

# SOMMAIRE

Introduction.....01

## CHAPITRE I : Généralités sur le bruit

Introduction.....03

I.1. Définitions relatives aux sons et bruits .....04

I.2. La vitesse du son et du bruit .....05

I.3. L'oreille humaine.....06

    I.3.1. L'oreille externe.....06

    I.3.2. L'oreille moyenne.....06

    I.3.3. L'oreille interne .....06

I.4. Les caractéristiques de bruit.....07

    I.4.2. L'intensité acoustique (le watt par mètre carré (w/m<sup>2</sup>)).....08

    I.4.3. Le niveau de bruit.....08

    I.4.4. Le niveau équivalent de la pression acoustique et le niveau de pollution sonore 9

I.5. Phénomènes intervenant dans la propagation acoustique en milieu extérieur.....11

    I.5.1. Divergence géométrique .....11

    I.5.2. Absorption atmosphérique .....11

    I.5.3. Réflexion sur les parois .....12

    I.5.4. Absorption par les matériaux.....13

    I.5.5. Effet de sol.....14

    I.5.6. Diffraction.....14

    I.5.7. Effets météorologiques.....15

I.6. Effets sanitaires et nuisances de bruit.....15

    I.6.1. Effets non auditifs du bruit sur la santé .....16

        I.6.1.1. Bruit et maladie cardiovasculaire.....16

        I.6.1.2. Réponse endocrine au bruit .....16

    I.6.2. Effet traumatique sur le système auditif .....17

        I.6.2.1. Fatigue auditive.....17

        I.6.2.2. Surdité.....17

## CHAPITRE II: Le bruit industriel : sources, caractéristiques et propagation

Introduction.....	18
II.1.Définition de bruit industriel .....	18
II.2. Types de bruit industriel .....	18
II.3. Sources de bruit industriel .....	20
II.3.1. Classification des sources de bruit industriel .....	20
II.3.2. Les champs sonores dans un site industriel.....	20
II.3.3. Les différents types de sources de bruit.....	21
II.4. Les machines bruyantes.....	23
II.4.1.Les machines électriques.....	23
II.4.1.1. Bruit d'origine mécanique .....	24
II.4.1.2. Bruit d'origine magnétique.....	24
II.4.1. 3.Bruit d'origine de refroidissement.....	25
II.4.1.4. Bruits d'origine électromagnétique.....	26
II.4.2. Les turbocompresseurs.....	28
II.4.3.Compresseur à gaz.....	29
II.4.3.1.Une comparaison entre le bruit générer par les turbocompresseurs et les moto-compresseurs .....	31
II.4.4. Bruit des pompes.....	32
II.4.5. Bruits des ventilateurs .....	33
II.4.5.1.Types de ventilateur.....	33
II.4.6.Bruits des tuyauteries (pipes).....	35

## Chapitre III : Réglementations de bruit et Normes de mesures

Introduction.....	36
III.1. Les réglementations de bruit au niveau international.....	36
III.1.1. Au niveau américain.....	36
III.1.2. Aux niveaux européens.....	38
III.1.3. Au niveau de Taiwan.....	39
III.1.4. Au niveau de la Turquie.....	39
III.1.5. Les réglementations algériennes.....	40
III.2. Normes de mesures de bruit industriel .....	42
III.2.A. Mesure en champ libre .....	42
III.2.B. Mesure en champ diffus.....	43

III.2.C. La mesure par intensimétrie .....	43
III.2.C.1. Principe de l'intensimétrie.....	44
<b>CHAPITRE IV : Méthodes de réduction et de contrôle de bruit industriel</b>	
Introduction.....	45
IV.1. Contrôle de bruit à la source.....	45
IV.2. Le contrôle de bruit aux trajectoires.....	46
IV.2.1. Encoffrement.....	47
IV.2.2. Ecran anti bruit.....	47
IV.2.3. Isolation vibratoire .....	48
IV.2.4. Absorption du local.....	49
IV.3. Le contrôle de bruit au niveau de récepteur .....	49

## PARTIE PRATIQUE

### Partie pratique I : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

Introduction.....	50
I.1. Présentation générale de la zone industriel d'Arzew.....	51
I.1.1. Détermination de la zone d'étude.....	51
I.2. Présentation générale de la centrale thermoélectrique .....	51
I.2.1.Situation géographique.....	52
I.2.2.Description et historique de la centrale .....	52
I.2.3.Principe de fonctionnement .....	53
I.2.4.Les principales installations.....	53
I.3. présentation génale de complexe GN1.....	55
I.3.1.Description générale de complexe GNL1/Z .....	55
I.4. présentation génale de complexe GNL2.....	57
I.4.1.Situation géographique.....	57
I.4.2. Composition du complexe.....	58
I.5. présentation génale de complexe GP1Z .....	58
I.5.1.Situation géographique .....	58
I.6. Critères et Normes de mesure utilisée.....	60
I.6.1. Critère générales de mesures.....	60
I.6.2. Emplacements des mesures en champ proche.....	62
I.6.3. Matériel utilisé.....	62
I.7. Résultats et discussion .....	63
I.7.1.Etude acoustique de bruit générer par la centrale thermoélectrique .....	63

I.7.1.1. Résultats des mesures de la zone d'exploitation.....	63
I.7.1.2. Zone d'alimentation et zone d'utilités.....	72
I.7.2. Etude acoustique de bruit générer par le complexe GNL1 et GNL2.....	74
I.7.3. Etude acoustique de bruit générer par le complexe GP1Z.....	77
I.7.3.1. Résultats des mesures de la zone d'exploitation.....	77
I.7.3.2. La zone de stockage .....	83

## Partie pratique II : Etude acoustique de bruit générer par les unités industriels en limites

### batterie

Introduction.....	87
II.1. Matériel et méthode.....	87
II.1.1. Conditions météorologiques.....	88
II.1.2. Niveaux sonores en limites de propriété .....	89
II.2. Résultats et discussions.....	89
II.2.1. Complexe GP1Z.....	90
II.2.2. Complexe GP2/Z.....	91
II.2.3. Complexe GL3 /Z.....	92
II.2.4. Complexe GL1 /Z.....	93
II.2.5. Complexe GL2 /Z.....	94
II.2.6. Complexe FERTIALE .....	95
II.2.7. Complexe SORFERT .....	97

## Partie pratique III : simulation et réalisation des cartographies de bruit

Introduction.....	100
III.1. Démarche dans la réalisation de la cartographie de bruit en milieu industriel.....	101
III.1.1. ISO 8297 .....	103
III.1.2. Ingénierie inverse (Reverse engineering) .....	103
III.2. Simulation et élaboration des cartographies de bruit générées par les complexes de la zone industriel d'Arzew.....	104
III.2.1. Cartographie de bruit de la centrale thermoélectrique MARSAT El HADJAJ.....	104

III.2.2. Cartographie de bruit de complexe GNL1 et GNL2 .....	106
III.2.3. La cartographie générale du bruit du complexe GP1/Z.....	107
III.3. Exploitation et traitement de résultats de simulation .....	107
III.3.1.Plan de réduction de bruit de la zone 1.....	110
III.3.2. Plan de réduction de bruit de la zone 2.....	111
III.3.3. Plan de réduction de bruit de la zone 3.....	112
 Conclusion et recommandations	
Conclusion générale.....	114

## Liste des tableaux

- Tableau I.1 :** Classification du bruit
- Tableau III.1:** Les limites de durées d'exposition autorisé par OSHA
- Tableau III.2:** Comparaison de la réglementation 1988 et de la Directive 2003/10/CE
- Tableau III.3:** Les niveaux de bruit admissible autorisé par la réglementation taiwanique
- Tableau III.4:** Les niveaux de bruit admissible autorisé par la réglementation turkich

## Partie pratique

- Tableau I.1:** Les conditions météorologiques qui sont enregistré dans la zone d'exploitation
- Tableau I.2:** Niveaux du bruit mesuré au niveau du groupe 1
- Tableau I.3:** Niveaux du bruit mesuré au niveau du groupe 2
- Tableau I.4:** Niveaux du bruit mesuré au niveau du groupe 3
- Tableau I.5:** Niveaux du bruit mesuré au niveau du groupe 5
- Tableau I.6:** Les paramètres météorologiques enregistrés au niveau de la zone d'alimentation
- Tableau I.7:** Niveaux du bruit mesuré au niveau de la station de pompage
- Tableau I.8 :** Niveaux du bruit mesuré au niveau de la station de dessalement 1
- Tableau I.9:** Niveaux du bruit mesuré au niveau de la Zone d'utilités
- Tableau I.10:** Niveaux de bruit enregistré au niveau des complexes GNL1/Z et GNL2/Z
- Tableau I.11:** Les conditions météorologiques au niveau du complexe GP1/Z
- Tableau I.12:** Les niveaux de bruit enregistré au niveau de la zone d'exploitation de la Phase I du complexe GP1/Z
- Tableau I.13:** Les niveaux de bruit enregistré au niveau de la zone d'exploitation de la Phase III du complexe GP1/Z
- Tableau I.14:** Les conditions météorologiques au niveau de la zone de stockage du complexe GP1/Z
- Tableau I.15:** Les niveaux de bruit enregistré au niveau de la zone de stockage du complexe GP1/Z

- Tableau II.1:** Résultats de mesure de bruit en limites batterie de complexe GP1Z
- Tableau II.2:** Résultats de mesure de bruit en limites batterie de complexe GP2Z
- Tableau II.3:** Résultats de mesure de bruit en limites batterie de complexe GNL3
- Tableau II.4:** Résultats de mesure de bruit en limites batterie de complexe GNL1Z
- Tableau II.5:** Résultats de mesure de bruit en limites batterie de complexe GNL2/Z
- Tableau II.6:** Résultats de mesure de bruit en limites batterie de complexe FERTIAL
- Tableau II.7:** Résultats de mesure de bruit en limites batterie de complexe SORFERT

## Liste des figures

- Figure I.1 :** Différents types de bruits
- Figure I.2 :** Les trois parties de l'oreille humaine
- Figure I.3 :** Intensité pour ondes planes (à droit) et pour ondes sphériques (à gauche)
- Figure I.4 :** Variation de l'absorption atmosphérique en fonction de la fréquence pour deux valeurs d'humidité relative 30 % et 70 % à une température de 15 °C
- Figure I.5 :** Diffraction par un écran droit vue de côté. Différence de marche :  $\delta = a + b - d$  avec  $a$  la distance source-arrête de l'écran,  $b$  la distance arrête de l'écran-récepteur et  $d$  la distance source-récepteur en champ libre
- Figure II.1 :** la pression acoustique d'un bruit impulsif
- Figure II.2 :** Exemple d'une source ponctuel
- Figure II.3 :** Propagation de bruit émis par une source ponctuel
- Figure II.4:** Les principales origines de bruit engendré par une machine électrique
- Figure II.5:** Voies de transferts vibratoires (vert) et acoustiques (rouge) dans une machine électrique
- Figure II.6 :** Turbocompresseur ; compresseur centrifuge (gauche) et une turbine radiale (à droite).
- Figure II.7:** Turbo-compressor du complex GP1/Z
- Figure II.8:** Moto-compressor du complex GP1/Z
- Figure II.9:** Représentation schématique de l'écoulement dans un compresseur centrifuge
- Figure II.10:** Représentation des écoulements en compresseur centrifuge avec diffuseur aspiré
- Figure II.11:** Histogramme de comparaison entre le bruit générer par les turbocompresseurs et les moto-compresseurs
- Figure II.12:** Représentation de propagation de bruit générer par le système vanne-tuyauterie
- Figure III.1:** La propagation de bruit dans un champ libre et réverbéré
- Figure III.2:** Principe d'évaluation de l'intensité acoustique par intensimétrie
- Figure IV.1:** Les composantes générales de système de bruit
- Figure IV.2:** Un encoffrement pour les machines bruyantes.

- Figure IV.3:** Écrans Antibruit en Acier Laqué
- Figure IV.4:** Bandes d'absorption de plafond (à gauche), damier (au milieu), baffles( à droit)
- Figure IV.5:** Casque enveloppants (à gauche), casques serre-tête (au milieu), casques serre-nuque (à droite)
- Figure IV.6:** Bouchons d'oreilles sur mesure (à gauche), bouchons d'oreilles façonnés par l'utilisateur (au milieu) et bouchons d'oreilles pré-modelés (à droite)

## Partie pratique

- Figure I.1 :** Plan de masse de la zone industrielle d'Arzew.
- Figure I.2 :** Photo satellitaire de la centrale thermoélectrique
- Figure I.3 :** Schéma d'implantation des équipements de la centrale de MARSAT El HADJAJ.
- Figure I.4 :** Photo satellitaire du complexe GNL1/Z
- Figure I.5 :** Photo satellites du complexe GP1Z
- Figure I.6 :** Plan de masse générale sur les principales installations qui composent le GP1/Z
- Figure I.7 :** Sonomètre utilisé
- Figure I.8 :** Représentation des niveaux du bruit enregistré au niveau du groupe
- Figure I.9 :** Représentation des niveaux du bruit enregistré au niveau du groupe 2
- Figure I.10:** Représentation des niveaux du bruit enregistré au niveau du groupe 3
- Figure I.11:** Représentation des niveaux du bruit enregistré au niveau du groupe 5
- Figure I.12:** Les niveaux de bruit enregistré au niveau des complexes GNL1 et GNL2
- Figure I.13:** Représentation des niveaux de bruit enregistré au niveau de train 100
- Figure I.14:** Représentation des niveaux de bruit enregistré au niveau de train 200
- Figure I.15:** Représentation des niveaux de bruit enregistré au niveau de train 300
- Figure I.16:** Représentation des niveaux de bruit enregistrée au niveau de train 600
- Figure I.17:** Représentation des niveaux de bruit enregistré au niveau du train 700
- Figure I.18:** Représentation des niveaux de bruit enregistré au niveau du train 800
- Figure I.19 :** Représentation des niveaux de bruit enregistré au niveau de train 900
- Figure I.20:** Représentation des niveaux de bruit enregistré au niveau du BOG
- Figure I.21 :** Représentation des niveaux de bruit enregistré au niveau des bacs
- Figure I.22 :** Représentation des niveaux de bruit enregistré au niveau des sphères

- Figure II.1 :** Plan de masse générale de la zone industriel d'Arzew
- Figure II.2 :** Positions de mesurage de bruit en limites batterie pour le complexe GP1/Z
- Figure II.3 :** Positions de mesurage de bruit en limites batterie pour le complexe GP2/Z
- Figure II.4 :** positions de mesurage de bruit en limites batterie pour le complexe GNL3/Z
- Figure II.5 :** Positions de mesurage de bruit en limites batterie pour le complexe GNL1/Z
- Figure II.6:** Positions de mesurage de bruit en limites batterie pour le complexe GNL2/Z
- Figure II.7:** Positions de mesurage de bruit en limites batterie pour le complexe GP1/Z
- Figure II.8:** Positions de mesurage de bruit en limites batterie pour le complexe GNL3/Z
- Figure III.1:** Schéma de la méthodologie générale de la réalisation d'une cartographie de bruit
- Figure III.2 :** Cartographie générale du bruit de la centrale MARSAT EL HADJAJ
- Figure III.3:** Cartographie de bruit de complexe GNL1Z
- Figure III.4:** Cartographie de bruit de complexe GNL2Z
- Figure III.5:** Cartographie générale du bruit du complexe GP1/Z
- Figure II.6:** Astuce pour réduire les bruits de ventilateur

# INTRODUCTION GENERALE

## Introduction générale :

**D**e nos jours le monde actuel souffre beaucoup par les activités industrielles qui sont responsables à l'augmentation de taux de pollutions atmosphériques, marine et sonore. Les préoccupations concernant le problème de pollution sonore (bruit) augment chaque jour et notamment celles relatives au bruit industriel. Des milliers de personnes souffrent énormément des pollutions sonores engendrées par les unités industrielles. Aujourd'hui en Algérie nous observons un accroissement de construction des unités industrielles aussi divers les unes que les autres et qui génèrent par conséquent un grand bruit. D'un autre coté, il y a une absence totale d'études études approfondies qui traitent le problème du bruit industriel. C'est ce qui nous a incité à étudier acoustiquement le bruit généré par les unités industrielles de la zone industriel d'Arzew.

Le choix de la zone industrielle n'étant pas fortuit, mais choisi judicieusement. En terme économique, la zone industrielle d'Arzew est classée au niveau mondial parmi les vingt premières zones industrielles dans le domaine de traitement et d'exploitation de gaz et de pétrole. Par contre au niveau environnemental, les complexes de la zone industrielle d'Arzew sont classés aussi parmi les principales sources de pollution (atmosphérique, marine et sonore). Il faut aussi souligner que cette zone est caractérisé par une très grande superficie..

Les objectifs principaux de notre travail et de réaliser :

- Une étude approfondie sur les nuisances sonores générées à l'intérieur des unités industrielles de la zone industrielle d'Arzew, dans le but de traiter et d'évaluer l'environnement sonore en amont et en aval.
- Une évaluation des émissions sonores générées par plusieurs usines pétrolières et gazières situées dans la zone industrielle d'Arzew et à la vérification de l'application

# Introduction générale

---

des lois relatives à la limitation des niveaux de bruits émis dans l'environnement par les différentes installations.

- Simuler et réaliser des cartographies de bruit

Pour mener à bien notre étude, nous avons structuré notre thèse en deux parties essentielles : partie théorique et partie pratique. La partie théorique est composée par quatre chapitres (I, II, III, et IV) :

**Dans le chapitre I :** nous introduirons certaines généralités sur le bruit, les paramètres physiques de bruit, les principaux paramètres intervenant dans la propagation acoustique, et les effets sanitaires liés au bruit.

**Le chapitre II :** a été consacré dans un premier temps au rappel de la législation et des critères liés à la limitation des niveaux d'exposition de bruit au niveau algérien et au niveau mondial et deuxièmement à discuter les différentes normes de mesure de bruit industriel qui sont principalement établies pour les études acoustiques de bruit industriel.

**Dans les chapitre III :** nous nous sommes intéressé à la présentation de différentes sources de bruit industriel et aux notions générales sur les caractéristiques acoustiques du bruit industriel.

**Dans le chapitre IV :** nous avons décrit les différentes méthodes de réduction et de contrôle de bruit industriel ; contrôle à la source, à la propagation et à la réception.

**Dans la partie pratique :** nous avons divisé notre document en trois parties :

- Dans la première partie nous avons présenté les unités industrielles choisies, les normes et les critères de mesure que nous avons adoptée dans notre étude et à la présentation et à l'analyse de nos mesures réalisées.
- La deuxième partie, nous l'avons consacré à l'évaluation des émissions sonores générées par plusieurs usines pétrolières et gazières situées dans la zone industrielle ARZEW en « limite en propriété », également appelée « limite batterie ».
- Dans la troisième partie nous avons réalisé une cartographie de bruit selon les mesures obtenues et à l'aide d'un simulateur qui calcule la propagation acoustique des sources bruyantes industrielles.

En conclusion, nous avons mis en évidence les principaux résultats obtenus.

# Chapitre I

## Généralités sur le bruit

# Chapitre I : Généralités sur le bruit

---

## Introduction :

*« La santé n'est pas seulement l'absence de maladies mais un état de complet bien-être physique, mental et social »*

**[O.M.S. 1948]**

Actuellement notre planète enregistre chaque jour une augmentation des concentrations des polluants massique (polluants de l'aire et de la mer). Parallèlement, une nouvelle variété de pollution qui ne possède pas une masse, une couleur et une odeur a été découverte ces dernières décennies en raison de l'industrialisation et à travers l'augmentation des unités industriels, les trafics routiers, aériens, etc. Ce polluant se manifeste se forme de pollution sonore et il s'appelle « le bruit ».

Le bruit est le deuxième facteur environnemental en terme de dommage sanitaire (OMS) [1], sa dangerosité dépend de la nature de la source qui le génère (transport, industrie, etc.). Aujourd’hui, la préoccupation concernant la pollution sonore acquiert une importance considérable, en particulier dans un environnement industriel où il existe un grand nombre de machines et d'équipements [2]. Des études récentes ont montré que le bruit d'origine industriel est plus gênant que le bruit de transport (à des niveaux de bruit équivalents) [3]. Ceci est du principalement aux caractéristiques propres de la source sonore industriel qui émet différents bruits à caractères dangereux (caractère tonal, impulsive, etc.) [4 à 6]. Ces bruits affectent par conséquent et d'une manier directe les travailleurs des sites industriels et d'une manière indirecte les riverains à proximités de ces sites. Pour lutter contre ces nuisance sonore industriels des équipements de prévention individuel sont exigés aux travailleurs des sites industriels pour les protéger (casques anti bruit, le contrôle actif de bruit, contrôle passif de bruit, etc.) [7 à 9]. Pour les riverains habitants à proximité des sites industriels des normes internationales et des lois ont été promulguées pour préserver la santé des habitants. Au niveau algérien Le décret exécutif n°93-184 du 27 juillet 1993 réglemente l'émission des bruits [10]. Le règlement de l'Occupational Safety and Health administration (OSHA), fixe les doses de bruit autorisées en fonction du temps d'exposition [11]. Au niveau de la France, l'arrêté du 23 janvier 1997 relatif à la limitation des bruits émis dans l'environnement par les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement a été promulgué. Les émissions sonores ne doivent pas engendrer une émergence supérieure aux valeurs admissibles fixées en limite de propriété (70 dB en période diurne et 45 dB en période nocturne) [12]. Toutes ces réglementations ont pour but de préserver d'une part, la santé des travailleurs industriels exposés au bruit [13] et d'autre part pour préserver les habitants et éviter de voir des effets

# Chapitre I : Généralités sur le bruit

sanitaires dangereux qui peuvent être causés par le bruit (fatigue auditif, surdité, stresse, manifestation cardiovasculaire, etc.) [14].

## I.1. Définitions relatives aux sons et bruits :

Le son est défini comme une perturbation de la pression qui se déplace à travers un matériau à une vitesse qui dépend du matériau [15-16].

Le bruit constitue un phénomène omniprésent dans la vie quotidienne, aux sources innombrables et d'une infinie diversité. Il n'y a aucune distinction physique entre un son et un bruit. Néanmoins, la neuvième édition du dictionnaire de l'Académie Française définit le bruit comme un « son ou ensemble de sons qui se produisent en dehors de toute harmonie régulière ». Selon la norme Afnor NF 530-105 le bruit est défini comme « *toute sensation auditive désagréable ou gênante, tout phénomène acoustique produisant cette sensation, tout son ayant un caractère aléatoire qui n'a pas de composantes définies* » [17-18].

Pour la Commission électrotechnique internationale (CEI), le bruit est un « *son ayant généralement un caractère aléatoire sans composantes bien définies* »

Pour les ouvrages classiques (Larousse, Robert), le bruit est défini en référence à la musique, ce qui, dans la perspective des conditions de travail, serait bien difficile de justifier : « *Ensemble de sons sans harmonie* », « *phénomène dû à une superposition de vibrations diverses non harmoniques* », ou « *ce qui, dans ce qui est perçu dans l'ouïe n'est pas senti comme son musical* ».

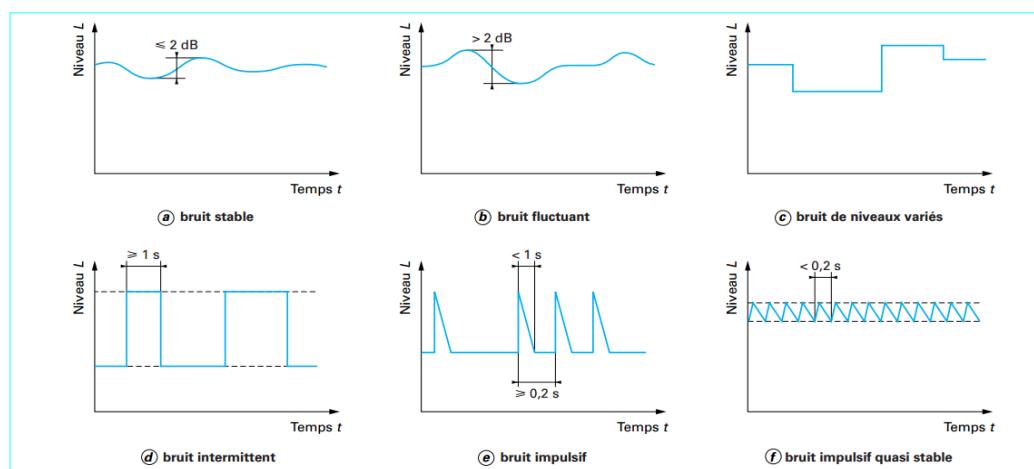


Figure I.1: Différents types de bruits [19]

# Chapitre I : Généralités sur le bruit

**Tableau I.1 : Classification du bruit**

<b>Classification selon le niveau</b>	
< 40 dB A	Calme : zone résidentielle, salle de conférences, hôpital, etc.
40 à 60 dB A	Modéré : circulation normale, bureau collectif, restaurant, etc.
60 à 80 dB A	Bruyant : forte circulation, atelier, café, etc.
> 90 dB A	Intense : avion, atelier très bruyant, armes à feu, etc.
<b>Classification selon la structure</b>	
Structure spectrale	Infrasons
	Très basses fréquences
	Basses fréquences
	Médium
	Aigus
	Stridents ou suraigus
	Ultrasons
Structure temporelle (cf. arrêté du 02.08.1975) (figure 1)	Bruits continus stables (fluctuations $\approx 2$ dB)
	Bruits fluctuants (fluctuations $> 2$ dB)
	Bruits de niveau variable
	Bruits intermittents (pics de durée $> 1$ s)
	Bruits impulsifs (pics de durée $< 1$ s)
	Bruits impulsifs quasi stables (impulsions successives de durée $< 0,2$ s et d'amplitude $\approx 2$ dB)
<b>Classification selon l'effet</b>	
Bruits gênants	Action psychologique ou psychique entraînant parfois des variations physiologiques
Bruits stressant	Modifications de l'état d'équilibre physiologique. Effets auditifs et non auditifs réversibles
Bruits traumatisants	Effets irréversibles. Lésions auditives, troubles physiologiques ou psychiques graves

## I.2. La vitesse de son et du bruit [16]:

En 1816, l'astronome et mathématicien français Pierre Simon Laplace a suggéré que le son a été réellement transmis adiabatiquement en raison de la fréquence élevée des ondes sonores. Laplace a proposé l'expression correcte pour la vitesse du son dans un gaz :

La vitesse du son est définie par la relation :  $V_s = \sqrt{\gamma \cdot R \cdot T}$  (m/s) telle que :

- $\gamma$ : coefficient adiabatique du fluide
- $R$  : la constante spécifique du gaz parfait
- $T$  : la température du fluide

## I.3. L'oreille humaine :

L'oreille comprend trois parties ayant des fonctions distinctes d'inégale importance : l'oreille externe, moyenne et interne.

### I.3.1. L'oreille externe

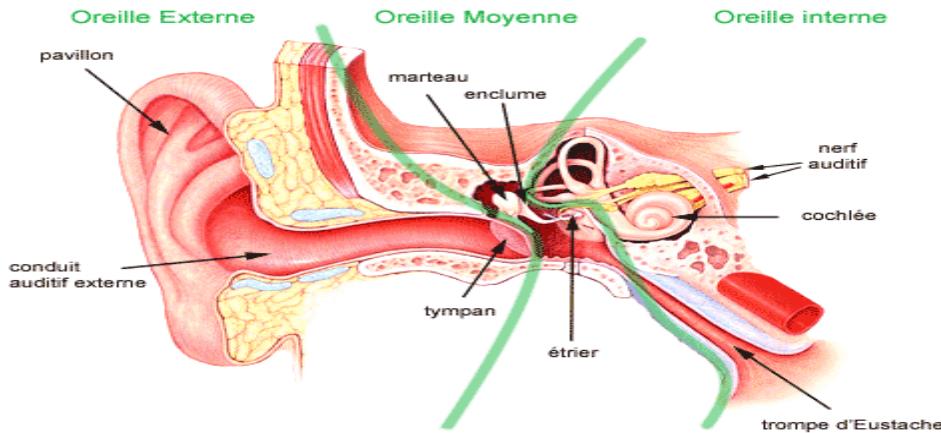
Elle comprend un pavillon et un conduit auditif. L'oreille externe guide le son jusqu'au tympan, membrane séparant l'oreille externe de l'oreille moyenne, dont le rôle est de capter les variations de pression sonore, comme le fait la membrane d'un micro.

### I.3.2. L'oreille moyenne

Elle est constituée par une chaîne de trois osselets (le marteau, l'enclume et l'étrier). Cette partie de l'oreille transmet les mouvements de tympan à l'oreille interne, qui est en communication avec le milieu extérieur par la trompe d'Eustache, habituellement fermée et s'ouvrant à la déglutition.

### I.3.3. L'oreille interne

Elle est au cœur du système auditif. Elle renferme deux ensembles fonctionnelles distincts : le vestibule, organe de l'équilibre, et la cochlée (ou limacon), la cochlée abrite environ 15 000 cellules sensorielles par l'intermédiaire de ces cellules, la cochlée exerce une triple action : elle amplifie les vibrations qui lui parviennent, elle analyse ces mêmes vibrations et les oriente en fonction de leur fréquence, vers les fibres nerveuses qui lui sont connectées et elle transforme l'énergie vibratoire en influx nerveux .



**Figure I.2:** Les trois parties de l'oreille humaine [20].

## I.4. Les caractéristiques de bruit

### I.4.1. Notions d'acoustique [21] :

Ce paragraphe, présente les éléments nécessaires pour comprendre la nature du bruit et les différents indicateurs utilisés pour le mesurer.

#### I.4.1.1. Phénomène physique

Le milieu atmosphérique en équilibre stable est caractérisé par sa température  $T_0$ , sa masse volumique  $\rho_0$  et la pression atmosphérique  $P_0$ . Divers phénomènes, en particulier les vibrations des corps solides peuvent provoquer des fluctuations de ces quantités accompagnées d'une propagation dans l'atmosphère. Ce sont les rapides variations de la pression captées par l'oreille qui engendrent la sensation sonore. Si  $P(t)$  est la pression instantanée et  $P_0$  la pression atmosphérique moyenne, la différence  $p(t) = P(t) - P_0$  [Pa] est appelée pression acoustique instantanée.

L'analyse de ce signal  $p(t)$  peut se faire au moyen d'une transformée de Fourier, afin d'obtenir la répartition en fréquence. Il existe plusieurs cas de figure :

- Si le spectre fréquentiel se réduit à une seule valeur  $f$ , le son est dit pur. La variation de la pression acoustique au cours du temps est alors sinusoïdale. La fréquence  $f$  [Hz] donne la hauteur du son perçu (grave ou aigu). L'amplitude  $P_{\max}$ , caractérise en fonction de la fréquence  $f$  l'intensité du son (faible ou forte).

- b) Si le spectre fréquentiel n'est composé que de multiples entiers d'une fréquence  $f_1$ , le son résultant est un son musical. La fréquence  $f_1$  est appelée fondamentale et ses multiples harmoniques.
- c) Le bruit, quant à lui, ne possède pas la simplicité des sons purs ou musicaux. Il se définit comme « *une vibration erratique, intermittente ou statistiquement aléatoire* ». Il est donc caractérisé par une variation aléatoire de  $p(t)$ , ce qui donne un spectre fréquentiel continu et variable [22].

## I.4.2. Intensité acoustique (le watt par mètre carré ( $\text{w/m}^2$ )) [23] :

Le watt par mètre carré est l'intensité acoustique définie par la quantité d'énergie qui traverse à chaque seconde une unité de surface normale à direction de propagation.

L'intensité acoustique est proportionnelle :

- A la densité des matériaux ou passe l'onde
- A la vitesse de propagation dans ce matériaux et proportionnelle au carré :
- A l'amplitude et à la fréquence.

L'atténuation d'intensité  $\mathbf{d}$  entre l'intensité  $I$  et  $I_0$  est définie par

$$\mathbf{d} = \log \frac{I}{I_0}$$

## I.4.3. Le niveau de bruit

Le niveau est effectivement une quantité sans dimension, on lui donne l'unité du bel, en l'honneur d'Alexander Graham Bell. Il est généralement pratique d'utiliser le décibel (dB), où 1 décibel est égal à 0,1 bel [24]. Le niveau est généralement désigné par le symbole  $L$ , avec un indice pour désigner la quantité décrite par le niveau. Par exemple, le niveau de puissance acoustique est désigné par  $L_W$ . Le niveau de puissance acoustique est défini par:

$$L_w = 10 \log_{10} \left( \frac{w}{w_{ref}} \right) \text{ dB (A)}$$

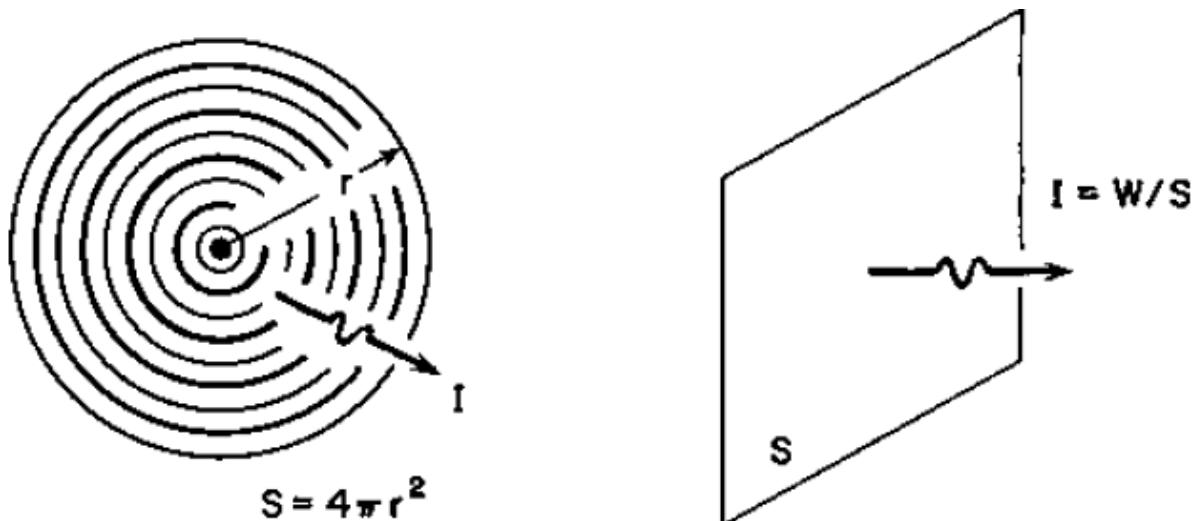
Le facteur 10 convertit de bels en décibels. La puissance acoustique de référence  $W_{ref}$  est de  $10^{-12}$  à 12 watts ou 1 p W.

Le niveau de pression sonore ou niveau acoustique est donc définie comme le logarithme de la pression ou de l'intensité de l'onde acoustique. Pour la définition du décibel acoustique, le niveau de référence est le seuil d'audibilité à 1 000 Hz, pour lequel l'intensité acoustique est de  $I_0 = 10^{-12} \text{ w/m}^2$  intensité qui correspond à une variation de pression  $p_0 =$

$2.10^{-5}$  Pa. Un facteur 10 multiplie le logarithme pour obtenir des décibels. Le niveau de décibel sera donc :

$$10 \text{ décibel} = \text{Bel}$$

$$n \text{ décibel} = 10 \log \frac{I}{I_0}$$



**Figure I.3 :** Intensité pour ondes planes (à droit) et pour ondes sphériques (à gauche).

Pour une onde sonore sphérique (une onde sonore qui se déplace uniformément dans toutes les directions de la source), la surface à travers laquelle l'énergie acoustique est transmise est  $4\pi R^2$ , où  $R$  est la distance de la source sonore, de sorte que l'intensité est donnée par [24]:

$$I = \frac{W}{4\pi R^2} \quad (\text{w/m}^2)$$

Pour le cas général dans lequel le son n'est pas rayonné uniformément de la source, mais l'intensité acoustique peut varier selon la direction, l'intensité est donnée par :

$$I = \frac{QW}{4\pi R^2} \quad (\text{w/m}^2)$$

La quantité  $Q$  est appelée facteur de directivité, qui est une quantité sans dimension qui dépend généralement de la direction et de la fréquence de l'onde sonore.

#### I.4.4. Le niveau équivalent de la pression acoustique et le niveau de pollution sonore [25-26]:

# Chapitre I : Généralités sur le bruit

Niveau de pression acoustique continu équivalent, (LAeq) Ceci résume l'énergie totale sur une période de temps (T) et donne un niveau équivalent à l'énergie sonore moyenne pendant cette période. Ces niveaux moyens sont généralement basés sur l'intégration des niveaux pondérés ( LAeq. T), est l'équivalent énergétique moyen du signal pondéré A sur une période.

T.

$$LAeq, T = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{T} \sum_0^T \left[ \frac{p_\alpha(t)}{p_0} \right]^2 dt \right\}$$

L'exposition quotidienne au bruit personnel d'un travailleur est exprimée en dB (A) en utilisant cette formule:

$$L_{EP, d} = LA_{eq, T} + 10 \log_{10} \frac{T}{T_0}$$

Sachant que :

T = durée quotidienne de l'exposition d'un travailleur au bruit (heures)

T<sub>0</sub>= 8 heures (durée d'exposition autorisée de 8 h / jour, adoptée par la norme ISO 1999)

P<sub>0</sub>=20  $\mu$  (fréquence sonore minimale d'une oreille normale d'un jeune en bonne santé)

p<sub>α</sub> = Pression sonore instantanée pondérée A en pascals

La pollution sonore a été bien reconnue comme l'une des principales inquiétudes qui peuvent nuire à la santé publique et à la qualité de vie dans les zones urbaines à travers le monde. le bruit communautaire ou le bruit environnemental, comprend les principales sources de trafic routier, ferroviaire et aérien, les industries et les travaux publics. Le niveau de pollution sonore est calculé selon cette formule :

$$L_{NP} = LA_{eq} + (L_{10} - L_{90})$$

D'où :

L<sub>NP</sub> = niveau de pollution sonore

L<sub>10</sub> = niveau sonore dépassé dans 10% du temps

L<sub>90</sub> = niveau sonore dépassé dans 90% du temps

Le temps maximum d'exposition est donné par la formule :

$$t = \frac{480}{2^{\frac{(L-\gamma)}{\mu}}}$$

Tel que :

t = durée maximale de l'exposition (secondes)

L = niveau d'exposition dB (A)

$\mu$  = taux de change

$\gamma$  = Limite d'exposition recommandée (REL)

## I.5. Phénomènes intervenant dans la propagation acoustique en milieu extérieur [27]:

Dans cette partie de ce chapitre, nous présenterons d'abord, dans le cadre de l'acoustique linéaire, les phénomènes intervenant dans la propagation acoustique en milieu extérieur.

La détermination du champ de pression acoustique dépend de plusieurs paramètres liés aux caractéristiques du milieu de propagation (atmosphère), aux conditions aux frontières (sol, diffraction), aux caractéristiques physiques de la source ainsi qu'à la configuration géométrique (position de la source et du récepteur, infrastructure de transport terrestre). Le niveau de pression  $L_p$  est donc calculé en considérant la somme des atténuations dues à la divergence géométrique  $Att_{div}$ , l'absorption de l'atmosphère et des matériaux  $Att_{abs}$ , la diffraction par les obstacles  $Att_{dif}$ , l'effet de sol  $Att_{sol}$  et l'atténuation due aux effets météorologiques  $Att_{météo}$ :

$$L_p = L_w - Att_{div} - Att_{abs} - Att_{dif} - Att_{sol} - Att_{météo}$$

Où  $L_w$  est le niveau de puissance acoustique de la source sonore.

### I.5.1. Divergence géométrique

Le premier phénomène intervenant dans la propagation en milieu extérieur est dû à la dispersion de l'énergie des ondes acoustiques en fonction de la distance de propagation ; on parle alors de la divergence géométrique. Pour une source ponctuelle, l'atténuation par divergence géométrique est de 6 dB par doublement de la distance. Lorsque la source est linéaire, la diminution de niveau de pression est de 3 dB par doublement.

### I.5.2. Absorption atmosphérique

L'absorption atmosphérique est relativement importante en ce qui concerne la propagation acoustique en milieu extérieur, notamment pour de la propagation à longue distance. Elle prend en compte les effets de viscosité des fluides traversés, la diffusion thermique et les échanges d'énergie entre les molécules.

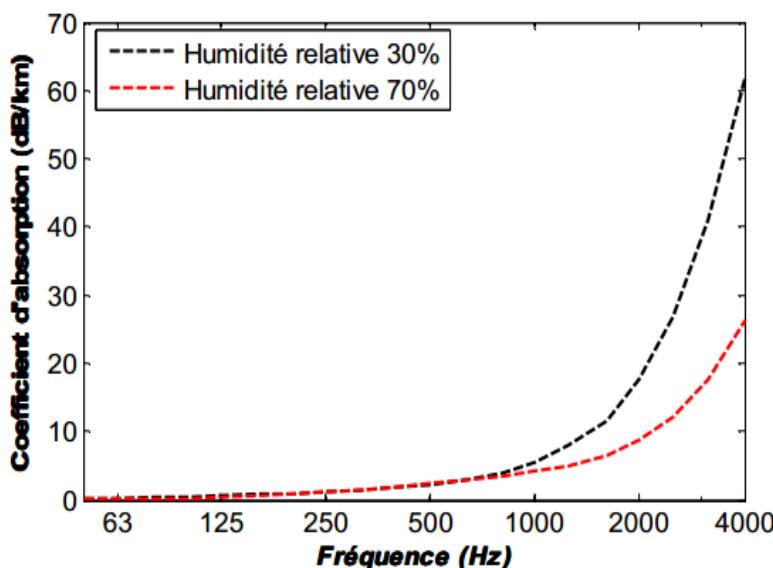
La réduction du niveau de bruit lorsque l'onde traverse l'air dépend de plusieurs facteurs, en particulier : la distance à la source, le spectre de la source considérée, la température de l'air et l'humidité relative. En première approximation, l'absorption atmosphérique  $Att_{atm}$  peut être calculée à partir de l'équation suivante :

$$Att_{atm} = a_l d$$

Où  $d$  est la distance entre la source et le récepteur, en mètre ;  $a_l$  est l'atténuation linéique, en décibel par mètre ( $\text{dB.m}^{-1}$ ) qui dépend de la fréquence, de la température et de l'humidité relative.

Lorsque l'onde sonore traverse l'air, l'atténuation de pression acoustique est proportionnelle à la distance parcourue, au spectre de la source, à un coefficient dépendant de la fréquence, de la température de l'air et l'humidité relative.

L'absorption atmosphérique peut être négligée pour des distances inférieures à une centaine de mètres et pour des fréquences comprises entre une dizaine et quelques centaines de Hz. D'autre part, lorsque les résultats sont donnés sous forme de perte par insertion, l'effet de l'absorption atmosphérique est alors d'autant plus négligeable. La figure ci-dessous présente la variation du coefficient d'absorption du son, pour l'air à 15 °C et pour deux valeurs d'humidité relative, en fonction de la fréquence entiers d'octave.



**Figure I.4 :** Variation de l'absorption atmosphérique en fonction de la fréquence pour deux valeurs d'humidité relative 30 % et 70 % à une température de 15 °C [27]

### I.5.3. La réflexion sur les parois

Lorsqu'une onde acoustique arrive sur une surface, une partie de son énergie acoustique est réfléchie, une partie est transmise et une partie est absorbée. Si l'absorption et la transmission sont faibles, ce qui est généralement le cas pour les surfaces des bâtiments par exemple, la plus grande partie de l'énergie acoustique est réfléchie, et la surface est considérée comme acoustiquement rigide. Au voisinage de la surface, la pression acoustique est donc la somme des contributions de l'onde directe et de la (ou des) onde(s) réfléchie(s).

Typiquement, le niveau sonore à 50 centimètres d'une paroi rigide est 3 dB(A) (décibels pondérés A, c'est-à-dire prenant en compte le filtre fréquentiel représentant l'oreille humaine) plus élevé que s'il n'y avait pas de paroi.

Pour des parois absorbantes, l'énergie acoustique réfléchie est calculée à l'aide du coefficient de réflexion en onde plane  $R_p$  sur une surface impédance défini par

L'équation suivante :

$$R_p(\theta) = \frac{z_n \cos(\theta) - 1}{z_n \cos(\theta) + 1}$$

Où  $Z_n$  est l'impédance normalisée, considérée comme indépendante de l'angle d'incidence noté.

## I.5.4. Absorption par les matériaux :

L'absorption des matériaux est également un paramètre important. Les matériaux situés sur les surfaces qui bornent le domaine de propagation ont pour effet d'absorber une partie de l'énergie incidente. Un matériau absorbant isotrope peut être caractérisé par son impédance acoustique normalisée  $Z_n$  [28-30] et son nombre d'onde complexe  $k_m$  définis par :

$$Z_n = \frac{z_1}{z_0}$$

$$k_m = \frac{k_1}{k_0} = \frac{c_0}{c_1}$$

Où l'indice 0 est associé à l'air et l'indice 1 est associé au matériau.  $C_0$  et  $C_1$  sont les célérités du son exprimées en  $\text{m.s}^{-1}$  dans les milieux 0 et 1 respectivement.

Un modèle simple, souvent utilisé en acoustique environnementale [31]. Bien qu'il ait été établi à partir d'une étude sur l'absorption acoustique des matériaux fibreux, il s'adapte parfaitement au cas des sols extérieurs et du bitume.

Ce modèle semi empirique ne dépend, à une fréquence donnée  $f$ , que d'un seul paramètre  $\sigma$ , la résistivité au flux d'air.  $\sigma$  s'exprime en  $\text{kPa.s.m}^{-2}$ . Selon ce modèle les paramètres  $Z_n$  et  $k_m$  s'écrivent :

$$Z_n = 1 + 9.08\left(\frac{f}{\sigma}\right)^{-0.75} + j11,9\left(\frac{f}{\sigma}\right)^{-0.73}$$

$$k_m = 1 + 1.08\left(\frac{f}{\sigma}\right)^{-0.70} + j10,3\left(\frac{f}{\sigma}\right)^{-0.59}$$

Dans le cas où il s'agit d'une couche de matériau absorbant d'épaisseur  $d_{layer}$  reposant sur un fond réfléchissant, on utilise  $Z_{layer}$  défini par :

$$Z_{layer} = Z_n \coth \left( -j \frac{k_m \omega}{c_0} \right)$$

Où  $\omega$  est la pulsation angulaire.

Ces équations ne sont considérées originellement comme fiables que dans la limite  $10 < f/\sigma < 1000$  avec  $f$  en Hertz et  $\sigma$  en kilo Pascal seconde par mètre carré ( $\text{kPa.s.m}^{-2}$ ).

Il existe d'autres modèles d'impédance parfois utilisés en acoustique environnementale, citons par exemple le modèle de Hamet [32], les modèles d'Attenborough [33-34] ou des modèles hybrides (par exemple le modèle hybride combinant le modèle de Delanyet Bazley et le modèle de Hamet [35]). En kilo Pascal seconde par mètre carré ( $\text{kPa.s.m}^{-2}$ ), mais le modèle de Delany et Bazley est toutefois utilisé et considéré comme acceptable, dans ce travail, dans un domaine plus large.

## I.5.5. L'effet de sol

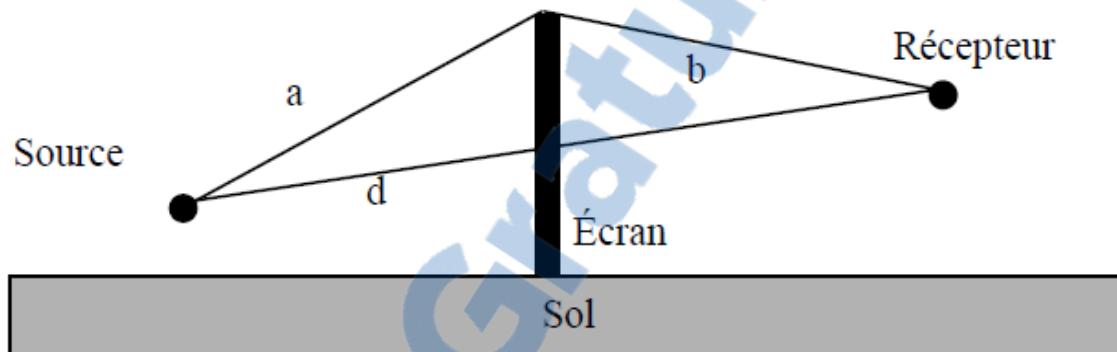
L'atténuation due à l'effet de sol est le résultat de l'interférence entre le son réfléchi par la surface du sol et le son qui se propage directement de la source vers le récepteur. Elle est physiquement liée à la nature plus ou moins absorbante des terrains au-dessus desquels le son se propage. Le phénomène d'effet de sol varie selon la fréquence, la nature du sol ainsi que les positions respectives de la source et du récepteur. En première approximation, on peut considérer que pour une propagation au-dessus d'un sol absorbant, l'atténuation due à l'effet de sol est d'autant plus forte que la distance source-récepteur est élevée et que le rayon direct source-récepteur est proche du sol.

## I.5.6. La diffraction

Les obstacles (comme un écran ou une butte par exemple) influencent de façon prépondérante la propagation de l'onde sonore. Lorsqu'une onde incidente rencontre un obstacle, sa propagation est perturbée. L'obstacle agit alors comme un ensemble de sources secondaires qui ont pour effet de diffuser l'énergie sonore autour de lui avec une directivité non uniforme ; il s'agit du phénomène de diffraction. Généralement, on observe une diminution des niveaux de pression derrière l'obstacle, dans la zone d'ombre géométrique, sans que toutefois le niveau ne soit nul. Le calcul d'un champ sonore diffracté est un problème complexe auquel on ne sait pas toujours donner une solution. Différentes méthodes de calcul existent cependant. Il s'agit soit de trouver une solution de l'équation de propagation du son satisfaisant les conditions aux limites sur l'obstacle comme dans la théorie de Sommerfeld, soit de calculer une intégrale nécessitant la connaissance du champ sonore à la

surface de l'obstacle comme dans la théorie de Kirchhoff. Ces principes ont servi à établir des méthodes analytiques, basées sur les théories de l'optique géométrique, ou encore des méthodes numériques (comme la méthode des éléments finis de frontière).

L'atténuation due à la diffraction est parfaitement connue de façon analytique pour un écran droit réfléchissant (avec pour intermédiaire le calcul de la différence de marche  $\delta$ , voir Figure 2.1) ; par contre, il est généralement délicat de calculer l'atténuation due à la diffraction par un couronnement placé sur un écran avec une méthode analytique simple. C'est pourquoi les méthodes numériques sont indispensables.



**Figure I.5 :** Diffraction par un écran droit vue de côté. Différence de marche :  $\delta = a + b - d$  avec  $a$  la distance source-arrête de l'écran,  $b$  la distance arrête de l'écran-récepteur et  $d$  la distance source-récepteur en champ libre.

## I.5.7. Effets météorologiques [36] :

- **Les facteurs thermiques** : les échanges thermiques entre le sol et les couches basses de l'atmosphère conduisent à une variation de la température de l'air en fonction de la hauteur au-dessus du sol, et donc à une variation de la vitesse du son. Cette dernière augmente avec la température de l'air.
- **Les facteurs aérodynamiques** : dans une situation donnée, la vitesse du son en présence de vent correspond à la somme algébrique de la vitesse du son en l'absence de vent et de la projection du vecteur vent sur la direction de propagation considérée. La vitesse de propagation du son présente un gradient dans le sens vertical (la vitesse du vent est toujours plus élevée en hauteur qu'au niveau du sol).

## I.6. Effets sanitaires et nuisances de bruit

# Chapitre I : Généralités sur le bruit

---

Au cours des dernières décennies, la préoccupation qui concerne les effets sanitaires liés au bruit et le développement et la maturation du système auditif ont fait l'objet de nombreuses études [37]. L'exposition à un bruit continu de 85-90 dB(A), en particulier sur une durée de vie dans des environnements industriels, peut entraîner une perte progressive d'audition, avec une augmentation du seuil de sensibilité auditive [38].

## **I.6.1.Effets non auditifs du bruit sur la santé**

Bruit et troubles du sommeil :

L'exposition aux bruits peuvent engendrer des changements dans les périodes du sommeil et en nombre de réveils. Une perturbation objective du sommeil est susceptible de se produire s'il y a plus de 50 événements de bruit par nuit avec un niveau maximum de 50 dB(A) à l'intérieur ou plus. En fait, il existe une faible association entre les niveaux de bruit extérieur et les perturbations du sommeil [39].

L'exposition au bruit pendant le sommeil peut augmenter la pression sanguine, la fréquence cardiaque et l'amplitude du pouls des doigts ainsi que les mouvements du corps. Il peut y avoir aussi des séquelles pendant le lendemain du sommeil perturbé; la qualité du sommeil perçu, l'humeur et la performance en termes de temps de réaction ont tous diminué suite au sommeil perturbé par le bruit de la circulation routière. Des études sur la réduction du bruit montrent que, en réduisant le niveau de bruit intérieur, la somme du sommeil REM et du sommeil lent peut être augmentée [40].

### **I.6.1.1. Bruit et maladie cardiovasculaire :**

Réponses physiologiques à l'exposition au bruit

L'exposition au bruit provoque un certain nombre de réponses physiologiques à court terme prévisibles méditée par le système nerveux autonome. L'exposition au bruit provoque une activation physiologique, y compris une augmentation de la fréquence cardiaque et de la tension artérielle, une vasoconstriction périphérique et donc une augmentation de la résistance vasculaire périphérique. Il y a une accoutumance rapide pour briser l'exposition au bruit, mais l'habitude du bruit prolongé est moins certaine [40]

### **I.6.1.2.Réponse endocrine au bruit :**

L'exposition au bruit de haute intensité dans l'industrie a été liée dans certaines études aux niveaux élevés de noradrénaline et d'adrénaline [41]. Dans une étude, la sécrétion de catécholamine a diminué lorsque les travailleurs portaient une protection auditive contre le bruit. Certaines études, mais pas toutes, ont montré une augmentation du cortisol par rapport au bruit [42]. Le schéma général des réponses endocrines au bruit est indicatif du bruit en tant

que facteur de stress, des réponses physiologiques passionnantes à court terme, mais il existe des incohérences entre les études.

### I.6.2.Effet traumatique sur le système auditif :

Pour une journée de travail (8 heures), on considère que l'ouïe est en danger à partir de 80 dB(A). Si le niveau de bruit est supérieur, l'exposition doit être de plus courte durée. Si le niveau est extrêmement élevé (supérieur à 135 dB(A)), toute exposition, même de très courte durée, est dangereuse. Les effets sur la santé peuvent être multiples.

Ils découlent d'une altération des cellules sensitives ciliées de la cochlée. On distingue les effets traumatiques à court et à long terme [43].

- ✓ Effets traumatiques à court terme (siffllement /bourdonnement (acouphènes), dégradation transitoires de la perception des aigus et besoin d'une longue période de récupération
- ✓ Effets traumatiques à long terme (**perte d'audition** (la surdité de perception)).

#### I.6.2.1. Fatigue auditive:

A la suite d'une exposition à un bruit intense, on peut souffrir temporairement de siflements d'oreilles ou de bourdonnements (acouphènes) ainsi que d'une baisse de l'acuité auditive. Cette fatigue auditive disparaît avec le temps si aucune nouvelle exposition au bruit ne survient. Le bruit est cause de fatigue auditive même sous les seuils d'action de la législation [44].

#### I.6.2.2. Surdité

L'exposition prolongée à des niveaux de bruits intenses détruit peu à peu les cellules ciliées de l'oreille interne. Elle conduit progressivement à une surdité irréversible. L'exposition à certains solvants, dits **ototoxiques**, peut amplifier ce phénomène. Aujourd'hui, on ne sait pas soigner la surdité. L'appareillage par des prothèses électroniques se contente d'amplifier l'acuité résiduelle, il ne restitue pas la fonction auditive dans son ensemble. Son efficacité reste donc limitée [44].

