwong :**

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{\sqrt{TV}(V+b)} \quad (3.7)$$

$$\alpha = 0,427 \frac{R^2 T_c^{2.5}}{P_c} \quad (3.8)$$

$$b = 0,087 \frac{RT_c}{p_c} \quad (3.9)$$

Pour les gaz purs, cette formule est la plus précise, elle est souvent utilisé sous sa forme simple avec les définitions de la pression et de la température critique, dans ce cas le facteur de compressibilité est calculé en fonction de (P,T)

✓ **Equation BWR (Benedict-Webb-Rubin) :**

$$p = RT \bar{\rho} + (B_0 RT - A_0 - \frac{C_0}{T}) \bar{\rho}^2 - (bRT - \alpha) \bar{\rho}^3 + a \bar{\rho}^6 + \frac{c \bar{\rho}^3}{r^2} (1 + \bar{\gamma} \bar{\rho}^2 \exp(-\bar{\gamma} \bar{\rho}^2)) \quad (3.10)$$

$A_0, B_0, C_0, a, b, c, \alpha, \gamma$: ce sont des constantes appelées constante BWR, elles sont prédéfinies dans logiciel SIMONE

➤ **Equation AGA8 DC92 :**

$$Z = 1 + B \rho_r - \rho_r \sum_{n=1}^{18} C_n^* + \sum_{n=1}^{58} C_n^* (b_n + c_n k_n \rho_r^{kn}) \rho_r^{bn} \exp(-c_n \rho_r^{kn}) \quad (3.11)$$

b_n, k_n, C_n : sont des constantes prédéfinie

C_n^* : Coefficient dépendant de la composition et de la température du gaz

On a une relation entre la densité réduite et la densité molaire qui est exprimé par :

$$\rho_r = K^3 \bar{\rho} \quad (3.12)$$

Avec : K paramètres propre au mélange gazeux

3.7.5 Scénarios : [14]

Le scenario est un ensemble de données définissant le cours de simulation dans des conditions concrètes. Pour tous les scenarios l'utilisateur doit définir les propriétés suivantes :

- Etat initial.
- Temps initiaux et finales.
- Nom du scenario
- Type de scenario, statique ou dynamique

On peut distinguer deux (02) types de scenarios :

1. Scenario statique :

L'état du réseau, dans une simulation statique, est défini par le fait que les nœuds ont un débit, une pression et une température constante qui ne dépendent pas du temps.

2. Scenario dynamique :

La simulation dynamique peut refléter la réponse du réseau sur les changements des conditions. Pour créer un nouveau réseau on impose un seul état initial, dit l'état zéro (INIT).

Dans l'état initial tous les nœuds ont la même pression et la même température, tous les flux sont égaux à zéro, la station de compression et les régulateurs sont au bipasse et toutes les vannes sont ouvertes.

➤ **Processus du scenario :**

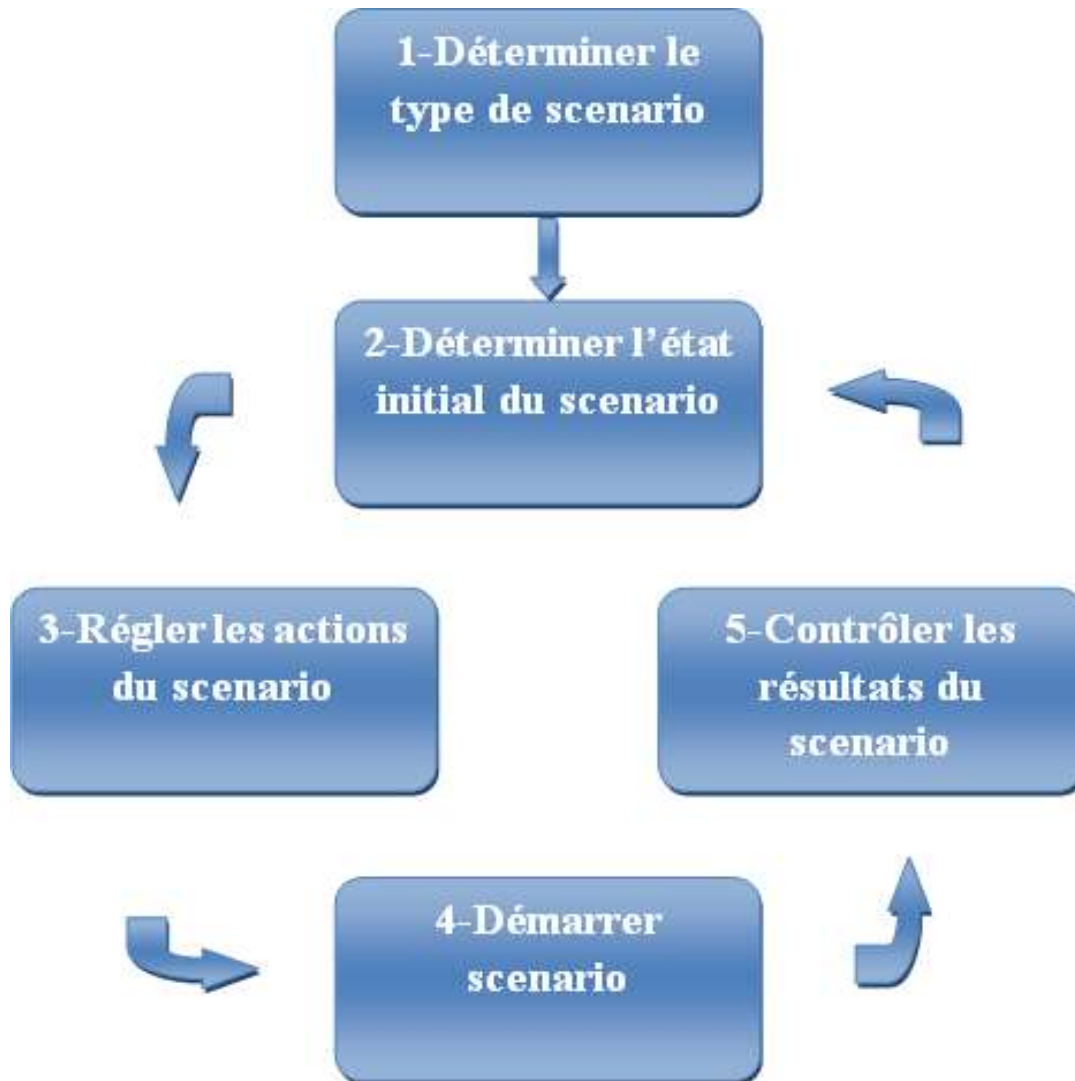


Figure 3-0-3 : Schématisation du processus du scenario

➤ **Affichage des résultats du scenario :**

Les résultats sont d'habitude affichés sous forme graphique en sélectionnant un dessin Concret pour le réseau entier ou bien un de ces éléments comme le montre la figure ci- :

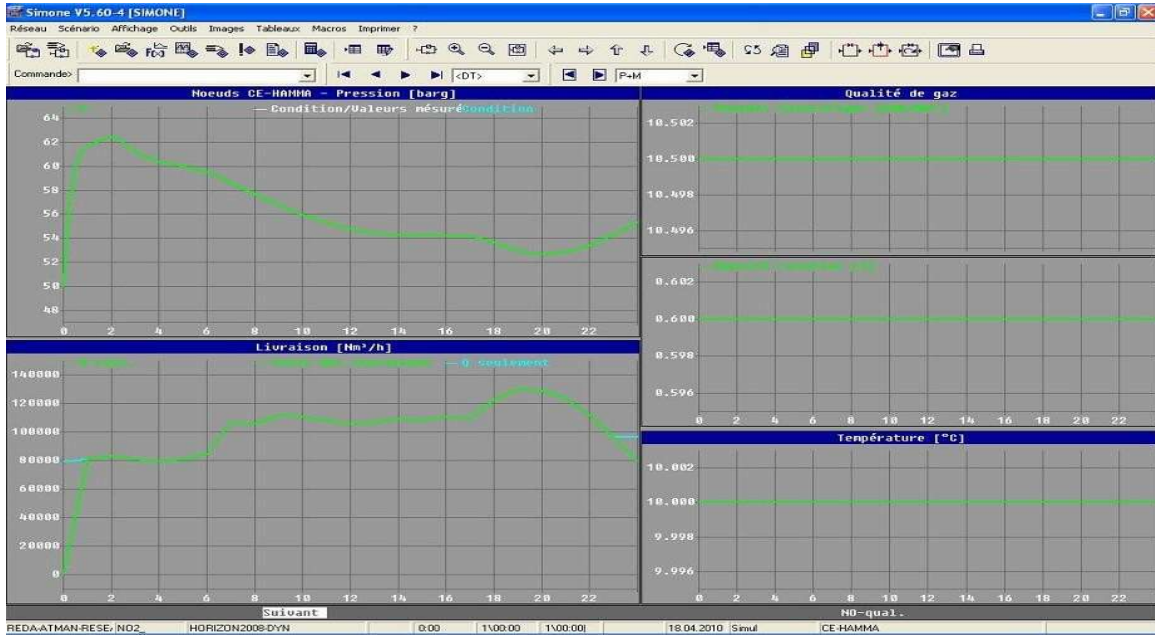


Figure 3-0-4 : Exemple d'affichage pour un nœud du réseau sous forme graphique

On peut avoir aussi un autre type d'affichage par tableau qui caractérise les paramètres du réseau :

The screenshot shows a table window from the SIMONE software. The table lists various network nodes and their associated parameters. The columns are 'Perte de pression', 'Vitesse', and 'Débit'. The first row is highlighted in blue. Below the table are four buttons: 'Fermer', 'Enregistrer', 'Jeu d'objets', and 'Editer jeu d'objets'.

	Perte de pression	Vitesse	Débit	etc
HASSI-RMEL^PIQ-TILGHEMT	1.35	4.70	1137404.25	
PIQ-TILGHEMT^PIQ-OUED-BEL	0.63	4.61	1096618.50	
PIQ-OUED-BEL^P.C.N.1	4.03	4.78	1094709.12	
P.C.N.1^P.C.N.2	2.14	5.02	1089280.25	
P.C.N.2^PIQ-MESSAAD	0.81	5.14	1085827.00	
PIQ-MESSAAD^PIQ-MOUDJBAR	2.42	5.23	1072160.25	
PIQ-MOUDJBAR^P.C.N.3	0.47	5.34	1065939.88	
P.C.N.30001^PIQ-DJELFA	0.64	4.37	1062775.50	
PIQ-DJELFA^PIQ-DAR-CH	1.31	4.30	1029074.12	
PIQ-DAR-CH^P.S.N.2	0.03	4.33	1024179.62	
P.S.N.2^P.C.N.4	1.99	4.39	1022890.06	
P.C.N.4^P.S.N.3	2.31	4.46	1000701.19	
P.S.N.3^PIQ-AIN-LAHD	0.80	4.54	992584.75	
PIQ-AIN-LAHD^P.C.N.5	0.65	4.14	894059.69	
P.C.N.5^PIQ-SIDI-AIS	0.33	3.74	799233.06	
PIQ-SIDI-AIS^PIQ-DIRAH	0.51	3.73	792305.75	
PIQ-DIRAH^P.S.N.4	0.03	3.74	789315.31	
P.S.N.4^PIQ-SEG	0.63	3.75	786240.31	
PIQ-SEG^P.S.N.5	0.29	3.66	762472.56	
P.S.N.5^PPR-A-BESSAM	0.08	3.66	760330.00	
PPR-A-BESSAM^PIQ-BQUIRA2	0.29	3.65	754508.88	
PIQ-BQUIRA2^PIQ-A-LAHDJR	0.03	3.14	647766.31	
PIQ-A-LAHDJR^PPR-BQUIRA1	0.04	3.14	646753.81	
PPR-BQUIRA1^PIQ-DJEBAHIA	0.16	3.10	638272.56	
PIQ-DJEBAHIA^P.S.N.6	0.15	3.10	635260.25	

Figure 3-0-5 : Exemple d'affichage sous forme de tableau

Plusieurs paramètres peuvent être affichés dans le tableau ci-dessus selon le besoin (vitesse D'écoulement, pertes de pressions, débit, températures, réserves gazométriques, etc.).

3.7.6 Formation SIMONE :

Pendant notre stage pratique à l'entreprise Sonelgaz, nous avons bénéficié d'une formation qui avait pour objectifs :

- Apprendre à modéliser un réseau de transport du gaz naturel ;
- Introduire les données de consommation à partir d'une base de donnée ;
- Simuler l'écoulement du gaz naturel en régime statique ;
- Affichage des résultats.

3.8 Conclusion :

Ce chapitre a pour but de compléter le chapitre précédent avec des lois développées par le groupe de recherche SIMONE et de montrer les différentes fonctionnalités de l'outil de travail qui a permis de mener à bien la présente étude.

Chapitre 04: Données et hypothèses de travail

4.1 Introduction

La présente étude relative à l'analyse du comportement du réseau de transport du gaz, liés à l'alimentation en gaz naturel des régions de Meghaier, Touggourt, El Oued sur la période 2022 – 2036 est faite en tenant compte de régime d'écoulement statique qui décrit la situation la plus défavorable vu qu'on suppose de la consommation maximale sur toute la durée de la simulation (pas de variation des paramètres en fonction du temps)

L'examen des réseaux de transport du gaz se fera horizon par horizon et cela en tenant compte des données suivantes :

4.2 Le réseau [7]

La considération du réseau transport gaz examiné Meghaier – Touggourt – El Oued exploité à haute pression composé essentiellement des ouvrages principaux suivants :

- Ø16'' Meghaier - Djamaa, d'une longueur de 120 km ;
- Ø20'' Djamaa - Touggourt, d'une longueur de 73,5 km ;
- Ø16'' Touggourt - El Oued, d'une longueur de 96,0 km ;
- Ø8'' Touggourt - Hadjira, d'une longueur de 86,5 km ;
- Ø8'' Reguiba, d'une longueur de 29,8 km ;
- Ø8'' Nakhla, d'une longueur de 19,4 km ;

4.2.1 Les utilisateurs du réseau :[7]

Le réseau de transport du gaz Ø16''/20''/16'' Meghaier – Touggourt – El Oued alimente les utilisateurs suivants :

- **Des postes de Distributions Publiques** : ce sont des postes de livraison du gaz destinés à la clientèle alimentée en moyenne et basse pressions utilisée pour les besoins du domestique ;
- **Des postes pour Clients Industriels** : ce sont des postes de livraison du gaz destinés à la clientèle industrielle haute pression à savoir les briqueteries sur ce réseau ; le gaz sera utilisé comme combustible pour la fabrication en usine
- **Des postes pour Centrale électrique** : ce sont des postes de livraison du gaz destinés à aux unités de production électrique ; le gaz sera nécessaire à la combustion pour passer de l'énergie calorifique à une énergie mécanique puis électrique.

Ce réseau approvisionne en gaz naturel au 31.12.2020 :

- 36 Distributions Publiques dont on cite (sous forme de tableau)
- 12 Clients industriels dont on cite (sous forme de tableau)
- 01 centrale électrique au niveau d'El Oued composée de 08 Turbines à Gaz Mobiles de 18MW chacune.

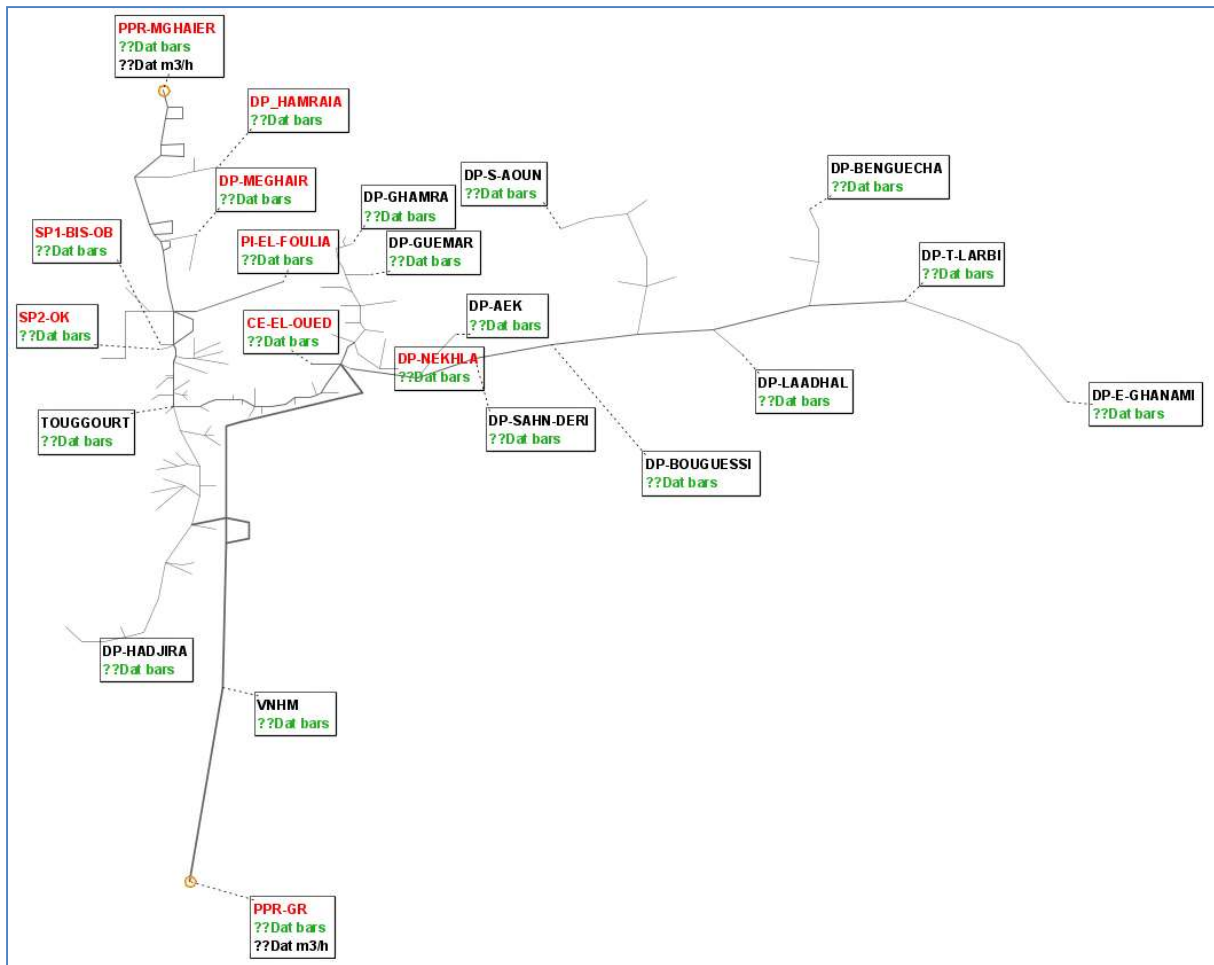


Figure 4-1 : Aperçu du réseau de transport de gaz naturel de la région de El oued modélisé

4.2.2 Source d'alimentation :[7]

Le réseau de transport du gaz Ø16''/20''/16'' Meghaier – Touggourt – El Oued est approvisionné par une (01) source d'alimentation à savoir :

- Le point de prélèvement gaz Meghaier, Wilaya de Meghaier, raccordé sur les gazoducs Ø48'' GEM Sonatrach/TRC provenant de Hassi R'mel et à destination de l'europe (l'Italie via la Tunisie) ;

Il est attendu en 2021 l'apparition d'un gazoduc Ø28'' Hassi Messaoud – El hadjira, d'une longueur de 120 km, dont la mise en service effective par le GRTG est prévue pour le mois de juillet 2021 et qui sera alimenté par le point de prélèvement gaz Hassi Messaoud raccordé sur le gazoduc GR1&4 Sonatrach/TRC en provenance d'Alrar ;

4.2.3 Conditions de pression :[7]

Les conditions de pression prises en considération sont données comme suit :

- **La pression contractuelle** entre SH/TRC et Sonelgaz/GRTG est de **45 bars** à garantir aux points de prélèvement gaz.
- **Distribution publique** : pression minimale nécessaire pour les distributions publiques est prise égale à 04 bars ;
- **Clients industriels** : pression minimale de 04 bars à l'entrée des postes gaz des clients industriels à l'exception du client industriel SP2/OK qui requière une pression minimale de 35 bars pour son bon fonctionnement.
- **Centrale électrique d'El Oued** : la pression minimale de 32 bars nécessaire pour le fonctionnement des groupes TG mobiles de la centrale électrique d'El Oued

4.3 Données de base [16]

Les consommations de base considérées dans cette étude sont issues des bases de données des trois (03) dernières années disponibles au niveau du GRTG où il en ressort :

- Le volume annuel de chaque utilisateur du réseau (DP, CI, CE) ;
- Le volume mensuel de chaque utilisateur du réseau (DP, CI, CE) ;
- Le volume journalier de chaque utilisateur du réseau (DP, CI, CE) ;
- Les débits horaires de chaque utilisateur du réseau (DP, CI, CE) ;

(Le volume annuel de gaz en Nm³ consommé distributions publiques pendant les trois dernières années est Donnés en Annexe)

4.4 I. 'analyse de la consommation des clients

Vu la diversité des clients raccordés au réseau, nous avons analysé les consommations de l'ensemble des clients ayant permis de dégager les données suivantes :

- Une journée de référence où le réseau a été sollicité à sa pleine charge ;
- Le débit horaire maximal de cette journée de référence ;
- Les débits horaires maximal et minimal de chaque utilisateur du réseau
- Les heures de charge et de creux de chaque utilisateur du réseau ;

La structure des bases de données est représentée comme suit :[16]

Tableau 4-1 :La structure des bases de données

Date	heure	Nom de l'utilisateur 1 Débit horaire maximal en Nm ³	Nom de l'utilisateur 2 Débit horaire maximal en Nm ³	Nom de l'utilisateur x Débit horaire maximal en Nm ³
01/01/xx	01:00			
01/01/xx	02:00			
01/01/xx	03:00			
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
01/01/xx	24:00			
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
31/12/xx	01:00			
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
31/12/xx	24:00			

L'analyse des bases de données nous a permis de déterminer que :

- Les Distributions Publiques sont exploitées à pleine charge durant la période hivernale ; ce qui est logique vu que c'est durant cette période que les citoyens utilisent, en plus des usages ménagers, le chauffage pour un confort domestique ;

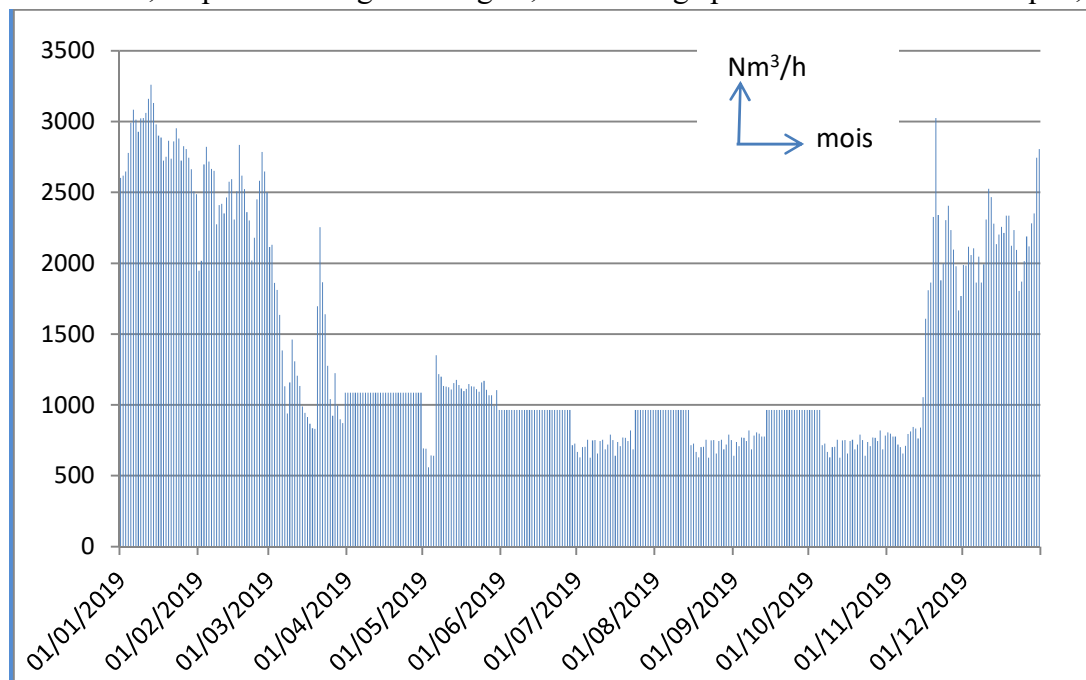


Figure 4-2:La consommation du gaz naturel par les distributions publique durant un an

- La clientèle industrielle a une consommation en gaz naturel constante tout le long de l'année ;

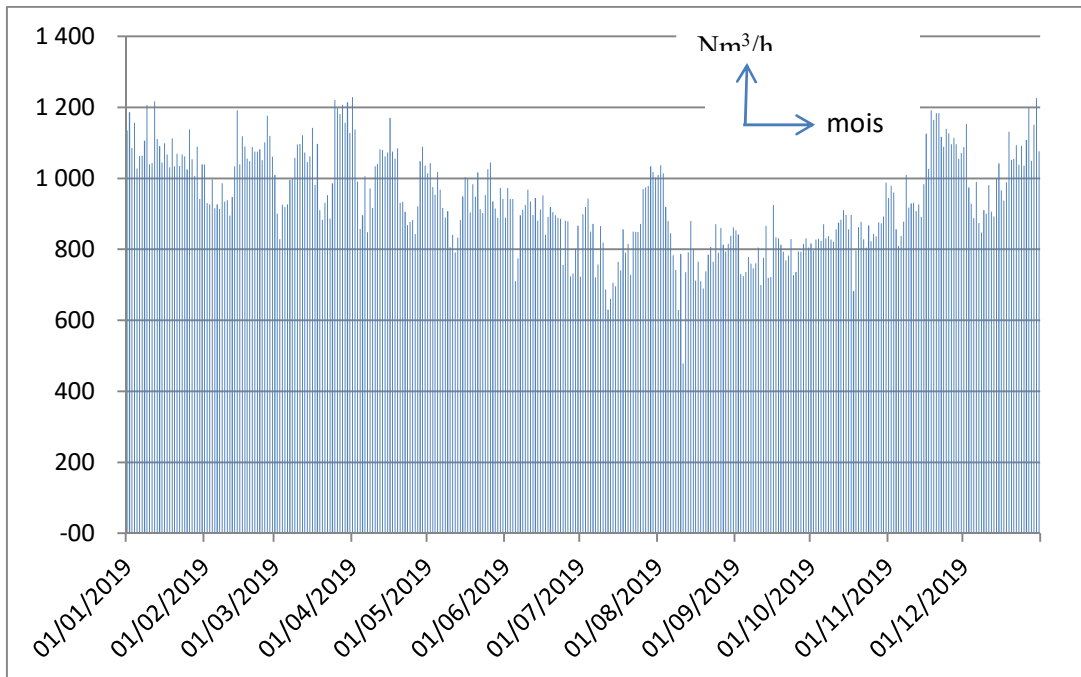


Figure 4-3: La consommation du gaz naturel par les clients industriels durant un an

- La centrale électrique, à l'opposé des distributions publiques, est plus sollicitée en période estivale compte tenu de la zone géographique et l'utilisation des climatiseurs par les citoyens.

