



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique



جامعة وهران 2 محمد بن أحمد

Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة والأمن الصناعي

Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Sécurité Industrielle et Environnement

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Sécurité Industrielle

Spécialité : Sécurité Industrielle et Environnement

Thème

**Étude acoustique du bruit généré par les unités
industrielles d'Arzew**

Présenté et soutenu publiquement par :

M^{lle}. NACHI Fatima Zohra

M^{lle}. SALMI Fatima Zohra

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
HASSINI Abdellatif	Professeur	IMSI	Président
BENFEKIR Abderrahim	M.C.B.	IMSI	Examinateur
FERHAT Benyoucef	Enseignant Associé	IMSI	Invité
BOUHADIBA Brahim	M.C.B.	IMSI	Encadreur

Juin 2016

Remerciements

Remerciements

Tout d'abord, louange à « Allah » qui nous a guidé sur le droit chemin tout au long du travail et nous a inspiré les bons pas et les justes reflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aura pas abouti.

Nous tenons à remercier vivement le Docteur BOUHADIBA Brahim et enseignant à l'Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle, qu'il trouve ici l'expression de notre très cordiale gratitude pour ses conseils, soutiens et encouragements dispensés lors de la réalisation de ce travail tout au long de cette année.

Nous tenons à remercier Monsieur MAHAMMEDI Abdelghafar (Ingénieur en génie mécanique de la centrale thermoélectrique MARSAT El HADJAJ) d'avoir bien assuré l'encadrement de nos travaux de mémoire. Merci pour votre gentillesse, votre patience et vos précieux conseils. Nous avons beaucoup apprécié et travailler à vos côtés tant sur le plan scientifique que sur le plan humain. Nous gardons toujours beaucoup de plaisir à discuter avec vous et à bénéficier de vos conseils.

Ainsi, nous exprimons nos plus sincères remerciements au Professeur HASSINI Abdellatif de l'Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle, pour nous avoir fait l'honneur de présider le jury de soutenance.

Nos sincères gratitude vont au Messieurs BENFEKIR Abderrahim et FERHAT Benyoucef de l'Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle, vous nous avez honorés d'accepter avec grande sympathie de siéger notre jury de mémoire.

Nous exprimons notre profonde reconnaissance au doctorant Monsieur ARBAOUI Iliace qui nous a constamment guidé, conseillé et aidé. Merci également pour monsieur BOUHEZAM Sofiane pour tous les efforts et l'aide qu'il a pu nous apporter.

Nous remercions également toute l'équipe pédagogique de l'IMSI et les intervenants professionnels responsable de la formation Sécurité Industrielle et Environnement.

Enfin, merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce mémoire par leur confiance et leur soutien.

Merci du fond du cœur.....



Dédicace

Afin d'être reconnaissante envers ceux qui m'ont appuyé et encouragé à effectuer ce travail, je dédie ce mémoire :

A ma très très très chère Mère : Tu as veillé sur mon éducation et mon bien être avec amour, tendresse, dévouement et perfection. Tu étais toujours mon refuge qui me prodiguait sérénité, soutien et conseil. Tes prières m'ont été d'un grand soutien au cours de ce long parcours. J'espère avoir répondu aux espoirs que tu as fondés en moi.

A mon très cher Père : Merci de m'avoir épaulé et encouragé. Je te dédie ce travail en témoignage de mon grand amour que je n'ai su exprimer avec les mots.

A mes très chers frères.

A mes belles sœurs.

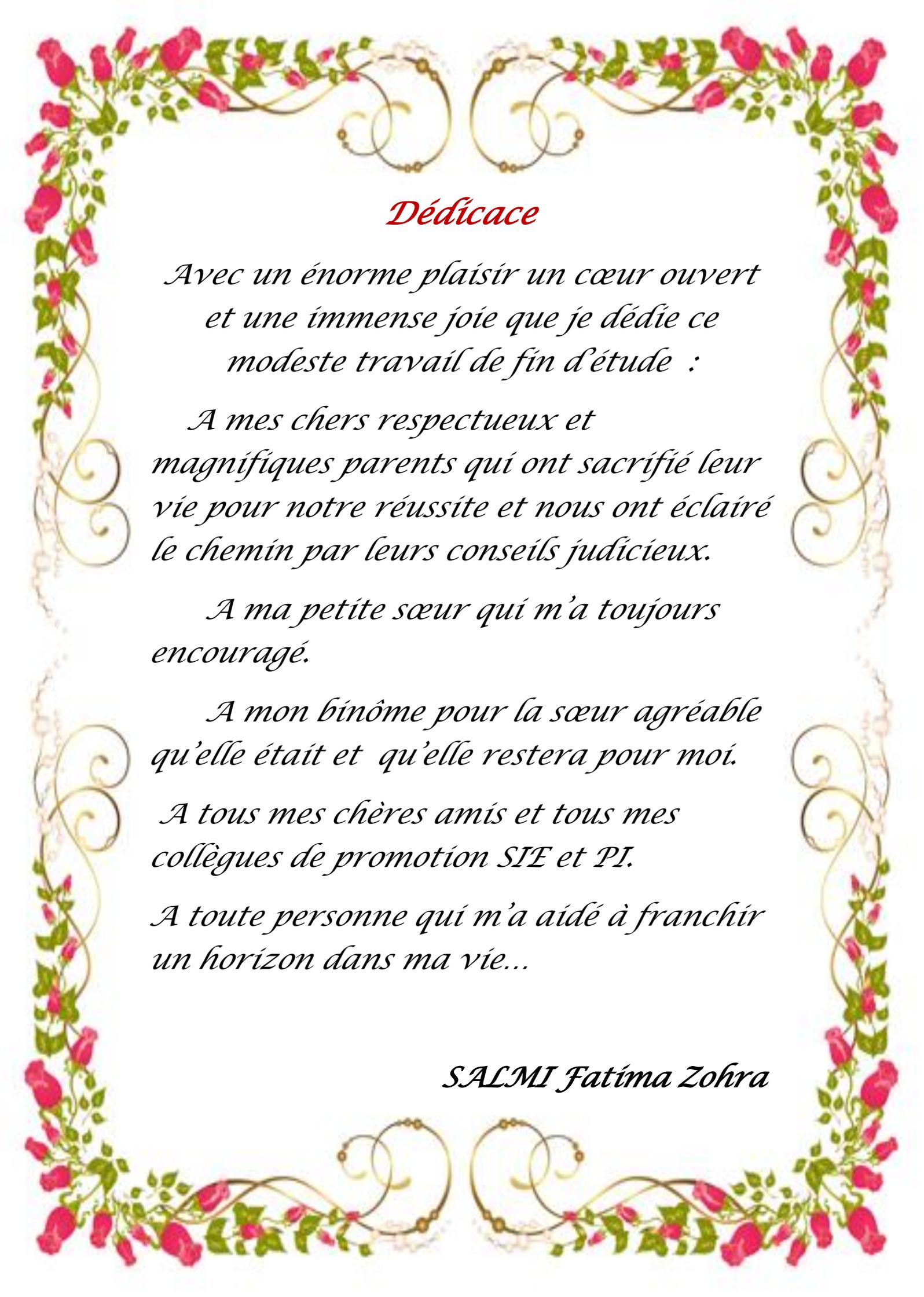
A mes neveux Youcef, Abdeljalil et Abdelhamid.

A mes oncles, tantes, cousines et cousins.

A mes amies les plus proches et spécialement Imane, surtout à mes collègues de la promotion SIE et PI 2016.

Et à tous ceux que ma réussite leur tient à cœur. Ce travail est le vôtre. Il est le fruit des liens sacrés qui nous unissent. Retrouvez ici l'expression de mes sentiments les plus sincères.

NACHI Fatima Zohra



Dédicace

*Avec un énorme plaisir un cœur ouvert
et une immense joie que je dédie ce
modeste travail de fin d'étude :*

*A mes chers respectueux et
magnifiques parents qui ont sacrifié leur
vie pour notre réussite et nous ont éclairé
le chemin par leurs conseils judicieux.*

*A ma petite sœur qui m'a toujours
encouragé.*

*A mon binôme pour la sœur agréable
qu'elle était et qu'elle restera pour moi.*

*A tous mes chères amis et tous mes
collègues de promotion SIE et PI.*

*A toute personne qui m'a aidé à franchir
un horizon dans ma vie...*

SALMI Fatima Zohra

Résumé

Résumé

Actuellement, le bruit constitue l'un des dangers les plus courants pour la santé et spécialement le bruit industriel qui se caractérise par sa haute intensité et par les multiples sources. Il est étudié depuis des années dans le domaine de la médecine préventive du travail et des mesures de protection sont, dans la grande majorité des cas, adaptées aux nuisances.

La plupart des maladies professionnelles est lié à l'excès de bruit sur les lieux de travail et les solutions classiquement utilisées pour réduire l'exposition au bruit ne sont pas toujours suffisamment efficaces. Ce mémoire a pour but d'évaluer les niveaux sonores générés par les sources bruyantes ponctuelles issues de la centrale thermoélectrique MARSAT El HADJAJ dans la zone industrielle d'Arzew. L'étude de bruit généré par les unités industrielles est un problème complexe qui nécessite des recherches approfondies afin de déterminer les sources bruyantes, des prélèvement des mesures sur les installations les plus bruyantes, des cartographies de bruit à l'aide d'un logiciel de simulation qui est le Code_TYMPAN, permet de modéliser des problèmes d'acoustiques environnementales dans le but de connaître l'impact sonore d'une installation industrielle.

Enfin, les résultats obtenus à partir de notre étude montrent que l'exposition à des niveaux sonores au niveau de la centrale thermoélectrique MARSAT El HADJAJ est inacceptable par rapport à la norme algérienne. D'une part il est démontré que les mesures du bruit des zones les plus bruyantes se concentrent au niveau des machines tournantes surtout. D'autre part nous avons signalés qu'une propagation acoustique risque de se propager à long terme si des dispositions appropriés ne sont pas prises à court terme.

Mots-Clés : Bruit, danger, bruit industriel, mesures de protection, nuisances, maladies professionnelles, sources bruyantes, cartographies de bruit, Code_TYMPAN, machines tournantes, propagation acoustique.

Abstract

Abstract

Currently, noise is one of the most common health hazards and specially the industrial noise is characterized by its high intensity by multiple sources. He was studied for years in the field of preventive medicine and labor protection measures are in most cases tailored to the nuisance. Most occupational diseases linked to excessive noise on the workplace and the solutions conventionally used to reduce noise exposure are not always sufficiently effective. This memory is designed to estimate the position of point sound sources from the thermoelectric plant MARSAT El HADJAJ in the industrial zone of Arzew. The units generated by industrial noise study is a complex problem that requires extensive research to identify noise sources, sampling measurements on the noisiest installations, noise maps using a software simulation is the TYMPAN_Code, allows modeling of acoustic environmental problems in order to know the noise impact of an industrial plant.

Finally, the results from our study show that exposure to noise levels at the thermoelectric plant MARSAT El HADJAJ is unacceptable compared to the Algerian standard. On the one hand it is shown that the noise measurements of the noisiest areas are concentrated in rotating machines especially. On the other hand we have reported an acoustic propagation may spread long term if appropriate provisions are not short-term.

Keywords : Noise, danger, industrial noise, protection, pollution, occupational diseases, noise sources, noise mapping, TYMPAN_Code, rotating machinery, acoustic propagation.

Sommaire

Sommaire

Introduction générale.....	01
----------------------------	----

Chapitre I : Introduction sur le bruit

I.1. Généralités.....	04
I.2. Définitions relatives au bruit.....	04
I.3. Anatomie et physiologie de l'oreille humaine.....	09
I.3.1. L'oreille externe.....	09
I.3.2. L'oreille moyenne.....	09
I.3.3. L'oreille interne.....	09
I.3.4. Les voies auditives centrales.....	09
I.3.5. Physiologie de l'audition.....	09
I.4. L'échelle et la mesure des niveaux sonores.....	10
I.4.1. La mesure.....	10
I.4.2. L'échelle.....	11
I.5. Principales sources des nuisances sonores.....	13
I.5.1. Les bruits à l'intérieur d'un bâtiment.....	13
I.5.2. Les bruits à l'extérieur d'un bâtiment.....	13
I.6. Les différents types de bruit.....	14
I.6.1. Bruit normalisés ou bruit de référence.....	14
I.6.2. Autres bruits.....	15

Chapitre II : Les effets sanitaires du bruit

II.1. Introduction.....	16
II.2. La nocivité du bruit.....	16
II.2.1. Aux caractères du bruit.....	16
II.2.1. Aux facteurs individuels et à l'état de santé.....	17
II.3. Effets sanitaire du bruit.....	18

Sommaire

II.3.1. Effets auditifs dues au bruit.....	18
II.3.2. Effets non auditifs du bruit.....	21
II.4. Réduction du bruit.....	26
II.4.1. Actions en amont.....	26
II.4.2. Évaluation des risques.....	27
II.4.3. Réduction du bruit à la source.....	27
II.4.4 Traitement acoustique des locaux.....	29
II.4.5. Implantation ou réimplantation de machines.....	30
II.4.6. Acoustique prévisionnelle.....	30
II.4.7. Limites d'efficacité des actions collectives possibles.....	30
II.4.8. Protection individuelle.....	31
II.4.9. Information et la formation du personnel.....	34
II.4.10. La surveillance médicale renforcée.....	35

Chapitre III : La réglementation législative et les normes relatives au bruit

III.1. Introduction.....	36
III.2. Les réglementations nationales.....	36
III.2.1. La loi n° 83-03 du 5 février 1983.....	37
III.2.2. Le décret exécutif n° 93-184 du 27 juillet 1993.....	37
III.2.3. La loi n° 03-10 du 19 juillet 2003.....	37
III.2.4. La réparation d'une surdité professionnelle.....	38
III.3. Les réglementations internationales.....	38
III.3.1. La réglementation européenne.....	38
III.3.2. La réglementation américaine.....	39
III.3.3. Les normes générales.....	40