# Chapitre II

Le bruit industriel :

Sources,

caractéristiques et

propagation

### Chapitre II : le bruit industriel : sources, caractéristiques et propagation

#### Introduction :

La majorité des machines de procédés industriels génèrent du bruit en tant que sous-produit indésirable de leur production. Des exemples typiques de sources de bruit et de vibration dans les environnements industriels comprennent ; les processus de combustion associés aux fours, les bruits d'impact associés aux processus de poinçonnage, les moteurs, les générateurs et autres dispositifs électromécaniques, les arbres rotatifs non équilibrés, les engrenages, les flux de vapeur ou de gaz dans les systèmes de tuyauterie, les pompes, les compresseurs, les machines à laver, les panneaux vibrants, etc.

Les sources de bruit sont classées en deux grandes parties : industriel et non industriel [1] , dans ce chapitre on s'intéresse aux bruits provenant des sources industriels. Dans ce contexte, le bruit dans les zones industrielles représente un facteur de risque qui augmente les risques sur le système auditif des travailleurs dans ces zones [2], c'est pour cette raison que les nuisances sonores dues aux bruits industriels dans l'environnement constituent un problème qui touche non seulement l'ensemble des pays industrialisés, mais également les pays en voie de développement [3] comme l'Algérie.

**II.1. Définition de bruit industriel :** le bruit industriel est défini comme n'importe quel bruit émis par les unités industriel (usine de métal, automobile, gazière et pétrolière) [4].

Comme l'a défini la Directive européenne 2002/49/CE [5], le terme « *bruit industriel* » est associé à la source sonore responsable de son émission. Le bruit industriel est donc le bruit « *provenant de sites d'activité industrielle* ». Il comprend donc les bruits d'installations industrielles tels que les bruits de ventilation, de diverses machines, et de transformateurs par exemple.

Les sources de bruit industrielles étant diverses et variées, il en résulte qu'il existe une grande variété de bruits industriels présentant des caractéristiques spectrales diverses et variées, tels que des bruits basses fréquences, des bruits à caractère tonal ou des bruits impulsionnels. Le bruit émis par une installation industrielle est généralement de nature complexe.

Un site industriel est un système complexe car il intègre différents facteurs à prendre en compte [6], notamment :

- Il existe une grande diversité de sources de bruits industriels.

## Chapitre II : le bruit industriel : sources, caractéristiques et propagation

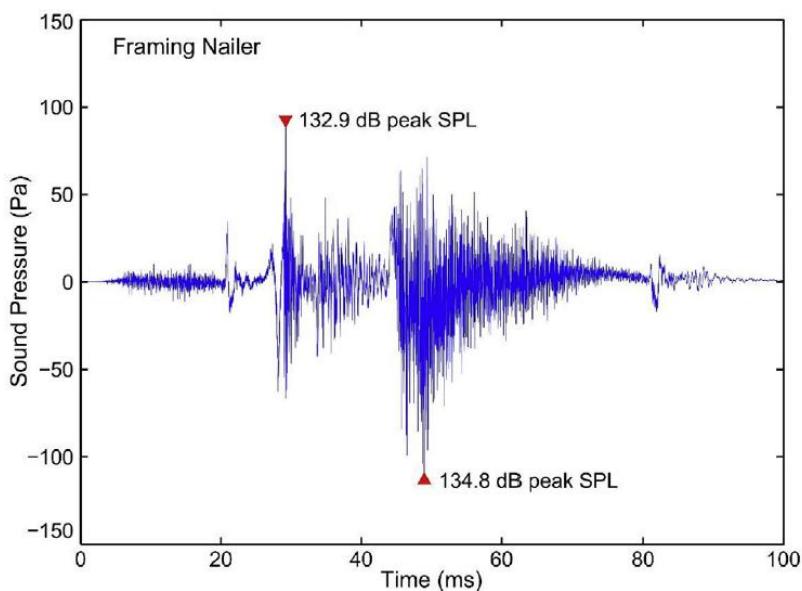
---

- Plusieurs sources de bruit sont présentes sur un même site industriel et se combinent en induisant des bruits complexes émis dans l'environnement.
- Certaines sources sont permanentes (fonctionnant 24h/24) et émergent fortement la nuit à cause d'une diminution des autres activités.
- Des changements d'exposition au bruit peuvent apparaître suivant le déclenchement de certaines sources et/ou l'extinction d'autres sources.
- D'autres bruits d'origine industrielle peuvent également se distinguer par des caractères impulsionnels.
  - Les bruits à tonalité marquée sont souvent présents sur un site industriel.
  - Des modifications spectrales dues à la propagation du bruit entre la source et l'habitation sont à considérer, intégrant les effets météorologiques.

### II.2. Types de bruit industriel : il existe plusieurs types de bruit industriel tel que :

- Bruit continue :** Le bruit peut être continu lorsque la source vibre constamment [ISO 3483], il est produit par des machines qui fonctionnent sans interruption dans le même mode, le bruit, par exemple, souffleurs, pompes et équipements de traitement. La mesure de quelques minutes avec un équipement portatif suffit pour déterminer le niveau de bruit.
- Bruit impulsive :** Ce type de bruit est généré lorsque la source est mise en vibration seulement pendant une courte période. Le bruit d'impulsion de courte durée est généralement généré par une libération de pression (impulsion) ou une collision d'objets solides (impact)[7]. L'Institut National Américain de Sécurité et de Santé au Travail (NIOSH) définit le bruit impulsif comme un bruit avec une forte augmentation et une désintégration rapide qui dure jusqu'à 1s au maximum. La plupart des chercheurs considèrent que le bruit est impulsif s'il s'agit d'un seul pic de pression généralement dure en millisecondes en microsecondes sans tenir compte de l'intervalle intra-impulsionnel. L'Administration Américaine de la Sécurité et de la Santé au Travail (OSHA) considère les bruits impulsifs comme continus si l'intervalle intra-impulsions est inférieur à 1 s. L'OSHA exige également que tous les bruits continus et impulsifs entre 80 et 130 dB soient incorporés

dans la dose quotidienne du travailleur.



**Figure II.1:** La pression acoustique d'un bruit impulsif [7]

Certaines sources industrielles présentent un caractère impulsif. Citons par exemple les soupapes effectuant des lâchers de vapeur, les bruits d'explosion, les presses hydrauliques, etc.

**C. Bruit tonale :** D'après la norme [ISO 1996-1, 2003], un bruit à caractère tonal est un « *bruit caractérisé par une composante à fréquence unique ou des composantes à bande étroite qui émergent de façon audible du bruit ambiant* ». De nombreuses machines industrielles émettent un bruit à caractère tonal, en particulier les tuyauteries et les machines basées sur un mouvement rotatif. Le bruit tonal émis par les grandes installations industrielles telles que les boîtes de vitesses ou les transformateurs de puissance électrique pose un grave problème environnemental à la communauté environnante.

**II.3. Sources de bruit industriel :** dans un site industriel les sources de bruit sont très variés. Le bruit généré dépend du plusieurs paramètre :

- a) type de source de bruit :
- b) la distance entre la source et le récepteur
- c) la nature de l'environnement de travail.

- d) Pour une machine donnée, les niveaux de pression acoustique dépendent de la partie de l'énergie mécanique ou électrique totale qui se transforme en énergie acoustique.

**II.3.1. Classification des sources de bruit industriel :** la norme ISO 3483 a proposé une classification les sources de bruit industriel selon la nature de la source qui génère le bruit :

- i. **Les sources de bruit d'impact** : ce sont des sources qui génèrent en générale des bruits de caractère impulsif et aussi de caractère continue. Les sources communes de ce type de bruit sont le rivetage, l'écaillage, le pressage, la coupe, le tissage, etc.
- ii. **Les sources de bruit de frottement (Friction)** : La plupart des bruits causés par la friction sont produits dans des procédés tels que le découpage, le broyage et le ponçage.
- iii. **Les sources de bruit générer par réciprocité** : Lorsqu'une machine vibre ou se déplace comme dans le cas d'une vibration dans une fonderie ou un déséquilibre dans les machines tournantes. La surface mobile émettra du bruit directement.
- iv. **Turbulence de l'air** : Le bruit peut être généré par une variation rapide de la pression de l'air provoquée par la turbulence de l'air, de la vapeur ou des gaz à grande vitesse. Des exemples communs sont le bruit d'échappement des outils pneumatiques et des moteurs à réaction. Le bruit est intense, en particulier à des fréquences élevées. L'intensité augmente rapidement avec la vitesse du flux d'air.

### II.3.2. Les champs sonores dans un site industriel :

Dans les lieux de travail le champ sonore est généralement complexe, en raison de la participation de nombreuses voies de propagation de bruit :

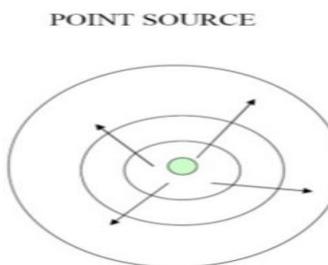
1. la propagation par l'air (bruit aérien),
2. la propagation à travers des solides (bruit structure-porté),
3. la diffraction aux limites de la machine, la réflexion du : sol, mur, plafond et de la surface de la machine,
4. l'absorption sur les surfaces, etc.

Par conséquent, toute mesure de contrôle du bruit doit être effectuée après une étude de classement des sources, en utilisant des techniques d'identification et de quantification. Le mécanisme de base de la génération de bruit peut être dû au bruit mécanique, au bruit de fluide et / ou au bruit électromagnétique [8].

### II.3.3. Les différents types de sources de bruit :

La plupart des sons ou des bruits que nous avons rencontrés dans notre vie quotidienne proviennent de sources qui peuvent être qualifiées de sources ponctuelles ou en ligne.

(1). **Source ponctuel :** Une source ponctuelle peut être considérée comme une source dont les dimensions sont beaucoup plus petites que la distance par laquelle la propagation se produit [9], il s'agit d'une source sonore qui produit une diffusion sphérique du son dans toutes les directions [10], Pour la source ponctuelle, le niveau de bruit diminue de 6 dB par doublement de distance.



**Figure II.2:** exemple d'une source ponctuel

La différence de niveau de pression sonore entre deux points pour une source ponctuelle est calculée selon la formule suivante :

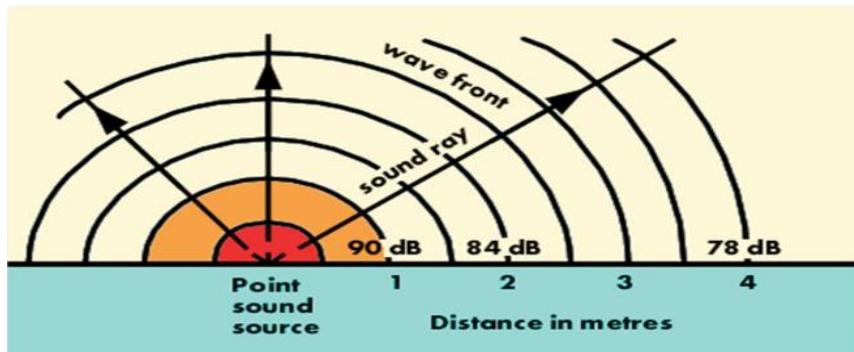
$$L_{p2} = L_{p1} - 20 \log\left(\frac{r_2}{r_1}\right) dB(A)$$

Tel que :  $L_{p1}$  = c'est le niveau sonore du point 1

1.  $L_{p2}$  = le niveau sonore de point 2
2.  $r_1$  = c'est la distance entre la source sonore et le point 1
3.  $r_2$  = c'est la distance entre la source sonore et le point 2

**Par exemple :** si on considère une source sonore ponctuel émis un niveau de pression sonore de 90 dB(A) à 1 m, pour une distance de 2 m le niveau de pression sonore sera diminué à 84

dB(A), pour un distance de 4 m le niveau de pression sonore sera 78 dB(A).



**Figure II.3 :** propagation de bruit émis par une source ponctuel [11]

- (2). **Source linéaire :** Est une source qui possède un côté de dimension supérieure aux autres coté, ce qui est significatif par rapport à la distance de propagation. Quand la distance de propagation à la source la source est augmentée, la source linéaire évoluera progressivement en une source ponctuelle. La source linéaire produit une diffusion cylindrique du son, tel que le flux de véhicules à moteur sur une route occupée à distance, il peut être considéré comme une **source de ligne**. Pour une source de ligne, le niveau de bruit diminue de 3 dB par doublement de distance [12].
- (3). **Source surfacique :** Les sources de surfacique sont caractériser principalement par des grandes dimensions par rapport à la distance de propagation ; le toit ou la façade d'une usine est un bon exemple d'une source surfacique [13].

### II.4. Les machines bruyantes :

#### II.4.1. Les machines électriques :

Une machine électrique convertit l'énergie mécanique en énergie électrique, ou vice versa. Sur le marché il existe plusieurs types des machines électrique, mais les machines électriques le plus bruyante ce sont les machines tournantes (électrique) ou l'émission totale de la puissance sonore dans ces machines peut être considérée comme une combinaison de trois sources de bruit non corrélées agissant ensemble [14]. Celles-ci sont des sources de bruit d'origine : magnétique, refroidissement, mécaniques ou de rotation.

Les nuisances sonores engendrées par une machine électrique sont fortement dépendantes de la technologie de machine employée, des conditions de fonctionnement, et du voisinage de la machine. De manière générale, le bruit rayonné par une machine électrique croit avec sa fréquence de rotation [15].

La communauté scientifique du génie électrique classe les bruits émis par les machines électriques en trois catégories, suivant le phénomène qui leur a donné naissance [16-17]:

- Les vibrations d'origine structurelle (générées par les roulements, les balourds, les défauts géométriques, etc.) engendrent un bruit mécanique.
- Les phénomènes magnétiques qui peuvent amener un bruit de qualité magnétique et l'écoulement de l'air dans la machine peuvent engendrer un bruit aérodynamique.

Le bruit dans les machines électriques peut être mécanique ou électrique causé par des facteurs internes ou externes.

### II.4.1.1. Bruit d'origine mécanique :

Les bruits d'origine mécanique dans les machines électriques sont principalement causés par :

(a) La présence d'un balourd sur le rotor

(b) Un corps non lisse (rotor) tourne dans une cavité qui a des obstacles et des discontinuités

(c) L'arbre et les paliers interagissent.

(d) Les contacts glissants et le guidage en rotation par le biais de paliers lisses

(e) Un mauvais alignement des roulements avec le rotor ou le stator, un montage hyperstatique, une dilatation thermique de la machine mal dimensionnée ou une pollution du lubrifiant nuisent non seulement à la durée de vie du roulement mais aussi à son comportement vibratoire et acoustique.

(f) Certain type de roulements sont cependant générateurs de vibrations qui peuvent ensuite être rayonnées par les éléments de la machine. Ces vibrations sont répertoriées en deux catégories : les variations de raideur du roulement et la présence de défauts [18].

(g) Les vibrations dues à des causes internes incluent des pièces rotatives non équilibrées, un affaiblissement des coins du noyau magnétique, une faiblesse dans le fonctionnement du stator et une usure avancée des paliers. Les composants de roulement (anneaux, cage, corps roulants) dans l'opération réelle génèrent des vibrations et du bruit

(h) L'usure au fil du temps de divers éléments, soit à la suite d'un choc transmis par les éléments entraînés.

### II.4.1.2. Bruit d'origine magnétique :

Le bruit d'origine magnétique est défini comme un bruit audible provenant de vibrations dues à des forces magnétiques, et par conséquent s'arrête dès que la machine est libre de courant. Cependant, le bruit des paliers provient de la rotation de l'arbre, qui vient de l'action du couple électromagnétique: le bruit mécanique pourrait donc être considéré comme un type de bruit magnétique [19], ce dernier et dépend de plusieurs paramètres :

- a) La charge de l'arbre
- b) voltage, courant et fréquence
- c) les paramètres de bobinage
- d) la géométrie de la rainure

Les variations temporelles et spatiales de la distribution de la force magnétique dans l'entrefer sont la principale source de bruit magnétique qui est engendré à cause :

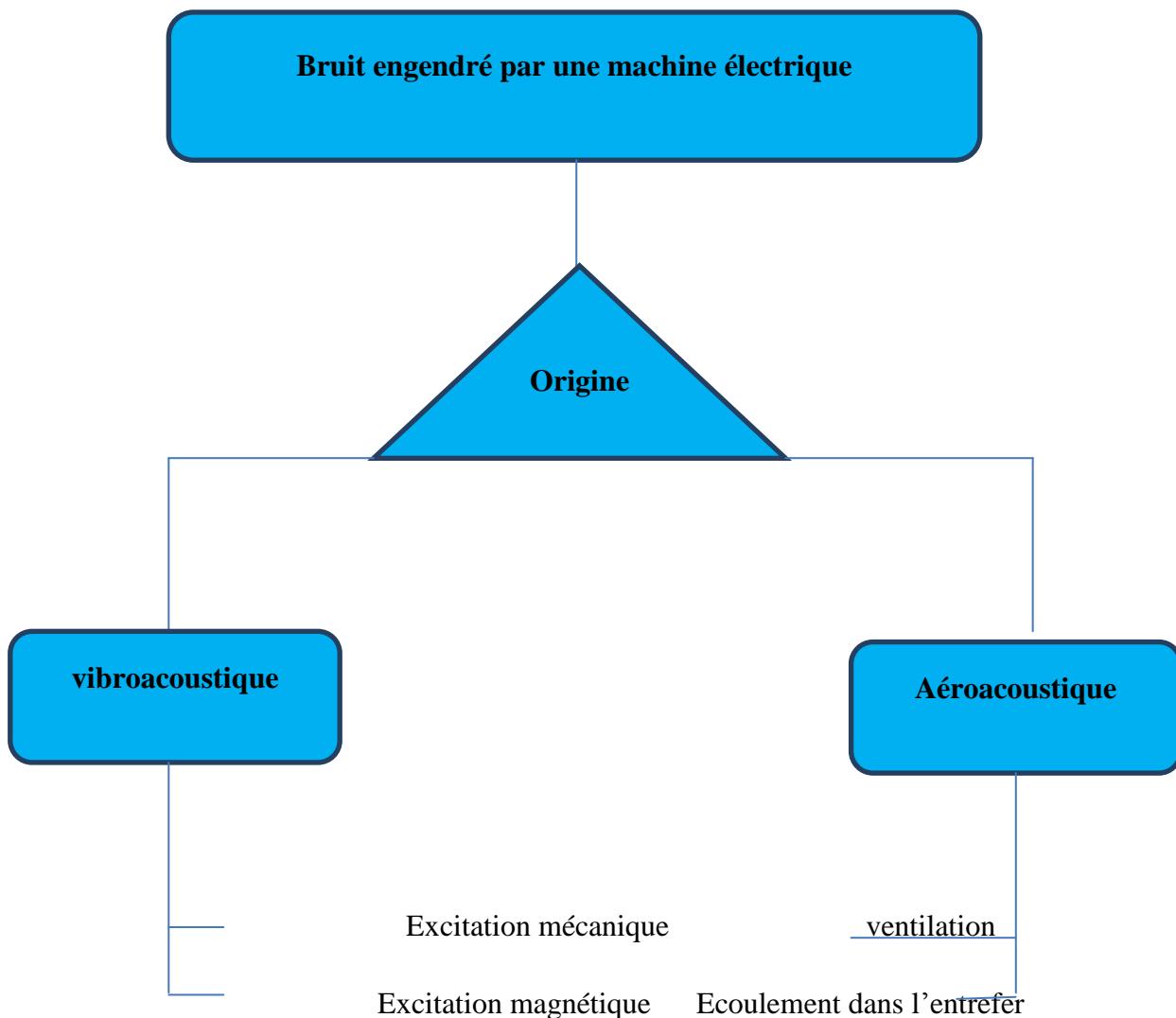
- ✓ Des variations d'induction magnétique fluctuante ont pour effet de soumettre le rotor et le stator à des efforts magnétiques et magnétostrictifs variables qui amènent, du fait de l'élasticité des éléments de la machine, des déplacements.
- ✓ Des contraintes magnétiques issues du tenseur de Maxwell.
- ✓ De vibration de stator générée par une excitation due au contrainte appliquée sur le stator, le stator se compose de plusieurs matériaux (bobinage en cuivre, aimants, fer) , il est constitué d'un ensemble de tôles empilées n'ayant pas le même comportement mécanique qu'un matériau plein[20].
- ✓ Des vibrations électromagnétiques excitées sont également une cause importante du bruit audible rayonné par la plupart des machines électriques. D'autres causes de bruit sont une surcharge (dépassement de courant pendant une durée prolongée), de nombreuses machines fonctionnant en même temps signifient plus de bruit, les fluctuations de la tension fournie et l'augmentation soudaine de la tension (surtension) et la vitesse de rotation variable des générateurs [21].

### II.4.1. 3 Bruit d'origine de refroidissement :

La majorité des équipements électrique possèdent un système de refroidissement créé par un ventilateur de refroidissement qui représente une source de bruit, ce type de bruit et dépend par :

- type de ventilateur : axial, radial ou flux mixé
- la vitesse de rotation et le diamètre du ventilateur

- Vitesse du flux d'air
- Méthode de refroidissement : fermé, ouvert, etc.



**Figure II.4 :** Les principales origines de bruit engendré par une machine électrique

Le niveau de puissance sonore total  $L_{W_{tot}}$  d'une machine électrique en décibels peut être exprimé comme [22] :

$$L_W = 10 \log_{10} \left( \frac{p_{magn} + p_{refroi} + p_{rot}}{p_{ref}} \right)$$

Où :

$$P_{ref} = 1 \text{ pW}$$

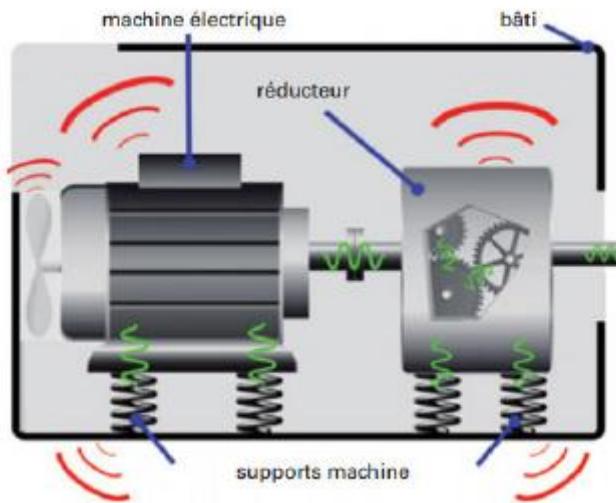
### II.4.1.4. Bruits d'origine électromagnétique

Le bruit audible d'origine électromagnétique, à ne pas confondre avec le bruit électromagnétique du domaine de la CEM (Compatibilité Electro Magnétique), peut être

défini comme le rayonnement acoustique provenant de la présence de champs électromagnétiques (champ électrique ou champ magnétique). Ces champs électromagnétiques sont soit à l'origine d'efforts dits électromagnétiques, qui eux-mêmes peuvent provoquer des vibrations dans le domaine audible, soit directement à l'origine de déformations [23]. L'identification de la source de bruit électrique est parfois difficile, plusieurs composants de la chaîne électrique ne pouvant fonctionner indépendamment (ex : onduleur et moteur de traction). D'autre part, l'origine électromagnétique du bruit ne peut pas toujours être confirmée par une simple coupure d'alimentation, certains systèmes étant le siège de champs magnétiques permanents, comme par exemple les moteurs de traction à aimants. Une analyse détaillée des harmoniques en bande fine associée à des connaissances électrotechniques permettent le plus souvent d'identifier l'origine du bruit. Suivant le phénomène, les vibrations sont des fonctions linéaires ou quadratique du courant ou de la tension.

Sous l'effet d'efforts électromagnétiques, il y a certain vibration qui sont créées et donc émettre du bruit. Suivant le composant considéré et les matériaux en jeu, les efforts suivants peuvent intervenir [24] :

- forces de Maxwell électrostatiques (ex : entre les armatures d'un condensateur)
- forces magnétostrictives (ex : dans le noyau magnétique d'une inductance)
- forces électrostrictives (ex : dans un élastomère diélectrique)
- forces de Laplace (ex : câble noyé dans un champ électromagnétique externe)
- forces de Maxwell magnétostatiques, ou forces réluctantes (ex : stator d'un moteur de traction) forces d'origine piézoélectrique



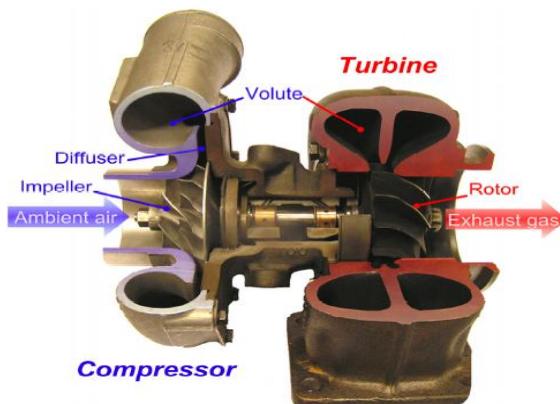
**Figure II.5 :** Voies de transferts vibratoires (vert) et acoustiques (rouge) dans une machine électrique [24]

### II.4.2. Les turbocompresseurs :

Les turbines sont des machines qui transforment l'énergie d'un fluide en énergie mécanique de rotation disponible sur un arbre permettant d'entraîner une autre machine exemple : compresseur ou alternateur pour la production d'électricité, etc. [25]

Un turbocompresseur est constitué d'un compresseur et d'une turbine, reliés par un arbre commun. Cet arbre de liaison est supportée par des paliers lisses (hydrodynamiques). La turbine est entraînée par les gaz d'échappement et fournit l'énergie d'entraînement du compresseur. [25].

Les principales parties d'un turbocompresseur à échappement sont représentées sur la figure 2, où le compresseur se compose du boîtier du compresseur (volute) pour collecter de l'air comprimé et le diriger vers le moteur en utilisant la roue du compresseur. La roue de la turbine permet de convertir l'énergie d'échappement en énergie de l'arbre pour conduire le compresseur et est entourée par le boîtier de la turbine qui collecte les gaz d'échappement et les dirige vers la turbine [26-27].



**Figure II.6 :** Turbocompresseur ; compresseur centrifuge (gauche) et une turbine radiale (à droite).

### II.4.3. Compresseur à gaz :

Les compresseurs à gaz dans les systèmes industriels utilisent l'énergie mécanique pour comprimer un fluide. Il est évident qu'une petite fraction de cette énergie est convertie en énergie acoustique, qui se propageant dans l'ensemble du système et se manifeste par le bruit, localement et au voisinage des stations de compression [28]. Au cours de la réalisation de notre étude nous avons rencontré différents types des compresseurs à gaz tel que les moto-compresseur et les turbo compresseur. Nous avons aussi réalisé une étude comparative entre les nuisances sonores générées par ces deux types de compresseurs qui sont trouvée dans le complexe GP1Z.



**Figure II.7:** Turbo-compressor du complexe GP1/Z



**Figure II.8 : Moto-compresseur du complex GP1/Z**

Dans un compresseur à gaz les bruits sont principalement générés à cause de [29-34]:

– le processus de compression et les événements qui lui sont associés constituent la source extrême du bruit.

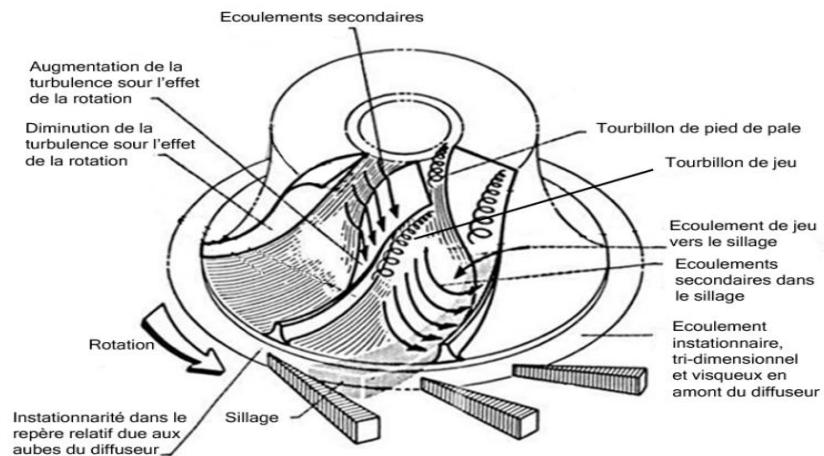
– la pulsation de pression et des spectres de fréquences produits par les compresseurs. On présente les caractéristiques des installations préfabriquées en deux blocs et des appareils en toiture pour montrer l'influence du compresseur sur le bruit produit par ces installations.

– Lorsqu'une pale de rotor passe par une aube de stator dans un compresseur, le gaz reçoit une impulsion, par conséquence, un bruit est généré à partir de cette action impulsive.

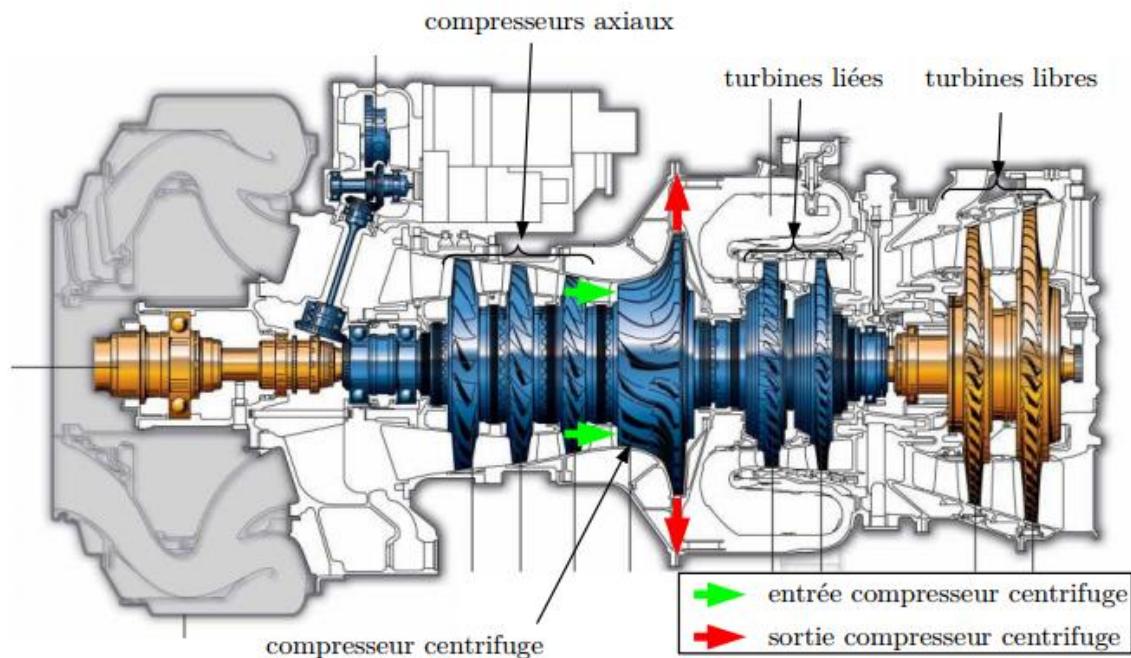
– Le moteur électrique qui fait tourner le compresseur, il tourne avec une vitesse instable pendant une rotation de manivelle et il y a des forces variables du stator agissant sur la structure du compresseur. Et par conséquent un bruit est engendré.

– Le bruit peut également être généré aussi par l'interaction du rotor et des palettes ou d'autres composants qui se déplacent dans le cylindre par l'action des pressions dynamiques agissant sur le rotor.

– Bruit aérodynamique créé par les pales de ventilateur non uniforme. Les caractéristiques du rotor peuvent également être un facteur dans la génération de bruit.



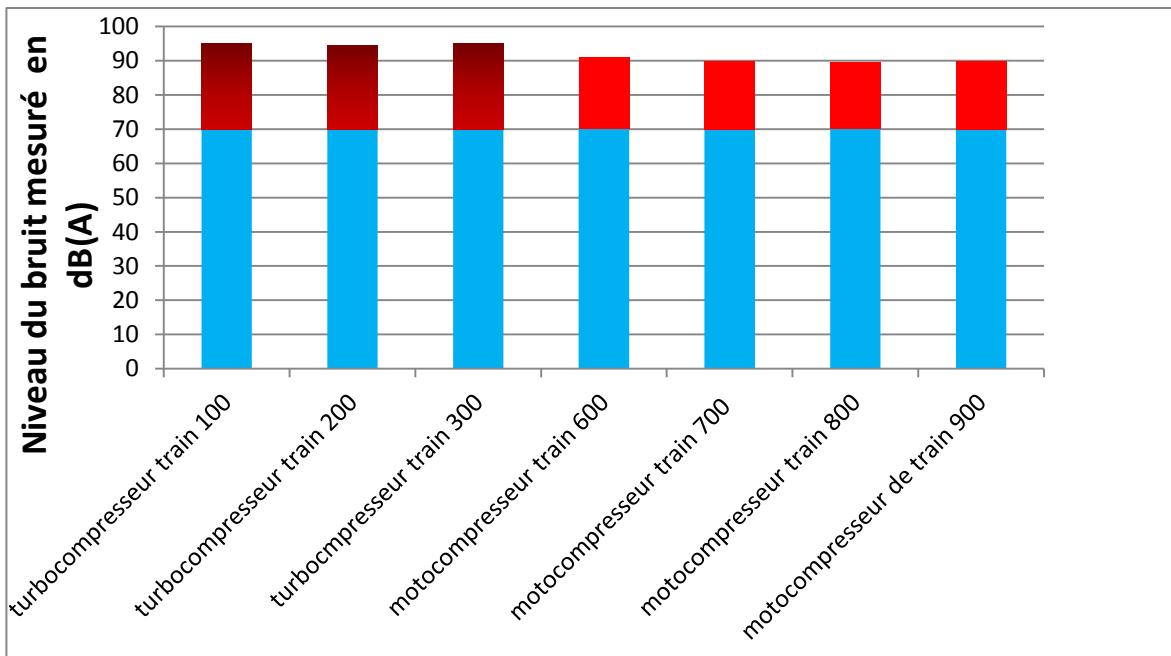
**Figure II.9:** Représentation schématique de l'écoulement dans un compresseur centrifuge,



**Figure II.10 :** représentation des écoulements en compresseur centrifuge avec diffuseur aspiré

### II.4.3.1. Une comparaison entre le bruit générer par les turbocompresseurs et les moto-compresseurs

Le tableau et l'histogramme ci-dessous représentent une comparaison entre le bruit générer par les turbocompresseurs et les moto-compresseurs.



**Figure II.11 :** Histogramme de comparaison entre le bruit générer par les turbocompresseurs et les moto-compresseurs

#### II.4.4. Bruit des pompes :

De nos jours, notre besoin quotidien à des pompes électriques est devenu de plus en plus important. Néanmoins, quel que soit le type de pompe choisi, il y aura toujours un certain niveau de bruit qui sera engendré par ces pompes. Les origines de bruit des pompes sont divisées en deux principaux groupes: hydraulique et mécanique. Le bruit dans les pompes peut être divisé en deux parties: le bruit transmis par un fluide et le bruit de structure.

Le bruit transmis par un fluide dérive de la pulsation d'écoulement qui se propage ensuite par des systèmes de conduite à d'autres parties des systèmes d'alimentation en fluide. La pulsation d'écoulement est créée en raison de la rigidité finie de l'huile et du nombre limité d'éléments de pompage. Le bruit généré par la structure provient directement des pulsations dans la machine. Les forces de pulsation sont principalement créées par les différences de pression entre les ports haute et basse pression[35]. L'apparition de niveaux de bruit importants indique qu'il existe une énergie suffisante pour être une cause potentielle d'une panne mécanique de la pompe et de la tuyauterie. Le bruit dans les pompes centrifuges et les systèmes peut être généré par le mouvement mécanique des composants de la pompe et par le mouvement du liquide des pompes et du système.

Il y a aussi d'autres facteurs essentiels dans le processus de génération de bruit au niveau des pompes [36]:

- (1). Problème de cavitation,
- (2). Les fluctuations de la pression des fluides,
- (3). L'impact des surfaces solides et le déséquilibre dynamique du rotor
- (4). Problème mécanique dans la pompe, comme le déséquilibre du rotor
- (5). Vibration<sup>1</sup> de la structure. Dans chaque pompe centrifuge, des forces dynamiques d'origine mécanique et hydraulique sont présentes et certaines vibrations et bruits sont donc inévitables. Généralement, les niveaux de vibrations supérieurs (amplitudes) indiquent des défauts de développement en équipement mécanique.
- (6). En raison de la réponse des forces d'excitation, telles que le déséquilibre résiduel du rotor, le flux de liquide turbulent, les pulsations de pression, la cavitation et / ou l'usure de la pompe
- (7). Pulsations d'écoulement aux plaques de soupape ou équivalentes qui sont responsable aux bruit de la structure [35].
- (8). Le rotor déséquilibré dans les pompes centrifuge produit des vibrations plus élevées, directement proportionnelles à la vitesse de rotation de la machine. Il est prouvé que l'élimination de la plus petite quantité de déséquilibre a un effet profond sur la réduction des vibrations. Et par conséquence de bruit. [37]
- (9). Les frottements de roue ou d'étanchéité, les roulements défectueux ou usés, les parois des tuyaux vibrants et les rotors non équilibrés sont des exemples de sources mécaniques de bruit dans les systèmes de pompage.
- (10). Une mauvaise installation des accouplements dans les pompes centrifuges provoque souvent du bruit à deux fois la vitesse de pompage (désalignement).

### II.4.5. Bruits des ventilateurs :

Il existe plusieurs types de ventilateurs utilisés dans les applications industrielles et résidentielles. Les ventilateurs peuvent être classés en fonction de la nature du flux à travers le ventilateur et de la géométrie de lame [38].

#### II.4.5.1.Types de ventilateur :

Les ventilateurs peuvent être divisés en deux grands groupes : le ventilateur axial et le

---

<sup>1</sup>*Les vibrations sont essentiellement le déplacement d'une masse d'avant en arrière depuis sa position statique.*

ventilateur centrifuge. Deux paramètres importants qui affectent directement l'émission de bruit du ventilateur axial sont la conception de la pale et les conditions de l'écoulement de fluide [39-42]. Le bruit associé aux ventilateurs axiaux se compose de tons discrets à la fréquence de passage de pale fondamentale et harmoniques à ordre entier; et Un bruit aérodynamique aléatoire large dû à l'évacuation des vortex des lames [43].

(1). L'interaction des réveils du ventilateur avec les aubes de guidage de sortie en aval (OGV) représente la source principale du bruit du ventilateur [44].

(2). Influence de l'inclinaison de la pale sur l'émission de bruit des ventilateurs axiaux : l'inclinaison de la pale est une mesure efficace pour réduire le bruit tonal des ventilateurs axiaux. À l'instar des conditions d'écoulement non uniformes, les ventilateurs axiaux présentent un bruit tonal à la fréquence de passage de lame (BPF) et ses harmoniques supérieures. Ceci est dû aux variations de la vitesse d'entrée relative à la lame, ce qui entraîne des changements périodiques dans l'angle d'attaque et forces de lame fluctuantes (charge périodique). Les pales de ventilateur inclinées réduisent ce mécanisme source lorsque chaque section de la lame de ventilateur interagit [40-42].

(3). L'interaction du rotor-stator générée par les fluctuations de la pression [44]

(4). L'interaction de petites perturbations d'écoulement instables - principalement vertical et acoustique - avec le ventilateur (rotor) et les lignes d'ailettes de guidage stationnaires (stator) dans l'étage.

(5). Le bruit d'un ventilateur provient en tout premier lieu des phénomènes aérodynamiques instationnaires associés à l'interaction des pales et des parties fixes avec l'écoulement et des fluctuations de pression de la paroi inséparables qui correspondent aux sources acoustiques tonales [46].

(6). Le bruit de paliers. Ceux-ci peuvent être lisses ou à roulements. Les paliers lisses sont généralement assez silencieux à condition que leur lubrification soit correcte. Les paliers à roulement sont susceptibles d'émettre du bruit si les billes ou les aiguilles sont usées ;

(7). Le bruit de l'accouplement entre le moteur et la roue. Celui-ci n'est généralement pas une source de bruit importante. L'accouplement joue cependant un rôle majeur dans la transmission des vibrations entre le moteur et la roue. Pour réduire cette transmission solidaire, on utilise généralement un accouplement souple ;

(8). le bruit de la courroie de transmission dans le cas d'un entraînement indirect. Là encore, le bruit est plutôt d'origine solidaire, avec un risque de rayonnement des

structures métalliques entourant l'ensemble poulies-courroie lorsque des vibrations sont générées par un défaut sur l'un de ces éléments. Un carter de protection de courroie grillagé rayonne moins de bruit qu'un carter en tôle pleine.

Pour déterminer le bruit de la tuile généré par un ventilateur axial ou centrifuge, l'expression suivante peut être appliquée [1]

$$L_w = 10 \log(F_r) + 20 \log(P_s) + K_f$$

$F_r$ =Débit volumique,  $\text{ft}^2 / \text{min}$

$P_s$  = pression statique, dans  $\text{H}_2\text{O}$

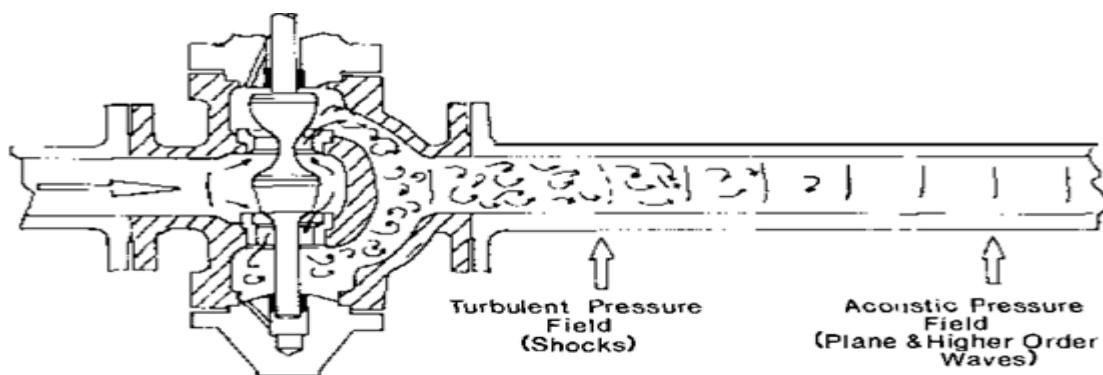
$K_f$  = niveau de puissance acoustique constant, qui dépend du type de ventilateur et du nombre de pales [47].

### II.4.6. Bruits des tuyauteries (pipes) :

Le bruit du système de tuyauterie peut être produit de plusieurs façons, dont certains sont la cavitation, coup de bâlier, les vibrations mécaniques de la garniture de soupape et le bruit du fluide lui-même [48].

Lorsque un fluide traverse et circule dans une conduit, il crée une turbulence qui est l'origine de ce bruit, cette turbulence est générée en raison de :

- La transmission d'un large débit de volume de gaz ou de liquide ou bien lorsque les deux phases sont mixées.
- La cavitation engendré dans les soupape .
- La turbulence générée dans les régulateur (régulation et control) [49]



**Figure II.12:** Représentation de propagation de bruit générée par le système vanne-tuyauterie

# Chapitre III

## Les règlementations de bruit et les normes de mesures

### III. Réglementations de bruit au niveau international

#### Introduction :

Face à un monde de plus en plus industrialisé, générateur de nuisances et de pollutions multiples, le bruit est ressenti comme une nuisance majeure par l'individu en tant que citoyen, travailleur ou consommateur [1]. Les législations et les critères liés à limitation des niveaux d'exposition de bruit ont été développés en 1965 par l'Académie Américaine des sciences et le Conseil de la recherche, Comité sur l'ouïe, la bioacoustique et la biomécanique ou CHABA [2], dans ce chapitre on va présenter les différents critères et réglementation qui traite le bruit d'une manière directe au indirecte au niveau algérienne et au niveau mondiale. Comme l'Algérie est considérée comme un pays en voie de développement, nous avons comparé la réglementation algérienne relative à la limitation de bruit avec celle promulguée par deux autres pays en voie de développement. Nous avons donc pris l'exemple de la Turquie et Taiwan.

Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous allons discuter aussi les différentes normes de mesure de bruit industriel qui sont principalement établies pour les études acoustiques de bruit industriel. L'acoustique se définit comme « *la science qui étudie les propriétés des vibrations des particules d'un milieu susceptibles d'engendrer des sons, infrasons et ultrasons, de les propager et de les faire percevoir* » [3]. Appliquée à l'étude du bruit industriel, l'acoustique rassemble les phénomènes physiques se déroulant depuis l'émission du bruit par les différentes sources sonores jusqu'à la réception de celui-ci en des points donnés en passant par la propagation du son.

#### III.1. Les réglementations de bruit au niveau international

##### III.1.1. Au niveau américain :

Le règlement de l'Occupational Safety and Health administration (OSHA), fixait les doses de bruit autorisées en fonction du temps d'exposition suivant les chiffres figurant au tableau 1.

Selon les critères de l'OSHA, 1983 [4], l'exposition continue à des niveaux de bruit supérieurs à 115 dB(A) n'est pas autorisée pour n'importe quelle durée d'exposition. Le niveau d'action ou le niveau d'exposition au bruit auquel des mesures de protection de l'ouïe doivent être appliquées a été fixé à 85 dB(A). La limite supérieure pour l'exposition au bruit impulsif a été fixée à 140 dB(A).

### Chapitre III: Réglementations et Normes de mesures

Le niveau de bruit autorisé pour différents temps d'exposition T est déterminé par la relation suivante [5] :

$$L_A = 85 + \frac{5 \log_{10} (16/T)}{\log_{10}(2)} \quad dB(A) \quad (pour T \leq 16 Heurs)$$

La durée d'exposition autorisée pour un niveau de bruit continu  $L_A$  est déterminée par la relation suivante [5] :

$$T = \frac{16}{2^{(L_A-85)/5}} \quad (pour 85 dB(A) \leq L_A \leq 115 dB(A))$$

Le tableau ci-dessous représente les différentes durées d'exposition qui correspondent au différents niveau de bruit fixé par l'OSHA :

**Tableau III.1:** Les limites de durées d'exposition autorisé par OSHA [6-7]

niveau de bruit : dB(A)	durée d'exposition à ne pas dépasser
82	16 heures
83	12 heures, 42 minutes
84	10 heures, 5 minutes
85	8 heures
86	6 heures, 21 minutes
87	5 heures, 2 minutes
88	4 heures
89	3 heures, 10 minutes
90	2 heures, 31 minutes
91	2 heures
92	1heure, 35 minutes
93	1heure, 35 minutes
94	1 heure
95	49 minutes
96	38 minutes
97	30 minutes
102	9 minutes
103	7 minutes
104	6 minutes
105	5 minutes
106	4 minutes
107	3 minutes
108	2 minutes
109	2 minutes
110	1 minutes

Lorsque l'exposition quotidienne au bruit est composée de deux ou plusieurs périodes d'exposition au bruit à différents niveaux. L'expression suivante est utilisée pour déterminer la dose d'exposition au bruit (NED) pour les situations dans lesquelles le niveau de bruit varie pendant la période de travailde l'expression suivante [5]:

$$NED = \frac{C_1}{T_1} + \frac{C_1}{T_1} + \frac{C_1}{T_1} \dots \dots \dots + \frac{C_n}{T_n}$$

Les quantités  $C_1$ ,  $C_2$ , etc., sont le temps total d'exposition aux niveaux de bruit  $L_{A1}$ ,  $L_{A2}$ , etc., en heures par jour. Les quantités  $T_1$ ,  $T_2$ , etc., sont les temps d'exposition total autorisés aux niveaux de bruit  $L_{A1}$ ,  $L_{A2}$ , etc. Pour les niveaux de bruit  $LA < 85$  dB(A),  $T = \infty$ ; Pour les niveaux de bruit  $LA > 115$  dB(A),  $T = 0$ . Si la dose d'exposition au bruit dépasse 1,00, l'exposition au bruit des employés dépasse les limites de l'OSHA [2, 4-5, 8].

#### **III.1.2. Aux niveaux européens [9-10] :**

Les États membres de l'Union européenne ont jusqu'au 15 février 2006 pour mettre en œuvre les dispositions législatives, réglementaires et administratives assurant leur conformité à la directive 2003/10/CE du Parlement européen et du Conseil du 6 février 2003 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (bruit).

La nouvelle directive 2003/10/CE abrogera la directive 86/188/CEE à dater du 15 février 2006, échéance fixée pour la transposition de la nouvelle directive. La nouvelle directive sur le bruit se caractérise par la volonté d'instaurer une stratégie de prévention claire, cohérente et capable de protéger la sécurité et la santé des travailleurs exposés au bruit.

Dans le but d'éviter tout dommage irréversible à l'ouïe des travailleurs, la directive prévoit des valeurs limites d'exposition de 87 dB(A) et de pression acoustique de crête de 200 Pa, au-delà desquelles aucun travailleur ne doit être exposé [11]. La directive fixe également des valeurs d'exposition supérieures et inférieures déclenchant l'action 85 dB(A) (et 140 Pa) et 80 dB(A) (et 112 Pa) respectivement, qui déterminent le moment où des mesures préventives doivent être prises afin de réduire les risques pour les travailleurs. Il est important de souligner que, pour l'application des valeurs limites d'exposition, la détermination de l'exposition effective prendra en compte l'atténuation assurée par le port de protecteurs auditifs personnels. Les valeurs d'exposition déclenchant l'action ne tiendront pas compte, pour leur part, de l'effet de l'utilisation de ces protecteurs.

**Tableau III.2 : Comparaison de la réglementation 1988 et de la Directive 2003/10/CE [12]**

<b>Principales incidences</b>	<b>Décret du 21 avril 1988</b>	<b>2003/10/CE Directive</b>
<b>1<sup>er</sup> niveau déclenchant l'action :</b> Protections auditives à disposition Surveillance médicale spéciale Plan d'action de réduction du bruit	$L_{ex,8h}$ , 85 dB(A) $P_{crête}$ 135 dB(C)	$L_{ex,8h}$ , 80 dB(A) $P_{crête}$ 135 dB(C)
<b>2<sup>ème</sup> niveau déclenchant l'action :</b> Port des protections auditives obligatoire Surveillance médicale spéciale Plan d'action de réduction du bruit	$L_{ex,8h}$ , 90 dB(A) $P_{crête}$ 140 dB(C)	$L_{ex,8h}$ , 85 dB(A) $P_{crête}$ 137 dB(C)

### **III.1.3. Au niveau de Taiwan :**

Selon les « Normes de contrôle du bruit » émises par TWEPA, chaque zone de contrôle a des réglementations différentes pour différentes périodes. En outre, les différences dans les intervalles de classification du bruit entre les zones adjacentes de contrôle du bruit ne peuvent pas dépasser un niveau de classe. Par exemple, les zones adjacentes aux zones de contrôle du bruit de classe 2 doivent être des zones de contrôle de classe 1 ou de classe 3. La Fig. 3, montre la répartition spatiale des zones de contrôle du bruit dans la ville de Tainan. Le tableau 1 démontre les niveaux de bruit maximaux autorisés par les normes de contrôle du bruit. [13]

Classe 1: Pour les zones qui ont besoin d'un environnement très calme

Classe 2: les zones qui, pour une utilisation résidentielle, sont principalement

Classe 3: Zones résidentielles et commerciales zones mixtes ou résidentielles et industrielles mixtes

Classe 4: zone industrielle

**Tableau III.3:** Les niveaux de bruit admissible autorisé par la réglementation taiwanique

zone de contrôle	matin (dB)	après-midi (dB)	soirée (dB)
le niveau de bruit admissible pour la zone de contrôle class 1	45	50	40
le niveau de bruit admissible pour la zone de contrôle class 2	55	60	50
le niveau de bruit admissible pour la zone de contrôle class 3	60	65	55
le niveau de bruit admissible pour la zone de contrôle class 4	70	75	65

### **III.1.4. Au niveau de la Turquie :**

Le Règlement sur le bruit environnemental turc a défini des limites de bruit pour les zones industrielles [14-15] :

**Tableau III.4 : Les niveaux de bruit admissible autorisé par la réglementation turkich**

<b>Sources de bruit</b>	<b>Classe</b>	<b>L<sub>Matin</sub> dB(A)</b>	<b>L<sub>soirée</sub> dB(A)</b>	<b>L<sub>nuits</sub> dB(A)</b>
Routes	1	65	60	55
	2	68	63	58
	3	70	65	60
	4	72	67	62
Routes	1	60	55	50
	2	63	58	53
	3	65	60	55
	4	67	62	57
Réseau ferroviaire	1,2,3,4	65	60	55
Industriel	1	60	55	50
	2	65	60	55
	3	68	63	58
	4	70	65	60
Aéronef (majorité aéroport)	1	65	60	55
	2	68	63	58
	3	72	67	62
	4	75	70	65
Aéronef (autre)	1	63	58	53
	2	65	60	55
	3	67	62	57
	4	70	65	60

### **III.1.5. Les réglementations algériennes :**

Pour mieux appréhender le niveau du bruit dans notre complexe, nous avons jugé utile de cerner le bruit au point de vue réglementation afin d'avoir un aperçu des textes législatifs qui traitent le bruit de manière direct ou indirect. On peut distinguer trois étapes dans ce processus :

- 1- Période post –coloniale de 1962 à 1966.
- 2- Période des grandes réalisations industrielles de 1967 à 1984.
- 3- Période de crise sur les effets et les retombées de l'industrialisation à partir de 1985.

La question du bruit a été traitée très évasivement au sens du code pénal durant la période avant 1967, à partir de 1983 une autre forme de lutte a été appréhendée par une loi

### Chapitre III: Réglementations et Normes de mesures

---

régissant les accidents de travail et les maladies professionnelles, c'est la loi n°83-13 du 02/11/1983.

Cette loi a donné naissance par la suite de la même année du tableau n°42 qui liste la durée d'exposition et les travaux susceptibles de provoquer des maladies professionnelles.

Le bruit est reconnu comme une nuisance susceptible de provoquer une maladie professionnelle qu'il faut réparer.

En 1986 le ministère de la santé adresse à ces structures ainsi qu'aux collectivités locales une série de textes relatifs aux normes internationales concernant l'exposition des travailleurs et les mesures à prendre par les médecins de travail.

Ensuite il y a eu le décret n° 01/01 du 19/01/1991 ainsi que le décret n°93-120 du 15/05/1993 qui régissent la protection en matière d'hygiène et de sécurité ainsi que les prérogatives et le rôle du médecin de travail

Le bruit affecte non seulement la qualité de la vie, mais également la santé des citoyens à partir de certains seuils de volumes sonores [16]. Le décret exécutif n°93-184 du 27 juillet 1993 réglemente l'émission des bruits. L'article 2 stipule que « *les niveaux sonores maximums admis dans les zones d'habitation et dans les voies et lieux publics ou privés sont de 70 décibels (70 dB) en période diurne (6 heures à 22 heures) et de 45 décibels (45 dB) en période nocturne (22h à 6 h)* » [17].

D'autre part l'article 3 précise : « Les niveaux sonores maximums admis au voisinage immédiat des établissements hospitaliers ou d'enseignement et dans les aires de repos et de détente ainsi que dans leur enceinte sont de 45 décibels (dB) en période diurne (6h à 22h) et de 40 décibels (dB) en période nocturne (22h à 6h) ».