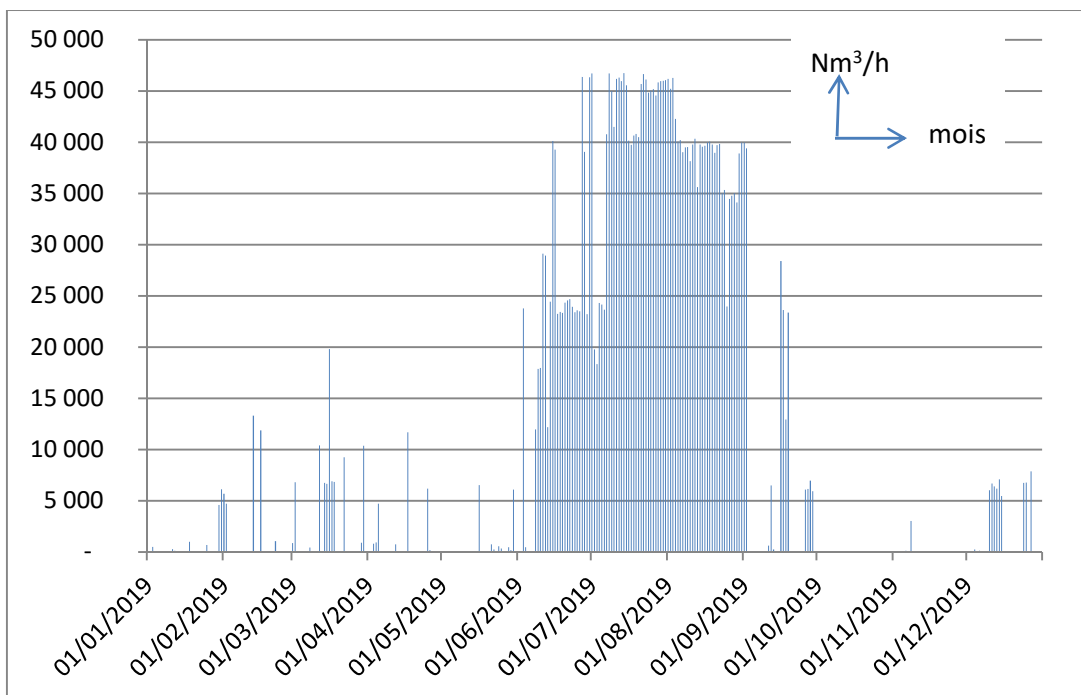


Figure 4-4 : La consommation du gaz naturel par la centrale électrique durant un an

4.5 La Répartition les clients par système de consommation :

La consommation journalière d'un poste gaz est donnée par sa courbe de charge.

Les courbes de charge reflètent l'évolution de la demande de gaz naturel de l'utilisateur ; elles sont donc la meilleure indication de la consommation de gaz naturel dans le temps, et varient selon sa nature (DP, CI ou CE).

Après analyse des données, on en déduit que les courbes de charge, par type d'utilisateurs, suivantes :

Courbe de charge moyenne des Distributions Publiques de la région :

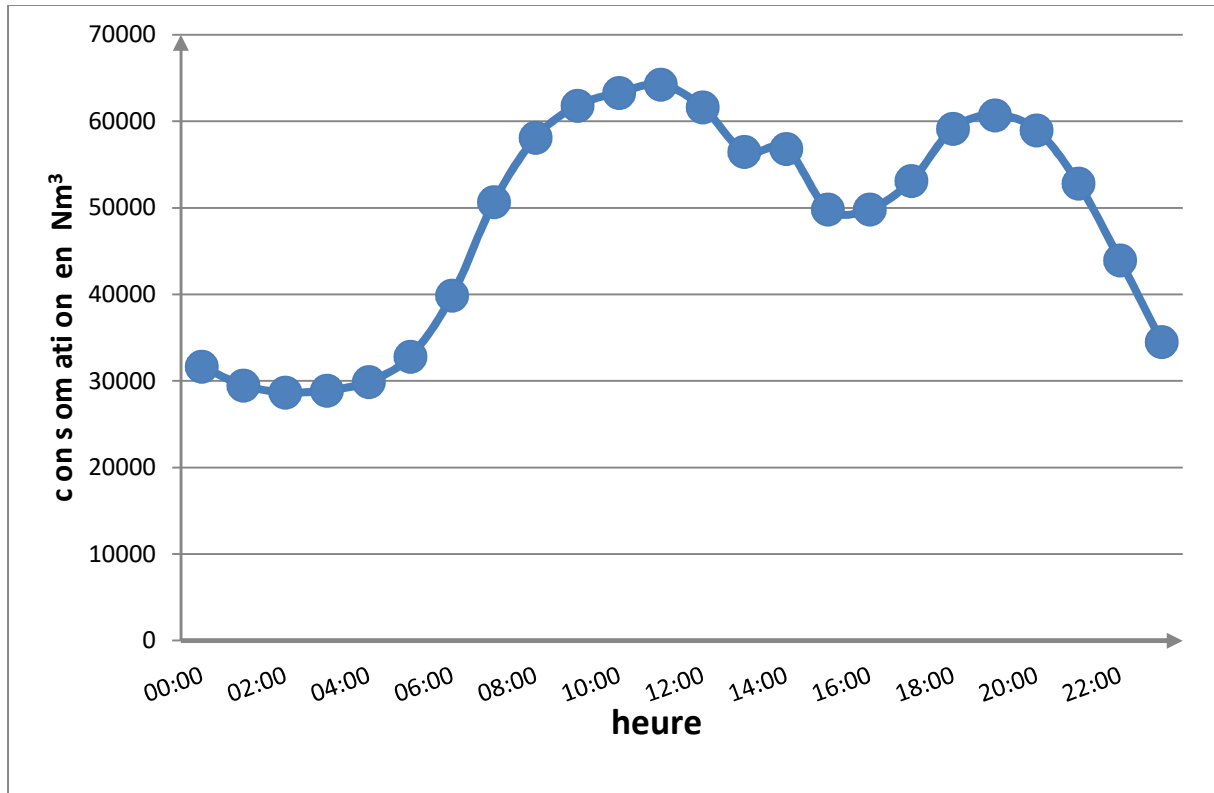


Figure 4-5 : Courbe de charge moyenne des Distributions Publiques de la région

Pour le réseau étudié, il nous a été donné de constater que les Distributions Publiques sont caractérisées par deux pointes (une matinale vers 11h00 et l'autre en soirée vers 19h00) induit par l'appel important des abonnés pour les besoins en ménages, chauffage etc...

Courbe de charge moyenne des clients industriels de la région :

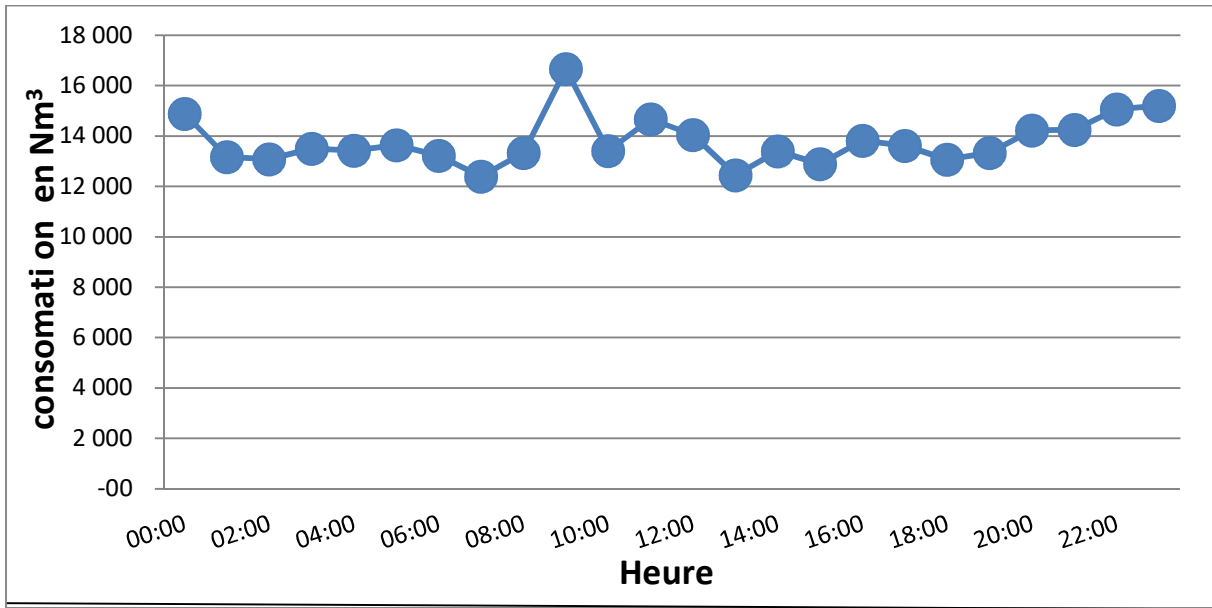


Figure 4-6 : Courbe de charge moyenne des clients industriels de la région

L'examen de la courbe de charge des clients industriels indique un fonctionnement stable et continu des industriels de la région durant toute la journée, mis à part le léger pic matinal à partir de 08h00 caractérisé par l'entame de la production.

Courbe de charge moyenne de la centrale électrique de la région

Pour la détermination de la courbe de charge de la centrale électrique d'El Oued, il a été envisagé deux (02) cas de figures :

- **En période estivale**

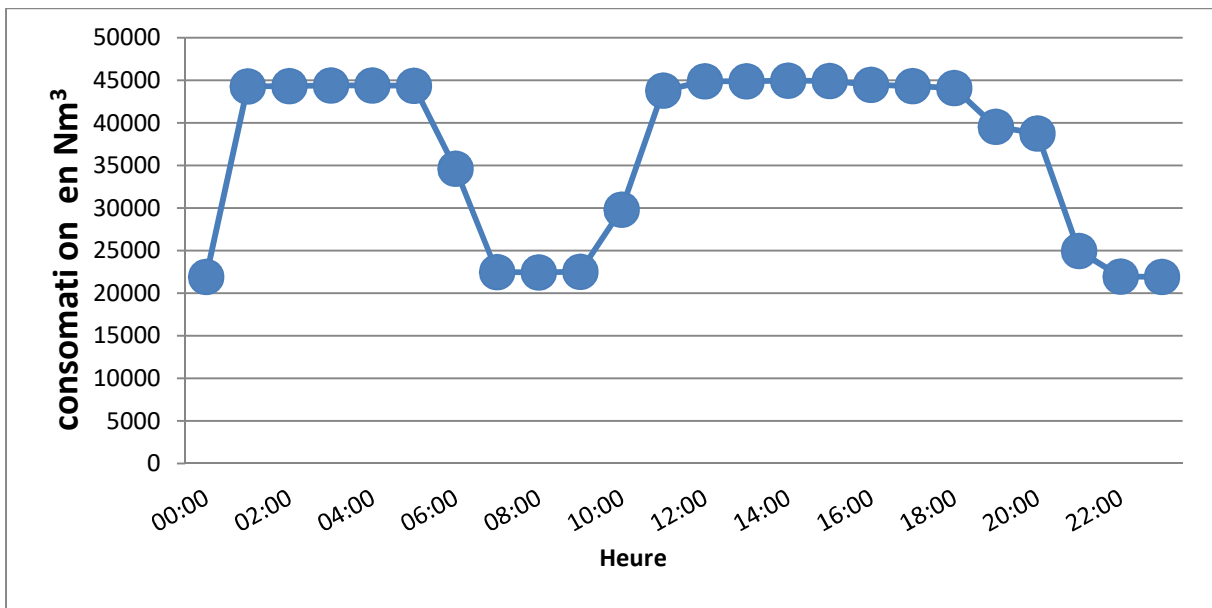


Figure 4-7 : Courbe de charge moyenne de la centrale électrique de la région (en période estivale)

L'examen de la courbe de charge de la centrale électrique d'El Oued, en période estivale indique une forte sollicitation entre 01h00 et 05h00, puis de 11h00 vers 20h00 caractérisée par l'utilisation de l'énergie électrique par les citoyens à des fins administratifs et ménagers.

- **En période hivernale**

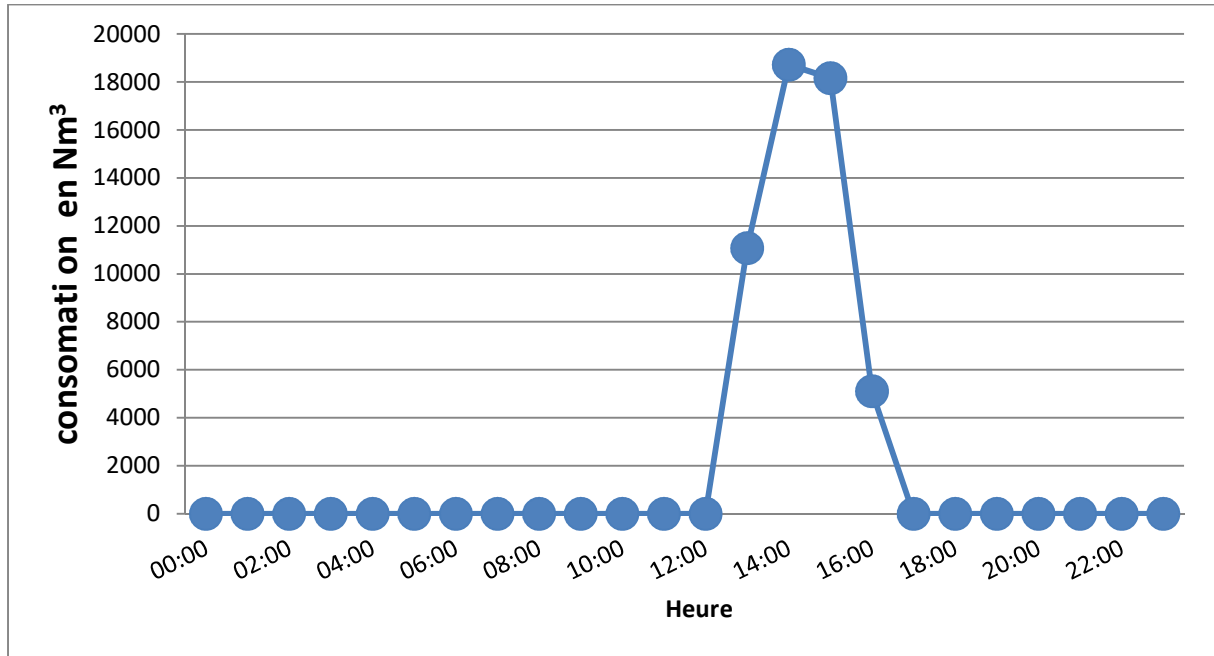


Figure 4-8 : Courbe de charge moyenne de la centrale électrique de la région (en période hivernal)

L'examen de la courbe de charge de la centrale électrique d'El Oued, en période hivernale indique une sollicitation temporairement limitée entre 13h00 et 17h00 pendant la journée, caractérisée par l'utilisation de l'énergie électrique par les citoyens à des fins ménagers.

4.6 Evaluation de la prévision de la demande en gaz à long terme et hypothèses de travail [17]

La commission de régulation de l'électricité et du gaz (CREG) établit le programme indicatif d'approvisionnement du marché national en gaz pour une décennie, conformément à l'article 46 de la loi n°02-01 du 22 Dhou El Kaada 1422 correspondant au 05 février 2002 relative à l'électricité et à la distribution du gaz par canalisations.

Selon cette disposition, la CREG établit ce programme sur la base d'outils et de méthodologie fixés par voie réglementaire, en collaboration avec les institutions concernées et après consultation des opérateurs.

Il sert de référence pour l'évaluation des capacités de production nécessaires à la satisfaction des besoins du marché national en gaz naturel sur les dix prochaines années.

La demande de gaz naturel du marché national pour la prochaine décennie est élaborée en tenant compte des évolutions les plus probables des principaux paramètres d'influence.

Il s'agit essentiellement des :

- Données de l'Office National des Statistiques (ONS) pour l'évolution démographique ;
- Évolutions probables selon le Ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de la ville, du parc logement et par conséquent du taux d'occupation des logements (TOL) ;
- Projections des évolutions du produit intérieur brut (PIB) (Ministère des Finances, FMI, Banque mondiale) ;
- Planning de réalisation des différents projets industriels (GRTG, SONATRACH) ;
- Programme national de développement des énergies renouvelables ;
- Gains unitaires des actions liées à l'efficacité énergétique induits par le programme national de l'efficacité énergétique (APRUE) ;
- Données de consommation en gaz (SONATRACH, GRTG et Sociétés de distribution) ;
- Prévisions de consommation des unités GNL & station TRC et les clients industriels de SONATRACH sont fournies par SONATRACH.

A la lecture du programme indicatif d'approvisionnement du marché national en gaz sur la période 2019 – 2029 de la CREG, il en ressort trois tendances d'évolution de la demande future en gaz naturel à savoir :

- **Un Scénario Fort** qui prévoit un plus haut niveau de développement avec la relance de l'industrie, prévoyant une évolution annuelle moyenne de la consommation gaz à hauteur de 4,5 % par année ;
- **Un Scénario Moyen**, à un rythme annuel moyen de 3,4% par année ;
- **Un Scénario faible** prévoit quant à lui un rythme de croissance annuel moyen de la demande de gaz de 2,0% ;

4.6.1 Prévisions de consommation en gaz des Distributions Publiques. [17]

Les données de la CREG étant indiquées en volume annuel par scénario pour le territoire national, il a été considéré pour les besoins de simulation du réseau (16°/20°/16°) Meghaier – Touggourt – El Oued, un taux d'évolution moyen des Distributions Publiques compris entre le scénario moyen et le scénario faible, couvrant la demande en gaz des utilisateurs de ce réseau. Le taux d'évolution moyen serait alors $\approx 2,8\%$ par année pour les Distributions Publiques existantes.

En ce qui concerne les nouvelles Distributions Publiques et compte tenu de l'examen comportemental des postes nouvellement mis en service sur le réseau, il a été retenu pour cette région l'approche suivante :

- Une consommation moyenne de 200 Nm³/h par année à compter de la date de mise en service du nouveau poste DP ;
- Un taux d'évolution de 2,8% sera appliquée à compter de la 5^{ème} année de mise en service de ce nouveau poste DP ;

Il est attendu sur le réseau l'apparition des ouvrages récapitulé dans le tableau suivants :[18]

Tableau 4-2: les ouvrages attendu sur le réseau

L'année	Nouvelles DP	Nouveaux CI
2022	- El alia	/
2023	- Dp Tirfaoui/ - Raccordement de la 1ere partie de la Ville nouvelle Hassi Messaoud 30000 Nm3/h	- Saapr Company - Briqueterie Nejmi - Eurl Briqueterie Djabri - Sarl GBO - Haja Mama - Sekher - Big Road - Sarl Sfm - Briqueterie Souf
2024	- H.AbdeIKader & DEBILA - S-aoun - Magrane - H-Khelifa - Taleb-Larbi - Benguecha - Douar-Elma - Sahn Derri - Amra+Bougssissia - Laadhal, Menchia Djedaida, Souihla2 , Sebais , Douillette , Mih Cheikh , El Ghanami	/
2027	- Raccordement de la 2eme partie de la Ville nouvelle Hassi Messaoud 50000 Nm3/h	- Parc Industrial El Foulia

En matière de consommation gaz :

Tableau 4-3: Prévisions de consommation en gaz des distributions publique

En Nm3/h	2020	2022	2024	2026	2029	2034	2036
DP existantes	54 388	57 029	60 268	63 690	69 191	79 436	83 946
DP Nouvelles.	200	1 290	62 00	13 514	20 887	23 980	25 342
Ville Nouvelle Hassi Messaoud.	-	-	30 000	30 000	80 000	80 000	80 000

(La liste des DP existantes et prévue est donnée en annexe.)

4.6.2 Prévisions de consommation en gaz des Clients Industriels

Pour les clients industriels connus et prévus sur la période de l'étude, leur consommation est prise égale au débit maximal demandé (DMD) de chaque client.

Tableau 4-4 : .Prévisions de consommation en gaz des Clients Industriels

En Nm3/h	2020	2022	2024	2026	2029	2034	2036
Clients industriels.	35 500	35 500	35 500	35 500	35 500	35 500	35 500
Nouveau Clients industriels.	-	-	28000	28000	28000	28000	28000
Parc Industriel El – Foulia.	-	-	-	-	48 000	48 000	48 000

(La liste des clients industriels existants et prévue est donnée en annexe.)

4.6.3 Prévisions de consommation de la Centrale Electrique TG d'El Oued :

Le site actuel abritant la centrale électrique d'El Oued est constitué de 08 groupes en TG mobile d'une puissance de 18MW chacun.

L'examen du comportement de cette centrale électrique durant ces 03 dernières années a révélé une sollicitation, en période hivernale, de cette dernière à hauteur de 50% du parc installé, soit 04 groupes TG sur les 08.