Chapitre IV : Caractéristiques du bruit industriel et les phénomènes intervenant dans la propagation acoustique en milieux extérieurs

IV.1. Introduction.....	41
IV.2. Caractéristiques du bruit.....	41

Sommaire

IV.3. Le bruit industriel et ses caractéristiques.....	42
IV.3.1. Définition relative au bruit industriel.....	42
IV.3.2. Les caractéristiques du bruit industriel.....	43
IV.4. Les phénomènes intervenant dans la propagation acoustique en milieu extérieur.....	44
IV.4.1. Divergence géométrique.....	44
IV.4.2. Absorption par les matériaux.....	44
IV.4.3. Absorption atmosphérique.....	44
IV.4.4. L'effet de sol.....	45
IV.4.5. Diffraction par les obstacles.....	46
IV.4.6. Réflexion sur les parois.....	46
IV.4.7. Les effets météorologiques.....	46

Chapitre V : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

V.1. Problématique.....	48
V.2. Méthodologie.....	49
V.3. Présentation générale de la centrale thermoélectrique.....	49
V.3.1. Introduction.....	49
V.3.2. Situation géographique.....	49
V.3.3. Description et historique de la centrale.....	49
V.3.4. Principe de fonctionnement.....	51
V.3.5. Les principales installations.....	51
V.4. Identification des sources de bruit	53
V.5. Matériel de mesure et méthodes.....	55
V.6. Résultats des mesures.....	55
V.6.1. Zone d'exploitation.....	55
V.6.2. Zone d'alimentation.....	65
V.6.3. Zone d'utilités.....	68
V.7. Cartographie de bruit du complexe GL1/Z.....	70
V.7.1. Introduction.....	70

Sommaire

V.7.2. Présentation l’outil de simulation, le Code_TYMPAN.....	71
V.7.3. Procédure de la simulation.....	72
V.7.4. Les résultats de simulation.....	78
V.7.5. La cartographie générale du bruit de la centrale thermoélectrique MARSAT El HADJAJ.....	81
V.8. Conclusion.....	82

Conclusion et recommandations

Conclusion générale.....	83
Recommandations.....	84

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I.1. : Classification du bruit.....	7
Tableau I.2. : Niveaux de bruit.....	11
Tableau I.3. : Échelle des différentes gammes de fréquences sonores.....	12
Tableau II.1. : Valeurs guides pour le bruit dans les collectivités en milieux spécifiques (OMS 2000).....	17
Tableau III.1. : Niveaux d'exposition au bruit autorisés par l'OSHA.....	40
Tableau V.1. : Niveaux du bruit mesuré au niveau du groupe 1.....	56
Tableau V.2. : Niveaux du bruit mesuré au niveau du groupe 2.....	57
Tableau V.3. : Niveaux du bruit mesuré au niveau du groupe 3.....	58
Tableau V.4. : Niveaux du bruit mesuré au niveau du groupe 5.....	59
Tableau V.5. : Niveaux du bruit mesuré au niveau de la station de pompage.....	65
Tableau V.6. : Niveaux du bruit mesuré au niveau de la station de dessalement 1.....	65
Tableau V.7. : Niveaux du bruit mesuré au niveau de la station de dessalement 3.....	66
Tableau V.8. : Niveaux du bruit mesuré au niveau de la station de dessalement 4.....	66
Tableau V.9. : Niveaux du bruit mesuré au niveau de la station 1.....	69
Tableau V.10. : Niveaux du bruit mesuré au niveau de la station 2.....	69

Liste des figures

Liste des figures

Figure I.1. : Différents types de bruits.....	8
Figure I.2. : Les trois parties de l'oreille humaine.....	10
Figure I.3. : Échelle de bruit.....	12
Figure II.1. : Perte d'audition moyenne en fonction de la durée d'exposition.....	20
Figure II.2. : Variation de la perte d'audition selon le niveau d'exposition.....	20
Figure II.3. : Les casques enveloppants.....	31
Figure II.4. : Les casques serre-tête.....	32
Figure II.5. : Les casques serre-nuque.....	32
Figure II.6. : Bouchons d'oreilles sur mesure.....	32
Figure II.7. : Bouchons d'oreilles façonnés par l'utilisateur.....	33
Figure II.8. : Bouchons d'oreilles pré-modelés.....	33
Figure II.9. : Signalisation normalisée d'avertissement d'obligation et d'interdiction.....	34
Figure IV.1. : Variation de l'absorption atmosphérique en fonction de la fréquence pour deux valeurs d'humidité relative 30% et 70% à une température de 15°.....	45
Figure IV.2. : Phénomène de diffraction (une partie de l'onde est diffractée derrière l'écran, dont le sommet agit comme une source secondaire).....	46
Figure V.1. : Photo satellitaire de la centrale thermoélectrique.....	50
Figure V.2. : Schéma d'implantation des équipements de la centrale de MARSAT El HADJAJ.....	53
Figure V.3. : Sonomètre utilisé.....	55
Figure V.4. : Représentation des niveaux du bruit enregistré au niveau du groupe 1.....	61
Figure V.5. : Représentation des niveaux du bruit enregistré au niveau du groupe 2.....	62
Figure V.6. : Image du casque de protection anti bruit de type PW 45.....	63
Figure V.7. : Représentation des niveaux du bruit enregistré au niveau du groupe 3.....	63
Figure V.8. : Représentation des niveaux du bruit enregistré au niveau du groupe 5.....	64
Figure V.9. : Image du casque de protection anti bruit de type PW 44.....	64

Liste des figures

Figure V.10. : Représentation des niveaux du bruit enregistré au niveau de la station de pompage.....	67
Figure V.11. : Image du casque de protection anti bruit de type PW 41.....	67
Figure V.12. : Représentation des niveaux du bruit enregistré au niveau de la station de dessalement.....	68
Figure V.13. : Représentation des niveaux du bruit enregistré au niveau de la zone d'utilités.....	70
Figure V.14. : Exemple de cartographie acoustique obtenue avec Code_TYMPAN.....	72
Figure V.15. : Création d'un nouveau projet.....	73
Figure V.16. : Choix de l'image satellite.....	73
Figure V.17. : Introduction de l'image satellite de notre centrale.....	74
Figure V.18. : Image satellite introduite.....	74
Figure V.19. : Positionnement des sources et saisi des propriétés acoustiques.....	75
Figure V.20. : Paramétrage des informations de la source.....	76
Figure V.21. : Choix du « Récepteur surfacique ».....	77
Figure V.22. : Choix du paramétrage du calcul.....	77
Figure V.23. : Paramétrage et lancement du calcul.....	78
Figure V.24. : Cartographie de bruit de la zone d'exploitation.....	79
Figure V.25. : Cartographie de bruit de la zone d'alimentation.....	80
Figure V.26. : Cartographie de bruit de la zone d'utilités.....	81
Figure V.27. : Cartographie générale du bruit de la centrale MARSAT El HADJAJ.....	82

Glossaire

Glossaire

Son pur	Un son pur (ou son simple) correspond à une onde sinusoïdale dont la fréquence et l'amplitude maximale sont constantes au cours du temps.
Son aigu	Son ayant une haute fréquence.
Son grave	Son ayant une basse fréquence.
dB(A)	Unité de bruit qui tient compte du filtre de certaines fréquences par l'oreille humaine.
Hertz (Hz)	Unité de mesure de la fréquence d'un son.
La fréquence	Nombre de mouvements (cycles) complets de l'onde sonore en une seconde. Elle s'exprime en hertz (Hz) ou en cycle par seconde (c/s). La fréquence caractérise le timbre ou la tonalité du son. Ainsi, plus les cycles sont nombreux, plus le son est aigu. Les fréquences de la voix humaine et des sons familiers lors d'activités quotidiennes se situent de 500 à 3 500-4 000 Hz.
Puissance Acoustique	Puissance en watts (W) du flux d'énergie acoustique totale générée par une source de bruit. A la différence de la pression acoustique, elle ne varie pas selon la distance du récepteur ou la présence d'obstacles (non sensible à son environnement). Utile pour caractériser des sources sonores et au calcul de la pression acoustique. Représentée par le symbole L_w , elle est aussi rapportée en dB(A), selon le spectre (bande d'octave ou de tiers d'octave).
Pression acoustique	Variation de pression de l'air produite par une source de bruit. Influencée par les caractéristiques de la source et le milieu de propagation. Mesurée en Pascal (Pa) mais rapportée, de manière plus pratique, dans une échelle logarithmique en décibels (dB). Utilisée pour le niveau sonore.
Niveau sonore	Il correspond au niveau de pression acoustique. Le niveau du son, ou du bruit, se mesure en décibel (dB). Plus l'amplitude est grande, plus le son est fort.
Spectre (de fréquence)	Le spectre du bruit réfère à l'ensemble des fréquences qui composent un bruit. Il sert à mettre en évidence les tonalités qui composent le bruit analyse. Lorsqu'il est mesuré, l'analyse spectrale est généralement détaillée en bandes d'octave ou en tiers d'octave qui ont des largeurs de bandes relatives constantes ou en bandes fines qui ont des largeurs de bandes constantes.

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

« La révolution industrielle propagea une multitude de sons nouveaux aux conséquences parfois désastreuses pour l'homme et la nature dont ils masquaient souvent les propres sons. »

[**Murray Schafer, le Paysage Sonore**]

Les rythmes de développement différenciés des pays se sont frayés davantage le chemin depuis et lors de l'éclatement de la révolution industrielle et continuent de l'être à travers les écarts qui prennent de l'ampleur. Depuis cette époque, l'industrie s'est taillée la première place et s'affirme comme levier de commande de développement des économies des pays. L'industrie est désormais considérée comme la voie la plus privilégiée de progrès et de développement. Partout se manifeste hardiment la volonté de s'industrialiser.

Les pays en voie de développement (PED), ont été les derniers à atteindre ce domaine, mais dès leurs indépendances, avaient exprimé une volonté affirmée de développement s'est traduit par une succession de stratégie de développement basée sur l'industrialisation.

L'Algérie était parmi les (PED) qu'après son indépendance et dans le but d'établir une économie indépendante permettant le développement dans tous les domaines menant le pays à une aisance socioéconomique, avait fait des choix reposaient sur l'idéologie socialiste bien loin de la politique coloniale marqués par un sentiment national légitime exacerbé s'est traduit par sa stratégie d'industrialisation.

En outre, cette stratégie industrielle qui a été adoptée à engendrer plusieurs problèmes et parmi eux le problème de bruit qu'est l'une des formes de pollution les plus répandues et représente un enjeu environnemental majeur.

Le bruit est devenu aujourd'hui une réelle nuisance majeure à prendre sérieusement en compte et fait partie de la vie de tout un chacun. Il peut être très néfaste pour la santé humaine, au niveau physique, mental ou social.

Le bruit possède un aspect agressif très souvent négligé par la plupart des êtres humains.

La population, peu informée par les dangers que représente le bruit, s'exposent parfois à des niveaux sonores très élevés et pendant de longues durées.

Introduction générale

Les niveaux sonores dangereux sont très faciles à repérer et, dans la grande majorité des cas, il est technologiquement possible de lutter contre le bruit excessif en appliquant les techniques disponibles, en modifiant la conception de l'équipement ou des procédés ou en transformant a posteriori des machines bruyantes. Mais bien trop souvent, rien n'est fait.

L'absence de programmes de lutte contre le bruit et de programmes de conservation de l'audition s'explique avant tout par le fait que, malheureusement, le bruit est souvent accepté comme un « mal nécessaire », lié à l'activité industrielle et qui fait partie du métier. Le bruit dangereux ne provoque ni hémorragie, ni fracture, ni lésion bizarre et, si les travailleurs parviennent à supporter les premiers jours ou semaines d'exposition, ils ont souvent l'impression qu'ils «se sont habitués» au bruit. En fait, ce qui est plus probable, c'est qu'ils ont commencé à subir une perte auditive temporaire qui perturbe leur sensibilité auditive pendant leur journée de travail et disparaît souvent pendant la nuit. Ainsi, l'augmentation de la perte auditive induite par le bruit est insidieuse dans la mesure où elle progresse au fil des mois et des années jusqu'à atteindre le stade du handicap sans que, bien souvent, le sujet ne s'en rende compte.

L'objectif centrale de ce mémoire est d'étudier acoustiquement le bruit généré par les unités industrielles au niveau de la centrale thermoélectrique de MARSAT EL HADJAJ dans le but d'identifier les sources de bruit, de mesurer les niveaux du bruit et de réaliser une cartographie générale du bruit de la centrale.

Afin d'accomplir au mieux cette étude, le présent mémoire est structuré en deux parties : partie théorique et une partie pratique en plus de l'introduction générale et la conclusion générale.

La partie théorique se compose en quatre principaux chapitres :

Le premier chapitre : nous nous intéresserons aux différents éléments de base qui nous permettent de savoir les différentes sources de bruit et ses différents types.

Le deuxième chapitre détaille les différents effets sanitaires du bruit et la démarche de réduction de bruit.

Le troisième chapitre est consacré à La réglementation législative et les normes relatives au bruit.

Quant au dernier chapitre rappelle les caractéristiques du bruit industriel et les phénomènes intervenant dans la propagation acoustique en milieux extérieur.

Introduction générale

Dans la partie pratique, nous débuterons par présenter le lieu où nous avons effectués notre stage, ensuite nous avons exposés les résultats de mesures obtenues au niveau des installations les plus bruyantes et nous avons réalisés une cartographie à l'aide d'un simulateur qui calcule la propagation acoustique des sources industrielles bruyantes. Une conclusion avec des recommandations termine cette étude.

