



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



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : GÉNIE DES PROCÉDÉS

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par :

**GACEMI Mustapha Abderrahim &
BOUZALEKH Lokman Toufik**

DOMAINE : Sciences et Technologie

FILIERE : Génie des Procédés

OPTION : Génie des Procédés de l'Environnement

Thème

Evaluation environnementale des émissions des gaz
NO_x et CO dans la zone industrielle Hassi R'mel

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
Pr. BENALIA Mokhtar	Prof.	Président
Mr. ABDELMOUIZ Ahmed	MAA	Examinateur
Dr. DJEDID Mebrouk	MCA	Rapporteur

Promotion : 2021

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

*A mes chers parents qui m'ont
beaucoup aidé et soutenu tout au long
de mon travail.*

À mes frères que j'aimes.

*À mon binôme **BOUZALEKH***

Loukman

*A toute la famille et mes amis
A tous les professeurs qui nous ont
enseigné tout au long de notre parcours
académique.*

*À tous ceux qui ont été crédités de
nous avoir amenés à ce point.*

A toute la promo 2020/2021

*A tous ceux qui, par un mot, m'ont
donné la force de continuer...*

GACEMI Mustapha Abderrahim.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

*A mes chers parents qui m'ont
beaucoup aidé et soutenu tout au long
de mon travail.*

A toute la famille

*À mon binôme **GACEMI Mustapha***

A mes amis.

*A tous les professeurs qui nous ont
enseigné.*

A toute la promo 2020/2021

*A tous ceux qui, par un mot, m'ont
donné la force de continuer...*

BOUZALEKH Loukman.

REMERCIEMENT

Ce travail n'aurait pas été possible sans le soutien d'un certain nombre de personnes que nous tenons à remercier ici, après avoir remercié Dieu Tout Puissant pour son aide.

*Nous remercions beaucoup l'encadreur Monsieur **Dr. DJEDID Mebrouk**, pour avoir bien voulu encadrer ce travail et pour tous ses conseils.*

*Nous remercions Monsieur **Pr. BENALIA Mokhtar** et Monsieur **ABDELMOUIAZ Ahmed** qui ont bien voulu accepter de juger notre modeste travail.*

*Nous tenons à remercier tout particulièrement Monsieur **ABDELMOUIAZ Ahmed** d'avoir été à nos côtés à un moment où nous avons désespérément besoin d'aide.*

Nous tenons à remercier aussi tous nos enseignants.

Ainsi que le groupe administratif de notre département et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces	
Remerciements	
Liste d'abréviations	I
Listes des figures.....	II
Liste des tableaux	III

Introduction générale	1
------------------------------------	----------

CHAPITRE I : Généralités sur les émissions atmosphériques

I.1. Introduction sur la combustion	3
I.2. Les oxydes d'azote (NO _x)	4
I.2.1. Les NO _x thermiques	4
I.2.2. Les NO _x organiques	4
I.3. Les émissions de monoxyde de carbone.....	5
I.3.1. Les effets sur la santé	5
I.3.2. Les effets sur l'environnement	6
I.4. Facteur influençant sur la formation des NO _x	6
I.4.1 Facteurs extérieurs.....	6
I.4.2 Facteurs intérieurs	7
I.5. Les effets des NO _x	8
I.5.1. Effets des NO _x sur la santé	8
I.5.2. Les effets des NO _x sur l'environnement.....	10
I.6. La réglementation vis-à-vis des émissions atmosphériques.....	14
I.6.1. Historique.....	14
I.6.2. Principaux textes réglementaires.....	14
I.6.3. Conventions et accords internationaux.....	18

CHAPITRE II : Protocol expérimentale et modélisation

II.1. Etat des lieux des émissions	19
--	----

Sommaire

II.2. Les outils d'estimation et de contrôle des émissions atmosphériques	21
II.2.1. L'exploitation de l'appareil de mesure	21
II.2.2. Principe et méthode de mesure	23
II.3. Mesure des émissions NO _x , CO à la turbine de la station boosting.....	30
II.4. Étude de la dispersion avec le logiciel PHASTRISK.....	31
II.4.1. Présentation du logiciel PHASTRISK.....	31
II.4.2. Les industries utilisant actuellement PHASTRISK	32
II.4.3. Applications de PHASTRISK	32

CHAPITRE III : Résultats et discussion

III.1. Influence des paramètres opératoires sur les émissions de la turbine de la station Boosting.....	33
III.2. Evolution des émissions de NO _x	34
III.3. Evolution des émissions de CO	37
III.4. Modélisation de la dispersion de NO _x avec le logiciel PHASTRISK.....	39
Conclusion générale.....	43
Références Bibliographiques.....	45
Résumé	

Liste d'abréviation

Abréviation	Désignation
BP	basse pression
CCPS	centre for chemical process safety
COV	Composes organique volatils
FBN	Fuel Bound Nitrogène
GPL	Gaz du pétrole liquéfié
<i>HFC</i>	Les hydrofluorocarbures
HSE	Health and safety and environment
MPP	Module processing plant
PHASTRISK	<i>Process Hazards Analysis Software Toolkit</i>
<i>PHC</i>	Les per fluorocarbures
VLCT	Valeur limite de court terme

Tableau des figures

Figure I.1	Différents chemins de formation des NO_x pendant la combustion.	5
Figure I.2	Influence du rapport d'équivalence et la température de la flamme sur la production de NO_x et CO	8
Figure I.3	Le mécanisme de l'effet de serre.	12
Figure II.1	Système H-M-E	19
Figure II.2	Analyseur degaz, LANCOM III.	22
Figure II.3	Schéma de la turbine à gaz.	31
Figure III.1	Emission de gaz NO_x de la turbine à gaz, HassiR'mel	36
Figure III.2	Emission de gaz CO de la turbine à gaz, HassiR'mel	39
Figure III.3	Zone d'effet de dispersion atmosphérique de nuage toxique de NO_x (vitesse de la roue BP 90%)	41
Figure III.4	Zone d'effet de dispersion atmosphérique de nuage toxique de NO_x (Vitesse maximale de roue BP 99%)	42

Liste des tableaux

Tableau I.1	Seuil limite ou d'alerte des NOx	10
Tableau I.2	Les concentrations et les sources des espèces principales dans l'échappement	13
Tableau I.3	Les concentrations et les sources des espèces mineures dans l'échappement [2].	13
Tableau I.4	Résumé des Textes Réglementaire	16
Tableau I.5	Résumé des Textes Réglementaire sur les rejets atmosphériques	17
Tableau I.6	Norme nationale de rejet atmosphérique des industries de traitement d'hydrocarbures	17
Tableau I.7	Conventions et Accords Internationaux	18
Tableau III.1	Influence des paramètres opératoires sur les émissions de la turbine à gaz de la station Boosting, HassiR'mel	34
Tableau III.1 (Suite)	Influence des paramètres opératoires sur les émissions de la turbine à gaz de la station Boosting, HassiR'mel	35
Tableau III.2	Résultats des émissions NOx de la turbine à gaz de la station Boosting, HassiR'mel	35
Tableau III.2 (Suite)	Résultats des émissions NOx de la turbine à gaz de la station Boosting, HassiR'mel	36
Tableau III.3	Résultats des émissions CO de la turbine à gaz de la station Boosting, HassiR'mel	38

Introduction générale

Avant d'évaluer les quantités de NO_x émises vers l'atmosphère au niveau de la région de Hassi R'mel, il convient de comprendre leur ampleur sur l'environnement, le contexte de leur création, et la problématique temporelle de leur intensification.

Depuis la moitié du 19^{ème} siècle où le premier litre de pétrole a été découvert, nos sociétés actuelles n'ont cessées de s'appuyer sur les énergies fossiles pour assurer leur développement économique et technologique.

L'utilisation des combustibles fossiles comme source d'énergie conduit à une formation importante de gaz nuisibles à l'environnement tels que les oxydes d'azote (NO_x), les oxydes de soufre (SO₂ et SO₃) et le dioxyde de carbone (CO₂).

Les NO_x sont à l'origine de phénomènes environnementaux inquiétants tels que les pluies acides, la formation de brouillards oxydants, la diminution de la couche supérieure d'ozone et sa concentration trop importante dans les couches basses de notre atmosphère.

Au cours des trente dernières années de gros efforts ont été entrepris pour résoudre le problème posé par les NO_x et de nombreuses techniques pour limiter leur formation ont été développées [1, 2].

D'un côté, au niveau international, le protocole de Kyoto est un premier pas qui vise à amorcer une dynamique mondiale contre l'effet de serre [3].

De l'autre, au niveau national, cette dynamique est relayée petit à petit de façon de plus en plus construite et contraignante en passant d'une démarche d'encouragement aux économies à la mise en place d'entraves concrètes.

La zone industrielle de Hassi R'mel est un champ gazier qui traite le gaz et procède à leur expédition, L'énergie du champ gazier est fournie par plusieurs équipements qui fonctionnent sur le principe de la combustion des gaz, fuels et carburants, dont les rejets atmosphériques sont de nature diverse.

A cause de la chute de la pression des gisements, la société SONATRACH a développée plusieurs procédés en matière de la compression de gaz naturel pour assurer aux autres unités le bon fonctionnement et la meilleure affinité afin de produire (GPL) et condensat, et pour cela les turbines à gaz de série MS 5002 sont le moyen le plus robuste et sure pour accomplir cette mission, mais cette action a induit à une situation

critique concernant les émissions atmosphériques car ces turbines à gaz constitue une source principale d'émission, qui engendrent des quantités immenses de rejet atmosphérique si on les compare avec les autres équipements à combustion existant au champ de Hassi R'mel.

Parmi les rejets des émissions, on rencontre des émissions des NO_x, les émissions de CO et les émissions de SO_x dans la région Hassi R'mel.

Le principal impact le plus probable et le plus important sur l'environnement est les pluies acides car les NO_x rejetés subit d'importantes transformations aux niveaux supérieurs de la couche d'ozone à l'aide de plusieurs facteurs provoquant des changements moléculaires et des réactions chimiques telles que la chaleur et les rayons ultra-violet.

La région de Hassi R'mel comporte une population qui constitue l'élément le plus important et la protection de celle-ci est fortement nécessaire car le facteur humain est l'enjeu le plus important dans le système, donc des solutions recommandées pour diminuer ces émissions.

Le but de cette recherche vise à l'étude du risque des émissions des oxydes d'azote (NO_x) et de CO dans la zone industrielle de Hassi R'mel, cette étude est effectuée selon le plan de travail suivant :

Le Chapitre I Etude bibliographique, présente une Introduction sur la combustion, les oxydes d'azote (NO_x), les facteurs influençant sur la formation des NO_x, les effets des NO_x et la réglementation vis-à-vis des émissions atmosphériques.

Dans le Chapitre II protocole expérimental et modélisation, on présente l'état des lieux des émissions et les outils d'estimation et de contrôle des émissions atmosphériques puis on effectue la mesure des émissions NO_x, CO de la turbine de la station Boosting et en fin une étude de la dispersion avec le logiciel PHAST RISK

Dans le chapitre III résultats et discussion, on présente les résultats des émissions de NO_x, CO de la turbine de la station Boosting et les résultats de la modélisation de la dispersion de NO_x avec le logiciel PHASTRISK.

Et on termine par une conclusion générale et perspective.