Les articles qui restent (de article 4 jusqu'à 14) sont juste destinés pour :

- ✓ Obliger les personnes de n'est pas dépasser les seuils recommandé (c'est le cas de l'article 4)
- ✓ Recommander de prendre des insonorisations, des aménagements appropriés, ou des dispositifs d'atténuateur de bruit lorsqu'ils sont utilisés à moins de 50 m des locaux à usage d'habitation ou des lieux de travail (c'est le cas de l'article 6 et 9)
- ✓ Les derniers articles sont destinés pour l'interdiction de toute source de bruit générer par la réparation des véhicules, motocycle, etc., ou bien générer par les animaux dans les lieux publics.

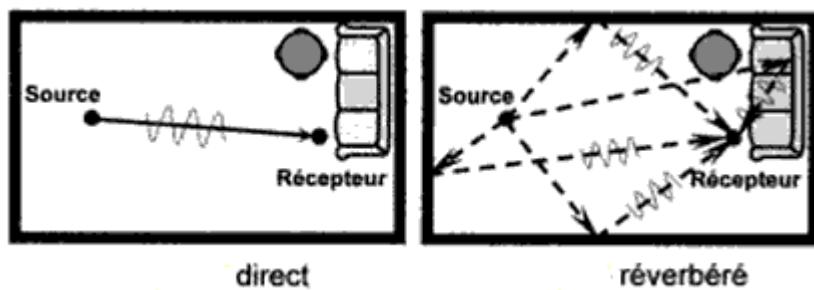
Selon cette réglementation, les autorités algériennes luttent contre les émissions sonores supérieures aux valeurs limites indiquées et ils considèrent les dépassements comme une atteinte à la quiétude du voisinage, une gêne excessive, une nuisance à la santé et une compromission de la tranquillité de la population.

#### III.2. Normes de mesures de bruit industriel

Il existe trois méthodes de mesures normalisé qui souvent utilisé pour le cas de bruit des machines, notamment industriel lesquels :

- A. Mesure en champ libre
- B. Mesure en champ diffus,
- C. Mesure par Intensimétrie

**III.2.A. Mesure en champ libre :** le champ libre c'est un champ qui est caractérisé par l'absence de tous obstacles susceptibles de modifier le rayonnement de la source [18], c'est à dire que l'intensité sonore ne provient que par le seul trajet direct source-récepteur [19].



**Figure III.1:** la propagation de bruit dans un champ libre et réverbéré [19]

Le champ libre s'étend jusqu'à une distance déterminée de la source appelée rayon acoustique où commence le champ diffus dans lequel le son direct et le son réfléchi par les surfaces délimitantes se superposent [20]. Généralement, le champ libre est rarement rencontré en réalité car il y a presque toujours des certains types de réflexion même dans les niveaux bas [21].

La mesure en champ libre, décrite dans la norme **Iso 3744** de novembre, **1995**, la méthode en champ libre est très largement utilisée car elle ne nécessite pas de moyens de mesure trop sophistiqués, ni d'environnement trop particulier. A l'inverse de la chambre

réverbérant, le champ libre se caractérise par l'absence de réflexion des ondes. Ceci impose de se trouver dans un espace ouvert (milieu extérieur, grand hall) ou dans une chambre anéchoïque qui absorbe les ondes. En pratique, à l'aide d'un microphone, on mesure la pression acoustique en différents points d'une surface fictive qui enveloppe la machine.

En connaissant cette surface, il est possible de calculer la puissance acoustique. La norme propose deux types de surface. Une surface hémisphérique avec 10 points de mesure ou une surface parallélépipédique avec 9 points de mesure positionnés sur deux plans parallèles. La norme préconise cette dernière pour des sources de petite taille. Les sources hémisphériques sont plutôt conseillées sur des grosses machines, notamment dans le domaine du conditionnement d'air. Si les conditions de mesure ne sont pas parfaitement anéchoïques, une partie du bruit généré par la source est réfléchie par des obstacles et se superpose au niveau du micro. Ce dernier ne sait pas discriminer les deux composantes. On peut toutefois corriger en mesurant la pression acoustique d'une source de référence dont on connaît la pression intrinsèque [22].

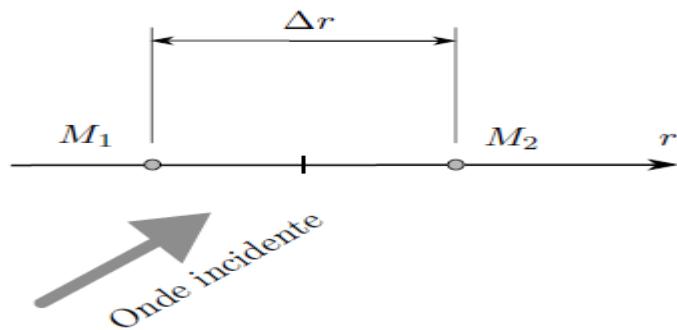
#### **III.2.B. Mesure en champ diffus :**

Dans un champ diffus le niveau sonore ne dépend plus de la distance à la source [23], la mesure de bruit se fait en chambre réverbérant qui est une pièce ou une cavité métallique fermée de dimensions supérieures à quelques longueurs d'ondes sur sa gamme fréquentielle d'utilisation [24] , L'essai est réalisé dans Une pièce ou une enceinte dont les parois réfléchissent la quasi-totalité de l'onde. Ainsi, toute l'énergie incidente est restituée. Le récepteur reçoit des rayons qui proviennent statistiquement d'un peu partout. L'avantage du champ diffus est que le niveau acoustique est identique en tout point de l'espace. Un faible nombre de points de mesure suffira donc à caractériser correctement le champ acoustique. La méthode est rapide. Le niveau de puissance (en dB) est égal au niveau de pression (en dB) auquel s'ajoute un terme caractéristique de la salle mais indépendant de la distance entre la source et le récepteur (à condition que le microphone ne soit pas trop près de la source). La norme décrit les caractéristiques de la chambre (son volume en fonction du niveau sonore), le coefficient d'absorption des parois ( $\alpha < 0,006$ , avec  $0 < \alpha < 1$ , une chambre en béton peut répondre à ce critère), le nombre de microphones... Cette méthode est particulièrement fine et précise mais elle nécessite des moyens assez lourds [25].

**III.2.C. La mesure par intensimétrie :** La mesure par intensimétrie est née à la fin des années 1970, notamment grâce à Pavić et Fahy. Elle est maintenant l'objet de normes ISO [106, 108, 110]. C'est une des solutions les plus intéressantes pour étudier les problèmes

de rayonnement de structure comme le cas que nous examinons dans cette étude. Le principe est simple : évaluer la densité de flux de puissance acoustique, appelée intensité acoustique, qui accompagne la propagation de l'onde sonore pour déduire la puissance acoustique totale rayonnée par la structure [26].

**III.2.C.1. Principe de l'intensimétrie :** La puissance acoustique est la somme des flux d'intensité acoustique traversant une surface fictive entourant la source sonore. L'intensité est déterminée en mesurant un gradient de pression à l'aide d'une paire de microphones [27]. L'intensité acoustique est évaluée grâce à la méthode des deux microphones deux microphones proches, disposés dans la direction  $r$  permettent d'approcher le gradient de pression au point central dans cette direction grâce à une approximation aux différences finies. La norme préconise soit un mesurage par point soit par balayage.



**Figure III.2:** Principe d'évaluation de l'intensité acoustique par intensimétrie.

# Chapitre IV

## Les méthodes de contrôles et de réductions de bruit

### Chapitre IV : Méthodes de réduction et de contrôle de bruit industriel

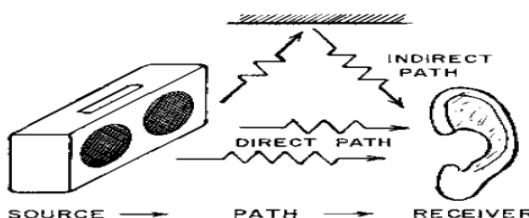
#### Introduction

Mieux vaut prévenir que guérir ! Lorsque le bruit est engendré par n'importe quelle source, il suivra un chemin (trajectoire) directe ou indirecte pour qu'il soit reçu par un récepteur (l'oreille humain). Dans notre étude nous nous sommes intéressé au bruit provenant des unités industrielles de la zone industriel d'Arzew et ceci depuis sa création jusqu'à sa réception. Le contrôle du bruit est devenue très important car il permet d'améliorer d'une part l'environnement de travail pour les travailleurs de cette zone industriel et d'autre part d'appliquer et de respecter les lois relatives aux limitations de bruit dans l'environnement.

Donc dans le cadre de contrôle de bruit industriel, il existe trois éléments nécessaires dont nous devons en prendre. Ces éléments sont[1] :

- 1) La source de bruit
- 2) La trajectoire (cheminement) suivie par le bruit
- 3) Le récepteur de bruit

La figure ci-dessous illustre bien les composantes générales de système de bruit :



**Figure IV.1:** Les composantes générales de système de bruit

#### IV.1. Contrôle de bruit à la source :

Le contrôle et la réduction du bruit, que ce soit à sa source ou sur son cheminement, doit être un élément central majeur des programmes de gestion du bruit ; il faut en tenir compte à la conception et lors de la maintenance de l'équipement et du lieu de travail [2].

Plusieurs méthodes de sécurité intégrée permettent d'y parvenir, notamment [2]:

- l'isolation de la source, par le biais de son emplacement, son capotage ou l'amortissement des vibrations à l'aide de suspensions métalliques ou pneumatiques ou de supports en élastomère;

## Chapitre IV : Méthodes de réduction et de contrôle de bruit industriel

---

- la réduction à la source ou sur le cheminement à l'aide de capotages et d'écrans, en dotant les pots d'échappement de silencieux, en réduisant les vitesses de coupe, de soufflerie ou d'impact.
- le remplacement ou la modification des machines notamment en privilégiant les transmissions à courroie par rapport aux équipements plus bruyants, et les outils électriques par rapport aux outils pneumatiques ;
- l'application de matériaux plus silencieux tels que les revêtements intérieurs dans les poubelles, les convoyeurs et les vibrateurs ;
- la réduction active du bruit (mesures « antibruit »), dans certaines circonstances ;
- la maintenance préventive : avec l'usure, le niveau de bruit de certaines pièces peut changer.

La modification de bruit à la source peut être considérée dans certain cas comme une meilleure solution pour le problème de contrôle de bruit, par exemple, au niveau de l'industrie qui utilise des ventilateurs centrifuges bruyants on peut les remplacer par des ventilateurs hélicoïdaux qui sont moins bruyants [3].

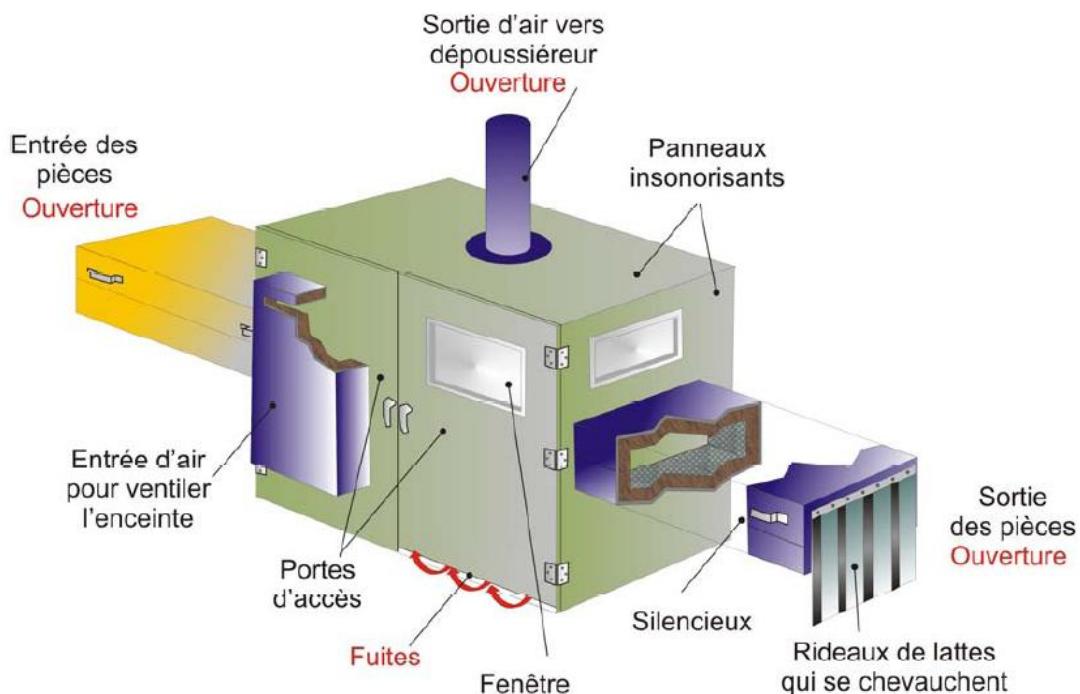
### IV.2. Le contrôle de bruit aux trajectoires :

Cette technique est très utilisable dans le cas où on le contrôle de bruit à la source n'est pas faisable. En effet, on place des isolants entre la source et le récepteur ; par exemple on conçoit un mur antibruit dans lequel la trajectoire de bruit est modifiée ou bien atténuée. Exemple : dans les zones habitations ou à côté des hôpitaux qui sont situés proches des autoroutes, on peut placer des murs antibruit tout le long de la route.

Dans certains cas, on trouve des sources de bruit à l'intérieur des locaux, autrement dit le mur de bruit n'a aucune valeur. Dans ce cas, on opte pour une autre solution plus efficace qui consiste à couvrir les murs par des matériaux absorbants de bruit ou à ajouter des surfaces absorbantes.

- Encoffrement
- Obstacle : écran
- Isolation vibratoire : cas d'une propagation solidaire.
- Absorption du local

**IV.2.1. Encoffrement :** Il consiste en une enceinte présentant un isolement phonique élevé qui entoure la source de bruit. L'encoferrement est classiquement constituée d'un assemblage de plaques multicouches composées d'un parement extérieur éventuellement raidie servant de barrière au bruit, d'un garnissage constitué d'un matériau absorbant (laine de verre, laine de roche, mousse acoustique), d'une plaque perforée en guise de parement intérieur pour protéger mécaniquement, lorsque la source de bruit à traiter est de grandes dimensions et celui de capotage pour les sources de dimensions plus petites. L'encoferrement des machine fait l'objet de plusieurs étude [5-12 ], on peut avoir même grâce à l'encoferrement une réduction de chaleur et de bruit au même temps, La considération importante pour la conception de l'enceinte implique les caractéristiques de transfert de chaleur. C'est parce que la conception d'une enceinte acoustique frappe un équilibre entre l'aspect thermique et le son [14].



**Figure IV.2 :** Un encoffrement pour les machines bruyantes.

### IV.2.2. Ecran antibruit :

Les écrans acoustiques constituent une technique de protection contre les bruits routier, ferroviaire et industriel permettant de se conformer à la réglementation en vigueur.

Les protections antibruit ont pour but de modifier le chemin de propagation de l'onde

## Chapitre IV : Méthodes de réduction et de contrôle de bruit industriel

sonore afin de réduire le niveau acoustique en un (ou plusieurs) point(s) récepteur(s) définis. Deux phénomènes entrent principalement en jeu : la diffraction par le sommet de la protection et la réflexion et/ou l'absorption par les surfaces [17]. Il s'agit d'un obstacle qui se place dans un environnement bruyant pour atténuer la progression de l'onde sonore, il se construit par plusieurs matériaux (aluminium, bois, Acier laqué, etc.) diffractant et absorbant. Actuellement, le béton végétal est le matériaux récent le plus étudié pour l'utilisation dans la fabrication des écrans antibruit [16]. Par ailleurs, il existe plusieurs théorie approximative pour le calcul de la réduction du bruit par un écran [15]. En outre, l'écran antibruit présente un autre avantage que la réduction de bruit c'est la facilité de l'accès et de circulation entre les sources de bruit par contre dans l'encoffrement il y a certain difficultés concernant l'accès rapide et facile à la source bruyante. Il faut tenir compte de certains facteurs lors de la conception et la construction de l'écran. Ils comprennent la position de l'écran, la disposition, la forme, la densité du matériau et les dimensions [21].



**Figure IV.3 : Écrans Antibruit en Acier Laqué [18]**

**IV.2.3. Isolation vibratoire** : Dans le cas d'une propagation solide de bruit, il est vivement souhaitable de mettre en place des dispositions anti-vibration (suspension élastique, combinés ressort-amortisseur, plots anti-vibratiles, Batteurs<sup>1</sup>, Amortissement<sup>2</sup>) afin de

<sup>1</sup>Les batteurs sont des systèmes masse-ressort à un degré de liberté qui attachés à une structure permettent de décaler ses modes propres quand ils interviennent à des fréquences considérées comme gênantes.

<sup>2</sup>Amortissement est un autre moyen pour réduire la transmission des vibrations consiste à utiliser des matériaux amortissants. Ces matériaux permettent de dissiper l'énergie mécanique en chaleur. Dans la grande majorité des cas les matériaux amortissants sont appliqués sur un matériau support que l'on cherche à amortir.

minimiser l'interaction entre l'équipement bruyant et son environnement et filtrer les vibrations par un choix judicieux de leur raideur [19].

### IV.2.4. Absorption du local :

L'absorption du local, il s'agit d'une absorption acoustique<sup>3</sup> qui se fait d'une part : par l'emplacement sur les plafonds des locaux industriel des bandes, Damier ou Baffles qui sont fabriqué à base des matériaux poreux (type laine de roche) absorbant les hautes fréquences, ils sont posés sur les parois ou suspendu au plafond. Et d'autre part par le couvrement des parois avec des bois absorbants des basses fréquences.



**Figure VI.4:** Bandes d'absorption de plafond (à gauche), damier (au milieu), baffles( à droit).

### IV.3. Le contrôle de bruit au niveau de récepteur :

Le contrôle de bruit au niveau de récepteur est la dernière solution pour contrôler le bruit dans un environnement bruyant. Dans le cadre de contrôle de bruit au niveau de récepteur, deux solutions qui sont largement utilisées dans les locaux industriels :

- Cabines : le principe des cabines il s'agit d'isoler les travailleurs où sont installé de l'environnement bruyants. C'est-à-dire on renferme le récepteur à l'exposition de bruit
- Les protecteurs antis bruit [22]: casque, les bouchons

Lorsqu'il s'avère impossible pour des raisons techniques ou financières de réduire le niveau d'exposition à un niveau sonore compatible avec la santé des personnes exposées au bruit, il est alors nécessaire d'avoir recours aux équipements de protection individuelle de

<sup>3</sup> L'absorption acoustique consiste à dissiper l'énergie acoustique en chaleur au sein de matériaux poreux. Dans ces matériaux, la dissipation d'énergie s'effectue par pertes visqueuses dans les interstices des pores des mousse à cellules ouvertes (mousse polyuréthane, etc.) ou par la mise en vibration des fibres minérales ou végétales (laine de verre ou de roche, feutre, etc.).

## Chapitre IV : Méthodes de réduction et de contrôle de bruit industriel

---

l'ouïe (ÉPI). Ceux-ci procurent couramment un affaiblissement global de 15 à 30 dB(A) environ, voire plus, à condition de les choisir correctement, c'est-à-dire en tenant compte des caractéristiques acoustiques du milieu où ils doivent être portés.

Les protecteurs individuels contre le bruit (PICB) reposent tous sur le même principe : former un obstacle à l'accès des ondes sonores dans l'appareil auditif.

Dans la pratique, plusieurs type de protecteur individuel :

- (a) Les protecteurs munis de « coquilles » (casques, serre-tête, serre-nuque)
- (b) Les casques enveloppants
- (c) Les casques serre-tête
- (d) Les casques serre-nuque
- (e) Les serre-tête montés sur casques



**Figure IV.5:** Casque enveloppants (à gauche), casques serre-tête (au milieu), casques serre-nuque (à droite) [22].

Bouchon d'oreille obstruant le conduit auditif, Il y a différent types :

- Bouchons d'oreilles sur mesure
- Bouchons d'oreilles façonnés par l'utilisateur
- Bouchons d'oreilles pré-modelés



**Figure IV.6:** Bouchons d'oreilles sur mesure (à gauche), bouchons d'oreilles façonnés par l'utilisateur (au milieu) et bouchons d'oreilles pré-modelés (à droite) [22].

# PARTIE PRATIQUE I

Rapport d'audit

Partie.com

### **Introduction :**

Dans cette première partie de notre travail, nous avons fait une étude approfondie sur les nuisances sonores générées à l'intérieur des unités industrielles de la zone industrielle d'Arzew, dans le but de traiter et d'évaluer l'environnement sonore en amont et en aval. La maîtrise des niveaux sonores à l'intérieur des complexes industriels nous amène à prendre les mesures nécessaires de lutte contre le bruit, à évaluer l'efficacité des méthodes appliquées de réduction de bruit et à prévoir des solutions de réduction de bruit. Le choix de la zone industrielle d'Arzew n'étant pas fortuit. En effet, cette zone est caractérisée par une grande superficie, par plusieurs complexes et de grands équipements bruyants.

A cet effet, nous avons choisi quatre complexes de différentes activités : production d'électricité, liquéfaction de gaz et transformation et séparation de gaz. Ces quatre complexes sont : La centrale thermoélectrique de MARSAT El HADJAJ, Complexe GP1Z, GLN1 et GNL2.

On a divisé notre travail en trois parties essentielles :

- ◆ La première partie est consacrée à la présentation des complexes choisis.
- ◆ La deuxième partie est consacrée à la présentation des normes et des critères de mesure que nous avons adoptée.
- ◆ La troisième partie est consacrée à la présentation et à l'analyse de nos mesures.

### **I.1. Présentation générale de la zone industrielle d'Arzew :**

#### **I.1.1. Détermination de la zone d'étude**

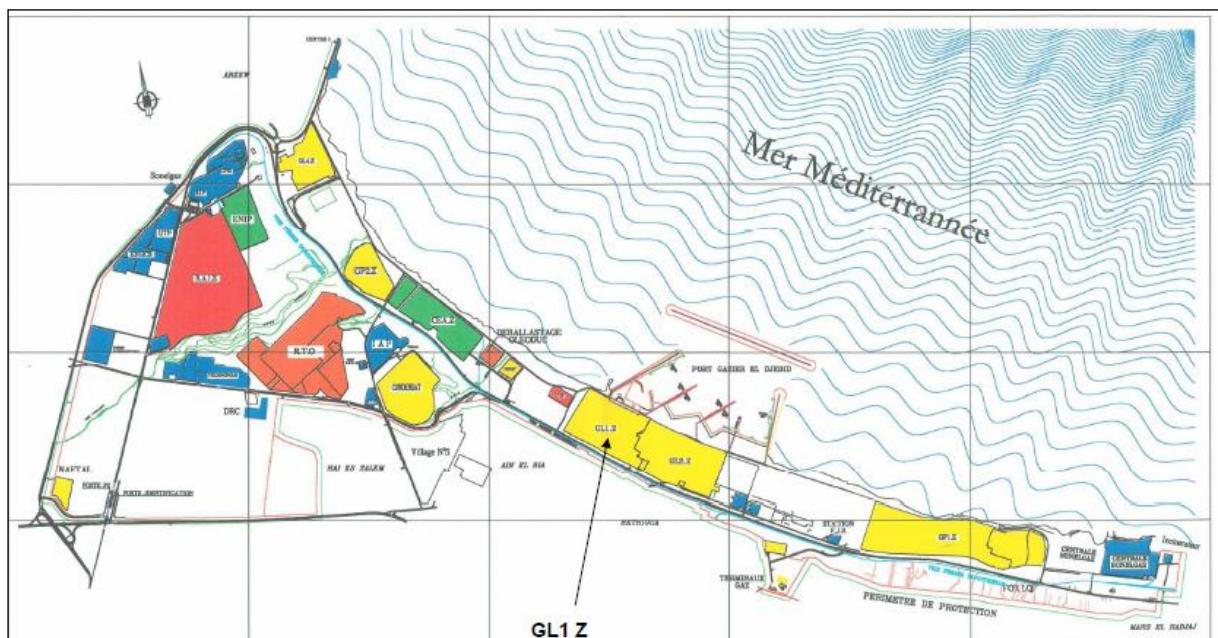
La plateforme d'Arzew s'étale sur une superficie de 2 500 ha. 935 ha sont concernés par des unités de production et service. Plus de 900 ha sont réservés à l'industrie pétrochimique et 400 ha sont réservés aux couloirs techniques de passage de canalisations et câbles entre les unités du pôle, et entre unités et ports gaziers et pétrolier. La plateforme comprend une concentration élevée de complexes de liquéfaction de gaz, de raffinage et de pétrochimie qui génèrent des émissions atmosphériques. Il est noté le nombre important de capacités de stockage aérien de produits hydrocarbures (GNL, GPL, méthanol, carburants, brut, condensat, etc.) qui sont répartis sur les divers complexes, illustrés dans la figure 1.

La zone industrielle d'Arzew est caractérisée par un nombre important de points d'émissions sonores. Les sources principales de pollution sonore sont les machines tournantes et les chaudières industrielles.

Au niveau de la zone industrielle d'Arzew, on trouve essentiellement :

## *Partie pratique I : Etude acoustique de bruit générer par les unités industriel*

- Trois (03) centrales électriques, dont une est combinée à une unité de dessalement d'eau de mer.
  - Huit unités de production de gaz naturel liquéfié (GNL), gaz pétrole liquéfié (GPL), Ammoniac, Méthanol et une grande raffinerie. Une unité de fabrication d'hélium appelée HELIOS et une unité de fabrication de l'azote liquide appelée COGIZ.
  - Des capacités de stockage aérien d'hydrocarbures d'environ trois millions de tonnes
  - Des infrastructures portuaires.
  - On cite également plusieurs nouveaux projets réalisés et mise en production le deuxième semestre de 2013, à savoir, deux complexes de production d'ammoniac SORFET, AOA et une unité de production de GNL « GL3Z » qui sont en cours de production, dont le premier chargement d'un navire méthanier a été réalisé le mois d'Aout 2014.



**Figure I.1 :** Plan de masse de la zone industrielle d'Arzew.

## I.2. Présentation générale de la centrale thermoélectrique :

## Introduction :

L'énergie électrique peut être issue de différentes sources d'énergie ; à partir d'énergie nucléaire, d'énergie hydraulique et d'énergie de fossile. En Algérie, l'énergie électrique est produite principalement à partir d'énergie des fossiles en utilisant des groupes électrogènes, des turbines à vapeur et des turbines à gaz.

La centrale thermique se présente de façon générale comme un ensemble industriel destiné à transformer de l'énergie. Le but final étant de délivrer de l'énergie électrique sur le réseau.

### **I.2.1.Situation géographique :**

La centrale thermoélectrique de MARSAT El HADJAJ alias « MARSAT » est située au bord de la mer à 14 Km environ de la zone industrielle d'Arzew et à 50 Km à l'est d'Oran.

### **I.2.2.Description et historique de la centrale :**

- Cette centrale se compose de cinq tranches identiques produisant chacune 168 MW pour le réseau national (d'une capacité de production totale de 840 MW) et 8 MW pour les auxiliaires de la centrale.
- L'énergie produite est transmise avec des lignes de 225 KV vers une sous station de transformation 225KV / 63KV installée à 3 KM de la centrale vers le sud.

#### **Projet Marsat1 (MH1) 3×168MW :**

- Date de création de la centrale (projet Marsat1MH1) : 1978.
- Date de début de fonctionnement de la l'unité : 22/11/1982.
- Date de mise en service des groupes 1,2 et 3 :
  - Groupe 1 : Novembre 1982.
  - Groupe 2 : Mai 1983.
  - Groupe 3 : Novembre 1983.

#### **Projet Marsat2 (MH2) 2×168MW :**

- Evolution du projet :
  - Lancement des terrassements : Octobre 1986.
  - Lancement montage charpente : Février 1988.
  - Fin montage tranche 4 : Janvier 1990.
  - Début essai démarrage tranche 4 : Février 1990.
  - Fin montage tranche 5 : Juillet 1990.
  - Début essai démarrage tranche 5 : Aout 1990.
- Date de mise en service des groupes 4 et 5 :
  - Groupe 4 : Novembre 1990.
  - Groupe 5 : Aout 1990.



**Figure I.2 :** Photo satellitaire de la centrale thermoélectrique.

#### **I.2.3.Principe de fonctionnement :**

La centrale thermoélectrique produit l'énergie électrique à partir d'une énergie calorifique. La centrale thermoélectrique de MARSAT El HADJADJ consiste à produire de l'électricité par l'alternateur à partir d'une transformation d'énergie calorifique en énergie mécanique à travers la turbine. Dans une turbine à vapeur, une grande partie de l'énergie calorifique apportée par la vapeur est transformée en énergie mécanique utilisée pour l'entraînement du rotor de la turbine, c'est la détente de la vapeur qui provoque l'entraînement des roues de la turbine.

#### **I.2.4.Les principales installations :**

Les principales installations qui composent la centrale thermoélectrique sont :

##### **Système filtration et pompage**

- Degrilleur.
- Filtre rotatif.

##### **Système eau de circulation**

- Pompe de circulation.

##### **Système eau d'extraction**

- Condenseur.
- Pompes d'extraction.

##### **Système eau alimentaire**

- Dégazeur et bâche alimentaire.
- pompes alimentaires.
- Réchauffeur haute pression (HP).

### **Système vapeur**

- Chaudière.
- Ballon.
- Surchauffeurs.
- Resurchauffeurs.
- Turbine.

### **Système air et fumé**

- Ventilateurs de soufflages.
- Ventilateurs de recyclages.
- Réchauffeurs d'air.

### **Système de traitement d'eau**

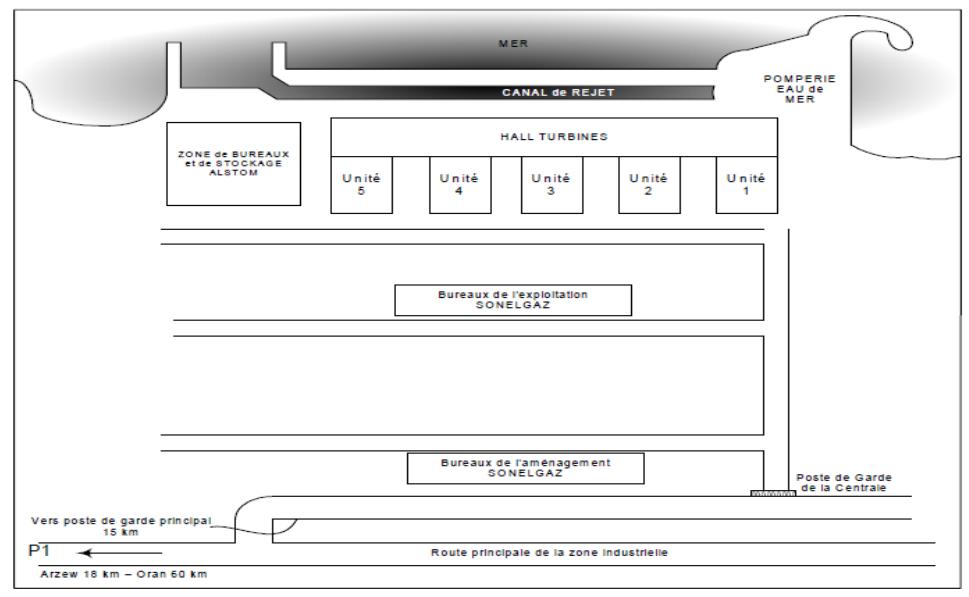
- Dessalement multi flash.
- Déminéralisation.
- Station d'electrochloration.
- Station de production d'hydrogène.

### **Installation électrique**

- Alternateur.
- Transformateur principale.
- Transformateur de groupe.
- Transformateur de réseau.
- Les auxiliaires tranches.
- Les auxiliaires généraux.
- Partie haute tension (220 KV).
- Lignes de secours.
- Partie moyenne tension commune (6,6 KV).
- Moyenne tension MT (6,6 KV).

## Partie pratique I : Etude acoustique de bruit générer par les unités industriel

- Basses tension BT (380 V).
- Partie courant continu.



**Figure I.3:** Schéma d'implantation des équipements de la centrale de MARSAT El HADJAJ.

Afin d'élaborer une cartographie de bruit de la centrale thermoélectrique de MARSAT El HADJAJ, une mesure des niveaux sonores a été effectué dans les lieux suivants :

- **Zone d'utilités.**
- **Zone d'alimentation.**
- **Zone d'exploitation** : Groupes : 1, 2, 3, 4 et 5 (actuellement le groupe 4 est en arrêt).

### I.3. présentation générale de complexe GNL1 :

#### I.3.1. Description générale de complexe GNL1/Z :

Le complexe traite  $10,5 \cdot 10^9 \text{ m}^3$  de gaz naturel par an avec production de Gaz Naturel Liquéfié et Gazoline. Il s'étend sur une superficie de 72 hectares. Le complexe comprend les installations de réception du gaz naturel produit par les champs gaziers de Hassi R'Mel qui se situent à 550 km au Sud d'Alger.

Après traitement dans les trains de liquéfaction, le gaz liquéfié est stocké à la température de  $-162^\circ\text{C}$  dans trois bacs cryogéniques de  $100\ 000 \text{ m}^3$  de capacité unitaire avant d'être exporté.

## Partie pratique I : Etude acoustique de bruit générer par les unités industriel

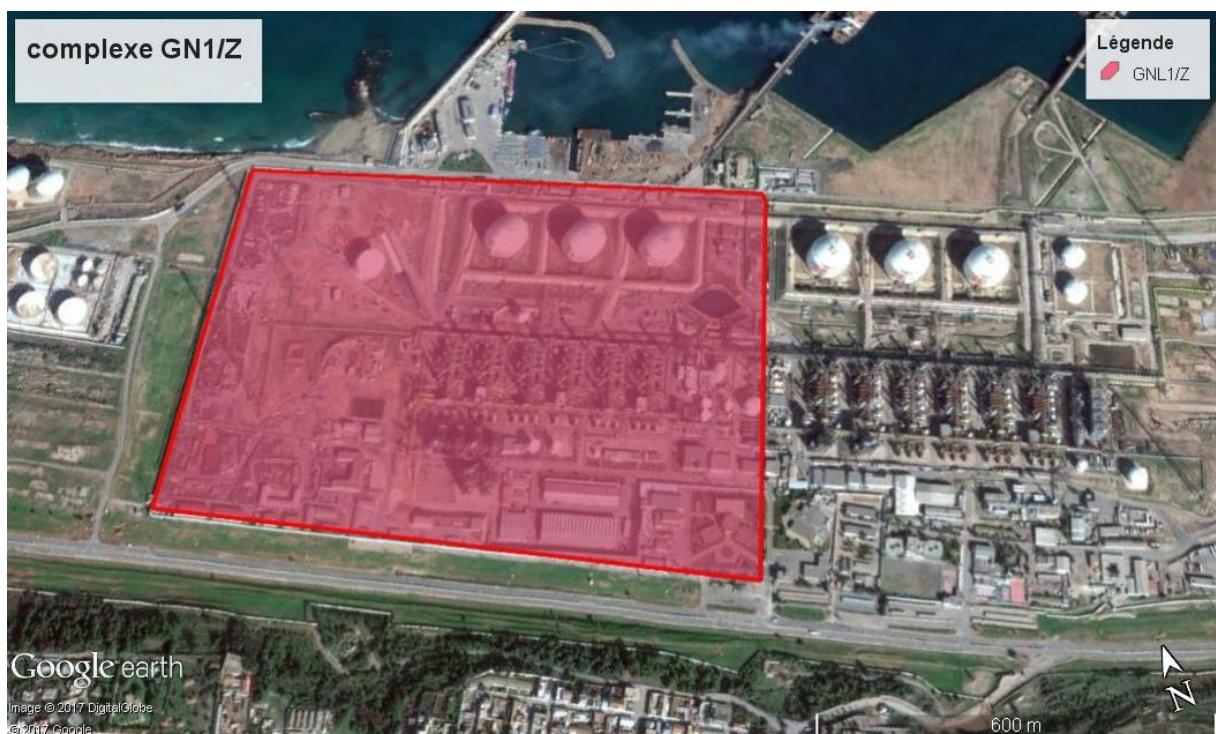
Le complexe comprend des installations portuaires permettant le chargement de méthaniers dont la capacité varie entre 50 000 et 145 000 m<sup>3</sup>. Le gaz naturel qui alimente le complexe est transporté au moyen de deux pipelines interconnectés de 42" de diamètre à savoir GZ1 et GZ3. La capacité théorique totale de production du complexe est de l'ordre de 18 millions de m<sup>3</sup> par an de GNL à partir de 6 trains de liquéfaction en fonctionnement pendant 335 jours par an.

Des installations portuaires dédiées à l'exportation du GNL se situent au Nord du complexe.

La jetée est constituée de deux appontements de chargement de navire, équipés chacun de quatre bras de chargement pour le GNL, un bras pour la récupération vapeur et un autre bras de chargement pour le fuel gaz.

Le complexe GL1Z comprend principalement :

- 6 unités de liquéfaction
- Les utilités
- Le stockage et chargement de GNL
- Une salle de contrôle DCS pour le contrôle des installations de l'usine.



**Figure I.4:** Photo satellite du complexe GNL1/Z.

#### **I.4. présentation générale de complexe GNL2 :**

##### **I.4.1. Situation géographique :**

Le complexe industriel du gaz naturel GL2/Z est le dernier-né des ensembles dans la zone industrielle d'Arzew (450 km d'Alger), situé à BETHIOUA entre le complexe GP1/Z à l'Est et le complexe de liquéfaction de gaz naturel GL1/Z à l'Ouest ; GL2/Z a été mis en place par la Société Américaine **PULLMAN KELLOG** s'étendant sur une superficie de 72 hectares.

- Signature du contrat : 09 Février 1976.
- Lancement des travaux d'engineering : 15 Avril 1977.
- Pose de la première pierre : 27 Février 1978.
- Première production de GNL : 11 Février 1981.
- Première expédition de GNL : 20 juillet 1981.
- Première production GNL : 29 juillet 1981.
- Rénovation du complexe : 1992 à 1996.

##### **2- Objet de complexe :**

Le complexe GL2/Z a pour mission de liquéfier le gaz naturel provenant des champs gaziers de HASSI R'MEL, avec possibilité d'extraction du propane, du butane et de la gazoline, le GNL (Gaz Naturel Liquéfié) est pompé et chargé dans des méthaniers spécialement conçu pour le transport cryogénique pour être expédié vers l'étranger .

##### **Produits :**

- Gaz Naturel Liquéfié.
- Butane.
- Propane.
- Gazoline.
- Gaz de charge pour la production d'Hélium & d'Azote.

##### **Capacité Contractuelle Installée de production :**

- GNL : 17,8 Millions m<sup>3</sup> / an.
- Propane : 410 000 Tonnes / an.
- Butane : 327 000 Tonnes / an.
- Gazoline : 196 000 Tonnes / an.

##### **Capacité totale de stockage :**

- 03 bacs aériens de stockage GNL : 100 000 m<sup>3</sup> chacun.
- 02 bacs de gazoline : 14 000 m<sup>3</sup> chacun.

#### **I.4.2. Composition du complexe :**

L'usine installée qui a pour rôle la liquéfaction du gaz naturel permet de réduire 600 fois le volume du gaz à une température de (-162 °C) pour faciliter son transport par les méthaniers.

La liquéfaction du gaz naturel se fait dans des unités de production appelées « trains ».

Le GL2Z dispose de six trains disposés en trois zones :

- Zone 1 : train 100 + train 200
- Zone 2 : train 300 + train 400
- Zone 3 : train 500 + train 600

En plus de deux autres zones qui sont :

- Zone 4 : Appelée zone utilité qui a pour fonction de produire l'électricité, l'eau dessalée, la vapeur, l'air instrument ainsi que l'air service qui permettent le bon fonctionnement des trains.
- Zone 5 : Appelée la zone de chargement « Off site », où s'effectuent le stockage et le chargement des produits finis.

#### **I.5. présentation générale de complexe GP1Z :**

##### **I.5.1.Situation géographique :**

Le complexe GP1Z alias « *Jumbo GPL* » est situé à Mers El Hadjadj, d'une superficie totale avoisinant les 120 Hectares et a été construit par un consortium japonais IHI-ITOCHU.

**1.** Le complexe a comme objectif final la séparation et la transformation du GPL afin d'aboutir au propane, butane dans le but d'alimenter le marché national algérien et pour l'exportation.

**2.** En 1983, le complexe disposait de quatre trains de traitement GPL qui lui permettait de produire 4,8 millions de tonnes par an et suite à une acquisition de deux trains supplémentaires (extension du complexe en 1998) cette production a augmenté pour atteindre 7,2 millions de tonnes par an.

**3.** En 2010, le complexe a acquis trois nouveaux trains supplémentaires et il est devenu le premier complexe au monde avec neufs trains de production.



**Figure I.5 :** Photo satellites du complexe GP1Z

**4. Ses capacités totales de stockage :**

Stockage de la charge : 16 000 m<sup>3</sup>

Stockage de produit réfrigéré : 420 000 m<sup>3</sup>

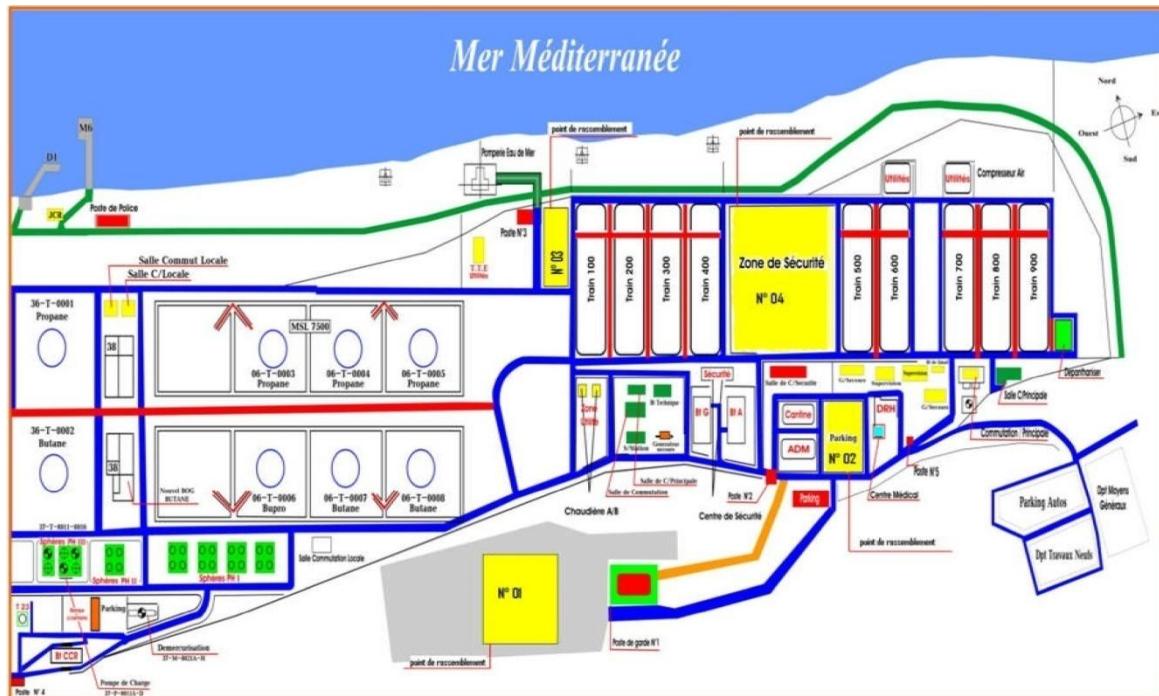
Stockage de produits ambients : 2 500 m<sup>3</sup>

**5. Les principales installations qui composent le GP1Z :**

- 16 sphères de stockage de la charge d'alimentation.
- 09 trains de traitement du GPL.
- 02 unités de liquéfaction des boiloff.
- 04 bacs de stockage de propane basse température.
- 04 bacs de stockage de butane basse température.
- 04 sphères de stockage de produits ambients (propane et butane).
- 01 sphère de stockage de la gazoline.
- 05 salles de contrôle.
- 01 station électrique alimentée par SONELGAZ.
- 04 générateurs assurant l'énergie de secours du complexe.

## Partie pratique I : Etude acoustique de bruit générée par les unités industriel

- 02 quais de chargement pouvant recevoir des navires d'une capacité variant entre 4 000 et 45 000 tonnes.
- 01 rampe de chargement de camions.
- 01 station de pompière d'eau de mer.
- 01 système de télésurveillance.



**Figure I.6:** Plan de masse générale sur les principales installations qui composent le GP1/Z

### I.6. Critères et Normes de mesure utilisée :

Les mesures de bruit aux sources ont été effectuées dans des positions bien définies autour des sources de bruit selon diverses normes nationales et internationales. ISO 6395: 2008, IS 3028: 1998, ISO 8297, ISO 1996-1: 2003, ISO-2: 2007, ISO 9613-1: 1993 et ISO 9613-2: 1996 ont été utilisées.

#### I.6.1. Critère générales de mesures :

- Les mesures sont réalisées dans des conditions de champ libre et pas sous l'influence des réflexions des parois et des objets voisins. Pour toutes les mesures à l'intérieur, les points

## Partie pratique I : Etude acoustique de bruit générer par les unités industriel

---

de test sont corrigés par rapport aux conditions de champ libre en utilisant la méthode des deux surfaces décrite dans la norme ANSI/ASME PTC 36-1985.

- Les mesures sont réalisées quand le vent ou la vitesse de l'air (vent) n'excède pas 1,5 m/s. Pour n'importe quel emplacement à l'extérieur, les mesures sont faites à un moment où il n'y a pas de précipitation.

- Les mesures acoustiques sont réalisées avec un instrument conforme aux exigences minimales de la norme IEC 61672:2003 pour un instrument de type I ou II et IEC 0804:2000. Les instruments devront avoir la fonction de mesure en dB(A) et en 1/3 d'octaves.

- Un microphone muni d'un dispositif anti vent a été utilisé pour minimiser le bruit induit par le vent.

- Les instruments ont été calibrés acoustiquement avant et après chaque test.
- Les conditions climatiques ambiantes et les données d'exploitation sont enregistrées au début et à la fin de l'essai de chaque jour.

- Tous les équipements de réduction d'émission sonore, matériels, encoffrement, etc., devront être complètement installés et tous les composants étanches à l'air doit être scellés avant la conduite des tests de garantie sonores. Les équipements acoustiques doit être inspectés et la check-list des installations acoustiques doit être complétée avant le test. Toutes les soupapes de sécurité et évents ne doit pas être en action. Tous les tests sont conduits avec les portes des encoffrements fermées à clé. De plus, tous les traitements acoustiques (par ex, revêtement acoustique, l'isolation de l'alternateur, la protection externe de l'excitateur, etc.) doit être correctement installés. Les bruits intermittents (par ex. Le bruit de pulse de filtre, etc.) ne sont pas inclus dans les mesures de bruit de conformité

- Les positions des mesures en champ proche sont placées le long du périmètre de l'équipement fourni par le fournisseur et ses équipements auxiliaires. Les mesures sont faites à 1 mètre (3 ft) de l'équipement ou de l'encoffrement de cet équipement. Les mesures ne sont pas faites sur les surfaces supérieures de machines ou les surfaces des encoffrements mais sont limitées aux zones de travail normalement accessibles.

- Les mesures sonores sont obtenues en utilisant un microphone placé à une hauteur d'environ 1.5 mètres (5 pieds) au-dessus du sol et sont espacées d'approximativement 3 mètres (10 pieds) le long du périmètre de l'équipement. Le microphone est placé à environ 1 mètre de distance de la surface de l'équipement.

- La proposition de l'emplacement des points de mesure représentent les positions de mesure réelles sont déterminées *in situ* et acceptées par toutes les parties. Les positions de mesures sont établies en considérant des facteurs tels que la représentativité, d'émissions sonores, l'influence des obstacles, l'influence de sources de bruit de fond extérieur et l'accessibilité.
    - Le niveau de pression acoustique continu équivalent (L<sub>Aeq</sub>) est déterminé sur un intervalle de temps minimal d'au moins 5 secondes. Le sonomètre est configuré sur la pondération (A).
    - Quand une décroissance de 6 dB(A), ne peut pas être obtenu en doublant la distance de la source, une correction pourra être appliquée comme défini dans la section 5.1.

### I.6.2. Emplacements des mesures en champ proche

- a. Les positions de mesure réelles sont déterminées in situ en prenant en considération certains facteurs tels que la représentativité des émissions acoustiques de la centrale, l'influence des obstacles, l'influence de sources de bruit de fond étrangères et l'accessibilité.
  - b. Les mesures sont effectuées à 1m des équipements. Les plateformes doit avoir une largeur d'au moins 1m pour pouvoir effectuer la mesure.

### 1.6.3. Matériel utilisé :

Le sonomètre : L'appareil utilisé est le Roline RO-1350 avec un calibrage de 94 dB, une pondération temporelle « Fast » et fréquentielle « A ».



**Figure I.7:** Sonomètre utilisé

Le sonomètre utilisé est de type II. Il comprend un microphone, un amplificateur et un diviseur de tension qui permet l'atténuation du signal électrique, afin de rester dans le domaine de linéarité de l'amplificateur (50 à 80 dB) quel que soit le niveau sonore. Cet

## Partie pratique I : Etude acoustique de bruit générer par les unités industriel

---

atténuateur permet également l'affichage d'un mesurage facile à lire où la sortie vers un instrument accessoire d'un signal électrique correspondant au domaine de linéarité de cet instrument.

Il comporte aussi les filtres de pondération intercalés entre les étages de l'amplificateur et en particulier le filtre de pondération A et un dispositif de détection et de lecture, comprenant un second amplificateur et un rectificateur quadratique pour que le signal affiché soit proportionnel à la pression efficace du bruit.

### I.7. Résultats et discussion :

#### I.7.1. Etude acoustique de bruit générer par la centrale thermoélectrique :

La centrale thermoélectrique de MARSAT El HADJAJ est caractérisée par une diversité des sources de bruit qu'ils fonction 24/24H et aussi qui font une parti importante de différents zones tel que : la zone d'utilités, la zone d'alimentation et la zone d'exploitation<sup>1</sup> (groupes : 1, 2, 3, 4 et 5). A cet effet, nous avons effectué notre mesure des niveaux sonores dans ces derniers zones que nous avons cité, les tableaux ci-dessous regroupes les résultats de mesure des niveaux de bruit.

##### I.7.1.1. Résultats des mesures de la zone d'exploitation

Dans un premier temps, avant d'effectuer n'importe quelle mesure il est nécessaire de mentionner les conditions météorologiques du jour de mesure. Il faut toujours vérifier si les conditions météorologiques sont favorables pour effectuer des mesures de bruit. Le tableau suivant regroupe les conditions météorologiques qui sont enregistrées les jours de mesurage au niveau de la zone d'exploitation.

**Tableau I.1 :** Les conditions météorologiques qui sont enregistré dans la zone d'exploitation

<b>Zones</b>	<b>Les conditions météorologiques</b>			
	<b>Température</b> (°C)	<b>Humidité</b> (%)	<b>Vitesse du vent</b> (K/h)	<b>Direction du vent</b>
Zone d'exploitation	23	60 %	18 km/h.	Nord.

---

<sup>1</sup>Actuellement le groupe 4 est en arrêt.

## Partie pratique I : Etude acoustique de bruit générer par les unités industriel

---

Groupe 1 et 2				
Zone d'exploitation				
Groupe 3	24	60 %	17 km/h	Nord
Zone d'exploitation				
Groupe 5	26	60 %	30	Nord

Après avoir relevé les conditions météorologiques qui sont reportées dans le tableau 01, nous pouvons ensuite passer à l'étape la plus importants dans notre étude, qui est la réalisation d'une série de mesurages au niveau des groupes constituant de la zone d'exploitation. Les tableaux ci-dessous représentent les résultats enregistrés.

**Tableau I.2:** Niveaux du bruit mesuré au niveau du groupe 1.

Équipement	Machines	Numéro	Le niveau du bruit mesuré en dB(A)
Groupe turboalternateur (GTA)	Turbine	/	93.4
	Alternateur	/	87.6
Dégazeur	/	/	86.5
Pompes alimentaire	Pompe	11	92.2
	Booster	12	93.2
		13	En arrêt
	Moteur	11	95.3
		12	96.2
		13	En arrêt
	Coupleur	11	95.4
		12	94.2
		13	En arrêt
	Multiplicateur	11	98.1
		12	98.1
		13	En arrêt
	Pompe principale	11	97.5
		12	97.6
		13	En arrêt
Pompes d'extraction		11	93.5

*Partie pratique I : Etude acoustique de bruit générer par les unités industriel*

---

	/	12	92.4
Pompes réfrigérantes NORIA		11	En arrêt
		12	87.2
	/	13	88.5
		/	110,0
Ventilateurs de soufflages		11	85.2
	/	12	84.5
Ventilateurs de recyclages		11	90.1
	/	12	93.5
Surpresseur d'air	/	/	100,0

**Tableau I.3 : Niveaux du bruit mesuré au niveau du groupe 2.**

Équipement	Les composants	Numéro	Le niveau du bruit mesuré en dB(A)
Groupe turboalternateur	Turbine	/	98,0
(GTA)	Alternateur	/	86,0
Dégazeur		/	86,0
Pompes alimentaire	Pompe	21	91,0
	Booster	22	93,5
		23	En arrêt
	Moteur	21	95,0
		22	94,0
		23	En arrêt
	Coupleur	21	95,0
		22	93,0
		23	En arrêt
	Multiplicateur	21	101,0
		22	97,0
		23	En arrêt
	Pompe	21	95,0

**Partie pratique I : Etude acoustique de bruit générer par les unités industriel**

---

	principale	22	95,0
		23	En arrêt
Pompes d'extraction		21	En arrêt
	/	22	90.1
Pompes réfrigérantes NORIA		21	89.2
	/	22	91.3
		23	En arrêt
Chaudière	/	/	97.2
Ventilateurs de soufflages		21	86.2
	/	22	89.2
Ventilateurs de recyclages		21	87.5
	/	22	88.1
Suppresseur d'air	/	/	100,0

**Tableau I.4 :** Niveaux du bruit mesuré au niveau du groupe 3.

Équipement	Les composants	Numéro	Le niveau de bruit mesuré en dB(A)
Groupe turboalternateur (GTA)	La turbine	/	95.1
	Alternateur	/	86.2
Dégazeur	/	/	88.6
Pompes alimentaire	Pompe Booster	31	En arrêt
		32	94.2
		33	93.3
	Moteur	31	En arrêt
		32	96.5
		33	98,0
	coupleur	31	En arrêt
		32	96.5
		33	98.4
	Multiplicateur	31	En arrêt

**Partie pratique I : Etude acoustique de bruit générer par les unités industriel**

---

	Pompe principale	32	97.5
		33	98.2
		31	En arrêt
		32	97.8
		33	100,0
		31	92.2
Pompes d'extraction	/	32	93.1

Pompes réfrigérantes NORIA	/	31	86.5
		32	88,0
		33	En arrêt
Chaudière	/	/	110,0
Ventilateurs de soufflages	/	31	87.4
	/	32	87.4
Ventilateurs de recyclages	/	31	88.5
	/	32	88,0
Suppresseur d'air	/	/	99.9

**Groupe 5 :** Les résultats de mesure sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5 :** Niveaux du bruit mesuré au niveau du groupe 5.

Équipement	Les composants	Numéro	Le niveau de bruit mesuré en dB(A)
Groupe turboalternateur	La turbine	/	96,0
(GTA)	Alternateur	/	94,0
Dégazeur	/	/	90,0
Pompes alimentaire	Pompe	51	97.8
	Booster	52	98.3

## *Partie pratique I : Etude acoustique de bruit générer par les unités industriel*

---

		53	En arrêt
Moteur		51	100.2
		52	101.2
		53	En arrêt
Coupleur		51	100.1
		52	100.5
		53	En arrêt
Multiplicateur		51	101.1
		52	101.1
		53	En arrêt
Pompe principale		51	102,0
		52	101.4
		53	En arrêt
Pompes d'extraction		51	101.6
	/	52	102.1
Pompes réfrigérantes NORIA		51	En arrêt
		52	99.5
	/	53	95.2
Chaudière	/	/	102.3
Ventilateurs de soufflages		51	84.8
	/	52	83.2
Ventilateurs de recyclages		51	90.5
	/	52	94.1
Suppresseur d'air	/	/	102.3

### ➤ Interprétation des résultats :

Les résultats obtenus, montrent que le niveau de bruit est élevé dans toutes les machines comprenant les groupes. Cependant il existe quelques écarts entre ces machines. Les niveaux du bruit enregistré dans les chaudières sont supérieurs à ceux enregistrés par les pompes et les alternateurs, etc.