Chapitre I :

Introduction sur le bruit

I.1. Généralités

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), la pollution sonore est aujourd'hui l'une des principales formes de pollution de l'environnement urbain et est responsable des impacts négatifs qui sont nocifs pour l'environnement et la qualité de vie de la population (OMS, 2003).

Au cours des dernières décennies, la pollution sonore a été une préoccupation dans le monde entier en raison de ses effets néfastes sur le bien-être physiologique et psychologique des personnes, mais aussi comme une préoccupation pour la santé publique et le bien-être de l'environnement. L'exposition au bruit peut causer des problèmes structurels et fonctionnels. Le bruit conduit à la gêne, réduit la qualité de l'environnement et pourrait affecter la santé et de la cognition, des effets notables sur le sommeil, le travail et la communication [1] [2] [3] [4] [5].

L'augmentation de la pollution par le bruit est liée à plusieurs facteurs. Le bruit urbain est un facteur important qui peut dégrader la qualité de vie dans les villes. Ces problèmes sont généralement empirés en raison du développement urbain déséquilibré et accroître la mobilité et la circulation routière [6].

La pollution sonore est particulièrement importante dans les endroits où les gens exercent leurs activités. Le cas des villes est particulièrement intéressante, où un conflit d'intérêts est présenté : d'une part, les niveaux de bruit élevés sont créés en raison de l'existence d'activités humaines et d'autre part, de faibles niveaux sonores sont nécessaires pour permettre aux gens de se reposer [7].

Traditionnellement, les sociétés ont abordé ce problème au moyen d'interventions à la source visant à réduire les niveaux de bruit qui sont générés par les véhicules à moteur, et par la construction de protection installations conçues pour bloquer les ondes sonores et de réduire l'exposition au bruit au point de réception [8].

I.2. Définitions relatives au bruit [9]

La première des ambiguïtés qui caractérisent la notion de bruit apparaît au niveau même de sa définition.

Chapitre I : Introduction sur le bruit

Selon les auteurs, le bruit est un phénomène tantôt physique, tantôt subjectif, ce dernier aspect pouvant être pris dans son sens perceptif aussi bien que culturel.

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* ».

Seuls les Anglo-Saxons se placent délibérément dans la perspective des effets perturbateurs du bruit. Ils le définissent comme un « *son jugé indésirable par le sujet qui le reçoit* » s'attachant essentiellement à la sensation et non plus au stimulus qui la provoque.

Pour être la plus générale, cette définition reste cependant en deçà des réalités. Elle néglige une des composantes majeures de la perception : l'habituation. En effet, l'homme, grâce à ses facultés d'adaptation, se révèle apte à intégrer le bruit comme une composante familière de son environnement et à en atténuer (voir supprimer ?) le caractère agressif. Le son ne représente plus, dans ce cas, une entité indésirable et la question essentielle reste de savoir si cette forme de « *neutralisation* » ne s'effectue pas au détriment d'autres équilibres fondamentaux de l'organisme. En d'autres termes : quel peut être le coût physiologique de l'adaptation au bruit ?

Il est à noter, par ailleurs, que le qualificatif « indésirable » s'oppose aux idées contenues dans les définitions françaises à connotation plus musicale. La non-harmonie (selon Larousse) ou la non-musicalité (selon Robert) sont des notions très restrictives qui négligent la dimension introduite par le concept de nuisance sonore. C'est précisément cette subjectivité, facteur très limitatif qui intervient à l'encontre de toutes les lois de quantification qui ne permet pas de conclure sur l'importance de la structure du bruit dans son action sur l'homme.

Ainsi, ce qui est considéré comme signal vecteur d'information pour les uns sera perçu comme bruit pour les autres. La musique du voisin est presque toujours indésirable même chez un sujet pour qui la musique ne l'est pas. Le contexte peut avoir plus d'importance que la nature du signal et cette relativité est probablement à l'origine des multiples paradoxes qui règnent dans le domaine des effets du bruit qu'illustre de façon symbolique la citation de

Chapitre I : Introduction sur le bruit

Léopold Ier qui définissait la musique, peut-être sans humour, comme « le plus coûteux de tous les bruits ».

Ainsi les classifications habituelles du bruit selon ses composantes structurelles (niveau, spectre, caractère impulsionnel ou stationnaire, etc.) se sont-elles toujours révélées impuissantes à traduire l'interaction bruit-santé et à établir les relations dose-réponse susceptibles de quantifier l'effet du bruit. C'est la raison pour laquelle depuis plusieurs décennies, les chercheurs s'orientent vers des méthodes permettant de hiérarchiser les bruits selon leurs effets sur l'organisme.

Dans cette perspective, ils sont amenés à distinguer trois classes de bruit (tableau I.1 et figure I.1) :

- **Les bruits gênants** : Qui exercent une action sur certaines fonctions psychiques ou même physiologiques (d'après Chocholle).

Le ministère de la Santé (française) les a définis sur la base d'observations statistiques, en fonction de leur émergence au-dessus du niveau moyen ambiant : **de + 3 dB la nuit et de + 5 dB le jour.**

- **Les bruits stressants** : Qui provoquent des modifications de l'état d'équilibre physiologique du sujet. Leur action agressive concerne aussi bien le récepteur auditif que l'ensemble de l'organisme. Toutefois, leur action reste réversible.
- **Les bruits traumatisants** : Qui provoquent, cette fois, des perturbations ou des lésions irréversibles. Leur action peut se situer :
 - Au niveau du système auditif où ils entraînent des pertes définitives d'audition.
 - Au niveau de l'organisme où ils peuvent être la cause de troubles psychiques ou physiologiques graves.

Chapitre I : Introduction sur le bruit

Tableau I.1. : Classification du bruit [9].

Classification selon le niveau	
< 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.
Classification selon la structure	
Structure spectrale	Infrasons
	Très basses fréquences
	Basses fréquences
	Médium
	Aigus
	Stridents ou suraigus
	Ultrasons
Structure temporelle (cf. arrêté du 02.08.1975) (figure I.1)	Bruits continus stables (fluctuations ≈ 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 ≈ 2 dB)
Classification selon l'effet	
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

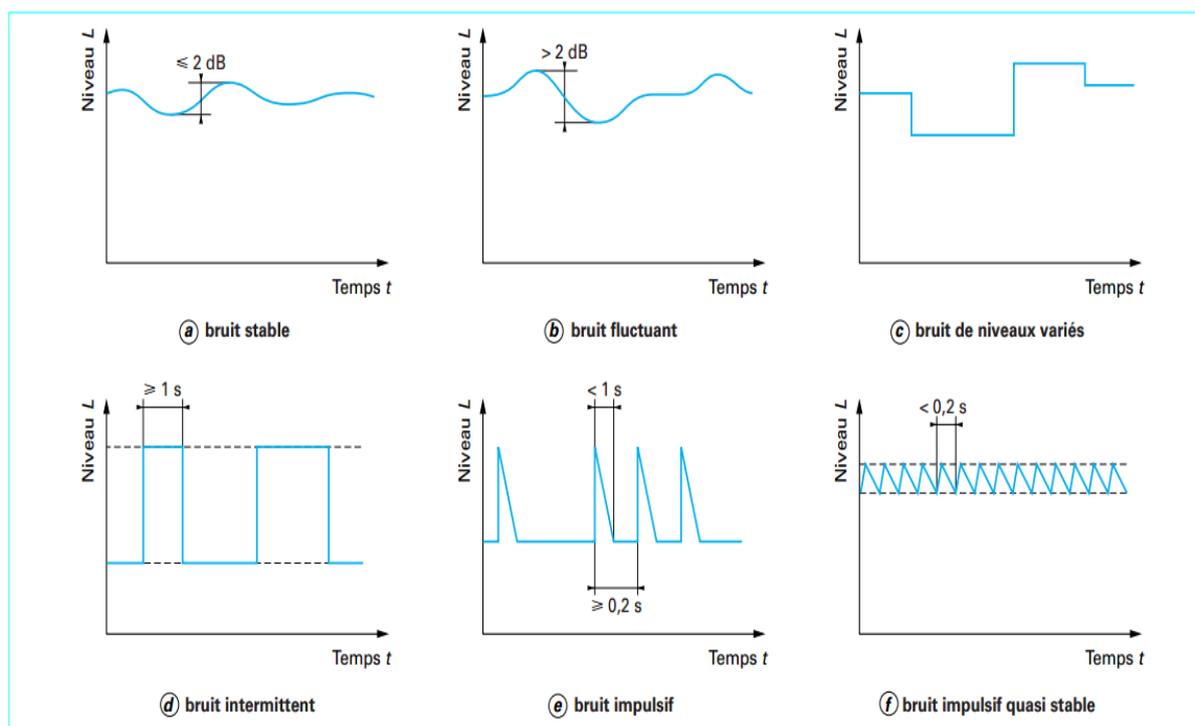


Figure I.1. : Différents types de bruits [9].

Le bruit en environnement-santé [10]

Dans le cadre des études en environnement-santé, le mot bruit est employé dans son usage commun faisant exclusion de la définition de perturbation d'un signal utilisée dans les sciences physiques. Il s'agit d'un « son extérieur non désiré ou nuisible résultant de l'activité humaine » (Commission Européenne, 2002). L'Agence Française de Normalisation (AFNOR 1996) définit les sons comme « une variation sinusoïdale de la pression acoustique au cours du temps » (NF S 31-010, 1996). Il s'agit d'une vibration mécanique produite par un corps, qui se transmet aux molécules atmosphériques et se diffuse de proche en proche.

Cette vibration provoque une variation répétée de la pression de l'air qui devient une onde sonore lorsqu'elle se produit dans le domaine de fréquence et de pression correspondant à l'audition humaine. Trois variables caractérisent principalement un son : sa durée, sa fréquence (en Hz), et son intensité (en Pa).

L'exposition au bruit environnemental constitue souvent un phénomène incoercible, auquel il n'est possible de se soustraire que par des mécanismes d'évitement ou de protection. Jusqu'à très récemment (OMS Europe, 2011), le bruit environnemental n'était officiellement considéré que comme une source potentielle de gêne pour les populations exposées.

I.3. Anatomie et physiologie de l'oreille humaine

L'oreille est l'organe périphérique de l'audition. On y distingue trois parties bien différenciées :

I.3.1. L'oreille externe [11] : Est composée du pavillon et du conduit auditif. Elle collecte, localise, amplifie et dirige les ondes sonores vers le tympan, fine membrane qui vibre comme une peau de tambour.

I.3.2. L'oreille moyenne [11] : Est une cavité remplie d'air, comprise entre le tympan et l'oreille interne dont elle est séparée par la fenêtre ovale. Elle a pour fonction, à l'aide de la chaîne des osselets (marteau, enclume et étrier), de transformer mécaniquement les vibrations aériennes en vibrations solidiennes.

I.3.3. L'oreille interne [11] : Est le cœur du système auditif. Elle est constituée, d'une part, du vestibule, organe qui permet de garder notre équilibre dans l'espace, et d'autre part, d'une cavité remplie de liquide qui contient la cochlée ou limaçon. Au sein de la cochlée se trouve l'organe de Corti. Il s'agit d'un élément important de l'ouïe, comprenant les cellules sensorielles de l'audition, appelées les cellules ciliées. Elles captent l'énergie acoustique et la transforment en influx nerveux. Les fibres du nerf auditif se chargent de transmettre l'information au cerveau. Le cortex cérébral interprète le message nerveux qu'il reçoit, et génère la sensation auditive, image perceptive du message sonore capté par l'oreille.

I.3.4. Les voies auditives centrales [12] : Une fois sorti de l'oreille interne, le nerf auditif, appelé aussi nerf cochléo-vestibulaire ou nerf VIII, va rejoindre le cerveau au niveau du tronc cérébral pour composer les voies auditives centrales. Leur anatomie est très complexe. Pour simplifier, les informations auditives contenues dans le nerf sont traitées tout au long de leur parcours en passant par plusieurs étages de relais pour atteindre finalement l'aire auditive ou cortex auditif primaire, région du cerveau qui s'occupe de l'audition.

I.3.5. Physiologie de l'audition [12] : Le son va stimuler l'oreille de deux manières :

- Par voie ou conduction aérienne en transitant par les trois parties de l'oreille.
- Par voie ou conduction osseuse en stimulant directement l'oreille interne par

« vibration » des structures osseuses qui l'entourent.