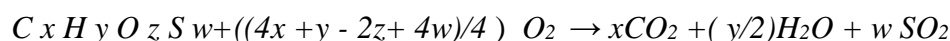
CHAPITRE I

Généralités sur les émissions atmosphériques

I.1. Introduction sur la combustion

Les NO_x sont principalement formés au cours de la combustion du charbon, du pétrole ou des hydrocarbures gazeux dans les moteurs des sources fixes (turbines, incinérateurs ...) ou des sources mobiles (voitures, camions, avions).

Dans les deux cas, la combustion est tellement rapide que l'équilibre thermodynamique vers CO_2 et H_2O n'est pas atteint et que CO est produit. La quantité d'oxydant (oxygène) juste suffisante pour brûler le carbone, l'hydrogène, le soufre des hydrocarbures et les transformer respectivement en dioxyde de carbone, eau et dioxyde de soufre est donnée par l'équation stœchiométrique suivante [5, 6] :



Dans cette équation, x , y , z et w sont respectivement le nombre d'atomes de carbone, d'hydrogène, d'oxygène ou de soufre.

Par exemple, la combustion complète d'une mole d'octane nécessite 12,5 moles d'oxygène et donne 8 moles de dioxyde de carbone et 9 moles d'eau. Si l'air est l'oxydant, pour chaque mole d'oxygène, 3,76 moles d'azote sont présentes. Lorsque les carburants contiennent des dérivés azotés, leur combustion conduit à la formation des NO_x [5, 6].

En pratique, une quantité d'air supérieure à la stœchiométrie est nécessaire pour avoir une combustion complète. Cet excès d'air s'exprime en pourcentage massique de l'air théorique. Le rapport équivalent est défini comme le rapport réel air/hydrocarbure par rapport au rapport stœchiométrique. Un rapport équivalent inférieur à 1 correspond à un mélange riche en hydrocarbures.

A l'inverse, une valeur supérieure à 1 correspond à un mélange pauvre ("*lean-burn*"). Ainsi, pour la combustion de l'octane, le rapport stœchiométrique air/hydrocarbure est de 15,13 kgair.kg⁻¹ octane. L'oxygène en excès se combine alors à haute température avec l'azote de l'air pour former NO_x . Les NO_x formés sont donc obtenus par deux sources distinctes : l'oxydation des composés azotés organiques et

l'oxydation de N_2 . Les polluants générés par la combustion des hydrocarbures contiennent des oxydes de soufre (principalement SO_2), des particules solides, du monoxyde de carbone, des hydrocarbures imbrûlés et des oxydes d'azote [5, 6].

I.2. Les oxydes d'azote (NOx)

Les oxydes d'azote sont des gaz toxiques dans l'air, qui sont le monoxyde d'azote et le dioxyde d'azote donc ($NOx = NO + NO_2$).

Les composés qui sont les plus préoccupants pour la qualité de l'air, le NO est un gaz inodore et incolore, tandis que le NO_2 est un gaz brunâtre irritant à l'odeur âcre [5].

Les oxydes d'azote sont divisés en deux classes selon leur mécanisme de formation (Figure I-1) :

I.2.1. Les NOx thermiques

C'est des gaz qui se forment dans le processus de combustion par la fixation de l'azote atmosphérique de l'air dans la flamme à des températures élevées.

➤ Le NOx augmente fortement avec le rapport d'air/carburant avec la température de la flamme, la racine carrée de la pression d'admission de chambre de combustion avec l'augmentation du temps de séjour dans la zone de flamme et augmente exponentiellement avec la température de l'air d'admission de chambre de combustion [5].

➤ Le NOx diminue exponentiellement avec l'augmentation de l'humidité spécifique de l'eau ou d'injection ou d'augmentation de vapeur.

I.2.2. Les NOx organiques

C'est des gaz dus à l'oxydation de l'azote organique lié au carburant où la conversion de l'azote attaché au carburant FBN (Fuel Bound Nitrogène). FBN est généralement trouvée en distillats de qualité inférieure du gaz. L'efficacité de la

conversion de FBN dans l'oxyde d'azote est 100% aux bas contenue de FBN, à des niveaux plus élevée de FBN, l'efficacité de conversion diminue.

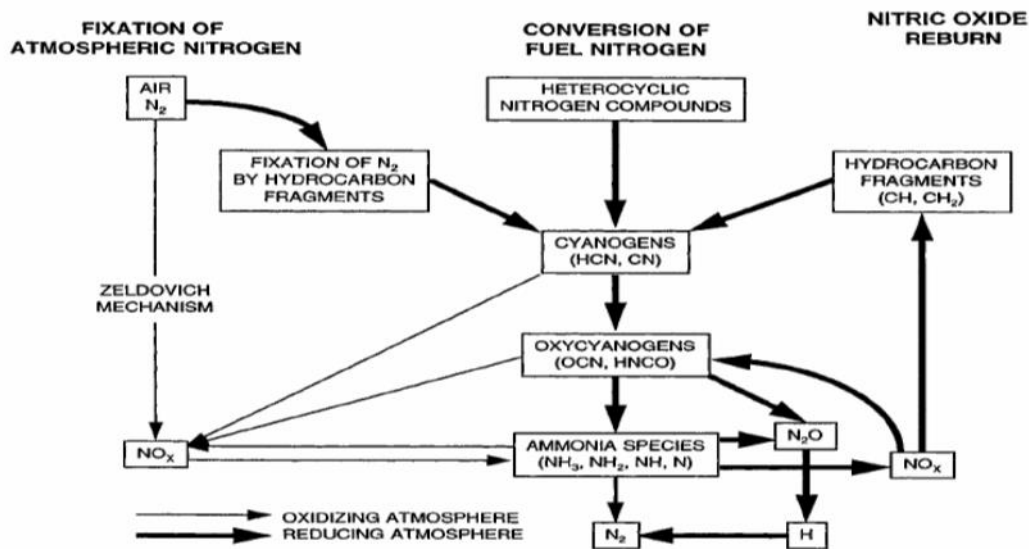


Figure I.1 : Différents chemins de formation des NO_x pendant la combustion [5, 6].

I.3. Les émissions de monoxyde de carbone

Le monoxyde de carbone est le plus simple des oxydes du carbone. La molécule est composée d'un atome de carbone et d'un atome d'oxygène ; sa formule brute s'écrit CO et sa formule semi-développée C≡O ou |C≡O|. Ce corps composé est à l'état gazeux dans les conditions normales de température et de pression [7].

I.3.1 Les effets sur la sante

Quand il est inhalé, le monoxyde de carbone entre dans la circulation sanguine et diminue la quantité d'oxygène transporté par le sang. Le CO a en effet la capacité de déplacer l'oxygène fixé sur l'hémoglobine (qui transporte l'oxygène vers les tissus) pour former de la carboxyhémoglobine (très stable) avec pour conséquence une réduction de l'oxygénation des tissus par diminution de la disponibilité en hémoglobine sachant fixer l'oxygène. Les organes les plus touchés sont les tissus à

forte consommation d'oxygène comme le cerveau, le cœur, les muscles ou le fœtus en cas de grossesse [7, 8].

I.3.2 les effets sur l'environnement

Le monoxyde de carbone peut participer au mécanisme de formation de l'ozone. En présence d'oxydants photochimiques, il s'oxyde en dioxyde de carbone et contribue ainsi à l'effet de serre [7, 9].

I.4. Facteur influençant sur la formation des NO_x

I.4.1 Facteurs extérieurs

Une turbine à gaz emploie de l'air atmosphérique, donc les gaz d'échappements sont considérablement influencés par tous les facteurs qui ont un effet sur le débit massique de l'air refoulé au compresseur. Ces facteurs sont [10]:

➤ **Pression ambiante**

Les émissions à effet de serre varient presque directement avec la pression Atmosphérique.

La chute de pression atmosphérique diminue le débit massique de l'air en raison d'une réduction de sa masse spécifique, donc le taux de production des émissions à effet de serre augmente.

➤ **Humidité relative**

Ce paramètre a un impact très fort sur la production des émissions à effet de serre. L'augmentation de l'humidité relative diminue la température de la flamme. En conséquence, la production des émissions à l'effet de serre [10].

La figure (I-2) montre l'effet de l'humidité relative sur la production de NO_x à la pression ambiante constante de 1.03 bar et aux températures ambiantes de 15°C et 32°C.

I.4.2 Facteurs intérieurs

En plus des trois facteurs extérieurs précédents, il y a d'autres facteurs qui influencent sur la formation des émissions à effet de serre.

Ceux-ci peuvent être définis comme des facteurs intérieurs, parce qu'ils sont liés aux systèmes auxiliaires de la turbine à gaz [10].

➤ **Le rapport d'équivalence**

Le rapport d'équivalence défini comme le rapport de poids entre l'air et le combustible par rapport aux conditions stœchiométriques.

Une unité du rapport d'équivalence ($\lambda=1$) est égale au taux maximal de production des émissions à l'effet de serre. La dernière diminue rapidement de production de ces émissions si ($\lambda<1$), en cas de mélange riches ou pauvres.

➤ **La température de la flamme**

La température de la flamme est une fonction unique du rapport d'équivalence, et le taux de génération des émissions à effet de serre peut être moulé en fonction du rapport d'équivalence lui-même.

Le taux de production des émissions à l'effet de serre se produit quand la température de la flamme est maximale, et le taux de génération de ces émissions diminue rapidement pendant que la température de la flamme diminue.

La figure (I-2) présente aussi le taux de formation de NOx et CO en fonction de la température de la flamme.

Cet effet de la température est le facteur principal pour réduire les émissions de NOx , pour cette raison l'injection de diluant (l'eau ou vapeur) dans la zone de la chambre de combustion d'une turbine à gaz est valable pour réduire la température de la flamme. Pour la même raison, les chambres de combustions DLN avec leurs températures inférieures de la flamme peuvent utiliser pour réduire les émissions.

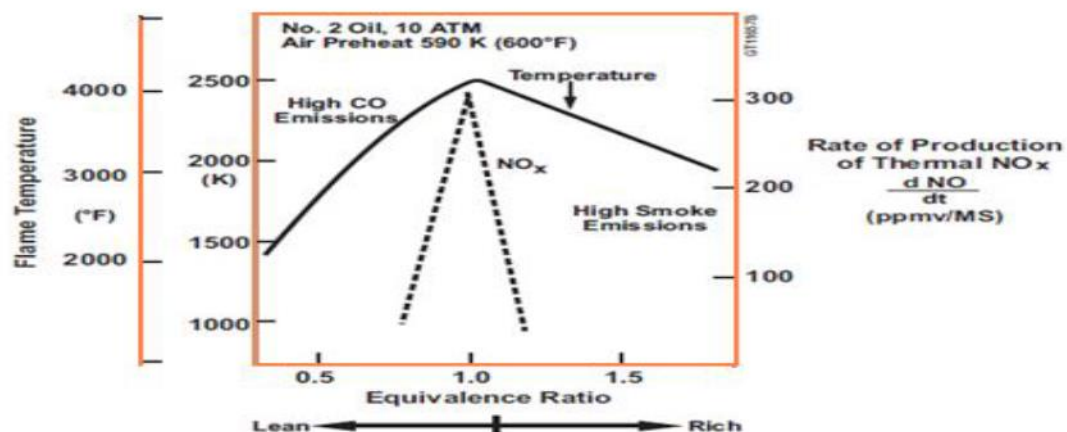


Fig. I-2: Influence du rapport d'équivalence et la température de la flamme sur la production de NO_x et CO [10].