Tableau 4-5 : Prévisions de consommation de la Centrale Electrique TG d'El Oued

En Nm3/h	2020	2022	2024	2026	2029	2034	2036
Centrale électrique.	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000

Avec un totale récapitulé dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4-6 : récapitulatif des prévisions totales :

En Nm ³ /h	2020	2022	2024	2026	2029	2034	2036
Total (Nm ³ /h)	165 043	17 252	274 841	268 336	392 123	418 866	430 641

4.7 Hypothèses de travail pour l'élaboration des simulations

- Simulations faites à l'aide du logiciel SIMONE
- Simulations faites en régime statique qui est caractérisée par une consommation constante des différents utilisateurs rattachés au réseau.
- Considération des deux sources de prélèvement du gaz Meghaier et Hassi Messaoud avec une pression d'injection de 45 bars.
- La mise en service du gazoduc Ø28'' Hassi Messaoud – El Hadjira, d'une longueur de 120 km ;
- L'apparition du gazoduc Ø16'' Taleb Larbi sur 109 km ainsi que le raccordement des distributions publiques raccordées sur la même antenne à partir de l'horizon 2024.
- L'apparition de la ville nouvelle de Hassi Messaoud avec un besoin global en gaz de 80 000 Nm³/h ;
- L'apparition du parc industriel Foulia, Wilaya de avec un besoin global en gaz de 48 000 Nm³/h ;
- Consommation horaire prévisionnelle par année de chaque utilisateur du réseau
- Les contraintes d'exploitation à savoir :
 - La garantie d'une pression minimale de 32 bars à l'entrée de la centrale électrique El Oued
 - La garantie d'une pression minimale de 35 bars à l'entrée du client SP2/OK1
- Evaluation du comportement du réseau de 2022 à 2036 en y intégrant les solutions nécessaires pour assurer la continuité de service.

Chapitre 05: Simulation Et Résultats

5.1 Résultats des simulations du réseau de transport :

Les résultats de simulations effectuées sont donnés par horizon comme suit :

➤ **Horizon 2022**

Cet horizon est caractérisé par les situations suivantes :

- La mise en service de la Distribution Publique El Alia

Les résultats des simulations à l’horizon 2022 de l’alimentation en gaz naturel de l’ensemble des utilisateurs (DP, CI et CE) du réseau avec une pression de 45 bars aux PPR Meghaier et Hassi Messaoud, affichent des pressions satisfaisantes sur l’ensemble du réseau alimentant toute la région.

Le schéma ci-après donne les niveaux de pression de quelques nœuds du réseau simulé :

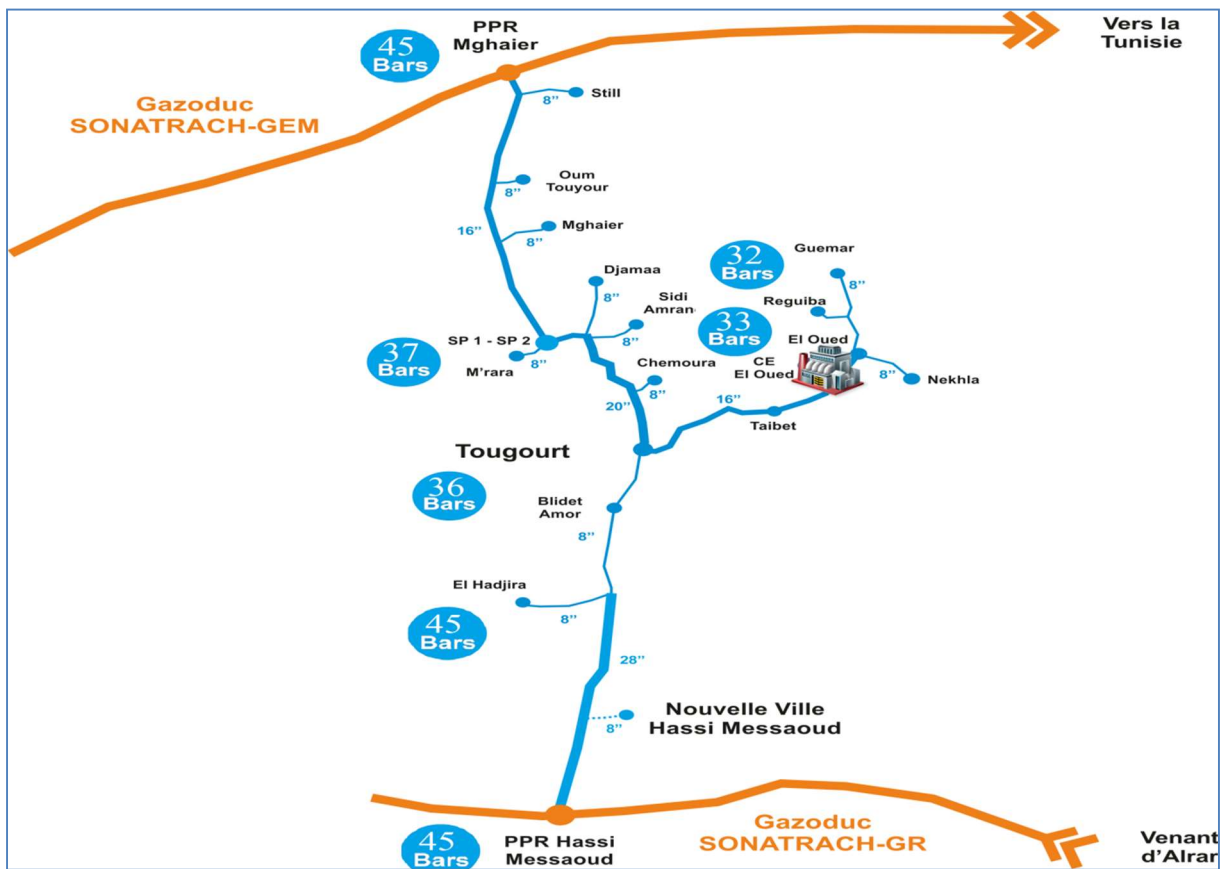


Figure 5-1:les niveaux de pression durant l’horizon 2022

Points supervisés	PPR Meghaier	PPR Hassi Messaoud	DP Hadjira	DP1 Touggourt	CI SP2/OK1	CE TG El Oued	DP Ghamra
Pression en bars	45	45	44.8	36.5	36.8	33.4	32.4

Déduction 01 : situation d’exploitation du réseau satisfaisante.

➤ **Horizon 2023**

Cet horizon est caractérisé par les situations suivantes :

- La mise en service de la distribution publique de Tirfaoui
- La mise en service des clients industriels : Briq.Saapr, Briq.Nedjmi, Briq_Djabri, Gbo, Hadja-Mama, Sakhr, Big-Road, Sfm, Souf
- La mise en service de la première partie de la ville nouvelle de Hassi Messaoud avec un besoin en gaz de 30 000 Nm³/h sur les 80 000 de prévus.

Les résultats des simulations à l’horizon 2023 de l’alimentation en gaz naturel de l’ensemble des utilisateurs (DP, CI et CE) du réseau avec une pression de 45 bars aux PPR Meghaier et Hassi Messaoud, affichent des pressions faibles en quelques points du réseau alimentant toute la région, notamment avec le non-respect des pressions de consignes :

- Au niveau du client industriel SP2/OK1 : une pression de 32,8 bars est attendue, en dessous de la pression minimale à garantir pour son bon fonctionnement (35 bars) ;
- Au niveau de la centrale électrique El Oued : une pression de 27,3 bars est attendue, en dessous de la pression minimale à garantir pour son bon fonctionnement (32 bars)

Le schéma ci-après donne les niveaux de pression de quelques nœuds du réseau simulé :

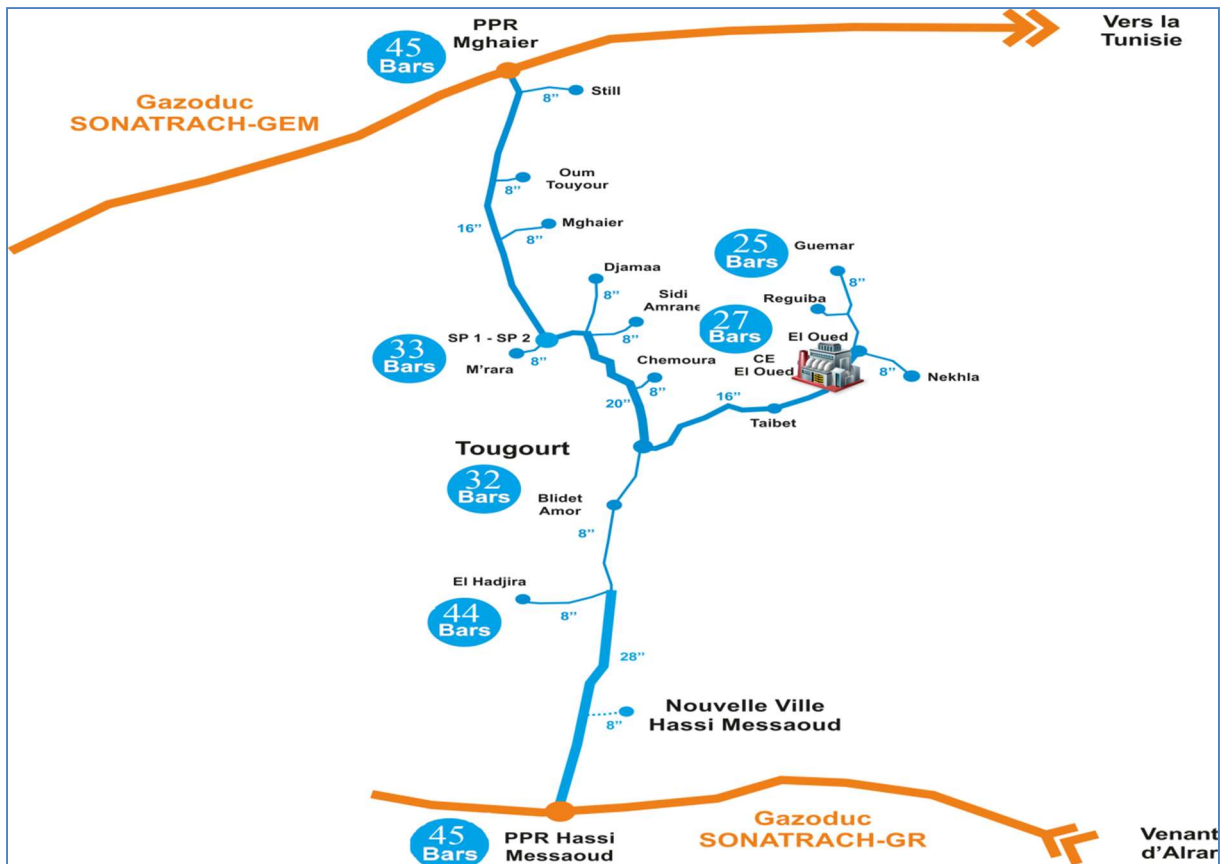


Figure 5-2: les niveaux de pression durant l’horizon 2023

Points supervisés	PPR Meghaier	PPR Hassi Messaoud	DP Hadjira	DP1 Touggourt	CI SP2/OK1	CE TG El Oued	DP Ghamra
Pression en bars	45	45	44.4	31.7	32.8	27.3	24.6
Contraintes requises d'exploitation	-	-	04	04	35	32	04

Déduction 01 : situation d'exploitation du réseau non satisfaisante.

Face à cette situation, il faudrait chercher des solutions pourvues d'une longue longévité en matière d'investissement, pour garantir le maintien des pressions à tous les utilisateurs du réseau, en faisant appel aux informations reçues tout au long du cursus universitaire.

Trois (03) propositions s'en dégagent à savoir :

5.2 Solution proposées

1. Station de compression : notre deuxième proposition consiste à installer une ou des stations de compression au niveau des points localisés pour une recompression optimale du gaz et par conséquent un rehaussement des niveaux de pression sur le réseau, tout en veillant aux paramètres suivants :

- a. Un rapport de compression de 1,5 ;
- b. Une température du gaz refoulé n'excédant pas les 60°C comme imposé par la réglementation du transport du gaz par canalisation (-10°C à 60°C) ;
- c. Une pression de refoulement n'excédant pas les 70 bars comme imposé par la réglementation du transport du gaz par canalisation ;

2. La réalisation d'un nouveau gazoduc : la deuxième solution proposée consiste en la réalisation d'un nouveau gazoduc qui prendrait en charge l'ensemble des besoins des utilisateurs du réseau ;

5.3 Examen des solutions proposées

5.3.1 Solution N°01 : les stations de compression du gaz

A. Généralités sur les stations de compression [19]:

Les stations de compression servent à compenser les pertes de pression dues au déplacement du gaz naturel, situées à des intervalles réguliers sur les gazoducs (tous les 120 à 150 km en général). 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 (poste de livraison du gaz).

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

Une station de compression est constituée principalement de :

Plusieurs turbocompresseurs (un compresseur entraîné par une turbine à gaz).

- Des aéro-réfrigérateurs.
- Deux turbogénérateurs.
- Un bâtiment de contrôle.
- Un bâtiment de service et de logistique.
- Une base de vie.
- Un bac d'eau et une pompe d'incendie



Figure 5-3: Une station de compression avec (turbocompresseurs)

- Les compresseurs :

La compression du gaz naturel

La pression d'arrivée du gaz naturel à une station de compression est appelée **pression d'aspiration**, et la pression de gaz sortante d'une station est appelée **pression de refoulement**. On les notera respectivement P_{asp} et P_{ref} .

La compression du gaz est un processus destiné à réaliser une augmentation de la pression d'aspiration P_{asp} à la pression de refoulement P_{ref} .

La variation de température n'est qu'une conséquence d'accroissement de la pression des circonstances dans lesquelles s'effectue la compression.

La compression peut s'effectuer dans des machines fonctionnant suivant des principes divers. Il existe deux types de compresseurs :

- **Compresseurs à piston.**
- **Compresseurs centrifuges.**

Dans notre travail, il sera considéré les compresseurs centrifuges.

Compresseur centrifuge

Les compresseurs centrifuges transforment l'énergie mécanique de rotation en augmentation de pression du gaz. Autrement dit, ils transforment la vitesse en pression et sont les plus utilisés dans l'industrie des pipelines, en raison de leur domaine d'application, de leur prix moins élevé, de leur souplesse d'exploitation et de leur bon rendement qui varie dans l'intervalle suivant [0.70 - 0.85].

Les paramètres qui permettent le choix des compresseurs sont :

- Le débit du gaz à comprimer.
- La pression de refoulement.
- Le taux de compression.

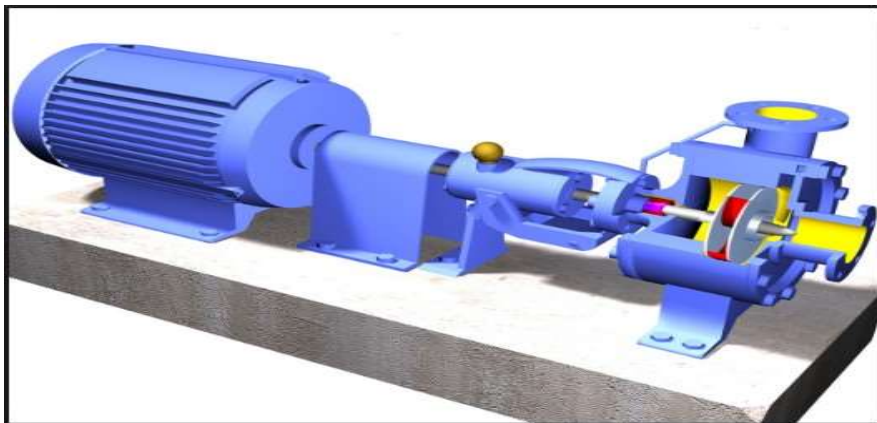


Figure 5-4 : Un compresseur centrifuge

Principe de fonctionnement d'un compresseur centrifuge

Le compresseur tourne à vitesse élevée dans laquelle une ou plusieurs roues fournissent l'énergie nécessaire au transfert du gaz. Lorsque cette énergie doit être importante, il est nécessaire de prévoir plusieurs roues conduisant parfois à l'amélioration de ces machines par plusieurs étages de compression.

L'augmentation de pression est assurée par les roues, les diffuseurs et les canaux de retour. La vitesse de rotation de la roue soumet le gaz à une force centrifuge qui se traduit par une augmentation de vitesse, de pression et de température dans la roue. Le diffuseur puis le canal permet de ramener le gaz dans la roue suivante en gagnant encore de la pression par rapport à celle de sortie par ralentissement de la vitesse du gaz.

Les compresseurs centrifuges demandent une pression minimale et une autre maximale.

- Pression de d'aspiration (pression minimale) : c'est la pression minimale exigée par les compresseurs pour qu'ils fonctionnent.
- Pression de refoulement (pression maximale) : c'est la pression maximale avec laquelle les stations refoulent le gaz.

- **Applications**

Le compresseur centrifuge est utilisé :

- Dans les gazoducs (pour déplacer le gaz naturel du gisement au consommateur).
- Pour le stockage souterrain du gaz naturel mais aussi du dioxyde de carbone.
- Dans les raffineries de pétrole et sur les sites de traitement de gaz naturel, pétrochimiques et chimiques.
- Sur les sites de séparation de l'air (pour fabriquer des produits gaziers).
- Dans les appareils de réfrigération de climatisation.
- Dans les appareils fournissant de l'air comprimé.
- Dans les turbines à gaz et les unités auxiliaires de puissance.
- Dans les systèmes de pressurisation à bord des avions (dans le but de maintenir une pression sécuritaire et confortable aux personnes)

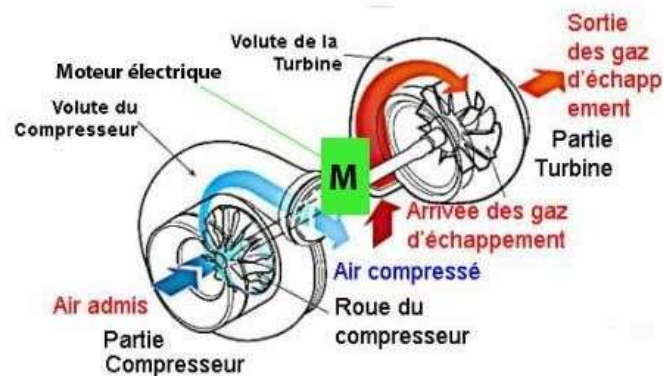


Figure 5-5 : Schéma synoptique d'un Turbocompresseur

- Les turbines à gaz

Une turbine à gaz est une machine tournante thermodynamique appartenant à la famille des moteurs à combustion interne dont le rôle est de produire :

- Soit de l'énergie mécanique par l'entraînement en rotation d'un arbre lui-même couplé à une machine industrielle ou à une hélice, Ou bien de l'énergie cinétique par détente des gaz en sortie de turbine dans une tuyère ;

La plupart des moteurs thermiques utilisent l'oxygène de l'air ambiant comme comburant et lui font subir des transformations suivant trois phases principales qui se succèdent dans l'ordre Compression, afin d'élever sa pression et sa température, Avant de pénétrer dans la chambre de combustion où il est mélangé au carburant pour créer le mélange carburé qui sera enflammé, Et fournira l'énergie thermique nécessaire à l'entraînement du compresseur par détente dans la turbine puis l'énergie cinétique ou mécanique demandée par l'application.

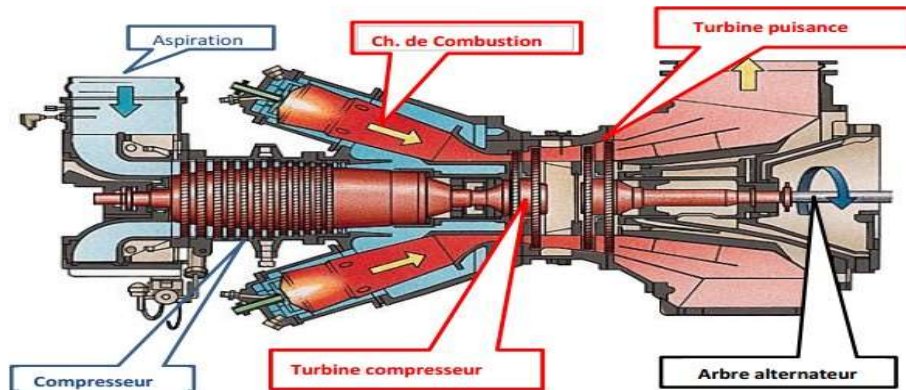


Figure 5-6 : Turbine à gaz General Electric

- Les aéro-réfrigérants

Les aéro-réfrigérants sont des échangeurs de chaleur servant à baisser la température du gaz à la sortie des compresseurs, afin de prévenir la détérioration du gazoduc. Il est prévu un nombre de deux aéro-réfrigérants par compresseurs.

- Contrôle à distance

Les stations de compressions sont entièrement télécommandées, leur gestion est assurée par le SMG (service mouvement du gaz).

B. L'emplacement de la station de compression

Dans notre cas de figure Pour trouver l'emplacement parfait de l'implantation d'une ou de plusieurs stations de compression sur le réseau, une analyse a été porté sur les niveaux de pression enregistré à l'horizon 2023 tout en considérant les paramètres suivants :

- Pression minimale d'aspiration : 40 bars
- Pression maximale de refoulement : 70 bars
- Température sortie compression : < 60°C

Les points d'installation ciblés, dans un premier temps, pour l'implantation d'une première station de compression sont cités comme suit :

- Emplacement N°1 : Au niveau du Poste de Sectionnement N°01 (PK 15+400) de l'ouvrage Ø16'' Meghiaer – Djemaa
- Emplacement N°2 : Au niveau du Poste de Sectionnement N°02 (PK 35+730) de l'ouvrage Ø16'' Meghiaer – Djemaa
- Emplacement N°3 : Au niveau du Poste de Sectionnement N°03 (PK 55+370) de l'ouvrage Ø16'' Meghiaer – Djemaa
- Emplacement N°4 : Au niveau du Poste de Sectionnement N°04 (PK 78+602) de l'ouvrage Ø16'' Meghiaer – Djemaa
- Emplacement N°5 : Au niveau du Terminal Arrivée El Hadjira (PK 120+000) du gazoduc Ø28'' Hassi Messaoud – El Hadjira

Les résultats obtenus par rapport à l'implantation de cette première station de compression avec un refoulement de 60 bars sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 5-1: les parametres de la station de compression par les deffirentes emplacements

Station de Compression	Centrale électrique El Oued (objectif ciblé) [bar]	Rapport de compression	Puissance de l'arbre en MW	Température de refoulement (°C)
Emplacement N°1 (*)	41	1,42	1,42	42
Emplacement N°2 (*)	42	1,606	2,08	53
Emplacement N°3 (*)	43	1,96	3,25	75
Emplacement N°4 (*)	43	2,8	5,14	120
Emplacement N°5 (**)	38	1,59	1,54	50

(*) un refoulement à 60 bars a été considéré pour rabaisser la température de refoulement du gaz.

(**) un refoulement à 70 bars a été considéré.