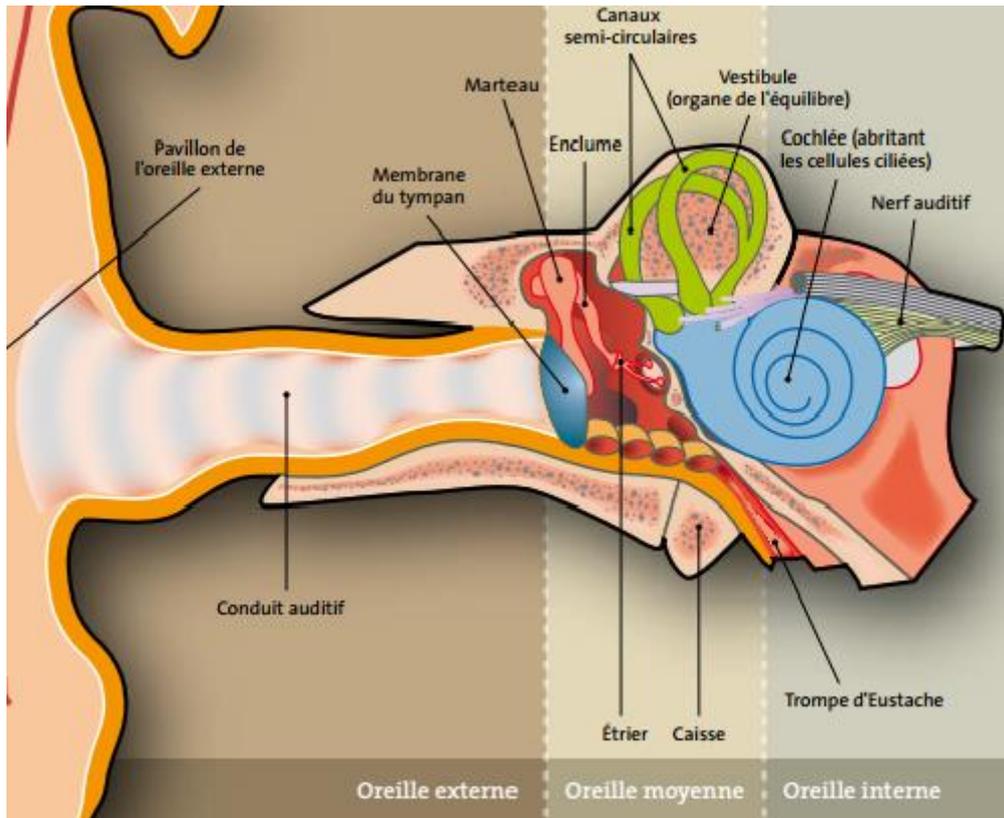


Figure I.2. : Les trois parties de l'oreille humaine [11].

I.4. La mesure et l'échelle et des niveaux sonores

I.4.1. La mesure

Dans la pratique, on parle de niveau sonore qui caractérise le niveau de pression acoustique. **L'intensité du son est alors mesurée en décibel (dB)**. Cette mesure absolue ne reflète pas totalement ce qui est perçu par l'oreille de l'homme.

Pour en tenir compte, plusieurs échelles de pondérations du décibel ont été établies, dont la **pondération dB(A)** : cette échelle est la plus utilisée et a comme objectif de donner une **mesure physiologique du niveau de bruit auquel est exposé un individu**, dans un environnement aux sons permanents ou fluctuants (usines, ateliers, autoroutes....).

On commence à percevoir les sons à partir de 0 dB (seuil d'audibilité), jusqu'à 120 dB (seuil de la douleur). Les bruits dans notre vie quotidienne sont compris entre 30 dB et 90 dB.

Les bruits situés au delà de 90 dB proviennent essentiellement de la vie professionnelle (industrie) ou de certains hobbies (musique). Au delà de 120 dB, le bruit devient carrément douloureux et passé 140 dB un être humain peut perdre définitivement l'audition.

Chapitre I : Introduction sur le bruit

Tableau I.2. : Niveaux de bruit [13].

Niveau sonore en dB(A)	Sensation auditive	Possibilité de conversation	Bruit correspondant
0	Seuil d'audibilité	A voix chuchotée	
5-10	Silence inhabituel		Chambre sourde
15-20	Très grand calme		Studio d'enregistrement de musique
25-35	Calme	A voix basse	Feuilles légères agitées par un vent doux Bruit ambiant nocturne en zone rurale Chambre à coucher
40-45	Assez calme	A voix normale	Bruit ambiant diurne en zone rurale Intérieur d'appartement en quartier calme
50-60	Bruits courants		Restaurant tranquille Rue résidentielle Conversation entre deux personnes
65-75	Bruyant mais supportable	A voix assez forte	Restaurant bruyant Piscine couverte Circulation automobile importante Métro sur pneus
80-95	Pénible à entendre	Difficile	Bar musical Passage d'un train à 20 m Circulation automobile intense à 5 m
100-110	Très difficilement supportable	Obligation de crier pour se faire entendre	Discothèque (près des enceintes) Marteau piqueur dans une rue à 5 m
120-140	Seuil de douleur exige une protection spéciale	Impossible	Moteurs d'avion à quelques mètres Turbo réacteur

I.4.2. L'échelle

L'échelle de bruit est une classification acoustique, une échelle logarithmique répertoriant les différents niveaux de bruits.

L'oreille n'a pas la même sensibilité suivant les différentes fréquences. Elle est surtout sensible dans les fréquences medium et beaucoup moins sensible lorsque l'on s'écarte vers les graves ou les aigus.

Chapitre I : Introduction sur le bruit

La perception du bruit varie d'un individu à l'autre (un bruit peut être agréable pour certaines personnes mais désagréable pour d'autres). Nous ne sommes donc pas tous égaux face au bruit.

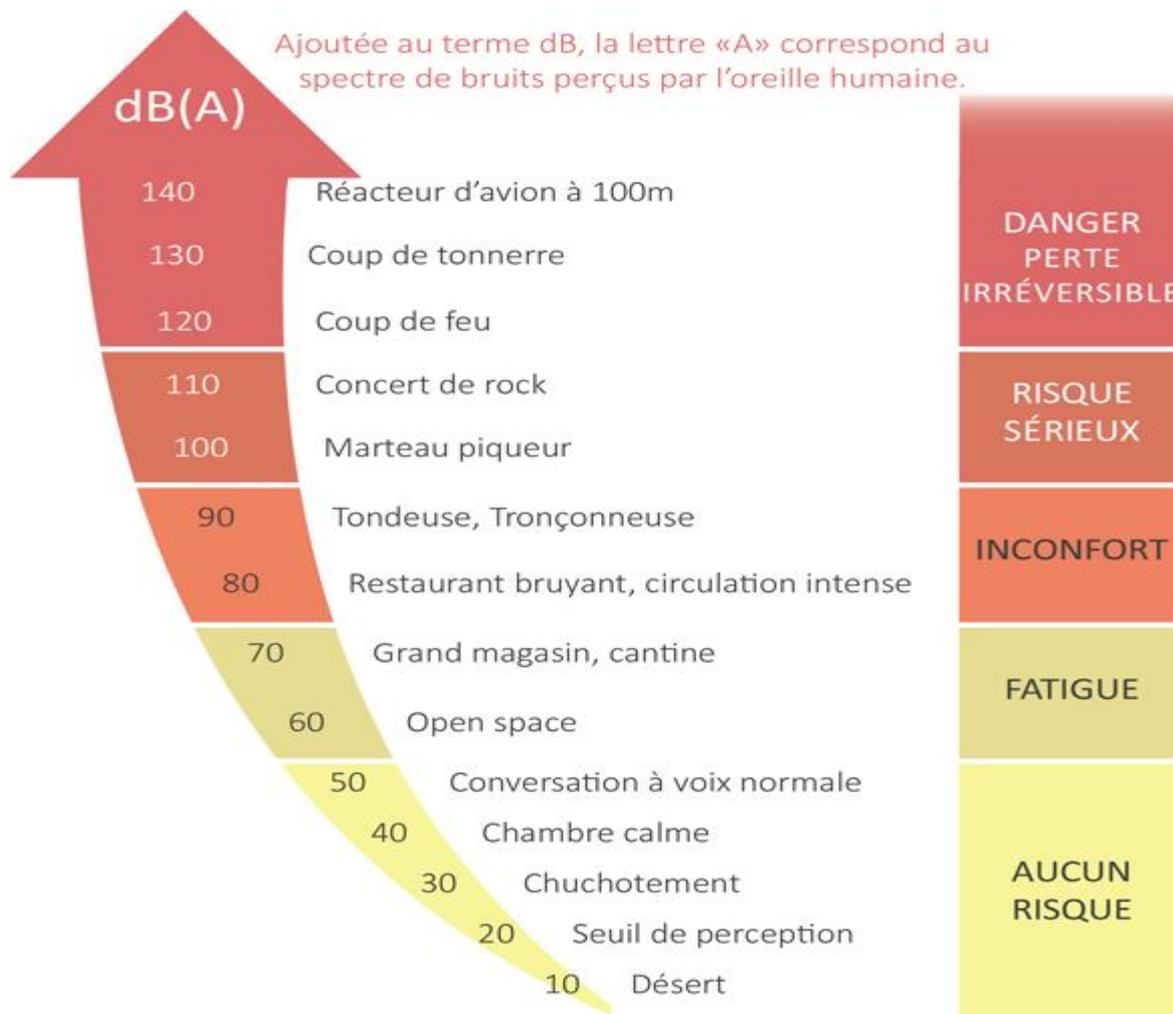


Figure I.3. : Échelle de bruit [14].

L'oreille humaine est sensible à une gamme de fréquence variant entre 20 et 20 000 Hertz (en-dessous se situent les infrasons, au-dessus les ultrasons) et à des variations d'intensité allant jusqu'à 120 à 130 dB, dans la frange supérieure se situent les seuils de douleur et/ou de destruction cellulaire [15].

Tableau I.3. : Échelle des différentes gammes de fréquences sonores.

Infrasons	Graves	Médiums	Aigus	Ultrasons
< 20 Hz	20 à 400 Hz	400 à 2000 Hz	2000 à 20000Hz	> 20 000 Hz

I.5. Principales sources des nuisances sonores [16]

Il existe deux sources principales des nuisances sonores :

I.5.1. Les bruits à l'intérieur d'un bâtiment

- Les voix humaines (langage, chant, cris).
- Les appareils de radio et de télévision.
- Les instruments de musique (à cordes ou à vent) qui peuvent engendrer des sons de 90 à 100 dB(A). Pour un piano, on relève approximativement 74 dB(A) au cours d'un pianissimo et 86 dB(A) au cours d'un fortissimo.
- Les appareils électroménagers.
- **Les équipements du bâtiment, à savoir :**
 - Les équipements sanitaires (robinet, chasse, douche ou baignoire). Les bruits hydrauliques se propagent dans les conduites d'eau, en sens inverse de l'écoulement, puis se transmettent aux cloisons ou murs sur lesquels elles sont fixées. Si la fixation est rigide, les murs diffusent eux-mêmes le bruit dans les pièces situées de part et d'autre.
 - Les installations de chauffage.
 - Les équipements de ventilation.
 - Les ascenseurs.

I.5.2. Les bruits à l'extérieur d'un bâtiment

- **Les bruits liés aux transports routiers :** Le réseau routier et la circulation automobile citadine, de jour comme de nuit, ne cessent de s'accroître. En conséquence, les niveaux sonores mesurés en façade n'ont pas diminué depuis 30 ans, même si, par ailleurs, on note une légère réduction des points noirs en zone périurbaine. En ville et en matière de transports routiers, les bruits liés à la motorisation et la fermeture des portes sont prédominants tandis que sur autoroutes et voies à grande circulation c'est la liaison pneu chaussée (impact du pneu sur le sol) qui est responsable du bruit ambiant. Plus la vitesse du véhicule est élevée, plus le bruit émis sera important.
- **Les bruits et vibrations liés aux transports sur voies ferrées :** Concernant le métro, l'usure des rails et des roues, notamment sur les voies en courbe, entraîne une augmentation des vibrations générées par le roulement. En volume fermé (souterrain),

le bruit de roulement se réverbère sur les parois des tunnels souterrains et le bruit se transmet à l'intérieur des véhicules. Par ailleurs, le métro circulant sur fer engendre plus de bruit de roulement (contact roue/rail) qu'un métro circulant sur pneumatique.

- **Les bruits d'origine industrielle :** Ces bruits résultent le plus souvent d'une addition de bruits produits par des sources multiples : machines, chutes d'objets, vibrations, etc. Ils se caractérisent par leur haut niveau sonore, leur moment d'émission (souvent tôt le matin) et/ou leur aspect lancinant. De manière générale, ces bruits sont perçus comme très gênants et perturbateurs.
- **Les bruits liés aux activités extérieures :** (bricolage, chantiers). Ces bruits se caractérisent essentiellement par leur caractère temporaire, mobile et intempestif. S'il existe des solutions de capotage pour réduire les émissions de bruit et des dispositifs d'homologation pour les engins de chantiers, en revanche, aucune évolution n'a été enregistrée depuis une vingtaine d'années pour réduire les bruits des petits appareils comme les tondeuses et outils de bricolage. De plus, l'utilisation de ces appareils en milieu citadin les jours de repos (malgré des réglementations locales) engendre une gêne importante pour le voisinage. Le bruit d'une tondeuse à gazon est, le plus souvent, d'un niveau sonore supérieur à une pelleteuse de chantier.

I.6. Les différents types de bruit [17]

Les bruits sont émis par des sources très variées et ont une nature et une composition très différentes. Des qualificatifs caractérisent ainsi certains bruits. Parmi ces bruits, des bruits normalisés sont créés artificiellement et utilisés pour des mesures acoustiques en simulant par exemple les bruits émis à l'intérieur des bâtiments et les bruits émis par les transports. Ce sont le bruit blanc, le bruit rose, le bruit routier, le bruit de chocs. La définition des bruits normalisés et de quelques bruits naturels est donnée ci-après par ordre alphabétique.

I.6.1. Bruits normalisés ou bruit de référence

- **Bruit blanc :** Bruit qui contient toutes les fréquences audibles au même niveau de pression sonore donc autant des sons aigus, grave ou médium.
- **Bruit rose :** Il contient plus de sons graves que d'aigus. Il est utilisé pour mesurer l'isolement à l'intérieur des bâtiments et l'isolement des façades au bruit des avions.
- **Bruit route :** Il sert de référence pour le bruit des trafics routier et ferroviaire. Il est plus riche en sons graves que le bruit rose.

Chapitre I : Introduction sur le bruit

- **Bruit de chocs normalisé** : Bruit produit dans un local par une machine à cinq marteaux frappant le sol pour mesurer l'isolation d'un revêtement.