➤ La nature de combustible

Il est préférable d'utiliser le gaz naturel plutôt que le gasoil. Ce comportement est dû aux facteurs d'émissions des gaz d'échappements plus élevés des produits générés par la combustion du gasoil au lieu du gaz naturel.

I.5. Les effets des NO_x

I.5.1. Effets des NO_x sur la santé

Le NO est naturellement présent dans l'organisme : c'est un important médiateur physiologique, notamment pour la vasodilatation des vaisseaux sanguins [7, 11].

➤ Toxicocinétique

La principale voie d'exposition au NO et au NO₂ est l'inhalation. La faible solubilité du NO peut expliquer l'action locale pulmonaire avant passage systémique. Le NO réagit avec le fer de l'hémoglobine pour donner la méthémoglobine, il réagit également avec des groupements SH des cystéines, inhibe certaines enzymes

(aconitase du cycle de Krebs, ADN polymérase, ribonucleotide transférase, les complexes de la chaîne respiratoire...) et induit des cassures de brins par désamination de l'ADN. Le NO est rapidement oxydé en NO₂. Le NO₂ pénètre profondément dans le tractus respiratoire, du fait de sa faible hydro solubilité. Le taux d'absorption est de 81 à 90 %.

Le NO₂ entraîne une lipoperoxydation des membranes des cellules alvéolaires.

Après absorption, il est transformé en acide nitrique (HNO₃) puis ions nitrites (NO₂⁻) dans la circulation sanguine et provoque la formation de méthémoglobine.

La majeure partie des ions nitrites est excrétée dans l'urine par les reins [7, 11].

➤ Toxicité aiguë

L'intoxication aiguë au NO₂ et NO évolue de manière chronologique en une irritation des muqueuses oculaires et respiratoires qui régresse rapidement dès la fin de l'exposition, une rémission plus ou moins asymptomatique (6-24 h) et le développement d'un œdème pulmonaire associé à une détresse respiratoire, parfois déclenché par un effort léger.

Le NO induit des altérations de la résistance des voies aériennes et une hyperréactivité bronchique à la méta choline. L'intoxication au NO affecte également le système cardiovasculaire, notamment chez les populations les plus sensibles

Le NO₂ entraîne une réaction inflammatoire au niveau des voies aériennes ; les asthmatiques constituent le groupe de la population le plus sensible [7, 11].

➤ Toxicité chronique

Le NO a une action toxique au niveau des plaquettes, et induit la formation de nitrosyl hémoglobine et de méthémoglobine. Il a également des effets respiratoires.

Les enfants exposés au NO₂ dans l'air intérieur ont des symptômes respiratoires plus marqués et des prédispositions à des maladies respiratoires chroniques d'apparitions plus tardives, sans pour autant qu'il y ait une augmentation de leur fréquence.

Les études chez les adultes n'ont pas montré d'augmentation de la fréquence des symptômes respiratoires [7, 11].

➤ Choix des récepteurs (cibles)

Tableau I.1 : Seuil limite ou d'alerte des NOx.

Objectif de qualité	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$: moyenne annuelle
Valeur limite pour la protection de santé	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$: moyenne horaire à ne dépasser plus de 175 heures/an
Seuil d'alerte	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$: moyenne horaire

Voici quelques exemples pour des conditions d'exposition précises :

- On observe des irritations oculaires, des expectorations et des maux de gorge chez des personnes exposées à un niveau moyen journalier de dioxyde d'azote de 190 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- On observe une altération de la fonction respiratoire et une hyper réactivité bronchique :
 - Chez des asthmatiques exposés à plus de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.1 ppm) de NO₂.
 - Chez des sujets sains exposés à 1 à 2 ppm de NO₂
- On observe une augmentation de la sensibilité aux infections bronchiques chez des enfants exposés à plus de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.1 ppm) de dioxyde d'azote.

I.5.2. Les effets des NOx sur l'environnement

L'effet de serre à proprement parlé est un phénomène essentiel pour que la vie se développe sur terre. Sans les gaz à effet de serre, la température moyenne de la surface terrestre serait de l'ordre d'une trentaine de degrés en dessous des températures actuelles (vers -18°C plutôt que vers +15 °C), rendant notre planète tout à fait inhospitalière pour les bipèdes que nous sommes [8].

Comprendre la nature de ce phénomène et identifier les relations de causes à effet qui interagissent avec notre modèle de société actuel est une clef pour la

compréhension et la bonne interprétation des mesures prises pour tenter de sauvegarder notre environnement [8].

Comment « fonctionne » l'atmosphère sur le plan radiatif

L'effet de serre caractérise le fait que l'atmosphère terrestre se comporte comme une serre, qui, comme chacun le sait, laisse bien passer les 10 % du rayonnement qui nous vient du soleil (342 W de rayonnement incident du soleil par un m² de surface au sommet de l'atmosphère) parvient à pénétrer dans l'atmosphère pour se réfléchir sur le sol terrestre en réchauffant notre planète rayonnement solaire incident (essentiellement composé de rayonnement visible) et mal le rayonnement réémis par l'intérieur de la serre, qui comporte une large part d'infrarouges.

Cette différence de transparence au rayonnement confine ainsi une partie des infrarouges à l'intérieur de la serre (ou de l'atmosphère) ; l'énergie du rayonnement retenu prisonnier conduisant finalement à une augmentation de température de l'intérieur (de la serre ou de l'atmosphère).

L'effet de serre de l'atmosphère (figure I-3) est dû pour l'essentiel à certains de ses composants minoritaires, naturels et présents de longue date, que sont la vapeur d'eau et en deuxième lieu le gaz carbonique. Dont on ne peut pas négliger les autres gaz à effet de serre.

Le danger qui est désigné par le terme "effet de serre" correspond donc à un abus de langage, et nous emploierons pour la suite de cet article le terme de "réchauffement climatique", qui désigne mieux non pas le phénomène lui-même, parfaitement naturel et essentiel à notre existence, mais le déplacement du point d'équilibre, qui lui recèle des dangers potentiels.

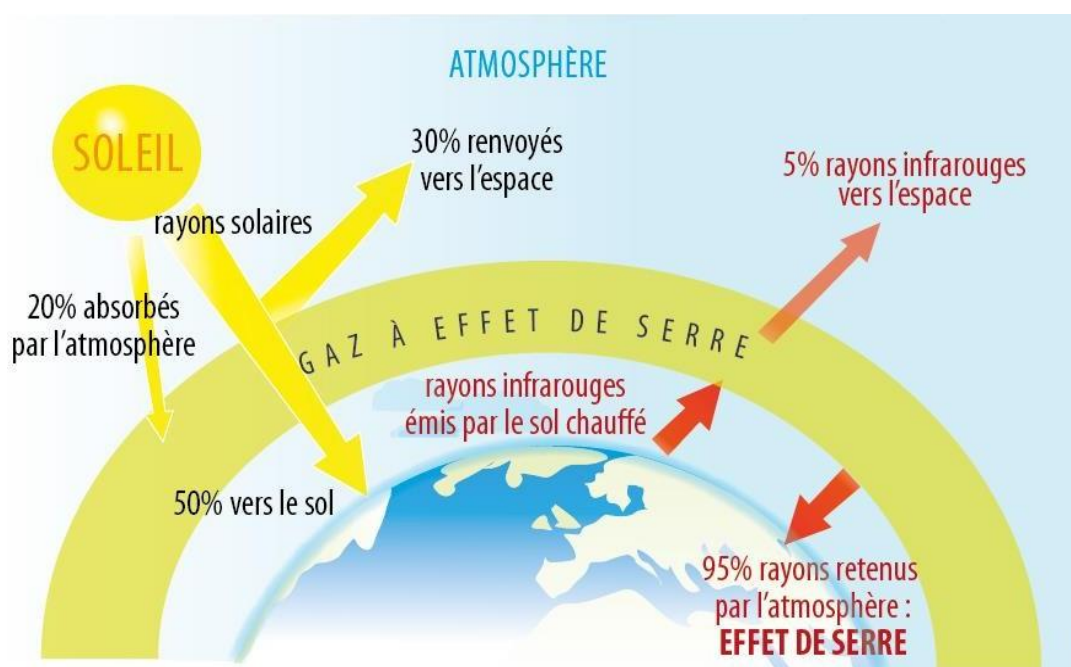


Fig. I-3: Le mécanisme de l'effet de serre [8].

Les principaux gaz à effet de serre sont

- La vapeur d'eau (H_2O),
- Le dioxyde de carbone (CO_2),
- Le méthane (CH_4),
- L'oxyde d'azote (NO_x)
- Les hydrofluorocarbures (HFC),
- Les per fluorocarbures (PFC),
- L'hexafluorure de soufre (SF_6).

Les sources et les caractéristiques des gaz à l'effet de serre

Les émissions d'échappement typiques d'une turbine à gaz stationnaire sont énumérées dans le tableau I.5. Il y a de deux distinctes catégories.

Les espèces principales (CO_2 , N_2 , H_2O , et O_2) les concentrations actuelles sont en pourcentage.

Les espèces mineures (ou les polluants) comme la CO , l'UHC, le NO_x , et les substances particulaires sont présentées dans les parties par million de concentrations.

Les polluants montrés dans le (tableau I.2 et I.3) sont en fonction des conditions de fonctionnement de la turbine à gaz et de la composition de carburant. Dans les sections suivantes, chaque polluant sera considéré en fonction des conditions de fonctionnement sous les larges divisions des combustibles liquides et gazeux.

Tableau I.2 : Les concentrations et les sources des espèces principales dans l'échappement [12].

Les espèces principales	Concentration % Volume	La source
(N_2)	66–72	Air ambiant inerte
(O_2)	12–18	Air ambiant inerte
(CO_2)	1–5	L'oxydation du combustible au carbone
(H_2O)	1–5	L'oxydation du combustible à l'hydrogène

Tableau I.3 : Les concentrations et les sources des espèces mineures dans l'échappement [12].

Les espèces mineures	Concentration (<i>ppm</i>)	La source
(NO_2)	20–220	L'oxydation de l'atmosphère d'azote
(NO)	2–20	L'oxydation d'azote organique
(CO)	5–330	L'oxydation incomplète du combustible au carbone
(SO_2)	La trace-100	L'oxydation du soufre organique
(SO_3)	La trace-4	L'oxydation du soufre organique

I.6. La réglementation vis-à-vis des émissions atmosphériques

I.6.1. Historique

La structure législative actuelle en Algérie en matière de protection de l'environnement trouve ses origines dans une étude entreprise à la fin des années 1970, pour définir une structure institutionnelle couvrant tous les aspects de la conservation de la nature. En 1983 et 1984, ceci a abouti à l'adoption de plusieurs lois majeures concernant l'environnement. Finalement les enjeux environnementaux d'importance croissante et la signature par l'Algérie d'importantes conventions internationales relatives à l'environnement (telles que celles de Rio en 1992 et de Kyoto en 1997) ont entraîné l'actualisation de la réglementation relative à la protection de l'environnement avec l'adoption récente de la loi 03-10 sur la protection de l'environnement, qui est maintenant au cœur de la structure législative actuelle de l'Algérie en ce qui concerne l'environnement.