Après avoir comparé les résultats entre les groupes nous constatons que :

- (1).Les chaudières du groupe 1 et 3 sont plus bruyantes par rapport aux chaudières des groupes 2 et 5 à cause de la mal rénovation du cendrier de ces chaudières.
- (2).La majorité des bruits provenant par la zone d'exploitation sont des bruits générés par des pompes bien qu'ils ne sont pas intenses par rapport au bruit provenant par les chaudières qui est le bruit le plus élevés dans cette zone. L'origine de bruit engendré par les pompes est du d'une part aux vibrations de la structure qui sont causé principalement par le déséquilibre de rotor et aussi par les frottements de la roue ou d'étanchéité et d'autre part à la propagation de la turbulence de flux d'écoulement de liquide par des systèmes de conduite.
- (3).Les ventilateurs prennent aussi une place importante dans les émissions sonore, qu'ils viennent par le mouvement du moteur de rotation, ainsi par la variation de la pression d'aire entrant et sortant et par les fluctuations de pression causée par la turbulence d'air dans la volute par les ailettes.
- (4).Les turbines font un bruit énorme qui atteint le 98 dB(A), l'origine de ce bruit c'est beaucoup plus mécanique (rotation de l'arbre), notamment des vibrations qui sont créés à cause du déséquilibre résiduelle provient généralement par des défauts d'usinage, d'assemblage et de montage, résultant d'une part une altération mécanique se forme une perte d'ailette, ,érosion ou encrassement, et d'autre part une altération thermique (déformation suite à des dilatations différentes des matériaux constituant le rotor ou à des différences de températures localisées.
- (5).Le bruit des alternateurs<sup>2</sup> est très remarquable dans cette zone, sachant que, le bruit des alternateurs sont classées en bruit mécanique, bruit aérodynamique et bruit électromagnétique, de tel sort que ces bruit sont générer aux plusieurs raison :
  - En raison de grand mouvement de rotation de rotor.
  - En raison de glissement des joints de l'arbre
  - Le flux magnétique asymétrique dans l'entrefer entre le stator et le rotor génère également un déséquilibrée par conséquent un bruit.
  - En raison des forces oscillantes excitant le stator, ces forces sont créées par La rotation du rotor qui provoque une perturbation périodique du flux magnétique entre le stator et le rotor, ce qui entraîne une force oscillante sur le stator.

---

<sup>2</sup>Un alternateur est un équipement qui convertit l'énergie rotative mécanique en énergie électrique

## *Partie pratique I : Etude acoustique de bruit générer par les unités industriel*

---

- En raison d'un déséquilibre du rotor et des composants de palier défectueux
- En raison d'un manque de lubrification et graissage de certain dispositif à l'intérieur d'alternateur
- En raison la forte force magnétique alternée sur le stator qui génère un bruit d'origine magnétique et de caractère tonal
- En raison de bruit de rotation des ventilateurs, provient de la variation de la pression d'air sur la pale du ventilateur
- En raison de bruit générer par des fluctuations de force aléatoires sur la pale de ventilateur. ces fluctuations sont créées par l'interaction des surfaces de la pale avec le flux turbulent.

Pour conforter nos résultats, nous les avons représentés sous forme d'histogrammes dans les figures suivantes. Nous avons représenté en couleur rouge le grand écart du niveau de bruit enregistrée qui est au-dessus des seuils recommandés par la réglementation algérienne et qui est de 70 dB.

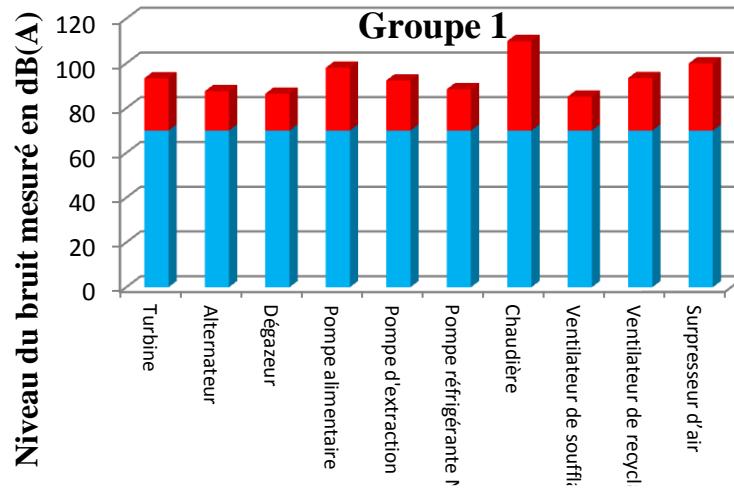


Figure I.8: Représentation des niveaux du bruit enregistré au niveau du groupe 1.

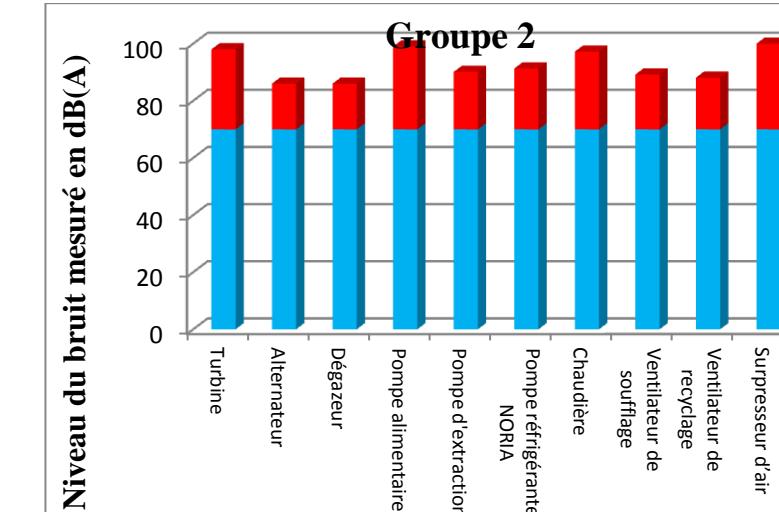


Figure I.9: Représentation des niveaux du bruit enregistré au niveau du groupe 2.

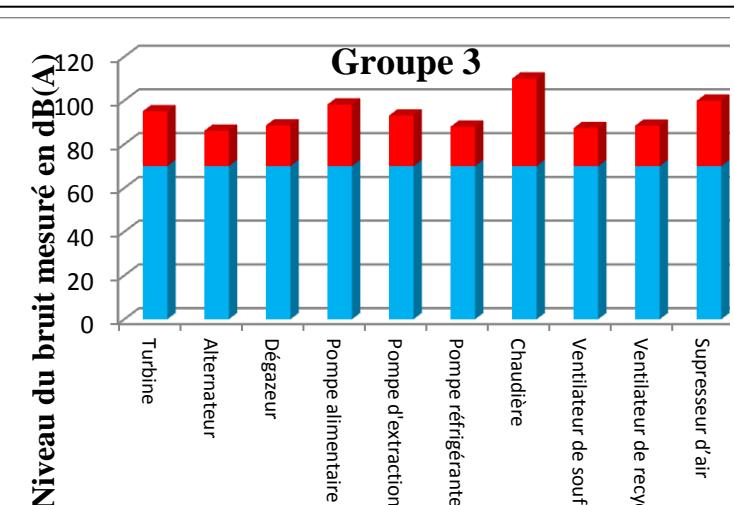


Figure I.10 : Représentation des niveaux du bruit enregistré au niveau du groupe 3.

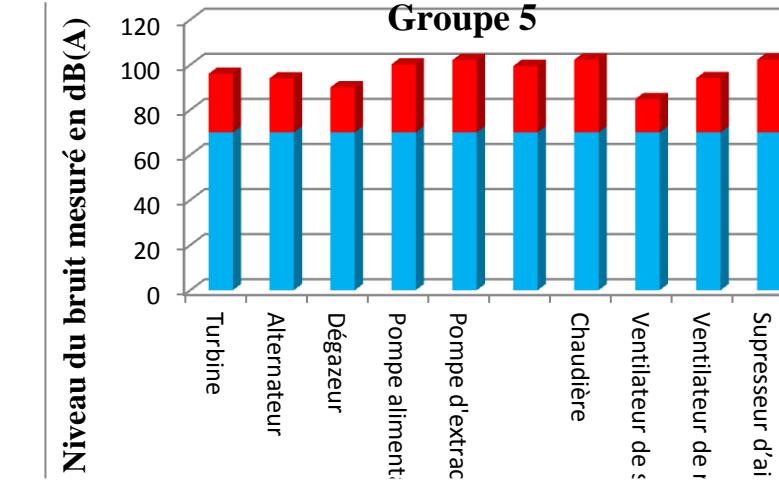


Figure I.11 : Représentation des niveaux du bruit enregistré au niveau du groupe 5.

## Partie pratique I : Etude acoustique de bruit générer par les unités industriel

---

Les résultats trouvés dans les figures 08 à 11 montrent qu'il y a un niveau du bruit exceptionnel dans les groupes 1, 2, 3 et 5. Ceci est dû principalement aux turbines et aux chaudières qui émettent un bruit inacceptable de 110 dB(A). Le rôle principale de la turbine étant de faire tourner un alternateur, en fonction de nombre de rotation de l'arbre de la turbine le niveau de bruit peut augmenter ou diminuer. Ce problème de bruit généré par les turbines et les chaudières a été posé depuis la mise en marche de la centrale thermoélectrique. Les niveaux de bruit observés dans les groupes 1, 2 et 3 sont un peu inférieurs à ceux de groupe 5. Ceci est du à son âge (âge d'usure) et au temps de marche qui est élevé.

### I.7.1.2. Zone d'alimentation et Zone d'utilités :

Nous avons poursuivi notre mission (réalisation des séries de mesurage) à la zone d'alimentation qui est constitué principalement par : une station de pompage et quatre stations de dessalement. Les tableaux suivants représentent les résultats de mesure de bruit trouvés.

**Tableau I.6:** Les paramètres météorologiques enregistrés au niveau de la zone d'alimentation

Les conditions météorologiques				
Zones	Température (°C)	Humidité (%)	Vitesse du vent (m/s)	Direction du vent
Station pompage et de dessalement	28		5	Est
Zone d'Utilité	24		5	Sud-ouest

#### ➤ Station pompage :

**Tableau I.7:** Niveaux du bruit mesuré au niveau de la station de pompage.

Équipement	Niveau du bruit mesuré en dB(A)
Pompe de circulation N11	85.4
Pompe de circulation N12	86.0
Pompe de circulation N21	90.6
Pompe de circulation N22	94.4

## Partie pratique I : Etude acoustique de bruit générée par les unités industriel

Pompe de circulation N31	87.4
Pompe de circulation N32	87.4
Pompe de circulation N51	86.0
Pompe de circulation N52	89.0

### ➤ Station de dessalement :

**Tableau I.8 :** Niveaux du bruit mesuré au niveau de la station de dessalement 1.

Station de dessalement 1		Station de dessalement 3		Station de dessalement 4	
Équipement	Niveau du bruit en dB(A)	Équipement	Niveau du bruit en dB(A)	Équipement	Niveau du bruit en dB(A)
Chaudière	96.1	Chaudière	97.1	Chaudière	87.6
Pompe à vide	92.3	Pompe à vide	94.5	Pompe à vide	96.7

Nb : La station de dessalement 2 est en arrêt.

### V.6.3. Zone d'utilités

**Station 1 :** Les résultats de mesure sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau I.9 :** Niveaux du bruit mesuré au niveau de la Zone d'utilités.

Zone d'utilités			
Station 1		Station 2	
Équipement	Niveau du bruit mesuré en dB(A)	Équipement	Niveau du bruit mesuré en dB(A)
Compresseur d'air	110,0	Compresseur d'air	93.2
Groupe diesel	En arrêt	Groupe diesel	En arrêt

### ➤ Interprétation des résultats :

Les tableaux ci-dessus résument les mesures du bruit mesurées dans différents sites de la zone d'alimentation et la zone d'utilité. Par conséquence. On observe que :

## Partie pratique I : Etude acoustique de bruit générer par les unités industriel

---

- (1).Le bruit est élevé dans la zone d'alimentation mais en termes de comparaison du niveau de bruit enregistré dans la centrale thermoélectrique il y a une légère diminution du niveau de bruit dans la zone d'alimentation par rapport au celui trouvé dans la zone d'exploitation.
- (2).Le niveau de bruit est élevé dans les deux stations comprenant la zone d'utilités peut atteindre les 110 dB<sup>3</sup>. Mais il existe une différence entre ces stations. Le niveau du bruit enregistré dans le compresseur de la station 1 est supérieur au niveau du bruit enregistré par le compresseur de la station 2.

Cela est dû principalement aux raisons suivantes :

- Le compresseur de la station 1 est plus grand par rapport au compresseur de la station 2, donc il est plus bruyant.
- L'ancienneté des compresseurs jouent également un rôle majeur dans l'émission de bruit.
- Le moteur du compresseur est mal ajusté et mal placé.

### 1.7.2. Etude acoustique de bruit générer par le complexe GNL1 et GNL2

Dans les complexes GNL1 et GNL2, nous avons choisi de nous intéresser aux sources les plus bruyantes en raison de la similarité entre les installations de GNL1 et GNL2.

Les sources plus bruyantes sont :

1. Les Chaudières IHI et MHI
2. Les compresseurs des trains

Le tableaux ci-dessous représentent les niveaux de bruit mesuré :

**Tableau I.10 :** Niveau de bruit enregistré au niveau des complexes GNL1/Z et GNL2/Z.

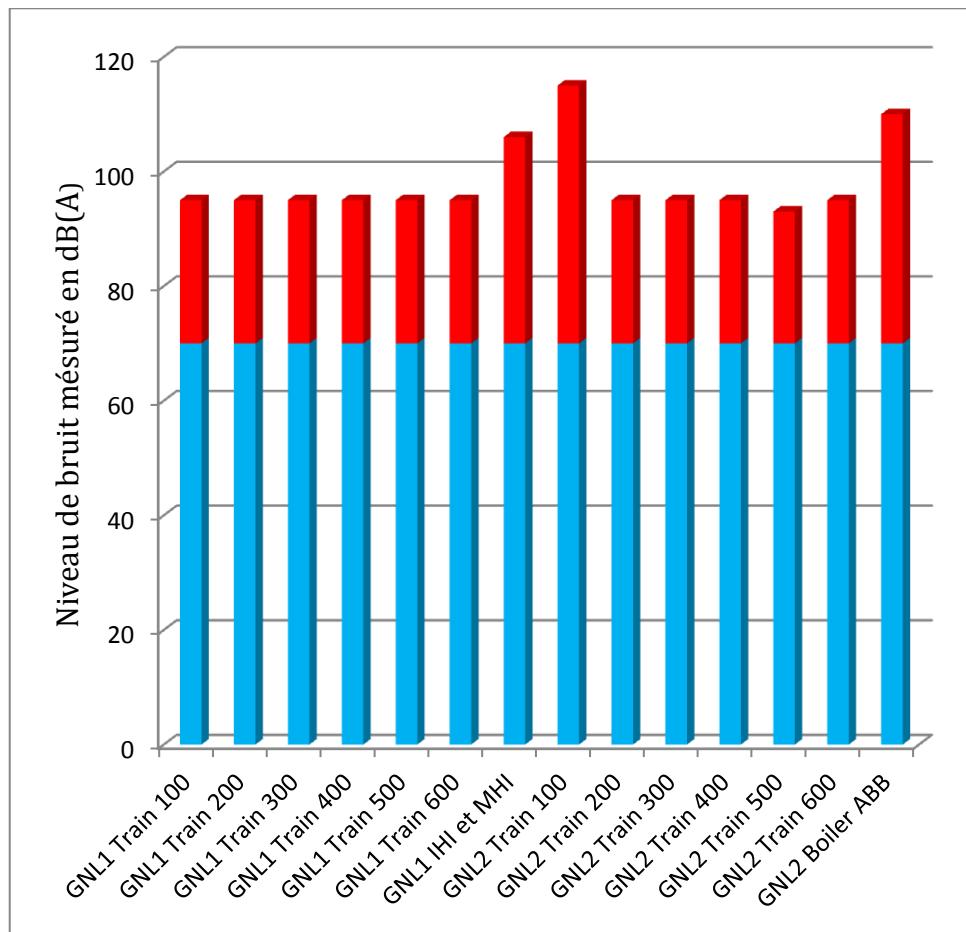
Points de mesures	GLN1 Z		GNL2	
	Zone de Mesure	Niveau de bruit dB(A)	Zone de Mesure	Niveau de bruit dB(A)
compresseur Point 1	Train 100	95	Train 100	115

---

<sup>3</sup>Ce niveau de bruit se situe largement au-dessus des normes autorisées. Les travailleurs qui sont exposé à ce niveau de bruit sont exposés au risque des effets sanitaires. Si on doit classer les zones les plus inappropriés et dangereuses pour la santé des travailleurs cette zone est classée en deuxième place après la zone d'exploitation.

## Partie pratique I : Etude acoustique de bruit générer par les unités industriel

compresseur Point 2	Train 200	95	Train 200	95
compresseur Point 3	Train 300	95	Train 300	95
compresseur Point 4	Train 400	95	Train 400	95
compresseur Point 5	Train 500	95	Train 500	93
compresseur Point 6	Train 600	95	Train 600	95
Chaudière Point 7	IHI et MHI	106	Boiler ABB	110



**Figure I.12 :** Les niveaux de bruit enregistré au niveau des complexes GNL1 et GNL2

### **Interprétations des résultats :**

Dans les deux complexes GNL1Z et GNL2Z, il y a une diversité des sources de bruit.

Dans notre étude nous nous sommes intéressées aux principales sources de bruit dans ces deux complexes qui sont les compresseurs<sup>4</sup>. L'origine de bruit des compresseurs provenant d'une combinaison de plusieurs facteurs tels que la turbulence des fluides, les mouvements de rotations, la vibration des parties rotor-stator, et la différence de pression. Ces bruit sont causées principalement par :

- Le mouvement de rotation des ventilateurs de refroidissement des compresseurs. Qui génère un bruit aérodynamique causé par les pales de ventilateur
- La vibration de certains composants qui se produit par le déséquilibre des composants ou par les frottements et aussi par les résonnances sévères des structures
- Le mouvement de rotation de l'arbre du moteur qui tourne avec une grande vitesse génère un bruit intense.
- Le mouvement alternatif du piston dans l'ensemble de compression. Ce type de mouvement est provoqué par la conversion de mouvement de rotation de l'arbre à un mouvement alternatif (va-et-vient) du piston, à l'intérieur du cylindre, par un palier excentrique.
- Le compresseur subit un processus de compression sévère.
- Il y a aussi d'autres sources qui présentent une origine de bruit : Pulsation de gaz, cavité acoustique, vannes et vibration de coquille.
- La fluctuation de pression de l'air qui est proportionnelles aux vitesses de rotation.
- Les interactions des composants contre-courant créée des forces de fluctuation sur un rotor ou un étage de stator et par conséquent génère un bruit
- Les accélérations axiales, verticales et horizontales sur la coque du compresseur sont également aussi des sources de bruit
- Pour les compresseurs à double vis à injection d'huile, Trois types de sources de bruit et de vibration peuvent être catégorisés ; y compris les mécanismes de compression, la géométrie et l'assemblage des rotors à vis et les conditions de fonctionnement.

---

<sup>4</sup>Chaque train de production dispose de 04 compresseurs: Propane ; MCR 1 et 2 et fuel hay.

## Partie pratique I : Etude acoustique de bruit générer par les unités industriel

---

- La pulsation de pression due au flux de gaz de réfrigérant et la vibration de coque du boîtier de compresseur excitée par pulsation de pression sont aussi une origine de bruit.
- La soupape d'échappement génère un bruit causé par Les fluctuation de pression lors de l'ouverture de soupape d'échappement.

### I.7.3. Etude acoustique de bruit générer par le complexe GP1Z :

Les mesures des niveaux de bruit ont été effectuée au niveau des zones les plus bruyantes qui sont situé dans les lieux suivants : zone d'exploitation (Trains : 100, 200, 300, 600, 700, 800 et 900) et la zone de stockage. Les équipements et les machines bruyantes qui caractérise ces zones sont :

- **Les machines tournantes** : compresseurs, pompe, aéros et turbines
- **Quelque type de vannes**
- **Les chaudières**

Après la détermination des sites de bruit nous sommes passés à l'étape suivante qui consiste à faire les mesures nécessaires de bruit.

## RESULTATS DES MESURES

### I.7.3.1. Résultats des mesures de la zone d'exploitation:

**Tableau I.11 :** Les conditions météorologiques au niveau du complexe GP1/Z

Zone d'exploitation	Les conditions météorologiques			
	Température (°C)	Humidité (%)	Vitesse du vent (m/s)	Direction du vent
1	17 °C	65	4 km/h	Nord
3	17,08 °C	60	5 km/h	Nord
3	15,5 °C	60	5 km/h	Est

Phase I : Les résultats de mesure sont regroupés dans le tableau ci-dessous

**Tableau I.12 :** les niveaux de bruit enregistré au niveau de la zone d'exploitation de la Phase I du complexe GP1/Z

*Partie pratique I : Etude acoustique de bruit générer par les unités industriel*

---

Train 100		Train 200		Train 300	
Machine	Niveau de bruit dB(A)	Machine	Niveau de bruit dB(A)	Machine	Niveau de bruit dB(A)
Pompe : 1002 B	85,6	Pompe 2002 B	88,5	Pompe : 3002 B	88,8
Vanne : LV-1218	73,0	Aéro : 2027 N 4	89,3	Vanne : LV-3110	88,0
Aéro : 1011 N 2	86,0	Aéro : 2027 N 6	91,6	Aéro : 3027 N 2	89,5
Aéro : 1002 N 4	85,0	Aéro : 2027 N 12	94,1	Aéro : 3027 N 10	92
Aéro : 1002 N 8	84,0	Aéro : 2027 N 14	90,2	Aéro : 3027 N 12	91
Aéro : 1002 N 19	84,2	Aéro : 2027 N 16	89,7	Aéro : 3027 N 14	89,5
Aéro : 1002 N 16	85,2	Aéro : 2027 N 20	88,7	Aéro : 3027 N 18	88,5
Aéro : 1002N 20	84,0	Four : 2501	91,5	Aéro : 3027 N 20	88,5
Aéro : 1002N 28	83,4	Turbine : T-2001	97,0	Four : 1501	90,5
Turbine	96,0	Compresseur	94,1	Turbine : T-3001	99
Compresseur	95,0	Aéro qui alimente le compresseur par l'aire	96,3	Compresseur	95,0
Aéro qui alimente le compresseur par l'aire	95,9			Aéro d'aire de compresseur	98,2

**N.B :** Train 400 et 500 sont à l'arrêt

**Phase III :** Le tableau ci-dessous regroupe les résultats de mesure :

**Tableau I.13 :** les niveaux de bruit enregistré au niveau de la zone d'exploitation de la

Phase III du complexe GP1/Z

## Partie pratique I : Etude acoustique de bruit générée par les unités industriel

---

Train 700		Train 800		Train 900	
Machine	Niveau de bruit	Machine	Niveau de bruit dB(A)	Machine	Niveau de bruit dB(A)
Pompe : 7002 B	88,5	Pompe : 32-PM-8002 B	91,5	Aéro E-9001 N 2	78,8
Vanne : PV-7114	90,0	Vanne : PV-8114	94,0	pompe P-9002-B	84,6
Vanne :FV 7202	88,0	Vanne :FV 8001	88,0	Vanne PV-9114	87,4
Aéro : 7027 N 4	86,2	Aéro : 8027 N 2	85,0	Pompe : P-9003-A	84,3
Aéro : 7027 N 6	86,7	Aéro : 8027 N 4	86,8	Compresseur	90,0
Aéro : 7002N 4	83,2	Aéro : 8027 N 6	87,0	Moteur électrique	91,0
Aéro : 7002 N 8	85,0	Aéro : 8027 N 8	88,2	Aéro : E-9055	87,0
Aéro : 7002 N 8	87,0	Aéro : 8027 N 10	87,0	Aéro : 9011 N 2	85,4
Vanne de refoulement du compresseur	89,5	Aéro : 8027 N 16	86 ,4	Aéro : 9012 N 2	85,3
Moteur électrique : M-7001	91,0	Aéro : 8012N 2	84,3	Aéro : 9002 N 3	84,4
Compresseur	90,0	Aéro : 8002 N 2	83,7		
		Vanne de refoulement du compresseur	97,0		

### Interprétation des résultats :

Les résultats obtenus, montrent que le niveau de bruit est élevé dans toutes les machines comprenant les trains. Cependant il existe quelques écarts entre ces machines. Les niveaux du bruit enregistré dans les turbines et les compresseurs sont supérieurs à ceux enregistrés par les aéros, pompe, etc.

## *Partie pratique I : Etude acoustique de bruit générer par les unités industriel*

---

Cela est dû principalement aux raisons suivantes :

- a. Les machines tournantes des grands volumes sont plus bruyants au celles des petits volumes.
- b. Les machines tournantes qui sont alimenté par un grand débit de fluide sont plus bruyant au celles alimentées par un faible débit du fluide.
- c. L'ancienneté des machines joue également un rôle majeur dans l'émission de bruit.

Après avoir comparé les résultats entre les trains nous constatons que :

- (1). Les compresseurs des trains 100, 200 et 300, sont des turbocompresseurs et sont plus bruyant par rapport aux compresseurs des trains 600, 700, 800 et 900 qui par contre eux sont des motocompresseurs .
- (2). Les niveaux de bruit observés dans les trains 700, 800 et 900 sont inférieurs à ceux des trains 100, 200, 300 et 600. Ceci est du à leur âge. En effet les trains 700, 800 et 900 ont été acquis récemment par le complexe en 2010 (il y a moins de cinq ans).

Pour conforter nos résultats, nous les avons représentés sous forme d'histogrammes<sup>5</sup> dans les figures suivante

---

<sup>5</sup> Nous avons représenté en couleur rouge l'écart du niveau de bruit enregistrée qui est au-dessus des seuils recommandés par la réglementation algérienne et qui est de 70 dB

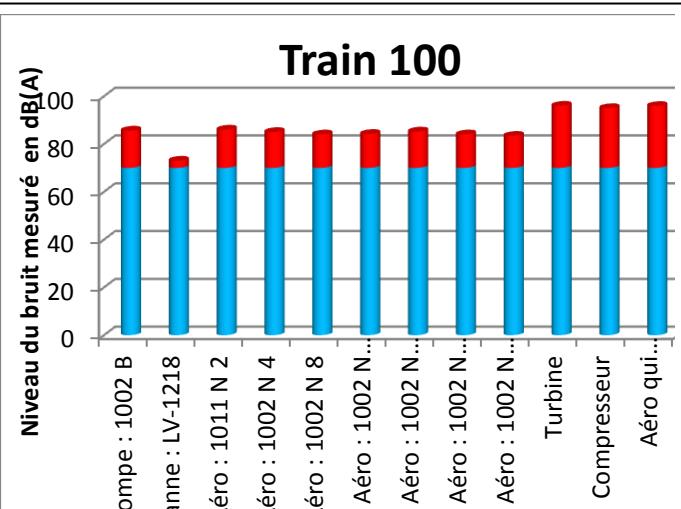


Figure I.13: Représentation des niveaux de bruit enregistré au niveau de train 100

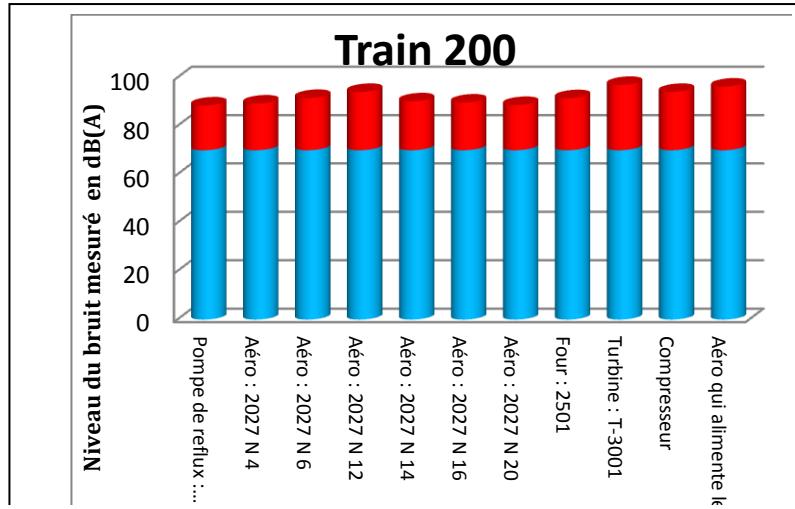


Figure I.14: Représentation des niveaux de bruit enregistré au niveau de train 200

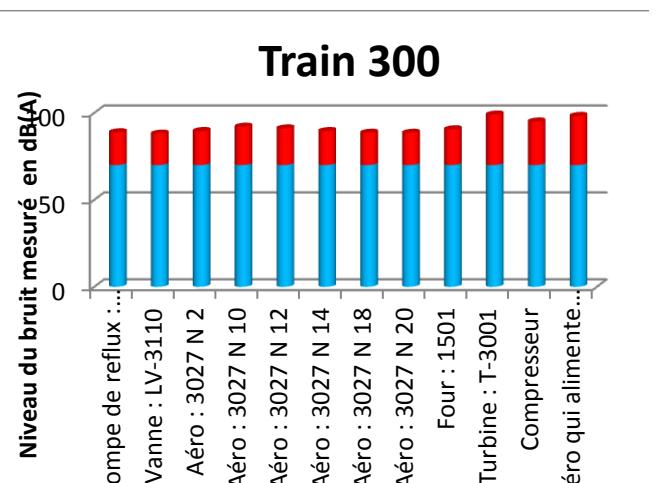


Figure I.15: Représentation des niveaux de bruit enregistré au niveau de train 300

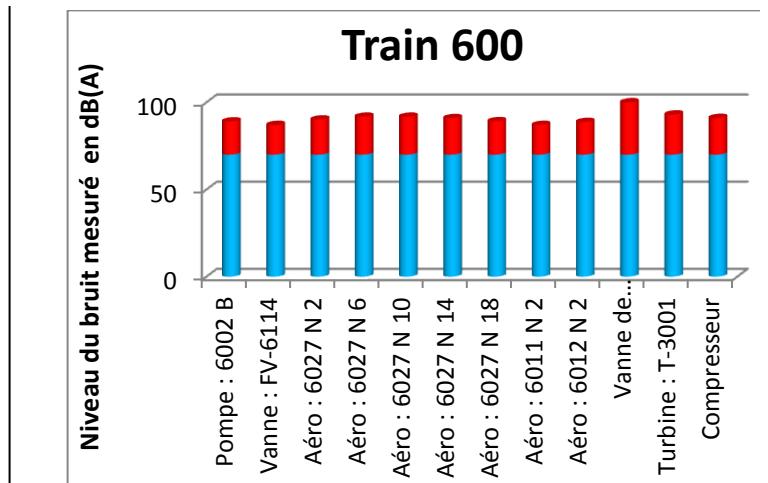
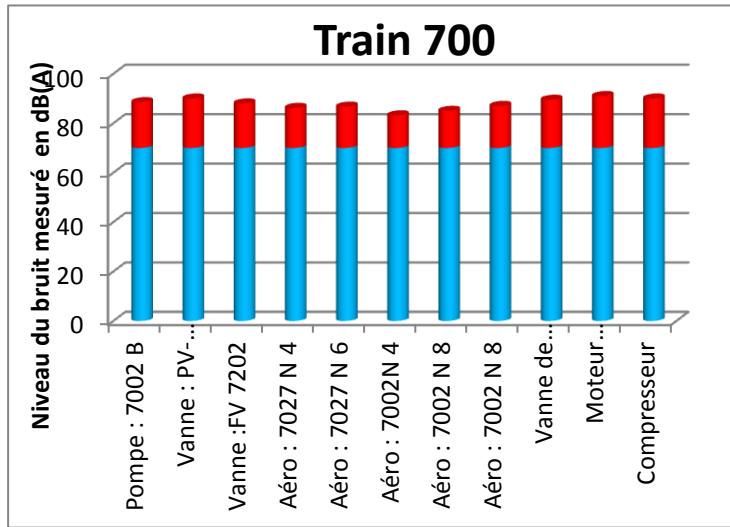
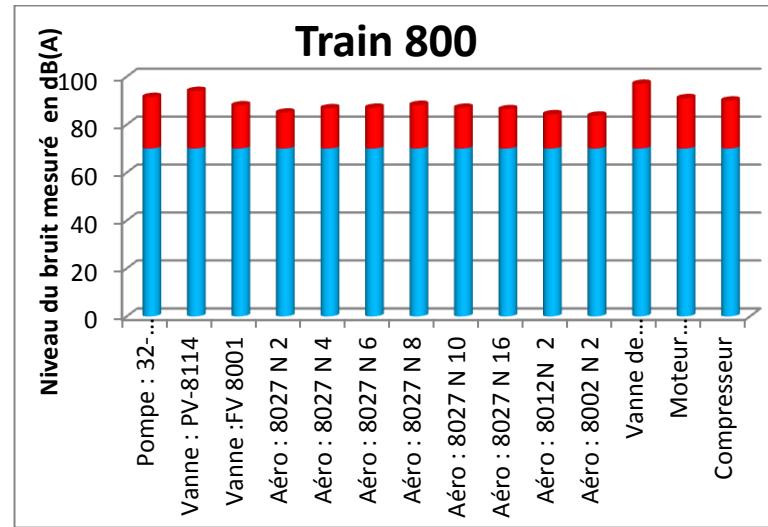


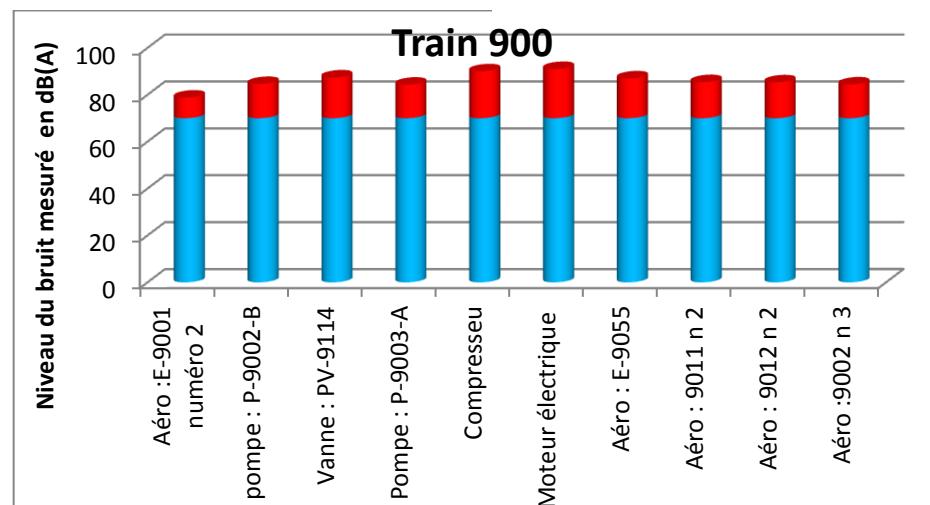
Figure I.16: Représentation des niveaux de bruit enregistrée au niveau de train 600



**Figure I.17:** Représentation des niveaux de bruit enregistré au niveau du train 700



**Figure I.18:** Représentation des niveaux de bruit enregistré au niveau du train 800



**Figure I.19:** Représentation des niveaux de bruit enregistré au niveau de train 900

Nous observons dans les figures 13-14 que le niveau de bruit des trains 100 et 200 est plus élevé et peut atteindre les 96 dB. Ceci constitue une menace majeure pour les travailleurs qui sont obligés de porter un casque de protection anti bruit. Ainsi, d'après les résultats trouvés dans la figure 15 nous constatons qu'il y a un niveau du bruit inhabituel dans le train 300, Ceci est principalement dû à la turbine qu'il est fourni un bruit inacceptable de 99 dB. La figure 16 montre que le niveau de bruit est sensiblement inférieur par rapport aux trains 200 et 300, mais il reste toujours supérieur au seuil recommandé par la loi algérienne 70 dB. Toutefois, il y a une nouvelle source d'émission du bruit qui a été détecté dans ce train et qui n'est pas prise en compte dans les trains précédents, c'est la vanne de refoulement du compresseur. Ce bruit se manifeste par le fait que la vanne est traversée par un grand débit de gaz de 130 bars,

Les résultats de mesure de bruit au niveau de **la phase III** de la zone d'exploitation sont représentés dans les figures 17, 18 et 19 .Ces résultats montrent clairement que :

- Le train 700 est le train le plus approprié pour les travailleurs en comparaison avec les trains précédents. Malgré que ce train possède des niveaux peu élevés par rapport au seuil recommandé de 70 dB,
- Les niveaux de bruit enregistrés dans le train 800 sont presque similaires au ceux enregistrés par le train 700. Si on doit classer les trains qui ont le moins d'effet pour la santé des travailleurs. Ce train est classé en deuxième position après le train 700.
- Les valeurs du niveau de bruit des pompes et des aéros qui sont enregistré dans le train 900 sont habituelles. Cependant, les niveaux de bruit enregistré par le moteur électrique et le compresseur sont légèrement inférieurs par rapport aux autres trains, ce qui confirme l'interprétation donnée précédemment qui stipule que les motocompresseurs sont peut bruyants par rapport aux turbocompresseurs.

#### **I.7.3.2. La zone de stockage :**

Le tableau ci-dessous représente les conditions météorologiques qui sont enregistrées le jour de mesure :

## Partie pratique I : Etude acoustique de bruit générée par les unités industriel

---

**Tableau I.14 :** Les conditions météorologiques au niveau de la zone de stockage du complexe GP1/Z

Zone de stockage	Les conditions météorologiques			
	Température (°C)	Humidité (%)	Vitesse du vent (m/s)	Direction du vent
BOG	13,44 °C	60	4	Est
Bac	17,00 °C	60	4	Sud-ouest
Sphère	15,50 °C	60	4	Est

Les résultats de mesure qui sont enregistrées au niveau de la zone de stockage sont regroupés dans le tableau suivant :

**Tableau I.15 :** les niveaux de bruit enregistré au niveau de la zone de stockage du complexe GP1/Z

Zone de stockage					
BOG		SPHERES		BACS	
Machine	Niveau de bruit	Machine	Niveau de bruit dB(A)	Machine	Niveau de bruit dB(A)
Compresseur 34-C-0002 A	89,3	Bac T1	65,0	T 21	84,0
Compresseur 34-C-0002 B	91,5	Bac T2	72,0	T22	73,0
Compresseur 34-C-0002 C	89,6	Bac T3	83,6	T17 (travaux du sablage a côté)	89,0
Compresseur 34-C-0003 A	88,1	Bac T4	71,0	T13	81,0
Pompe 34-P531A	79,5	Bac T5	61,0	T27	74,0
Aéros BOG	87,7	Bac T6	72,4	T24	83,0
		Bac T7	83,0	T26	67,0
		Bac T8	58,0		

### Interprétation des résultats

## *Partie pratique I : Etude acoustique de bruit générer par les unités industriel*

---

Les tableaux ci-dessus résument les mesures du bruit réalisées dans différents sites de la zone du stockage. On observe que le bruit est élevé mais supportable dans les sphères et les bacs des stockages par contre, il faut souligner une légère diminution du niveau de bruit en comparaison avec ceux générés par les trains.

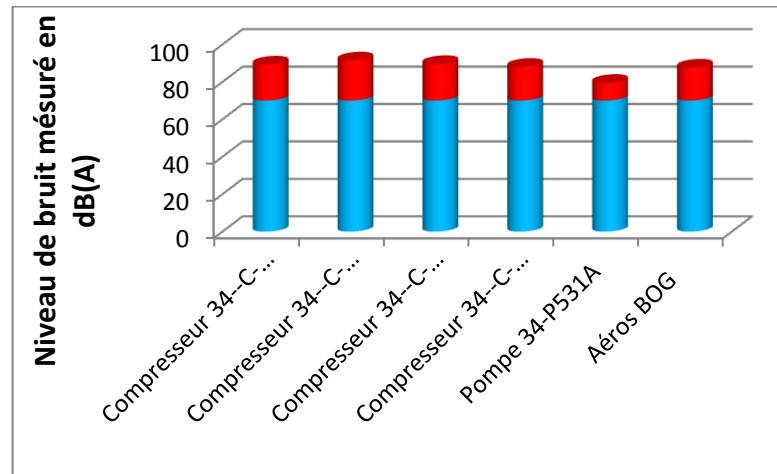


Figure I.20: Représentation des niveaux de bruit enregistré au niveau du BOG

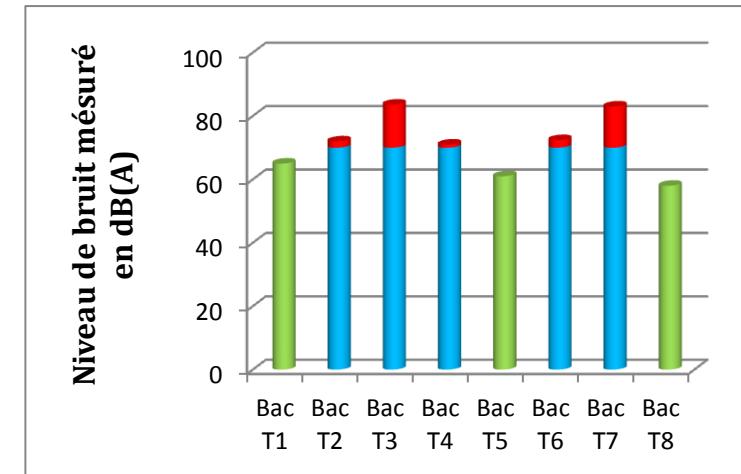


Figure I.21 : Représentation des niveaux de bruit enregistré au niveau des bacs

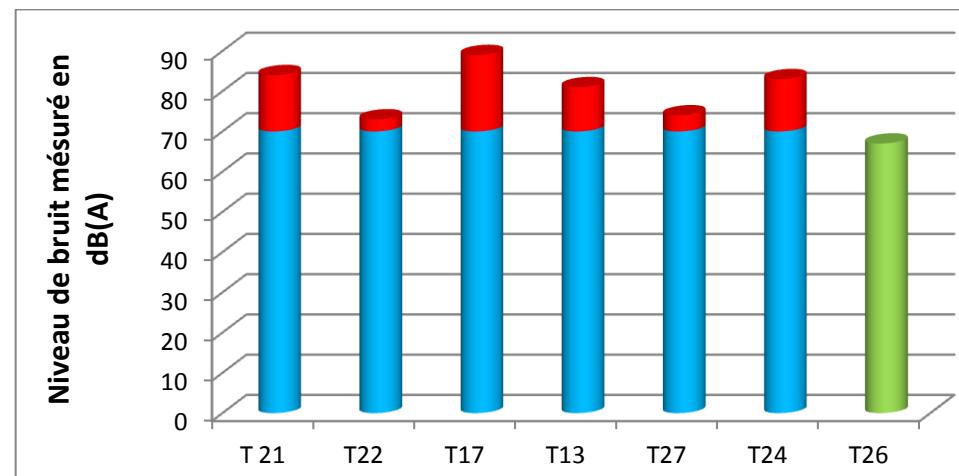


Figure I.22: Représentation des niveaux de bruit enregistré au niveau des sphères

## *Partie pratique I : Etude acoustique de bruit générer par les unités industriel*

---

Les histogrammes représentés dans les figures 23 à 25, nous amène à constater que :

- Le bruit généré par les machines tournantes dans la section BOG de la zone de stockage peut atteindre le 91 dB. On se situe largement au-dessus des normes autorisées.
- Il y a une diminution significative du niveau de bruit au niveau des Bacs de stockage en raison de l'absence des compresseurs. Dans cette zone il y a juste quelques pompes qui émergent dans les bacs et qui ne sont pas aussi gênantes que les compresseurs.
- Au niveau des sphères de stockage nous avons remarqué l'absence des équipements bruyant mais le niveau le niveau sonore enregistré était élevé . Ceci est du aux travaux de sablage qui ont eu lieu le jour du prélèvement des mesures au niveau des sphères T18, T 25.

# PARTIE

# PRATIQUE II

## Partie pratique II : Etude acoustique de bruit générer par les unités industrielles en limite batterie

---

### INTRODUCTION

La proximité entre les sites industriels et les zones d'habitation qui engendre très souvent des conflits liés au bruit nécessitent l'intervention d'un expert, acoustique pour résoudre et pour protéger le voisinage aux exposition de bruit provenant des complexes de la zone industriel d'Arzew. Nous avons donc consacré cette deuxième partie à l'évaluation des émissions sonores générées par plusieurs usines pétrolières et gazières situées dans la zone industrielle ARZEW et à la vérification de l'application des lois relatives à la limitation des niveaux de bruits émis dans l'environnement par les différentes installations. Nous avons orientés notre étude sur les mesures du bruit en périphérie des usines appelée « limite en propriété », également appelée « limite batterie ».

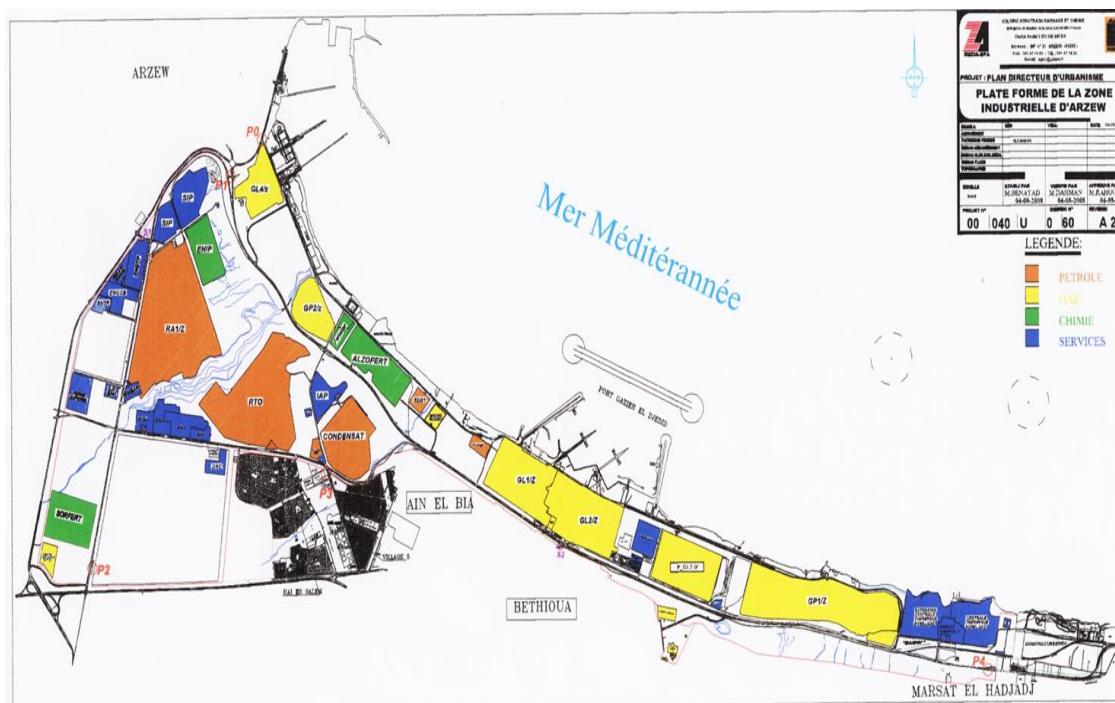
#### II.1.Matériel et méthode :

La réglementation algérienne fixe, pour chaque période de la journée (diurne et nocturne), les niveaux de bruit à ne pas dépasser en limite batterie de site industriel, déterminés de manière à assurer le respect des valeurs d'émergences admissibles. Les valeurs fixées par l'arrêté d'autorisation ne peuvent excéder 70 dB(A) pour la période jour et 45 dB(A) pour la période nuit en limite batterie. Notre démarche comprend deux étapes :

- Des relevés de mesure en limite batterie, sachant que les points de mesures correspondent au positionnement des sources de bruit pour chaque complexe pétrolier.
- Vérification de la conformité des mesures relevées avec la réglementation algérienne.
- Dans notre étude, les relevés de mesure sont effectués en période diurne, de la période s'étalant du 20 mars 2016 au 31 mai 2016. La mesure du bruit en limite batterie est, quant à elle, réalisée selon la norme NFS 31 010. Toutefois, à cause de certaines autorisations que nous n'avons pas pu obtenir, il nous a été impossible de réaliser des mesures en nocturne à l'intérieur de la zone industrielle d'Arzew. Ainsi, Pour des raisons de production, tous les équipements ne peuvent pas être arrêté (ils fonctionnent 24H /24H). A cet effet, nous avons réalisé notre série de mesurage selon la méthode dite du point masqué, cette méthode définie dans la norme NFS 31-010 relative aux mesure de bruit dans l'environnement, elle permet d'estimer le niveau sonore résiduel d'un site industriel sans contraindre son arrêt.

## Partie pratique II : Etude acoustique de bruit générer par les unités industrielles en limite batterie

- Compte tenu de la diversité des sources de bruit présentes sur les sites, ainsi que du fonctionnement en continu des systèmes de production, aucun emplacement de mesure n'a pu être identifié pour caractériser de manière représentative le niveau de bruit résiduel des sites.
- Les équipements de mesure qui sont utilisées sont les mêmes que ceux utilisés dans la première partie de notre travail.
- Les mesures intègrent les phases d'activité qui donnent lieu à des émissions de bruit représentatives d'une journée normale d'exposition du site. Les mesures ont été réalisées selon la norme NF-S 31-010 relative aux mesures acoustiques dans l'environnement.



**Figure II.1 :** Plan de masse générale de la zone industriel d'Arzew.

### II.1.1. Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques peuvent influer et perturber le résultat des mesurages et plus particulièrement par action sur le microphone. Il convient donc de ne pas faire de mesurage quand la vitesse du vent est supérieure à  $5 \text{ m.s}^{-1}$ , en cas de pluie marquée et lorsque la source de bruit est éloignée. Le niveau de pression acoustique mesuré est fonction des conditions de propagation liées à la météorologie. Cette influence est d'autant plus importante que l'on s'éloigne de la source. Néanmoins, dans notre étude, les relevés

## Partie pratique II : Etude acoustique de bruit générer par les unités industrielles en limite batterie

---

météorologiques pendant tous les jours des mesurage sont conformes à la norme. Les mesurages se sont déroulés dans des conditions favorable.

### II.1.2. Niveaux sonores en limites de propriété

Les valeurs sont arrondies à 0,5 dB(A) près. **Période diurne (7h-22h) :**

#### Sources sonores dans l'environnement des sites :

- Trafic routier sur la route, avoisinante (l'axe principale de complexe presque 17 km).
- Passage des travailleurs.
- Travaux de peinture, désherbage, etc.

#### Sources sonores sur les sites :

- Aéros, compresseurs, pompes, turbines, etc.
- Installations de production

### II.2. Résultats et discussions

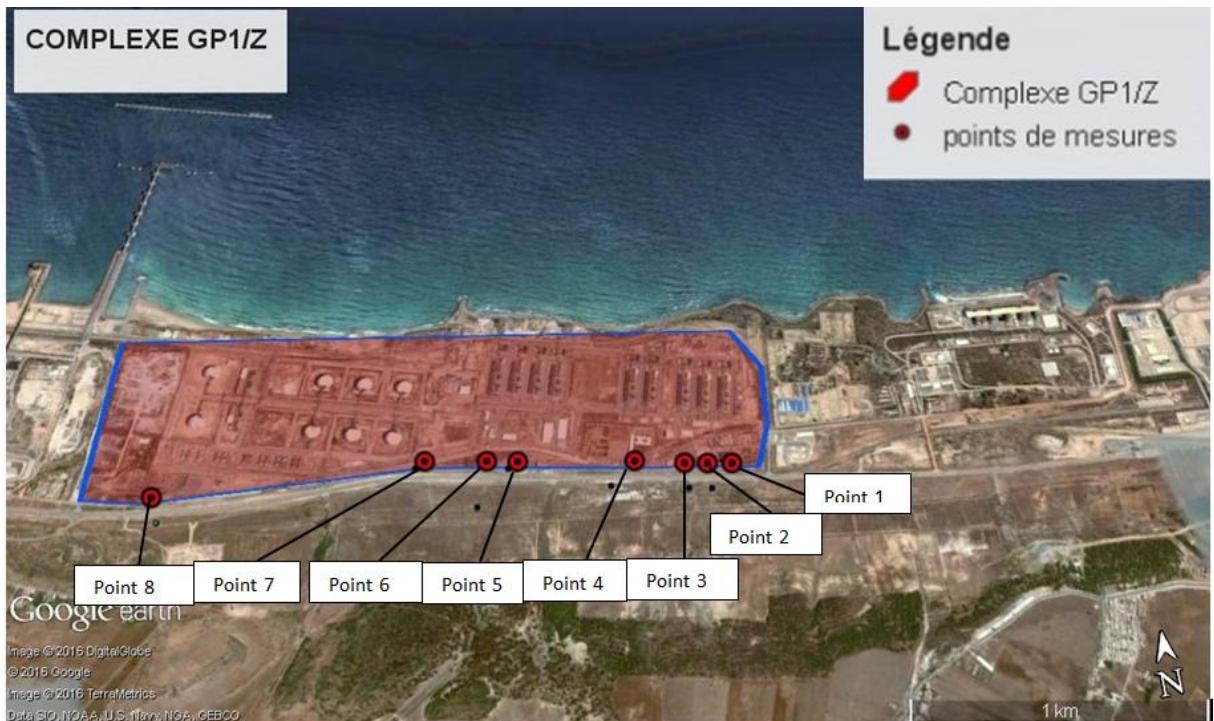
Notre étude est consacré principalement d'une part à : mesurer, évaluer et déterminer les niveaux de bruit émis par les complexes de la zone industriel ARZEW en limites batterie. Nous essayerons de contribuer à identifier les origines de la transmission du bruit par voie aérienne ou solidaire qui sont susceptibles de compromettre la santé ou la sécurité du voisinage ou de constituer une nuisance pour celui-ci.

Dans notre recherche nous avons réalisé des mesurages successifs aux complexes GP1Z, GL1, GL2, GL3 et SORFERET conformément à la norme NF S 31-010 « Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement » sans déroger à aucune de ses dispositions. La méthode utilisée est la méthode dite « d'expertise ».

Nous avons commencé nos mesures par le complexe GP1 /Z car il est caractérisé par une grande surface de 120 hectares et il contient neuf (09) trains de traitement de gaz qui émettent des niveaux de bruit très élevés. Huit points de mesures ont été réalisés. Les emplacements de ces points sont définis sur le plan ci-dessous.

## Partie pratique II : Etude acoustique de bruit générer par les unités industrielles en limite batterie

### II.2.1. Complexe GP1Z :



**Figure II.2 :** Positions de mesurage de bruit en limites batterie pour le complexe GP1/Z.

La ligne en bleu désigne la limite batterie du site. Les points en rouge désignent la position des sonomètres. Durant les mesures, le fonctionnement du site était effectif.