I.6.2. Autres bruits

- **Bruit aérien** : Bruit se propageant dans l'air pouvant être extérieur ou intérieur (exemple : bruit de la circulation, voix, bruit de télévision...).
- **Bruit ambiant ou bruit de fond** : Ensemble des bruits émis par toutes les sources sonores proches ou éloignées en un lieu et à un instant donnés.
- **Bruit de l'environnement** : Bruit émis par toutes les sources sauf le bruit sur les lieux de travail industriel.
- **Bruit fluctuant** : Bruit ayant des fluctuations de niveau supérieur à 5 dB mesurées avec un sonomètre en mode lent.
- **Bruit impulsionnel** : Bruit consistant en une ou plusieurs impulsions d'énergie acoustique d'une durée inférieure à 1 s et séparées de plus de 0,2 s.
- **Bruit particulier** : Bruit du milieu ambiant pouvant être identifié spécifiquement.
- **Bruit résiduel** : Bruit ambiant en l'absence de bruits particuliers.
- **Bruit solidien** : Bruit se propageant dans les milieux solides. On distingue les bruits d'impacts (bruits de choc sur une paroi) et les bruits d'équipements (ascenseur, chaudières).
- **Bruit stable** : Bruit ayant des fluctuations inférieures à 2dB sur un sonomètre en mode *Slow* (lent).
- **Bruit à tonalité marquée** : Bruit détecté quand la différence de niveau son pondéré du tiers d'octave avec les deux bandes immédiatement supérieures et inférieures atteint ou dépasse les niveaux indiqués ci-après pour la bande considérée, l'analyse étant faite avec une acquisition minimale de 10 s : de 50 à 315 Hz : 10 dB ; de 400 à 250 Hz : 5 dB ; de 1600 à 8000 Hz : 5 dB (les bandes d'octave ou de tiers d'octave sont, en acoustique, des bandes de l'échelle des fréquences permettant une analyse simplifiée, d'un bruit par exemple [18]).

Chapitre II :

Les effets sanitaires

du bruit

II.1. Introduction

« Le son produit par l'activité humaine, par sa durée, son intensité ou sa répétition, devient une pollution qualifiée de bruit ».

Le bruit constitue un problème sanitaire et social qui concerne une grande partie de la population. Les catégories sociales les plus défavorisées sont souvent les plus exposées à la pollution sonore. La diminution de l'exposition aux bruits excessifs est un objectif tant sur le plan environnemental, social que sanitaire. Les études montrent en effet clairement les effets du bruit sur la santé et sur le sommeil : endormissement difficile, réveils nocturnes, diminution de la phase de sommeil profond (le sommeil réparateur des fonctions physiques et intellectuelles) d'où un sommeil globalement de moins bonne qualité, une fatigue au réveil, une moindre efficacité au travail ou à l'école et une augmentation des risques d'accidents.

Les nuisances sonores agissent sur notre santé et également, de manière plus large, sur notre qualité de vie, sur l'éducation de nos enfants, dans nos environnements professionnels et familiaux, dans nos déplacements.

Pour autant toutes les manifestations sonores sont loin d'être des nuisances. Elles sont aussi une source d'enrichissement collectif et il apparaît primordial de préserver et de conforter la richesse et l'identité sonore des villes et villages. Cet objectif n'est pas incompatible, bien au contraire, avec la lutte contre les nuisances sonores. Pour citer quelques exemples concrets, une sonnerie d'usine, une cour d'école, constituent des éléments de cette identité sonore locale.

II.2. La nocivité du bruit

La nocivité du bruit est liée :

II.2.1. Aux caractères du bruit

- **La qualité du bruit** : Les bruits de fréquence aiguë (hautes fréquences) sont, à intensité égale, plus nocifs que les bruits graves.
- **La pureté** : Un son pur de grande intensité est plus traumatisant pour l'oreille interne qu'un bruit à large spectre. Mais il faut noter que les sons purs sont peu fréquents en milieu industriel.
- **L'intensité du bruit** : Le risque de fatigue auditive et/ou de surdité professionnelle croît avec l'augmentation de l'intensité.

Chapitre II : Les effets sanitaires du bruit

- **L'émergence et rythme du bruit** : Un bruit impulsif ayant un caractère soudain et imprévisible est plus nocif qu'un bruit stable et continu de même énergie.
- **Durée d'exposition** : Pour une même ambiance sonore, plus la durée d'exposition est élevée plus les lésions auditives de l'oreille interne seront considérables.
- **L'association avec les vibrations** : L'exposition au bruit industriel associée aux vibrations aggrave le traumatisme sonore chronique.

II.2.2. Aux facteurs individuels et à l'état de santé :

- **L'âge** : La fragilité cochléaire au bruit s'accroît avec l'âge ; elle devient plus marquée au-delà de 50 ans.
- **La susceptibilité individuelle** : Certains sujets sont plus fragiles que d'autres au bruit.
- **La fragilisation antérieure de l'oreille** : Elle peut être provoquée par des affections de nature microbienne ou virale, traumatique, toxique (ototoxiques médicamenteux ou industriels) ou être héréditaire.
- **L'état de santé générale** : Etat cardio-vasculaire, diabète, hypertension, état neuropsychique.

Tableau II.1. : Valeurs guides pour le bruit dans les collectivités en milieux spécifiques (OMS 2000) [19].

Environnement spécifique	Effet critique sur la santé	Niveau sonore [dB(A)]	Base de temps [heures]
Zone résidentielle extérieur	Gêne sérieuse pendant la journée et la soirée	55	16
	Gêne modérée pendant la journée et la soirée	50	16
Intérieur des logements	Intelligibilité de la parole et gêne modérée pendant la journée et la soirée	35	16
Intérieur des chambres à coucher	Perturbation du sommeil, la nuit	30	8
A l'extérieur des chambres à coucher	Perturbation du sommeil, fenêtre ouverte	45	8
Salles de classe et jardins d'enfants, à l'intérieur	Intelligibilité de la parole, perturbation de l'extraction de l'information, communication des messages	35	Pendant la classe
Zones industrielles, commerciales, de circulation, extérieure et intérieure	Perte de l'audition	70	24

II.3. Effets sanitaire du bruit

La perte auditive constitue certainement l'effet néfaste le plus connu et probablement le plus grave du bruit, mais ce n'est pas le seul. Au nombre des autres effets indésirables, on peut citer les acouphènes (sifflements et bourdonnements d'oreilles), la perturbation de la communication orale et la non-perception de signaux sonores de sécurité, la diminution des performances, la gêne et les effets extra-auditifs. Dans la majorité des cas, la protection de l'audition des travailleurs devrait les mettre à l'abri de la plupart des autres effets. Tous ces aspects constituent un argument supplémentaire pour inciter les entreprises à mettre en œuvre de bons programmes de lutte contre le bruit et de conservation de l'audition.

II.3.1. Effets auditifs dues au bruit

III.3.1.1. Effets sur l'appareil auditif [20]

Sans surprise, le bruit a un impact direct sur le système auditif. Une exposition aigue peut entraîner **une perte irréversible de l'audition**, tandis qu'une exposition chronique peut affecter progressivement l'oreille interne. Certains signes cliniques peuvent alors apparaître comme une fatigue ou une perte auditive, des surdités légères, des acouphènes - sifflements aigus ou des bourdonnements dans les oreilles - ou encore de l'hyperacousie (dysfonctionnement de l'audition, caractérisée par une hypersensibilité de l'ouïe à certaines fréquences).

La perte d'audition due au bruit se produit quand les cellules ciliées contenues dans l'oreille interne sont endommagées par un bruit fracassant ou par l'exposition prolongée à un bruit important. En effet, ce sont ces cellules, qui, sous l'influence du bruit, vont se mettre à vibrer et envoient un signal électrique vers le cerveau. A la naissance, l'être humain possède environ 15 000 cellules ciliées. Aucune ne s'y ajoute par la suite. Ainsi, lorsque les cellules ciliées sont endommagées par un bruit prolongé et exagéré, elles meurent et ne se renouvellent pas. Plus on perd de cellules ciliées, moins l'oreille percevra de détails, tant en volume qu'en fréquence.

III.3.1.2. L'atteinte auditive professionnelle [21]

L'atteinte auditive induite par le bruit est généralement considérée comme une maladie professionnelle plutôt que comme un accident du travail parce que son évolution est progressive. Il peut arriver exceptionnellement qu'un travailleur soit victime d'une perte auditive immédiate et permanente à la suite de l'exposition à un bruit soudain et très intense,

Chapitre II : Les effets sanitaires du bruit

tel qu'une explosion ou un procédé industriel très bruyant comme le rivetage sur acier. Dans ce cas, on considère parfois la perte auditive comme accidentelle; on l'appelle alors «traumatisme sonore». Cependant, en règle générale, la capacité auditive décline lentement sur un grand nombre d'années. Le niveau de l'atteinte dépend du niveau de bruit, de la durée de l'exposition et de la sensibilité individuelle du travailleur. Il n'existe malheureusement pas de traitement médical de la surdité professionnelle; seule reste la prévention.

Les effets du bruit sur l'audition sont bien établis et les avis divergent peu au sujet de l'énergie sonore d'un bruit continu capable de provoquer un degré donné de perte auditive. Il n'est pas contesté non plus que le bruit fluctuant provoque une perte auditive. Pourtant, des périodes de bruit interrompues par des périodes de calme permettent à l'oreille interne de récupérer d'une perte auditive temporaire et peuvent donc être un peu moins dangereuses qu'un bruit stable. Cela vaut essentiellement pour les activités extérieures, mais pas pour le travail à l'intérieur de locaux comme les usines où les périodes de calme suffisant sont rares.

Les bruits impulsionnels, tels que le bruit des armes à feu et d'emboutissage du métal, provoquent aussi des atteintes de l'audition.

Il semble bien que le danger des bruits impulsionnels soit plus grave que celui des autres types de bruit, mais ce n'est pas toujours le cas.

L'importance de l'atteinte dépend essentiellement du niveau et de la durée de l'impulsion; elle peut être plus grave en présence d'un bruit de fond continu. Il paraît également prouvé que les sources plus de lésions que celles qui émettent dans les basses fréquences.

Au début, la perte auditive due au bruit est souvent temporaire.

Au cours d'une journée bruyante, l'oreille se fatigue et le travailleur présente une baisse auditive correspondant à un déplacement temporaire des seuils d'audition (Temporary Threshold Shift (TTS)) appelée fatigue auditive. Entre la fin d'un poste de travail et le début du suivant, l'oreille récupère en général une grande partie du déficit transitoire, mais souvent une partie de la perte subsiste. Après des jours, des mois et des années d'exposition, le déficit transitoire devient permanent et une nouvelle fatigue auditive vient se surajouter à la perte devenue irréversible. Un bon programme de surveillance audiométrique essaiera d'identifier ces déficits auditifs temporaires pour permettre d'instaurer des mesures préventives avant que la perte ne devienne permanente.

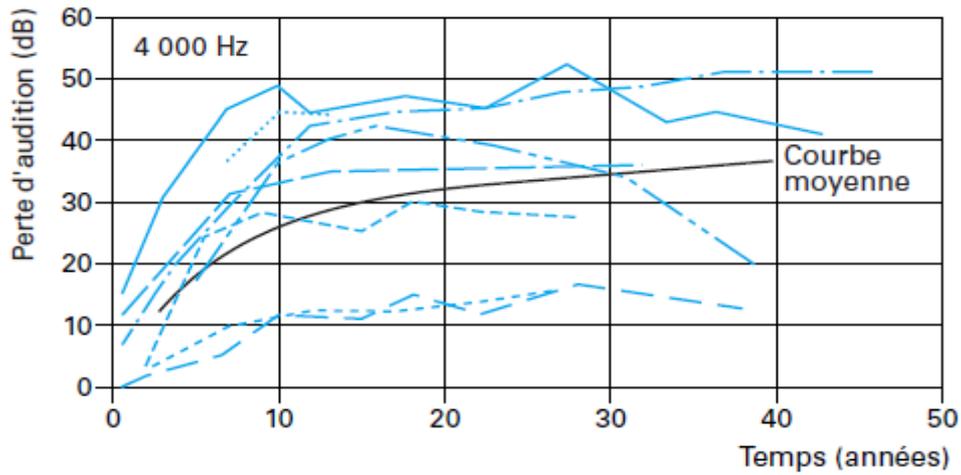
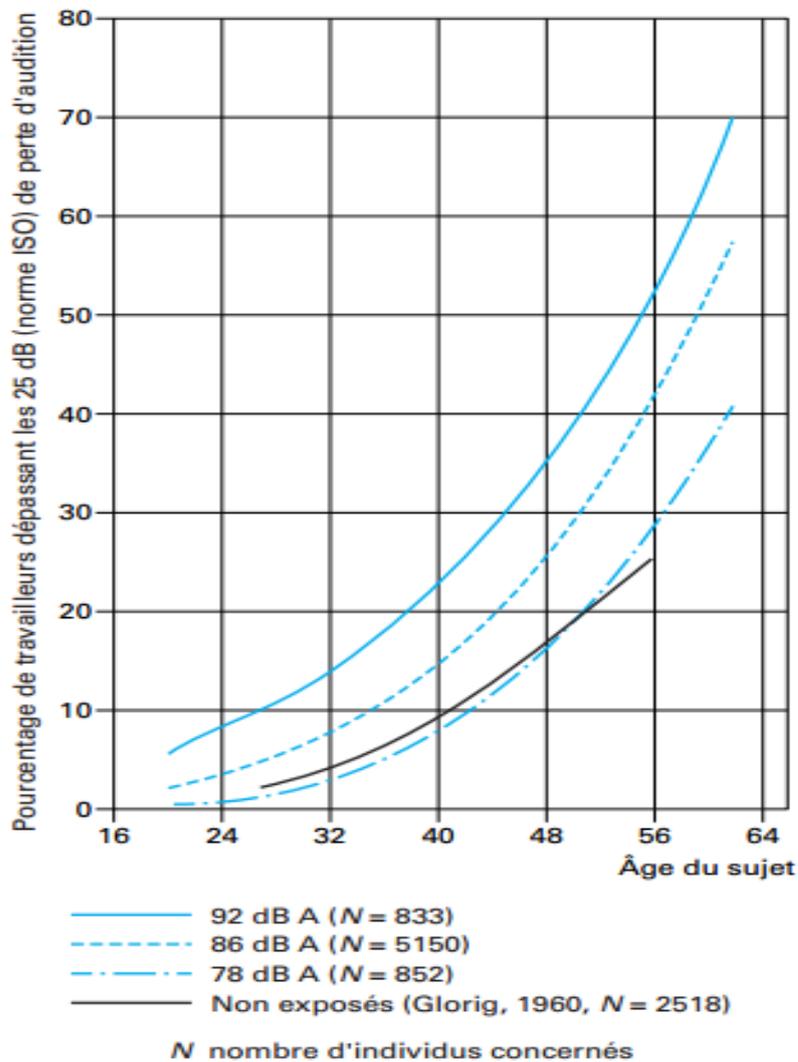


Figure II.1. : Perte d'audition moyenne en fonction de la durée d'exposition [9].