I.6.2. Principaux Textes Réglementaires

La législation clé régulant la protection de l'environnement (Tableaux I.4, I.5 et I.6), a fait l'objet d'une récente mise à niveau par l'adoption de la **loi 03-10 du 19 juillet 2003**, abrogeant la précédente loi 83-03 du 5 février 1983 sur la protection de l'environnement, et introduisant des principes de gestion environnementale en conformité avec les dispositions adoptées à l'issue du sommet mondial pour le développement durable de Johannesburg en 2002. La loi 03-10 définit les dispositions nationales pour la gestion de l'environnement et définit des mesures visant à réduire les atteintes portées à l'environnement et soutenir les processus de développement durable.

Parmi les principes de la loi 03-10 figurent:

- La préservation des ressources naturelles;
- La mise en œuvre du principe de substitution, privilégiant le choix d'un moindre risque environnemental en remplacement de processus ayant un impact environnemental adverse, malgré le coût économique d'une telle

substitution, pourvu que celui-ci justifie un gain environnemental correspondant;

- L'intégration des principes de protection de l'environnement et de promotion du développement durable dans la mise en œuvre des plans et des programmes;
- La prévention et la mitigation d'impacts environnementaux, privilégiant la réduction de l'impact à la source;
- Le principe de précaution;
- Le principe du pollueur payeur;
- L'information et la participation du public, des acteurs du secteur privé et de l'administration publique sur les questions environnementales. Dans ce cadre la loi 03-10 propose notamment des incitations financières et fiscales pour encourager le secteur industriel à intégrer l'élimination ou la réduction de l'impact environnemental dans leurs activités.

La loi 04-20 du 20 décembre 2004 : établit des règles de prévention des risques majeurs et de réaction aux accidents dans le cadre d'une stratégie de développement durable.

Le décret 98-339 du 03 novembre 1998 : définit une nomenclature des installations classées susceptibles de générer des nuisance ou de présenter des dangers pour la santé des personnes ou pour l'environnement.

Le décret exécutif 90-78 du 27 février 1990 : définit le contenu d'une étude d'impact sur l'environnement

La loi relative aux hydrocarbures n°05-07 du 28 Avril 2005, promulguée le 19 Juillet 2005 : La loi relative aux hydrocarbures fait obligation à tout contractant d'exploiter les ressources en hydrocarbures en utilisant des moyens efficaces et rationnels afin d'assurer une conservation optimale du gisement, tout en respectant les règles de protection de l'environnement (article 3).

Le décret exécutif 06-198 du 31 Mai 2006 : Définit la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement.

Tableau I.4: Résumé des Textes Réglementaire [12].

Cadre	Texte	Titre
Cadre général	Décret 87-91	Relatif à l'étude d'impact d'aménagement du territoire.
	Décret 90-78	Relatif aux études d'impact sur l'environnement.
	Décret 98-339	Définissant la réglementation applicable aux installations classées et fixant leur nomenclature.
	Loi 99-09	Relative à la maîtrise de l'énergie.
	Loi 03-10	Relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.
	Décret 04-149	Fixant les modalités d'élaboration du programme national de maîtrise de l'énergie.
	Loi 04-20	Relative à la prévention des risques majeurs et la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable.
	Décret 05-127	Déclarant Hassi Messaoud zone à risques majeurs.
	Loi 05-07	Relative aux hydrocarbures.
	Décret 05-476	Déclarant Hassi R'mel zone à risques majeurs.
	Décret 05-477	Déclarant le pôle Berkine zone à risques majeurs.
	Décret 06-198	Définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement.
Administration	Décret 88-227	Portant attribution, organisation et fonctionnement des corps d'inspecteurs chargés de la protection de l'environnement.
	Décret 99-253	Portant composition, organisation et fonctionnement de la commission de surveillance et de contrôle des installations classées.

Tableau I.5: Résumé des Textes Réglementaire sur les rejets atmosphériques [12].

Rejets atmosphériques	Décret 93-165	Réglementant les émissions atmosphériques de fumée, gaz, odeur et particules solides des installations fixes. Complété par décret exécutif 2000-73 du 1 avril 2000
	Décret 06-02	Définissant les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique.
	Décret 06-138	Réglementant l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs, particules liquides ou solides, ainsi que les conditions dans lesquelles s'exerce leur contrôle.
	Loi 01-19	Relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.
	Décret 04-410	Fixant les règles générales d'aménagement et d'exploitation des installations de traitement des déchets et les conditions d'admission de ces déchets au niveau de ces installations.
	Décret 06-104	Fixant la nomenclature des déchets y compris les déchets spéciaux dangereux.
Taxes de pollution	Décret 93-68	Relatif aux modalités d'application de la taxe sur les activités polluantes ou dangereuses pour
	Loi des finances 2000	Relative à la taxe sur les activités polluantes.
	Loi des finances 2003	Relative à la taxe sur les eaux usées industrielles.
	Loi des finances 2002, modifiée par la loi des finances 2005.	Relative aux amendements taxe sur les déchets.
	Loi 05-16 portant loi des finances 2006	Extraits relatifs aux taxes introduites sur les pneus et lubrifiants.

Norme nationale de rejet atmosphérique des industries de traitement d'hydrocarbures (décret 06-138 relatif aux émissions atmosphériques)

Tableau I.6 : Norme nationale de rejet atmosphérique des industries de traitement d'hydrocarbures [12]

Paramètre	Unité	Valeur limite
SO ₂	mg/Nm ³	800
NO _x	mg/Nm ³	200
CO	mg/Nm ³	150
COV	mg/Nm ³	150
H ₂ S	mg/Nm ³	5
Particule	mg/Nm ³	30
Métaux et composés de métaux (gazeux et particules)	mg/Nm ³	5
Cd, Hg, thallium et leurs composés	mg/Nm ³	0,25
Amiante	mg/Nm ³	0,1
Autre fibre que l'amiante	mg/Nm ³	1

I.6.3. Conventions et Accords Internationaux

Les conventions et accords internationaux sur l'environnement dont l'Algérie est signataire se résument sur le tableau (I.7) ci-après:

Tableau I.7: Conventions et Accords Internationaux [12].

Texte	Objectifs
Ordonnance 72-17	Portant ratification de la convention internationale sur la responsabilité Civile pour les dommages dus à la pollution par les hydrocarbures, signée à Bruxelles, le 29 novembre 1969
Ordonnance 74-55	Portant ratification de la convention internationale relative à la création d'un fond international d'indemnisation pour les dommages dus à la Pollution par les hydrocarbures, faite à Bruxelles le 18 décembre 1971
Décret 81-03	Portant ratification de protocole de coopération en matière de lutte contre La pollution de la méditerranée par les hydrocarbures et autres substances nuisibles en cas de situation critique, fait à Barcelone le
Décret présidentiel 92-354	Portant adhésion à la convention pour la protection de la couche d'ozone, signée à Vienne 22 mars 1985.
Décret présidentiel 92-355	Portant adhésion au protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone, signée à Montréal 16 septembre 1987 , ainsi qu'à ses amendements de Londres de 1990.
Décret présidentiel 93-99	Portant ratification de la convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques adoptés par l'assemblée générale des Nations Unies le 09 mai 1992.
Décret présidentiel 95-163	Portant ratification de la convention sur la diversité biologique, signée à Rio de Janeiro le 05 juin 1992.
Décret présidentiel 98-158	Portant adhésion avec réserve à la convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières des déchets dangereux et
Décret présidentiel 98-124	Portant ratification du protocole de 1992, modifiant la convention internationale relative à la création d'un fond international d'indemnisation pour les dommages dus à la pollution par les hydrocarbures.
Décret présidentiel 98-123	Portant ratification du protocole de 1992, modifiant la convention internationale sur la responsabilité civile pour les dommages dus à la pollution par les hydrocarbures.
Décret présidentiel 04-144	Portant ratification du protocole de Kyoto à la convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, fait à Kyoto, le 11 décembre 1997.
Décret présidentiel 04-170	Portant ratification du protocole de Carthage sur la prévention des risques biotechnologiques relatif à la convention sur la diversité biologique, Adopté à Montréal le 29 janvier 2000.
Décret présidentiel 04-326	Portant ratification de la convention internationale de 1990 sur la préparation, la lutte et la coopération en matière de pollution par les hydrocarbures, faite à Londres le 30 novembre 1990.

CHAPITRE II

Protocol expérimental et modélisation

II.1. Etat des lieux des émissions

Le champ gazier de Hassi R'mel est un grand conteneur de plusieurs équipements qui fonctionnent sur le principe de la combustion des gaz, fuels et carburants, dont les rejets sont de diverses émissions et effets.

Les émissions sont dues à la combustion de gaz fuel et les agents émis sont généralement:

- Dioxyde de Carbone (CO_2),
- Monoxyde de Carbone (CO),
- Oxyded'azote (NO),
- Dioxyded'azote (NO_2),
- Dioxyde de soufre (SO_2),
- Le méthane (CH_4),
- Les dérivés de l'azote (NO_x).

Le champ gazier de Hassi R'mel comporte un système constitué de trois enjeux importants, qui sont : le facteur humain - l'environnement - les installations (Fig. II.1.).

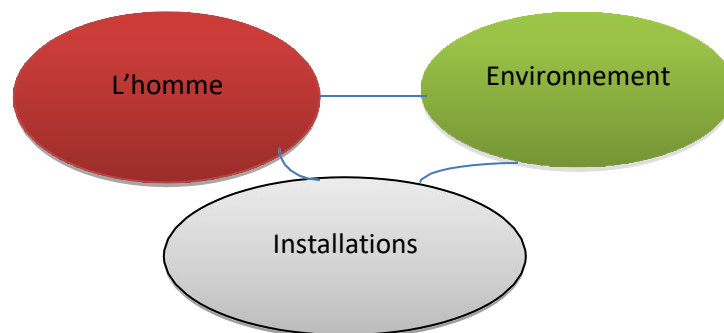


Figure II.1: Système H-M-E

Le facteur humain : c'est le facteur le plus important et se présente par l'ensemble de la population qui vie dans le périmètre du complexe industriel et administratif.

Les installations : les installations au niveau de la région de Hassi R'mel se présentent par les équipements nécessaires et les différents procédés pour le traitement du gaz naturel soit pour obtenir le gaz du pétrole liquéfié GPL, les condensats ou la réinjection du gaz naturel pour le maintien de la pression du gisement.

En général, les installations sont des usines MPP (module processing plant) pour le traitement du gaz brut ou des stations de réinjection de gaz en utilisant des Turbines à gaz.

L'environnement : la faune, la flore, les espaces verts, l'atmosphère, la pureté de l'air, etc...

Dans le domaine industriel et au cours de l'exploitation des différents appareils, elles sont dotées des moyens de détections et ça en vue d'obtenir une meilleure sécurité et au cours de notre stage de fin d'étude ont à constater plusieurs appareils de mesure et détection et parmi Les détecteurs existant dans la zone industrielle de Hassi R'mel sont:

- Détecteurs de gaz : au niveau des installations
- Détecteurs de température infrarouge: dans les chambres de combustions des turbines, colonnes, fours
- Détecteurs de fumée: dans toutes les installations fermées et les salles des racks
- Détecteurs de feu : en générale au niveau des pompes.

Les NOx sont émis par plusieurs sources telles que:

- Les turbine à gaz : machines robuste pour l'entraînement des grosses machines tournantes (les compresseurs, les pompes, alternateurs).
- Les fours pour la chaude.
- Les torches ... etc.