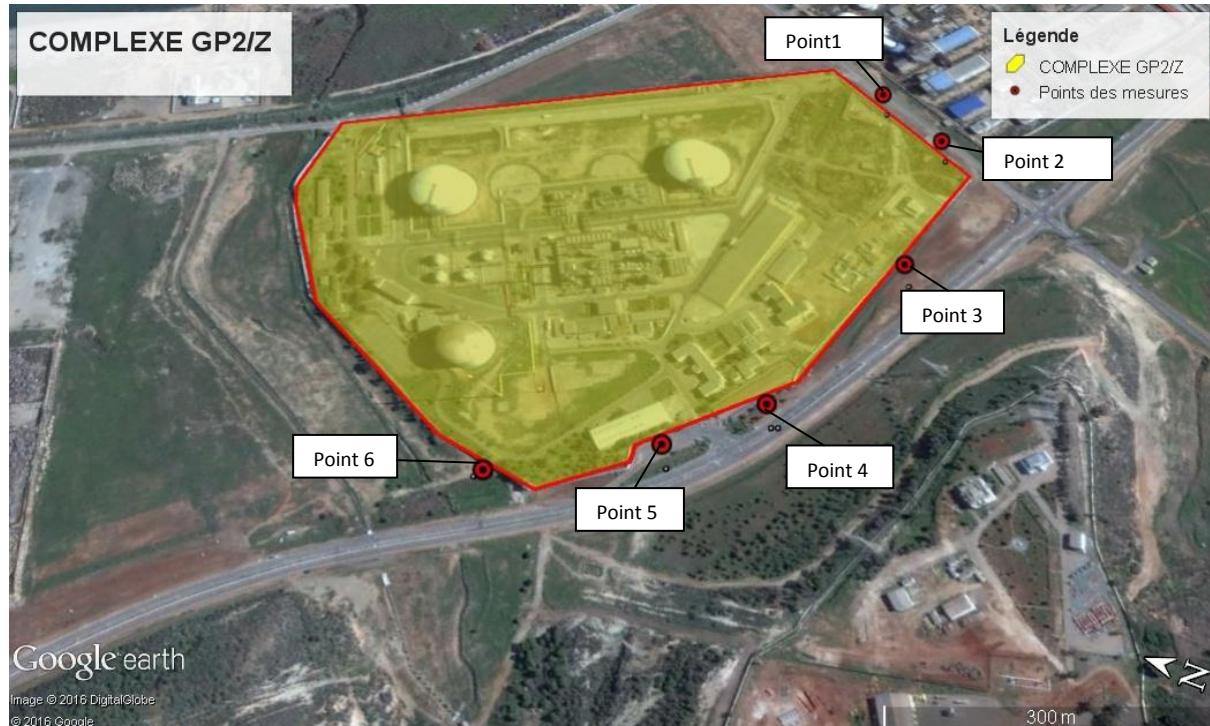
Le tableau ci-dessous représente les niveaux de bruit enregistré, les valeurs sont arrondies à 0,5 dBA près :

**Tableau II.1 :** Résultats de mesure de bruit en limites batterie de complexe GP1Z

Points	Coordonnées spatiales	Niveau de bruit ambiant en dB(A)	Niveau autorisé en dB(A)	Conformité
N° 1	35°47'47,15°N/0°12'23,77°E	50,0	70,0	Oui
N°2	35°47'52,0°N/0°12'27,27°E	61,0	70,0	Oui
N°3	35°47'48,43°N/0°12'31,78°E	53,5	70,0	Oui
N°4	35°47'49,57°N/0°12'38,51°E	47,5	70,0	Oui
N°5	35°47'52,31°N/0°12'55,21°E	51,0	70,0	Oui
N°6	35°47'53,09°N/0°13'0,13°E	54,0	70,0	Oui
N°7	35°47'54,77°N/0°13'10,17°E	49,0	70,0	Oui
N°8	35°47'55,39°N/0°13'41,05°E	48,5	70,0	Oui

## Partie pratique II : Etude acoustique de bruit générer par les unités industrielles en limite batterie

### II.2.2.Complexe GP2/Z :



**Figure II.3:** Positions de mesurage de bruit en limites batterie pour le complexe GP2/Z.

**Tableau II.2:** Résultats de mesure de bruit en limites batterie de complexe GP2Z

COMPLEXE GP2Z				
Points	Coordonnées spatiales	Niveau de bruit ambiant en dB(A)	Niveau autorisé en dBA	Conformité
N° 1	35°49'41.43"N/ 0°17'58.68"O	69,0	70,0	Oui
N°2	35°49'38.80"N/ 0°18'0.61"O	47,0	70,0	Oui
N°3	35°49'38.79"N/ 0°18'7.56"O	52,0	70,0	Oui
N°4	35°49'41.92"N/ 0°18'16.90"O	52,0	70,0	Oui
N°5	35°49'45.30"N/ 0°18'20.82"O	69,0	70,0	Oui
N°6	35°49'49.74"N/ 0°18'23.61"O	50,0	70,0	Oui

## Partie pratique II : Etude acoustique de bruit générer par les unités industrielles en limite batterie

### II.2.3. Complexe GL3 /Z :



**Figure II.4 :** positions de mesurage de bruit en limites batterie pour le complexe GNL3/Z.

**Tableau II.3:** Résultats de mesure de bruit en limites batterie de complexe GNL3

COMPLEXE GNL3				
Points	Coordonnées spatiales	Niveau de bruit ambiant en dB(A)	Niveau autorisé en dBA	Conformité
N° 1	35°48'14.99"N/ 0°14'4.16"O	53,0	70,0	Oui
N°2	35°48'11.96"N/ 0°14'4.83"O	51,0	70,0	Oui
N°3	35°48'10.02"N/ 0°14'5.25"O	53,0	70,0	Oui
N°4	35°48'7.60"N/ 0°14'6.40"O	49,0	70,0	Oui
N°5	35°48'4.27"N/ 0°14'7.29"O	49,0	70,0	Oui
N°6	35°48'2.50"N/ 0°14'9.12"O	48,0	70,0	Oui
N°7	35°48'2.66"N/ 0°14'14.35"O	56,0	70,0	Oui
N°8	35°48'3.59"N/ 0°14'17.83"O	50,0	70,0	Oui

## Partie pratique II : Etude acoustique de bruit générer par les unités industrielles en limite batterie

N°9	35°48'5.61"N/ 0°14'25.61"O	61,0	70,0	Oui
N°10	35°48'6.71"N/ 0°14'30.51"O	53,0	70,0	Oui
N°11	35°48'7.83"N/ 0°14'34.96"O	54,0	70,0	Oui
N°12	35°48'8.90"N/ 0°14'38.34"O	57,0	70,0	Oui
N°13	35°48'9.37"N/ 0°14'40.38"O	52,0	70,0	Oui
N°14	35°48'9.87"N/ 0°14'42.13"O	51,0	70,0	Oui
N°15	35°48'10.65"N/ 0°14'45.09"O	50,0	70,0	Oui

### II.2.4. COMPLEXE GL1 /Z



**Figure II.5:** Positions de mesure de bruit en limites batterie pour le complexe GNL1/Z.

**Tableau II.4:** Résultats de mesure de bruit en limites batterie de complexe GNL1Z

COMPLEXE GL1 /Z				
Points	Coordonnées spatiales	Niveau de bruit ambiant en dBA	Niveau autorisé en	Conformité

## Partie pratique II : Etude acoustique de bruit générer par les unités industrielles en limite batterie

			dBA	
N° 1	35°48'32,71°N/0°15'59,21°0	60,0	70,0	Oui
N°2	35°48'34,42°N/0°16'3,08°0	63,0	70,0	Oui
N°3	35°48'35,53°N/0°16'5,84°0	63,0	70,0	Oui
N°4	35°48'35,36,65°N/0°16°9,13°0	67,0	70,0	Oui
N°5	35°48'37,99°N/0°16'12,26°0	66,0	70,0	Oui

### II.2.5. COMPLEXE GL2 /Z



**Figure II.6:** positions de mesurage de bruit en limites batterie pour le complexe GNL2/Z.

**Tableau II.5:** Résultats de mesure de bruit en limites batterie de complexe GNL2/Z

COMPLEXE GL2 /Z				
Points	les coordonnées spatiales	Niveau de bruit ambiant en dBA	Niveau autorisé en dBA	Conformité
N° 1	35°48'21,96°N/0°15'33,13''0	62,0	70,0	Oui
N°2	35°48'22,90°N/015'36,90''0	56,0	70,0	Oui
N°3	35°48'24,21''N/0°15'40,50''N	58,0	70,0	Oui
N°4	35°48'25,44''N/0°15'43,81''0	54,0	70,0	Oui
N°5	35°48'27,68°N/0°15'49,11''0	60,0	70,0	Oui

## Partie pratique II : Etude acoustique de bruit générer par les unités industrielles en limite batterie

### II.2.6.Complexe FERTIALE



**Figure II.7 :** positions de mesurage de bruit en limites batterie pour le complexe GP1/Z.

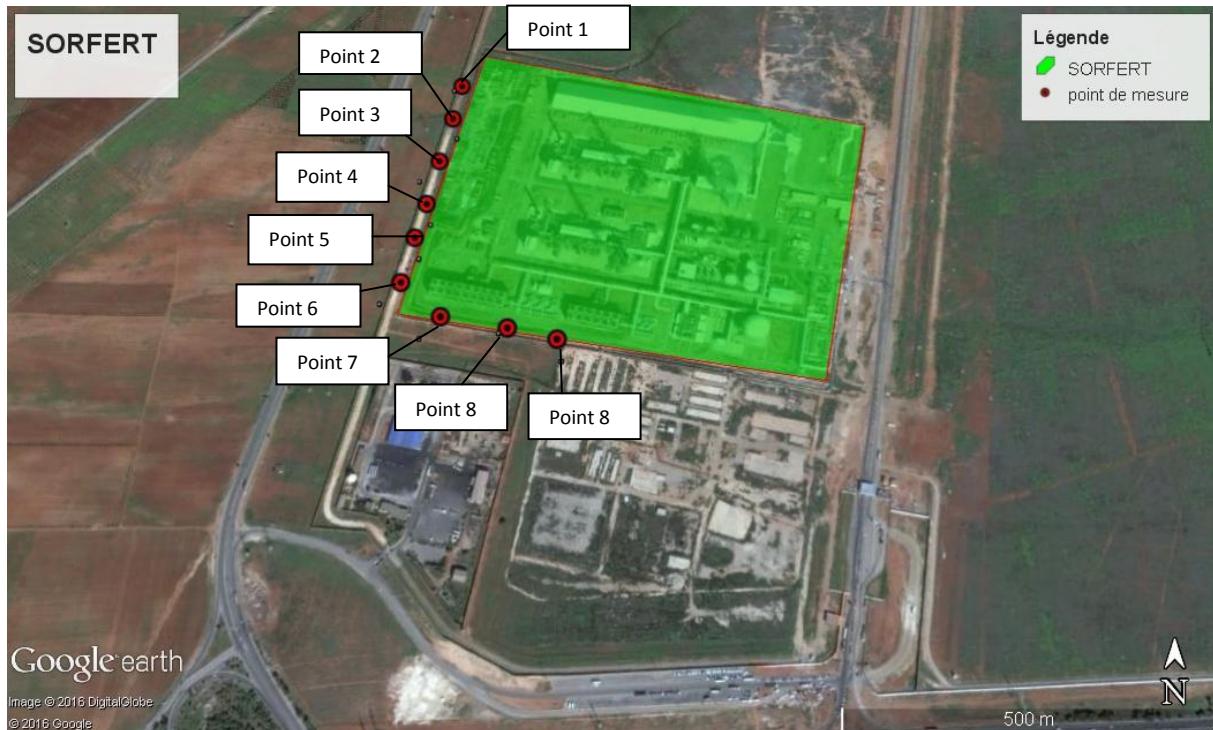
**Tableau II.6:** Résultats de mesure de bruit en limites batterie de complexe FERTIAL

COMPLEXE FERTIALE				
Points	Coordonnées spatiales	Niveau de bruit ambiant en dBA	Niveau autorisé en dBA	Conformité
N° 1	35°49'16.86"N/ 0°17'16.23"O	53,0	70,0	Oui
N° 2	35°49'14.67"N/0°17'22.87"O	47,0	70,0	Oui
N°3	35°49'21.20"N/ 0°17'33.98"O	53,0	70,0	Oui
N°4	35°49'26.07"N/ 0°17'41.53"O	56,0	70,0	Oui
N°5	35°49'30.81"N/ 0°17'50.76"O	47,0	70,0	Oui
N°6	35°49' 34.39"N/ 0°17'54.97"O	50,0	70,0	Oui
N° 7	35°49'38.16"N/0°17'58.70"O	52,0	70,0	Oui
N° 8	35°49'42.19"N/0°17'56.49"O	49,0	70,0	Oui

Nous remarquons que les niveaux en limite batteries relevés lors de l'activité du site GP1Z, GNL1, GNL2, GP2Z, présentent des valeurs inférieures aux valeurs admissibles et sont donc conformes avec la réglementation algérienne.

## Partie pratique II : Etude acoustique de bruit générer par les unités industrielles en limite batterie

### II.2.7. Complexe SORFERT



**Figure II.8:** Positions de mesurage de bruit en limites batterie pour le complexe GNL3/Z.

**Tableau II.7 :** Résultats de mesure de bruit en limites batterie de complexe SORFERT

COMPLEXE SORFERT			
Points	Niveau de bruit ambiant en dBA	Niveau autorisé en dBA	Conformité
N° 1	67,0	70,0	Oui
N°2	69,0	70,0	Oui
N°3	68,0	70,0	Oui
N°4	66,0	70,0	Oui
N°5	68,0	70,0	Oui
N°6	73,0	70,0	NON
N°7	68,0	70,0	Oui
N°8	67,0	70,0	Oui
N°9	70,0	70,0	NON
N°10	67,0	70,0	Oui

## Partie pratique II : Etude acoustique de bruit générer par les unités industrielles en limite batterie

---

Lors de la réalisation des séries de mesurage en limite batterie, nous avons observé les particularités suivantes :

- En raison de passage de véhicules sur la route principale de la zone industrielle, les niveaux de bruit maximum en limites de propriété sont peu élevés dans les points de mesure situés au voisinage de la route.
- En raison de extinction/déclenchement de certain équipement à l'intérieur des complexes, des écarts significatifs sont relevés entre les niveaux de bruit ambiant en limites batterie.
- En raison des grands équipements de compression qui sont situés à l'intérieur du complexe Sorfert, le niveau de bruit en limite batterie, a était supérieur aux seuils admissible dans deux emplacements.
- Quel que soit le point de mesurage, les niveaux de bruit observés en limite batterie en période diurne sont inférieurs au seuil admissible, sauf dans le cas du complexe Sorfert.
- Nous avons observé que les premiers habitants au voisinage des complexes sont implantés à moins de 500 m du complexe. Comme, les niveaux de bruits sont situés au-dessous de seuil admissible, alors le risque est extrêmement faible.

### Interprétations des résultats :

D'après les résultats de mesurage que nous avons obtenu, nous constatons que la majorité des complexes de la zone industrielle d'Arzew respectent la bonne application des normes relatif à la limitation des bruits émis dans l'environnement par les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) et ce, grâce à :

- (1). L'éloignement des sources de bruit à l'intérieur des sites et la grande superficie des complexes qui permet la décroissance du flux de bruit entre source et limites batterie.
- (2). Certains complexes prennent en considération un nombre important des moyens de sécurité afin de lutter contre le bruit.
- (3). Certains complexes possèdent des nouvelles technologies de production qui sont moins bruyants, c'est le cas du complexe GNL3.

## Partie pratique II : Etude acoustique de bruit générer par les unités industrielles en limite batterie

---

Cette étude nous a conduits aussi à connaitre les vraies principales sources de bruit qui présentent une nuisance sonores pour les riverain habitant à proximité de la zone industriel d'Arzew. Ceux sont les bruits provenant du voisinage et du trafic routier. Les origines de ces bruits ne sont donc pas les complexes de la zone industriel.

### **Conclusion :**

Au terme de l'étude réalisée, nous constatons que la majorité des complexes de la zone industrielle d'Arzew ne représente pas une origine de transmission de bruit pour les riverains habitants à côté de la zone (la population d'Arzew, Batewa, Marsat El Hadjadj,etc).

Cependant, les valeurs de bruit trouvées dans les limites batterie des complexes ne sont pas largement au-dessous des valeurs admissibles par la règlementation algérienne.

A cet effet, il est nécessaire de réaliser des cartographies de bruit afin de traiter, identifier et contrôler les principales sources de bruit.

Enfin, pour pouvoir prévoir des solutions de réduction de bruit, nous recommandons aux autorités de la zone industriel d'implantés des actions de réduction de bruit à la source, à la propagation et notamment à la réception.

# PARTIE PRATIQUE III

# Partie pratique III : Simulation et réalisation des cartographies de bruit

---

## Introduction :

Depuis la première annonce de la directive Européenne 2002/49/EC, relative à l'évaluation et la gestion du bruit dans l'environnement, la nécessité de la cartographie de bruit est devenue très importante. La cartographie de bruit est une outil qui est largement utilisé dans différent domaines : environnement, acoustique, pollution, etc. Plusieurs méthodes ont été adopté pour assurer le bon pratique de la simulation des données de bruit afin d'établir une cartographie de bruit. Cependant l'utilisateur doit maîtriser plusieurs paramètres pour pouvoir faire une cartographie de bruit :

- La connaissance des Normes Internationaux ex : ISO 9613, ANSI, NFS, etc. notamment, le champ et domaine d'application, description, formules, détails et cas de test)
- La bonne maîtrise des logiciels de la simulation de bruit. Qui conduit à la vitesse de traitement des données, flexibilité de la modélisation et de l'orientation sur l'utilisation.
- La bonne lecture de la notice d'utilisation. Car la documentation technique de qualité est l'outil le plus efficace pour assurer la bonne utilisation de logiciel.
- L'utilisateur doit analyser la qualité et l'impact des données de bruit.

A cet effet nous avons consacré cette partie pour la réalisation des cartographies de bruit de telle sorte que la cartographie de bruit est l'une des meilleures façons de comprendre le bruit environnemental, on élabore les cartographies de bruit pour les raisons suivantes [01-02] :

1. Quantifier les principales sources de bruit
2. Illustrer clairement l'exposition au bruit environnemental pour fournir une référence aux autorités.
3. Faciliter l'élaboration de politiques de lutte contre le bruit et application du contrôle du bruit
4. Élaborer un plan coûts/bénéficier pour réduire le bruit dans les zones bruyantes.
5. Adopter une théorie pour examiner l'effet des plans d'amélioration de l'environnement sonore.
6. Surveiller les programmes de réduction du bruit et leur efficacité pendant le processus d'exécution.
7. Surveiller les tendances changeantes du bruit environnemental.

## Partie pratique III : Simulation et réalisation des cartographies de bruit

---

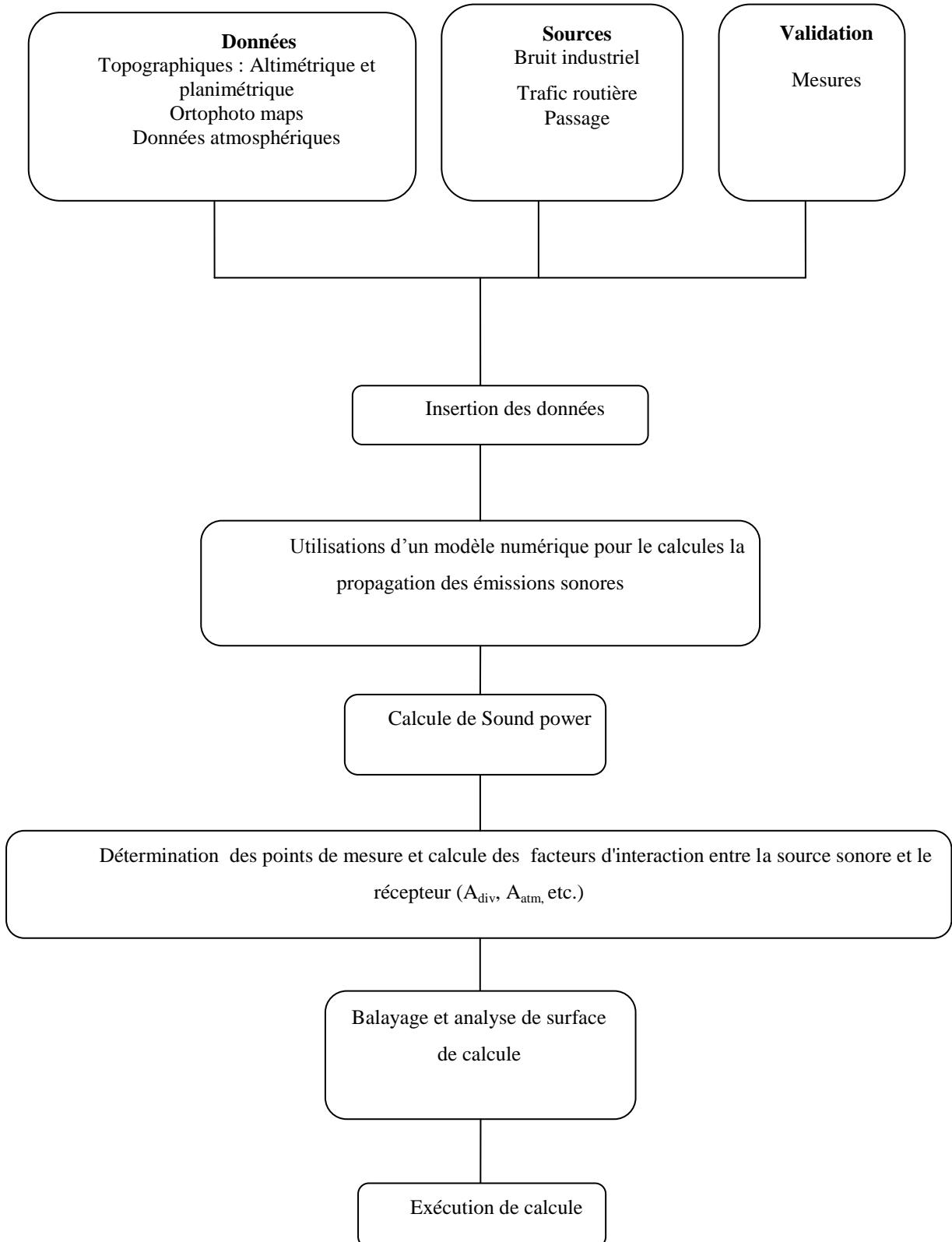
8. Fournir une plateforme de recherche pour étudier les effets du bruit sur le corps humain
9. Assurer le contrôle du bruit environnemental [03]
10. Obtenir des informations pour la planification de réduction du bruit [03]
11. Assurer des conditions de confort acoustique liées au développement de zones résidentielles, de zones industrielles et d'axes de transport dans les zones urbaines.
12. Valider les garanties de performance acoustique des équipements
13. La cartographie du bruit donne des informations concrètes sur la propagation du niveau de bruit extérieur en décrivant des situations réelles.
14. La cartographie du bruit est la meilleure façon de déterminer comment les niveaux de bruit extérieurs diffèrent par rapport à l'emplacement [04]

### **III.3. Démarche dans la réalisation de la cartographie de bruit en milieu industriel**

La cartographie du bruit dépend essentiellement de la détermination et de la description de la zone étudiée, y compris les sources de bruit (trafic routier, aérien, industriel et de construction), le nombre de personnes exposées (récepteurs), la topographie et les conditions météorologiques, le niveau de bruit équivalent A continu, niveau de pression et niveau de puissance sonore en dB (A) (ISO-2,1996; DIN45682,2002; WG-AEN, 2007). [05-06].

Pour réaliser une cartographie de bruit plusieurs paramètres doivent être pris en considération ; les facteurs d'interaction entre les sources sonores et le récepteur, l'atténuation due à la divergence géométrique ( $A_{div}$ ), Absorption au sol ( $A_{gr}$ ), diffraction par barrières ( $A_{bar}$ ), l'absorption atmosphérique ( $A_{atm}$ ), atténuation de la végétation intervenante et autre paramètres [03 et 07-17]. En plus de ces paramètres, il faut tenir compte de la température, l'humidité et la correction météorologique  $C_{met}$  [18] comme indiqué en ISO 9613-2. Ces paramètres sont bien expliqués au chapitre 1.

## Partie pratique III : Simulation et réalisation des cartographies de bruit



**Figure III.1:** Schéma de la méthodologie générale de la réalisation d'une cartographie de bruit[19]

## Partie pratique III : Simulation et réalisation des cartographies de bruit

---

### III.1.1. ISO 8297 [1]

La méthode de mesure et de calcul des niveaux de puissance acoustique pour les installations industrielles pratiques pour la cartographie stratégique du bruit est l'ISO 8297.

Ce que cette norme suggère en bref est [20] :

1.      Encercler l'usine avec des positions de mesure ;
2.      Mesurer les niveaux de pression acoustique ;
3.      Représenter l'usine en tant que source de zone avec un niveau de puissance acoustique calculé à partir du niveau moyen de pression acoustique moyen sur toutes les positions de mesure.

### III.1.2. Ingénierie inverse (Reverse engineering) :

L'ingénierie inverse est une méthode qui est développé pour la réalisation des cartographies de bruit destinées aux usines industriels de petite échelle. Ce model se base sur [21,22] :

1.      Le recueil des informations des sources de bruit importantes et leurs directivités avec un nombre maximum de mesures possibles. Dans le cas où on n'arrive pas à effectuer des mesures de bruit, on peut utiliser des bases de données contenant des informations sur le bruit des machines et de l'industrie.
2.      La réalisation d'un modèle d'une usine industrielle comprenant le terrain, les obstacles, l'absorption du sol et la métrologie.
3.      L'introduction (insertion) des positions de mesure dans le modèle à des endroits précis.
4.      La modélisation des sources de bruit industriel, en utilisant les sources surfaciques, linéaires et ponctuelles ou mobiles. Les sources surfaciques sont principalement utilisées pour représenter les sources sur les façades, telles que les portes, les ventilateurs, etc., et les zones sur lesquelles des personnes ou des machines qui n'ont pas de position fixe fonctionnent. Les sources linéaire sont utilisées pour représenter les canaux à vapeur, les lignes de montage et parfois les sources mobiles. Les sources ponctuelles représentent de petites sources de bruit des machines.
5.      Définir la directivité et le positionnement des sources et lancer le calcul.

## Partie pratique III : Simulation et réalisation des cartographies de bruit

---

### **III.2. Simulation et élaboration des cartographies de bruit générées par les complexes de la zone industriel d'Arzew :**

La simulation est définie comme étant la représentation d'un phénomène physique à l'aide de modèles mathématiques simples permettant de décrire son comportement. Autrement dit, la simulation permet de représenter les différents phénomènes : la propagation acoustique, le transfert de matière et de chaleur, etc. dans les différentes lieux et procédés chimique par des modèles physique, mathématique, thermodynamique, qui traduisent les comportement par l'intermédiaire de résolution des équations analytiques.

Concernant notre étude, nous avons utilisé le simulateur Code\_TYMPAN pour l'élaboration de la cartographie du bruit des complexes suivant : la central thermoélectrique, GP1Z, GNL1, GNL2.

Une fois les relevés des mesures réalisés, nous nous sommes attelés à faire une cartographie du bruit de la zone étudiée à l'aide du logiciel de simulation Cod-tympan.

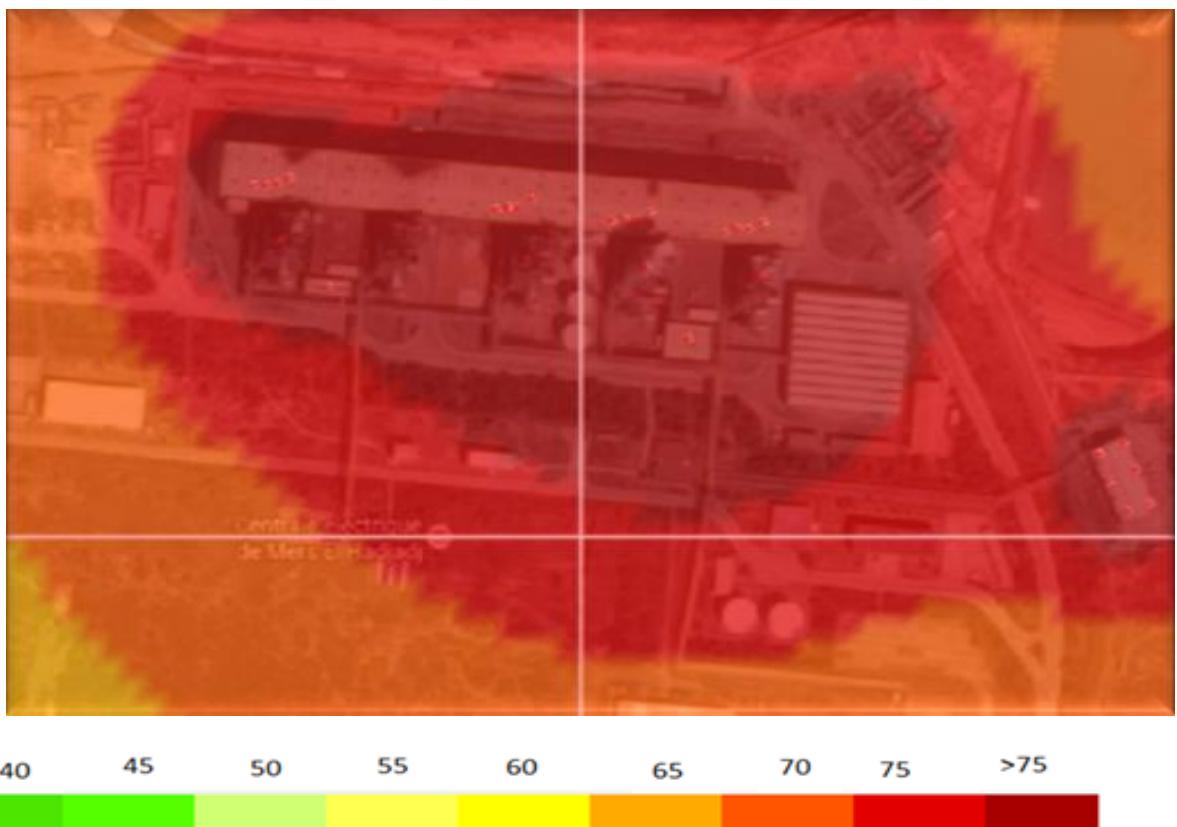
#### **III.2.1. Cartographie de bruit de la centrale thermoélectrique MARSAT El HADJAJ**

Nous allons dans cette dernière étape réaliser les cartographies du bruit et faire le bilan sonore générale de toutes les complexes étudiés dans la partie pratique, afin de faciliter la localisation des zones d'activités les plus bruyantes (repérer les zones de travail à risque) et guider le choix des priorités dans les programmes de réduction sonore. Soulignons d'autre part, que ces zones correspondent aussi à des lieux de forte exposition sonore pour le personnel.

A titre indicatif, au cours de l'effectuation de notre simulation nous avons choisi de simulé d'abord chaque zone de la centrale seule pour ensuite généraliser la simulation à toute la centrale.

## Partie pratique III : Simulation et réalisation des cartographies de bruit

---



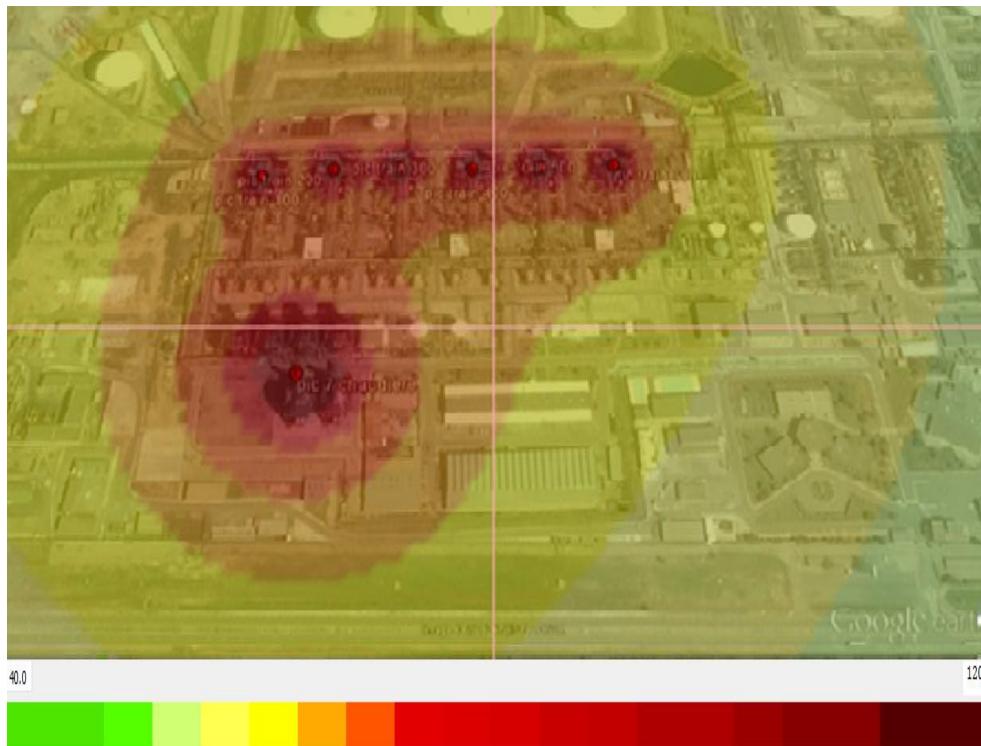
**Figure III.2 :** Cartographie générale du bruit de la centrale MARSAT EL HADJAJ

La figure ci-dessous représente les résultats de simulation de la centrale électrique, d'après cette figure nous remarquons que les niveaux de bruit les plus importants se situent :

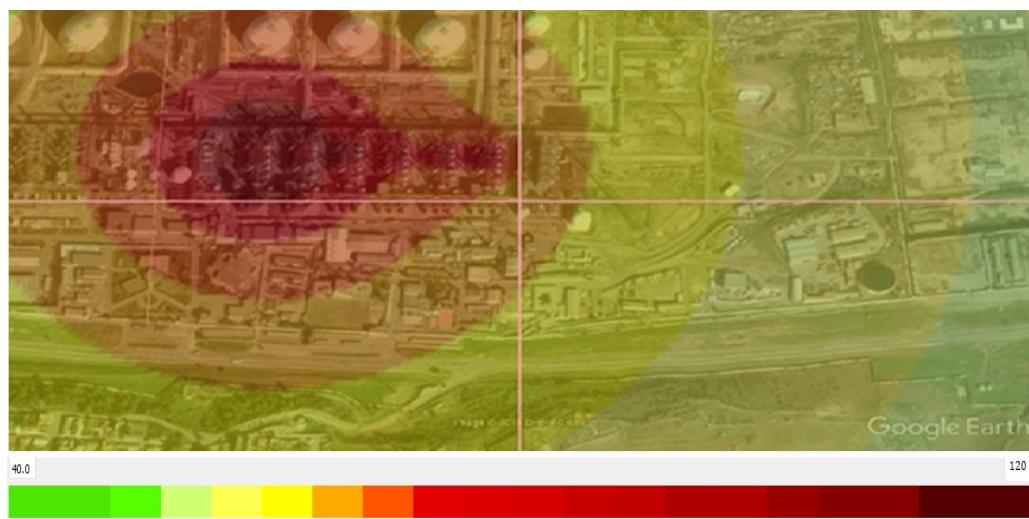
- A.** Au centre des groupes (1, 2, 3 et 5). En effet, c'est l'endroit où se trouve les machines les plus bruyantes (chaudière, turbine, pompe, etc.)
- B.** Au niveau des chaudières de la station de dessalement.
- C.** Au niveau de la zone d'utilité Station 1 (côté droit de l'image) et station 2 (côté gauche de l'image), Par comparaison entre les deux stations nous remarquons que la station 2 est moins bruyante que la station 1, autant que le compresseur de la station 1 est placé sur une dalle de béton qui vibre et amplifie le bruit et son volume est plus grand que le compresseur de la station 2.

## Partie pratique III : Simulation et réalisation des cartographies de bruit

### III.2.2. Cartographie de bruit de complexe GNL1 et GNL2 :



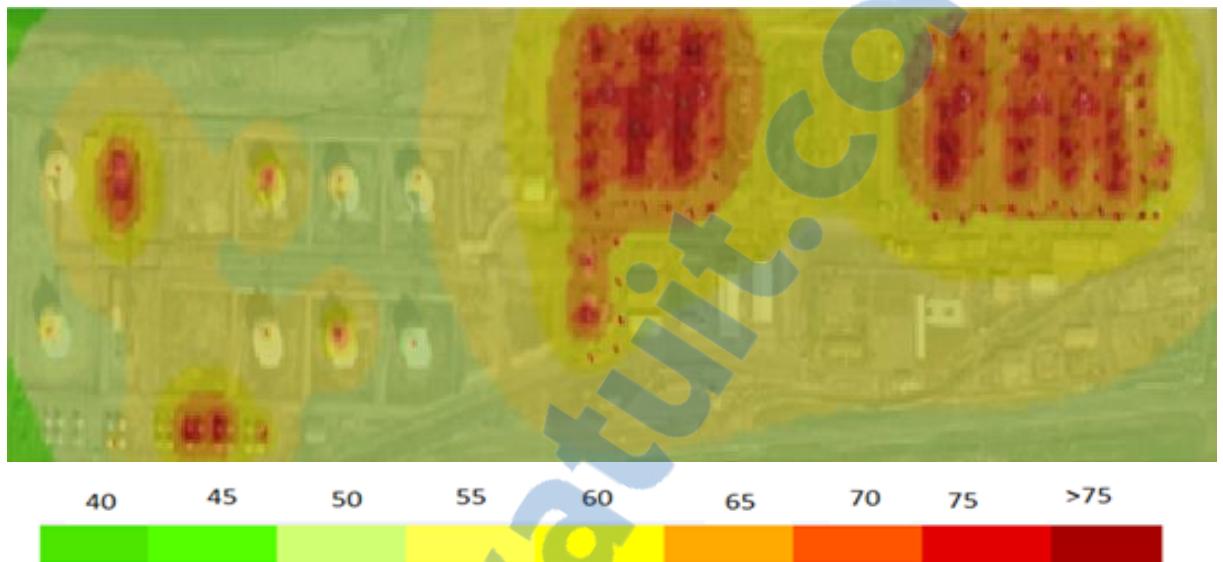
**Figure III.3 :** cartographie de bruit de complexe GNL1Z



**Figure III.4 :** Cartographie de bruit de complexe GNL2Z

Les figures ci-dessus représentent les cartographies de bruit pour les deux complexes GNL1 et GNL2. Nous remarquons d'après ces figures que le nuage de graduation de niveau de bruit s'étale entre les centres des trains jusqu'à périphéries (limites batterie), des complexes, Centre des trains qui corresponds aux sites des compresseur et des chaudières.

### III.2.3. La cartographie générale du bruit du complexe GP1/Z :



**Figure III.5 :** Cartographie générale du bruit du complexe GP1/Z

D'après cette cartographie de bruit de complexe GP1Z Nous constatons que :

- (1). Les niveaux de bruit les plus important sont situé au centres des trains d'exploitations, section BOG de la zone de stockage, zone utilité.
- (2). Les niveaux de bruit diminuent au fur et à mesure que l'on s'éloigne du centre des trains.
- (3). Les niveaux de bruits propagés aux limites batterie sont inférieur au seuil admissible par la réglementation algérienne.

### III.3. Exploitation et traitement de résultats de simulation

Dans les parties précédentes de notre travail nous avons déterminé et identifier les sources de bruit des unités industriel de la zone industrielle d'Arzew et aussi nous avons évalué les niveaux de bruit émis par ces sources de bruit. Dans cette partie on s'intéresse au contrôle de bruit générée par ces installations industrielles, A cet effet nous avons utilisé les résultats de simulations qui nous ont fourni des cartographies de bruit permettant de partager les zones bruyants des unités industriel en trois zones :

- (1). **Zone 1 :** cette zone est caractériser par une émission d'un taux de bruit très élevés, il dépasse 85 dB(A).
- (2). **Zone 2 :** cette zone est caractériser par une émission d'un taux de bruit moyenne mais il n'est pas supportable, il est compris entre : 65dB(A) <Zone 2< 85dB(A).

## Partie pratique III : Simulation et réalisation des cartographies de bruit

---

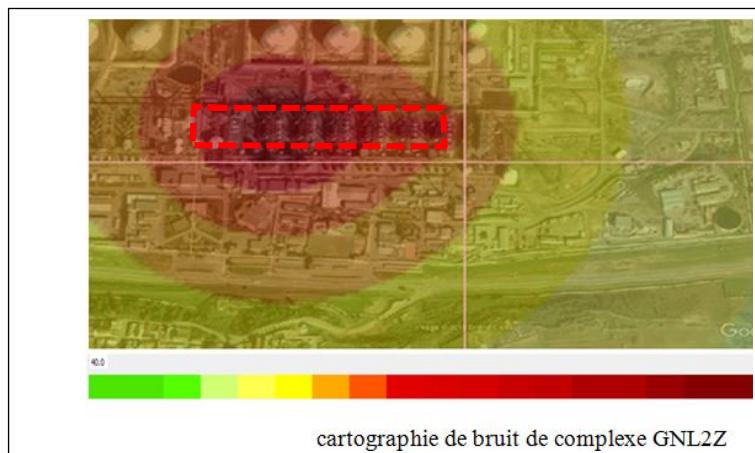
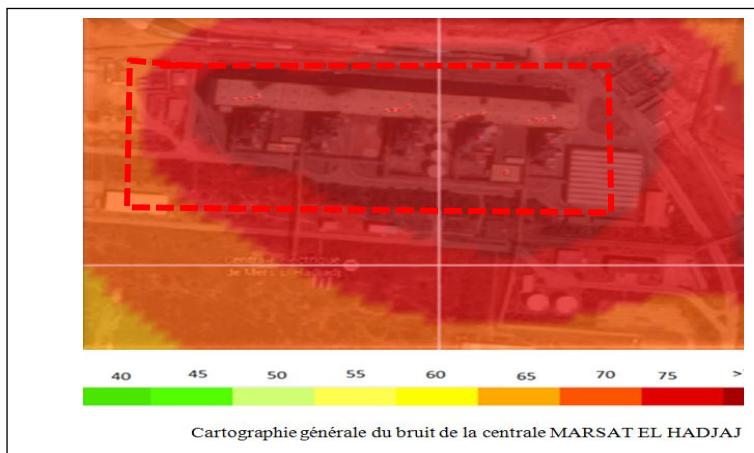
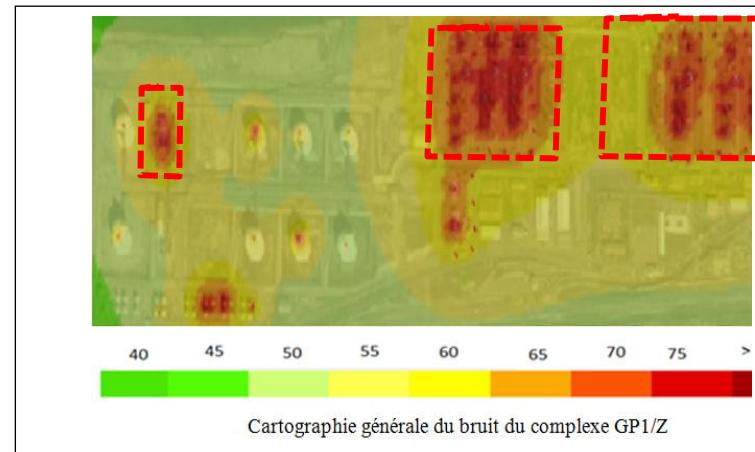
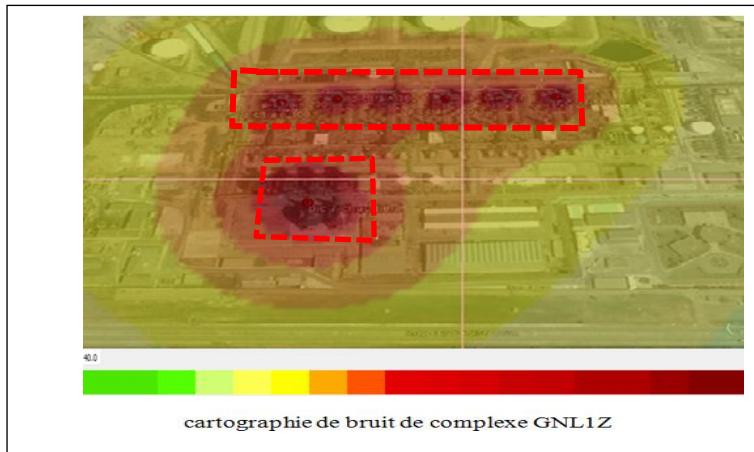
(3). **Zone 3 :** cette zone est caractériser par une émission d'un taux de bruit un peu supportable, il est inférieur à 65dB(A)

Chaque zone nécessite un plan de réduction de bruit spécifique (action sur la source, sur la propagation ou sur la réception) en tenant compte plusieurs paramètres :

- A. **La nature de bruit :** le niveau de bruit, le caractère de bruit (impulsionnels, tonale, intermittent)
- B. **La nature de la source :** le volume de la source, rayonnement de la source,
- C. **La nature de la propagation :** propagation aérienne ou solidaire.
- D. **le croisement des sources :** la directivité des sources de bruits

La figure ci-dessous regroupe les quatre cartographies de bruit que nous avons déjà réalisé qui illustre bien la répartition des zones bruyantes. Nous remarquons trois zones principales. Nous n'avons pas pris en considération les autres car elles ne représentent aucun risque en terme sanitaire ou environnementale.

## Partie pratique III : Simulation et réalisation des cartographies de bruit



**Zone 1** qui nécessite un plan de réduction de bruit à la propagation, à la réception et beaucoup plus à la



**Zone 2** qui nécessite un plan de réduction de bruit à la propagation



**Zone 3** qui nécessite un plan de réduction de bruit à la récepteur

## Partie pratique III : Simulation et réalisation des cartographies de bruit

---

### III.3.1. Plan de réduction de bruit de la zone 1 :

Les principales sources bruyantes sur cette zone sont les compresseurs, les moto-compresseurs, les turbo-compresseurs, les chaudières et les turbines. A cet effet cette zone nécessite une triple action de réduction de bruit en raison de son émission de bruit intense trop élevés, les principales actions de réduction de bruit sur cette zone sont :

#### Actions sur les sources :

- **Remplacement des sources<sup>1</sup>** : par comparaison entre le bruit généré par les moto-compresseurs et les turbo-compresseurs, nous avons trouvé précédemment que les turbo-compresseurs sont plus bruyants par rapport aux moto-compresseurs, donc il est préférable qu'on remplace les turbo-compresseurs par des moto-compresseurs. L'autre avantage est que les moto-compresseurs sont alimentés en électricité et les turbocompresseurs sont alimentés en gaz et par conséquent cela permettra d'économiser le gaz, de réduire le taux des gaz torchés et d'améliorer les conditions environnementales de travail. Dans le même contexte, il est vivement souhaitable de renouveler les équipements bruyants par des équipements silencieux qui sont acquis dernièrement au marché (pompe et compresseurs silencieux)

- **Entretien et maintenance** : un suivi quotidien et un entretien mensuel nécessaire aux équipements bruyants
- **Isolation vibratoire** : par applications des suspensions métalliques ou pneumatiques ou de supports en élastomère.
- **Réparation des fuites de vapeur** : il est observé dans le complexe GNL1Z et GNL2Z
- **Eloignement des sources de bruit** : dans la mesure du possible

**Actions sur la propagation** : par analyse des locaux industriels, nous sommes arrivés à constaté que la majorité des locaux se trouvent dans une situation où l'absence de la quasi-totalité des actions de prévention et de réduction du bruit durant sa trajectoire. Pour cela, nous proposons d'appliquer les actions suivantes :

- **Encoffrement et recouvrement des machines** : notamment, les turbines et les alternateurs de la centrale de Marsa al hadjaj ainsi que les compresseurs et les turbines des complexes GP1Z, GNL1Z et GNL2Z

---

<sup>1</sup>Cette action de remplacement des sources a été pris en considération par les autorités de complexe GP1Z, et ils ont fait la demande d'acheter deux à trois moto-compresseurs.

## Partie pratique III : Simulation et réalisation des cartographies de bruit

---

- **L'emplacement des écrans Anti bruit** : on sépare les machines bruyantes par des écrans antibruit. Cette recommandation est nécessaire surtout dans la section BOG de complexe GP1Z, là où il y a une série des compresseurs l'un à côté de l'autre.
- **Absorption acoustique** : on recouvre les machines et les abris des machines avec des matériaux absorbants

### Actions sur la réception :

- **Réduction de la durée d'exposition** : puisque les niveaux de bruit atteignent les 105 dB(A) dans cette zone. Nous recommandons aux travailleurs de la zone 1, de réduire leurs durées d'exposition dans cette zone (il serait souhaitable de ne pas dépasser 2 heures d'exposition)

### III.3.2. Plan de réduction de bruit de la zone 2 :

Les niveaux de bruit remarqués dans cette zone ne sont pas supportables. par contre en termes de degré de dangerosité, ils sont un peu inférieurs en comparaison avec la zone 1. En effet, les principaux sources de bruit dans cette zone sont les pompes, les aéros et l'écoulement des fluides à travers les pipes. Dans ces conditions, nous constatons que cette zone doit s'améliorer par des actions de réduction de bruit sur la propagation tel que :

- **Contrôle du bruit aérodynamique (Aéros)** : il s'agit d'un contrôle de la circulation des flux d'aire dès la conception<sup>2</sup> des aéros. Il est basé sur l'utilisation des éléments aérodynamiques et acoustiques rétro-ajustés à l'intérieur des conduits et des enveloppes du ventilateur et associés. cela peut également entraîner une amélioration significative de l'efficacité du ventilateur par rapport au conventionnel ou même par rapport au ventilateur non modifié. C'est-à-dire qu'il peut être utile pour les gains d'efficacité, même si le bruit n'est pas un problème.
- **Utilisation des silencieux<sup>3</sup>** : dans le cadre de réduction de bruit émis par la circulation des fluides dans les conduites, on distingue quatre silencieux qui sont largement utilisé dans le

---

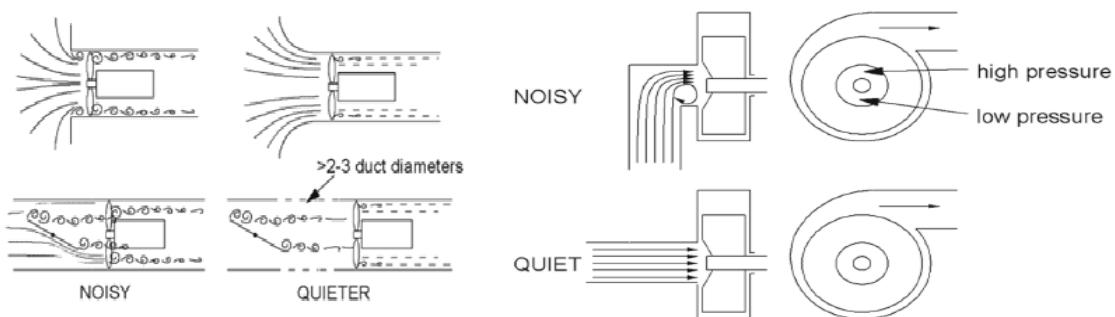
<sup>2</sup>Comme le bruit du ventilateur est la somme des fluctuations de pression générées par la turbulence dans le cavité d'air par les pales, il est possible de concevoir des inserts aérodynamiques installés dans le boîtier du ventilateur pour lisser le flux. Cela réduit les fluctuations de pression - et donc le bruit - à la source sans introduire la contre-pression souvent associée aux silencieux.

<sup>3</sup> Dispositif mise en place au niveau de la source bruyant pour réduire son niveau de bruit

## Partie pratique III : Simulation et réalisation des cartographies de bruit

milieu industriel : les silencieux réactifs, les silencieux dissipatifs, les silencieux de détente et les accumulateurs de gaz.<sup>4</sup>

- **Identification et réparation des fuites de vapeur** : qui présentent une source importante du bruit, cette opération doit se faire pendant les arrêts.
- **Redimensionnement et réorientation des conduites entrant et sortant des aéros** : la géométrie des conduits entrant et sortant des ventilateurs a un effet très marqué à la fois sur l'efficacité du ventilateur et sur le bruit produit.



**Figure III.6 :** Astuce pour réduire les bruits de ventilateur [23]

### Plan de réduction de bruit de la zone 3 :

La zone 3 est constitué par les zones de stockages, les bâtiments administratifs, les salles de contrôles, etc. Elle est caractérisée par un niveau de bruit supportable. Cela n'empêche pas de constater que cette zone comme les autres zones nécessite aussi un plan de réduction de bruit non pas à la source ou à la propagation, mais à la réception tel que :

- La mise en place des cabines : le principe de la cabine c'est le même que celui de l'encoffrement. Ce dernier est utiliser pour renfermer les machines, cependant la cabine est utilisée pour protéger et isoler les personnes exposées au risque de bruit.
- Mettre en place des panneaux de signalisations à la limite des endroits dont le niveau est supérieur à 70 dB.
- Port obligatoire d'équipement antibruit par le personnel intervenant au niveau des installations.
- Un suivi médical particulier est nécessaire pour les agents exposés quotidiennement à un niveau supérieur à 70 dB.
- Sensibilisation et formation du personnel.

<sup>4</sup>Le principe de base de l'atténuation de bruit par les silencieux, c'est : l'atténuation par réflexion, par dissipation ou par accumulateur à gaz.

## Partie pratique III : Simulation et réalisation des cartographies de bruit

---

- Gestion du temps d'exposition à travers une étude d'exposition via le dosimètre.
- Protection collective, tels que le double vitrage, type de construction, éloignement du personnel non concerné par l'exploitation du lieu de travail.

# CONCLUSION

## Conclusion générale :

Dans ce travail, nous avons réalisé une étude acoustique de bruit industriel généré par les unités industrielles de la zone industriel d'Arzew. Dans un premier temps, nous avons montré que les niveaux de bruit émis à l'intérieur de ces complexes industriels sont élevés par rapport aux seuils autorisés par la réglementation algérienne et cela et du principalement aux raisons suivants :

Au niveau mécanique : les compresseurs et les turbines génèrent des bruits (98 dB (A)), en raison des mouvements de rotations (rotation de l'arbre) et aussi des vibrations qui sont créés à cause du déséquilibre résiduelle provenant généralement par des défauts d'usinage, d'assemblage et de montage. Ceci provoque une altération mécanique et il se forme une perte d'ailette, érosion ou encrassement, etc. Nous avons retenu aussi le fait que l'ancienneté des compresseurs jouent également un rôle majeur dans l'émission de bruit.

Au niveau électromagnétique : c'est le cas des alternateurs qui génèrent un bruit d'origine magnétiques créée par des forces oscillantes excitant le stator, perturbation périodique du flux magnétique entre le stator et le rotor.

Aux niveau aérodynamique : généré par le mouvement du moteur de rotation, qui crée une variation de la pression d'air entrant et sortant et les fluctuations de pression causée par la turbulence d'air dans la volute par les ailettes.

Nos résultats montrent que, la majorité des machines bruyantes à l'intérieur des complexes de la zone industriel d'Arzew sont les machines tournantes, notamment les compresseur ( moto-compresseur et turbocompresseur). Nous avons cependant observé un certain écart entre les niveaux de bruit émis ce qui nous permet d'avancer que :

- Les machines tournantes de grands volumes sont plus bruyantes que celles de petits volumes.
- Les machines tournantes qui sont alimentées par un grand débit de fluide sont plus bruyantes que celles alimentées par un faible débit du fluide.

Après avoir effectué plusieurs séries de mesurages aux niveaux de bruit émis par les moto-compresseur et les turbo-compresseurs nous avons trouvé que les moto-compresseurs sont moins bruyants que les turbo-compresseurs. Ceci nous a encouragé à recommander aux responsables du complexes GP1/Z de remplacer les moto-compresseurs par les turbo-

compresseurs. En effet, cela permet d'une part de réduire le taux de bruit et d'autre part les pourcentages de gaz pollué (CO<sub>2</sub>, NOx, etc.) qui s'échappe des torches.