Étude portant sur 6 835 travailleurs industriels exposés dans leur profession à des niveaux relativement stables (d'après Baughn, 1972)

Figure II.2. : Variation de la perte d'audition selon le niveau d'exposition [9].

II.3.2. Effets non auditifs du bruit

II.3.2.1. Le stress [11]

Lorsque l'organisme n'est plus en mesure de supporter la situation bruyante, le phénomène de stress apparaît. Il peut être identifié à partir des perturbations physiologiques et organiques qu'il engendre (sécrétion d'hormones : noradrénaline, adrénaline, cortisol).

Il évolue en trois phases : une réaction d'alarme, une étape de résistance et un stade d'épuisement.

En réponse à un bruit, l'organisme réagit comme il le ferait de façon non spécifique à toute agression physique ou psychique.

Le bruit, s'il se répète, va entraîner une multiplication des réponses de l'organisme, et peut induire, à la longue, un état de fatigue, voire un épuisement. Au-delà de cette réaction, l'organisme peut ne plus être capable de répondre de façon adaptée et voir ses systèmes de défense devenir inefficaces.

L'exposition à un stress chronique est associée à des changements métaboliques qui augmentent le risque de maladie cardiovasculaire, et contribuent également à l'altération de la fonction immunitaire, au diabète, à des symptômes dépressifs.

On observe alors une dégradation de l'état de santé de l'individu.

L'adaptation de l'individu dépend de la perception de la situation.

La possibilité d'exercer un contrôle sur le bruit atténue les effets physiologiques et comportementaux des réponses de stress.

Selon le contexte, des stratégies d'ajustement peuvent être mises en place :

- **L'évitement** : Fuir le bruit.
- **La vigilance** : Concentration et recherche d'information sur le bruit.
- **Le déni** : Prise de distance par rapport au bruit.

II.3.2.2. La gêne [11]

Les effets subjectifs du bruit sont à considérer comme des événements de santé à part entière. La gêne est le principal effet subjectif évoqué.

Chapitre II : Les effets sanitaires du bruit

L'OMS définit la gêne « *comme une sensation de désagrément, de déplaisir, provoquée par un facteur de l'environnement dont l'individu ou le groupe reconnaît ou imagine le pouvoir d'affecter la santé* ».

Du point de vue physique, le niveau sonore peut être le premier critère pour définir la gêne, surtout pour des niveaux excessifs de bruit. Le caractère répétitif ou continu, la nature impulsionnelle, la période de la journée, la présence ou absence d'un autre bruit, ou encore le fait de pouvoir ou non l'interrompre, sont aussi des facteurs importants dans la sensation de gêne sonore.

La perception sonore en termes de gêne ou de confort dépend aussi de facteurs individuels (le vécu, le sexe, la personnalité, l'image de la source, la sensibilité au bruit, le statut d'habitation etc.) et du contexte dans lequel le bruit se produit (les caractéristiques de la source, le niveau d'isolation acoustique, l'activité en cours, le contrôle du bruit etc.).

Par exemple, il suffit parfois de se trouver dans un moment difficile (deuil, chômage, maladie) pour que le moindre bruit nous paraisse insupportable alors qu'une personne vivant des circonstances heureuses percevra les mêmes sons comme agréables.

II.3.2.3. La perturbation du sommeil [22]

L'audition est en veille permanente, l'oreille n'a pas de paupières ! Pendant le sommeil la perception auditive demeure : les sons parviennent à l'oreille et sont transmis au cerveau qui interprète les signaux reçus.

Occupant environ un tiers de notre vie, le sommeil est indispensable pour récupérer des fatigues tant physiques que mentales de la période de veille. Le sommeil n'est pas un état unique mais une succession d'états, strictement ordonnés : durée de la phase d'endormissement, réveils, rythme des changements de stades (sommeil léger, sommeil profond, périodes de rêves) Des niveaux de bruits élevés ou l'accumulation d'évènements sonores perturbent cette organisation complexe de la structure du sommeil et entraînent d'importantes conséquences sur la santé des personnes exposées alors même qu'elles n'en ont souvent pas conscience.

On peut distinguer trois types d'effets du bruit sur le sommeil: les effets sur le comportement du sommeil (effets primaires), les effets sur les performances et l'humeur durant la journée (effets secondaires) et les effets à long-terme sur le bien-être et la santé.

Chapitre II : Les effets sanitaires du bruit

- Les effets primaires :

Le bruit nocturne peut entraîner une activation du système nerveux, empêchant la personne de s'endormir ou provoquant son réveil. Cependant, la réponse au bruit est souvent plus subtile et peut impliquer le passage d'un sommeil profond vers un sommeil plus léger, une augmentation des mouvements du corps, une accélération temporaire du rythme cardiaque et une modification des concentrations hormonales. Enfin, la pression artérielle est également affectée par les bruits nocturnes.

- Les effets secondaires :

Ce type d'effets inclut une réduction de la qualité du sommeil ainsi qu'un accroissement de l'irritabilité, de la somnolence et de la fatigue. D'autres effets sont également observés comme l'humeur dépressive ou la réduction des performances intellectuelles.

- Les effets à long terme :

A long terme, le bruit nocturne peut mener à de l'insomnie et à une augmentation de l'usage des médicaments. Il est prouvé que l'exposition nocturne au bruit augmente la tension artérielle. Enfin, certains éléments indiquent une contribution du bruit au développement de maladies mentales.

Les effets à long terme débutent à des niveaux relativement bas et deviennent de plus en plus évidents à mesure que l'intensité du bruit augmente: les changements entre les périodes de sommeil, l'accroissement des mouvements du corps et l'accélération des pulsations cardiaques débutent à des niveaux sonores d'environ 32 à 42 dB(A). La qualité du sommeil est affectée à partir de niveaux de bruit de 40 dB(A), niveaux de bruit qui déclenchent également des réveils nocturnes, dont on n'est pas toujours conscient s'ils sont de courte durée (moins de trois minutes).

Les gens s'adaptent assez bien au bruit nocturne. Cependant, il n'y a jamais d'habituation complète, particulièrement en ce qui concerne l'accélération des pulsations cardiaques et l'augmentation de la pression artérielle.

II.3.2.4. Bruit et grossesse [20]

Les effets du bruit sont potentiellement plus néfastes chez les femmes enceintes. Ainsi, plusieurs études tendent à montrer que les femmes enceintes soumises de façon régulière et prolongée à des bruits de forte intensité ont une élévation modérée du **risque d'hypertension artérielle gravidique, mais également d'accouchement prématuré, de retard de croissance, de petit poids à la naissance ou de fausse couche**. Une exposition prolongée au bruit élevé peut également occasionner, chez la mère, une augmentation de la pression et une fatigue. Pendant les trois derniers mois de la grossesse, une exposition à des intensités sonores dépassant 85 dB, notamment dans les basses fréquences, peut avoir un effet délétère sur l'audition du bébé à naître et être responsable de difficultés d'apprentissage.

II.3.2.5. Le bruit, la communication et la sécurité [21]

Il est évident que le bruit risque de gêner la communication orale et la perception des signaux acoustiques de sécurité ou de créer un «effet de masque».

De nombreux procédés industriels peuvent très bien être mis en œuvre avec un minimum de communication entre les travailleurs. D'autres métiers en revanche, comme ceux de pilote de ligne, de mécanicien de chemin de fer, etc. reposent fortement sur la communication orale.

Dans bon nombre de cas, les travailleurs doivent s'accommoder de la situation en faisant des efforts pour comprendre les paroles dans le bruit, en forçant la voix ou en communiquant par gestes. Un effort excessif risque de provoquer chez certaines personnes un ou même plusieurs nodules ou d'autres anomalies des cordes vocales qui peuvent nécessiter des soins médicaux.

On sait par expérience qu'à des niveaux de bruit supérieurs à 80 dB(A), il faut parler très fort et, quand le niveau dépasse 85 dB(A), il faut crier. Quand le niveau dépasse largement 95 dB(A), les interlocuteurs doivent se rapprocher très près pour pouvoir tout simplement communiquer.

Il est généralement admis que le bruit peut être préjudiciable à la sécurité, mais seul un petit nombre d'études ont été consacrées à ce problème. Par contre, nombreux sont les rapports signalant des cas de travailleurs dont les vêtements ou les mains ont été happés par une machine et qui ont été gravement blessés sans que leurs collègues de travail aient pu

Chapitre II : Les effets sanitaires du bruit

entendre leurs appels au secours. Pour pallier ce problème de communication en milieu bruyant, certains employeurs ont installé des avertisseurs visuels.

Autre problème dont les travailleurs exposés au bruit sont plus conscients que les professionnels de la conservation de l'audition et de la santé au travail: les équipements de protection individuelle peuvent parfois gêner la perception de la parole et des signaux acoustiques de sécurité. C'est surtout le cas quand ceux qui portent ces protecteurs sont déjà atteints de perte auditive et que le niveau sonore tombe au-dessous de 90 dB(A).

Dans ce cas, il est tout à fait justifié que les travailleurs manifestent leur préoccupation quant au port d'une protection individuelle. Il est important d'y être attentif et de mettre en œuvre des mesures techniques de lutte contre le bruit ou bien d'améliorer le type de protection proposé, comme des protecteurs incorporés à un système de communication électronique, par exemple. La réponse en fréquence des protecteurs d'oreilles actuels est devenue en outre plus plate, plus «haute fidélité», ce qui devrait pouvoir améliorer la capacité qu'ont les travailleurs de comprendre la parole et les signaux acoustiques de sécurité.

II.3.2.6. Niveau de performance [22]

Il a été montré, principalement pour les travailleurs et les enfants, que le bruit peut compromettre l'exécution de tâches cognitives. Bien que l'éveil dû au bruit puisse produire une meilleure exécution de tâches simples à court terme, les performances diminuent sensiblement pour des tâches plus complexes. La lecture, l'attention, la résolution de problèmes et la mémorisation sont parmi les effets cognitifs les plus fortement affectés par le bruit. Le bruit peut également distraire et des bruits soudains peuvent entraîner des réactions négatives provoquées par la peur.

Le bruit peut également produire des troubles et augmenter les erreurs dans le travail, et certains accidents peuvent être un indicateur de réduction des performances.

II.3.2.7. Impacts socio-économiques

La pollution sonore a des impacts sociaux et territoriaux prépondérants. Les niveaux sonores élevés le long des axes de transport très fréquentés dans le centre des villes engendrent un exode vers la périphérie, plus tranquille. Cette évolution ne reste pas sans conséquence pour la mixité sociale, les personnes aux revenus les plus modestes n'ayant pas la possibilité de se soustraire au bruit. Les propriétés situées dans des endroits bruyants se

Chapitre II : Les effets sanitaires du bruit

vendent et se louent à des prix inférieurs. En comparaison de bâtiments se trouvant dans des quartiers plus calmes, l'état de nombreuses habitations à proximité immédiates d'axes très fréquentés est nettement moins bon. Face aux perspectives défavorables de développement des quartiers fortement exposés au bruit, les propriétaires évitent les investissements et renoncent par exemple à entreprendre une rénovation. On aboutit ainsi à une spirale descendante dans ces secteurs. Le bruit apparaît ainsi comme un facteur qui renforce les inégalités sociales et territoriales.

Les coûts du bruit pour la collectivité sont associés à la fois aux coûts des dommages causés et aux coûts de réduction ou de réparation de ces dommages.

- Les coûts des dommages sont relatifs :
 - Aux coûts sociaux liés aux impacts sanitaires du bruit (traitement médical des maladies cardiovasculaires, arrêts de travail, frais d'assurances, coûts immatériels liés à la perte de bien-être, au manque de concentration, à la fatigue, aux douleurs, à la souffrance des malades et de leurs proches).
 - Aux répercussions économiques du bruit en termes de dévaluation des prix de l'immobilier, de perte de productivité due aux effets du bruit sur la santé.

La réparation des dommages causés par le bruit nécessite également de mobiliser des moyens financiers considérables. Ainsi les travaux de construction d'écrans ou d'isolation acoustique de bâtiments coûtent chers.

II.4. Réduction du bruit

II.4.1. Actions en amont [23]

Il est préférable de prévoir des actions de réduction du bruit **dès la conception**, avant que le problème n'apparaisse : en cas de nouveaux locaux, de réaménagement d'ateliers, etc.