II.2. Les outils d'estimation et de contrôle des émissions atmosphériques

II.2.1. L'exploitation de l'appareil de mesure

Les unités de production sont dotées de plusieurs systèmes de protections et de détections pour la sécurisation des usines et des équipements

Parmi Les systèmes existant dans la zone industrielle de Hassi R'mel sont :

- Détecteurs de gaz : au niveau des installations
- Détecteurs de température infrarouge: dans les chambres de combustions des turbines, colonnes, fours
- Détecteurs de fumée : dans toutes les installations fermées et les salles des racks.
- Détecteurs de feu : en générale au niveau des pompes.

Et pour les rejets atmosphérique plusieurs systèmes de calculs de référence ou normes peuvent être utilisés pour quantifier les émissions des polluants atmosphériques.

Dans le cadre du projet Boosting toutes les turbines sont équipées des moyens pour le contrôle des rejets atmosphérique en ligne.

A ce jour, les appareils de mesure n'ont pas été utilisés par les différents intervenants pour l'exploitation des turbines.

Dans le cadre de notre thème de fin d'étude et afin de mesurer les émissions des gaz à effet de serre NOx émise par la turbine à gaz MS 5002 C et pour cette tache on a exploité l'appareil de mesure des gaz de combustion LANCOM III.

Description de l'appareil

L'analyseur de prélèvement est un instrument mobile portable qui peut être utilisé dans n'importe place dans les installations.

Chapitre II : Protocol expérimental et modélisation

Cette appareil (figure II.2) est dotée d'une sonde avec un filtre du minerai aggloméré relia à une ligne de prélèvement cette dernière est branchée avec l'appareil en passant par un bac de prélèvement. Un tableau de contrôle pour régler le paramètre selon la nature du prélèvement voulu.



Figure II.2: Analyseur de gaz, LANCOSM III [13].

II.2.2. Principe et méthode de mesure

La méthode utilise une sonde de prélèvement de longueur 750 mm et de diamètre 20 mm raccordée à un analyseur par une ligne chauffée. Le gaz est prélevé au moyen d'une pompe, passe dans un filtre chauffé et un sécheur pour éviter la présence d'hydrates et de particules indésirables. Il subit ensuite une ionisation et des capteurs électrochimiques permettent de détecter chaque polluant et de déterminer leur concentration. La concentration est obtenue par lecture directe sur l'appareil de mesure.

L'appareil pèse environ 6 kg, et peut fonctionner sur batteries.

L'analyseur mesure 453x 120x 245mm

La sonde de prélèvement résiste à des températures élevées, jusqu'à 1000 °C de façon intermittente.

Objectif :

Prélever et analyser des échantillons de gaz en toute sécurité et en garantissant la fiabilité de la mesure.

Equipements de Protection Individuels :

Equipements de protection individuelle : Cover all, casque, lunettes, chaussures, gants de protection et cagoule ininflammable (risque de brûlure), harnais (dans le cas par exemple où l'espace de travail où s'effectue le prélèvement se situe à proximité d'un trou d'homme ou sur une passerelle en hauteur).

Le contexte :

Le décret 06-138 définit les prescriptions techniques relatives aux rejets atmosphériques, les dispositions pour le contrôle des rejets atmosphériques et les valeurs limites pour les paramètres de rejets atmosphériques. Il exige, dans son article 5, que les rejets atmosphériques soient identifiés et captés aussi près que possible de leur source d'émission.

Sur les sites industriels pétroliers de la Division Production de la SONATRACH, les émissions atmosphériques canalisées, en fonctionnement normal,

proviennent couramment des torches, des fours, des chaudières de réchauffeur et des turbines.

Les émissions atmosphériques liées à des combustions (excepté pour le torchage) sont produites dans une chambre de combustion en amont du conduit d'évacuation de la cheminée, puis canalisées dans le conduit et sont, finalement, éjectées à l'atmosphère.

A la sortie du conduit, les rejets polluants se dispersent et se diluent rapidement dans l'air, sous l'effet de la différence de température entre le panache de fumée et l'air ambiant, et de la vitesse d'éjection des gaz. Du fait de la très haute température des gaz en sortie de conduit, les gaz de combustion vont avoir tendance à monter rapidement en hauteur dès leur contact avec l'air ambiant. De même, les rejets issus du torchage vont être dispersés et dilués dans l'air.

Un prélèvement en sortie de conduit ou au voisinage de l'exutoire de la cheminée ne permet pas d'obtenir un échantillon représentatif des rejets liés à la combustion et ne permet donc pas de conclure sur la conformité des valeurs des paramètres de rejets.

Pour obtenir un échantillon représentatif des rejets liés à la combustion et conclure au respect des valeurs limites pour les différents paramètres du décret 06-138 [12], les seules méthodes possibles sont des méthodes normalisées impliquant un prélèvement à l'intérieur du conduit de la cheminée dans des conditions iso-cinétiques ou iso-débit avant dilution des rejets dans l'air ambiant.

Ces méthodes normalisées spécifient des protocoles de piquage dépendant des dimensions des conduits. Leur mise en œuvre implique l'existence de points de piquage permettant d'introduire des sondes de prélèvement au cœur du conduit de la cheminée et des plateformes sécurisées pour assurer la sécurité des opérateurs manipulant les équipements de prélèvement.

En fonction de la performance des procédés de combustion, les sources de combustion des sites de la division production émettent des substances que l'on peut classer en deux catégories :

- Des substances volatiles ou légères : NO_x, SO_x, COV, CO, CO₂.

Vérifications préalables :

Avant toute analyse, il devra d'abord être vérifié que les installations de combustion sont en service et en état de fonctionnement normal (éviter les phases de démarrage par exemple).

D'autre part, il devra être vérifié que toutes les conditions matérielles de sécurité exposées ci-après sont réunies pour effectuer les analyses et que les intervenants ne sont pas soumis à des restrictions liées au travail en hauteur.

Chaque opération d'analyse donne lieu à l'émission d'une autorisation de travail signée par l'exploitant et la maintenance et aussi la sécurité.

Pour des raisons de sécurité et sans quoi aucune analyse ne pourra être effectuée, les plates-formes de travail devront répondre aux critères suivants :

- Offrir une surface de travail adaptée d'au moins 5 m² ;
- Pouvoir supporter une charge concentrée minimale de 400 kg ;
- Etre équipées de mains courantes (d'une hauteur d'environ 0,5 m et 1 m) et de plinthes verticales (d'environ 0,25 m) ;
- Offrir un recul d'un mètre minimum pour introduire et retirer la canne de prélèvement de l'orifice de piquage ;
- Permettre la fixation d'un palan pour hisser le matériel à hauteur de la plateforme de travail.

Ouverture du point de piquage:

L'exploitant sera en charge d'ouvrir l'orifice de la cheminée (bouchon vissé ou bridé). Une fois l'ouverture réalisée, il déterminera s'il y a éjection de gaz ou au contraire appel d'air. **Le prélèvement ne pourra se faire que dans le deuxième cas. Aucune mesure ne pourra être effectuée si l'orifice de piquage présente des émanations de gaz.**

Insertion de la sonde:

Une fois que le matériel aura été installé et mis en place sur la plateforme, et seulement si la plateforme est vide de toute présence humaine, le consultant procédera à l'insertion de la sonde dans le conduit de la cheminée. La durée du prélèvement est comprise entre 5 et 10 minutes (en fonction de l'humidité du gaz).

Retrait de la sonde :

Une fois les mesures réalisées, il convient une nouvelle fois de s'assurer de l'absence de toutes personnes autour du consultant manipulant la sonde (dans un rayon de 2 m).

**Ne surtout pas toucher la sonde et la manipuler à l'aide de la poignée.
Porter impérativement des gants de protection appropriés.**

Pour retirer la sonde, il sera nécessaire de se décaler de l'axe du point de piquage. Si la plateforme ne permet pas un recul suffisant pour retirer la sonde en la tirant vers soi, se décaler de l'axe du point de piquage et la faire glisser sur le côté dès que cela est possible.

Attendre une durée de 5 min de refroidissement de la sonde avant de procéder au retrait de l'équipement de la plateforme au moyen du palan.

Rebouchage du point de piquage :

Le mécanicien aura la charge de reboucher le point de piquage une fois que les consultants seront descendus de la plateforme.

Mesure

Analyse des gaz de combustion :

Les paramètres de combustions (gaz légers) sont détectés et mesurés à l'émission. Les concentrations sont obtenues par lecture directe suite à l'introduction de la sonde dans le conduit de la cheminée. Les paramètres mesurés en ppm ou mg/Nm³ sont :

- Le monoxyde de carbone (CO) ;
- Le monoxyde d'azote (NO) ;
- Le dioxyde d'azote (NO₂) ;
- Le dioxyde de carbone (CO₂), calculé suivant le type de combustible ;
- L'indice total des composés organiques volatils (Cx Hy).

- Les émissions modélisées concernent uniquement les émissions dues à la combustion de combustibles fossiles, consommés par les unités opérationnelles ou envoyés en torche, et celles dues aux événements.

- L'application de cette méthodologie permet d'obtenir par calcul des estimations des émissions. Il ne s'agit en aucun cas de mesures directes des rejets atmosphériques.

- Cette approche nécessite la connaissance de peu de données. En particulier aucune donnée sur les machines et équipements présents sur site (âge, efficacité, marque, puissance...) n'est nécessaire.

- Pour les émissions de combustion, sont nécessaires uniquement les volumes de combustibles consommés, leur composition et certaines caractéristiques (densité ou masse volumique, pouvoir calorifique supérieur).

- Plusieurs «chemins» de calcul sont possibles en fonction des données disponibles. Lorsque les données nécessaires sont disponibles, une approche stœchiométrique est utilisée pour l'estimation des émissions de CO₂. Pour les autres polluants, une approche basée sur des facteurs d'émission est utilisée.

La durée de prélèvement (n'a pas dépassé 10 min) :

Les tickets d'impression de l'analyseur sont agrafés sur une fiche de mesure, une notification est mentionnée sur cette fiche indiquant que le prélèvement a été pris par 3 mesures pendant une durée totale de moins de 10 minutes.

Une question se pose « pourquoi 10 minutes ? ».

Après une consultation du manuel d'utilisation de l'analyseur, on a trouvé que les relevés de gaz demandent une durée de 3 minutes pour se stabiliser (la stabilité de l'humidité de gaz) avant de les enregistrer, donc il faut environ 9 minutes pour faire les trois mesures de prélèvement, les trois mesures sont faites pour confirmer la valeur du rejet atmosphérique.

Il existe aussi une autre raison qui justifie la durée totale de moins de 10 minutes pour prévenir la survenue de pathologies dues à l'exposition aux polluants présents sur les lieux de travail, des valeurs limites d'exposition professionnelle à ne pas dépasser ont été fixées.

Il convient de vérifier régulièrement que ces valeurs soient respectées en mesurant la concentration atmosphérique des polluants.

La valeur limite d'exposition professionnelle à un produit chimique représente la concentration dans l'air que peut respirer une personne pendant un temps déterminé. Elle vise à protéger des **effets néfastes** pour la santé liée à l'exposition des salariés au produit considéré. La valeur est exprimée en volume (ppm ou partie par million), en poids (mg/m^3) ou en fibres par unité de volume (f/m^3).

Valeur limite de court terme (VLCT) :

Les valeurs limites de court terme (VLCT) sont des valeurs mesurées sur une période de référence de 15 minutes. Elles sont destinées à éviter les effets toxiques dus à des **pics d'exposition** (exposition sur une courte durée). Les VLCT remplacent les anciennes VLE mesurées sur une durée maximale de 15 minutes.