A la suite du travail réalisé sur les nuisances sonores générées par les unités industrielles en limite batterie, nous constatons que la majorité des complexes de la zone industrielle d'Arzew ne représente pas une origine de transmission de bruit pour les riverains habitants à côté de la zone (la population d'Arzew, Batewa, Marsat El Hadjadj, etc.). Ce résultat est important et il est du au fait que l'éloignement des sources de bruit à l'intérieur des sites et la grande superficie de certain complexes permet la décroissance du flux de bruit entre source et limites batterie.

Les véritables et principales sources de bruit qui présentent une nuisance sonores en période diurne pour les riverains habitant à proximité de la zone industriel d'Arzew sont celles provenant du voisinage et du trafic routier. Les origines de ces bruits ne sont donc pas les complexes de la zone industrielle.

Pour clôturer notre travail, nous avons réalisé dans la dernière partie des cartographies de bruit pour les utilisés dans la phase « implantations des mesures de contrôle et de réduction de bruit ». Nous distinguons trois zones (I, II et III). Au terme de notre réflexion, nous considérons que chaque zone nécessite un plan spécifique de contrôle de bruit en amant et en aval.

# Références bibliographiques

## Références bibliographiques :

### Chapitre 1 : généralités sur le bruit

- [1] : Rapport de l'Organisation Mondiale de la Santé, page 1, (2011)
- [2] : Basorun, Joseph Omoniyi, Olamiju, Isaac Oluwadare, Environmental Pollution and Refinery Operations in an Oil Producing Region of Nigeria: A Focus on Warri Petrochemical, IOSR Journal Of Environmental Science, Toxicology And food Technology (IOSR-JESTFT).Volume 2, Issue 6 PP 18-23 (2013),
- [3]: E. Atmaca, I. Peker, A. Altin, Industrial Noise and Its Effects on Humans, Polish Journal of Environmental Studies Vol. 14, No 6, 721-726 (2005).
- [4] : Mario Rossi, Homme et son, Audio, PPUR presses polytechniques, PPUR Collection : Electricité - 25/01/2007, page 153
- [5] : Impacts sanitaires du bruit, agence française de sécurité sanitaire environnementale, 94704 Maisons-Alfort Cedex, Novembre (2004)
- [6] : DVISOR: Michel Roger, Modélisations analytiques du bruit tonal d'interaction rotor / stator par la technique de raccordement modal, thèse doctorat, janvier (2017)
- [7] : Guillaume LE NOST, Thèse de doctorat, Contribution à l'étude d'impact environnementale sonore des sites industriels : une typologie perceptive de source de bruit ; Année (2007).
- [8] : J. C. BERA, C. MICHEW et L. COLLET, Casque antibruit actif basses-fréquences et audition dans le bruit, JOURNAL DE PHYSIQUE IV Colloque C5, supplément au Journal de Physique 111, Volume 4, mai (1994).
- [9]: Harry F. Olson , Electronic Control of Noise, Vibration, and Reverberation, The Journal of the Acoustical Society of America 28, 156 (1956).
- [10]: Le décret algérien exécutif n°93-184 du 27 juillet 1993 réglemente l'émission des bruits.
- [11]: Onur C, Sinasi Y, Ahmet O. Hearing parameters in noise exposed industrial workers. Journal Auris Nasus Larynx; 25:369–75. (1998)
- [12]: Ministre de l'environnement française, Arrêté du 23 janvier 1997 relatif à la limitation des bruits émis dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement.
- [13] : J.O. Osarenm winda and A.A Onojoserio, Noise pollution in a Refining & Electrochemical Company in Nigeria, Journal of Engineering Research and Applications, Vol. 5, Issue 4, ( Part -5), pp.01-05 April (2015)

- [14]: Ahmadi Orkomi A, Tavakoli B, , Noorpoor A, Noise pollution analysis in Tehran cement plant, JOHE, Winter-spring; 2 (1-2) (2013)
- [15] : Agence nationale française de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, évaluation des impacts sanitaires extra-auditifs du bruit environnemental, Février édition scientifique, page 12. (2013)
- [16] : La norme Afnor NF 530-105
- [17]: Beranek, L. L. and Vér, I. L. Noise and Vibration Control Engineering, p. 1. John Wiley and Sons, New York. (1992).
- [18]: Randall F. Barron, Industrial noise control and Acoustics Randall, Marcel Dekker, 2001
- [19] : Effet du bruit sur l'homme, Jacques JOUHANEAU, Techniques de l'Ingénieur, traité Environnement, G 2 720 (2001).
- [20] : HADJAB saleh, mémoire de master, Etude acoustique de bruit industriel, Institut de Maintenance et de Sécurité Industriel, Université d'Oran2 Ahmed Ben Ahmed. (2017)
- [21] : BEAUMONT, J et GUARRACINO G. Eléments d'environnement sonore et de traitement acoustique - Cours de Physique du Bâtiment 2 ème année. Vaulx-en-Velin : Ecole Française des Travaux Publics de l'Etat, (1996), 76p
- [22] : Ludovic Leclercq intitulé : Modélisation dynamique du trafic et applications à l'estimation du bruit routier ; Thèse de doctorat, Année 2002
- [23] : Guide des unités de mesure: Un mémento pour l'étudiant, 79 ,78.
- [24]: Huntley, R. A bel is ten decibels. Journal of Sound and Vibration 4(1): 22. (1970)
- [25] : S. A. Anjorin, A. O. Jemiluyi & Akintayo T. C., Evaluation of industrial noise: a case study of two nigerian industries, European Journal of Engineering and Technology, Vol. 3 No. 6, (2015)
- [26]: Mahmoud Elsharkawy, Ali Al Subaie, Study of Environmental Noise Pollution in the University of Dammam Campus, Saudi Journal of Medicine & Medical Sciences Vol. 2 Issue 3 December (2014)
- [27] : thèse de Faouzi KOUSSA intitulé : évaluation de la performance acoustique des protections antibruit innovantes utilisant des moyens naturels : application aux transports terrestres ; année (2012)
- [28] : Attenborough K., Ground parameter information for propagation modelling. The Journal of the Acoustical Society of America. 92(1) p. 418-427. (1992)

- [29] : Berengier M.C., STinson M.R., Daigle G.A., Hamet J.F., Porous road pavements: Acoustical characterization and propagation effects. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 101(1) p. 155-162. (1997)
- [30] : Pierce A.D., *Acoustics - An Introduction to Its Physical Principles and Applications*, McGraw-Hill Edition, New York, U.S.A. (1981)
- [31]: Delany m.E., Bazley E.N., Acoustical properties of fibrous absorbent materials. *Journal of Applied Acoustics*. 3 p. 105-116. (1970)
- [32]: HAMET J.F., BERENGIER M.C., Acoustical characteristics of porous pavements: a new phenomenological model. In *Inter noise*. Leuven, Belgium. (1993)
- [33]: Attenborough K., Acoustical impedance models for outdoor ground surfaces. *Journal of Sound and Vibration*. 99(4) p. 521-544. (1985)
- [34]: LI K.M., ATtenborough K., HEAP N.W., Source height determination by ground effect inversion in the presence of a sound velocity gradient. *Journal of Sound and Vibration*. 145(1) p. 111-128. (1991)
- [35]: MECHEL F.P., Ausweitung der Absorberformel von Delany und Bazley zu tiefen Frequenzen. *Journal of Acustica*. 35 p. 210-213. (1976)
- [36] : Rapports de stage d'Abdellah SBARGOUD Ingénieur d'état en environnement : caractérisation et mesurage du bruit en milieu urbain (2009)
- [37] : Zbynek Bures , Jirí Popelar , Josef Syka, The effect of noise exposure during the developmental period on the function of the auditory system, *Hearing Research*, Volume 352, , Pages 1-11; September (2017)
- [38]: 2 Kryter KD. *The Effects of Noise on Man*, 2nd edn. Orlando, FL: Academic Press, (1985)
- [39]: Stephen A Stansfeld and Mark P Matheson, Noise pollution: non-auditory effects on health, *British Medical Bulletin*, September 3, (2014)
- [40]: Vallet M, Gagneux J, Clairet JM et al. Heart rate reactivity to aircraft noise after a long-term exposure. In: Rossi G (ed) *Noise as a Public Health Problem*. Milan: Centro Recherche e Studio Amplifon; 965-75 (1983)
- [41]: Cavatorta A, Falzoi M, Romanelli A et al. Adrenal response in the pathogenesis of arterial hypertension in workers exposed to high noise levels. *Journal Hypertens* 5: 463-6 (1987)
- [42] : Brandenberger G, Follenius M, Wittersheim G, Salame P. Plasma catecholamines and pituitary adrenal hormones related to mental task demand under quiet and noise conditions. *Journal of Biol Psychol*; 10: 239-52 (1980)

[43]: Santé et sécurité au travail, dossier bruit, INRS Page 7 (2017)

[44]: Introduction à la Santé Environnementale, Mustafa BOUZIANI. Edition dar el-Gharb, (2010).

## Chapitre II : le bruit industriel : sources, caractéristiques et propagation

[1] : Iyyanki V. Muralikrishna, Valli Manickam, , Environmental Management, Science and Engineering for Industry, Pages 399–429 (2017)

[2]: O.S. Oyedepo. and A.A. Saadu, A Comparative study of noise pollution levels in some selected areas in Ilorin metropolis, Nigeria. Journal of Environ. Monit. Assess. 158, 155-167 (2009)

[3]: Mabuligwe S.E. Levels and influencing factors of noise pollution from small scale industries in a developing country. Environmental management, vol. 33, n°6, pp. 830-839 ; (2004)

[4]: Enda Murphy, Eoin A. King, Environmental Noise Pollution, Industrial and Construction Type Noise, page 175, (2014)

[5] : Directive européenne 2002/49/CE

[6] : Thèse de Marion ALAYRAC, Indicateurs de gêne sonore pour l'étude d'impact du bruit d'un site industriel : caractérisation physique et perceptive ; année (2009)

[7]: Rickie R. Davis, Odile Clavier, Impulsive noise: A brief review, Volume 349, June, Pages 34-36 (2017)

[8] : ISO/TR 11688.

[9] : Randall F. Barron Louisiana Tech University Ruston, Louisiana, U.S.A.Industrial Noise Control and Acoustics, 2001 by Marcel Dekker, Inc. (2001)

[10]: Timothy Gerard Hawkins; studies and research regarding sound reduction materials with the purpose of reducing sound pollution, A Thesis, presented to the Faculty of California Polytechnic State University, April (2014)

[11]: Site internet visité le 13-08-2017 à, 14:06 , <http://slideplayer.com/slide/4492202/>

[12]: Osama A B Hassan, Building Acoustics and Vibration: Theory and Practice, World Scientific Publishing Co Inc, 2009/06/24

[13] : Witte J., Industrial and harbour noise. In: Noise Mapping in the EU: Models and Procedures. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida, pp. 109–128. (2012)

[14] :Timár, P.L. ed., Noise and Vibration of Electrical Machines. Amsterdam: Elsevier, (1989).

[16] : J. F. Gieras, C. Wang, and J. C. Lai, Noise of polyphase electric motors. CRC presse, (2005)

- [17] : J. Delcambre, P. Fran\_cois, and B. Jost, \_Bruit des matériels électriques, in DOSSIER (T. de l'ingénieur, ed.), no. d566, (1985).
- [18] : N. Tandon and A. Choudhury. A review of vibration and acoustic measurement methods for the detection of defects in rolling element bearings, \_ Tribology international, vol. 32, no. 8, pp. 469\_480, (1999)
- [19] : Jean LE BESNERAIS, thèse doctorat, Réduction du bruit audible d'origine magnétique dans les machines asynchrones alimentées par MLI – règles de conception silencieuse et optimisation multi objectif, page 2, (2008)
- [20]: J.-P. Lecointe, R. Romary, J.-F.Brudny, and T. Czapla, \_Five methods of stator natural frequency determination : case of induction and switched reluctance machines, \_Mechanical Systems and Signal Processing, vol. 18, no. 5, pp. 1133 \_ 1159, (2004)
- [21]: S. A. Anjorin, A. O. Jemiluyi & Akintayo T. C., Evaluation of industrial noise: a case study of two nigerian industries, European Journal of Engineering and Technology, Vol. 3 No. 6; (2015)
- [22]:Janne Roivainen, these doctorat, Unit-wave response-based modeling of electromechanical noise and vibration of electrical machines, page 17,18 ,19, (2009)
- [23] : Jean LE BESNERAIS, Quentin SOURON, Conference Paper:, EOMYS ENGINEERING, 121, rue de Chanzy, 59260 Lille Hellemmes April (2016)
- [24] : J. Le Besnerais, P. Pellerey, V. Lanfranchi et autres, 10 nov. 2013, «Bruit acoustique d'origine magnétique dans les machines synchrones» dans «Machines électriques tournantes : conception, construction et commande», Editions T.I. [Paris, France] (2016)
- [25] : Cyril Couderc, thèse doctorat, caractérisation expérimentale et modélisation de l'incidence des écoulements pulses sur le comportement d'une turbine de suralimentation automobile, page15, 14, soutenue publiquement le 21 décembre (2012)
- [26] : Heiki Tiikoja, Acoustic Characterization of Turbochargers and Pipe Terminations, page2, Licentiate Thesis Stockholm, Sweden (2012)
- [27]: Ajith V Pai, Stephen Walsh, Dan O'boy And Rui Chen, turbocharger surge noise measurement and solution using experimental techniques, proceeding de conference, The 22nd International Congress on Sound and Vibration 12-16 Juliet (2016)
- [28]: Silviu Ionescu, Valentin Silivestru, Nicolae Enescu, Ioan Magheti, Adina Ionescu, Experimenal approaches to reduce noise at source for a centrifugal compressor, U.P.B. Sci. Bull., Series D, Vol. 73, Iss. 3, (2011)
- [29]: Jensen, E. H. Effect of compressor characteristics on motor performance, ASHRAE Transactions 66 Paper 1709 194-201 (1960).

- [30] : Webb, H. E. Compressor, household-refrigerator, and room air conditioner noise. Handbook of Noise Control, McGraw-Hill, NY (1957) Chapter 28, 28-3 3 Fehr, R. O.,
- [31] :Muster, D. F. Electric-motor and generator noise. Handbook of Noise Control.McGraw-Hill.NY Chapter 30. 30-4 and 30-12 (1957).
- [32] : Ungar, E. E., Ross, D. Vibrations and noise due to piston-slap in reciprocating machinery, Journal of Sound and Vibration 3 2 1 32-146 (1965).
- [33] : Johnson, C. N., Hamilton, J. F. Fractional horsepower, rotary-vane, refrigerant compressor noise study, Proceedings of the 1972 Purdue Compressor Technology Conference.Purdue University 74-78 (1972).
- [34]: C. FSpeich, Elements of compressor noise control ;International Journal of Refrigeration, Volume 4, Issue 5, Pages 281-287 September (1981).
- [35] :Liselott Ericson, thèse doctorat , On Fluid Power Pump and Motor Design, Tools for Noise Reduction, Sweden, (2011).
- [36]: Heitner, I. How to estimate plant noises. HydrocarbonProcessing47: 67–74, (1968).
- [37] : Ravindra S. Birajdar1, Uday M Katt, Damping Technology And Materials – It's Usage In Centrifugal Pumps, 15th International Congress on Sound and Vibration 6-10, Daejeon, Korea; July (2008).
- [38]: Avallone, E. A. and Baumeister, III, T. Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers, 9th edn, pp. 14-48–14-56.McGraw-Hill, New York. (1987)
- [39]: Florian J. Zenger, Andreas Renz. Marcus Becher. Stefan Becker Experimental investigation of the noise emission of axial fans under distorted inflow conditions, Journal of Sound and Vibration. Volume 383, 24, Pages 124-145; November (2016)
- [40]: T. Carolus, M. Beiler, Skewed Bladesin Low Pressure Fans: A Survey of Noise Reduction, AIAA-97-1591h, (1997)
- [41]: D.F. Scharpf, T.J. Mueller, An experimental investigation of the sources of propeller noise due to thein gestion of turbulence at low speeds, Experiments in Fluids 18 277–287, (1995)
- [42]: R.J.Minniti, W.K.Blake, T.J.Mueller, Determination of in Low Distortions by Interpreting Aeroacoustic Response of a Propeller Fan, AIAA Paper 98-2286, (1998).
- [43]:Thomas M. Bordas, Fan noise control, Noise Control in Industry, A Practical Guide, Pages 161–174 (1996)
- [44] : D.B.Hanson, Theory for Broadb and Noise of Rotor and Stator Cascades with Inhomogeneous In flow Turbulence Including Effects of Lean and Sweep, Technical Report NASA-CR-210762, NASA, East Hartford, Connecticut, USA, (2001)

[45] J. de Laborderie, S. Moreau Prediction of tonal ducted fan noise, Journal of Sound and Vibration, Volume 372, 23, Pages 105-132 June (2016)

[46]: D. L. Sutliff, J. Bridges, E. Envia, Comparison of predicted low speed fan rotor–stator interaction modes to measured, Third AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, No.AIAA-1997-1609,(1997)

[47] : Bell, L. H. Fundamentals of Industrial Noise Control (Trumbull, CT: Harmony Publications, p. 82. (1973)

[48] : Lewis Aldridge, Analysis of valve and piping noise, Noise Control in Industry, A Practical Guide, Pages 149–159 (1996)

[49]: Gerhard Reethuf, Turbulence-Generated Noise In Pipe Flow, Ann. Rev. Fluid Mech. 10: 333-67 (1978)

### **Chapitre III : Réglementations et Normes de mesures**

[1] : Jean-Michel MONDOT : Techniques de l'Ingénieur, traité Environnement, Méthodologie de réduction du bruit en milieu professionnel,(2000)

[2] : Kryter, K. D., Ward, W. D., Miller, J. D., and Eldredge, D. H. 1965. Hazardous exposure to intermittent and steady-state noise. NAS-NRC Committee on Hearing, Bioacoustics and Biomechanics (CHABA), WG 46, Washington, DC. See also: Journal of Acoustic Societi. American. 39: 451-64, (1966)

[3] : Définition issue de l'encyclopédie Larousse de la langue française

[4]: OSHA. Occupational noise exposure: Hearing Conservation Amendment. Occupational Safety and Health Administration. Federal Register 48(46): 9738–9785. (1983)

[5]: Randall F. Barron, Louisiana Tech University, Ruston, Louisiana, U.S.A, Industrial, Noise Control and Acoustics by Marcel Dekker, Inc., ISBN: 0-8247-0701-X, (2003)

[6]: OSHA: Occupational Safety & Health Administration (OSHA) Noise Regulations. Construction. Safety Association of Ontario and the American Society of Safety Engineers (ASSE) standard, ANSI/ASSE A10.46-2007 - Hearing Loss Prevention in Construction and Demolition Workers. [www.osha.gov/SLTC/noisehearingconservation/standards.html](http://www.osha.gov/SLTC/noisehearingconservation/standards.html). (2013)

[7]: Mayowa Jacob Owoyemi, Babajide Charles Falemara and Ayomide Joseph Owoyemi, Noise Pollution and Control in Wood Mechanical Processing Wood Industries, Basel, Switzerland, (2016)

[8]: Collins, J. A. Failure of Materials in Mechanical Design, pp. 241–243. Wiley-Interscience, New York. (1981)

- [9] : José Biosca de Sagastuy : Magazine de l'Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail, le bruit au travail, (2005)
- [10] : Application of noise guidance to the assessment of industrial noise with character on residential dwellings in the UK Applied Acoustics, 93: 88–96 (2015)
- [11] : Journal officiel de l'Union européenne, directive 2003/10/ce du parlement européen et du conseil du 6 février (2003)
- [12] : Estève Amandine, Ferré Simon, Hube Marie-caroline1, Le bruit en milieu du travail. Projet UE 05, page 06, 2006/2007.
- [13] : Taywan noise control standards, (2009)
- [14] : Tarık Serhat Bozkurt, Sevtap Yılmaz Demirkale, The field study and numerical simulation of industrial noise mapping, Journal of Building Engineering 9 :60–75 (2017)
- [15] : Ministry of Environment and Forestry in Turkey, July 1, 2005: Environmental Noise Assessment and Management Direction (June 2010).
- [16] : A. Hamou, H. Abderrahim, et H. Keciba : Etude des nuisances sonores dans la ville d'Oran. Journal de COST. (2013)
- [17] : Le décret algérien exécutif n°93-184 du 27 juillet 1993 réglemente l'émission des bruits.
- [18] : Mario Rossi, Electroacoustique, source de son, presse polytechniques et universitaire de romandes, volume XXI, page 89, année (1986).
- [19] : Pierre-François Thomas, Précis de physique-chimie, éléments d'acoustiques applications à l'isolation phonique des bâtiments, page 211, Editions Bréal (2006)
- [20] : Christoph Zürcher , Thomas Frank, Physique du bâtiment : Construction et énergie, Insonorisation, page 197, vdf Hochschulverlag AG, (2014)
- [21] : Francis Rumsey•Tim McCormick, Sound and Recording : An Introduction, whatissound, page 19, CRC Press , (2006)
- [22] : Magazine mesures , numéro 737 , page 85,86 , (2001)
- [23] : Centre d'études des transports urbains, France. Ministère de transports, France ministère de l'urbanisme et du logement. Bruit et formes urbaines : propagation du bruit routier dans les tissus urbains, page 45, CETUR, (1981)
- [24] : Mohamed M'Madi Nasseridine, thèse doctorat, Mesure de la distribution du champ en chambre réverbérant par la théorie des perturbations : application à l'étude des directions d'arrivé, page 12, Soutenue le 25/09/2015
- [25] : Magazine mesures, numéro 737, page 85, année (2001)
- [26] : Jean-Baptiste DUPONT, thèse doctorat, contrôle actif d'impédance acoustique pour, la réduction du bruit transmis par un encoffrement, page 48, Soutenue le 11 décembre (2007)

[27] : Norme NF EN Iso 9614

#### **Chapitre IV : Méthodes de réduction et de contrôle de bruit industriel**

- [1] : Faulkner, L. L.. Handbook of Industrial Noise Control, pp. 39–42. Industrial Press, New York. (1976).
- [2] Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail, Réduction et contrôle du bruit, p.1, Belgique, (2005)
- [3]: Randall F. Barron, Industrial Noise Control and Acoustics ,pp 8, New York • Basel. (2003).
- [4]: Hugues Nelisse, Franck C. Sgard, Noureddine Atalla, Oddo Remy, l’Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail IRSST) ;Développement d’un outil d’aide à la conception acoustique d’encoffrements de machines, rapport r-619, page 03, (2009)
- [5] : G. Locati, A. Vicini, F. Cetta and F. Ombello, Reducing machine heat and noise by a special enclosure, *Applied Ergonomics* 1976. 7.2, 93 96
- [6] : Sandor M. Veres And JianLuo, Active Structural Acoustic Control Of Machine Enclosures, 16th Triennial World Congress, Prague, Czech Republic, (2005)
- [7] J. E. Blanks, 1997. Optimal Design of an Enclosure for a Portable Generator. First ed. Virginia: Virginia Polytechnic Institute.
- [8]: E. Davies, E. Noise and vibrations. Leicester: Pollution Control Group, 2001.
- [9]: K. Parvathi, A. G., Studies on control of noise from portable power generator.Chennai, York University. (2003).
- [10]: J. Randall. S. J. H. M. W. H. Poirier, Acoustic Enclosure for Marine Engine Generator Set. United States of America, Patent No. US4733750 A, (1989).
- [11]: R. H. Lyon., Machinery Noise and Diagnostics. First ed. s.l. Butterworths. (1987)
- [12]:U. Hammad, Design and development of noise suppressions y stem for domestic generators. European Scientific Journal, Volume 4 (2013).
- [13] :American Conference of Governmental Hygienists1975 Threshold limit values for chemical substances andphysical agents in the workroom environment within tended changes for 1975. Cincinnati, Ohio 45201,pp 85-87.
- [14]: Tawanda Mushiria, Nyasha Madzirob and Charles Mbohwac, Design of an Optimum Acoustic Enclosure for an Open Frame Diesel Generator, Procedia Manufacturing Volume 8, Pages 424-431 (2017)
- [15]: Z. Maekawa, Noise Reduction By Screens, *Applied Acoustics*, 157-173 (1968)

[16]: Philippe Glé, Geoffrey Pot, Emmanuel Gourdon, Patrick Demizieux, Variabilité des performances acoustiques des bétons végétaux, du matériau à l'écran antibruit, Conference Paper , CFA/VISHNO (2016).

[17] : Marine Baulac, Optimisation Des Protections Anti-Bruit Routières De Forme Complex, Thèse De Doctorat De L'université Du Maine, (2006),

[18] : Brochure du Produit: Panneaux antibruit en acier laqué, DOX Acouique

[19] : Paul Loiseau, Controle actif acoustique du bruit large bande dans un habitacle automobile, Thèse de Doctorat, Université Bretagne Loire (2016).

[20] : Kurt Yankaskas<sup>a</sup>. Raymond Fischer, Jesse Spence, Jeffrey Komrower, Engineering out the noise, Hearing Research, Volume 349, Pages 37-41 (2017)

[21]: NurIndrianti, Nandyan Banyu Biru, and Tri Wibawa, The development of compressor noise barrier in the assembly area (Case study of PT JawaFurni Lestari), 13th Global Conference on Sustainable Manufacturing - Decoupling Growth from Resource Use, Procedia CIRP (40) 705 – 710 ( 2016 )

[22]: Idrisse Mohamed Ali, mémoire master, institut de maintenance et sécurité industriel, étude acoustique de bruit industriel, (2017).

### **Partie pratique III : simulation et réalisation des cartographies de bruit**

[01]: DEFRA. Towards a national ambient noise strategy. A consultation paper from the air and environmental quality division; 2001

[02]: Kang-Ting Tsai a, Min-Der Lin b, Yen-Hua Chen b, Noise mapping in urban environments: A Taiwan study, Applied Acoustics, (70) 964–972 (2009)

[03]: Tarik Serhat Bozkurt, Sevtap Yilmaz Demirkale, The field study and numerical simulation of industrial noise mapping, Journal of Building Engineering, Volume 9, January (2017).

[04]: Peters R.J., Smith B.J, Hollins M., Acoustics and Noise Control, 3rd edition, Pearson Education Limited. (2011)

[05]: ISO 1996-1:1981, Acoustics—Description and measurement of environmental noise, Part 1: Basic quantities and procedures.

[06] : Shatha AJ. Ibrahi, Noise Mapping of the Campus of the College of Engineering /The University of Al-Mustansiriyah, Journal of Environment and Earth Science Vol.5, No.4, (2015)

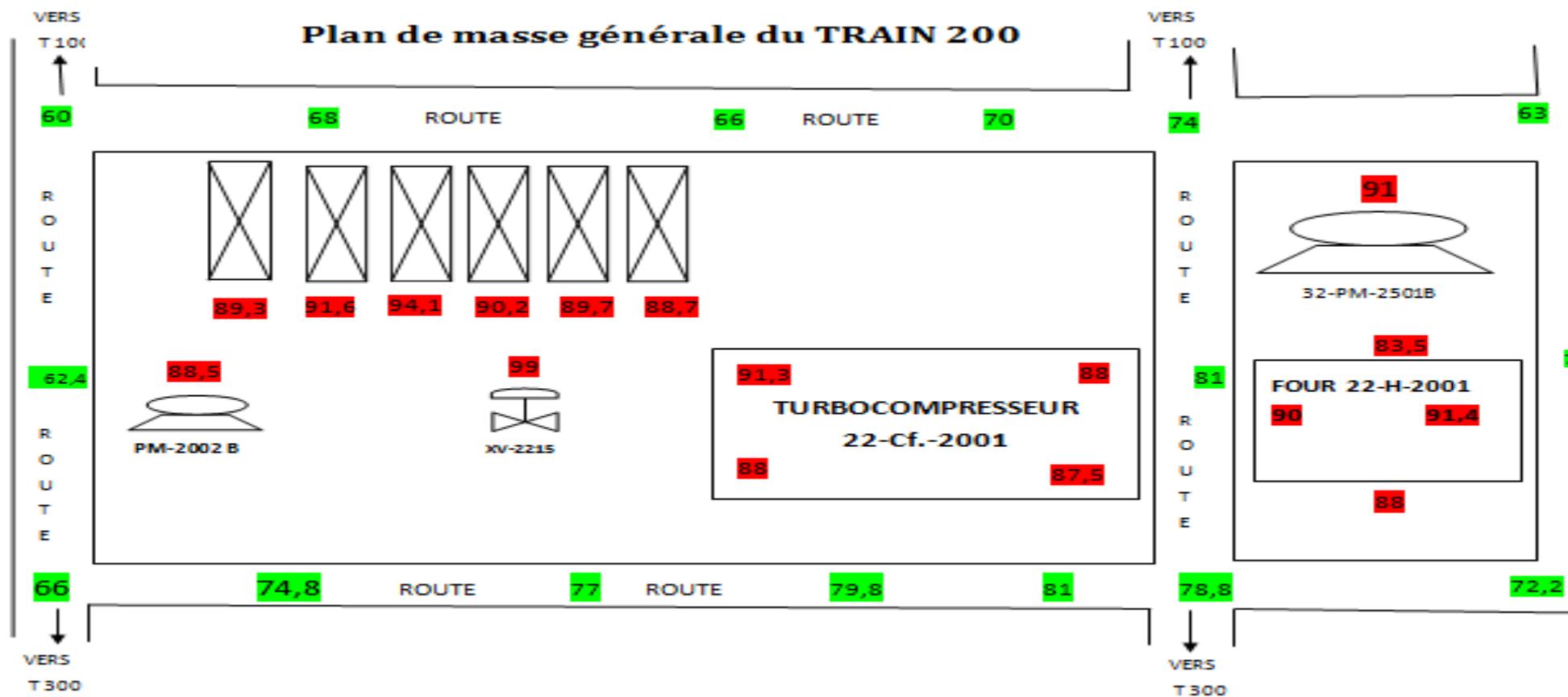
[07]: ISO 9613–2:1996, Acoustics, Attenuation of sound during propagation outdoors,

## Part 2: General method of calculation

- [08]: L.L. Beranek, I.L. Ver, Noise and Vibration Control Engineering Principles and Applications, John Wiley & Sons, Inc, (2006).
- [09]: L.L. Beranek, I.L. Ver, Noise and Vibration Control Engineering Principles and Applications, John Wiley & Sons, Inc, (1992).
- [10]: M. Long, Architectural Acoustics, Elsevier Academic Press, (2006).
- [11]: M. Mehta, J. Johnson, J. Rocaford, Architectural Acoustics Principles and Design, Prentice Hall, (1999).
- [12]: T.D. Rossing, F.R. Moore, P.A. Wheeler, the Science of Sound, Pearson Education, Inc, (2002).
- [13]: J.E.K. Foreman, Sound Analysis and Noise Control, Van Nostrand Reinhold, Newyork, (1990).
- [14]: M.L. Crocker, Handbook of Acoustics, John Wiley & Sons, Inc, (1998).
- [15]: D.R. Raichel, The Science and Application of Acoustics, Springer – Verlag Newyork, Inc, (2000).
- [16]: F.N. Spon, Noise Control in Industry, Chapman and Hall, UK, (1991).
- [17]: C.M. Harris, Handbook of Noise Control, Mcraw-hill Book Company, Inc, (1957).
- [18]: G. Parry, A review of the use of different noise prediction models for wind farms and the effects of meteorology, Euro-noise Acoustics Paris, (2008).
- [20]: ISO 8297: Acoustics – Determination of sound power levels of multisource industrial plants for evaluation of sound pressure levels in the environment – Engineering method
- [21]: Ivan BUBLIĆ, Ivan TUDORb and Dražan SKELINc, Small scale noise mapping of industrial plants, congrés I,international de bruit et vibration (2010).
- [22]: H. Stapelfeldt, P. Vukadin, I. Bublić, D. Manvell, “Reverse engineering: improving noise prediction in industrial noise impact studies”, Proceedings of the 8<sup>th</sup> European Conference on Noise Control, EURONOISE 2009, Edinburgh, Pages 60-75 (2017)
- [23]: Peter Wilson1,Top 10 Noise Control Techniques: TECHNICAL NOTE, Acoust Aust, (2015).

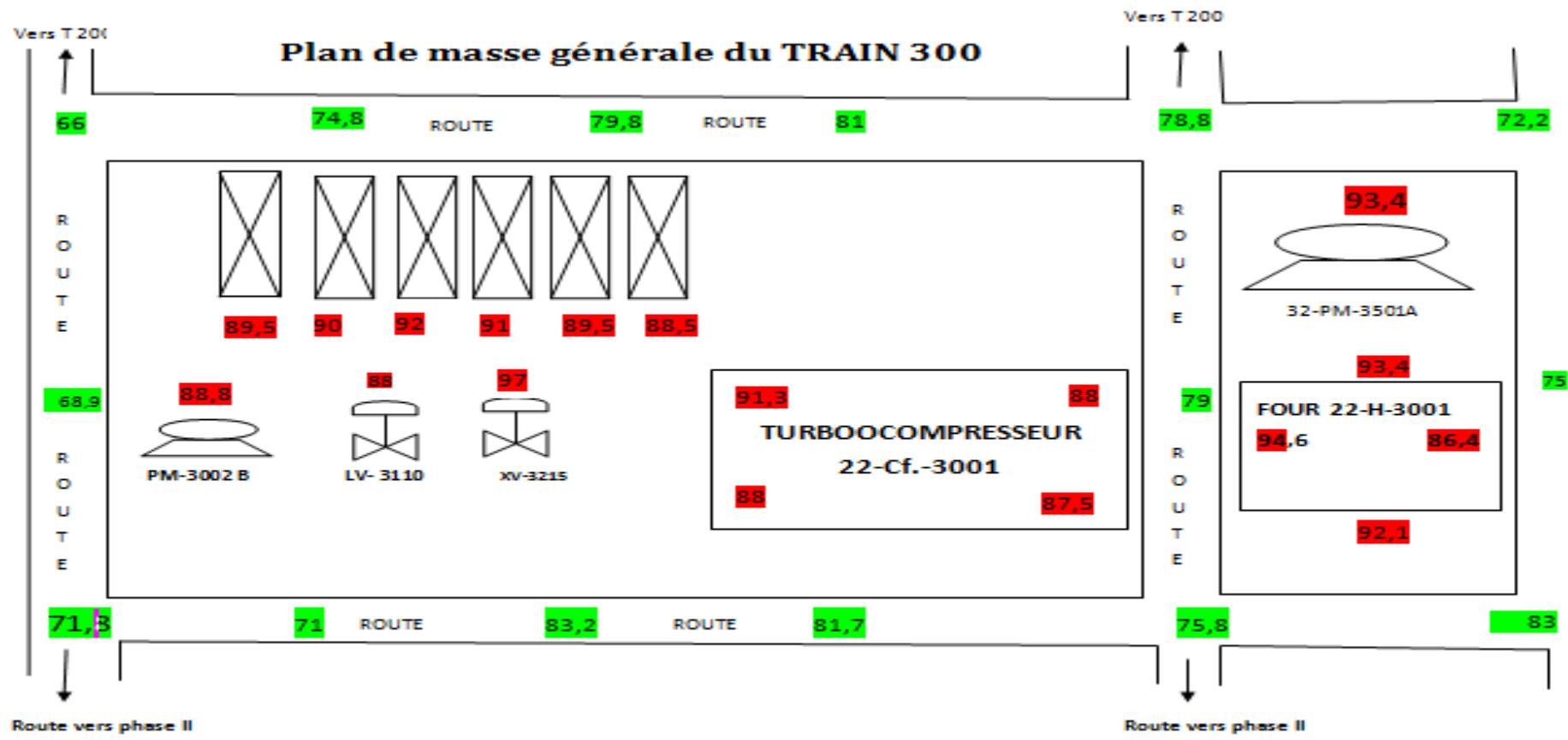
# Annexe



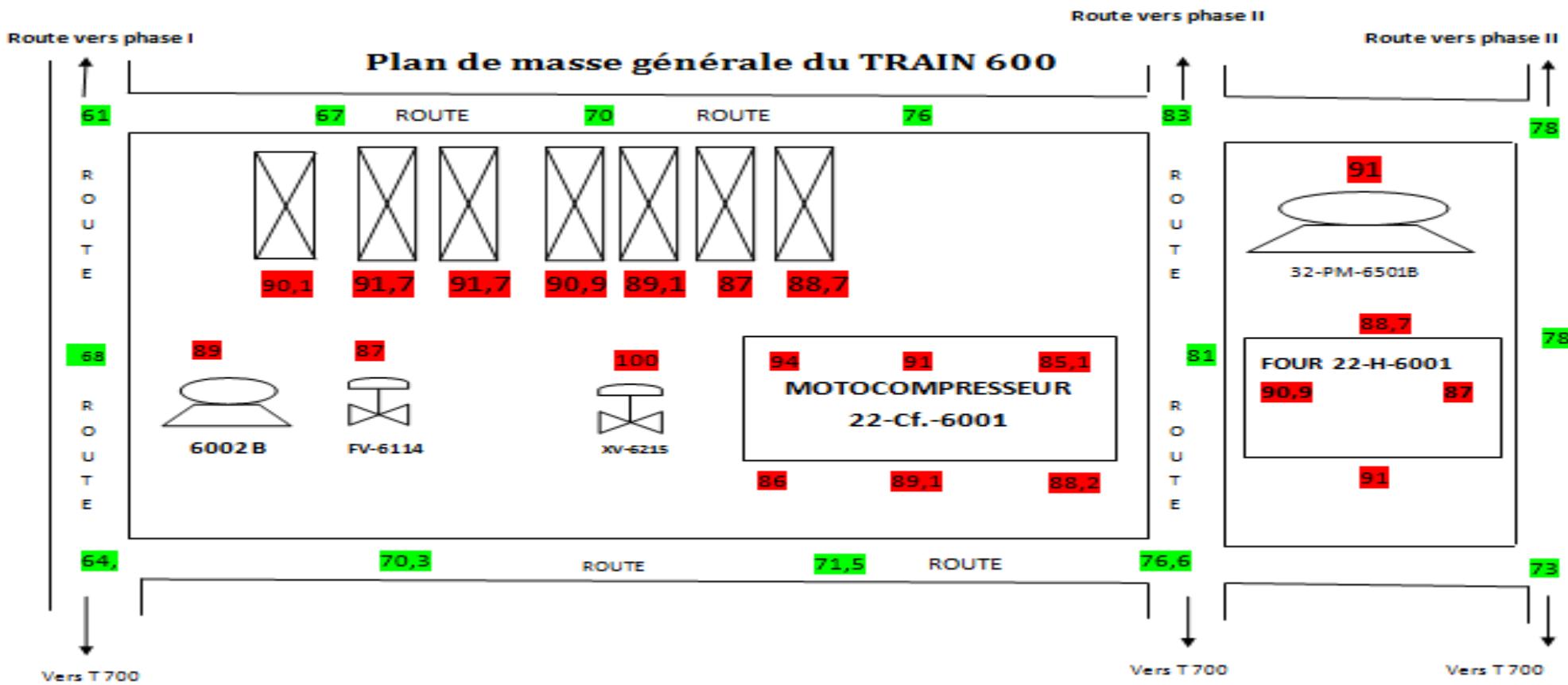


Niveau de bruit enregistré au niveau de train 200

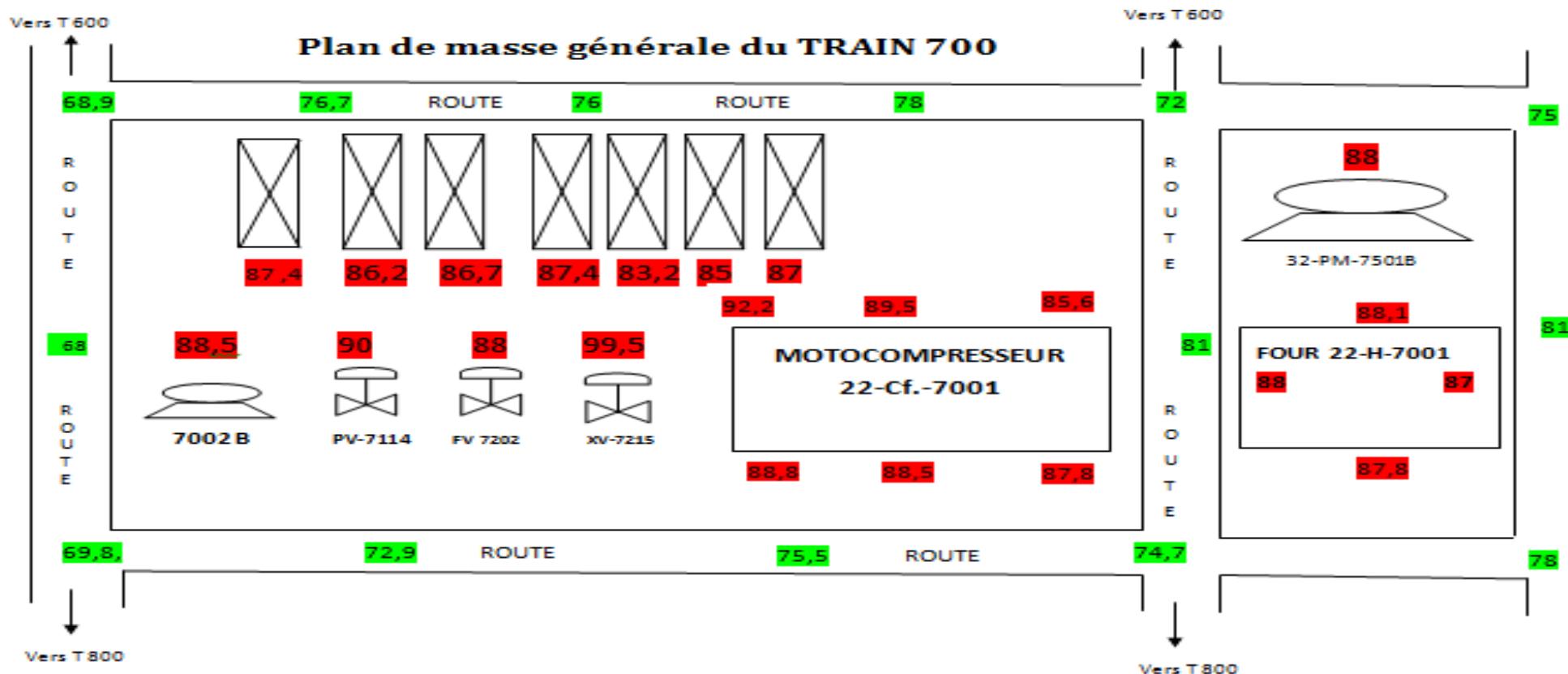
## Plan de masse générale du TRAIN 300



## Niveau de bruit enregistré au niveau de train 300

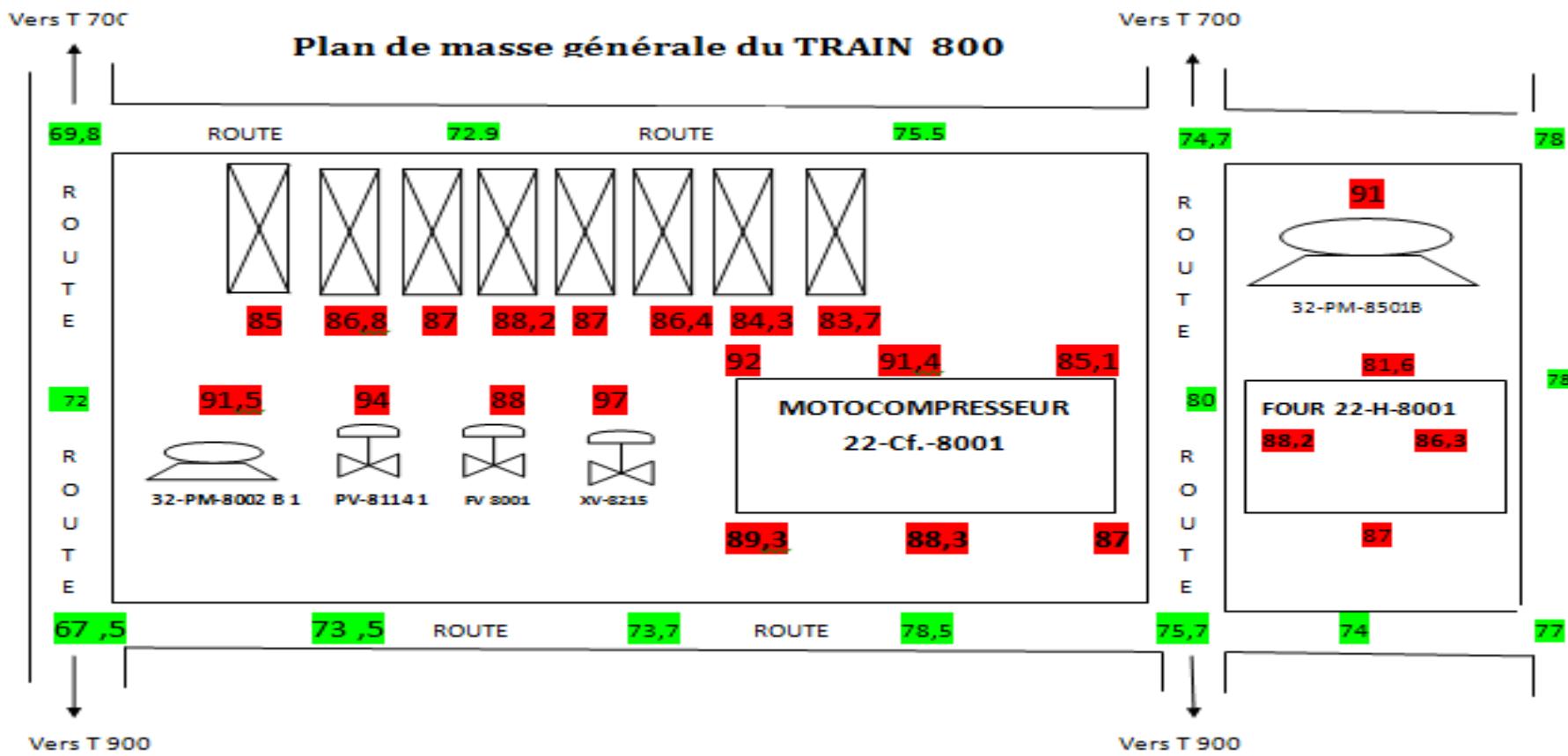


Niveau de bruit enregistré au niveau de train 600



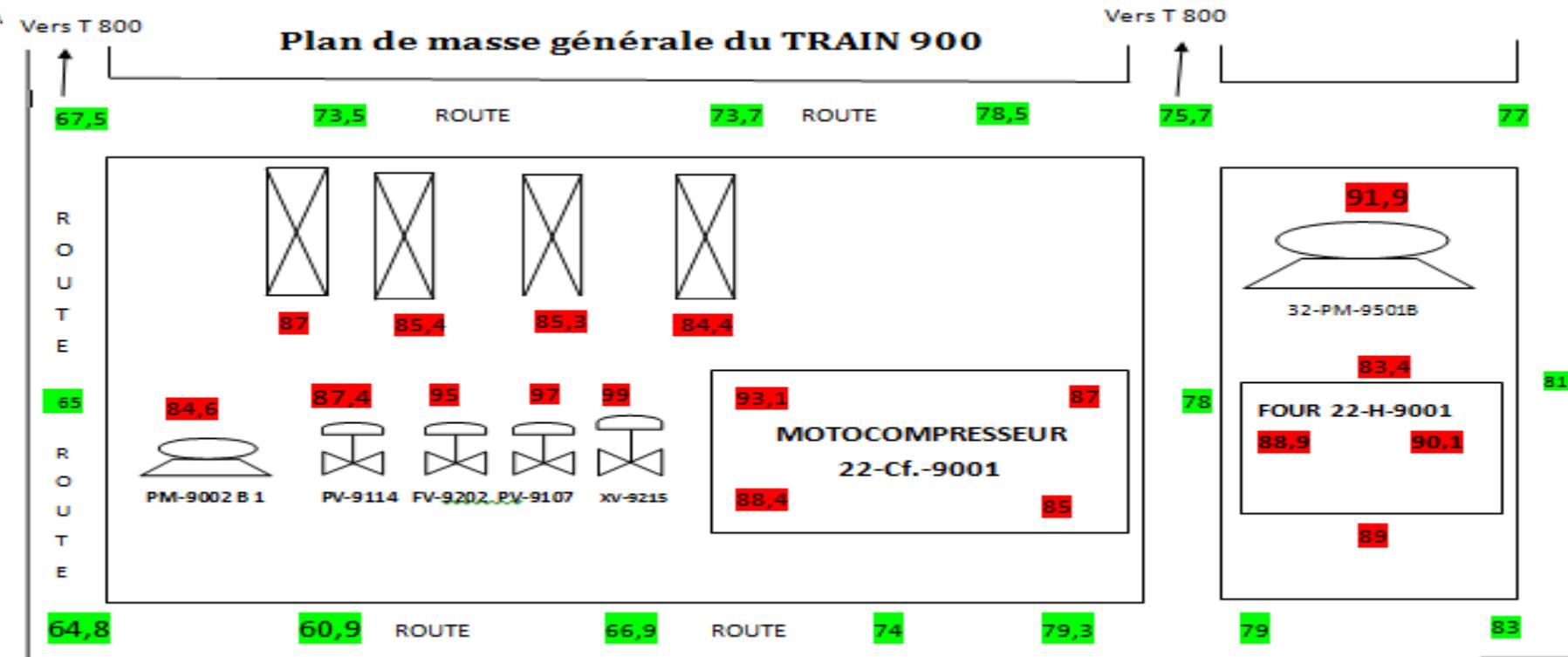
Niveau de bruit enregistré au niveau de train 700

## Plan de masse générale du TRAIN 800



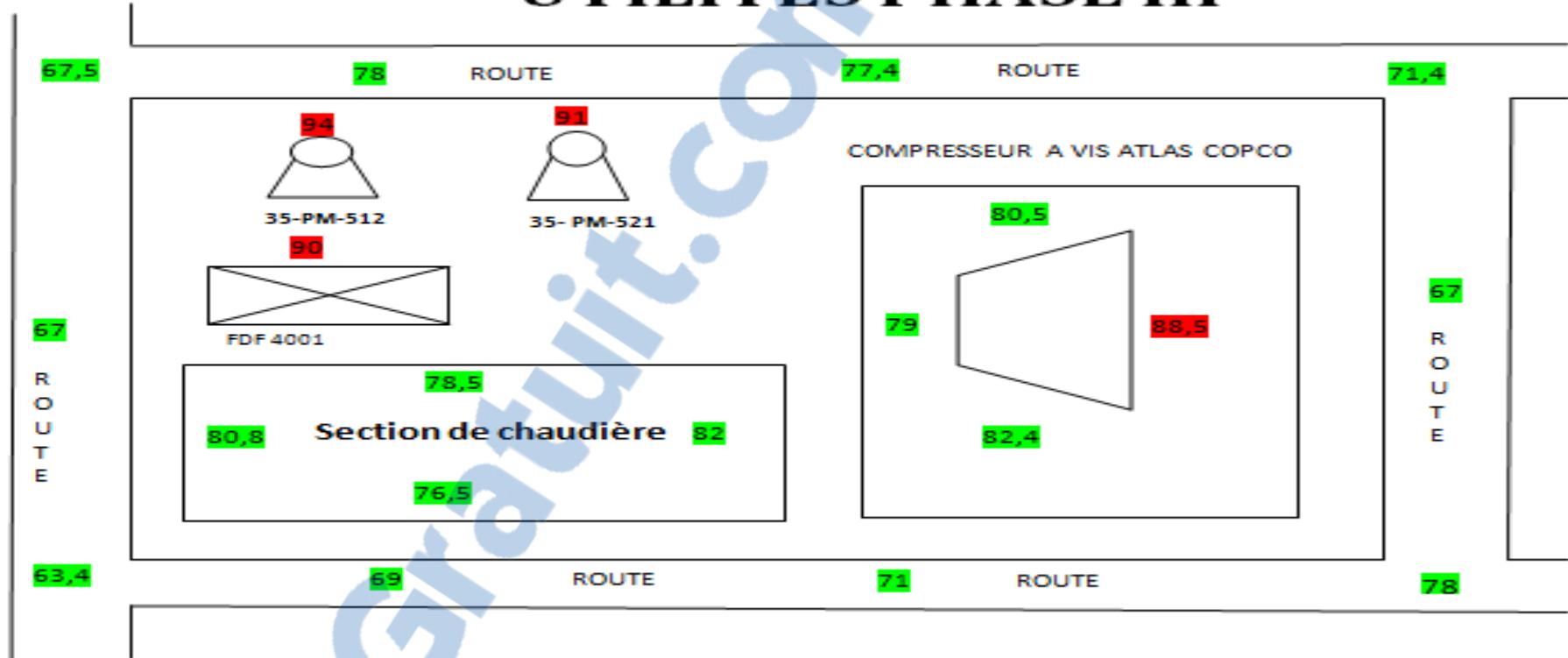
## **Niveau de bruit enregistré au niveau de train 800**

## Plan de masse générale du TRAIN 900



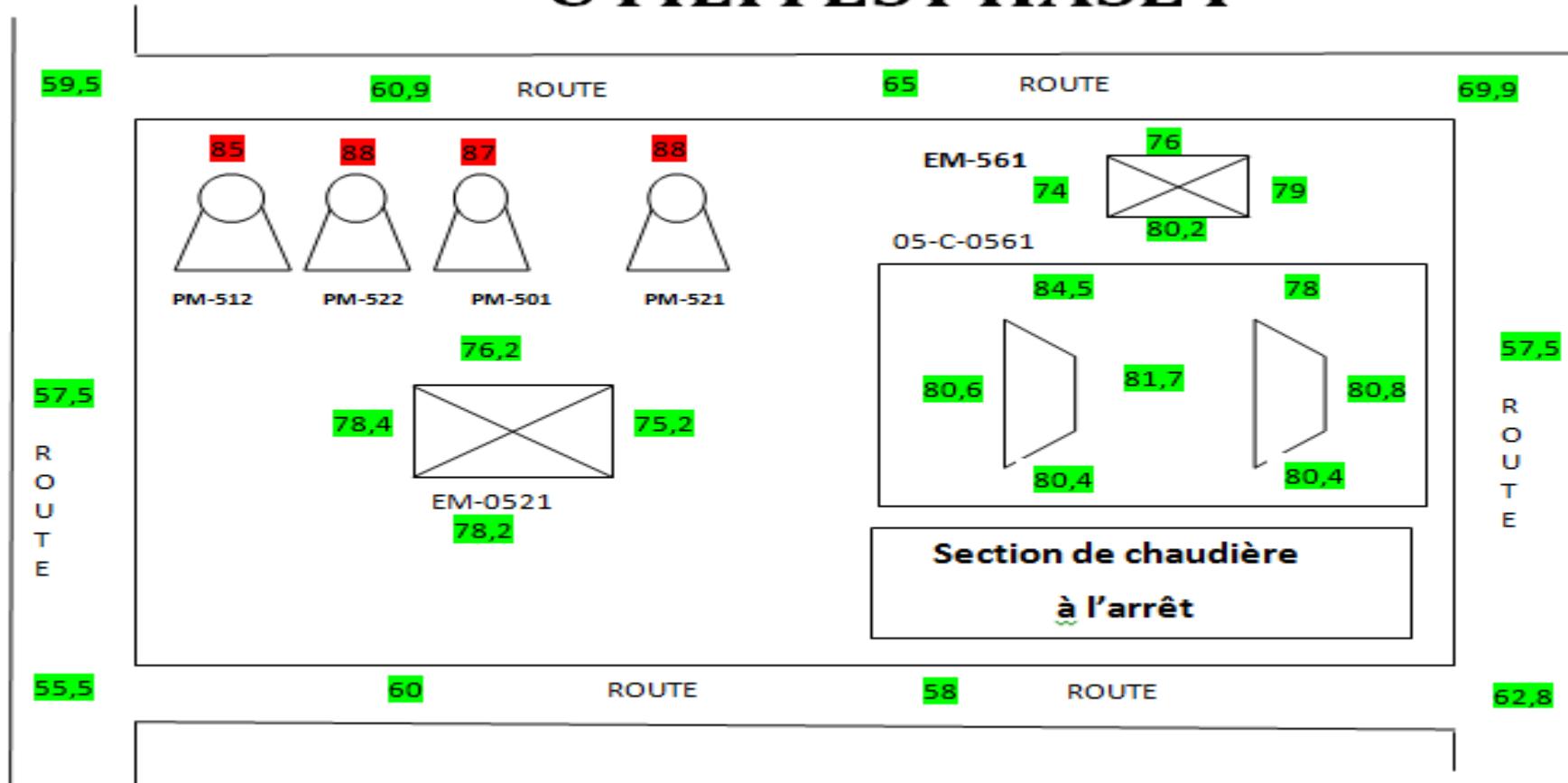
## **Niveau de bruit enregistré au niveau de train 900**

## UTILITES PHASE III

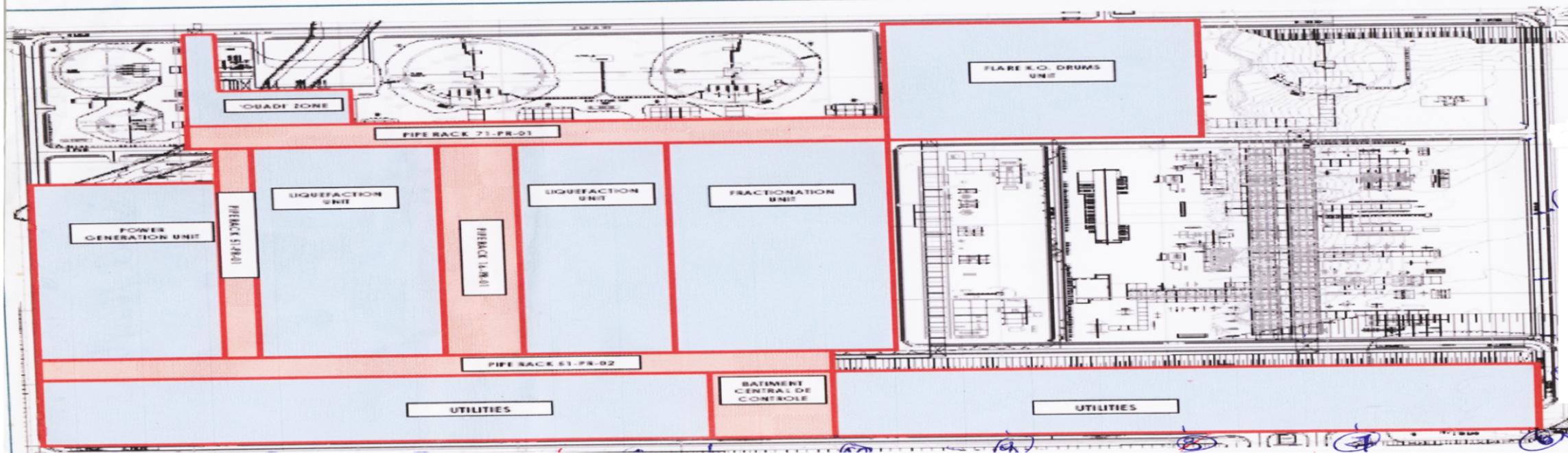


Niveau de bruit enregistré au niveau de l'utilités phase III

# UTILITES PHASE I

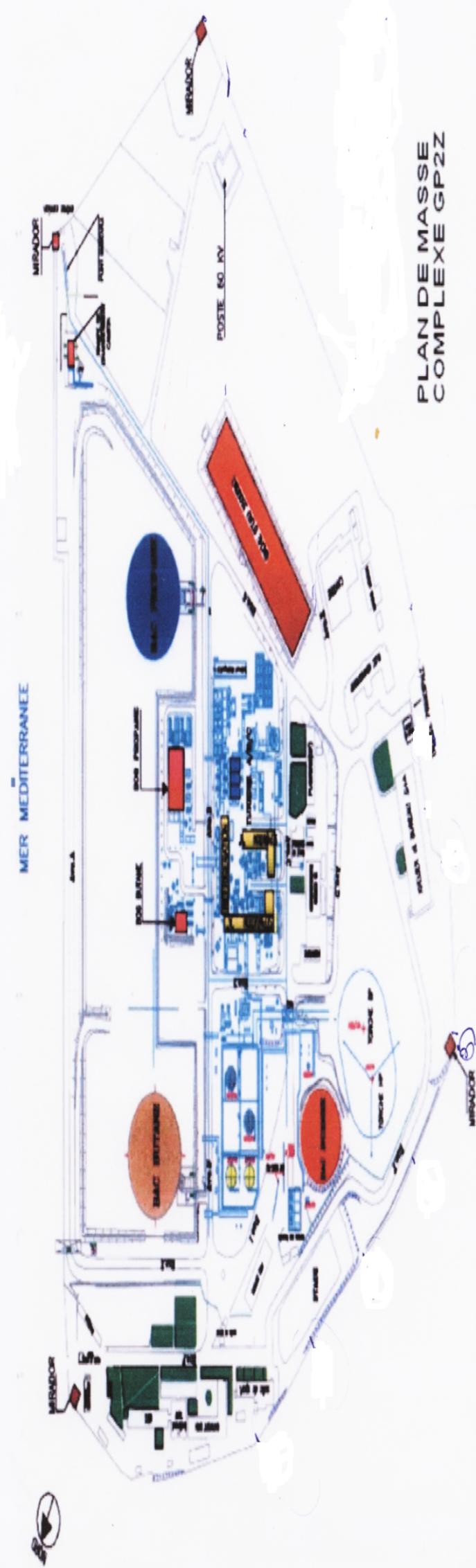


Niveau de bruit enregistré au niveau de utilités phase I



PLAN DE MASSE GL32

PLAN DE MASSE  
COMPLEXE GP2Z



# **La norme de référence NF EN ISO 9612**

### III.5.2. La norme de référence NF EN ISO 9612 :

La norme de référence pour déterminer l'exposition au bruit en milieu de travail est la norme **NF EN ISO 9612 (2009)**, elle comprend cinq étapes successives de mise en œuvre du mesurage :

- ✓ Analyser le travail ;
- ✓ Sélectionner une des trois stratégies de mesure : par tâche, par métier (ou fonction), par journée ;
- ✓ Planifier et réaliser les mesures ;
- ✓ Contrôler les erreurs et les incertitudes de mesure ;
- ✓ Calculer et présenter le résultat avec son incertitude.