Ces actions seront moins onéreuses et la démarche, si elle est globale, permettra de travailler sur d'autres risques et nuisances, voire sur la qualité de la production. Il peut s'agir d'organisation du travail, d'aménagement d'atelier, de choix de procédés ou d'équipements moins bruyants, etc.

II.4.2. Évaluation des risques [23]

L'évaluation des risques constitue le point de départ de la démarche de prévention, elle permettra à l'employeur de définir les mesures nécessaires pour garantir la protection de son personnel.

Les résultats de l'évaluation des risques doivent être transcrits dans le document unique.

Au-delà du strict respect de l'obligation réglementaire, ce document doit permettre à l'employeur d'élaborer un **plan d'action** définissant les mesures de prévention appropriées aux risques identifiés.

Le processus d'évaluation des risques permet d'identifier les postes de travail les plus exposés et les équipements qui sont les principales sources en cause. La recherche de solutions se décline alors tout au long du chemin de propagation du bruit entre un équipement (la source) et la réception (le salarié).

Dans le domaine acoustique, **l'évaluation des risques peut commencer par une estimation du niveau sonore**. S'il faut élever la voix pour communiquer avec un collègue situé à 1 mètre, c'est qu'il est élevé. À 2 mètres de distance, s'il faut crier, c'est qu'il est d'au moins 85 dB(A). On peut aussi se pencher sur des éléments de référence, comme les notices des machines et des outils bruyants. Ensuite, il faut passer au mesurage.

Le succès d'une action de réduction du bruit dépend pour une large part de la pertinence de l'analyse des situations de travail réelles des opérateurs exposés.

II.4.3. Réduction du bruit à la source [24]

II.4.3.1. Cas de machines neuves

Les machines sont les sources principales du bruit. Il est essentiel, lors de l'achat de ces machines, de se préoccuper de leurs niveaux d'émission sonore (niveau de puissance acoustique émise, niveau de pression acoustique engendré au poste de travail) dans les conditions réelles d'exploitation, y compris avec leurs outils spéciaux et leurs équipements périphériques optionnels. Ces informations doivent figurer dans la notice descriptive d'utilisation de la machine.

Les niveaux sonores engendrés par le fonctionnement des machines ne dépendent pas uniquement de la puissance acoustique rayonnée par chacune d'elles, mais également de

Chapitre II : Les effets sanitaires du bruit

l'environnement interne et externe de leurs locaux d'implantation. Les constructeurs de ces machines ne peuvent donc pas être tenus pour seuls responsables des niveaux excessifs éventuels. C'est pourquoi les chefs d'établissement qui acquièrent de nouvelles machines ont généralement recours aux services de bureaux d'étude technique, BET ensemble qualifiés, qui assurent la fourniture et la pose de ces machines et installations, assorties de garanties de résultat. Aussi, avant passation d'un marché de machines neuves, il est indispensable d'introduire, dans les spécifications techniques du cahier des charges servant à la consultation de BET, les niveaux d'émission souhaitables sur lesquels les fournisseurs et poseurs peuvent s'engager contractuellement. Les conditions de recette de ces machines et installations doivent également être précisées par contrat.

II.4.3.2. Cas de machines en service

Il convient de veiller au bon entretien des machines en service (lubrification, équilibrage des parties tournantes) et de remédier, autant que faire se peut, aux causes de bruits en leur adaptant des dispositifs appropriés (capotages en tôles rigides amorties, amortisseurs d'éléments de paroi, outils spéciaux...).

Ces dispositifs ne doivent pas être de nature à nuire, de quelle que manière que ce soit, au bon fonctionnement des machines. Avant toute installation et à toutes fins utiles, il convient de consulter le fabricant des machines concernées et les opérateurs de machines analogues.

II.4.3.3. Montage « antivibratile »

Le montage « antivibratile » des machines a pour objet de limiter la transmission des vibrations à d'autres éléments de structure voisins.

Il vient en complément des efforts effectués pour réduire le bruit intrinsèquement émis par les machines. Les dispositifs « antivibratiles » s'intercalent entre le sol et la machine (ou son socle, massif lourd et rigide, sur lequel elle est fixée si nécessaire).

Ce type de montage doit être systématiquement envisagé.

L'adéquation aux machines des dispositifs « antivibratiles », applicables également au capotage, est d'une importance déterminante pour obtenir les résultats attendus et garantir le fonctionnement optimal de l'ensemble. Leur détermination par le calcul et leur choix, en type,

en nombre et en position, sont du domaine des bureaux d'étude technique (BET) qualifiés en la matière.

II.4.3.4. Capotage de la source de bruit

Lorsque le niveau sonore d'exposition reste élevé pour l'opérateur travaillant sur une machine particulière, il est conseillé d'envisager le capotage intégral de la machine en respectant les impératifs d'accès et de fonctionnement de celle-ci. Cette solution, quand elle est possible, permet souvent un affaiblissement important, pouvant dépasser 20 dB(A), à condition toutefois que les règles de base suivantes soient respectées : parois homogènes de masse et d'amortissement suffisants, découplage élastique du capotage par rapport à la machine, étanchéité au bruit des composants du capot et réduction des points faibles sur le plan de l'acoustique (notamment aux orifices d'alimentation et de sortie des matériaux de la machine). L'accès aux organes principaux de la machine, notamment pour son entretien, l'accès aux organes de contrôle et de commande, l'élimination des déchets et la dissipation de la chaleur constituent généralement les difficultés majeures du problème. Le maintien de la garantie de bon fonctionnement de la machine tient à l'accord formel de capoter délivré par le fabricant de la machine.

II.4.4. Traitement acoustique des locaux [24]

Il consiste à revêtir le plafond et éventuellement les murs de matériaux absorbants, afin de réduire au niveau le plus bas la réverbération sonore du lieu de travail. En effet, ce niveau réverbéré contribue à l'augmentation du niveau de pression acoustique d'exposition déterminé principalement par l'incidence sonore directe de chaque source.

Le traitement acoustique de ces locaux doit être tel que la décroissance du niveau sonore par doublement de distance à la source soit conforme à des critères spécifiques dépendants de l'aire de la surface des locaux. Ces critères sont différents selon qu'il s'agit de locaux où les machines et appareils de production sont installés, ou de locaux vides. Ces critères ne sont pas appliqués s'ils sont antinomiques aux règles d'hygiène particulière relatives à certains locaux qui nécessitent notamment un lavage régulier des parois.

Le choix des matériaux absorbants et de leur emplacement dans l'atelier est très important. Leur détermination doit être confiée à un architecte industriel ou à un BET compétent et qualifié. Le surcoût qui résulte de la fourniture et de la pose demeure généralement assez faible en regard du coût global de la construction des locaux.

II.4.5. Implantation ou réimplantation de machines [24]

En premier lieu, une étude d'acoustique prévisionnelle est réalisée.

Les machines sont espacées le plus possible afin de diminuer la densité de foisonnement des sources sonores. Les machines les plus bruyantes sont isolées de celles qui le sont le moins, chaque fois que cela est possible en les rassemblant dans un même espace, en les implantant loin des surfaces réfléchissantes, en les capotant ou en les masquant éventuellement par des écrans acoustiques.

II.4.6. Acoustique prévisionnelle [24]

L'acoustique prévisionnelle permet de prévoir les niveaux sonores aux postes de travail en dressant des cartes de bruit par simulation sur ordinateur de la propagation du son avant même l'existence de l'atelier ou avant son réaménagement. Elle permet ainsi d'adopter les solutions techniques optimales. La méthodologie prévisionnelle et les outils de calcul associés sont aujourd'hui couramment utilisés par les bureaux d'études spécialisés et qualifiés en matière d'acoustique.

II.4.7. Limites d'efficacité des actions collectives possibles [24]

Le moyen le plus efficace pour lutter contre le bruit est de le réduire à la source lorsque cela est possible en agissant sur la machine elle-même. Toutefois, les constructeurs de machines et d'outils en grandes séries sont encore peu sensibilisés à ce problème.

Des solutions existent pour des coûts peu élevés si l'on considère leur rendement et leur pérennité (cas des couteaux hélicoïdaux pour raboteuses et dégauchisseuses par exemple).

D'autres sont à l'étude, comme l'utilisation de lames de scie « sandwich », étude portant sur leur tenue mécanique en charge, leur tenue à l'échauffement et aux vibrations.

Les acheteurs et utilisateurs de machines ont un rôle déterminant à jouer pour inciter les concepteurs et les constructeurs de machines à cet effort de prévention en incluant les niveaux sonores d'émission dans leurs critères de choix et en les intégrant de la façon la plus précise possible dans leurs cahiers des charges.

En effet, toutes les autres actions correctives envisagées par la suite ne sont que des palliatifs qui voient leur efficacité limitée aux zones éloignées des sources de bruit.

Chapitre II : Les effets sanitaires du bruit

En ce qui concerne le poste de travail sur machine bruyante, hormis le capotage qui n'est pas toujours possible et qui peut se révéler assez coûteux, les autres actions ne permettent généralement pas de réduire totalement, voire parfois même de manière significative, le niveau du bruit engendré dans l'atelier. Toutefois, lorsque cela est possible, l'isolement du personnel en cabine insonorisée implantée au sein même de l'atelier demeure une solution avantageuse dans la mesure où elle permet de réduire considérablement les durées d'exposition. Des éléments de cloisons modulaires, spécialement conçus à cet effet, existent sur le marché.

II.4.8. Protection individuelle [24]

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 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, on distingue deux catégories de matériels :

II.4.8.1. Les protecteurs munis de "coquilles" (casques, serre-tête, serre-nuque) qui constituent un obstacle au niveau du pavillon de l'oreille et qui englobent ce dernier.

- Ils sont recommandés pour un port occasionnel ou intermittent car facile à mettre en place et à retirer.
- Veiller à l'état des coussinets, les remplacer lorsqu'ils deviennent durs ou présentent des fissures.
- Non jetable, veiller à l'hygiène.

- **Les casques enveloppants** : Ils recouvrent une bonne partie de la tête et comportent des coquilles qui viennent s'appliquer sur l'ensemble des oreilles.



Figure II.3. : Les casques enveloppants.

- **Les casques serre-tête** : Ils sont également composés de coquilles et d'oreilles qui viennent s'appliquer sur l'ensemble des oreilles.



Figure II.4. : Les casques serre-tête.

- Les deux coquilles sont reliées entre elles par un passant au dessus de la tête qui a pour but un bon maintien sur la tête du travailleur.
- La protection est bonne et efficace pour toutes les fréquences. L'oreille n'est pas bouchée et le confort est meilleur. Ils permettent également de protéger contre d'éventuelles projections solides pendant les opérations.

- **Les casques serre-nuque** : Ils sont identiques aux casques serre-têtes, sauf que le passant de maintien se trouve derrière la nuque.



Figure II.5. : Les casques serre-nuque.

- **Les serre-tête montés sur casques** : Ils sont composés de serre-tête classiques comme vu précédemment et d'un casque de sécurité. Ce type de protection a une double utilité : protection contre les chutes d'objets et protection contre les bruits. Il permet également d'enlever les protections auditives temporairement (dans une zone non bruyante) tout en conservant le casque de sécurité.

II.4.8.2. Bouchon d'oreille obstruant le conduit auditif, Il ya différent types :

- **Bouchons d'oreilles sur mesure** :

En matière anallergique, ils sont fabriqués à partir de l'empreinte de l'oreille.

- Ils sont bien adaptés à un port continu quotidien.
- Durée de vie : de 3 à 5 ans.



Figure II.6. : Bouchons d'oreilles sur mesure.

Chapitre II : Les effets sanitaires du bruit

- Bouchons d'oreilles façonnés par l'utilisateur :

En matériaux pouvant être comprimés ou mis en forme par l'utilisateur, l'expansion lente du bouchon lui permet de retrouver sa forme et de s'adapter au conduit auditif.



Figure II.7. : Bouchons d'oreilles façonnés par l'utilisateur.

- Conseillés en port continu.
- Bonne adaptation du matériau au conduit auditif.
- A stocker dans les conditions hygiéniques et à manipuler avec des mains propres.

- Bouchons d'oreilles pré-modelés :

- Ils s'introduisent dans le conduit auditif sans façonnage.
- Ils sont à utiliser pour des expositions intermittentes ou occasionnelles.
- Certains modèles sont reliés entre eux par un cordon ou un arceau.
- Ils doivent être stockés dans de bonnes conditions d'hygiène.



Figure II.8. : Bouchons d'oreilles pré-modelés.

Pour qu'un PICB joue bien le rôle de protection, il doit être :

- Efficace, c'est-à-dire affaiblir suffisamment le bruit auquel est exposé le sujet.
- Le plus confortable possible.
- Porté en permanence.

II.4.9. Information et la formation du personnel

II.4.9.1. L'information [24]

Dans le cas d'une indispensable protection individuelle, il faut consulter le médecin du travail, et informer le personnel sur les risques liés au bruit. La consultation porte sur les moyens à mettre en œuvre et les conditions d'utilisation.

L'employeur doit veiller à la constante mise à disposition des protecteurs individuels et au port de ceux-ci par les personnes exposées au bruit.

La notion de « danger dû au bruit » n'est pas réglementaire et l'affichage du signal d'avertissement est facultatif.

Toutefois, il demeure conseillé dans tous les cas où les niveaux instantanés d'exposition atteignent et dépassent habituellement 85 dB(A) ou 135 dB. L'affichage des symboles normalisés d'obligation ou d'interdiction est réglementairement obligatoire, mais ne suffit généralement pas (figure II.9).



Figure II.9. : Signalisation normalisée d'avertissement d'obligation et d'interdiction.