C. Analyse des emplacements choisis

En fonction du positionnement de l'implantation de la station de compression dont l'objectif ciblé est le rehaussement de la pression en bout de réseau, à savoir l'entrée de la centrale électrique d'El Oued, il en ressort :

- Emplacement N°1 : situation d'exploitation satisfaisante car la température de refoulement du gaz est inférieure à 60°C et le rapport de compression à l'horizon 2023 est jugé acceptable et pourra faire face à l'évolution de la demande sur le long terme ;
- Emplacement N°2 : situation d'exploitation acceptable mais la température de refoulement du gaz avoisine la limite imposée par la réglementation de 60°C ;
- Emplacements N°3 et N°4 : situation d'exploitation inacceptable car la température de refoulement du gaz dépasse la limite imposée par la réglementation de 60°C ;
- Emplacement N°5 : situation d'exploitation acceptable mais la pression à l'entrée de la centrale électrique El Oued n'est pas rassurante ;

- **Déduction :**

L'analyse des emplacements de la première station de compression fait ressortir un emplacement idéal optimal qui est l'emplacement N°1, soit au niveau du Poste de Sectionnement N°01 (PK 15+400) de l'ouvrage Ø16'' Meghaier – Djemaa, compte tenu des paramètres analysés suivants :

- Une pression d'aspiration supérieure à 40 bars ;

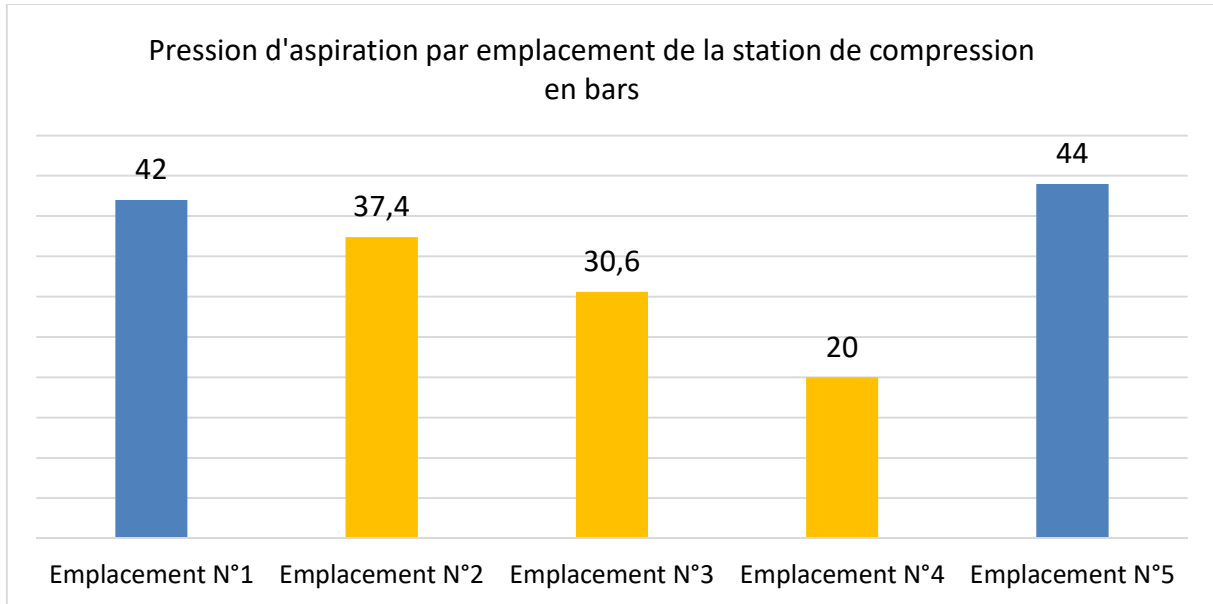


Figure 5-7 : Pression d'aspiration par emplacement de la station de compression

- Un rehaussement de la pression au point escompté, soit au niveau de la centrale électrique El Oued située en bout de réseau ;

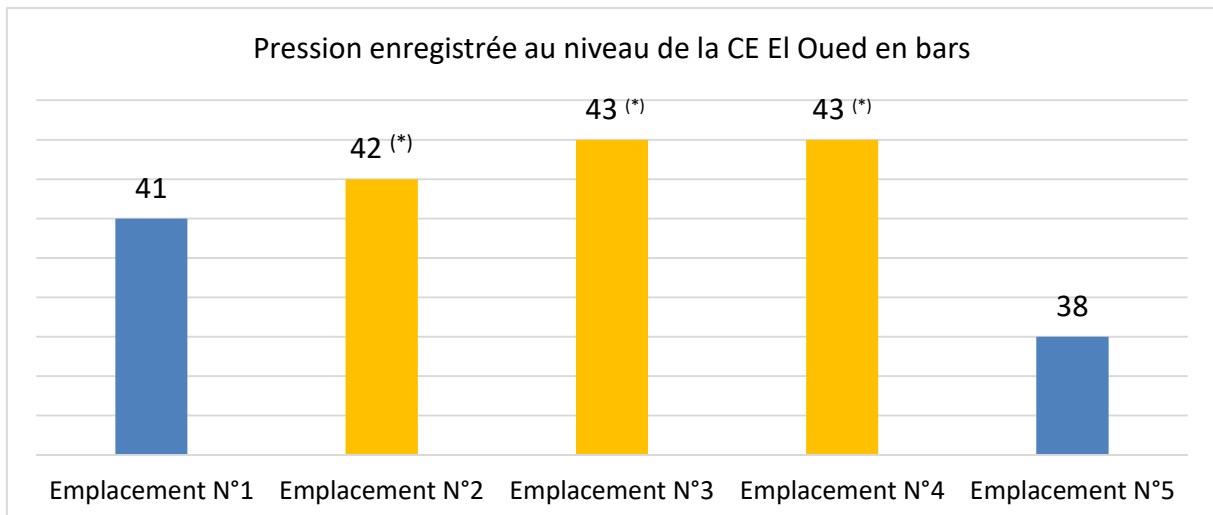


Figure 5-8: Pression enregistrée au niveau de la Central Electrique El Oued par emplacement de la station de compression

(*) liées à la pression d'aspiration en dessous des 40 bars requis

- La température du gaz au refoulement de la station de compression ;

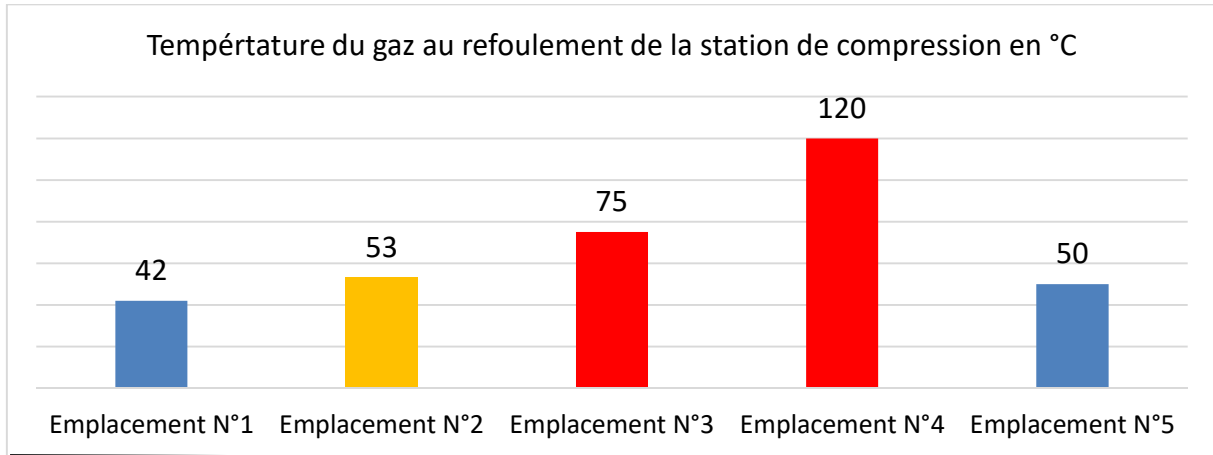


Figure 5-9 : Température du gaz au refoulement de la station de compression par emplacement de la station de compression

D. Résultats de simulation avec une station de compression sur le réseau de transport du gaz

Pour les besoins de simulations, il sera alors considéré dès 2023 l'implantation de la première station de compression au niveau du Poste de Sectionnement N°01 (PK 15+400) de l'ouvrage Ø16'' Meghiaer – Djemaa, avec un refoulement de 60 bars.

➤ **Horizon 2023 avec une station de compression sur le réseau de transport du gaz :**

Cet horizon est caractérisé par les situations suivantes :

- La mise en service de la distribution publique Tirfaoui
- La mise en service des clients industriels : Briq.Saapr, Briq.Nedjmi, Briq_Djabri, Gbo, Hadja-Mama, Sakhr, Big-Road, Sfm, Souf
- La mise en service de la première partie de la ville nouvelle de Hassi Messaoud avec un besoin en gaz de 30 000 Nm³/h sur les 80 000 de prévus.

Les résultats des simulations à l'horizon 2023 de l'alimentation en gaz naturel de l'ensemble des utilisateurs (DP, CI et CE) du réseau avec une pression de 45 bars aux PPR Meghiaer et Hassi Messaoud, et la mise en exploitation d'une station de compression affichent des pressions satisfaisantes sur l'ensemble du réseau alimentant toute la région.

Le schéma ci-après donne les niveaux de pression de quelques nœuds du réseau simulé :

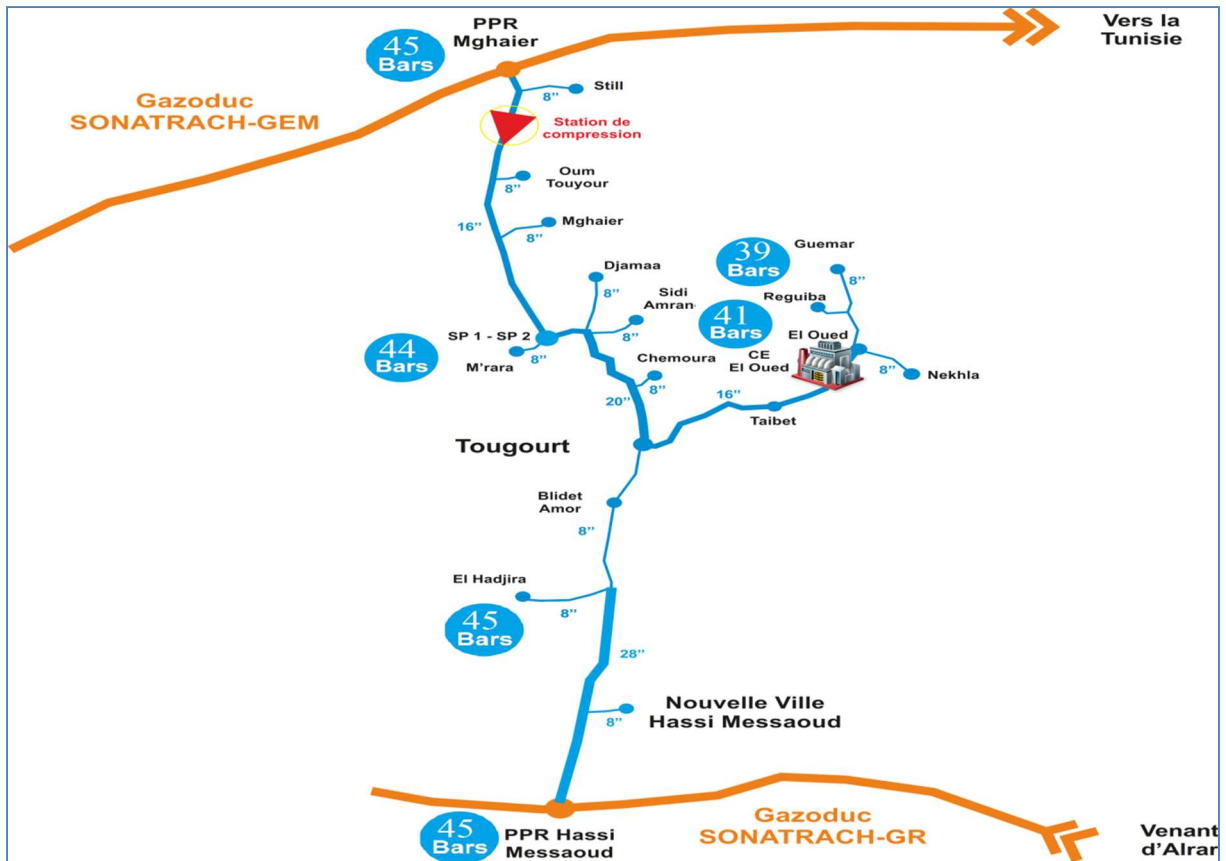


Figure 5-10 : les niveaux de pression durant Horizon 2023 avec station de compression au niveau de l'emplacement N°1

Les paramètres de la station de compression au niveau de SP1-BIS-OB ont été enregistrés comme le montre le tableau si dessous :

Emplacement	Paramètres	Rapport de compression	Puissance de l'arbre en MW	Température de refoulement °c
l'emplacement N°1		1.43	1.45	41

Déduction : situation d'exploitation du réseau satisfaisante avec la mise en exploitation d'une station de compression.

- **Horizon 2024 avec une station de compression sur le réseau de transport du gaz :**

Cet horizon est caractérisé par les situations suivantes :

- Le Raccordement et la mise en service des distributions publique au niveau de Taleb LArbi : H.Abd El Kader & Debila ,S-Aoun , Magrane , H-Khelifa ,Taleb-Larbi ,Benguecha , Douar-Elma , Sahn Derri , Amra + Bougssissia , Laadhah , Menchia , Djedaida Souihla2 , Sebais , Douillette , Mih Cheikh , El Ghanami .

Les résultats des simulations à l’horizon 2024 de l’alimentation en gaz naturel de l’ensemble des utilisateurs (DP, CI et CE) du réseau avec une pression de 45 bars aux PPR Meghaier et Hassi Messaoud, et la mise en exploitation d’une station de compression affichent des pressions satisfaisantes sur l’ensemble du réseau alimentant toute la région.

Le schéma ci-après donne les niveaux de pression de quelques nœuds du réseau simulé :

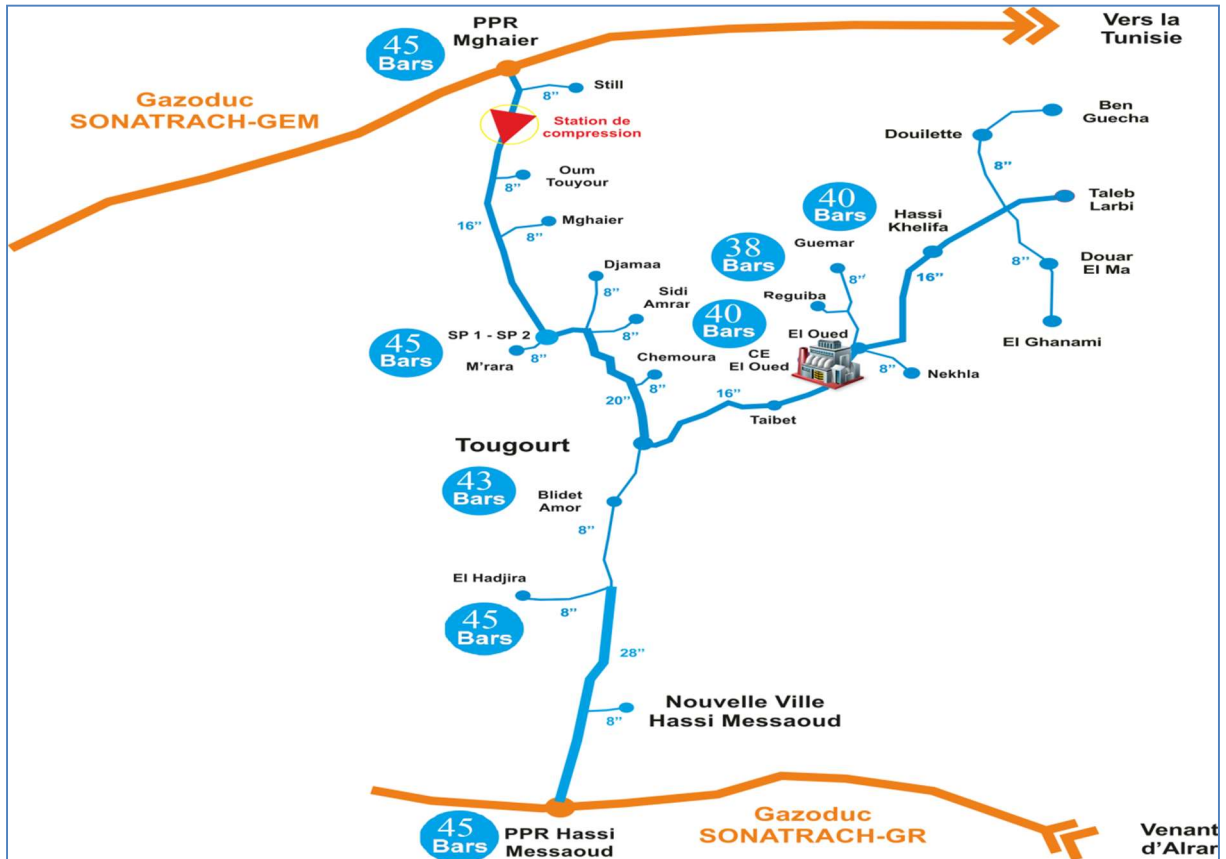


Figure 5-11: les niveaux de pression durant Horizon 2024 avec station de compression au niveau de l’emplacement N°1

Points supervisés	PPR Meghaier	PPR Hassi Messaoud	DP Hadjira	DP1 Touggourt	CI SP2/OK1	CE TG El Oued	DP Ghamra	DP H.A.KADER & DEBILA
Pression en bars	45	45	44.7	43.22	45.26	39.65	37.81	40.8
Contraintes requises d’exploitation	-	-	04	04	35	32	04	04

Les paramètres de la station de compression au niveau de PS1 ont été enregistrés comme le montre le tableau si dessous :

Emplacement	I Paramètres	Rapport de compression	Puissance de l'arbre en MW	Température de refoulement °C
l'emplacement N°1		1.43	1.45	41

Déduction : situation d'exploitation du réseau satisfaisante avec la mise en exploitation d'une station de compression.

➤ **Horizon 2025 avec une station de compression sur le réseau de transport du gaz :**

Les résultats des simulations à l'horizon 2025 de l'alimentation en gaz naturel de l'ensemble des utilisateurs (DP, CI et CE) du réseau avec une pression de 45 bars aux PPR Meghaier et Hassi Messaoud, et la mise en exploitation d'une station de compression affichent des pressions satisfaisantes sur l'ensemble du réseau alimentant toute la région.

Le schéma ci-après donne les niveaux de pression de quelques nœuds du réseau simulé :

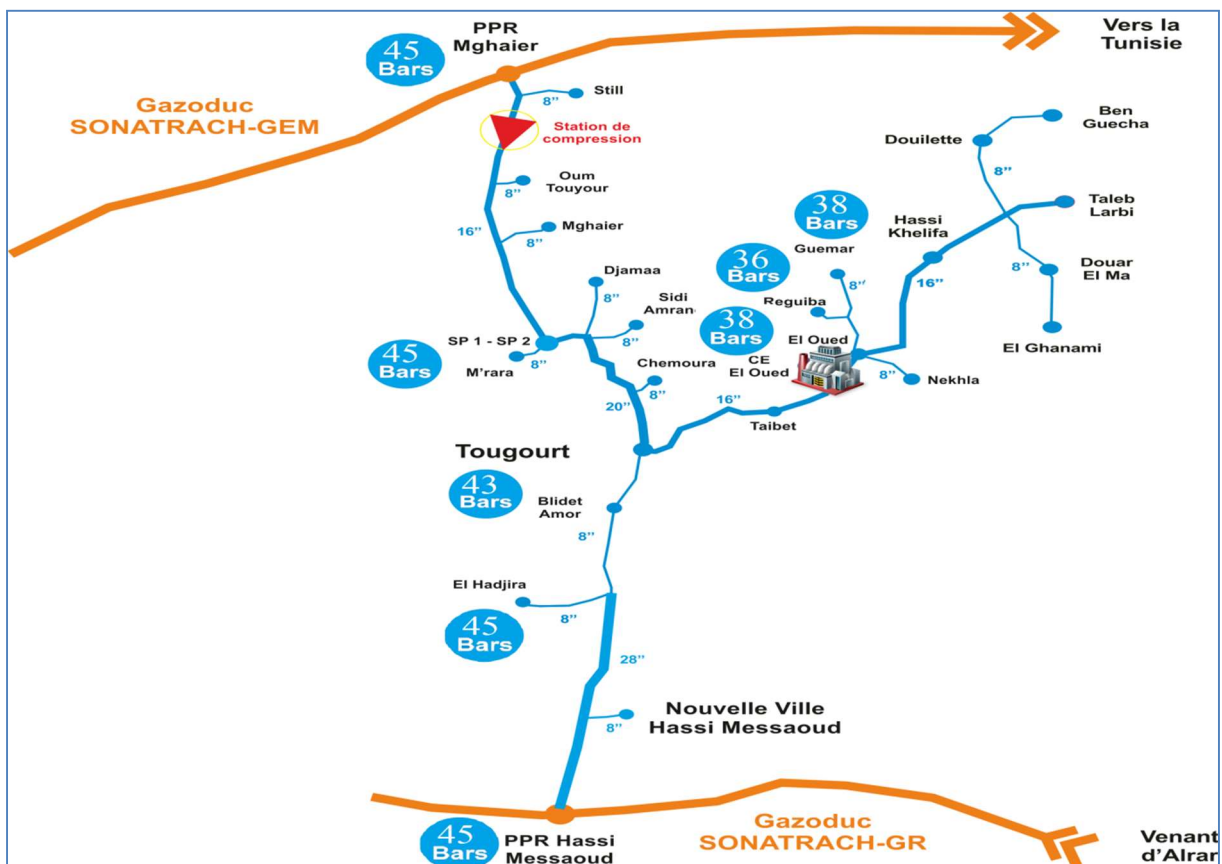


Figure 5-12: les niveaux de pression durant Horizon 2025 avec station de compression au niveau de l'emplacement N°1

Points supervisés	PPR Meghaier	PPR Hassi Messaoud	DP Hadjira	DP1 Touggourt	CI SP2/OK1	CE TG El Oued	DP Ghamra	DP H.A.KADER & DEBILA
Pression en bars	45	45	44.65	42.58	44.73	38.37	36.38	38.35
Contraintes requises d'exploitation	-	-	04	04	35	32	04	04

Les paramètres de la station de compression au niveau de PS1 ont été enregistrés comme le montre le tableau si dessous :

Emplacement	Paramètres	Rapport de compression	Puissance de l'arbre en MW	Température de refoulement °c
l'emplacement N°1		1.43	1.49	41

Déduction : situation d'exploitation du réseau satisfaisante avec la mise en exploitation d'une station de compression.

- **Horizon 2026 avec une station de compression sur le réseau de transport du gaz :**

Les résultats des simulations à l'horizon 2026 de l'alimentation en gaz naturel de l'ensemble des utilisateurs (DP, CI et CE) du réseau avec une pression de 45 bars aux PPR Meghaier et Hassi Messaoud, et la mise en exploitation d'une station de compression affichent des pressions satisfaisantes sur l'ensemble du réseau alimentant toute la région.

Le schéma ci-après donne les niveaux de pression de quelques nœuds du réseau simulé :

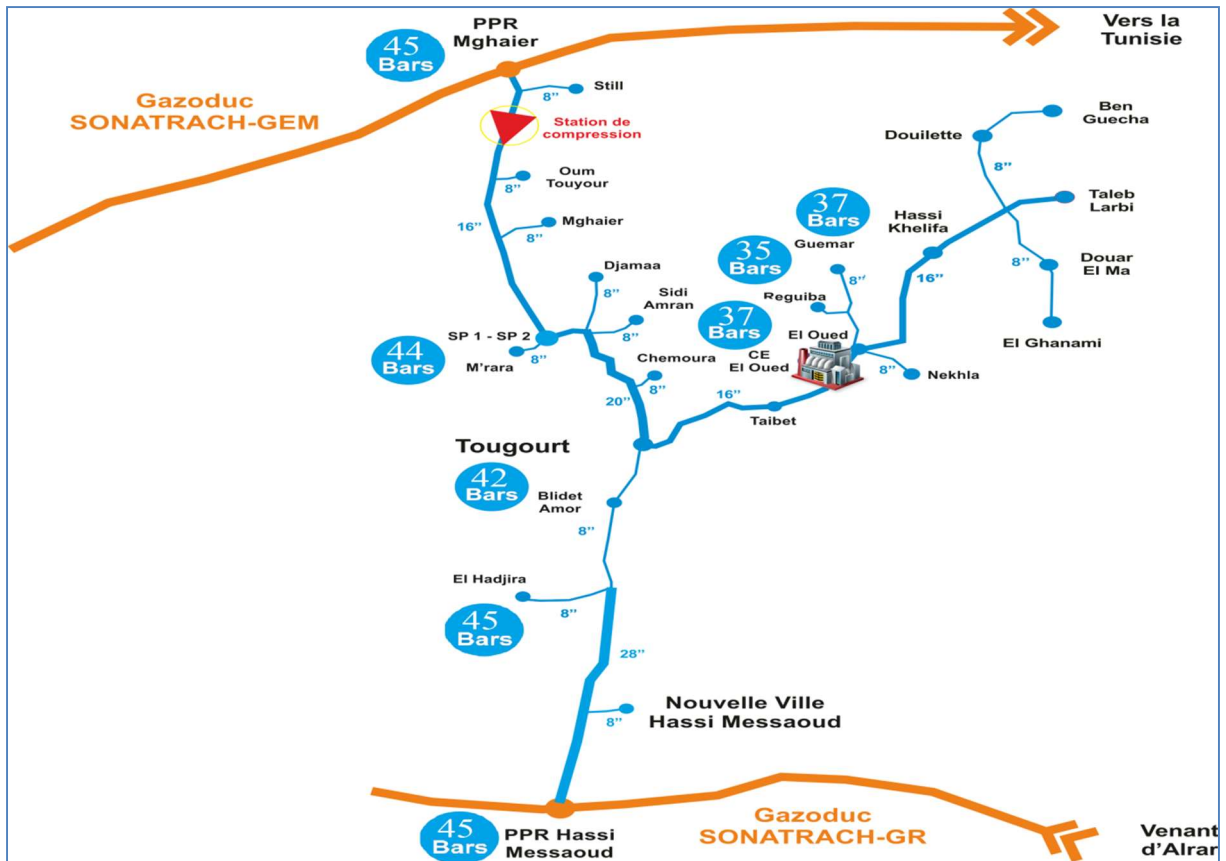


Figure 5-13: les niveaux de pression durant Horizon 2026 avec station de compression au niveau de l'emplacement N°1

Points supervisés	PPR Meghaier	PPR Hassi Messaoud	DP Hadjira	DP1 Touggourt	CI SP2/OK1	CE TG El Oued	DP Ghamra	DP H.A.KADER & DEBILA
Pression en bars	45	45	44.6	41.84	44.12	36.88	34.72	36.83
Contraintes requises d'exploitation	-	-	04	04	35	32	04	04

Les paramètres de la station de compression au niveau de PS1 ont été enregistrés comme le montre le tableau si dessous :

Paramètres	Rapport de compression	Puissance de l'arbre en MW	Température de refoulement °C
Emplacement l'emplacement N°1	1.43	1.49	41

Déduction : situation d'exploitation du réseau satisfaisante avec la mise en exploitation d'une station de compression.