#### III.5.2.1. Analyse du travail : préparation du plan de mesurage

##### A) Nature des informations à rechercher :

La norme exige une analyse du travail « dans tous les cas ». L'analyse du travail « doit fournir les informations nécessaires » pour :

- ✓ Décrire les activités de l'entreprise et les métiers des travailleurs ;
- ✓ Définir si nécessaire des groupes d'exposition homogène ;
- ✓ Déterminer une journée nominale pour chaque groupe de travailleurs ;
- ✓ Identifier les événements acoustiques rares et intenses éventuels ;
- ✓ Choisir une des trois stratégies de mesure et établir un plan de mesure.

Qui associer à cette phase d'analyse ? La norme demande de consulter à la fois les travailleurs concernés et l'encadrement, afin de déterminer avec eux une journée nominale.

##### B) Définition d'une journée nominale :

Définir une journée nominale est impératif. « Une journée nominale, comprenant des périodes de travail et des pauses, doit être déterminée en consultation avec les travailleurs et l'encadrement. Le travail doit être étudié afin d'obtenir une vue d'ensemble et une compréhension de tous les facteurs susceptibles d'influencer l'exposition au bruit.»

Définie comme la journée de travail au cours de laquelle l'exposition au bruit sera mesurée, la journée nominale est « déterminée par l'analyse du travail ». Il peut s'agir, par exemple, « d'une journée type représentant le travail réalisé sur plusieurs jours » ou de « la journée présentant l'exposition au bruit la plus élevée ».

La norme liste les facteurs qui sont à examiner :

- ✓ Les tâches (avec leur nature et leur durée) ;
- ✓ Les sources principales de bruit et les emplacements de travail bruyants ;
- ✓ L'organisation du travail et les événements acoustiques rares, entraînant des modifications dans l'exposition au bruit ;
- ✓ Les pauses et temps de travail hors milieu bruyant (ainsi que la décision sur leur prise en compte ou non dans la journée nominale).

Les informations relatives à ces facteurs doivent être insérées dans le rapport de mesure.

La norme ajoute que « tous les indicateurs qui caractérisent le travail en termes de bruit doivent être identifiés, quantifiés et consignés » et cite plusieurs de ces indicateurs : le type de production en cours, les matériaux, les machines et leurs réglages, etc.

Si le bruit varie d'un jour à l'autre, comment comprendre la notion de journée nominale ?

Elle ne peut être calquée sur une journée « habituelle » de travail.

Dans ce cas, la norme précise que « la journée nominale peut être définie à partir des situations de travail sur plusieurs jours ».

Une autre possibilité est d'évaluer le bruit durant une semaine sur la base de mesures effectuées lors de chaque journée.

### **C) Nature et durée des tâches :**

S'il est envisagé d'utiliser la stratégie du mesurage par tâche, l'analyse du travail doit aboutir à préciser la nature et la durée quotidienne des tâches.

#### **Comment arriver à cet objectif ?**

En se référant à la journée nominale, le travail effectué doit être divisé en un nombre limité de tâches représentatives.

Il faut veiller à la prise en compte de tous les bruits significatifs, dans chaque tâche, le travail doit être similaire et le niveau de bruit répétitif et représentatif, pour un groupe spécifié de travailleurs, il est souhaitable que le nombre des tâches ne soit ni trop réduit, ni trop élevé. Il peut être de cinq environ.

Mais peut-on assimiler une journée de travail à une tâche unique ?

La norme précise que « chaque tâche doit être définie de telle sorte que  $L_{p,A,eqT}$  présente une bonne répétabilité » et qu'il est « nécessaire de s'assurer que toutes les contributions pertinentes au bruit sont incluses ». Dans la quasi-totalité des cas pratiques, le respect de ces spécifications dans la définition d'une tâche entraîne l'impossibilité d'étendre une tâche unique à une journée de travail entière.

La durée quotidienne totale de chaque tâche doit être déterminée.

#### **Comment ?**

Par interview des travailleurs et de la maîtrise, par l'observation et la collecte d'informations sur le processus de travail et sur les activités aux postes de travail proches, etc.

La durée des tâches peut être variable d'un jour à l'autre. Ce fait est inhérent à certaines situations de travail. Dans ce cas, la norme suggère les deux possibilités suivantes :

### 1. Traiter la durée comme une variable :

Il faut estimer plusieurs valeurs des durées quotidiennes de chaque tâche, en suivant l'une ou l'autre des recommandations suivantes :

- Considérer différentes journées de travail puis estimer pour chacune de ces journées les durées totales quotidiennes des tâches ;
- évaluer une durée minimale, une durée maximale et la durée la plus fréquente des tâches, ensuite, on saisira toutes les durées estimées. Avec la calculette qui accompagne la norme, la saisie de plusieurs durées par tâche a été prévue et ne pose aucune difficulté. Dans ce cas, le résultat inclut un terme d'incertitude associé à la durée des tâches.

### 2. Revoir la définition de la journée nominale :

L'autre alternative est de définir la journée nominale en prenant en compte une durée moyenne par tâche, estimée sur un ensemble représentatif de journées de travail. Dans ce cas, la durée n'étant plus considérée comme variable lors de la saisie des données, elle n'est associée à aucune incertitude.

#### D) Pauses et durée totale de travail :

Les pauses sont comprises ici comme des temps de repos pendant lesquels les travailleurs ne sont pas exposés à des niveaux sonores élevés. Les pauses ont un intérêt important pour le repos auditif des travailleurs exposés et la préservation de leur audition. Elles font partie intégrante de l'activité de travail et à ce titre elles interviennent dans l'évaluation de l'exposition sonore quotidienne. La question reste de savoir de quelle manière on les prend en compte au niveau de la méthodologie de mesurage.

La première possibilité est de considérer les pauses comme une phase de travail et d'inclure cette phase dans la définition de la journée nominale, impliquant d'étendre le mesurage à cette phase.

Dans ce cas, l'estimation du niveau d'exposition quotidienne  $L_{EX, 8h}$  sera correcte si la durée quotidienne effective de travail  $T_e$  prend également en compte les pauses. Mais cette procédure peut générer une incertitude élevée, due à l'écart important entre les niveaux sonores mesurés lors des pauses et les niveaux sonores mesurés lors du travail.

Il est donc préférable de considérer les pauses comme une phase, hors journée de travail. Avec cette seconde possibilité, la journée nominale et les mesurages n'incluent plus les pauses. Mais le résultat final  $L_{EX, 8h}$  doit être estimé avec une durée de travail effective  $T_e$  corrigée en conséquence, en lui soustrayant la durée des pauses.

La validité de cette démarche suppose que le niveau du bruit  $L_{p, A, eqT}$  soit inférieur d'au moins 10 dB(A) pendant la pause à celui qu'il est en phase de travail.

#### E) Événements acoustiques rares

Lors de la préparation du mesurage, il faut identifier les événements acoustiques rares.

Quand des événements acoustiques rares ont été identifiés lors de la préparation du mesurage, il faut ensuite assurer qu'ils seront bien pris en compte dans le mesurage :

- ✓ La journée nominale doit inclure ces événements ;
- ✓ Les mesurages doivent être planifiés pour assurer leur prise en compte.

En présence d'événements acoustiques rares, il est recommandé de sélectionner la stratégie du mesurage par tâches : en identifiant ces événements à une tâche, il est possible de mieux contrôler leur impact dans le niveau du bruit moyen et dans l'incertitude qui lui sera associée.

#### **Liste de questions pour identifier la présence d'événements acoustiques rares**

##### **Ces situations de travail peuvent-elles se produire ?**

- Emploi de soufflettes à jet d'air comprimé
- Détentes d'air comprimé
- Martelage
- Chocs intenses
- Usage occasionnel de machines et d'outils très bruyants
- Passage de véhicules bruyants

##### **Des opérations très bruyantes peuvent-elles se produire durant des phases particulières ?**

- En début de poste
- En fin de poste
- Lors des phases de réglages, d'approvisionnement
- Lors des activités de démarrage et d'arrêt ou pendant la production
- Lors des phases de nettoyage
- Autres

#### **F) Groupes d'exposition homogène**

Quand on peut supposer que des travailleurs sont exposés au bruit dans des conditions équivalentes durant leur journée de travail, on suggère de constituer un groupe d'exposition homogène (GEH). L'intérêt des GEH est de réduire l'effort de mesure à un échantillon représentatif de tous les travailleurs du groupe.

Une fiche récapitulative des caractéristiques des GEH est proposée (**Voir annexe 1**).

##### **Comment procéder pour composer des GEH ?**

Il faut partir des données générales sur l'entreprise telles que les effectifs, la production, l'organisation du travail, puis décomposer l'entreprise en autant d'entités que nécessaire pour cerner les caractéristiques principales des situations d'exposition au bruit, y compris les phases d'exposition intenses et brèves.

Il convient de regrouper ensuite les travailleurs selon leurs métiers ou leurs tâches principales, quand ils sont exposés de façon analogue à des sources de bruit semblables dans un même lieu, des travailleurs constituent un GEH et, enfin, de vérifier que tous les travailleurs ont bien été affectés à un groupe d'exposition.

La composition de **GEH** est toujours délicate, aucune méthode ne peut être valide partout. Dans les grands ateliers, il est souhaitable de limiter la taille des **GEH** à 40 personnes. Au-delà de cet effectif, la norme NF EN ISO 9612 recommande de définir plusieurs **GEH**.

### III.5.2.2. Sélection de la méthode de mesurage :

Trois méthodes de mesures sont disponibles : le mesurage par tâche, par métier (ou fonction), par journée entière.

Ces méthodes se définissent en relation aux circonstances de l'exposition au bruit et aux hypothèses appliquées pour contrôler la représentativité des mesures. En cas d'approche par tâche, on suppose que ces circonstances restent identiques quand différents travailleurs effectuent une tâche spécifiée.

En cas d'approche par métier (ou fonction), on suppose que les circonstances de l'exposition sont comparables entre travailleurs de même métier et d'un jour à l'autre. En cas de mesurage par journée entière, aucune hypothèse n'est appliquée.

#### Comment sélectionner une méthode de mesure adaptée ?

Ce choix dépend notamment de la complexité des situations de travail et des moyens de mesure disponibles.

Pour guider ce choix, on peut tenir compte de plusieurs éléments :

- 1) La méthode par tâche demande une analyse détaillée du travail et l'estimation des durées quotidiennes des tâches, cet investissement dans l'analyse permet de réduire l'effort de mesure, cette méthode est adaptée quand les tâches sont peu nombreuses, prévisibles et bien localisées, ainsi qu'en cas d'usage non permanent de PICB ;
- 2) La méthode par métier (ou fonction) est adaptée si le travail se répète d'un jour à l'autre et comprend des tâches multiples de durée imprévisible ;
- 3) La méthode par journée entière est particulièrement adaptée quand le travail n'est pas prévisible, qu'il est très varié, impose beaucoup de déplacements et change d'un jour à l'autre.

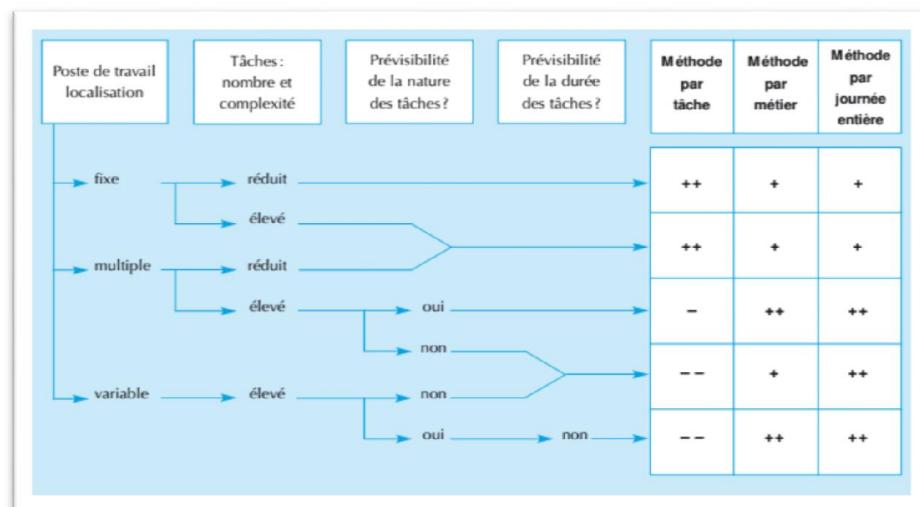


Figure III.2 : Diagramme résumant les recommandations utiles au choix d'une stratégie de mesurage en fonction des caractéristiques du travail.

Codage de la sélection : ++ = stratégie recommandée ; + = stratégie utilisable ; – = stratégie inadaptée ; -- = stratégie inapplicable

### III.5.2.3. Planification des mesurages :

La planification des mesurages répond aux questions suivantes :

- Combien faut-il effectuer de mesures ?
- Quelle doit être la durée de chaque mesure ?
- Comment répartir les mesures parmi les travailleurs et durant le temps de travail ?

#### A. Mesurage par tâche :

Des mesurages du bruit spécifiques à chaque tâche doivent être prévus. Ils doivent être séparés afin de « couvrir les variations du niveau de bruit au sein de chaque tâche dans le temps, dans l'espace et dans les conditions de travail ». Si plusieurs travailleurs sont concernés par une même tâche, il est recommandé de répartir les mesures parmi plusieurs travailleurs.

Le nombre minimal de mesures est de trois pour chaque tâche.

Toutefois, des mesures supplémentaires sont nécessaires si les résultats sont trop dispersés. Quand trois mesures ont été réalisées et que leurs résultats diffèrent de plus de 3 dB(A), il faudra effectuer trois mesures supplémentaires.

#### B. Mesurage par métier :

Le plan de mesurage par métier (ou par fonction) est fondé sur une répartition aléatoire des échantillons de bruit, durant la journée nominale de travail et parmi les membres du groupe d'exposition.

L'élaboration du plan de mesurage impose de connaître le nombre de travailleurs composant chaque groupe d'exposition (noté G). Appliquer les quatre étapes suivantes pour définir le nombre, la durée et la répartition des mesures :

1. **Durée totale de mesure :** déterminer en premier lieu la durée totale minimale de mesure, à prévoir en fonction de l'effectif G du GEH selon la figure suivant ;
2. **Nombre de mesures :** il doit être de cinq au minimum 6 ; choisir ce nombre en relation avec la durée des mesures, car leur produit doit égaler la durée totale fixée à l'étape 1 ;
3. **Durée de chaque mesure :** sélectionner une durée de mesure suffisante pour que chaque mesurage soit représentatif, puis combiner cette durée avec le nombre de mesures ; le produit (durée x nombre de mesures) doit égaler la durée totale fixée à l'étape 1 ;
4. **Durée de chaque mesure :** sélectionner une durée de mesure suffisante pour que chaque mesurage soit représentatif, puis combiner cette durée avec le nombre de mesures ; le produit (durée x nombre de mesures) doit égaler la durée totale fixée à l'étape 1 ;

Voici un exemple de plan de mesurage concernant un groupe de travailleurs de même métier et composé de quatre (4) personnes.

Nombre des travailleurs G du groupe d'exposition homogène	Durée totale minimale de mesure à répartir parmi les membres du groupe
$G \leq 5$	5h
$5 < G \leq 15$	$5 h + (G - 5) \times 0,5 h$
$15 < G \leq 40$	$10 h + (G - 15) \times 0,25 h$
$G > 40$	17 h ou scinder le groupe

Tableau III.3 : Durée totale minimale de mesure (= nombre de mesures x durée de chaque mesure) à appliquer à un groupe d'exposition homogène comprenant G travailleurs.

### C. Mesurage par journée complète

« Lorsque cette stratégie de mesurage est utilisée, il est nécessaire de s'assurer que les jours choisis sont représentatifs de ce qui est défini comme la situation de travail pertinente » pour évaluer l'exposition au bruit.

Le nombre de mesures doit être au minimum de trois. Toutefois, au terme de trois journées complètes de mesurage, si les résultats diffèrent de plus de 3 dB(A), la norme impose d'effectuer le mesurage de deux journées complètes supplémentaires.

Ce type de mesurage s'effectue en équipant les travailleurs d'un exposimètre. Ceci ouvre des possibilités de mesure (les cris ou les chocs mécaniques sur le microphone de mesure) qu'il faut éviter. Pour limiter ces possibilités, lors de la préparation et de la réalisation des mesurages, il est recommandé :

- ✓ D'informer les travailleurs du but du mesurage et de leur expliquer la conduite à tenir pour éviter ces artefacts ;
- ✓ D'observer le travail effectué lors des mesurages ;
- ✓ D'effectuer des mesures de bruit ponctuelles complémentaires.

#### III.5.2.4. Choix d'appareils de mesure

##### A. Définition de l'exposimètre :

Un dosimètre de bruit (terme américain) ou exposimètre (terme parfois utilisé en français) est un appareil d'un type particulier spécialement destiné à mesurer l'exposition au bruit d'un salarié travaillant en ambiance bruyante et fournir comme résultat une mesure intégrée sur une certaine période de temps, habituellement pour se conformer à des règlements en matière de santé et de sécurité, ou son équivalent américain, la norme de l'Occupational Safety and Health Administration(OSHA).

##### B. Définition du sonomètre :

Un sonomètre est un instrument destiné à mesurer le niveau de pression acoustique, une grandeur physique liée au volume sonore. Il s'utilise dans les études de pollution sonore et d'acoustique environnementale pour quantifier le bruit et les nuisances sonores.

La norme NF EN ISO 9612 spécifie que les mesures d'exposition doivent être effectuées soit avec un exposimètre, soit avec un sonomètre intégrateur. Cette spécification exclut les sonomètres simples, non intégrateurs.

Elle précise que les exposimètres peuvent être employés dans toutes les situations d'exposition. Elle ajoute que les exposimètres sont préférables pour des mesures de longue durée lorsqu'il s'agit de contrôler un travailleur dont le poste de travail est très mobile ou ayant un travail complexe et imprévisible. Afin d'éviter les fausses contributions, liées par exemple à des chocs sur le microphone ou à des courants d'air, il est recommandé d'équiper le microphone d'une bonnette anti-vent.

### III.5.2.5. Réalisation des mesures

#### A. Vérification de l'appareillage

Sur le site des mesures, une vérification de l'appareillage doit être effectuée avant et après chaque série quotidienne de mesures. Cette vérification s'effectue à l'aide d'un calibreur acoustique. Elle consiste à comparer la valeur mesurée par l'appareil de mesure à la valeur de référence fournie par le calibreur au début de chaque série quotidienne de mesurages. En fin de journée de mesures, on doit effectuer la même vérification. Si un écart supérieur à 0,5 dB apparaît entre le début et la fin des mesurages, les mesures effectuées lors de cette journée doivent être annulées.

#### B. Position du microphone de mesure

Durant des mesures d'exposition au bruit, la position du microphone doit respecter les spécifications normalisées suivantes.

##### 1. En cas d'usage d'un exposimètre :

Le microphone doit être situé sur l'épaule à au moins 10 cm de l'oreille.

Afin d'éviter des artefacts de mesure, la norme demande de ne faire débuter le mesurage qu'après la mise en place de l'exposimètre ; de même le mesurage doit être arrêté avant le retrait de l'appareil.

Il est souhaitable de protéger le microphone de mesure par une bonnette anti-vent. Le travailleur contrôlé doit être informé du but du mesurage et recevoir les consignes suivantes : effectuer son travail normalement, ne pas toucher à l'appareil durant toute la mesure.

##### 2. En cas d'usage d'un sonomètre :

Le microphone doit rester positionné durant toute la durée du mesurage « à une distance comprise entre 10 cm et 40 cm de l'oreille » de la personne contrôlée (**voir la photo au-dessous**)



Figure III.3 : Lors de mesures sono métriques, le microphone de mesure doit être maintenu à moins de 40 cm de distance de l'oreille.

### C. Recommandations utiles durant les mesures

Dans le cas des mesures effectuées à l'aide d'un exposimètre, il convient d'observer l'activité des travailleurs contrôlés, afin d'être en mesure d'interpréter les variations éventuelles des niveaux mesurés et de contrôler l'absence de cris dans le microphone ou celle d'autres artefacts de mesure.

Dans le cas des mesures effectuées à l'aide d'un sonomètre intégrateur, il faut vérifier que le travail réel lors des périodes de mesurage reflète bien les circonstances de l'exposition au bruit spécifiées par la journée nominale.

### D. Que faire si les résultats sont trop dispersés ?

Si les mesures fournissent des résultats trop différents, l'incertitude du résultat final sera très élevée.

Pour l'éviter, la norme demande d'examiner l'écart entre la valeur maximale et la valeur minimale des résultats, puis de poursuivre le mesurage au-delà du nombre de mesures minimal requis si cet écart dépasse une valeur spécifiée.

Les valeurs spécifiées par la norme sont les suivantes :

- ☞ en cas de mesurage par tâche, si les trois premières mesures d'une tâche s'écartent de plus de 3 dB(A), effectuer au moins trois mesures supplémentaires pour cette tâche;
- ☞ en cas de mesurage par métier, si les cinq premières mesures s'écartent de plus de 6 dB(A), poursuivre le mesurage ;
- ☞ en cas de mesurage par journée entière, si les trois premières mesures s'écartent de plus de 3 dB(A), effectuer au moins deux mesures supplémentaires.

## E. Préparer les solutions :

Les phases d'analyse du travail, de mesurages et les observations du travail réel constituent autant d'occasions pour collecter des informations telles que la présence d'événements acoustiques rares, l'usage de modes opératoires particulièrement bruyants, l'exposition à des bruits intenses lors de la récupération d'incidents de production, la présence de bruits inutiles, etc.

Ces observations peuvent être mises à profit pour identifier des solutions simples de réduction du risque lié au bruit (par exemple : utiliser des soufflettes insonorisées, supprimer les chocs entre pièces métalliques, éloigner l'opérateur de la source de bruit). Il est donc recommandé de collecter précisément toutes les informations susceptibles de préparer les actions de réduction du risque bruit.

## F. Exploiter et comprendre les résultats

Après réalisation des mesurages selon les spécifications normalisées, de nombreux résultats doivent être fournis. Afin d'éviter tout calcul inutile, en premier lieu une calculette qui indique immédiatement tous les résultats souhaitables. L'interprétation des résultats est posée en termes de dépassement des seuils d'actions réglementaires, exprimés en  $L_{EX, 8h}$  et en  $L_{p, C, peak}$ . La méthode d'estimation de l'incertitude associée à  $L_{EX, 8h}$  est présentée ensuite, afin de savoir quoi faire si une réduction de son amplitude était souhaitée. On montre enfin comment extraire des mesures d'exposition au bruit les indications utiles aux actions de réduction du risque.

### III.5.3. Exploiter et comprendre les résultats

Après la réalisation des mesurages selon les spécifications normalisées, de nombreux résultats doivent être fournis. Afin d'éviter tout calcul inutile, on va présenter en premier lieu une calculette qui indique immédiatement tous les résultats souhaitables. L'interprétation des résultats est posée en termes de dépassement des seuils d'actions réglementaires, exprimés en  $L_{EX, 8h}$  et en  $L_{p, C, peak}$ .

#### III.5.3.1. Définition de la calculette NF EN ISO 9612 :

Cette calculette, au format Excel, permet d'effectuer les calculs requis par la norme **NF EN ISO 9612 2009** "Détermination de l'exposition au bruit en milieu de travail Méthode d'expertise" pour trois stratégies de mesure.

En effet, la réglementation impose d'évaluer et, si nécessaire, de mesurer les niveaux de bruit auxquels les travailleurs sont exposés dans le but de mettre en œuvre des actions de prévention en cas de dépassement des seuils d'exposition réglementaires.

#### III.5.3.2. Utilisation de la calculette NF EN ISO 9612 :

L'analyse des résultats de mesures d'exposition conformes à la norme NF EN ISO 9612 étant relativement complexe, une calculette sous Excel a été développée spécifiquement.

Son usage est recommandé, il évite tous les calculs. Les résultats indiquent  $L_{EX, 8h}$  et son incertitude élargie U, pour les trois stratégies de mesurage. Ils sont immédiatement disponibles dès que la saisie des données est complète.

Diffusée avec la norme ISO elle-même, cette calculette fournit des résultats conformes à la norme, sans besoin de connaître les bases des calculs effectués.

L'utilisation de cette calculette et l'interprétation des résultats disponibles sont présentés ici. Calqués sur les trois stratégies de mesurage normalisées, ces exemples sont les suivants :

- Mesurage par tâche : exemple des conducteurs de lignes de fabrication ;
- Mesurage par métier : exemple du groupe des fraiseurs ;
- Mesurage par journée entière : exemple des régleurs.

#### **III.5.3.3. $L_{EX,8h}$ et $U$ : dépassement des seuils d'actions réglementaires :**

Les résultats des mesures d'exposition au bruit professionnel fournissent le niveau de bruit  $L_p$ ,  $A_{eq} T_e$  qui exprime la dose du bruit reçue pendant la durée totale effective  $T_e$  d'une journée de travail. Après normalisation de cette dose par la durée de référence de 8 heures, on en déduit le niveau d'exposition quotidienne au bruit,  $L_{EX,8h}$  qui est estimé avec une incertitude  $U$ .

#### **III.5.3.4. Analyser les niveaux crête, $L_{p,C,peak}$ :**

Lors des mesures d'exposition, le mesurage des niveaux de pression acoustique de crête a pour objet de savoir si les seuils d'actions réglementaires, définis par  $L_{p,C,peak} = 135$  et  $137$  dB(C) sont dépassés.

Compte tenu des difficultés métrologiques liées au mesurage des niveaux  $L_{p,C,peak}$ , l'analyse peut être menée en appliquant simultanément les deux critères réglementaires, celui qui s'appuie sur  $L_{p,C,peak}$  et celui qui s'appuie sur  $L_{EX,8h}$ .

L'analyse des niveaux de crête est particulièrement décisive lorsque le mesurage indique la présence d'un dépassement de seuil constaté en niveau crête sans qu'il y ait, simultanément, dépassement de seuil exprimé en  $L_{EX,8h}$ .

Quand les mesures ont été effectuées à l'aide d'un exposimètre, la norme contient plusieurs exigences :

- ✓ Vérifier en premier lieu l'absence d'artefact et de saturation de l'appareil de mesure, afin de valider le mesurage des niveaux de crête ;
- ✓ Réaliser une enquête afin de commenter dans le rapport de mesure ce qui provoque l'apparition de niveaux sonores de crête élevés.

Quand le mesurage a été validé, l'interprétation des résultats exprimés en niveau de pression acoustique de crête doit être menée en indiquant la valeur maximale parmi l'ensemble des mesures effectuées dans un groupe spécifié de travailleurs. Cette valeur est à comparer aux deux seuils d'actions réglementaires définis par les valeurs  $L_{p,C,peak}$  de  $135$  et  $137$  dB(C).

#### **III.5.3.5. Contrôler l'incertitude $U$ associée au $L_{EX,8h}$ :**

Compte tenu du fait que le résultat fourni par ( $L_{EX,8h} + U$ ) peut être comparé aux seuils d'actions réglementaires, on examine ici deux questions liées aux erreurs et incertitudes de mesures :

Comment éviter les erreurs systématiques, susceptibles de surestimer (ou de sous-estimer) la valeur de  $L_{EX,8h}$  ?

Comment identifier sur quoi agir lorsque la valeur de U fournie par la calculette est jugée trop élevée ?

### A. Éviter les erreurs systématiques

Quand des bruits significatifs ne sont pas pris en compte dans le mesurage, ou, au contraire, quand le mesurage comprend des artefacts et des fausses contributions (cris, etc.), on parle d'erreur de mesure.

L'effet de telles erreurs est d'induire une sous-estimation systématique du niveau de bruit ou une surestimation systématique.

Il faut éviter les possibilités d'erreurs systématiques et la norme spécifie comment faire : en respectant le mode opératoire normalisé, notamment sur les trois points suivants :

- ✓ Respecter la position correcte du microphone de mesure. Il doit être placé à moins de 40 cm de l'oreille du travailleur durant tout le mesurage ;
- ✓ Eviter les fausses contributions au bruit mesuré, provenant par exemple d'impacts ou de jets d'air sur le microphone de mesure. L'usage d'une boule anti-vent est recommandé. Quand les mesures sont effectuées avec un exposimètre, il faut supprimer des séries mesurées ces fausses contributions (cris, etc.) avant d'énoncer le résultat ;
- ✓ Contrôler l'absence d'omissions dans l'analyse du travail. Le mesurage doit prendre en compte tout ce qui apporte une contribution significative à l'exposition au bruit, notamment les événements acoustiques rares.

### B. Les sources d'incertitude de mesure

Contrairement aux erreurs ayant un effet systématique, on utilise ci-après le terme d'incertitude pour qualifier l'effet aléatoire de fluctuations inhérentes au processus qu'on mesure. La norme NF EN ISO 9612 impose de prendre en compte quatre sources d'incertitudes.

- ✓ **Les variations du travail quotidien et des conditions d'exposition :** incertitude sur le niveau du bruit Ces variations sont naturelles et ont une ampleur qui dépend de la complexité des situations de travail. Elles induisent une incertitude d'échantillonnage du niveau de bruit, liée au nombre des mesures et à la dispersion des résultats. La calculette quantifie cette incertitude dès que les niveaux du bruit mesurés sont saisis. Si l'incertitude est trop élevée, il faut effectuer plus de mesures. Si un facteur nouveau (apparu lors des mesures) explique les variations constatées, on examinera s'il faut modifier le plan de mesurage initial pour contrôler ce facteur par des mesures supplémentaires.
- ✓ **Les variations dans l'exécution des tâches :** incertitude sur la durée de chaque tâche en cas d'approche du mesurage par tâche, il est fréquent que la durée des tâches soit difficile à estimer ou variable d'un jour à l'autre. Rien ne s'oppose à traiter explicitement la durée d'une tâche comme une variable (voir les indications données en 6.3.3 à ce sujet). Dans ce cas, une durée moyenne et son incertitude sont estimées par la calculette, à partir de toutes les valeurs saisies. Notez que l'incertitude associée à la durée se réduit généralement en accroissant le nombre des valeurs saisies.

# Publications réalisées

## COMPARATIVE STUDY OF THE NOISE GENERATED BY THE MOTO-COMPRESSOR AND THAT GENERATED BY THE TURBO-COMPRESSOR

I. Arbaoui<sup>\*1</sup>, A. Hamou<sup>1</sup>, H. Abderrahim<sup>1,2</sup>, A. Tayeb<sup>1,3</sup>, N. Sayad<sup>4</sup> and A. Arbaoui<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Environment and Materials studies' laboratory of Physics Department, Exact and Applied Sciences Faculty of Oran University 1 Ahmed Ben Bella

<sup>2</sup>Oran's Research and Formation Hydrometeorology Institute, Algeria

<sup>3</sup>Hygiene, Security and Environment Department LRP Sonatrach, Algeria

<sup>4</sup>Faculty of Mathematics and Computer Science, University of Science and Technology mohamed boudiaf, Algeria

<sup>5</sup>Department of Hydraulics, University of Bechar

Received: 04 July 2017 / Accepted: 10 December 2017 / Published online: 01 January 2018

### ABSTRACT

The fundamental aim of this study is to compare between the noise generated by the moto-compressor and the noise generated by the turbo-compressor operating 24H/24H on the continuous function mode; these two machines make part of the equipment of the GP1Z, a factory of hydrocarbon treatment. To attain the principal objective of this study we divided our work into two parts, in the first part we followed and evaluated the average level of the noise emitted by the two machines, whereas in the second part we studied the noise propagation emitted by the two machines and its impact on the generation of the noise. The results obtained from this study demonstrate that the noise generated by the turbo-compressor is higher than the noise generated by the moto-compressor.

**Keywords:** noise; moto-compressor; turbo-compressor; noise maping.

---

Author Correspondence, e-mail: [arbaoui.iliace@gmail.com](mailto:arbaoui.iliace@gmail.com)

doi: <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v10i1.15>



## 1. INTRODUCTION

Noise is unwanted sound from activity in certain rate and time, which can cause human health problems and disturbs environmental comfort [1 and 2], Turbo-compressor (TC) are well known machines with a development of near a hundred years, Centrifugal compressors of industrial systems use mechanical energy to compress the working fluid [3].

Nowadays, there is a great concern about noise in city-based and industrial areas [4-17]

The noise generated from operating wind and gas turbines [18-35] is classifiable as an aerodynamic or a mechanical sound as a whole. Aerodynamic sound is generated from the blade passing through the air, and mechanical sound is emitted by some equipment in the nacelle [36].

Global warming and greenhouse gas emissions are a great concern. To reduce these emissions, there is a global trend towards cleaner energy sources [37]. In our study we studied the case of two compressors with two different coupling, the first coupling with a gas turbine and the second coupling with an electric motor, the gas turbine functions by the combustion of fuel gas causing greenhouse gas emissions and noise pollution, contrary to that, the electric motor is not polluting like the turbine, it is for this reason that we made a comparative study between the noise generated by the turbo-compressor and that generated by the motor-compressor. These latter machines are among the first sources that cause the problem of noise of industrial origin, several studies have been carried out in the world to treat the industrial noise problem [38], Noise is often one of the environmental variables seem more difficult to guarantee full compliance with legal limits in complex industrial situations and/or in other multi-source environments [39].

In addition to previously announced objectives, this study examined also the environmental impact of noise generated by both of the moto-compressor and the turbo-compressor in large, based on situ measurements of sound pressure levels and noise mapping.

## 2. MATERIALS AND METHODS

There no study whatever it is, that could get credibility without having field measurements, therefore we chose an important site (GP1Z) as a first step. After moving there as a second

step, we made synchronis measurments for both the turbo-compressors and the moto-compressors during 4hours(8h-12), we chose this time because the output of the compressors is maximal during this period of the day, and to get credible results;in the third stage we compared between the results of the noise measurments of both of the compressors. Finally and to know the environmental impact of the noise generated by the turbo-compressors and that generated by the moto-compressors we made a noise mapping.



**Fig.1.**Turbo-compressor of sequence 100

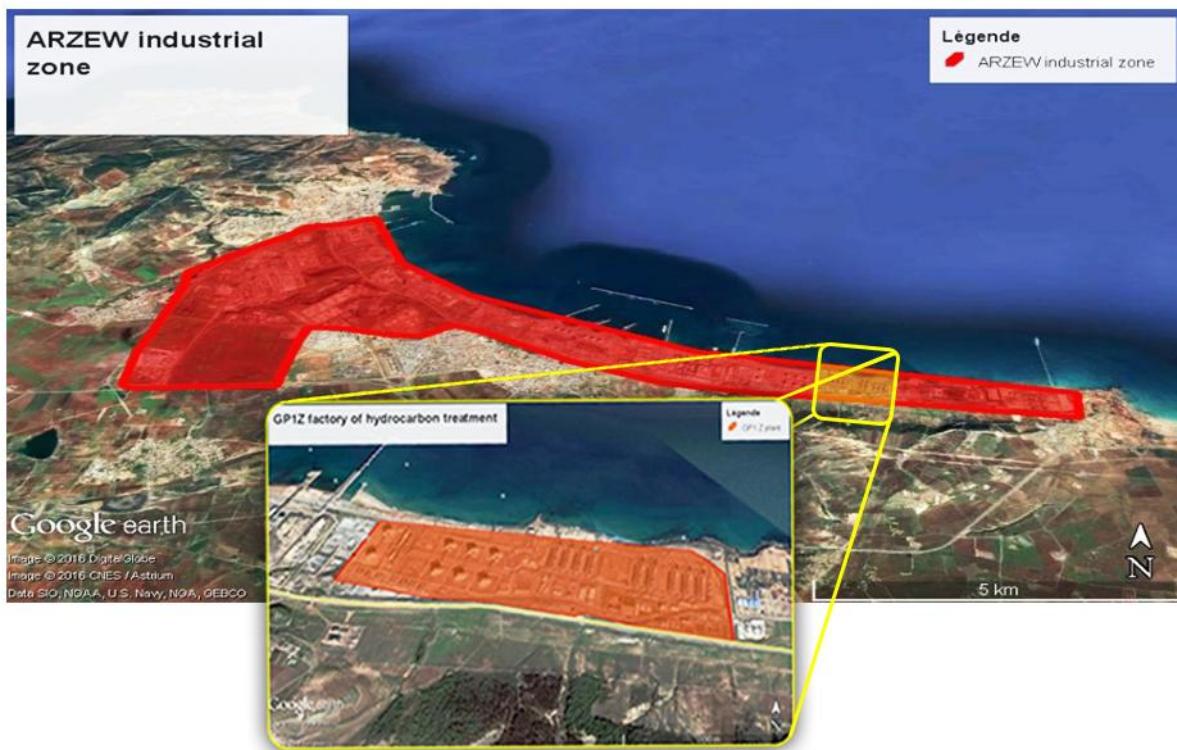


**Fig.2.** Moto-compressor of sequence 600

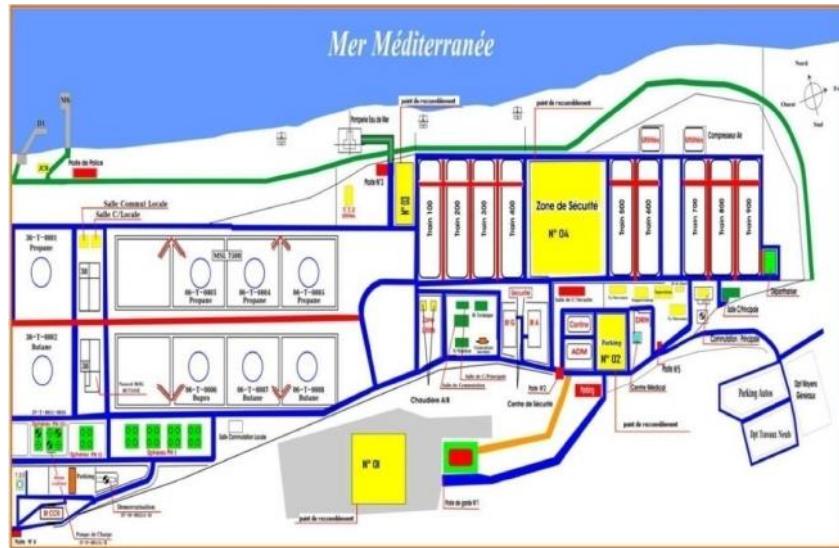
## 2.1. Site selection

To achieve the objective of the current study which is to compare between the noise generated by the moto-compressors and that generated by the turbo-compressors, so, we chose the chemical plant GP1/Z, that contains several types of compressors. As shown in figures 03 and 04.

The plant GP1Z is situated in the west-north of Algeria in the industrial zone of Arzew, the province of Oran, the surface of this plant is 120 hectares, it is classified among the best African plants concerning chemical industries, the fundamental objective of this plant is to separate and transform the GPL to produce propane and butan in order to supply the Algerian market and to export abroad.



**Fig.3.** Arzew industrial zone's geographical location and GP1Z plant's geographical location.



**Fig.4.** General ground plan on the main installations GP1 / Z[40]

## 2.2 Materials used

The Sound level meter used is Roline RO-1350, 94 dB calibrations, with “Fast” temporal balance and “A” frequency.

Since the introduction of the EU ambient noise directive, strategic noise mapping has been used as a tool for noise policy in many European countries [41]. For this reason we have carried out the mapping of the noise in order to prove the impact of the turbo-compressor and moto-compressor on noise pollution; we have made a noise mapping of GP1/Z plant. As an indication, Several simulator have been adopted for making noise maps[42-47] such as ; Sound City, CadnaA, OUIE2000, DBlink (Industry) and IMMI dB Vib instrumentation [45], we chose the CODE-TYMPAN, which is adapted to industrial noise as a tool for interpreting our results.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

The figures 05 and 06 demonstrates that the recorded level of noise generated by the turbo-compressor during four hours (from 8:00 to 12:00) of continued work is very high and attains the 95,1 dB (A) ; the origin of this noise is fundamentally due to the gas turbine which is feed by fuel gas, which enters the room of combustion to produce vigorous gas of exhaust, this energy of the fluid transforms into a rotating mechanical energy on a shaft allowing a

compressor to be driven. The compressor is linked to the turbine through a common shaft; the principal role of the compressor is to compress the gas.

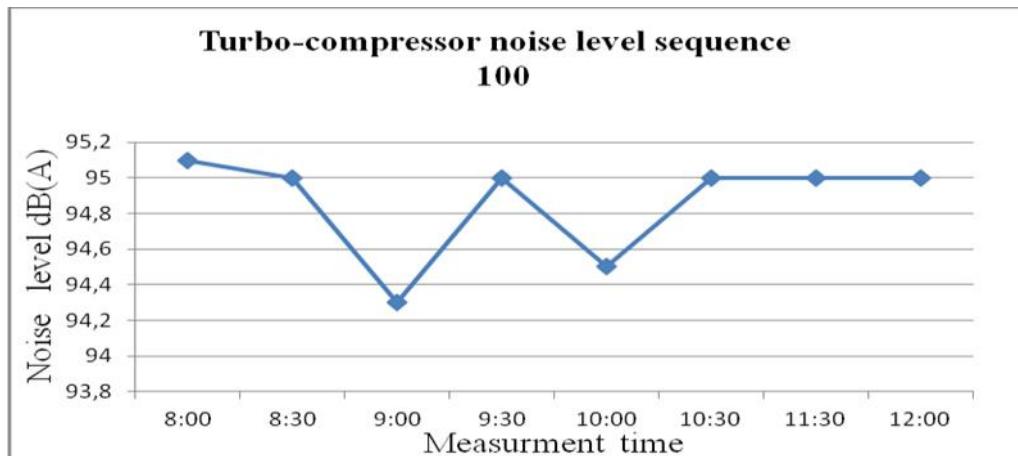
Several origins of noise can be distinguished in the turbo compressor system:

- It's evident that a small fraction of this energy is converted to an acoustic energy, it can propagate into the whole system and be manifested as noise, and the vibration of the body can also contribute to the generation of noise.
- The vibration of the compressor's components or surfaces because of the variations of the pressure generated in the fluid.
- The unbalanced rotors, the rubbing of the shaft, the partition of the vibrating pipes.

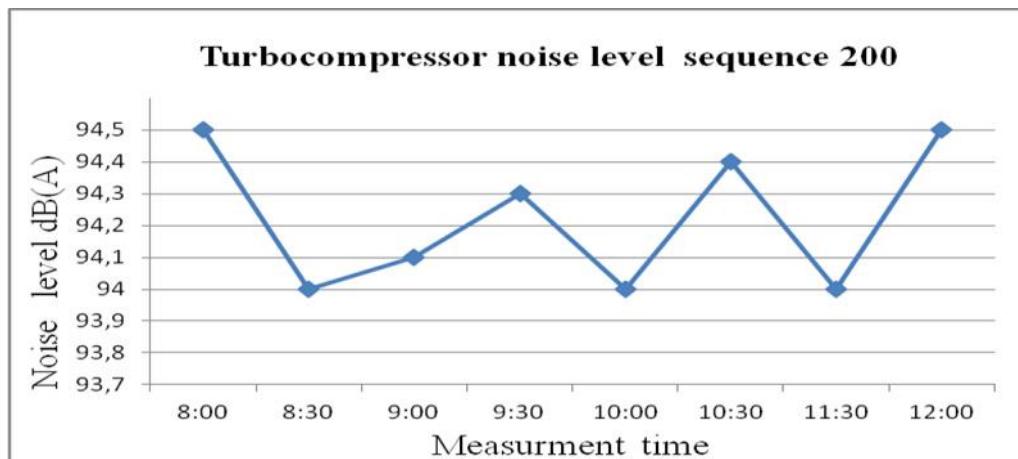
The figures 7 and 8 represent the level of noise on average recorded in moto-compressors during four hours of continued work (8:00 to 12:00), a moto-compressor is a combination of an electrical engine and a compressor, the engine transforms the electrical energy to a mechanical energy to rotate the compressor; the total emission of noise in the moto compressors is considered to be a combination of the two sources of noise not correlated together: magnetic and mechanical. The noise of mechanical origin in a moto-compressor is created by several elements:

- the function of the cooling fan creates the majority of the mechanical noise.
- the interaction between the shaft and the bearing contributes also to the generation of noise.

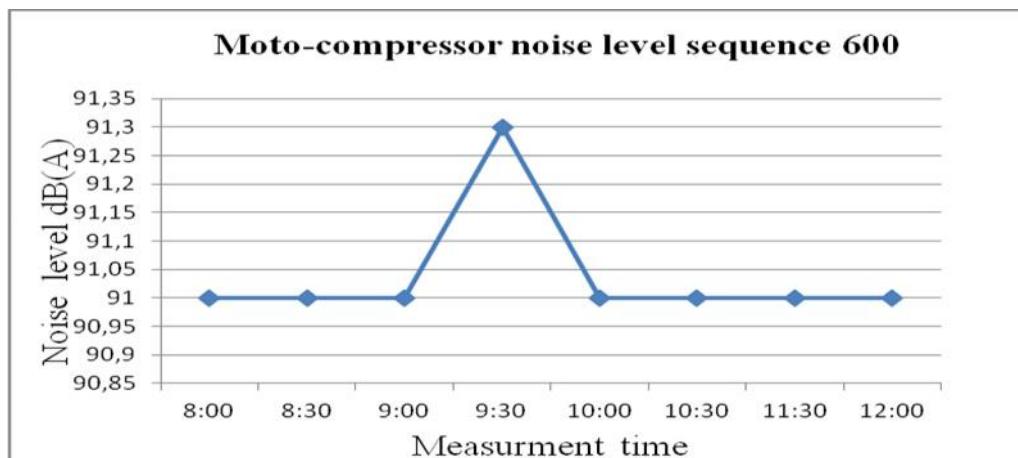
The noise of the mechanical origins is an audible noise coming from the vibrations due to the magnetic forces, and it stops consequently when the machine is switched off, this type of noise depends on the shaft's charge, the voltage, the current, the frequency, the enrolment's parameters, and the groove's geometry, etc.



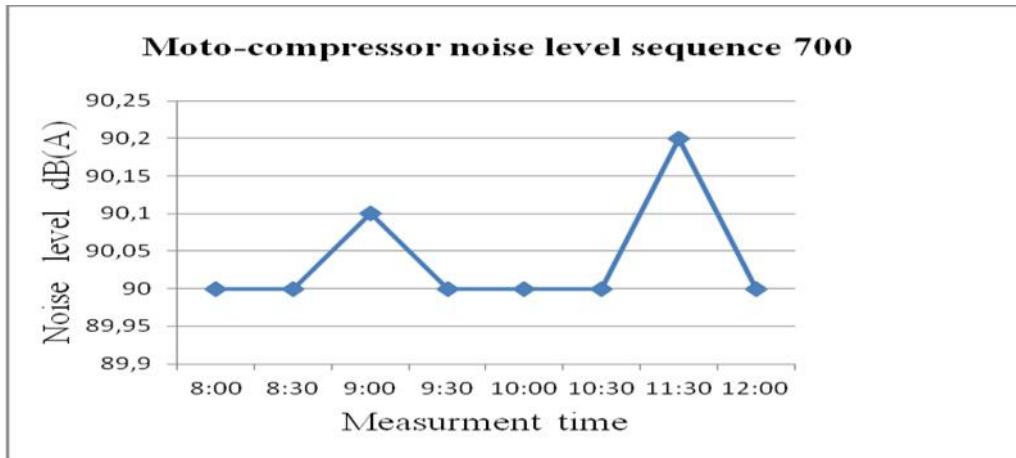
**Fig.5.** Noise level recorded in sequence 100



**Fig.6.** Noise level recorded in sequence 200



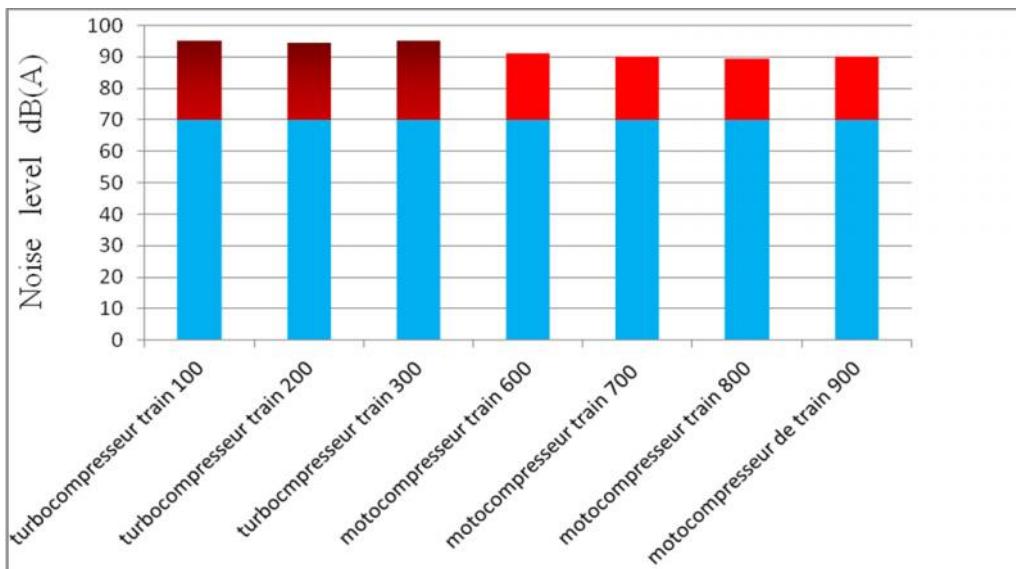
**Fig.7.** Noise level recorded in sequence 600



**Fig.8.** Noise level recorded in sequence 700

### 3.1. A comparison between the noise level generated by the turbo compressors and that generated by the motor compressors:

The histogram below represents a comparison between the noise generated by the turbo-compressor and the noise generated by the mto-compressors. These results demonstrate that the turbo-compressor is noisy compared to the mto-compressor.