Pour ces raisons ont a effectué le prélèvement des taux de gaz sur une durée de moins de 10 minutes.

Lecture des résultats

Les résultats de la mesure sont transmis par une imprimante pendant l'opération de prélèvement pour tous les paramètres présélectionnés. Les résultats sont affichés en mg/Nm³ et en ppm et seront reportés dans le tableau de prélèvement.

Finalité et intérêt de la méthode

Connaitre les émissions atmosphériques de polluants, ou tout au moins une première estimation de ces émissions, a un intérêt multiple. Cela permet en effet de:

- Suivre les évolutions des émissions en fonction des variations de production (exigences réglementaire de surveillance des rejets) ;
- Evaluer les impacts positifs des revamping, des modifications des installations et des réseaux ;
- Comparer les taux d'émission des installations pour justifier des investissements et des upgrades des installations ;
- Compléter les mesures qualitatives des méthodes de prélèvement à l'émission.

Limitations de la Méthode:

- Le but premier de la méthodologie d'évaluations des rejets atmosphériques développée par notre équipe de travail pour SONATRACH est d'estimer l'ordre de magnitude des rejets atmosphériques.
- Cette méthodologie de calcul est basée sur les différentes normes mentionnées et avec des choix et des hypothèses fonctions des informations disponibles auprès de SONATRACH.
- Cette méthodologie n'est pas un outil pour une certification et les conclusions des calculs et du rapport découlant de la méthodologie

doivent être lues en conjonction avec les conclusions de l'ensemble des rapports fait par la SONATRACH.

- Lorsque les données réelles mesurées sont indisponibles, des données théoriques sont utilisées, par exemple une composition standard de gaz lorsque celle-ci n'a pas été renseignée, ou une capacité de production théorique lorsque le site n'a pas fourni d'information à ce sujet. Si les informations manquantes devaient être remplacées ultérieurement par les données réelles des sites, il est possible que les résultats de la modélisation soient amenés à changer.

NB : Les émissions calculées peuvent être affectées dans le futur par les modifications technologiques des actifs, les rendements, les sources de matières premières, les pratiques de l'industrie, les réglementations locales et internationales, et les normes de calculs des émissions qui évoluent.

II.3. Mesure des émissions NO_x, CO de la turbine de la station Boosting

Dans ce travail ont à mesurer les émissions de la turbine après la fin de séquence de démarrage (quand la route BP de la turbine atteint 75% de sa vitesse) et on a pris en compte plusieurs paramètres de la machine suivants :

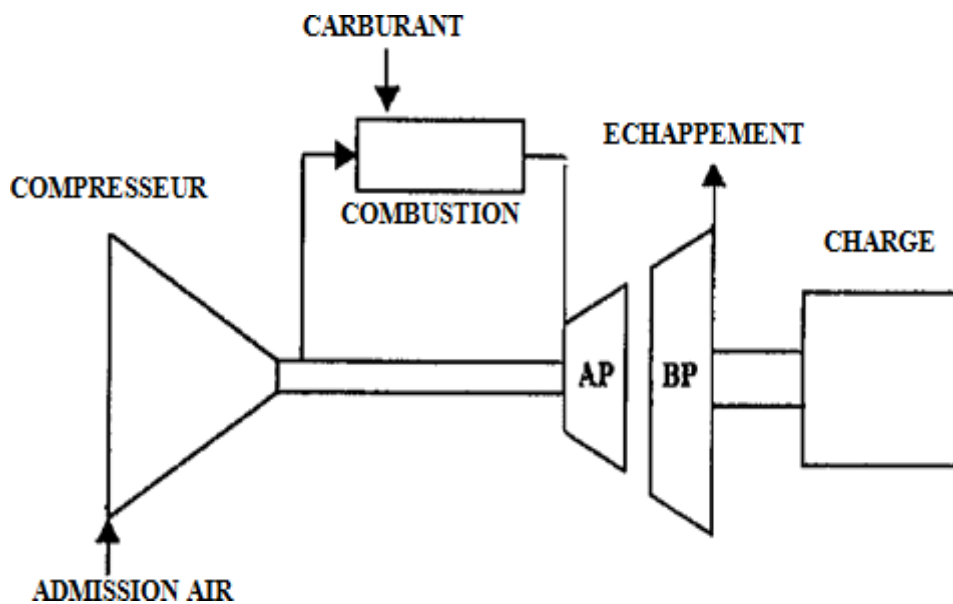
La quantité de fuel, l'angle des nozzles et la température de l'échappement.

Dans ce travail, on a augmenté la vitesse de la roue BP après la fin de séquence de démarrage où on a constaté les différentes étapes de changement des NO_x et de CO pour la vitesse 75% (fin de séquence de démarrage de la turbine à gaz MS 5002C) et on a continué l'opération jusqu'à la puissance maximale de la turbine (charge maximale) [13].

Ce travail a été réalisé entre 8h et 12h à la température ambiante de 29°C durant le mois de mai où la turbine fonctionne au régime d'été avec l'influence des conditions

climatiques sur la turbine. Le fonctionnement de la turbine a été divisé à trois zones pour chaque composant NO_x et CO.

La turbine à gaz (figure II.3) est une machine endothermique, c'est-à-dire qu'elle produit elle-même le fluide qui fournit la puissance utilisée pour entraîner la machine utilisatrice. Son fonctionnement est basé sur le cycle de Brayton, le schéma suivant montre ce cycle :



FigureII.3 : Schéma de la turbine à gaz.

II.4. Etude de la dispersion avec le logiciel PHASTRISK

II.4.1. Présentation du logiciel PHASTRISK

PHASTRisk (*Process Hazards Analysis Software Toolkit*) est un logiciel utilisé pour évaluer les situations présentant des risques potentiels pour le personnel, les installations et l'environnement, et pour mesurer la gravité de ses situations. [DNV PHAST.2006].

PHAST appartient à une gamme de produits développée par DNV Software, reconnu comme le leader mondial dans le domaine de l'évaluation du risque d'accident industriel

majeur. Tout naturellement il a été adopté par de nombreuses entreprises internationales de premier plan et par des gouvernements comme un précieux outil d'aide à la décision en matière de risque industriel et de sécurité publique.

PHAST examine la progression d'un incident potentiel de la fuite initiale à la dispersion en champ lointain, incluant la modélisation de l'épandage et de l'évaporation des flaques, ainsi que les effets inflammables et toxiques.

PHAST emploie plusieurs méthodes de modélisation des phénomènes dangereux parmi ces méthodes: le modèle de CCPS (Roberts HSE) qui est utilisé dans notre étude.

II.4.2. Les industries utilisant actuellement PHAST RISK

- ✚ Pétrole et gaz.
- ✚ Entreprises pétrochimiques.
- ✚ Fabricants de produits chimiques.
- ✚ Gouvernements et autorités chargées de la réglementation.
- ✚ Services de conseil et de conception.
- ✚ Compagnies d'assurance.
- ✚ Universités.

II.4.3. Applications de PHAST RISK

- ✚ Agencement de site.
- ✚ Contrôle des stocks.
- ✚ Contrôle de pollution.
- ✚ Gestion de crise.
- ✚ Préparation d'une étude de dangers.
- ✚ Evaluation d'opérations non courantes.

CHAPITRE III

Résultats et discussion

III.1. Influence des paramètres opératoires sur les émissions de la turbine de la station Boosting

Dans ce travail, on a mesuré les émissions de la turbine après la fin de séquence de démarrage (quand la route BP de la turbine atteint 75% de sa vitesse) et on a pris en compte plusieurs paramètres de la machine qui sont : la quantité de fuel, l'angle des nozle et la température de l'échappement.

Les résultats de ces conditions opératoires sont présentés dans le tableau III.1.

Tableau III.1: Influence des paramètres opératoires sur les émissions de la turbine à gaz de la station Boosting, HassiR'mel

Vitesse (BP)	75%	77%	79%	81%	83%	85%	87%	89%	91%
Q fuel (m ³ /h)	4520	4710	4900	5100	5280	5600	5790	6140	6400
Angle nozl (°)	15	14	12.5	11	10	8.7	7.8	6.9	6.3
T échap (C°)	410	418	430	440	450	464	480	494	510

Zone hors danger ; Zone idéale ; Zone de danger

Tableau III.1 (Suite) : Influence des paramètres opératoires sur les émissions de la turbine à gaz de la station Boosting, HassiR'mel

Vitesse (BP)	91%	93%	95%	97%	99%
Q fuel (m³/h)	6400	6520	6900	7250	7650
Angle nozle (°)	6.3	5.7	5.2	4.6	4
T échap (C°)	510	530	544	562	580

Zone hors danger ; Zone idéale ; Zone de danger

L'analyse des résultats présentés par le Tableau III.1 montre que chaque fois que la vitesse de roue de la turbine augmente, de même la quantité du fuel consommé par la turbine augmente par contre l'angle de nozle de la turbine diminue et aussi la température de l'échappement croit de de 410 jusqu'à 580.

III.2. Evolution des émissions de NOx

Les résultats des teneurs détectés des émissions de NOx sont présentés dans le tableau III.2 et figure III.1.

Tableau III.2: Résultats des émissions NOx de la turbine à gaz de la station Boosting, HassiR'mel

Vitesse (BP)	75%	77%	79%	81%	83%	85%	87%	89%	91%
NOx (mg/Nm³)	39.19	49.45	77.35	80.64	103.41	135.01	163.53	179.33	205.45

Zone hors danger ; Zone idéale ; Zone de danger

Tableau III.2 (Suite) : Résultats des émissions NOx de la turbine à gaz de la station Boosting, HassiR'mel

Vitesse (BP)	91%	93%	95%	97%	99%
NOx (mg/Nm³)	205.45	232.27	260.6	287.47	329.54

Zone hors danger ; Zone idéale ; Zone de danger

La vitesse de la rotation de les BP et déroulements proportionnelle a la quantité des émissions