➤ **Horizon 2027 avec une station de compression sur le réseau de transport du gaz :**

Cet horizon est caractérisé par les situations suivantes :

- La mise en service de client industriel : Parc Industriel El Foulia
- Le Raccordement de la 2eme partie de la Ville nouvelle Hassi Messaoud 50000 Nm³/

Les résultats des simulations à l’horizon 2027 de l’alimentation en gaz naturel de l’ensemble des utilisateurs (DP, CI et CE) du réseau avec une pression de 45 bars aux PPR Meghaier et Hassi Messaoud, et l’exploitation d’une station de compression affichent des pressions faibles en quelques points du réseau alimentant toute la région, notamment avec le non-respect des pressions de consignes :

- Au niveau du client industriel SP2/OK1 : une pression de 32,8 bars est attendue, en dessous de la pression minimale à garantir pour son bon fonctionnement (35 bars) ;
- Au niveau de la centrale électrique El Oued : une pression de 27,3 bars est attendue, en dessous de la pression minimale à garantir pour son bon fonctionnement (32 bars)

Le schéma ci-après donne les niveaux de pression de quelques nœuds du réseau simulé :

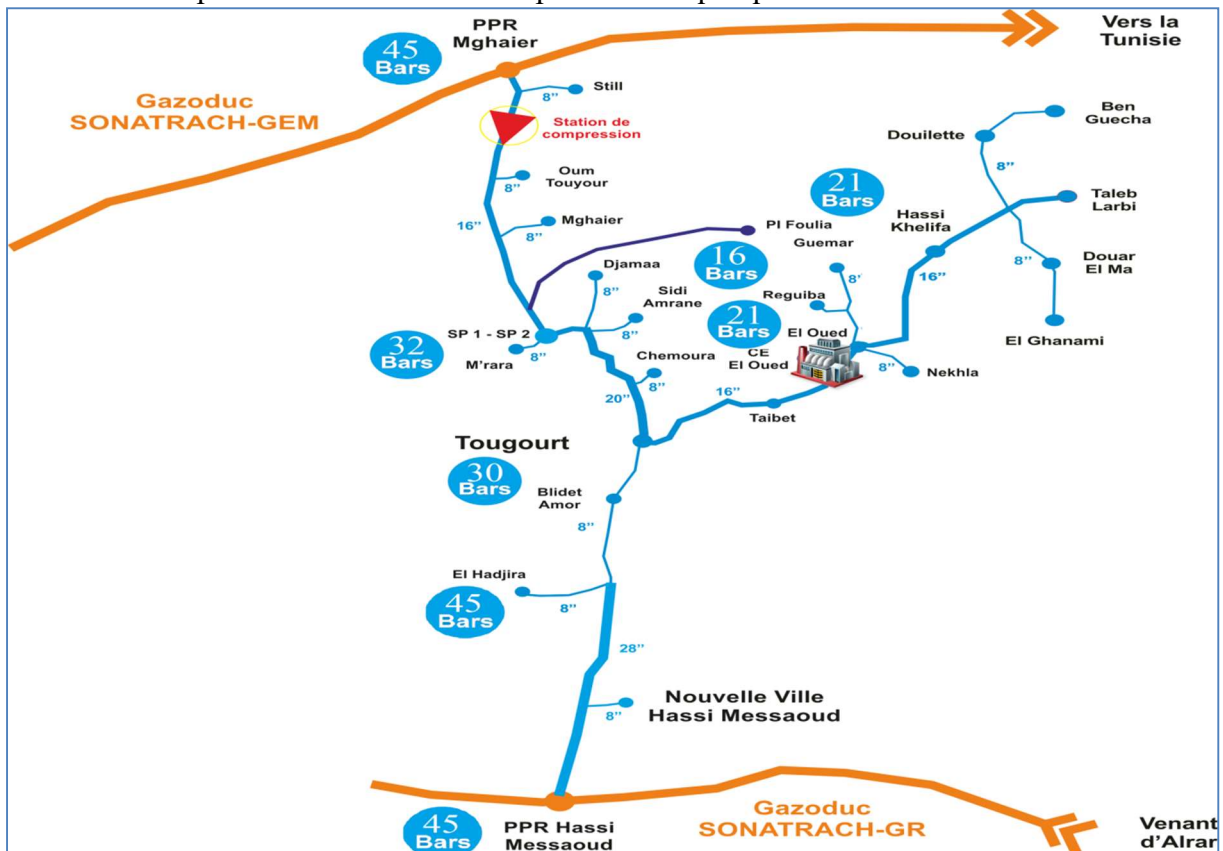


Figure 5-14: les niveaux de pression durant Horizon 2027 avec station de compression au niveau de l'emplacement N°1

Points supervisés	PPR Meghaier	PPR Hassi Messaoud	DP Hadjira	DP1 Touggourt	CI SP2/OK1	CE TG El Oued	DP Ghamra	DP H.A.KADER & DEBILA
Pression en bars	45	45	43.91	29.92	31.95	20.92	16.42	20.76
Contraintes requises d'exploitation	-	-	04	04	35	32	04	04

Les paramètres de la station de compression au niveau de PS1 ont été enregistrés comme le montre le tableau si dessous :

Paramètres	Rapport de compression	Puissance de l'arbre en MW	Température de refoulement °c
Emplacement			
l'emplacement N°1	1.504	2.16	46

Face à cette situation, deux (02) propositions ont été examinées consistant en :

- **Solution N°1.a** : La mise hors service de la centrale électrique d'El Oued car elle représente le point le plus névralgique sur le réseau pour une pression minimale de 32 bars pour son bon fonctionnement.

A titre indicatif, la centrale électrique d'El Oued, installée en 2015 sur le réseau, fut mise en exploitation à titre provisoire pour pallier au déficit en électricité de la région, en attendant la finalisation des nouvelles unités de production électrique de Labreg, Wilaya de Khenchela et d'Oumache, Wilaya de Biskra.

A partir de 2019, il a été retenu que le site d'El Oued serait utilisé par SONELGAZ/SPE comme réserve stratégique pour l'alimentation en énergie électrique de la région d'El Oued.

Il sera donc considéré, pour les besoins de simulations, la mise à l'arrêt de la centrale électrique d'El Oued à partir de 2027 avec comme hypothèse, la reprise de la production de cette unité à partir des sites d'Oumache et de Labreg, bien que la faisabilité technique de cette hypothèse doit être validée par l'Opérateur Système Electrique du Groupe SONELGAZ. [20]

- **Solution N°1.b** : L'implantation d'une deuxième station de compression sur l'ouvrage Ø28'' Hassi Messaoud, dans le souci de rehausser la pression en bout de réseau (Centrale électrique El Oued) ;

Pour les besoins de simulations, il sera alors considéré dès 2027 l'implantation de la 2^{ème} station de compression au niveau du Terminal Arrivée (PK 120+000) de l'ouvrage Ø28'' Hassi Messaoud – El Oued, avec un refoulement de 70 bars.

- Pression minimale d'aspiration : 40 bars
- Pression maximale de refoulement : 70 bars
- Température sortie compression : < 60°C

E. Simulations et résultats par solution examinée :

- **Solution N°1.a :** La mise hors service de la centrale électrique d'El Oued à partir de 2027

➤ **Horizon 2027 avec une station de compression sur le réseau de transport du gaz et l'arrêt de la centrale électrique d'El Oued :**

Cet horizon est caractérisé par les situations suivantes :

- La mise en service de client industriel : Parc Industriel El Foulia
- Le Raccordement de la 2eme partie de la Ville nouvelle Hassi Messaoud 50000 Nm³/h

Les résultats des simulations à l'horizon 2027 de l'alimentation en gaz naturel de l'ensemble des utilisateurs (DP et CI) du réseau avec une pression de 45 bars aux PPR Meghaier et Hassi Messaoud, et l'exploitation d'une station de compression et l'arrêt de la C.E El Oued affichent des pressions **limites** en bout de réseau.

Le schéma ci-après donne les niveaux de pression de quelques nœuds du réseau simulé :

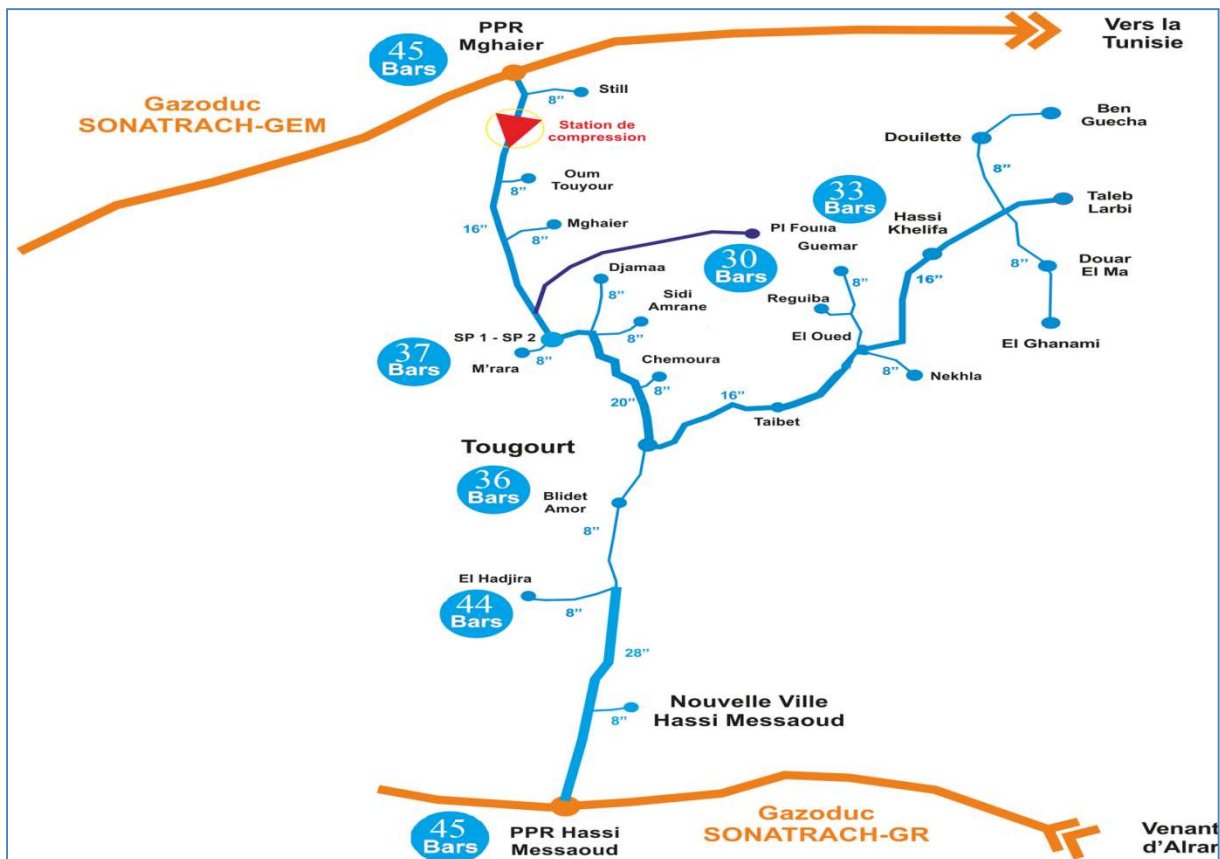


Figure 5-15 : les niveaux de pression durant l'Horizon 2027 avec station de compression PS1 et l'arrêt de la centrale électrique d'El Oued

Points supervisés	PPR Meghaier	PPR Hassi Messaoud	DP Hadjira	DP1 Touggourt	CI SP2/OK1	DP Ghamra	DP H.A.KADER & DEBILA
Pression en bars	45	45	44.05	35.97	37.18	30.07	32.56
Contraintes requises d'exploitation	-	-	04	04	35	04	04

Les paramètres de la station de compression au niveau de PS1 ont été enregistrés comme le montre le tableau si dessous :

Emplacement	Paramètres	Rapport de compression	Puissance de l'arbre en MW	Température de refoulement °c
l'emplacement N°1		1.477	1.91	45

Déduction : situation d'exploitation du réseau limite.

- **Horizon 2028 avec une station de compression sur le réseau de transport du gaz et l'arrêt de la centrale électrique d'El Oued :**

Les résultats des simulations à l'horizon 2028 de l'alimentation en gaz naturel de l'ensemble des utilisateurs (DP et CI) du réseau avec une pression de 45 bars aux PPR Meghaier et Hassi Messaoud, et l'exploitation d'une station de compression et l'arrêt de la C.E El Oued affichent des pressions **critiques** en bout de réseau.

Le schéma ci-après donne les niveaux de pression de quelques nœuds du réseau simulé :

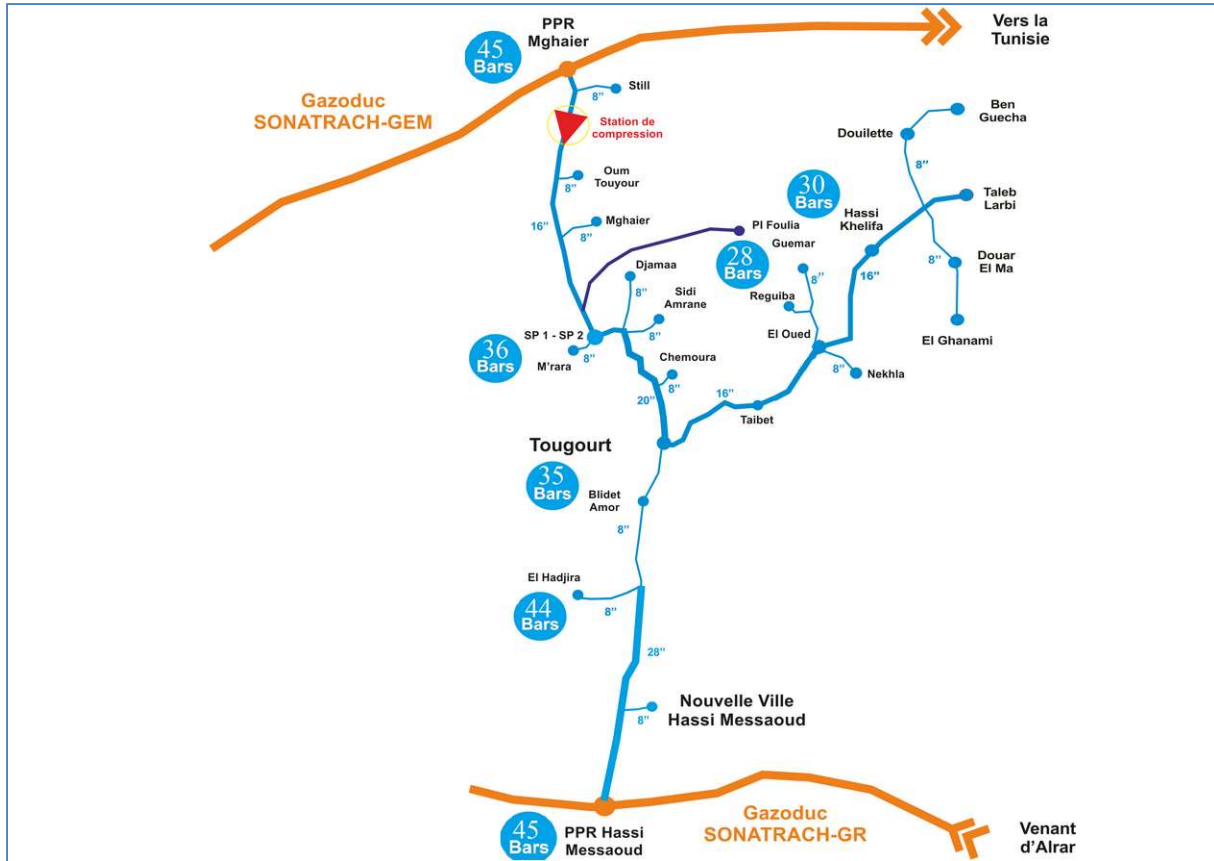


Figure 5-16:: les niveaux de pression durant l'Horizon 2028 avec station de compression PS1 et l'arrêt de la centrale électrique d'El Oued

Points supervisés	PPR Meghaier	PPR Hassi Messaoud	DP Hadjira	DP1 Touggourt	CI SP2/OK1	DP Ghamra	DP H.A.KADER & DEBILA
Pression en bars	45	45	44.01	34.66	36.02	27.64	30.4
Contraintes requises d'exploitation	-	-	04	04	35	04	04

Les paramètres de la station de compression au niveau de SP1-BIS-OB ont été enregistrés comme le montre le tableau si dessous :

Paramètres	Rapport de compression	Puissance de l'arbre en MW	Température de refolement °c
Emplacement l'emplacement N°1	1.484	1.97	46

Déduction : situation d'exploitation du réseau critique.

- **Solution N°1.b:** L'implantation d'une deuxième station de compression sur l'ouvrage Ø28" Hassi Messaoud, avec le maintien en exploitation de la centrale électrique El Oued.

➤ **Horizon 2027 avec deux stations de compression sur le réseau de transport du gaz :**

Cet horizon est caractérisé par les situations suivantes :

- La mise en service de client industriel : Parc Industriel El Foulia
- Le Raccordement de la 2eme partie de la Ville nouvelle Hassi Messaoud 50000 Nm³/h

Les résultats des simulations à l'horizon 2027 de l'alimentation en gaz naturel de l'ensemble des utilisateurs (DP, CI et CE) du réseau avec une pression de 45 bars aux PPR Meghaier et Hassi Messaoud, et l'exploitation deux (02) stations de compression affichent des pressions **satisfaisantes** en bout de réseau.

Le schéma ci-après donne les niveaux de pression de quelques nœuds du réseau simulé :

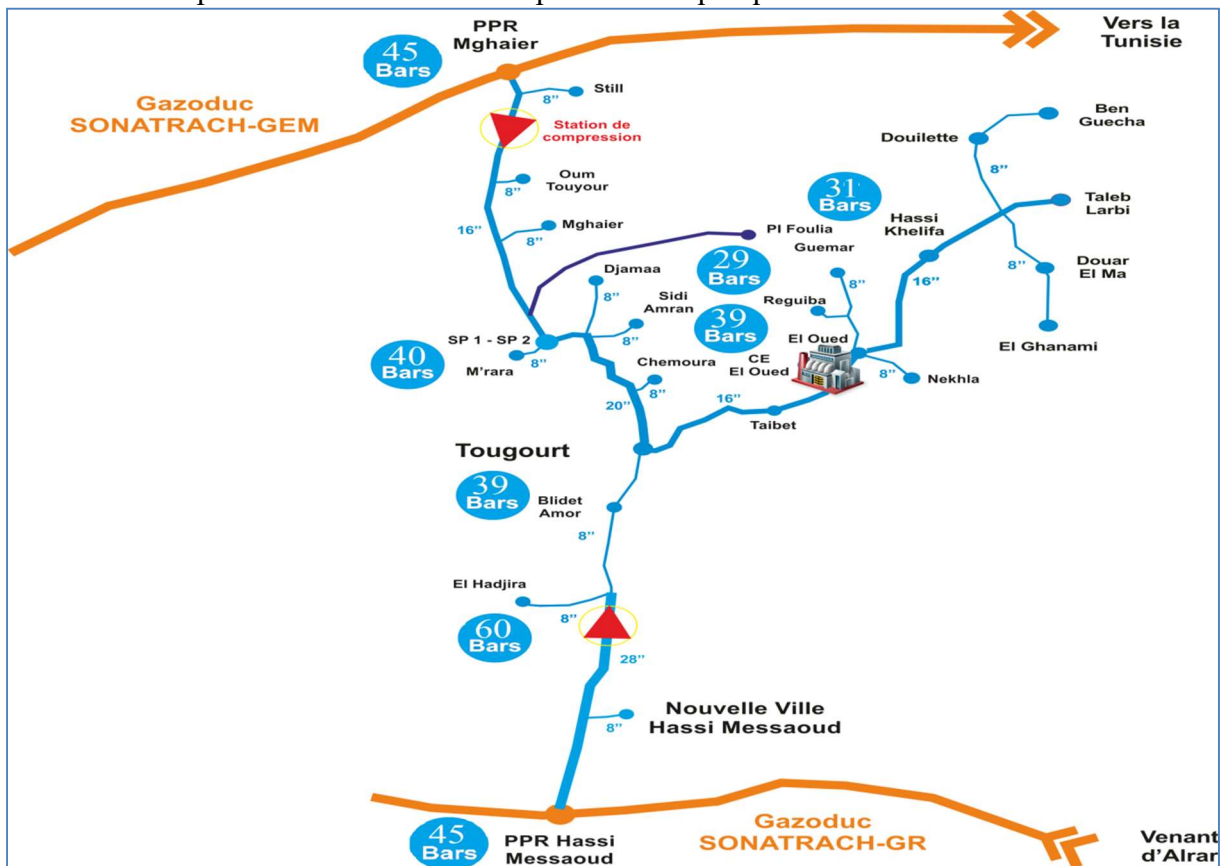


Figure 5-17: les niveaux de pression durant l'Horizon 2027 avec deux stations de compression sur le réseau

Points supervisés	PPR Meghaier	PPR Hassi Messaoud	DP Hadjira	DP1 Touggourt	CI SP2/OK1	CE TG El Oued	DP Ghamra	DP H.A.KADER & DEBILA
Pression en bars	45	45	59.97	38.28	40.4	39	28.62	31.11
Contraintes requises d'exploitation	-	-	04	04	35	32	04	04

Les paramètres des deux stations de compression ont été enregistrés comme le montre le tableau ci-dessous :

Paramètres Emplacement	Rapport de compression	Puissance de l'arbre en MW	Température de refoulement °C
l'emplacement N°1	1.4	1.77	40
2 ^{ème} station de compression	1.33	0.9	37

Déduccion : situation d'exploitation du réseau satisfaisante.

- **Horizon 2028 avec deux stations de compression sur le réseau de transport du gaz :**

Les résultats des simulations à l'horizon 2028 de l'alimentation en gaz naturel de l'ensemble des utilisateurs (DP, CI et CE) du réseau avec une pression de 45 bars aux PPR Meghaier et Hassi Messaoud, et l'exploitation de deux (02) stations de compression affichent des pressions **satisfaisantes** en bout de réseau.