**Fig.9.** Histogram of comparison between the noise generated by the turbo-compressor and the noise generated by the Moto-compressor

### **3.2. The impact of the noise generated by both the moto-compressor and the turbo compressor on the increasing of noise pollution**

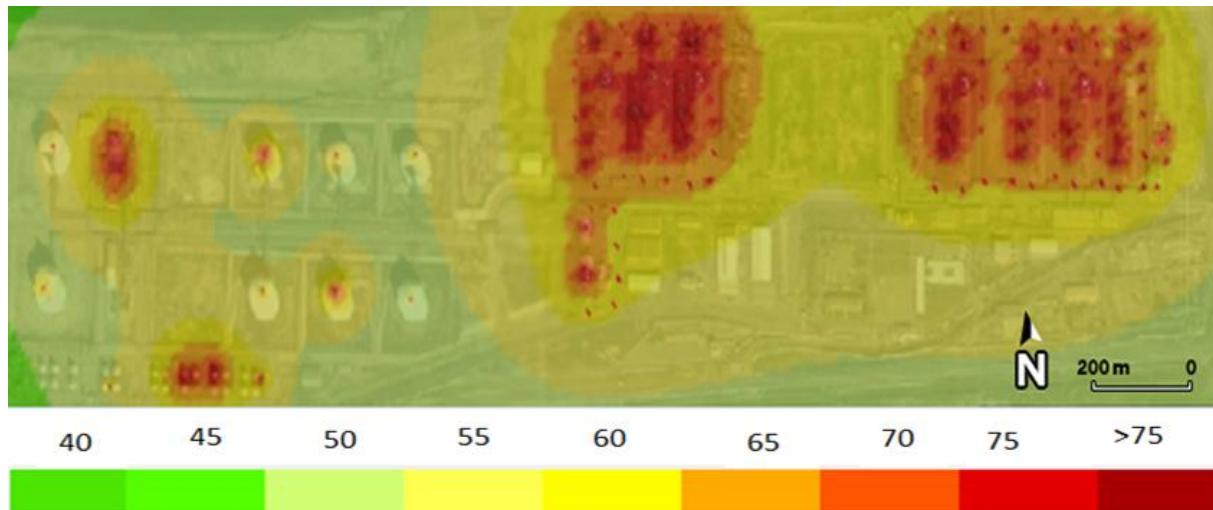
The complex GPLZ contains much equipment that contributes to noise pollution (pumps, Chaudières, fans.....), but the noisiest equipment in this complex is the motor compressors and the turbo compressors, and to confirm that result, we have made field measurement to all the complex's machines.

In order to prove to huge impact of the turbo-compressors and the moto-compressors on noise pollution ;we have made a noise mapping (figure 10), in the first stage, we have measured the noise level generated by all the other machines of the complex (without the compressors) ,we have noticed that the noise level has significantly decreased, in the second stage we have introduced the compressors' data again with all the other machines of the complex and measured the noise generated by the whole complex's equipment, the results we have got form a simple comparison between the results in the two stages specifies the great effects of the turbo-compressors and the moto-compressors on the generation of noise pollution.

As far as the noise mapping is concerned, the comparison between the noise level with and without the turbo-compressors and the moto-compressors, we notice that the compressors have an important effect on the generation of noise pollution:

- The global noise average has increased
- The surface of the noise spreading has enlarged outside the complex, this increasing and enlargement of the noise has deep negative effects on the complex's neighboring inhabitants

From the results of the noise mapping, we conclude that the noise generated by the moto-compressors and that generated by the turbo-compressors has a great impact on the environmental noise generation inside and outside the plant, we could also observe that the propagation of the noise's surface is increasing if we take the noise in consideration, then we can talk about its impact on health of the workers inside the plant for 8 hours a day and on the health of the neighboring inhabitants who are exposed to a higher rate of that noise.



**Fig.10.**General noise mapping of the GP1Z plant

#### 4. CONCLUSION

From all results obtained in this study we concluded that:

- 1-The turbo-compressors is noisier than the motor compressor.
- 2-The noise level of the turbo-compressor of the sequence 100 and 200 is so high and intense, it's unstable and varies between 95.6 dB (A) and 94.3dB (A) during four hours of measurement by a continued regime.
- 3-The noise levels of the moto-compressor of the sequence 600-700 is less high compared to that of the turbo compressor(100-200),moreover it's almost steady on the value 91 dB, by contrary, the noise level of the noise generated by a turbo compressor 100-200 varies by an aleatory manner.

To this end, we recommend that those who are responsible for changing the turbo-compressor by moto-compressors to reduce the noise level and the percentages of gases (CO<sub>2</sub>, NOx, etc.) escaping from the torches. This will also save gas, reduce flue gas emissions and improve environmental working conditions. But this idea requires an economic study in order to take the economic aspect on consideration. So concluded from the steps above, any future intention to solve such kind of industrial solution inside such plants should take the compressors quality improvement in consideration.

## 5. ACKNOWLEDGEMENTS

The author is thankful to the director of the environment and materials studies' laboratory of Oran's university 1 Ahmed Ben Bella and SONATRACH authorities for support and facilities provided by them to achieve and complete this study.

## 6. REFERENCES

- [1]: The Ministry of Environment of the Republic of Indonesia. The Decree of the Minister of Environment Number Kep-48/MENLH/11/1996 on the Standard noise level (in Indonesia); 1996.
- [2]: Nur Indrianti, Nandyan Banyu Biru, and Tri Wibawa, The development of compressor noise barrier in the assembly area (Case study of PT Jawa Furni Lestari), 13th Global Conference on Sustainable Manufacturing - Decoupling Growth from Resource Use, Procedia CIRP 40 ( 2016 ), Pages 705 – 710
- [3]: Silviu Ionescu , Valentin Silivestru , Nicolae Enescu , Ioan Magheti , Adina Ionescu, Experimenal approaches to reduce noise at source for a centrifugal compressor, U.P.B. Sci. Bull., Series D, (2011),Vol. 73, Iss. 3, Pages 32-40.
- [4]: Schultz TJ. Synthesis of social surveys on noise annoyance. J Acoust Soc Am (1978);64(2), Pages 377–405.
- [5]: Saadu AA, Onyeonwu RO, Ayorinde EO, Ogisi FO. Community attitudinal noise survey and analysis of eight Nigerian cities. Appl Acoust (1996); 49(1) Pages 49–69.
- [6]: Belojevic G, Jakovljevic B, Aleksic O. Subjective reactions to traffic noise with regard to some personality traits. Environ Int (1997); 23, Pages 221–6.
- [7]: LamWHK, TamML. Reliability analysis of traffic noise estimates in Hong Kong. Transp Res D, (1998);3(4), Pages 239–48.
- [8]: Arana M, Garcia A. A social survey on the effects of environmental noise on the residents of Pamplona, Spain. Appl Acoust (1998); 53(4), Pages 245–53.
- [9]: Maschke C. Preventive medical limits for chronic traffic noise exposure. Acustica ; 85(1999): Pages 444–8.
- [10]: Zannin PHT, Diniz FB, Calixto A, Barbosa W. Environmental noise pollution in

residential areas of the city of Curitiba. *Acustica* (2001); 87, Pages 625–8.

[11]: Zannin PHT, Diniz FB, Calixto A, Barbosa W. Environmental noise pollution in the city of Curitiba, Brazil. *Appl Acoust* (2002); 63, Pages 351–8.

[12] : Morillas JMB, Gómez RVG, Escobar VG, Sierra JAM, Vidal CT, Bueno LA, et al.

Presentación de una encuesta para la realización de estudios sociales sobre el impacto del ruido urbano, Presentation of a survey for social studies on the impact of urban noise.

*Rev Acust* (2002) ; 33, Pages 27–31.

[13]: Zannin PHT, Szeremetta B. Avaliação da poluição sonora no parque Jardim Botânico de Curitiba, Paraná, Brasil (Evaluation of noise pollution in the Botanical Gardens of Curitiba, Paraná, Brazil. *Cad Saude Publica* 2003; 19(2), Pages 683–6.

[14]: Paz EC, Ferreira AMC, Zannin PHT. Comparative study of the perception of urban noise (Estudo comparativo da percepção do ruído urbano). *Rev Saude Publica (J Public Health)* 2005;39(3), Pages 467–72.

[15]: Zannin PHT, Sant'Ana DQ. Noise mapping at different stages of a freeway redevelopment project—a case study in Brazil. *Appl Acoust* 2011; 72(8) Pages 479–86.

[16]: Guedes ICM, Bertoli SR, Zannin PHT. Influence of urban shapes on environmental noise: a case study in Aracaju Brazil. *Sci Total Environ* 2011; 412 Pages 66–76.

[17]: Zannin PHT, Engel MS, Fiedler PEK, Bunn F. Characterization of environmental noise Based on noise measurements, noise mapping and interviews: a case study at a university Campus in Brazil. *Cities* 2013; 31 Pages 317–27.

[18]: W.Y. Liu, A review on wind turbine noise mechanism and de-noising techniques, *Renewable Energy*, Volume 108, August 2017, Pages 311–320.

[19]: Fei Qu, Jian Kang, Effects of built environment morphology on wind turbine noise exposure at building façades, *Renewable Energy*, Volume 107, July 2017, Pages 629–638.

[20]: Fredric Ottermo, Erik Möllerström, Anders Nordborg, Jonny Hylander, Hans Bernhoff, Location of aerodynamic noise sources from a 200 kW vertical-axis wind turbine, *Journal of Sound and Vibration*, Volume 400, 21 July 2017, Pages 154–166

- [21]: Christoph Pilger, Lars Ceranna, The influence of periodic wind turbine noise on infrasound array measurements, *Journal of Sound and Vibration*, Volume 388, 3 February 2017, Pages 188–200
- [22]: P. Gallo, L. Fredianelli, D. Palazzuoli, G. Licitra, F. Fidecaro, A procedure for the assessment of wind turbine noise, *Applied Acoustics*, Volume 114, 15 December 2016, Pages 213–217
- [23]: P. Gallo, L. Fredianelli, D. Palazzuoli, G. Licitra, F. Fidecaro, A procedure for the assessment of wind turbine noise, Volume 114, 15 December 2016, Pages 213–217
- [24]: Obrad Anicic, Dalibor Petković, Slavica Cvetkovic, Evaluation of wind turbine noise by soft computing methodologies: A comparative study, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 56, April 2016, Pages 1122–1128.
- [25]: I. Hashem, M.H. Mohamed, A.A. Hafiz, Aero-acoustics noise assessment for Wind-Lens turbine, *Energy* Volume 118, 1 January 2017, Pages 345–368
- [26]: Nicolas Noiray, Bruno Schuermans, Deterministic quantities characterizing noise driven Hopf bifurcations in gas turbine combustors, *International Journal of Non-Linear Mechanics*, Volume 50, April 2013, Pages 152–163.
- [27]: Craig A. Wilson, State of the art—gas turbine noise control, *The Journal of the Acoustical Society of America* April 1974 55(S1)
- [28]: Louis A. Challis and Associates Pty. Ltd, Gas turbine noise control, *The Journal of the Acoustical Society of America* (1979) 65, S104
- [29]: R. M. Hoover, Noise Control For Gas Turbine Installations, *The Journal Of The Acoustical Society Of America* (1973) 54, 289.
- [30]: Frank J. Heymann, Michael A. Staiano, Steam Turbine Control Valve Noise, *The Journal Of The Acoustical Society Of America* (1973) 54, 289.
- [31]: R. M. Hoover, Low Frequency Noise Of Gas Turbines, *The Journal Of The Acoustical Society Of America* (1973) 53, 386.
- [32] : J. R. Cummins Jr., Gas Turbine Power Plant Noise Source Identification Using Contours, *The Journal Of The Acoustical Society Of America* (1979) 65, S105.
- [33] :Richard R. Audette, Gas Turbine Exhaust Silencer Self Noise, *The Journal of the*

Acoustical Society Of America (1974) 55, 414

[34]: Ramani Ramakrishnan And Eric D. Wilson, Numerical Methods For Gas Turbine Silencer Design, The Journal Of The Acoustical Society Of America (1995) 98, 2873

[35]: Jonathan Chui, Yong Ma, Salem Hertil, Application Of Barrier In Industrial Noise Control, The Journal Of The Acoustical Society Of America (2005) 117, 2386.

[36]: Yasuaki Okada, Koichi Yoshihisa, Kazuki Higashi2;z and Naoto Nishimura , Horizontal directivity of sound emitted from wind turbines, Acoust. Sci. & Tech. (2016); 37, 5

[37]: Ofelia Jianu, Marc A. Rosen and Greg Naterer, Noise Pollution Prevention in Wind Turbines: Status and Recent Advances, *Sustainability* (2012); 4, Pages 1104-1117.

[38]: Sayed Abas Ali, Industrial noise levels and annoyance in Egypt, Applied aoustics, Volume 72, Issue 4, March (2011), Pages 221-225.

[39]: Luis Conde Santos, Christine Matias, Frederico Viera, Fatima Valado, Conférence Acoustica 20-22 octobre, université de cimbra portugale, (2008) ; Pages 1-12.

[40] : Rapport de stage de complexe GP1/Z fournit par secrétariat de département de sécurité industriel et environnement du complexe GP1/Z.

[41] : Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques françaises, catalogue des logiciels de calcul du bruit des infrastructures routières et ferroviaires, un aperçu du marché français, Mai 2002.

[42]: DEFRA. Towards a national ambient noise strategy. A consultation paper from the air and environmental quality division; 2001

[43]: Kang-Ting Tsai a, Min-Der Lin b, Yen-Hua Chen b, Noise mapping in urban environments: A Taiwan study, *Applied Acoustics*, 70 (2009) 964–972

[44]: Tarik SerhatBozkurt, Sevtap YilmazDemirkale, The field study and numerical simulation of industrial noise mapping, *Journal of Building Engineering*, Volume 9, January 2017

[45]: Peters,R.J.,Smith,B.J, Hollins .M., *Acoustics and Noise Control*, 3rd edition, Pearson Education Limited. (2011)

[46]: ISO 1996-1:1981, *Acoustics—Description and measurement of environmental noise, Part 1: Basic quantities and procedures*.

[47] : Shatha AJ. Ibrahi, Noise Mapping of the Campus of the College of Engineering /The University of Al-Mustansiriyah, Vol.5, No.4, 2015

**How to cite this article:**

Arbaoui I, Hamou A, Abderrahim H, Tayeb A, Sayad N, Arbaoui A. Comparative study of the noise generated by the moto-compressor and that generated by the turbo-compressor. J. Fundam. Appl. Sci., 2018, 10(1), 201-215.



## Inter-comparison of noise pollution in Oran (Algeria) : Urban and industrial areas

I. Arbaoui<sup>1</sup>, A. Hamou<sup>1</sup>, H. Abderrahim<sup>1, 2</sup>, A. Tayeb<sup>1,3</sup>, M. R. Chellali<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Laboratoire d'Etudes des Sciences de l'Environnement et des Matériaux, Département de Physique,  
Faculté des Sciences Exactes et Appliquées, Université Oran1, Ahmed ben Bella Algérie .*

<sup>2</sup>*Institut Hydrométéorologique de Formation et de Recherche d'Oran, Algérie.*

<sup>3</sup>*Chef Département Hygiène, Sécurité et Environnement LRP Sonatrach, Algérie.*

<sup>4</sup>*Faculty of Materials Science and Technology, Slovak University of Technology in Bratislava,  
Bratislava, Slovakia.*

Received 14 Apr 2017,

Revised 17 Jul 2017,

Accepted 20 Jul 2017

### Keywords

- ✓ Oran,
- ✓ noise,
- ✓ noise mapping,
- ✓ industrial unit,
- ✓ noise pollution,

[arbaoui.iliace@gmail.com;](mailto:arbaoui.iliace@gmail.com;)

Phone: +213664086163;

### Abstract

This study carried out aims to evaluate noise pollution in Oran province in Algeria (urban and industrial areas), and compares between noise pollution levels in both areas. Eventually, the noise is an integrated part in our environment; it makes actually a great challenge because of the dangerous health troubles it causes. Otherwise, a few studies were scientifically carried out on industrial noise in Algeria; but more and deeper researches are needed in order to determine its origins, sites measurements, noise mapping, and finally giving suggestions about the problem solving. Firstly, we've divided this work into two parts; the first was about the urban area in Oran province where the population is exposed to all noise types especially road traffic noise. The second part concerning the industrial area where a higher level of noise is observed, it skips the Algerian standard norms, and this noise pollution is mainly generated by machine engines. By a simple comparison between noise levels in both areas, we can observe that noise pollution is higher in the industrial areas than in the urban ones.

## 1. Introduction

Noise is one of the physical environmental factors affecting human health. Because of its adverse effects on people, life in the large and industrial cities is being more difficult [1]. Actually, more importance is given to environmental issues such as air pollution and noise pollution [2], the concern about noise pollution is acquiring considerable importance especially in industrial environments where there exist a lot of machinery and equipment [3]. Environmental noise pollution relates to noise caused by transportation [4], industry [5-6] construction workshops, as well as some other outdoor activities [7]. Noise pollution is considered to be the second among a series of environmental "stressors" for the public health effects [8]. Regular and long-term elevated noise exposure can bring various adverse health effects, such as hearing troubles, blood hypertension, heart disease, and sleep disturbance [9].

The effects of noise pollution exceed health problems, they also cause purchase problems, a recent study shows that road traffic noise has a considerable impact on purchasing decisions made by apartment buyers; this is not only a widespread problem in Africa, but in the Central-Eastern Europe as well [10]. Sources of noise are numerous but they may be broadly classified into two classes: industrial and nonindustrial. Industrial and transportation sectors are one of the most common sources of noise pollution [11].

The noise does not only affect life quality, but also the public health throughout certain noise levels. The Algerian executive decree 93-184 dated on July 27<sup>th</sup>, 1993 organizes noise emissions it's second article says: "the maximum noise level in urban areas, industrial areas, public places and roads should be 70 dB at morning (6:00 am to 10:00 pm), and 45 dB at evening".

The Algerian industry is an essential segment of the economic development of the country. However, it affects our environment with a significant amount of pollution such as (the atmospheric pollution [12-15], solid [16-

18], water [19] and marine [20], etc). Among these types of pollution, noise pollution is poorly studied in Algerian scientific research. Actually, so many studies have been done on the world scale to treat the road traffic noise problem, [21-27], in addition to that, the growing number of noisy industrial units, and also the large unaccountable number of party rooms construction with no respect for the decree 93-184 which defines the official norms have lead the city of Oran to be so noisy. It's so important to mention that the law imposes some intense conditions on people who want to invest in noisy projects. The decree is not only limited to industrial enterprises ,but also insists on construction enterprises to respect acoustic norms and walls quality for buildings, moreover, these buildings should be built far away from traffic roads [28].

On the other hand, in the last years, several projects and workshops have been achieved under public authorities' supervision; some of these workshops' projects take a long time to be finished; a lot of projects are expected to be achieved in the province of Oran. The given data do not only need the decree 94-184 to be applied; but also to be adapted to the city of Oran's properties. To reduce the hardships and all the problems related to the process, a large campaign to heighten the population's awareness is required.

Certain extra-hearing manifestations can be observed, we are talking about "consequences that affect certain organs and functions». In a professional activity on people exposed to noise, the results have shown a remarkable rise of sleep time, and a growing blood pressure, etc. The consequences on health are various, they are more and less dangerous; both direct and indirect causes can be distinguished such as: jumpiness, insomnia, depression and hearing problems which may lead to temporal or definite deafness [29]. The executive decree 93-184 dated on July 27<sup>th</sup>,1993 seems not to be enough , and a new regulations need to be imposed .A noise mapping in the province of Oran according to the regional specifications should be drawn up by The Territory Arrangement, Environment, and Tourism Ministry. This suggested work has dealt firstly with noise pollution in the urban area in Oran province; it's based on measurements achieved in specific sites such as buildings, hospitals, schools, universities, public gardens...etc. These noise measurements were carried out in given hours and days, and their results are related to given places and sites in the province of Oran. Lastly we've moved to the second step about noise pollution in industrial areas, therefore, the industrial area of Arzew was chosen, it should be known that this area is classified among the first twenty industrial areas on the world in the field of hydrocarbons treatment and exploitation .

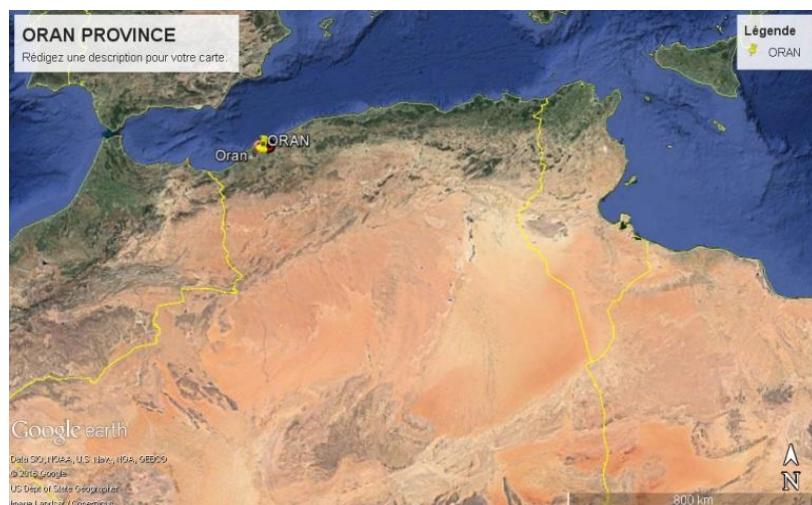
## 2. Material and Methods

### 2.1. Site selection

To get the final purpose of this work, which represents an inter-comparison of noise pollution in the province of Oran (both urban and industrial areas); two areas have been chosen to be examined:

#### 2.1.1. The province of Oran's urban area:

Oran is an important coastal city that is located in the north-west of Algeria as shown in the figure 1. It is considered the second most important city after the capital Algiers, due to its commercial, industrial, and cultural importance. It is 432 km (268 mi) far from Algiers. The metropolitan area has a population of approximately 1,500,000 making it one of the largest cities in the country.



**Figure 01:** ORAN province geographical location

### 2.1.2. Industrial area:

The province of Oran contains a very large industrial area in the field of hydrocarbon exploitation and treatment called Arzew's industrial area. Figure 2 represents the geographical location of Arzew's industrial zone ; it's classified among the first twenty industrial areas in the world.



**Figure 2:** Arzew industrial zone's geographical location

The measurement norms we've used are in accordance with the norm NFS 31.010, the measurement intervals are about 30 minutes, except in case of a very stable noise. The measurement emplacements are not chosen aleotorily, but precisely, with taking in account the several parameters to get the real level of the noise measurements in both Oran's urban and industrial areas. e.g; in the urban area we chose : overcroxded areas, public places and intersections,etc. also in the industrial area we chose: the noisiest machines working on 24 hours with continuos mode system.

In order to measure the noise levels in the agglomerations, many experiments have been carried out. The materials and equipment which have been used are:

### 2.2. Material used:

The sound level meter we used is Roline RO-1350 type II. It includes a special amplifier; a microphone and a voltage divider which allow reaching an attenuation of electric signals, for stay in the amplifier linearity range (50 to 80 dB) whatever the sound level. The Attenuator function can also allow the display of an easy-to-read measurement. It also includes the weighted filter, in particular the weighting filter A (it's a detection and reading device), that containes another amplifier and rectifier. So that the signal displayed is proportional to the effective noise pressure.

### 2.3. Social survey:

The social survey was carried out simultaneously with urban noise measurements and at the same sites;08 sites have been chosen (inside buildings, campuses , crossroads, hospitals, primary schools, high schools ,universities and public gardens), each site is a source of noise, the chosen zones have a wide geographical distribution within the province of Oran's urban area, representing all urban noise levels from 55to 81.5 dB (A), to investigate individual attitudes and opinions in respect of different aspects of noise in Oran's urban area.

Questionnaires have been distributed, the questionnaires contained 8 questions oriented to primary school pupils, high school and university students, teachers and the city's inhabitants about demographic data, educational level, annoyance, psychological and physiological effects, reactions against urban noise, daily exposure times, the most sensible category, and the exposure to road traffic. The questionnaires were distributed by hand and the respondents completed the questionnaires themselves. A total of more than 190 questionnaires were distributed ,but only 170 questionnaires filled by people of different ages were finally collected.

### 3. Results and discussion

#### 3.1. Noise pollution measurements in urban areas:

In the first part of our work we have carried out noise measurements in order to evaluate the noise pollution in urban areas; therefore, we have chosen different sites in the city of Oran such as crossroads, buildings, hospitals and public gardens.

Other measurements have been carried out in other neighborhoods in Oran city at the same scheduled times. These sites are Miramar, city center, M'dinaJdida, Médioni, Choupot, Sidi El Bachir, Saint Eugène, Hippodrome and Gambetta. Table 1 illustrates the chosen sites' astronomy coordinates and the obtained noise measurements. In the next step, we've chosen to represent these obtained results illustrated in the table 01 in histograms, in order to analyze, comment on and compare between the noise levels obtained in Oran's urban sites represented in fig.3.

**Table 1:** Noise level in urban area

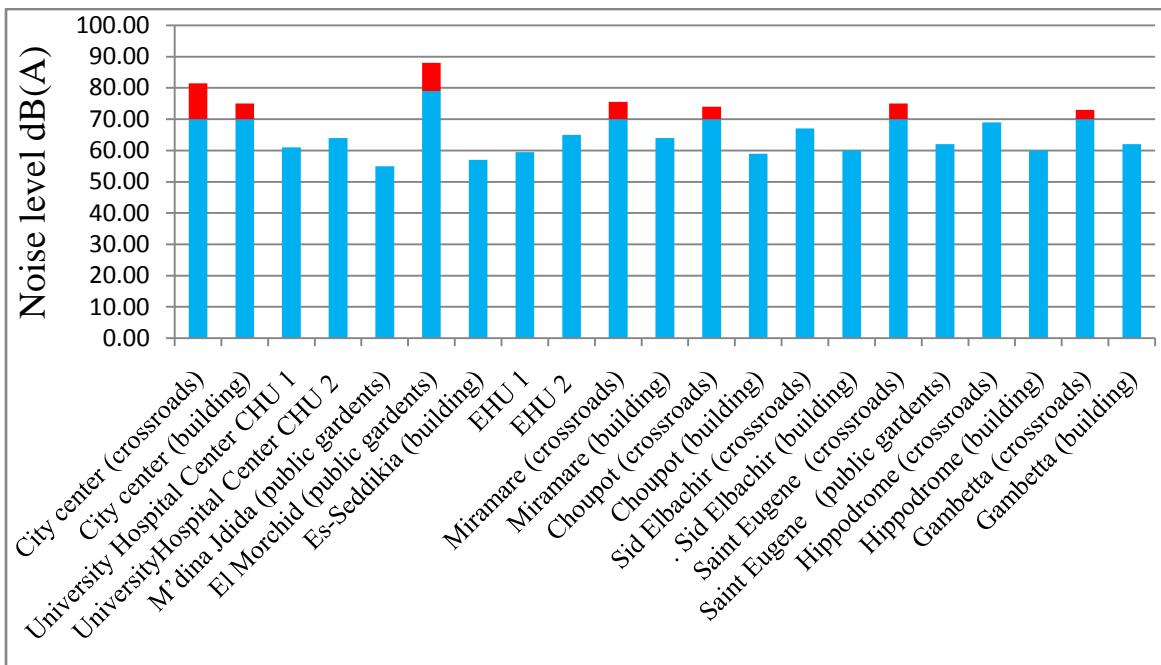
	Date	Time of mesurment	GPS coordinates	Noise level dB(A)
City center (crossroads)	17-02-2016	8:00 am-12:00am	35°42'10.38"N/ 0°38'14.83"O	81.5
City center (building)	18-02-2016	8:00 am-12:00am	35°42'8.48"N/0°38'32.49"O	75
Miramare (crossroads)	19-02-2016	8:00 am-12:00am	35°42'20.66"N/ 0°38'18.02"O	75.5
University Hospital Center CHU 1(inside Hospital)	20-02-2016	8:00 am-12:00am	35°41'42.18"N/0°38'32.47"O	61
University Hospital Center CHU 2 (outside Hospital)	21-02-2016	8:00 am-12:00am	35°41'39.00"N/0°38'26.44"O	64
Miramare (building)	22-02-2016	8:00 am-12:00am	35°42'11.00"N/ 0°38'44.11"O	64
M'dina Jdida (public gardents)	24-02-2016	8:00 am-12:00am	35°41'17.90"N/0°38'49.26"O	55
EHU 1(inside Hospital)	27-02-2016	8:00 am-12:00am	35°41'49.07"N/ 0°34'58.69"O	59.5
EHU 2 (outside Hospital)	28-02-2016	8:00 am-12:00am	35°41'56.86"N/ 0°34'55.49"O	65
Es-Seddikia (building)	01-03-2016	8:00 am-12:00am	35°42'21.89"N/ 0°36'23.26"O	57
El Morchid (public gardents)	02-03-2016	8:00 am-12:00am	35°42'27.77"N/ 0°35'46.88"O	79
Choupot (building)	05-03-2016	8:00 am-12:00am	35°41'5.15"N/ 0°39'13.55"O	59
Choupot (crossroads)	06-03-2016	8:00 am-12:00am	35°40'58.65"N/ 0°39'20.34"O	74
Sid Elbachir (crossroads)	06-03-2016	8:00 am-12:00am	35°41'52.07"N/0°38'20.94"O	67
. Sid Elbachir (building)	07-03-2016	8:00 am-12:00am	35°41'51.46"N/0°38'38.50"O	60
Saint Eugene (crossroads)	10-03-2016	8:00 am-12:00am	35°41'49.09"N/ 0°36'49.56"O	75
Saint Eugene (public gardents)	11-03-2016	8:00 am-12:00am	35°41'44.79"N/ 0°37'9.71"O	62
Hippodrome (crossroads)	14-03-2016	8:00 am-12:00am	35°41'59.55"N/ 0°37'4.77"O	69
Hippodrome (building)	14-03-2016	8:00 am-12:00am	35°42'6.36"N/ 0°36'55.21"O	60
Gambetta (crossroads)	23-03-2016	8:00 am-12:00am	35°42'25.32"N/ 0°37'17.05"O	73
Gambetta (building)	23-03-2016	8:00 am-12:00am	35°42'29.98"N/ 0°37'8.84"O	62

This histogram indicate that the noise levels are higher in crossroads and CHU; they may attain the 80 dB (A), but, they could be bearable in buildings inside the city center.

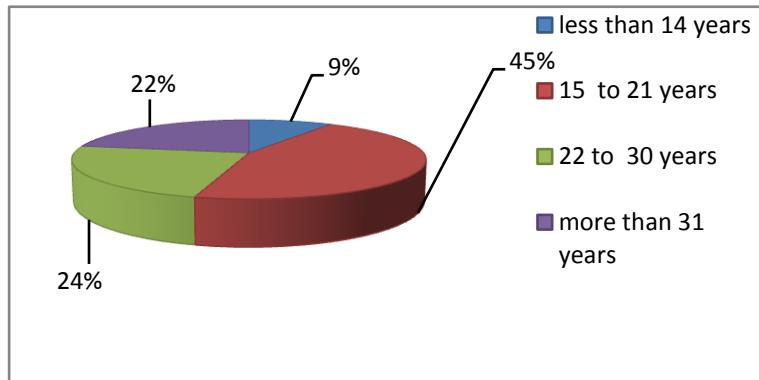
The studies carried out in the urban towns give a clear vision about the noise pollution's sources; they are obviously different from one area to another. 46 % of noise comes from the road traffic (automobiles), the rest is generated by tramways, trains, neighbors, musical parties and workshops.

#### 3.1.1 Results of social survey:

The respondents were both males and females their ages exhibit a wide range as 09% were less than 14 years, 22% were more than 31 years, 24% were 22–30 years, and 45% were 15–21 years (fig.4).we noticed that 83% of them were annoyed by urban noise pollution, this results is alarming.

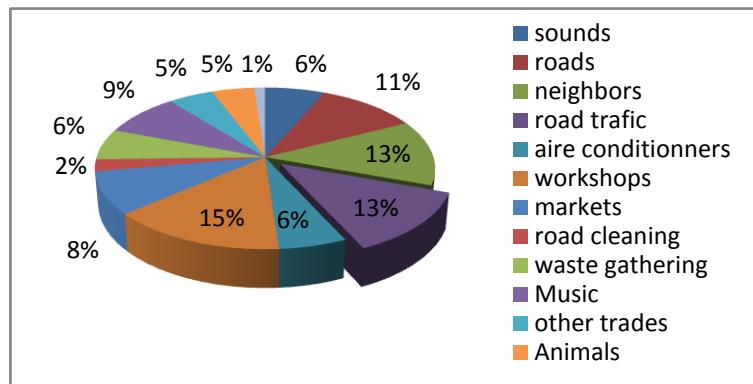


**Figure 3:** Histogram 1 of noise pollution in different sites inside Oran's urban area



**Figure 4:** Age categories of respondents

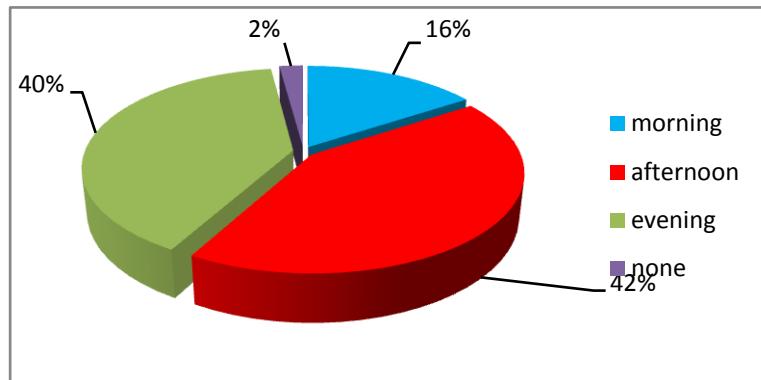
It can be said that the noise pollution origins mentioned in the responses concern essentially road traffic, workshops and neighborhoods noise (fig.5), moreover 98% of the respondents declared themselves to be “highly annoyed” during the day, the given responses are similar at morning (16%), afternoon (42%), and at evening (40%) as it is illustrated in figure 6.



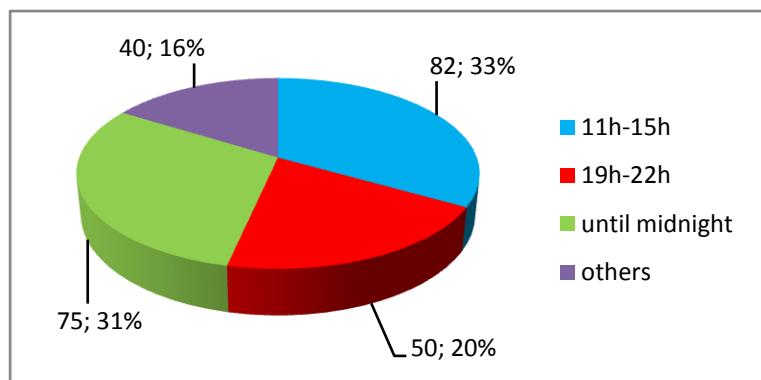
**Figure 5:** Noise pollution origins

From the results we have obtained, it's noticed that there was a strong relationship between noise origins and the period time when people are more exposed to noise, it means on the time of the day when workshops and road traffic activity is increasing it could be observed that more people are exposed to high level of noise in that particular period of time (fig.7). In terms of noise impact on people according to their age categories, the

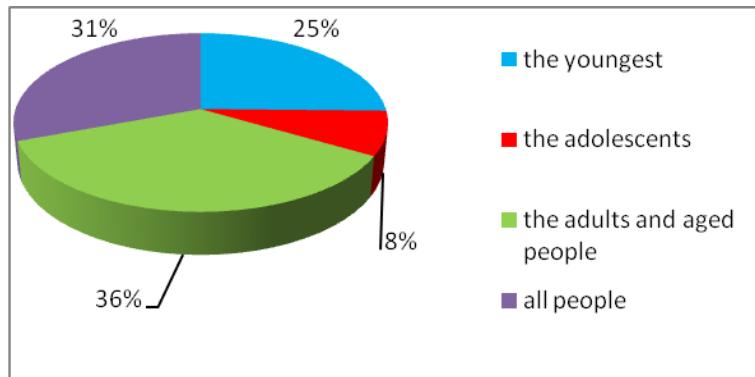
responses are enough equivalent (fig.8). At the last step of the social survey concerns the consequences of noise on people's lives during all the days; 09% life conditions, 24% hearing, 32% mental health and 35% for all the other aspects of daily life ( fig.9).



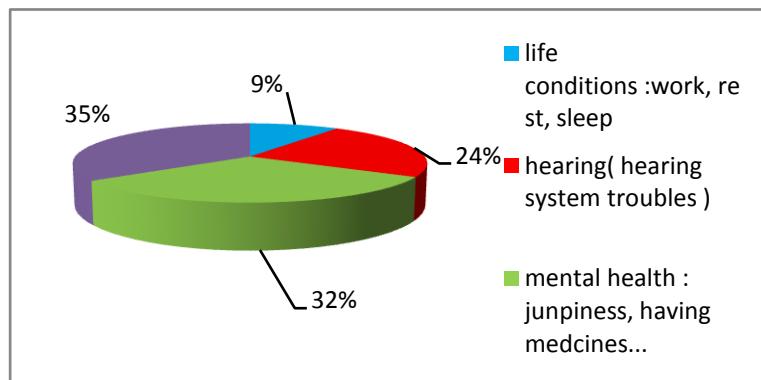
**Figure 6:** the day's moments of exposure to noise



**Figure 7:** the day time of exposure to noise



**Figure 8:** the population types exposed to noise

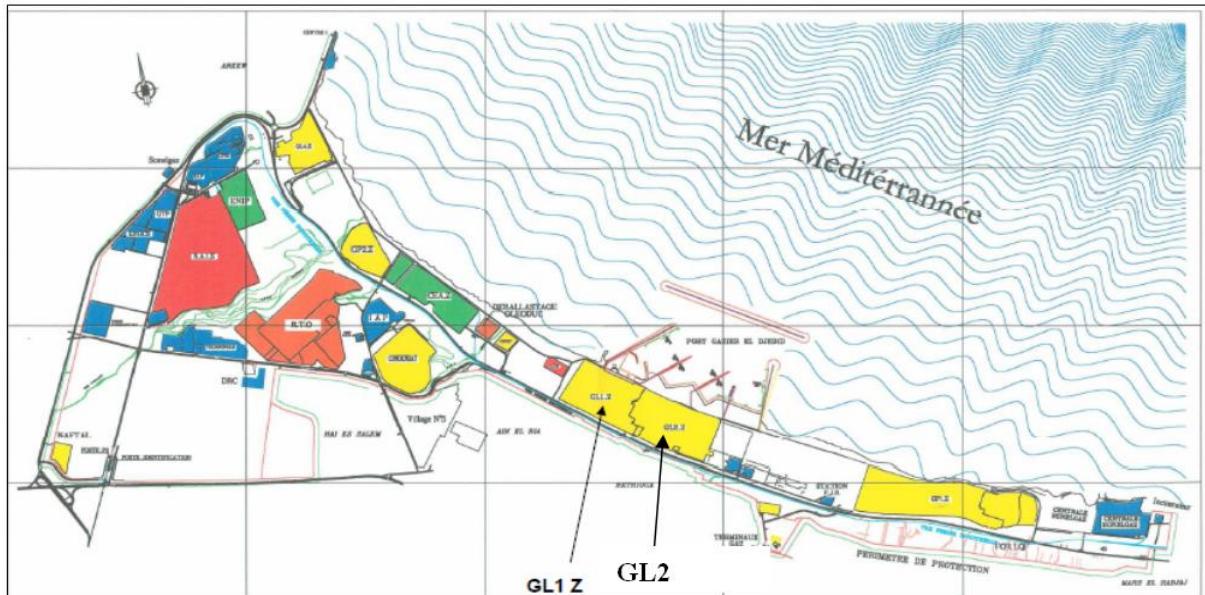


**Figure 9:** Noise consequences on life during all the days

### 3.2. Noise pollution in industrial areas in Oran province:

In the second part of this work we have evaluated noise pollution inside the industrial area, therefore, the industrial area of Arzew was chosen, and its 2223, 99 acres surface is reserved for petrochemical factories, among these factories, two of them have been chosen: GL1Z and GL2.

The figure 10 shows the location of the factories (GL1Z and GL2) that we have chosen in the industrial area of Arzew. The measured noise pollution results that we have obtained are listed in table 2:



**Figure 10:** Mass plan of Arzew industrial zone

**Table 2:** Noise level in GL1Z and GL2Z factories

GL1 Z factory		GL2Z factory	
Measurements points	Measurements areas	Noise level dB(A)	Measurements areas
Point 1	Train 100	95	Train 100
Point 2	Train 200	95	Train 200
Point 3	Train 300	95	Train 300
Point 4	Train 400	95	Train 400
Point 5	Train 500	95	Train 500
Point 6	Train 600	95	Train 600
Point 7	Boiler IHI et MHI	106	Boiler ABB

According to the results we've obtained and we have represented in figure 11, we can observe that the noise levels are so high inside the two factories; they skip the steps allowed by the Algerian regulations, all that is due to the following reasons:

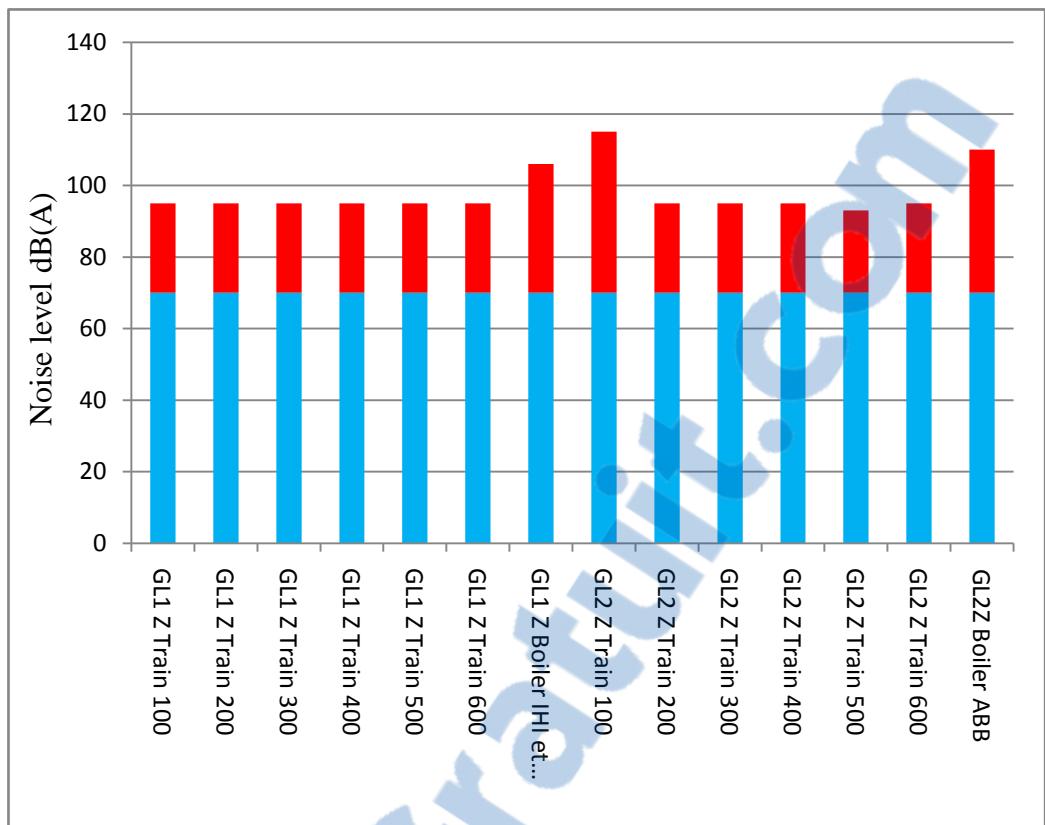
-The most noisy machines in both factories are turbines and compressors because they are feed by a huge fluid flow

-the major part of the machine are old machines, thus, the machine age represents an important factor in the noise pollution generation.

-Certain noise pollution generating machines need to be maintained because of the high noise they generate

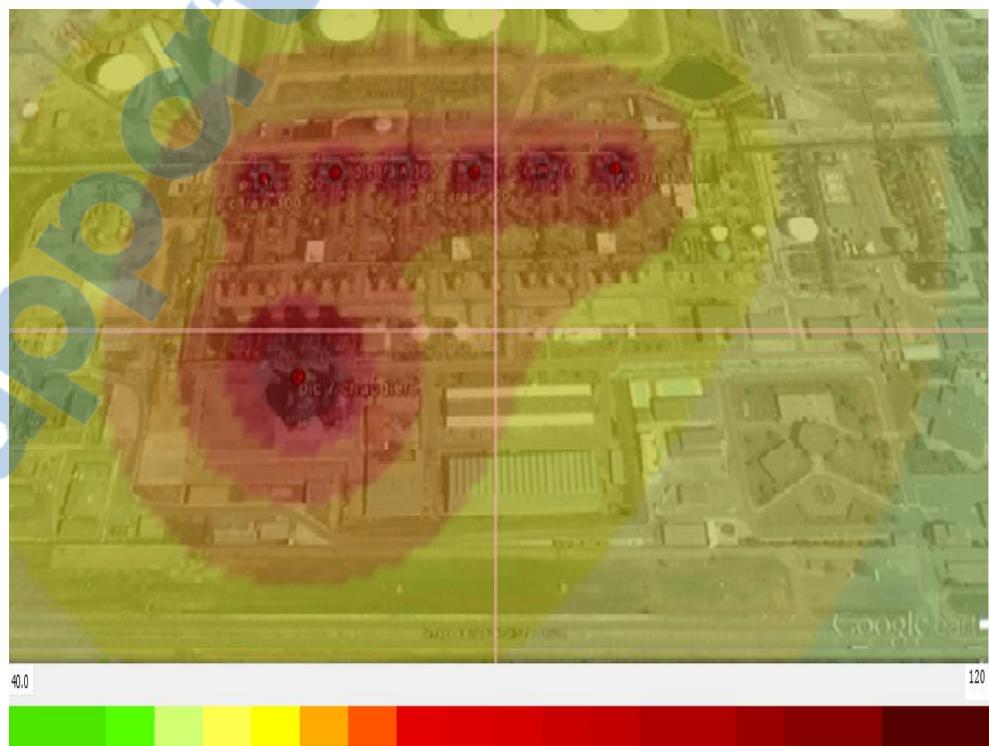
-Lack of noise reduction tools.

These gained results visualize that noise pollution in the industrial area affects directly the workers' health, and it affects also indirectly the neighboring inhabitant's health.

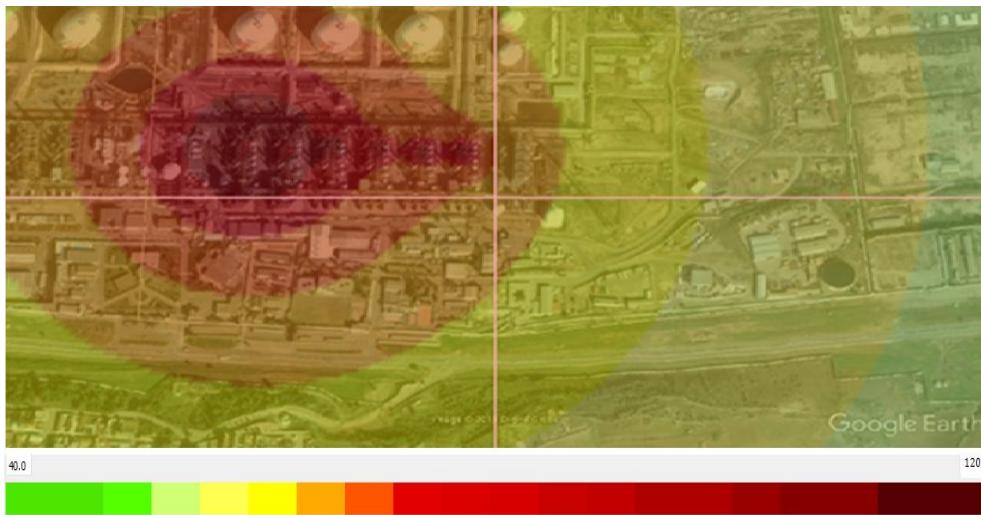


**Figure 11:** Histograms of noise level recorded in GNL1 and factories

The industrial noise problem is a complicated problem that requires deep studies, precise statistics, and noise mapping to identify the noisiest areas, and make a general bill, a simulator called COD-TYMPAN is used as a tool to create a noise mapping for the two factories (GL1Z and GL2Z)



**Figure 12:** GL1Z noise mapping



**Figure 13: GL2Z noise mapping**

The two Figures above (12 and 13) represent noise mapping in the two factories GL1Z and GL2Z; it's remarkable that the places where the turbines and the compressors installed are the noisiest places; but as far as we get away from the center of the noisy space, the noise gradually slows down.

## Conclusion

In this study, an inter-comparison of noise pollution in Oran's province urban and industrial areas has been done; we've concluded that noise pollution is higher in the industrial area than in the urban area.

The results of the social survey show that 70% of respondents face urban noise levels ranged from 55 to 81.5 dB (A).

- ✓ 83% of respondents were highly annoyed by urban noise.
- ✓ 98% of the respondents were highly annoyed during the day.
- ✓ Road traffic, workshops and neighborhoods are the main origins of noise pollution in Oran's urban area.
- ✓ There was a strong relationship between urban noise origins and the period time when people are more exposed to urban noise.
- ✓ 24% of respondents are suffering from hearing troubles and 32% are exposed to mental health troubles.

On the other hand, the principal factors that cause noise pollution in the industrial area are rotor machines such as compressors, pumps and turbines, Results of industrial noise levels showed that noise levels were ranged from 95 to 115 dB (A).

Finally, we've made noise mapping of the two factories GL1Z,GL2Z to determine the noisiest areas from those which are less noisy.

## References

1. A. Orkomi, B. Tavakoli, A. Noorpoor, *J. Occup. Health. Epidemiol.* 2 (2013) 44-53.
2. D. Parmar, P. Dabhi, P. Soni, F.H. Pathan, *I. J. Adva. Research. Eng. Tech.* 4 (2017) 50-52.
3. J.O. Osarenmwinda, A.A. Onojoserio, *J. Eng. Res. Applications.* 5 (2015) 1-5.
4. K. JoonHee, S.I. Chang, M. Kim, J. Seong, *Enviro. Inter.* 37 (2010) 328-34.
5. T.S. Bozkurt, S.Y. Demirkale, *J. Build. Eng.* 9 (2017) 60–75.
6. M. Aliabadi, R. Golmohammadi, H. Khotanlou, A. Salarpour, *Appl. Artif. Intelligence.* 29 (2015) 766-785.
7. A. Ongel, F. Sezgin, *Environ. Impa. Assessment. Review.* 56 (2016) 180–187.
8. A. Ruggiero, *Environ. Pollut. Climate. Change.* 1(2017) 1-2
9. Q. Li, F.Qiao, Lei Yu, *Environ. Pollut. Climate. Change.* 1 (2016) 1.
10. A. Szczepańska, A. Senetra, M. Wasilewicz-Pszczółkowska, *Trans. Res. Part D: Transp. Enviro.* 36 (2015) 167–177.
11. I.V. Murali, V. Manickam, *Enviro. Manag. Sci. Eng. Indus.* (2017) 399–429
12. A. Hamza, A. Hamou, *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (3) (2014) 865-872.

13. A. Tayeb, A. Hamou, S. Debbah , *Jsm. Enviro. Sci. Ecol.* 3(1) (2015). 1015
14. A. Tayeb, A. Hamou, S. Debbah, *Jsm. Enviro. Sci. Ecol.* 3(2) (2015) 1021.
15. H. Abderrahim, R. Chellali, A. Hamou, *Envir. Sci. Pollut. Res.* 23 (2015) 1634–1641.
16. N.Ramdani, Y.Al-Douri, A.Hamou, *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (5) (2015) 1310-1320.
17. N. Ramdani, A. Hamou, A. Lousdad, Y. Al-Douri, *Enviro. Tech.* 36 (2015) 1594–1604.
18. N. Ramdani, A. Hamou, S. Nemmich, A. Tilmantine, M. Boufadi, M. Lloréns Pascual del Riquelme, *J. Ecol. Health. Environ.* 3(2015) 81-90.
19. S. Boulaaras, K. Mahdi, H. Abderrahim, A. Hamou, S. Kabli, *Appl. Math.* 4 (2013) 456-463.
20. A. Tayeb, M.R .Chellali, A.Hamou, S. Debbah, *Marin. Pollut. Bull.* 98 ( 2015) 281–288.
21. T. Thevenin, *Doct. Disser. Univ. Franche. Conté.* (2002) pp.8-31.
22. M. Mathieu Carrier, P.Apparicio, M. Séguin, *Canadian. Geographer.* 60 (2016) 394-405.
23. A. Bocquier, S. Cortaredona, C. Boutin, A. David, A. Bigot, V. Sciortino, S. Nauleau, J. Gaudart, R. Giorgi, P. Verger, *Euro. J. Public. Health.* 24 (2012) 298-303.
24. W. Babisch, D. Houthuijs, G. Pershagen, L. Jarup, *J. Acou. Society .America.* 123 (2008) 3448.
25. K. Yamamoto, *Acou. Sci. Tech.* 31 (2010) 2-55.
26. T. Sato, T.Yano, T.Yamashita, K.Kawal, *J. Arch. Planning.* 64 (1999) 17-23.
27. T. Chang, C. Liu, B. Bao, Y. Yen-Ju Lin, *Sci .Total. Environ.* 409 (2011) 1053-7.
28. F.Z. Younsi, *Commun. Science. Tech.* 8 (2010) 2-4.
29. S.A. Stansfeld, B. Berglund, C. Clark, I. Lopez-Barrio, P. Fischer, E. Ohrstrom, *Lancet.* 365 (2005) 1942 – 1949.

(2018) ; <http://www.jmaterenvironsci.com>

## **Résumé**

Dans le cadre de la caractérisation des émissions sonores des sites complexes de la zone industrielle d'Arzew nous avons réalisé notre étude qui porte sur les nuisances sonores issues de cette zone industrielle. Nous avons partagé notre travail en trois partie ; la première partie est consacré pour les nuisances sonore générer à l'intérieur des sites complexes de la zone industriel d'Arzew, la deuxième pour les nuisances sonore générer par les mêmes sites mais en limite de batterie et la troisièmes partie pour la réalisation des cartographies de bruit. Les résultats obtenus montrent que la moyenne des niveaux sonores au niveau des sites complexes est inacceptable et elles dépassent les cotes de danger. Par la fin, et à l'aide des cartographies de bruit réalisé nous avons proposé des solutions à court et à long terme pour contrôler le bruit émis par ces installations industriel.

## **Mot clés :**

Bruit; Nuisances sonores; Unité industrielle; Zone industriel d'Arzew; Cartographie; Limite batterie; Moto-compresseur; Turbocompresseur; Simulation; Code-Tympan.