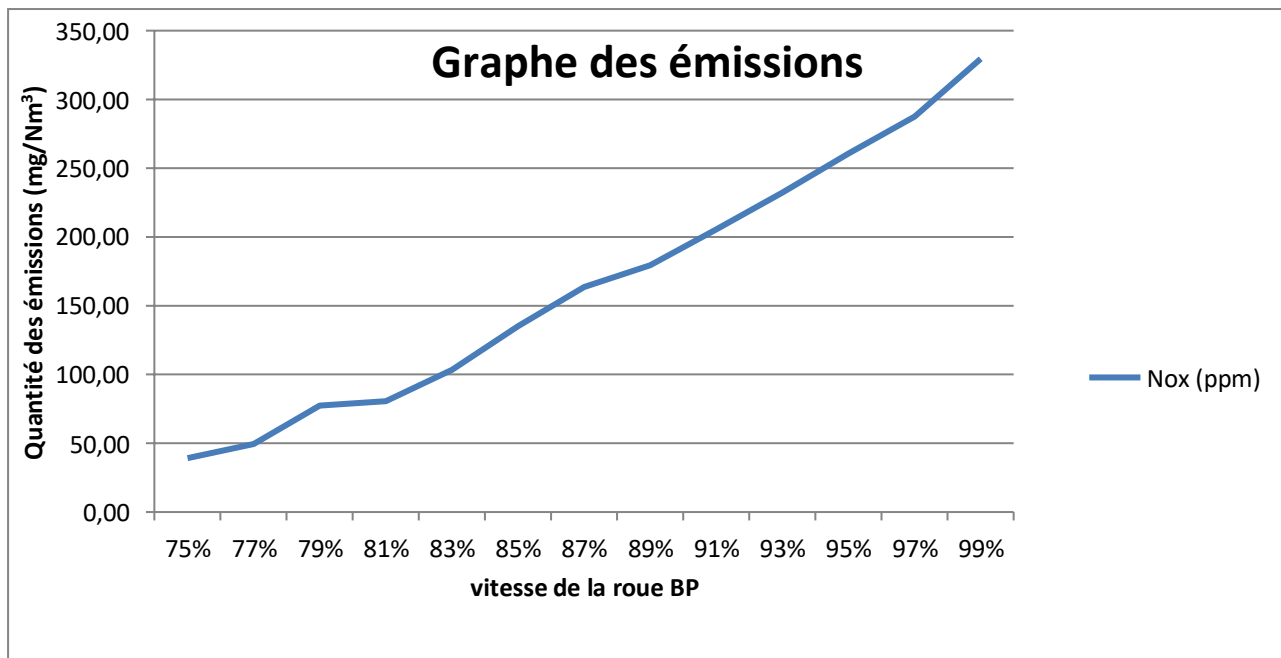


Figure III.1: Emission de gaz NOx de la turbine à gaz, Hassi R'mel

D'après les résultats du tableau III.2 et la figure III.1, on remarque pour une vitesse de roue de 75%, on enregistre une teneur de NOx de 39.19 mg/Nm³, en augmentant la vitesse de roue jusqu'à 99% la teneur est de 329.54 mg/Nm³. Ce qui veut dire que le fuel est riche de composés qui après combustion donne de grande quantité de NOx et per la suite l'atmosphère de la région de Hassi R'mel sera pollué par ces émissions. Les conditions opératoires mentionnés dans le tableau III.1 accentue de plus en plus la pollution de cette région.

Les teneurs enregistrés de NOx ayant un rapport avec la présence de 3 zones qui sont les suivantes :

- **Zone 1 : zone hors danger [75% —→ 89%] :**

Dans cette zone la quantité des émissions des gaz NO_x sont entre très faible jusqu'à une quantité acceptables qui dépasse pas les normes parce que après le démarrage de la turbine on a pas une grand quantité de combustion et avec l'augmentation de la vitesse de la roue BP donc les émissions seront plus mais elles dépassent pas les normes mais dans cette phase on distingue que le rendement de la turbine est très faible et l'exploitant ne peut pas travailler avec ce régime pour répondre à l'exigence de production des modules donc l'ajustement des taux des émissions sera pris en compte et ça pour satisfaire la production.

- **Zone 2 : zone idéale [91%] :**

Dans cette zone tous les facteurs qui nous intéressent sont dans l'état idéal ou elle est entre 200 et 205 mg/Nm³ et cette valeur est proportionnelle avec la qualité du fuel émis du module 1 (composition du gaz) et pour le rendement est idéal pour répondre à l'exigence de production c'est pour tous ces facteurs on a choisi cette zone et la plus idéale pour diminuer les émissions des NO_x et pour la bonne continuation de production.

- **Zone 3 : zone de danger [93% —→ 99%] :**

Dans cette zone le taux des émissions a dépassé la norme (200 mg/Nm³) donc si la production continuera avec ce régime, on va toucher notre environnement puis les habitations et la population avoisinante.

De cette étude, il ressort que la zone idéale correspond à une concentration en NO_x d'environ de 200 mg/Nm³ correspondant à une vitesse de roue de 91% et une quantité de fuel de 6400.

III.3. Evolution des émissions de CO

Les résultats des teneurs détectés des émissions de NOx sont présentés dans le tableau III.3 et figure III.2.

Tableau III.3: Résultats des émissions CO de la turbine à gaz de la station Boosting, HassiR'mel

Vitesse (BP)	75%	77%	79%	81%	83%	85%	87%	89%	91%
CO (mg/Nm³)	544	465	341	309.5	246.2	178.6	127.8	95.1	67.6

Zone hors danger ; Zone idéale ; Zone de danger

Tableau III.3 (Suite) : Résultats des émissions CO de la turbine à gaz de la station Boosting, HassiR'mel

Vitesse (BP)	91%	93%	95%	97%	99%
CO (mg/Nm³)	67.6	39.16	26.4	20	13.5

Zone hors danger ; Zone idéale ; Zone de danger

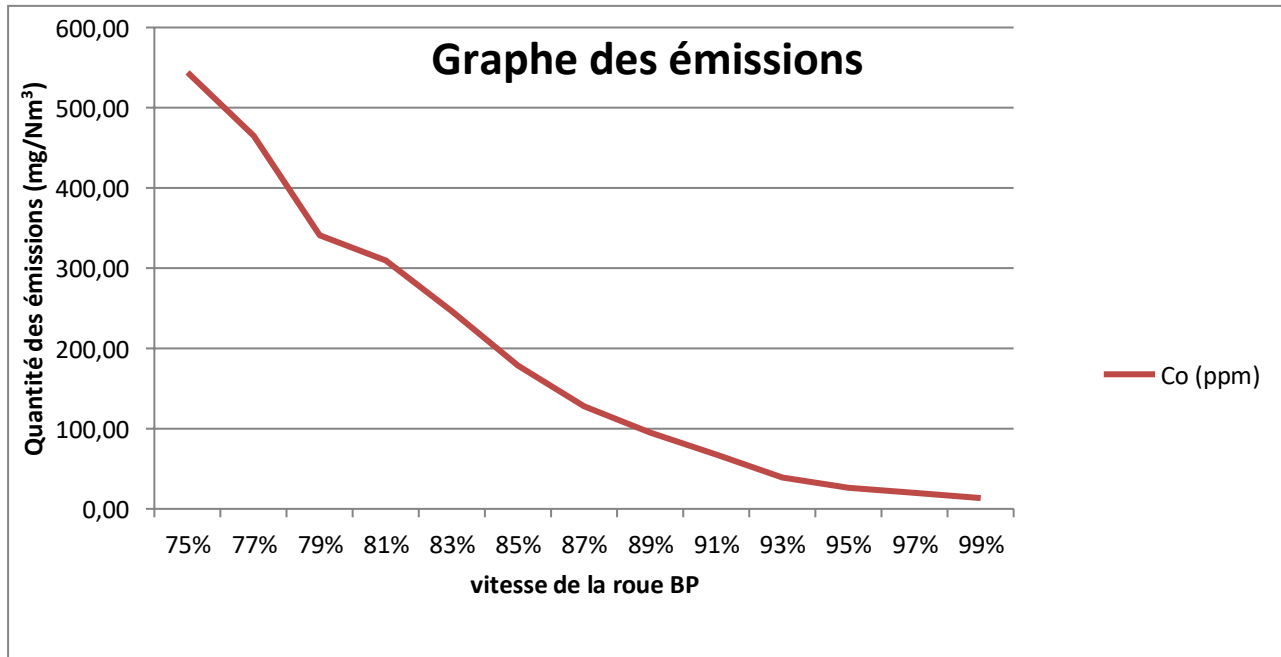


Figure III.2: Emission de gaz CO de la turbine à gaz, HassiR'mel

D'après les résultats du tableau III.3 et la figure III.2, on remarque pour une vitesse de roue de 75%, on enregistre une teneur de CO de 544 mg/Nm^3 , en augmentant la vitesse de roue jusqu'à 99% la teneur est de $13,5 \text{ mg/Nm}^3$. Ce qui veut dire que le fuel utilisé dans l'alimentation de la turbine est pauvre en composés qui après combustion donne de faible quantité de CO et par la suite l'atmosphère de la région de HassiR'mel sera polluée faiblement par ces émissions. Les conditions opératoires mentionnés dans le tableau III.1 accentue d'une manière faible la pollution de cette région.

Les teneurs enregistrés de CO ayant un rapport avec la présence de 3 zones qui sont les suivantes :

- **Zone 1 : La zone hors danger [93% → 99%] :**

Dans cette zone le taux des émissions est très acceptable et il ne dépasse pas la norme en plus qu'il est proportionnel avec la vitesse de la roue BP de la turbine tant qu'elle augmente le taux des émissions baisse.

- **Zone 2 : la zone idéale [91%] :**

Dans cette zone tous les facteurs qui nous intéressent sont aussi dans l'état idéal ou les émissions de CO sont de 67.6 mg/Nm³ ils sont loin de la zone de danger.

- **Zone 3 : la zone de danger [75% ; 89%] :**









Dans cette zone les quantités de taux des émissions et sont un peu acceptables jusqu'à très dangereuses et qui sont entre 95.1 et 544 mg/Nm³ au-delà elles sont dépassées les taux exigés dans les normes et la réglementation algérienne et cette quantité se montre directement après la fin de séquence de démarrage de la turbine elle est très grande grâce à la mauvaise combustion et la stabilité de la flamme.

De cette étude, il ressort que la zone idéale correspond à une concentration en CO d'environ 60 mg/Nm³ correspondant à une vitesse de roue de 91% et une quantité de carburant de 6400.

III.4. Modélisation de la dispersion de NOx avec le logiciel PHASTRISK

En utilisant le logiciel PHASTRISK, on a pu modéliser le nuage de la dispersion atmosphérique de NOx, par la Figure III.3 issu d'une vitesse de la roue BP 90% et par la Figure III.4 issu d'une vitesse de la roue BP 99%

Material: NITROGEN DIOXIDE
 Model: NOx
 Study Folder: nox

 Weathers
 Category 1.5F 988,848 s
 Category 1.5D 457,808 s
 Category 5D 34,1033 s
 ETE JOUR 16,0692 s
 ETE NUIT 12,2962 s
 Models
 HRM