Le schéma ci-après donne les niveaux de pression de quelques nœuds du réseau simulé :

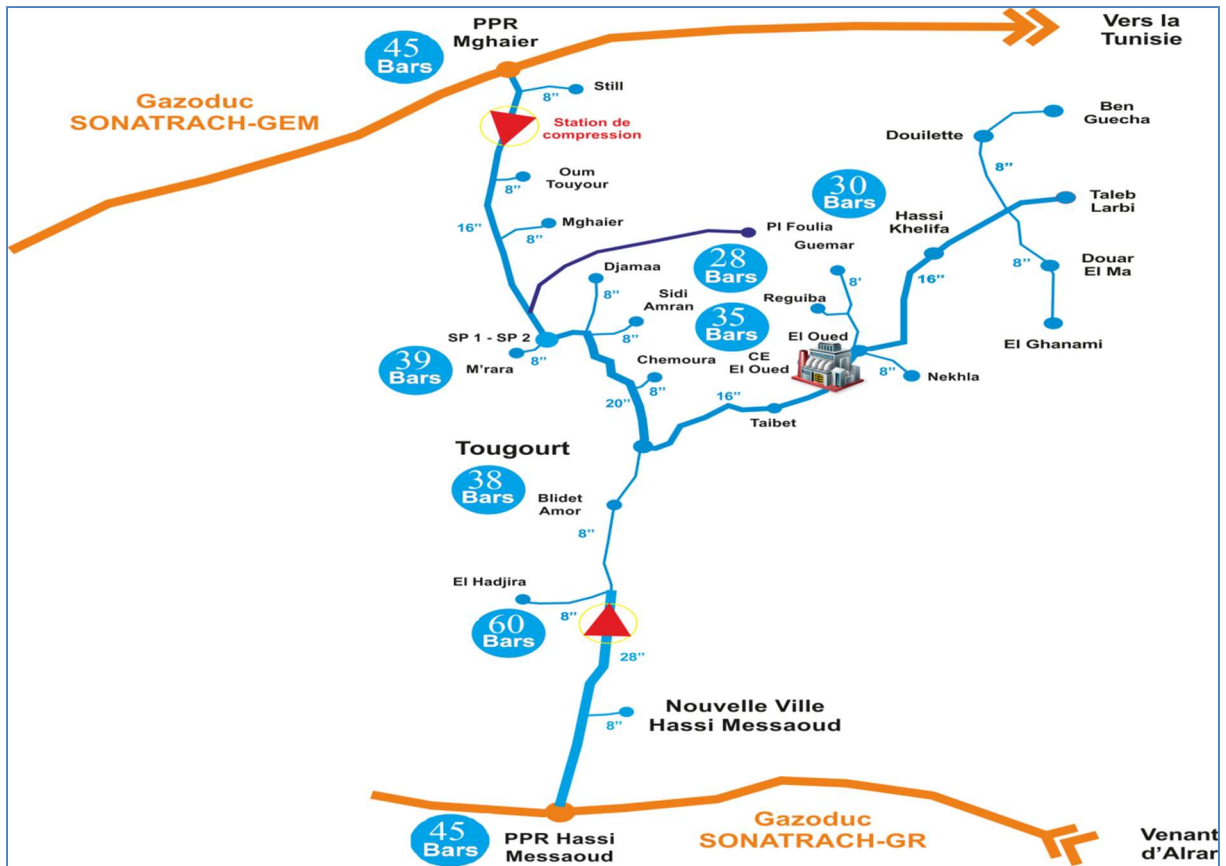


Figure 5-18 : les niveaux de pression durant l'Horizon 2028 avec deux stations de compression sur le réseau

Points supervisés	PPR Meghaier	PPR Hassi Messaoud	DP Hadjira	DP1 Touggourt	CI SP2/OK1	CE TG El Oued	DP Ghamra	Dp H.A.KADER & DEBILA
Pression en bars	45	45	59.95	38.12	39.3	35	27.97	30.29
Contraintes requises d'exploitation	-	-	04	04	35	32	04	04

Les paramètres des deux stations de compression ont été enregistrés comme le montre le tableau si dessous :

Paramètres	Rapport de compression	Puissance de l'arbre en MW	Température de refoulement °C
Emplacement			
l'emplacement N°1	1.43	1.82	42
2 ^{ème} station de compression	1.35	0.9	38

Déduction : situation d'exploitation du réseau satisfaisante

➤ **Horizon 2029 avec deux stations de compression sur le réseau de transport du gaz :**

Les résultats des simulations à l’horizon 2029 de l’alimentation en gaz naturel de l’ensemble des utilisateurs (DP, CI et CE) du réseau avec une pression de 45 bars aux PPR Meghaier et Hassi Messaoud, et l’exploitation deux (02) stations de compression affichent des pressions **assez faibles** en bout de réseau.

Le schéma ci-après donne les niveaux de pression de quelques nœuds du réseau simulé :

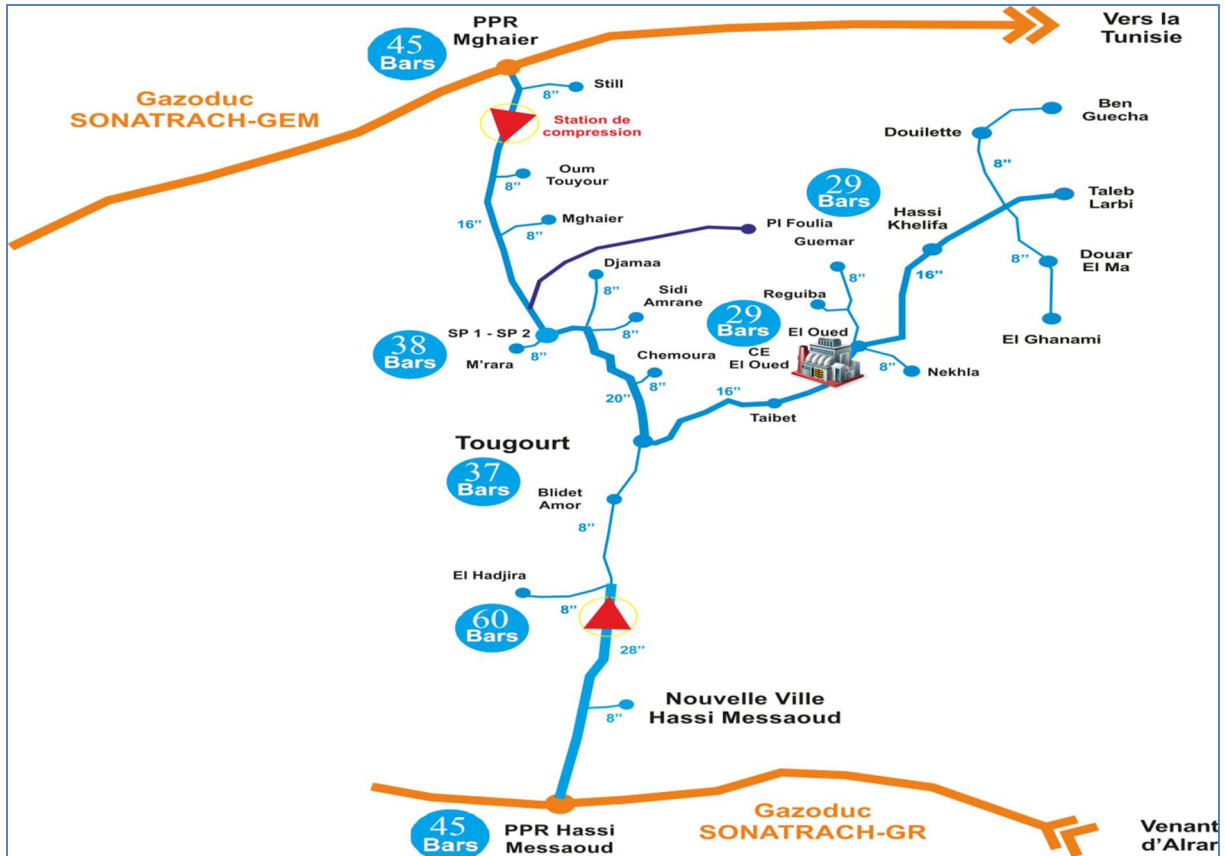


Figure 5-19: les niveaux de pression durant l'Horizon 2029 avec deux stations de compression sur le réseau

Points supervisés	PPR Meghaier	PPR Hassi Messaoud	DP Hadjira	DP1 Touggourt	CI SP2/OK1	CE TG El Oued	DP Ghamra	DP H.A.KADER & DEBILA
Pression en bars	45	45	59.89	37.29	38.32	29.49	26.32	29.32
Contraintes requises d'exploitation	-	-	04	04	35	32	04	04

Les paramètres des deux stations de compression ont été enregistrés comme le montre le tableau ci-dessous :

Paramètres	Rapport de compression	Puissance de l'arbre en MW	Température de refoulement °C
Emplacement			
l'emplacement N°1	1.47	1.85	44
2 ^{ème} station de compression	1.37	0.9	38

Déduction : situation d'exploitation du réseau non satisfaisante.

- **Déduction :**

L'examen des deux (02) solutions indique ces solutions sont techniquement presque équivalentes en matière de garantie d'un niveau de pression acceptable en bout de réseau (32 bars CE El Oued) ;

- Solution N°1.a : cette solution permettrait de couvrir la demande en gaz des utilisateurs du réseau que sur une projection d'un seul horizon (2027).
- Solution N°1.b : cette solution permettrait de couvrir la demande en gaz des utilisateurs du réseau que sur une projection de 02 horizons (2027 et 2028).

A partir de 2029, il sera alors considéré pour les besoins de simulations, les hypothèses suivantes :

- **Solution N°1.b** qui consiste à l'implantation de la 2^{ème} station de compression au niveau du Terminal Arrivée (PK 120+000) de l'ouvrage Ø28'' Hassi Messaoud – El Oued, avec un refoulement de 70 bars.
- La mise à l'arrêt de la centrale électrique d'El Oued .

➤ **Horizon 2029 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued :**

Les résultats des simulations à l'horizon 2029 de l'alimentation en gaz naturel de l'ensemble des utilisateurs (DP et CI) du réseau avec une pression de 45 bars aux PPR Meghaier et Hassi Messaoud, et l'exploitation deux (02) stations de compression affichent des pressions **satisfaisantes** en bout de réseau.

Le schéma ci-après donne les niveaux de pression de quelques nœuds du réseau simulé :

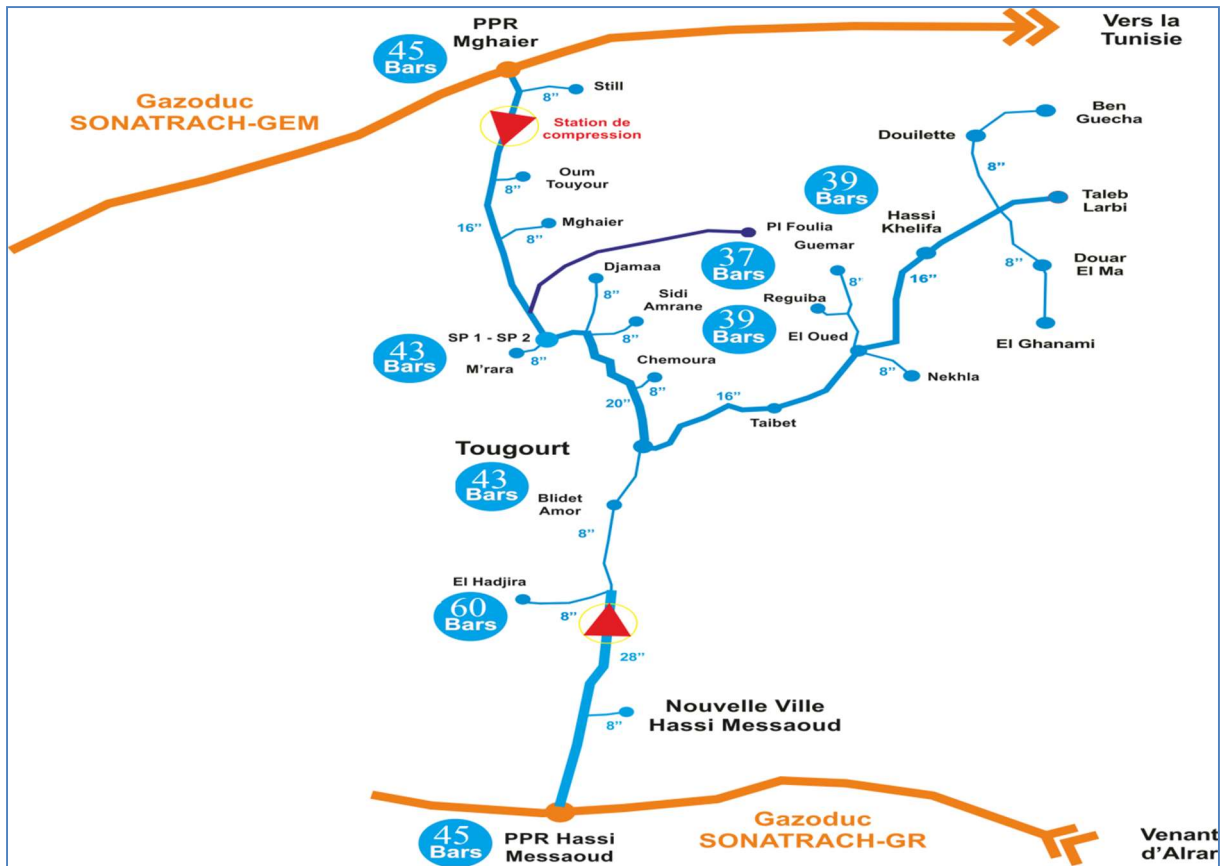


Figure 5-20: les niveaux de pression durant l'Horizon 2029 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued

Points supervisés	PPR Meghaier	PPR Hassi Messaoud	DP Hadjira	DP1 Touggourt	CI SP2/OK1	DP Ghamra	DP H.A.KADER & DEBILA
Pression en bars	45	45	59.89	42.71	43.21	37.10	39.23
Contraintes requises d'exploitation	-	-	04	04	35	04	04

Les paramètres des deux stations de compression ont été enregistrés comme le montre le tableau ci dessous :

Emplacement	Paramètres	Rapport de compression	Puissance de l'arbre en MW	Température de refoulement °C
	l'emplacement N°1	1.44	1.58	41
	2 ^{ème} station de compression	1.36	0.82	38

Déduction : situation d'exploitation du réseau satisfaisante

➤ **Horizon 2030 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued :**

Les résultats des simulations à l'horizon 2030 de l'alimentation en gaz naturel de l'ensemble des utilisateurs (DP et CI) du réseau avec une pression de 45 bars aux PPR Meghaier et Hassi Messaoud, et l'exploitation deux (02) stations de compression affichent des pressions **satisfaisantes** en bout de réseau.

Le schéma ci-après donne les niveaux de pression de quelques nœuds du réseau simulé :

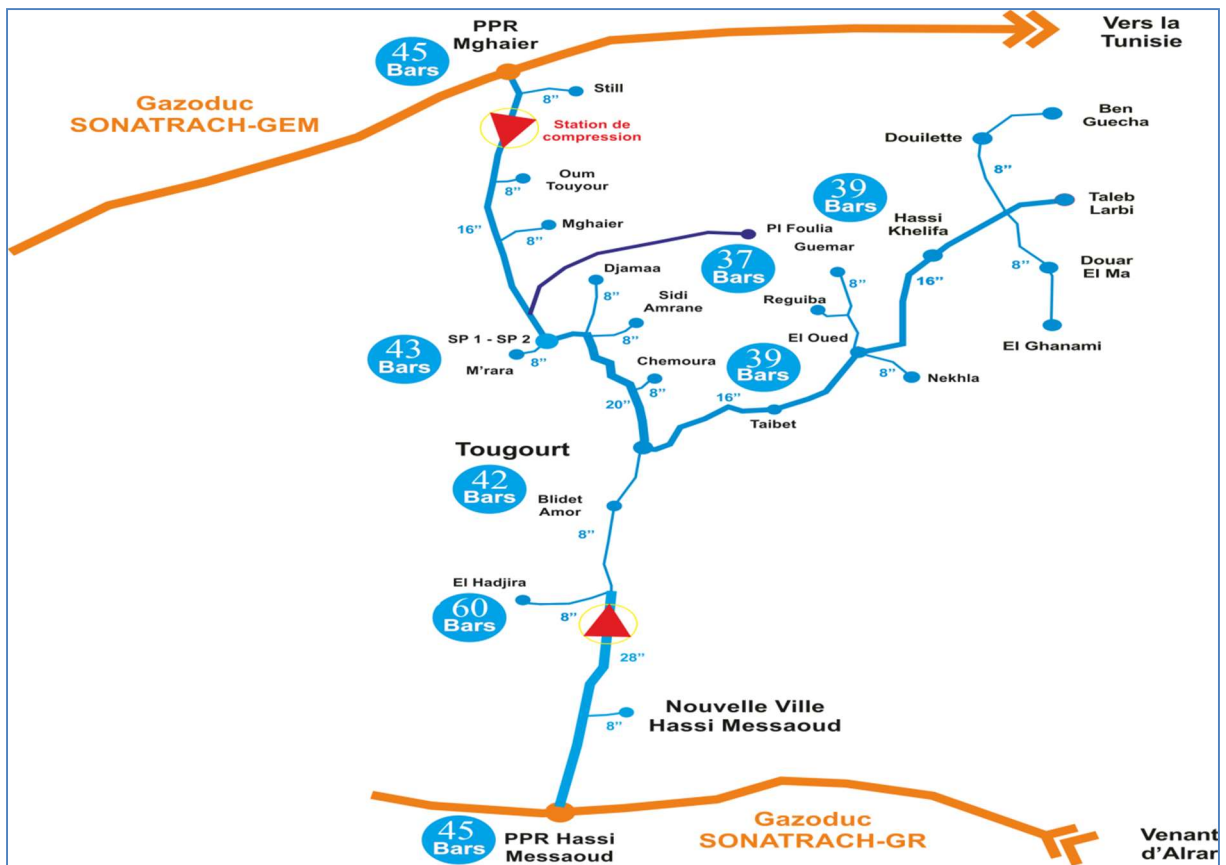


Figure 5-21: les niveaux de pression durant l'Horizon 2030 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued

Points supervisés	PPR Meghaier	PPR Hassi Messaoud	DP Hadjira	DP1 Touggourt	CI SP2/OK1	DP Ghamra	DP H.A.KADER & DEBILA
Pression en bars	45	45	59.88	42.15	42.69	36.15	38.42
Contraintes requises d'exploitation	-	-	04	04	35	04	04

Les paramètres des deux stations de compression ont été enregistrés comme le montre le tableau ci-dessous :

Emplacement	Paramètres	Rapport de compression	Puissance de l'arbre en MW	Température de refoulement °C
	l'emplacement N°1	1.44	1.61	42
	2 ^{ème} station de compression	1.37	0.83	39

Déduction : situation d'exploitation du réseau satisfaisante

- **Horizon 2031 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued :**

Les résultats des simulations à l'horizon 2031 de l'alimentation en gaz naturel de l'ensemble des utilisateurs (DP et CI) du réseau avec une pression de 45 bars aux PPR Meghaier et Hassi Messaoud, et l'exploitation deux (02) stations de compression affichent des pressions **satisfaisantes** en bout de réseau.

Le schéma ci-après donne les niveaux de pression de quelques nœuds du réseau simulé :

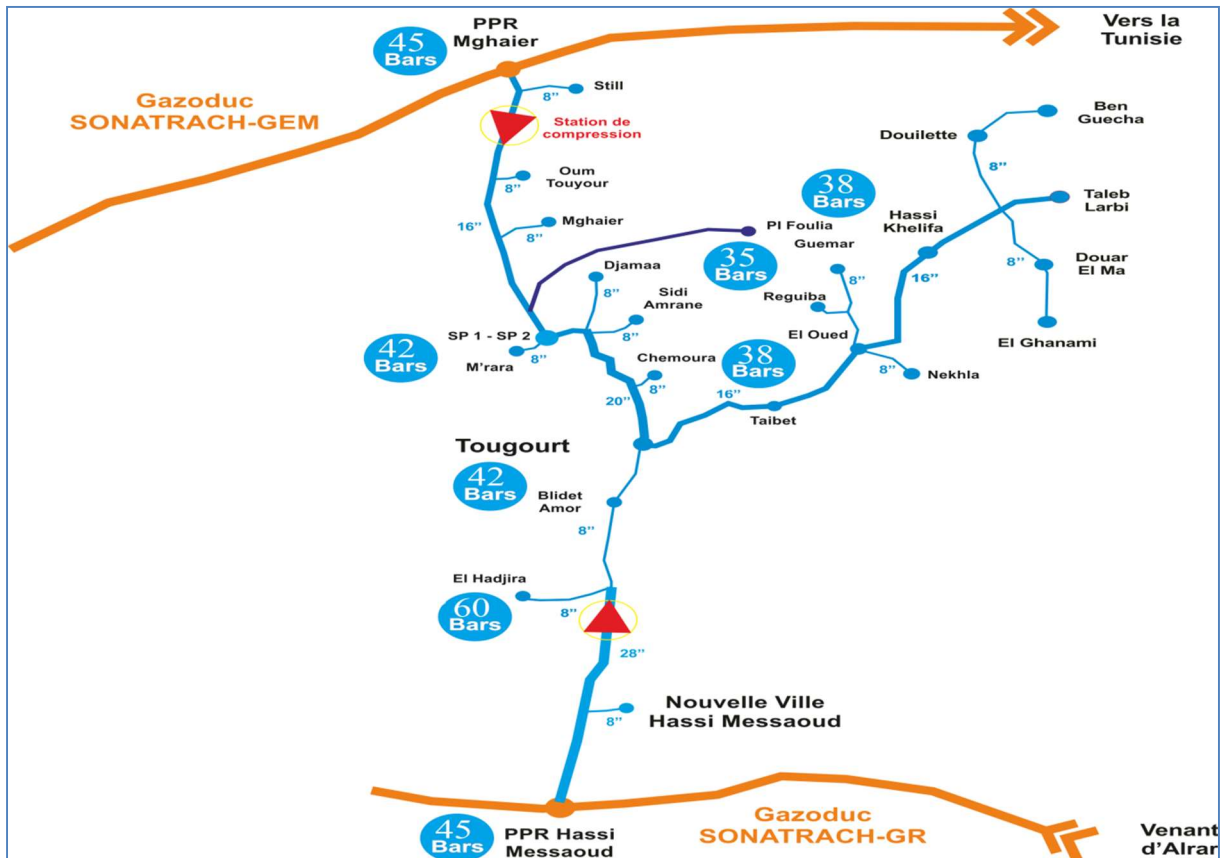


Figure 5-22 : les niveaux de pression durant l'Horizon 2031 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued

Points supervisés	PPR Meghaier	PPR Hassi Messaoud	DP Hadjira	DP1 Touggourt	CI SP2/OK1	DP Ghamra	Dp H.A.KADER & DEBILA
Pression en bars	45	45	59.88	41.55	42.14	35.13	37.56
Contraintes requises d'exploitation	-	-	04	04	35	04	04

Les paramètres des deux stations de compression ont été enregistrés comme le montre le tableau si dessous :

Emplacement	Paramètres	Rapport de compression	Puissance de l'arbre en MW	Température de refoulement °C
	l'emplacement N°1		1.45	1.45
2 ^{ème} station de compression		1.97	0.84	39

Déduction : situation d'exploitation du réseau satisfaisante.

➤ **Horizon 2032 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued :**

Les résultats des simulations à l'horizon 2032 de l'alimentation en gaz naturel de l'ensemble des utilisateurs (DP et CI) du réseau avec une pression de 45 bars aux PPR Meghaier et Hassi Messaoud, et l'exploitation deux (02) stations de compression affichent des pressions **satisfaisantes** en bout de réseau.

Le schéma ci-après donne les niveaux de pression de quelques nœuds du réseau simulé :

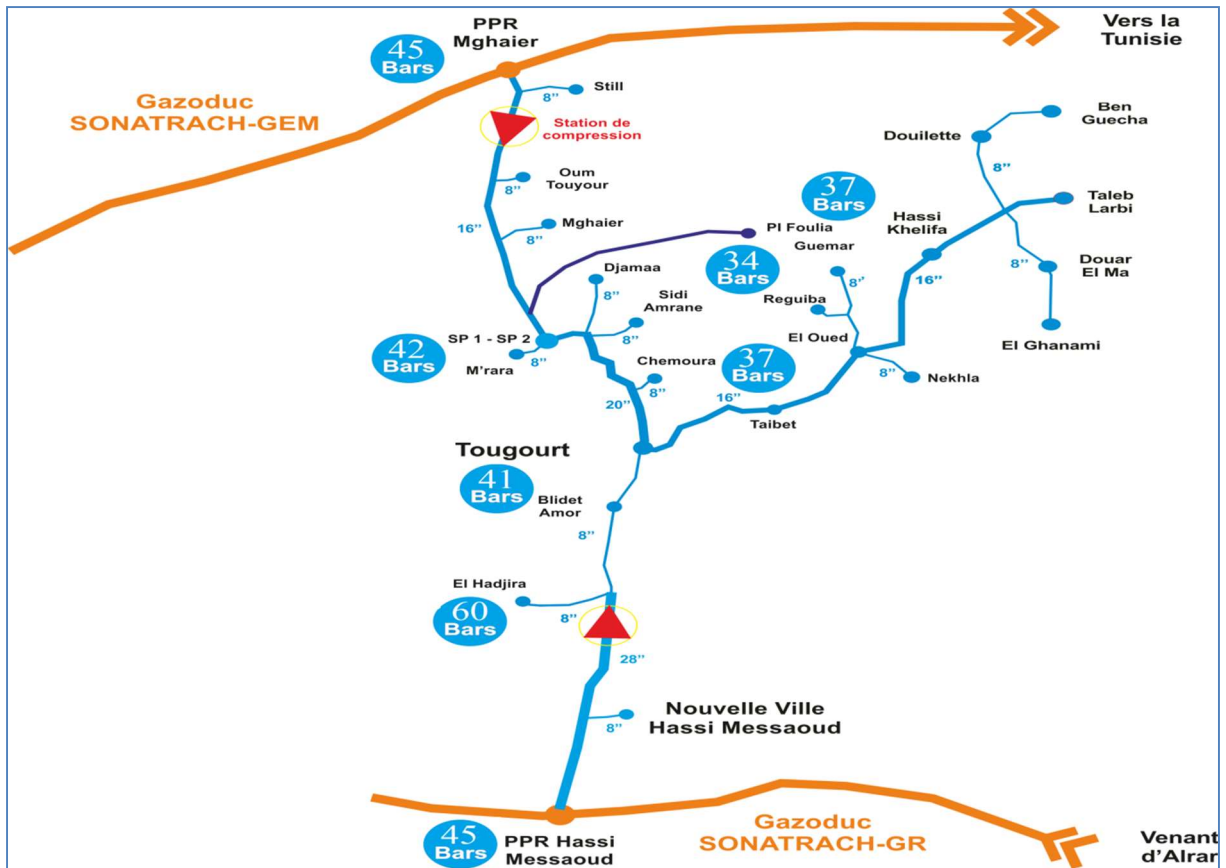


Figure 5-23: les niveaux de pression durant l'Horizon 2032 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued

Points supervisés	PPR Meghaier	PPR Hassi Messaoud	DP Hadjira	DP1 Touggourt	CI SP2/OK1	DP Ghamra	DP H.A.KADER & DEBILA
Pression en bars	45	45	59.87	40.92	41.56	34.03	36.64
Contraintes requises d'exploitation	-	-	04	04	35	04	04

Les paramètres des deux stations de compression ont été enregistrés comme le montre le tableau si dessous :

Paramètres	Rapport de compression	Puissance de l'arbre en MW	Température de refoulement °C
Emplacement			
l'emplacement N°1	1.453	1.68	42
2 ^{ème} station de compression	1.371	0.85	39

Déduction : situation d'exploitation du réseau satisfaisante

➤ **Horizon 2033 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued :**

Les résultats des simulations à l'horizon 2033 de l'alimentation en gaz naturel de l'ensemble des utilisateurs (DP et CI) du réseau avec une pression de 45 bars aux PPR Meghaier et Hassi Messaoud, et l'exploitation deux (02) stations de compression affichent des pressions **satisfaisantes** en bout de réseau.

Le schéma ci-après donne les niveaux de pression de quelques nœuds du réseau simulé :

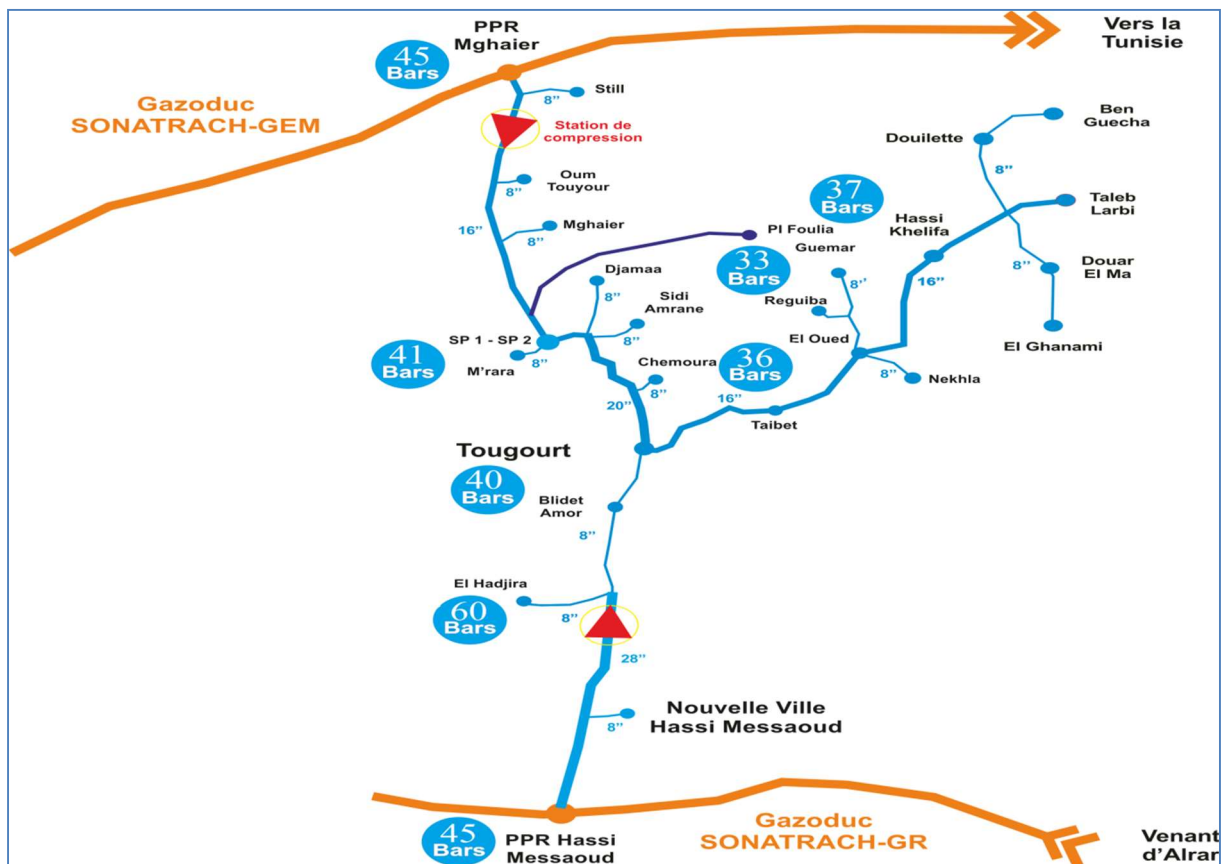


Figure 5-24: les niveaux de pression durant l'Horizon 2033 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued

Points supervisés	PPR Meghaier	PPR Hassi Messaoud	DP Hadjira	DP1 Touggourt	CI SP2/OK1	DP Ghamra	DP H.A.KADER & DEBILA
Pression en bars	45	45	59.87	40.25	40.94	32.84	35.64
Contraintes requises d'exploitation	-	-	04	04	35	04	04

Les paramètres des deux stations de compression ont été enregistrés comme le montre le tableau ci-dessous :

Emplacement	Paramètres	Rapport de compression	Puissance de l'arbre en MW	Température de refoulement °C
	l'emplacement N°1	1.457	1,72	42
	2 ^{ème} station de compression	1.371	0.86	39

Déduction : situation d'exploitation du réseau satisfaisante

- **Horizon 2034 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued :**

Les résultats des simulations à l'horizon 2034 de l'alimentation en gaz naturel de l'ensemble des utilisateurs (DP et CI) du réseau avec une pression de 45 bars aux PPR Meghaier et Hassi Messaoud, et l'exploitation deux (02) stations de compression affichent des pressions **satisfaisantes** en bout de réseau.

Le schéma ci-après donne les niveaux de pression de quelques nœuds du réseau simulé :

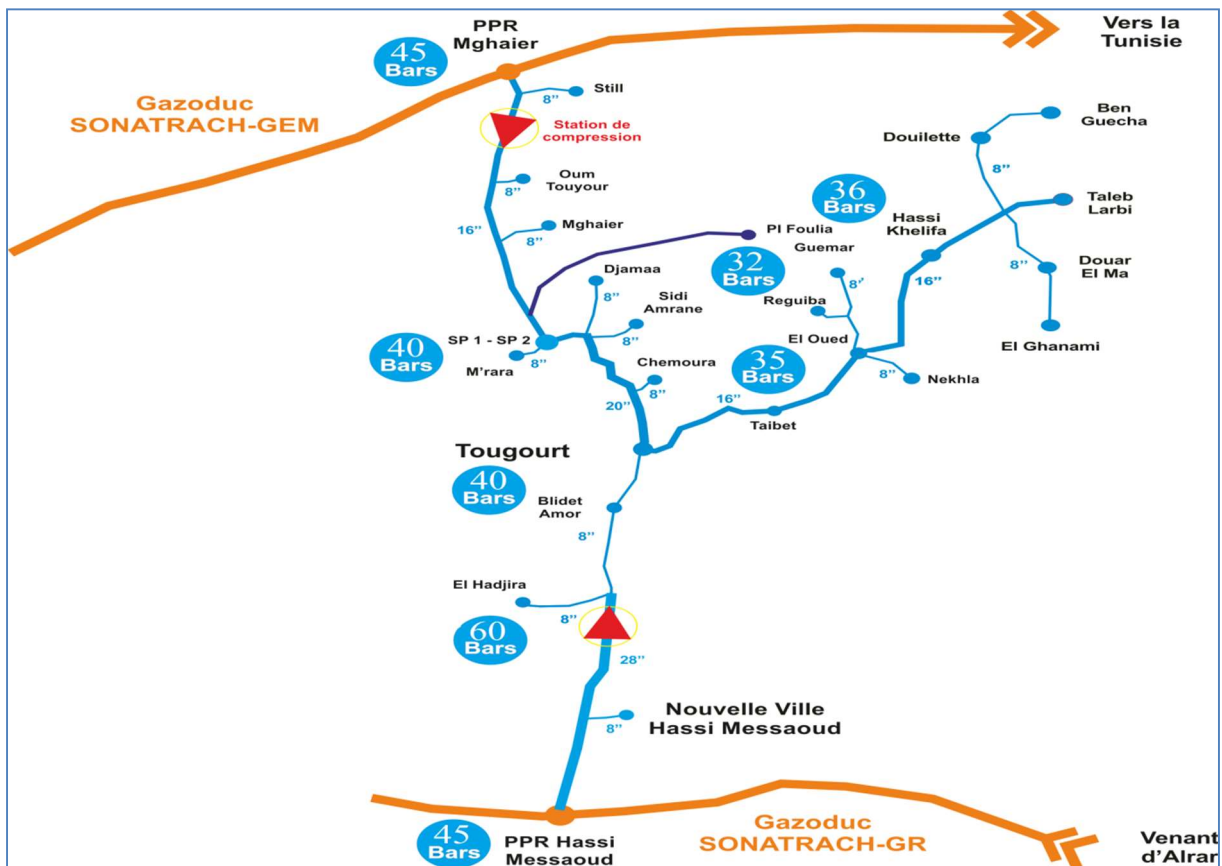


Figure 5-25: les niveaux de pression durant l'Horizon 2034 avec deux stations de

compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued

Points supervisés	PPR Meghaier	PPR Hassi Messaoud	DP Hadjira	DP1 Touggourt	CI SP2/OK1	DP Ghamra	DP H.A.KADER & DEBILA
Pression en bars	45	45	59.86	39.54	40.29	31.54	34.57
Contraintes requises d'exploitation	-	-	04	04	35	04	04

Les paramètres des deux stations de compression ont été enregistrés comme le montre le tableau ci-dessous :

Emplacement	Paramètres	Rapport de compression	Puissance de l'arbre en MW	Température de refoulement °C
	l'emplacement N°1	1,46	1,72	43.86
	2 ^{ème} station de compression	1,37	0,88	37.7

Déduction : situation d'exploitation du réseau satisfaisante

- **Horizon 2035 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued**

Les résultats des simulations à l'horizon 2035 de l'alimentation en gaz naturel de l'ensemble des utilisateurs (DP et CI) du réseau avec une pression de 45 bars aux PPR Meghaier et Hassi Messaoud, et l'exploitation deux (02) stations de compression affichent des pressions **satisfaisantes** en bout de réseau.

Le schéma ci-après donne les niveaux de pression de quelques nœuds du réseau simulé :

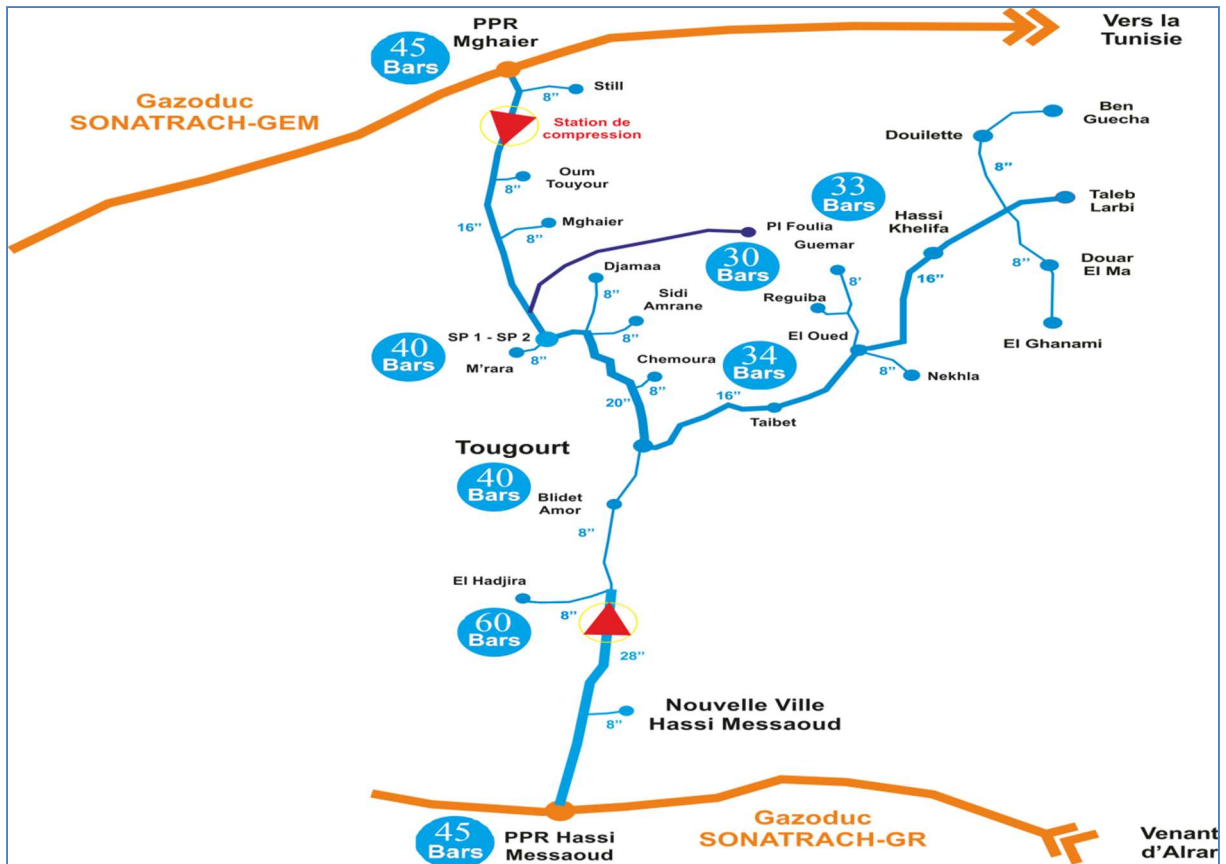


Figure 5-26 : les niveaux de pression durant l'Horizon 2035 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued

Points supervisés	PPR Meghaier	PPR Hassi Messaoud	DP Hadjira	DP1 Touggourt	CI SP2/OK1	DP Ghamra	DP H.A.KADER & DEBILA
Pression en bars	45	45	59.86	38.78	39.6	30.11	33.41
Contraintes requises d'exploitation	-	-	04	04	35	04	04

Les paramètres des deux stations de compression ont été enregistrés comme le montre le tableau si dessous :

Paramètres	Rapport de compression	Puissance de l'arbre en MW	Température de refoulement °C
Emplacement			
l'emplacement N°1	1,47	1,80	44.15
2 ^{ème} station de compression	1,37	0,89	37.74

déduction : situation d'exploitation du réseau satisfaisante

➤ **Horizon 2036 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued :**

Les résultats des simulations à l'horizon 2036 de l'alimentation en gaz naturel de l'ensemble des utilisateurs (DP et CI) du réseau avec une pression de 45 bars aux PPR Meghaier et Hassi Messaoud, et l'exploitation deux (02) stations de compression affichent des pressions **satisfaisantes** en bout de réseau.

Le schéma ci-après donne les niveaux de pression de quelques nœuds du réseau simulé :

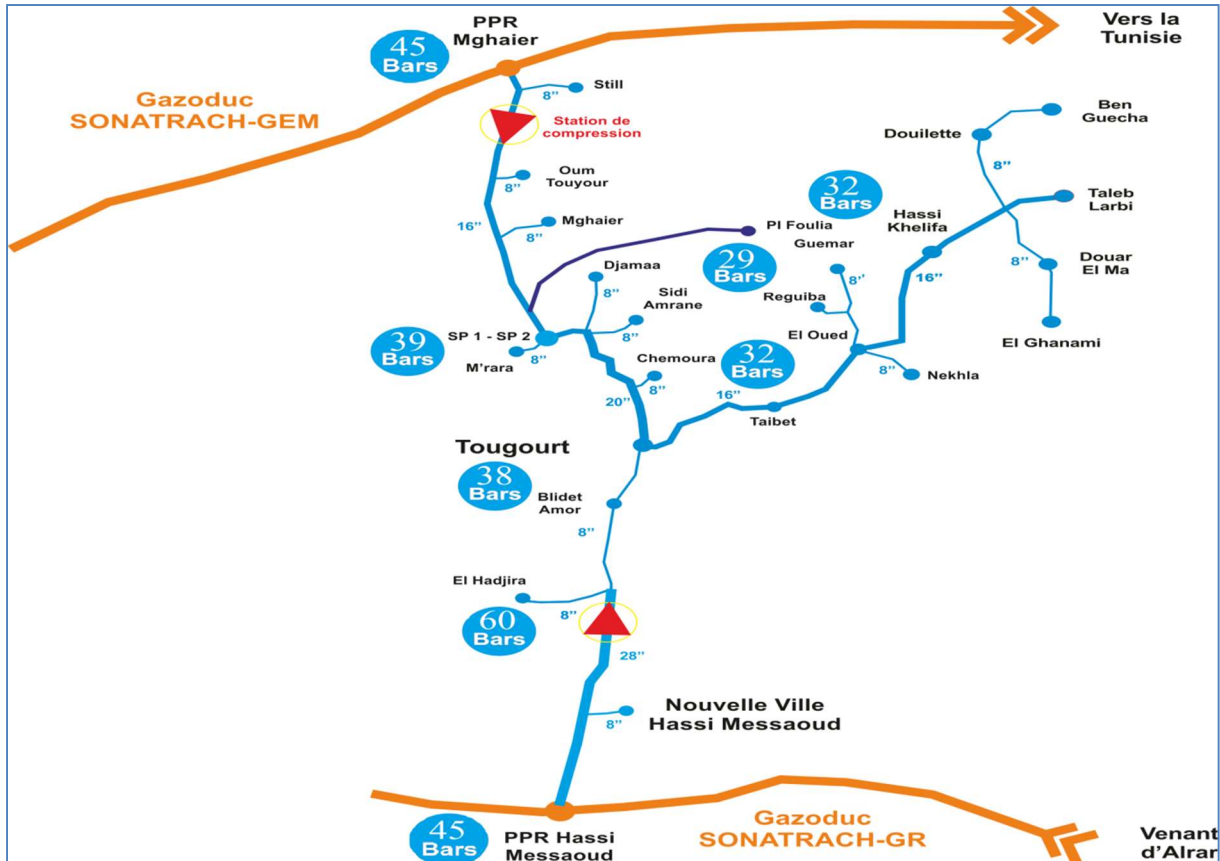


Figure 5-27: les niveaux de pression durant l'Horizon 2036 avec deux stations de compression sur le réseau et l'arrêt de la centrale électrique El Oued

Points supervisés	PPR Meghaier	PPR Hassi Messaoud	DP Hadjira	DP1 Touggourt	CI SP2/OK1	DP Ghamra	DP H.A.KADER & DEBILA
Pression en bars	45	45	59.85	37.97	38.87	28.54	32.14
Contraintes requises d'exploitation	-	-	04	04	35	04	04

Les paramètres des deux stations de compression ont été enregistrés comme le montre le tableau ci dessous :

Paramètres	Rapport de compression	Puissance de l'arbre en MW	Température de refoulement °C
Emplacement			
l'emplacement N°1	1,47	1,84	44.45
2 ^{ème} station de compression	1,37	0,9	37.38

Déduction : situation d'exploitation du réseau satisfaisant.

F. Conclusion station de compression :

Les résultats obtenus à partir de la simulation statique, ont prouvés que durant la période d'étude (2022-2036) le réseau sera satisfait en matière d'alimentation en gaz conformément a la première solution proposé qui consiste à installer des stations de compression donnée comme suit :

- La station de compression au niveau du Poste de Sectionnement N°01 (PK 15+400) de l'ouvrage Ø16'' Meghaier – Djemaa avec un refoulement de 60 bars , permettrait de couvrir la demande en gaz des utilisateurs du réseau que sur une projection de 04 horizons (2023 - 2026).
- La station de compression au niveau du Terminal Arrivée (PK 120+000) de l'ouvrage Ø28'' Hassi Messaoud – El Oued, avec un refoulement de 70 bars. permettrait de couvrir la demande en gaz des utilisateurs du réseau que sur une projection de 02 horizons (2027 - 2028).
- cette solution a nécessitée la perte de l'investissement consenti au niveau de la centrale électrique d'El Oued pour quelle puisse couvrir la demande en gaz
- des utilisateurs du réseau sur la période d'étude restante (2029-2036) .

5.3.2 Solution N°2 : La réalisation d'un nouveau gazoduc :

La deuxième solution proposée consiste en la réalisation d'un nouveau gazoduc (tel qu'il est défini dans le 1^{er} chapitre) qui prendrait en charge l'ensemble des besoins des utilisateurs du réseau ;

A. Propriété du nouveau gazoduc :

L'examen du tracé du gazoduc suggéré est donné comme suit :

- Année d'apparition : L'année d'apparition de ce nouveau gazoduc sera pour 2023
- Mode de raccordement : à partir du Terminal Arrivée Ø28'' Hadjira du gazoduc Ø28'' Hassi Messaoud – El Oued
- Diamètre : Ø28''
- Longueur : 120 km
- Injection : Terminal Arrivée Ø16'' El Oued

B. Les ouvrages attendus sur le réseau :

Il est attendu sur le réseau l'apparition des ouvrages suivants comme le montre la carte ci-après :

❖ Pour l'horizon 2023 il est attendu :

- La mise en service de la distribution publique Tirfaoui
- La mise en service des clients industriels : Briq.Saapr, Briq.Nedjmi, Briq_Djabri, Gbo, Hadja-Mama, Sakhr, Big-Road, Sfm, Souf
- La mise en service de la première partie de la ville nouvelle de Hassi Messaoud avec un besoin en gaz de 30 000 Nm³/h sur les 80 000 de prévus.

❖ Pour l'horizon 2024 il est attendu :

- Le Raccordement et la mise en service des distributions publique au niveau de Taleb Larbi : H.Abelkader & Debila ,S-aoun , Magrane , H-khelifa ,Taleb-Larbi ,,Benguecha , Douar-Elma , Sahn Derri , Amra + Bougssissia , Laadhal , Menchia , Djedaida Souihla2 , Sebais , Douillette , Mih Cheikh , El Ghanami .