Légende

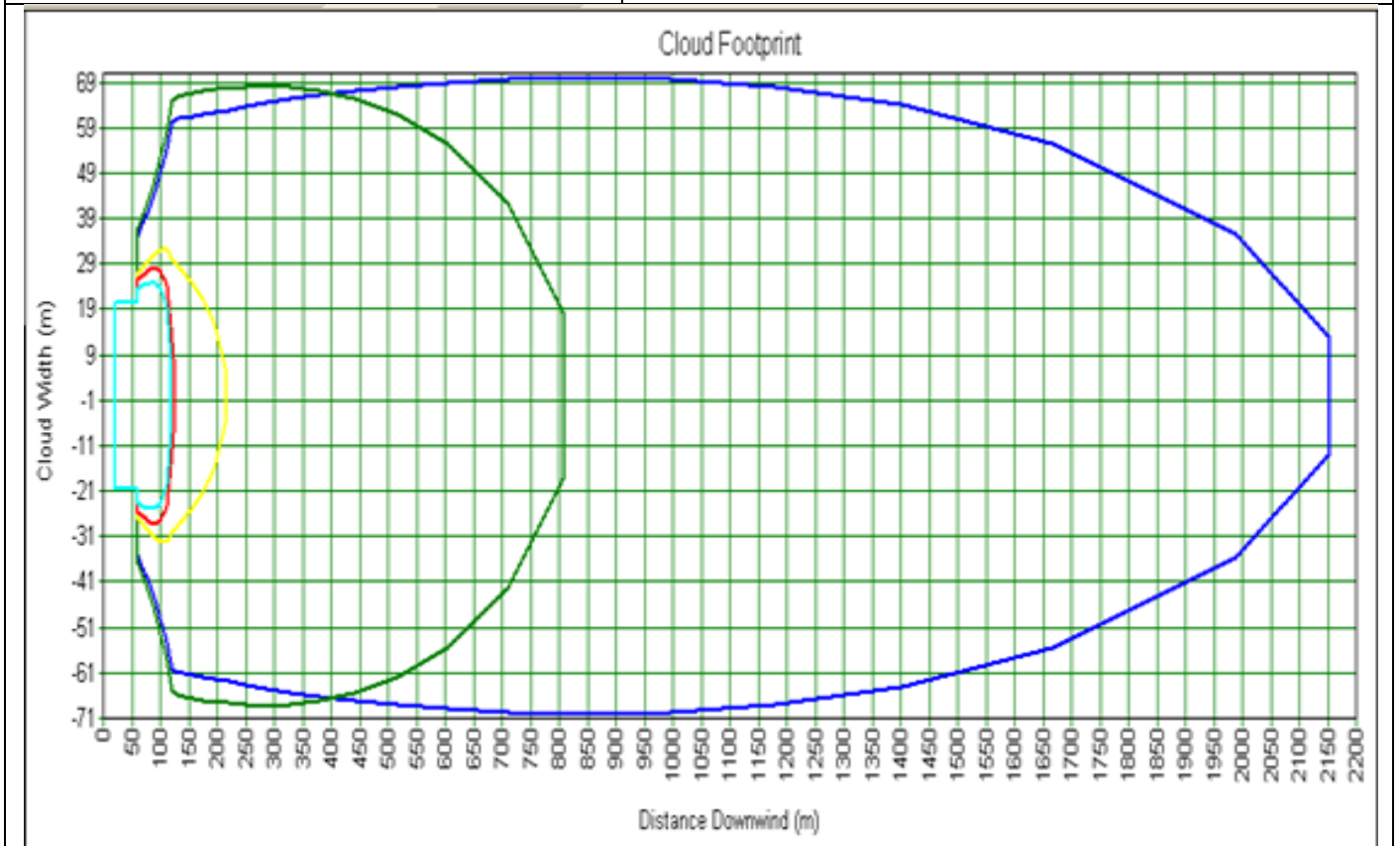
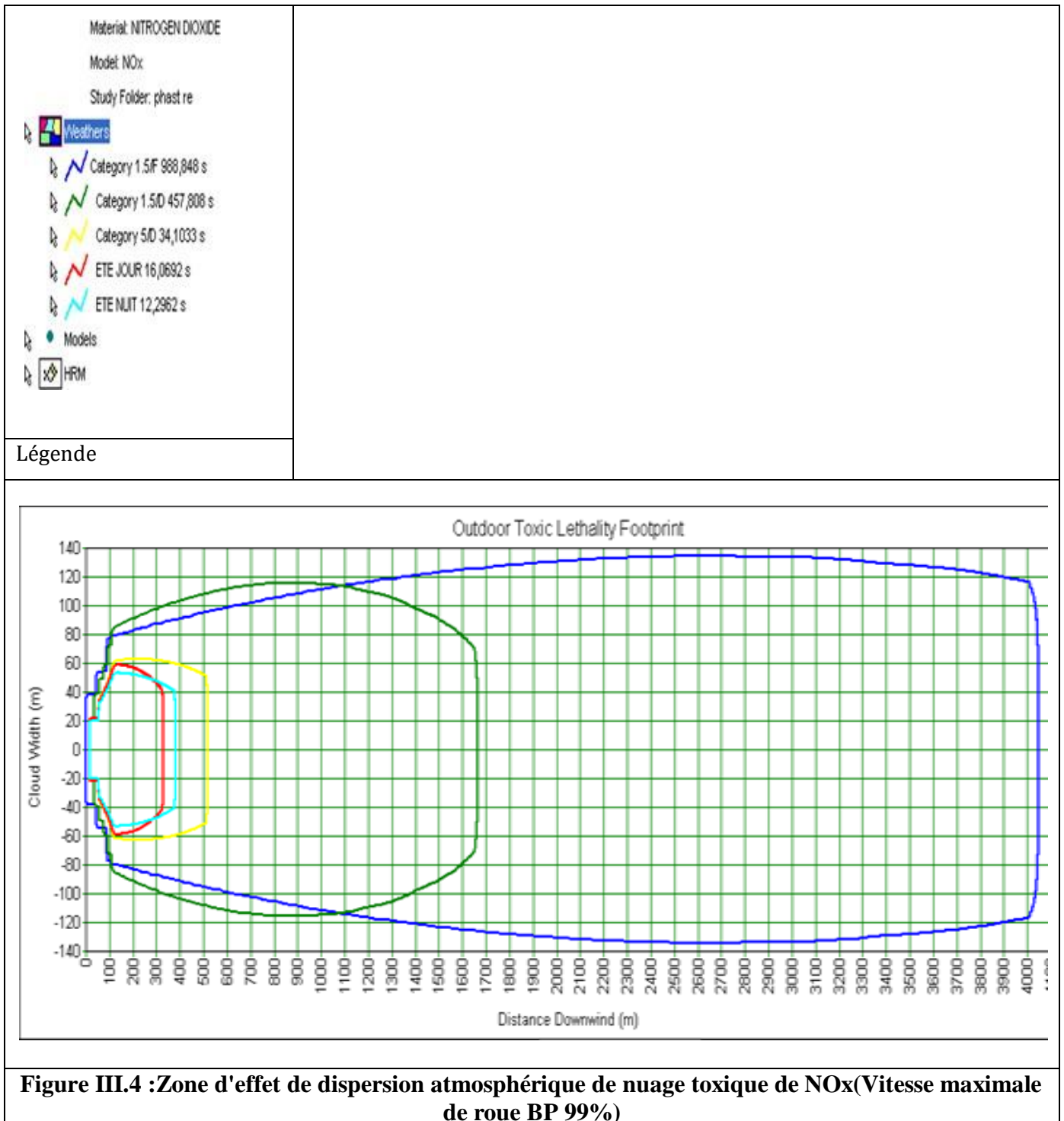


Figure III.3 : Zone d'effet de dispersion atmosphérique de nuage toxique de NOx(vitesse de la roue BP 90%)



D'après les allures de la **Fig.III.3**, et avec une vitesse de la machine (roue BP 90%) et une vitesse de vent variable (min, modérée, max) et la quantité émise de NOx = 205 mg/Nm³, on a constaté l'étendue du nuage de NOx aller jusqu'à une :

Distance= 500 m min

Distance= 1700 m moyenne

Distance= 2200 m max

Par contre avec une vitesse de la machine (roue BP 99%) et d'après les allures de la **Fig.III.4**, et pour une vitesse de vent variable (min, modérée, max) et la quantité émise de NOx = 329 mg/Nm³, on a constaté l'étendue du nuage de NOx aller jusqu'à une :

Distance = 200 m, min

Distance = 800 m, moyenne

Distance =2150 m, max.

Conclusion générale

Dans le nouveau contexte de prise en charge des questions environnementales, la prise de conscience des entreprises et l'élaboration de réglementation de plus en plus exigeante, imposée aux industriels pour réduire l'impact environnemental négatif lié à la production et à la décharge de déchets de type solide, liquide ou gazeux.

La réalisation de ce modeste mémoire de fin d'étude nous a permis d'avoir une très bonne approche sur l'évaluation et l'impact des émissions des gaz à effet de serre au niveau de la zone de Hassi R'mel.

Ce travail a été initié dans le cadre d'un projet ayant pour objectif l'évaluation des émissions des NOx et CO dans la zone industrielle de Hassi R'mel.

Les résultats obtenus montrent que :

✚ L'influence des paramètres opératoires sur les émissions de la turbine de la station Boosting montre que chaque fois que la vitesse de roue de la turbine augmente, de même la quantité du fuel consommé par la turbine augmente par contre l'angle de nozle de la turbine diminue et aussi la température de l'échappement croît de 410 jusqu'à 580°.

✚ L'évolution des émissions de NOx présente 3 zones dont la zone idéale correspond à une concentration en NOx d'environ de 200 mg/Nm³ pour une vitesse de roue de 91% et une quantité de fuel de 6400 m³/h.

✚ L'évolution des émissions de CO présente aussi 3 zones dont la zone idéale correspond à une concentration en CO d'environ 60 mg/Nm³ correspondant à une vitesse de roue de 91% pour la même quantité de fuel.

✚ La modélisation de la dispersion de NOx avec le logiciel PHASTRISK estime l'étendue du nuage d'une quantité émise de NOx en fonction de la vitesse de la machine (roue BP 90%) et de la vitesse de vent variable (min, modérée, max).

Conclusion générale

A la lumière de ces résultats, le traitement des émissions gazeuses s'impose afin de protéger l'atmosphère de cette région industrielle et préserver la santé des habitants avoisinants.

Les perspectives de ce travail sont multiples, elles concernent :

- La comparaison modèle/expérience doit se poursuivre dans des conditions multiples et de la composition du gaz c'est l'ensemble de ces comparaisons qui permettront de valider la robustesse du code numérique.
- Des tests en régime de tension continue devront être effectués
- L'étude du mélange gazeux pour se rapprocher le plus possible de la composition d'un gaz pollué notamment le NO₂, le CO le CO₂ et la vapeur d'eau H₂O.
- De plus, une étude interférométrique de la décharge devrait être effectuée afin de donner une cartographie de toutes les espèces présentes dans la décharge.
- Doter les turbines et fours d'un système de contrôle en ligne des émissions.

Références bibliographiques

- [1]: D. Guillaume, F. Benoît, **2005**, « Décharge couronne, applications et modélisation »
Projet Utilisation Rationnelle de l'Énergie 2004/2005.
- [2]: Commission Européenne CE, **2006**, document de référence sur les meilleurs
techniques disponibles – Grande installation de combustion *juillet 2006*
- [3]: Iso 14001:**2004** Système de management environnemental – exigences et lignes
directrices pour son utilisation
- [4] : www.developpement-durable.gouv.fr.
- [5]: K. Marschallek, L. Gasnot et J.F. Pauwels, Les technologies de recombustion
avancée pour la réduction de NOx.
- [6]: C. DINCA, « Evaluation environnementale et technico-économique de cycle de vie
de la combustion du gaz naturel et propositions d'améliorations techniques ».
- [7]: F. JUGLARET, **2012**, Indicateurs et Tableaux de Bord pour la prévention des
risques en Santé-Sécurité au Travail, Thèse Doctorat, Ecole des Mines Paris Tech..
- [8]: S. HARIZ, **2009**, « Etude Critique du Système de Management Environnemental au
Niveau des Entreprises Algériennes », mémoire Magister en Hygiène et Sécurité
Industrielle, Université de Batna.
- [9]: ISSP, Rapports scientifiques et/ou techniques, Institut Scientifique de Service
Public.
- [10]: J. CAMBON, Vers une nouvelle méthodologie de mesure de la performance des
systèmes de management de la sante-sécurité au travail, Thèse Doctorat, Ecole des
Mines Paris Tech,
- [11]: INERIS, **2004**, DRA-37, Retour d'expérience- Presque accidents et risque
d'accident majeur état de l'art.
- [12]: Journal officiel national, **2014**, décret 06-138 relatif aux émissions atmosphériques
des industries de traitement d'hydrocarbures.
- [13]: INERIS, DRA-35, méthodes d'analyse des risques générés par une installation
industrielle.