❖ Pour l'horizon 2027 il est attendu :

- La mise en service de client industriel : Parc Industriel El Foulia
- Le Raccordement de la 2eme partie de la Ville nouvelle Hassi Messaoud 50 000 Nm³/h

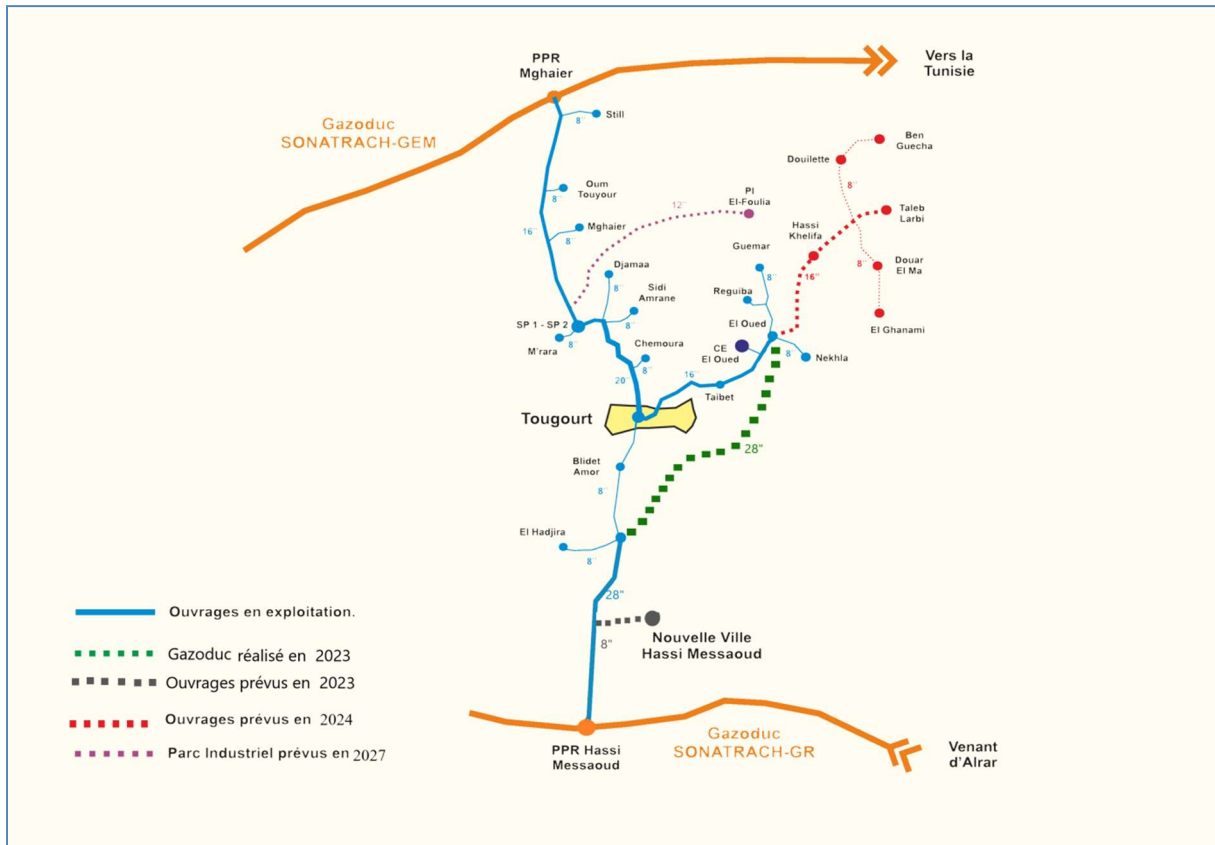


Figure 5-28: les principaux ouvrages attendus sur le réseau étudié et l'emplacement du nouveau gazoduc réalisé

C. Résultats de simulation avec la réalisation d'un nouveau gazoduc :

Les résultats des simulations de quelques nœuds du réseau simulé pendant toute la période d'étude (2023-2036) sont récapitulés comme les montre les tableaux ci-après :

Tableau 5-2: Tableau récapitulative de niveau de pressions enregistrées pendant la période d'étude dans quelque distribution publique :

Point supervisé Horizon	PPR- MGHAIER	PPR Hessi Massoud	DP- HADJIRA	DP1 Touggourt	DP- GHAMRA	DP H.A.KADER & DEBILA
2023	45	45	43,78	42,62	41,78	43,38
2024	45	45	43,67	42,49	41,57	43,23
2025	45	45	43,57	42,37	41,36	43,08
2026	45	45	43,46	42,24	41,15	42,92
2027	45	45	41,94	38,72	39,06	40,97
2028	45	45	41,81	38,53	38,77	40,73
2029	45	45	41,75	38,41	38,59	40,64
2030	45	45	41,69	38,28	38,4	40,54
2031	45	45	41,62	38,15	38,2	40,43
2032	45	45	41,55	38,01	38	40,33
2033	45	45	41,47	37,87	37,78	40,21
2034	45	45	41,4	37,72	37,55	40,1
2035	45	45	41,32	37,57	37,31	39,98
2036	45	45	41,24	37,4	37,06	39,85
Contraintes requis d'exploitation	/	/	4	4	4	4

Tableau 5-3: Tableau récapitulatif de niveau des pressions enregistrées pendant la période d'étude dans la centrale électrique et le client industriel sp2

Point supervisé Horizon	PPR-MGHAIER	PPR Hessi Massoud	CI SP2/OK1	CE TG EL Oued
	2023	45	45	42,51
2024	45	45	42,39	43,24
2025	45	45	42,27	43,1
2026	45	45	42,15	42,96
2027	45	45	38,43	41,05
2028	45	45	38,24	40,85
2029	45	45	38,12	40,76
2030	45	45	37,99	40,67
2031	45	45	37,86	40,57
2032	45	45	37,72	40,47
2033	45	45	37,58	40,37
2034	45	45	37,44	40,26
2035	45	45	37,28	40,15
2036	45	45	37,12	40,03
Contraintes requises d'exploitation	/	/	35	32

Les résultats des simulations durant la période (2023-2036) de l'alimentation en gaz naturel de l'ensemble des utilisateurs (DP, CI, CE) du réseau avec une pression de 45 bars aux PPR Meghaier et Hassi Messaoud , et l'exploitation du nouveau gazoduc réalisé et raccordé à partir du Terminal Arrivée Ø28'' Hadjira du gazoduc Ø28'' Hassi Messaoud – El Oued affichent des pressions **très satisfaisantes** durant toute la période d'étude en bout de réseau.

D. Conclusion générale solution gazoduc :

- Les résultats obtenus à partir de la simulation statique, ont prouvé que durant la période d'étude (2022-2036) le réseau sera satisfait en matière d'alimentation en gaz conformément à la deuxième solution proposée qui consiste en la réalisation d'un nouveau gazoduc Ø28'' et une longueur de 120 km raccordé à partir du Terminal Arrivée Ø28'' Hadjira du gazoduc Ø28'' Hassi Messaoud – El Oued avec une injection dans le terminal Arrivée Ø16'' El Oued .

5.4 Comparaison techniques entre les deux solutions :

A fin de faire face à l'évolution de besoins en énergie gazière de la région d'El Oued sur la période 2022-2036 , deux solutions ont été proposées : l'implantation d'une ou des stations de compression ou bien la réalisation d'un nouveau gazoduc **1^{ère} solution (station de compression)** ; pour que cette solution puisse couvrir les besoins des utilisateurs de réseau en matière de gaz , il nous a fallu :

L'implantation de deux stations de compression une au niveau du Poste de Sectionnement N°01 (PK 15+400) de l'ouvrage Ø16'' Meghaier – Djemaa avec un refoulement de 60 bars et la deuxième au niveau du Terminal Arrivée (PK 120+000) de l'ouvrage Ø28'' Hassi Messaoud – El Oued, avec un refoulement de 70 bars.

Cette solution nous a obligé de mettre la centrale électrique El Oued en hors service, pour qu'elle puisse couvrir les besoins gazières jusqu'à l'an 2036 où on a obtenu un niveau de pression limite sur le client industriel SP2

- **2^{ème} solution (réalisation d'un nouveau gazoduc)** d'un diamètre Ø28'' et une longueur de 120 km raccordé à partir du Terminal Arrivée Ø28'' Hadjira du gazoduc Ø28'' Hassi Messaoud – El Oued avec une injection dans le terminal Arrivée Ø16'' El Oued .

Cette solution et malgré le fonctionnement de la centrale électrique a pu couvrir les besoins des utilisateurs de réseau en matière de gaz sur toute la période d'étude où on a obtenu des niveaux de pression très satisfaisants qui ont montré que cette solution pourra être exploitée plus longtemps .

Déduction : L'examen des deux (02) solutions indique que la 2^{ème} solution (réalisation d'un nouveau gazoduc) est techniquement meilleure en matière de garantie d'un niveau de pression acceptable en bout de réseau.

5.5 Evaluation économique des deux solutions :

Les étapes de l'étude économique sont définies par les différents éléments constitutifs des coûts d'investissement et des coûts d'exploitations, ainsi que des relations qui nous permettent de les estimer

Les dépenses d'investissements peuvent être classées en trois catégories distinctes qui sont :

A. Coûts directes :

Il s'agit des coûts de fournitures et de constructions de tous les ouvrages nécessaires au transport du gaz par canalisation

➤ Coût de la réalisation du nouveau gazoduc :

1. Coût des tubes :

Leur détermination se fait sur la base de la nuance d'acier utilisée et de la longueur de la canalisation. Celle-ci doit être majorée d'un certain pourcentage pour tenir compte des éventuelles pertes lors des travaux de pose des tubes.

2. Coût de transport des tubes :

Il dépend de plusieurs paramètres tels que la distance parcourue, le mode de transport et le nombre de tubes.

3. Revêtement des tubes :

Il est choisi pour assurer la protection passive contre la corrosion. Son coût varie selon le diamètre et la longueur de la canalisation, compte tenu des éventuelles pertes lors des travaux de pose des tubes.

4. Coût de la pose des tubes :

Il correspond à l'aménagement de la piste et à l'ouverture de la tranchée, au transport et manutention des tubes, à l'alignement, au cintrage, au soudage et à l'enrobage, aux tests hydrostatiques, aux essais mécaniques, et enfin, à la mise en service et remise en état des lieux.

5. Coût de la protection cathodique :

Il se calcule à partir d'un pourcentage du coût des tubes.

6. Coût des Vannes et accessoires :

On les trouve principalement dans les postes de sectionnements, de coupures .

➤ Cout des Stations de Compressions :

Elle comporte les deux (2) parties suivantes :

1. Une partie fixe :

Comprenant le génie civil, l'infrastructure générale de la station, ainsi que l'équipement mécaniques et électriques, à l'exclusion des turbocompresseurs et de leurs équipements auxiliaires.

2. Une partie mobile :

Comprenant les groupes turbo compresseurs et de leurs accessoires (machines tournantes)

➤ Cout des terminaux:

Il comporte les bâtiments techniques et administratifs, une base d'intervention et une base de vie des terminaux.

B. Coûts indirects:

Ils comprennent les études d'engineering, les charges d'exploitation, la surveillance des travaux, les pièces de rechange, le matériel, mobilier et autre.

Le cout de l'ensemble de ces éléments est estimé par un pourcentage des couts directs hors tube.

C. Imprévus:

Pris sur les travaux de pose, ils ont pour objet de prendre en considération les frais exceptionnels révélant par exemple d'intempéries, de modifications dans la construction. Des événements important qui ne sont ni le fait de l'entrepreneur ni le fait de l'administration. Les imprévus sont estimés par un pourcentage des couts directs hors tube.

Sur la base des informations fournies par les collaborateurs du groupe Sonelgaz , les devis estimatifs issus de quelques coûts de référence disponibles ont révélés ce qui suit :

➤ **En ce qui concerne les stations de compression :**

Les montants à dégager pour la réalisation des deux stations de compression sont décortiqués comme suit :

Tableau 5-4:le coût de la réalisation des deux station de compression

Coût	Une station de compression en DA	Deux stations de compression en DA
Charges engineering	29394616,26	58 789 232,52
Fourniture	1 234 573 909,76	2 469 147 819,52
Travaux de réalisation	257 202 857,68	514 405 715,36
Montant de l'ouvrage (DA-HT)	1 521 171 383,70	3 042 342 767,40
Droits de douanes	101 997 040	203 994 080
Montant total de l'ouvrage (DA-TTC)	1 623 168 423,7	3 246 336 847,40

➤ **En ce qui concerne la réalisation d'un nouveau gazoduc :**

Le montant nécessaire à la concrétisation d'un gazoduc d'une longueur de 120 km en diamètre 28'' sont donnés comme suit :

Tableau 5-5: le coût de la réalisation du nouveau gazoduc

Coût	En DA
Montant pose du gazoduc	7 890 906 960,00
Montant montage et réalisation des ouvrages concentrent	492 229 693,20
Montant de l'ouvrage (DA-HT)	8 383 136 653,20
T.V.A (19%)	1 592 795 964,11
Montant total de l'ouvrage (DA-TTC)	9 975 932 617,31

Comparant les deux solutions et leurs investissements respectifs, l'analyse économique montre un avantage pour la solution « stations de compression ».

Tableau 5-6:comparatif entre le coût des deux solutions

Réalisation	Montant Total (DA-TTC)
Réalisation des deux stations de compression	3 246 336 847,40
Réalisation de gazoduc	9 975 932 617,31

5.6 Evaluation technico-économique

L'analyse technique des deux solutions indique ce qui suit :

- En ce qui concerne les stations de compression :

Le réseau de transport du gaz ne peut être desservi convenablement sans l'apparition des deux stations de compression sur la période 2023 – 2036 ;

Notons par ailleurs que cette solution a nécessité la perte de l'investissement consenti au niveau de la centrale électrique d'El Oued pour assouvir l'approvisionnement en énergie électriques des habitants de la région.

En chiffrant ce déficit, il s'avère que le coût de réalisation d'une TG mobile fonctionnant en gaz naturel, d'une puissance développable de 18 MW, représente 3.1 milliards de DA, ce qui implique que le prix de cette centrale électrique est de 12.4 milliards de DA.

En adéquation technico-économique, la solution stations de compression :

- N'est pas une solution viable dans le temps vu les niveaux de pression enregistrées à long terme ;
- n'est pas une solution raisonnable compte tenu de la nécessité de la centrale électrique d'El Oued qui sera utilisée comme réserve stratégique à tout moment par Sonelgaz
- N'est pas rentable par rapport au coût d'investissement (3.2milliards – 12.4 milliards, soit un déficit de la perte de l'investissement consenti au niveau de la centrale électrique d'El Oued)

- En ce qui concerne la solution gazoduc :

Cette solution a prouvé par le biais des simulations un meilleur équilibre du réseau avec l'enregistrement des niveaux de pression très satisfaisant en bout de réseau et cela sans passer par la mise à l'arrêt de la centrale électrique d'El Oued.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Le domaine de l'ingénierie est très vaste et a pour but de maximiser le rendement d'un procédé de fabrication ou bien de l'exploitation d'une ressource naturel...etc.

Une des ressources les plus importantes en Algérie est le gaz naturel qui représente un combustible fossile facile à exploiter et propre pour l'environnement comparé au pétrole ou au charbon.

Dans cette étude, il a été modélisé le réseau de transport du gaz naturel de la région d'El Oued et mis en évidence l'un des problèmes majeur que peut rencontrer l'acheminement du gaz naturel qui est la perte de pression.

Pour mener bien ce projet, il a fallu maîtriser et comprendre des notions hors notre domaine d'étude comme le réseau du transport du gaz et ces caractéristiques, la pression contrainte des utilisateurs de réseau, l'outil de simulation SIMONE. Au-delà de la connaissance de ces données, nous avons essayé de trouvés des solutions afin d'obtenir un résultat qui peut couvrir la région d'El Oued en matières en Gaz au long de la période d'étude "2022-2036".

Nous avons pu utiliser deux solutions pour contrôler le niveau de pression afin de mieux répondre aux conditions requises pour le bon fonctionnement de la centrale électrique ou bien a l'acheminement en temps et en heure afin de satisfaire la consommation des distributions publiques et clients industriels.

Ces solutions sont l'installation de stations de compressions qui a pour rôle de redresser le niveau de pression à une valeur plus approprier au transport du gaz naturel par gazoduc ou bien la réalisation de nouveau gazoduc qui a pour but de diminuer la perte de pression.

A travers l'étude technico-économique et le biais des simulations nous avons pu trouver que la deuxième solution proposé 'la réalisation d'un nouveau gazoduc 'pourras garantir des niveaux de pression très satisfaisantes a long termes sur le réseau d'El Oued .

Conclusion Générale

Notre projet de fin d'étude nous a permis de nous confronter pour la première fois à un problème du monde réel avec le bagage académique dont nous disposons. L'entreprise SONELGAZ nous a confié une étude qui a pour titre "Etude d'optimisation des investissements liés au développement du réseau de transport gaz «Haute pression» de la Région d'El Oued sur la période 2022-2036"

Enfin, nous voulons dire qu'à travers cet humble travail, nous espérons apporter à l'université et pour les promotions avenir une base pour d'autres travaux et dans le cadre d'un éventuel développement, il serait intéressant d'en faire une étude d'optimisation.

Annexe

Annexe

Caractéristiques de gaz naturel :

Tableau annexe 1: Caractéristiques de gaz naturel

Formules	Composés	%	Masse molaire
CH ₄	Méthane	89.43	16.04
C ₂ H ₆	Ethane	2.71	30.07
C ₃ H ₈	Propane	0.61	44.09
n-C ₄ H ₁₀	n-Butane	0.001	58.12
i-C ₄ H ₁₀	Isobutane	0.001	58.12
n-C ₅ H ₁₂	n-Pentane	-	72.15
i-C ₅ H ₁₂	Isopentane	-	72.15
n-C ₆ H ₁₄	n-Hexane	-	86.18
n-C ₇ H ₁₆	n-Heptane	-	100.21
H ₂ S	Hydrogène sulfuré	-	34.08
CO ₂	Dioxyde de carbone	4.13	44.01
N ₂	Azote	2.75	28.01
Masse Molaire	18.47		
Masse Volumique	0.74 kg / m ³		
Densité	0.60		

Annexe

Liste des distributions publique existantes:

Tableau annexe 2 : Liste des distributions publique existantes:

Nom	Capacité Poste
AIN CHOUCHA	2500
BAYADA	2500
DJAMAA	2500
EL NAKHLA	2500
EL OUED	20000
EL ROUBAHE	2500
GHAMRA	2500
GUEMAR	2500
HAMRAIA	2500
KOUIINE	2500
MAZHER	2500
MIH OUENSA	2500
M'GHAIER	2500
M'RARA	2500
OUED EL ALENDIA	2500
OUED TREK	2500
OUM ETHIOUR	2500
OURMES	2500
REGUIBA	2500
SIDI AMRANE	2500
SIDI KHELIL	2500
TAGHZOUT	2500
BENACER	2500
BLIDET OMOR	2500
ED DLILA	2500
HADJIRA	2500
LAGRAF	2500
MEGARINE	2500
MNAGUEUR	2500
OUM ZBED	2500
SIDI MEHDI	2500
SIDI S'LIMANE	2500
TAIBET	2500
TEMACINE	2500
DP1 TOUGGOURT	5000
DP2 TOUGGOURT	5000
DP3 TOUGGOURT	2500
STILL	2500
TENDLA	2500
EL ALIA	2500

DP
Existantes

Annexe

Liste des distributions publiques prévues :

Tableau annexe 3: Liste des distributions publiques prévues :

	Années d'apparition	Nom	Capacité Poste
DP Nouvelles	2023	DP TIRFAOUI	2500
	2024	H.ABDELKADER & DEBILA	2500
		S-AOUN	2500
		MAGRANE	2500
		H-KHELIFA	5000
		TALEB-LARBI	2500
		BENGUECHA	2500
		DOUAR-ELMA	2500
		DP SAHN DERRI	2500
		DP Amra+Bougssissia	2500
		DP Laadhal	2500
		DP Menchia	2500
		DP Djedaida, Souihla2	2500
		DP Sebais	2500
		DP Douilette	2500
		DP Mih Cheikh	2500
		DP El Ghanami	2500
		2023	Ville nouvelle Hassi
	2027	Messaoud	50 000

Annexe

Liste des clients industriels existant :

Tableau annexe 4 : Liste des clients industriels existant

	Nom	Capacité Poste
CI Existants	Sarl Briqueterie Timacine (SBT)	1 500
	Sarl Briqueterie Moderne Timacine (SBMT)	2 500
	Briqueterie Djedai	2 500
	Briqueterie Nezla	2 000
	Briqueterie Amouria	1 500
	Briqueterie Céramique du Sud (CMS)	1 000
	Station de pompage SP1/OB1	5 000
	Station de pompage SP2/OK	7 500
	Edhaia	2 000
	Sarl Messoudi Prest	2 500
	Amouri Briq	2 000
	BGO	2 000
	Briq Ganouba	2 000
	Briqueterie NI Groupe	1 500

Liste des clients industriels prévus :

Tableau annexe 5: Liste des clients industriels prévus

	Années d'apparition	Nom	Capacité Poste
CI Nouveaux	2024	SAAPR Company (contrat si)	2 000
		Briqueterie Nejmi	2 000
		EURL Briqueterie Djabri	4 000
		Sarl GBO	5 000
		Haja Mama	2 500
		Sekher	2 000
		BIG ROAD	4 000
		SARL SFM	2 500
		Briqueterie Souf	4 000
	2027	Parc Industriel El Foulia	48 000

Annexe

Le volume annuel de gaz en Nm³ consommé distributions publiques pendant les trois dernières années :

Tableau annexe 6:Le volume annuel de gaz en Nm3 consommé par les distributions publiques pendant les trois dernières années

Nom	2018	2019	2020
AIN CHOUCHA	352	359	366
BAYADA	2475	2525	2575
DJAMAA	1528	1558	1590
EL NAKHLA	1214	1239	1263
EL OUED	11511	11741	11976
EL ROUBAHE	759	774	790
GHAMRA	360	367	374
GUEMAR	1394	1422	1451
HAMRAIA	293	299	305
KOUININE	896	914	932
MAZHER	293	299	305
MIH OUENSA	285	291	297
M'GHAIER	2255	2300	2346
M'RARA	379	387	395
OUED EL ALENDIA	488	498	508
OUED TREK	484	494	504
OUM ETHIOUR	403	411	419
OURMES	405	413	421
REGUIBA	1352	1379	1406
SIDI AMRANE	607	619	632
SIDI KHELIL	1426	1455	1484
TAGHZOUT	402	410	419
BENACER	342	348	355
BLIDET OMOR	726	741	756
ED DLILA	1915	1953	1992
HADJIRA	493	503	513
LAGRAF	114	116	118
MEGARINE	987	1006	1027
MNAGUEUR	683	697	711
OUM ZBED	98	100	102
SIDI MEHDI	114	116	118
SIDI S'LIMANE	379	387	395
TAIBET	417	426	434
TEMACINE	1318	1345	1372
DP1 TOUGGOURT	3696	3770	3845
DP2 TOUGGOURT	3288	3354	3421
DP3 TOUGGOURT	8496	8665	8839

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] : Bulletin signalétique : Combustibles, énergie, Volume 38, Numéros 8938 à 16440.
- [2] :- Programme indicatif d'approvisionnement du marché national en gaz naturel
- Données disponibles au niveau du GRTG
- [3] : Document « étude de schéma directeur national de transport du gaz » élaboré par Sonelgaz GRTG
- [4] : Document « schéma directeur national gaz » élaboré par Sonatrach TRC
- [5] : A.ROJEY, B.DURAND, C.JAFFRET, S. JULLIAN, M. VALAIS ; «Le gaz naturel : production, traitement, transport» ; Editions Technip-P
- [6] : Document « Histoire et Perspectives du Transport du Gaz en Algérie » élaboré par Sonelgaz GRTG
- [7] : Document « Etude De Schéma Directeur Régional De Transport Du Gaz EST » élaboré par Sonelgaz DOSG
- [8]: Ecoulement des fluides – étude physique et cinématique « Technique de l'ingénieur ».
- [9] : Ecoulement en conduites, réseaux « Technique de l'ingénieur ».
- [10]: Ecoulement instationnaires « Technique de l'ingénieur ».
- [11]: H.Pascal – édition technip , Ecoulement non permanent dans les gazoducs «».
- [12]: Ecoulement des fluides – dynamique des fluides réels « Technique de l'ingénieur ».
- [13]: Document «Reserve Gazométrique Exploitable De Réseau De Transport Gaz GRTG» élaboré par Sonelgaz DOSG
- [14]: Document « Simone step by step » élaboré par SIMONE research group.
- [15]: Document « Simone equations and methods » élaboré par SIMONE research group.
- [16]: Document «bilan annuelle des consommations» élaboré par Sonelgaz GRTG
- [17] : Document «Programme indicatif d'approvisionnement du marché national en gaz naturel 2020 - 2029» Elaboré en application de l'article 46 de la loi n°02-01 du 05 février 2002 relative à l'électricité et à la distribution du gaz par canalisations
- [18] : document « plan de développement » élaboré par Sonelgaz GRTG
- [19] : Station de compression.org.fr
- [20] : programme de redéploiement des TG mobiles inscrit dans le programme indicatif des besoins en moyens de production de l'électricité 2021-2030 élaboré par Sonelgaz