II.4.9.2. La formation

Ces formations sont réalisées à l'aide du Service de Santé au Travail (SST) et comportent :

- La nature du risque.
- Les mesures de prévention et de protections mises en place.
- Les valeurs seuils réglementaires à ne pas dépasser.
- Les résultats des évaluations des risques liés au bruit et des mesurages.
- Les équipements protections individuels à disposition et leur utilisation correcte.
- La surveillance médicale spécifique et la façon de dépister des symptômes d'altération de l'ouïe.
- Les dangers de l'exposition au bruit.
- Les pratiques professionnelles sûres, afin de réduire au minimum l'exposition au bruit.

Le médecin du travail peut se joindre au SST lors des formations et des campagnes d'informations, pour sensibiliser le personnel aux risques « physiques » d'une exposition prolongée au bruit.

II.4.10. La surveillance médicale renforcée

Le médecin du travail exerce une surveillance médicale renforcée pour les travailleurs exposés à des niveaux de bruit supérieurs aux valeurs d'exposition supérieures. Cette surveillance a pour objectif le diagnostic précoce de toute perte auditive due au bruit et la préservation de la fonction auditive.

Chapitre III :

**La réglementation
législative et les
normes relatives au
bruit**

III.1. Introduction

Le bruit extérieur est, sans doute, une des nuisances sonores dont la population souffre le plus [25]. 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 [26].

Le bruit affecte non seulement la qualité de la vie, mais également la santé des citoyens à partir de certains seuils de volumes sonores. Quand le dépassement du niveau de la simple nuisance affecte l'acuité auditive on parle de problème de santé public [27].

La santé au travail et la protection de l'environnement sonore sont des enjeux à prendre en compte quelle que soit la localisation de l'établissement industriel dans le monde. Le cadre réglementaire et normatif international tend à se renforcer fortement et à s'harmoniser de plus en plus en particulier en Europe. Ainsi, vis-à-vis de la protection de l'environnement, la localisation d'une implantation et son intégration dans l'environnement deviennent des éléments stratégiques d'un projet. Pour la protection de l'homme au travail, les nouvelles organisations, par exemple, par ligne produit, rendent complexe l'évaluation de l'exposition au bruit : celle-ci varie au cours du temps et les seuils tolérables varient selon la charge mentale exigée. La communication avec les tiers, la mise en œuvre de démarche participative et pluridisciplinaire au sein des entreprises sont donc devenue des facteurs clefs de succès d'un investissement industriel [26].

III.2. La réglementation et les normes algériennes

En Algérie, le problème concernant les nuisances dues aux bruits a été pris en charge par les pouvoirs publics dès 1983 en promulguant la loi n° 83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement [28]. La réglementation acoustique algérienne actuelle est composée principalement par deux lois et un décret :

- La loi n° 83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement (titre IV, chapitre V, articles 119, 120 et 121) [28].
- Le décret n°93-184 du 27 juillet 1993 réglementant l'émission des bruits [29].
- La loi 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable (titre IV, chapitre II, article 72 à 75) [30].

Chapitre III : La réglementation législative et les normes relatives au bruit

Le bruit est reconnu comme une nuisance susceptible de provoquer une maladie professionnelle qu'il faut réparer, ce qui a donné naissance du tableau n°42 qui liste la durée d'exposition et les travaux susceptibles de provoquer des maladies professionnelles [31].

III.2.1. La loi n° 83-03 du 5 février 1983

Cette loi concerne le bruit en trois articles qui sont les articles 119, 120 et 121 (**voir annexe A**).

- D'une part l'article 119 rend responsable toute personne physique ou morale lorsqu'il y a émission de bruits susceptibles de causer une gêne excessive à autrui.
- D'autre part l'article 120 oblige les responsables de bruits gênants à mettre en œuvre toutes les dispositions utiles pour les supprimer.

III.2.2. Le décret exécutif n° 93-184 du 27 juillet 1993

Le décret exécutif n° 93-184 du 27 juillet 1993 réglementant émission du bruit, dans prend en charge les articles 119 et 120 de la loi 83-03 (**voir annexe A**).

- La réglementation algérienne limite les niveaux sonores maximales admis dans les zones d'habitation et dans les voies et les lieux publics ou privé à 70 décibels en période diurne (6h à 22h) et de 45 décibels au voisinage immédiat des établissements hospitaliers ou d'enseignement et les aires de repos et de détente en période diurne (6h à 22h) et de 40 décibels en période nocturne (22h à 6h) (article 2 et 3).
- Les articles qui restent (de l'article 4 jusqu'au 14) sont juste destinés pour :
 - Obliger les personnes de ne pas dépasser les seuils recommandés (article 4).
 - Recommandes de prendre des insonorisations, des aménagements appropriés, ou des dispositifs d'atténuateur de bruit lorsqu'ils sont utilisés à moins de 50 mètres des locaux à usage d'habitation ou des lieux de travail (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.

III.2.3. La loi n° 03-10 du 19 juillet 2003

Les articles 72, 73, 74 et 75 donnent des prescriptions de protection contre les nuisances acoustiques (**voir annexe A**).

Chapitre III : La réglementation législative et les normes relatives au bruit

- L'Article 72 concerne les prescriptions de protection contre les nuisances acoustiques.
- L'article 73 concerne sans préjudice des dispositions législatives en vigueur, les activités bruyantes susceptibles de causer des nuisances sonores et qu'ils sont soumises à des prescriptions générales.

III.2.4. La réparation d'une surdité professionnelle

Les atteintes auditives d'une certaine gravité sont réparées dans le tableau n°42 des maladies professionnelles (**voir annexe A**). La liste des travaux susceptibles de provoquer la surdité est limitative énumérant un nombre précis de travaux. Seul le travailleur affecté à une de ces activités strictement spécifiée peut obtenir réparation au titre de la législation sur les maladies professionnelles.

- La durée minimale d'exposition est de un an, réduite à 30 jours en ce qui concerne la mise au point des propulseurs, réacteurs et moteurs thermiques.
- Le délai de prise en charge est de un an après la cessation de l'exposition au risque acoustique.
- Selon les prescriptions du tableau de réparation, la perte auditive doit être supérieure ou égale à 35 dB sur la meilleure oreille.
- Le déficit audiométrique moyen de 35 dB est calculé en divisant par 10 la somme des déficits mesurés sur les fréquences 500, 1000, 2000 et 4000 Hz, pondérés respectivement par les coefficients 2, 4, 3 et 1 (**exemple voir annexe A**).

Toutes les émissions sonores supérieures aux valeurs limites fixées par la réglementation algérienne contre les nuisances sonores sont considérées comme une atteinte à la sérénité du voisinage, une gêne excessive, une perniciosité à la santé et une subtilisation de la tranquillité de la population.

III.3. La réglementation et les normes internationales

III.3.1. La réglementation européenne [32]

Les États membres 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).

Chapitre III : La réglementation législative et les normes relatives au bruit

La protection contre les effets du bruit occupe une place prioritaire depuis les prémices de l'élaboration d'une politique européenne en matière de sécurité et de santé au travail. Dès 1986, en effet, le Conseil avait adopté la directive 86/188/CEE concernant la protection des travailleurs contre les risques dus à l'exposition au bruit pendant le travail.

Cette 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. 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 [33], 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.

D'autre part le Parlement Européen et le Conseil de l'Union Européenne ont adopté en 2002 la directive 2002/49/CE, dans le cadre de la lutte contre les nuisances sonores, relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement [34]. Cette directive a pour objectif principal d'éviter, prévenir ou réduire en priorité les effets nuisibles y compris la gêne due à l'exposition au bruit dans l'environnement.

Cette approche est basée sur la détermination cartographique de l'exposition au bruit, selon des méthodes communes, sur l'information des populations et sur la mise en œuvre de plans d'action au niveau local. Cette directive doit également servir de base pour mettre au point des mesures communautaires relatives aux sources de bruit.

III.3.2. La réglementation américaine

La loi de 1970 et le règlement de l'Occupational Health and Safety Administration (OSHA) qui a suivi, fixait les doses de bruit autorisées en fonction du temps d'exposition suivant les chiffres figurant au tableau III.1.

Chapitre III : La réglementation législative et les normes relatives au bruit

Tableau III.1. : Niveaux d'exposition au bruit autorisés par l'OSHA [35].

Durée d'exposition par jour en heures	Niveau sonore en dB(A)
8	90
6	92
4	95
3	97
2	100
1.5	102
1	105
1/2	110
1/4 (ou moins)	115

L'Occupational Safety and Health Administration (OSHA) a rédigé des normes pour l'exposition au bruit en milieu professionnel et les articles 1910.95 et 1926.52 de l'OSHA stipulent qu'un employeur doit mettre en œuvre des programmes de conservation de l'audition pour les salariés si le niveau de bruit sur le lieu de travail est égal ou supérieur à 85 dB (A) pour une période moyenne de 8 heures. L'OSHA exige également que l'exposition au bruit impulsif ou au bruit d'impact ne dépasse pas le niveau de 140 dB en pression acoustique de crête.

III.3.3. Les normes générales

L'une des normes en matière de bruit le plus largement employée en ISO (Organisation internationale de normalisation) est la norme ISO 1999 (1990) intitulée (Acoustique - Détermination de l'exposition au bruit en milieu professionnel et estimation du dommage auditif induit par le bruit).

Cette norme internationale a été révisée par ISO 1999 : 2013, elle peut être utilisée pour prévoir quantitativement la perte auditive susceptible de survenir dans les différents centiles de la population exposée à diverses fréquences audiométriques en fonction du niveau et de la durée de l'exposition, de l'âge et du sexe.

L'ISO est actuellement très active dans le domaine des normes acoustiques visant à évaluer l'efficacité des programmes de conservation de l'audition.

Chapitre IV :

**Caractéristiques du bruit
industriel et les phénomènes
intervenant dans la
propagation acoustique en
milieux extérieurs**

Chapitre IV : Caractéristiques du bruit industriel et les phénomènes intervenant dans la propagation acoustique en milieux extérieurs

IV.1. Introduction

L'acoustique est définie selon Larousse comme étant une « *Science qui étudie les propriétés des vibrations des particules d'un milieu susceptible d'engendrer des sons, infrasons ou ultrasons, de les propager et de les faire percevoir* » [36].

L'acoustique est donc la science du son. C'est une discipline scientifique relevant du domaine de la physique qui se divise en trois secteurs : la production du son, sa propagation et sa réception ou ses effets.

L'acoustique est liée à l'étude des rayonnements mécaniques générés par des causes naturelles et par l'activité humaine auxquels sont associées les notions de sensation auditive, de voix humaine, de communication par le canal sonore et toute une variété d'incidences psychologiques. La parole, la musique, l'enregistrement et la reproduction des sons, la téléphonie, l'amplification, l'audiologie, l'acoustique architecturale ou le contrôle acoustique sont intimement liés à la sensation auditive.

IV.2. Caractéristiques du bruit [24]

Le bruit est la manifestation spécifique d'une source vibratoire qui se propage par ondes dans un milieu matériel. Le milieu de propagation peut être solide, liquide ou gazeux ; plus généralement, c'est l'air ambiant.

Dans le vide, il n'y a pas de milieu matériel, donc pas de bruit : Le silence.

- Le bruit se manifeste par l'apparition simultanée de sons :
- D'intensités différentes que l'on distingue les uns des autres par leur niveau mesuré et exprimé en décibels (dB).
- De hauteurs différentes que l'on distingue les uns des autres par leur fréquence unique mesurée et exprimée en hertz (Hz).
- Le domaine fréquentiel est découpé en intervalles normalisés de fréquences. Les intervalles de fréquences les plus usités sont l'octave et le tiers d'octave. Une octave est l'intervalle de fréquences dont la borne supérieure a une valeur double de la borne inférieure. La fréquence centrale d'une octave vaut $\sqrt{2}$ fois la valeur de la borne inférieure. Une source de bruit se caractérise par :
- La **puissance acoustique** qu'elle émet.

Chapitre IV : Caractéristiques du bruit industriel et les phénomènes intervenant dans la propagation acoustique en milieux extérieurs

- Sa **directivité**, qui traduit la répartition spatiale de la puissance émise.
- Son **spectre** qui traduit la répartition fréquentielle de cette puissance.

L'effet que cette émission produit en tout point se caractérise par une **variation de la pression efficace** du milieu, appelée pression acoustique. Les niveaux de puissance acoustique LW et de pression acoustique Lp sont exprimés en décibels.

IV.3. Le bruit industriel et ses caractéristiques [37]

IV.3.1. Définition relative au bruit industriel

Comme l'a défini la Directive européenne 2002/49/CE [34], 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.

- D'un point de vue acoustique, un site industriel est complexe et il est difficile de dégager des caractéristiques générales simples des sources de bruits industriels du fait de leur diversité. Cependant, des facteurs renforçant l'émergence du bruit peuvent être relevés :
 - Plusieurs sources de bruit sont présentes sur un même site industriel et se combinent 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.

Chapitre IV : Caractéristiques du bruit industriel et les phénomènes intervenant dans la propagation acoustique en milieux extérieurs

- Des modifications spectrales dues à la propagation du bruit entre la source et l'habitation sont à considérer, intégrant les effets météorologiques.

IV.3.2. Les caractéristiques du bruit industriel [38]

IV.3.2.1. Aspect basses fréquences

Les sons de basses fréquences sont compris entre 10 et 160 Hz voire 8 et 250 Hz. Lorsque leur intensité est suffisamment élevée, la distance de propagation peut être très importante. A titre d'illustration, les basses fréquences sont souvent associées au bruit urbain causé par la circulation routière ou le transport aérien ainsi que le bruit provenant de chantiers de construction, de postes de transformation électrique, d'appareils de ventilation, de climatisation, de compresseurs ou d'éoliennes. On mesure le niveau sonore de sources de bruit qui comporte une part importante de basses fréquences au moyen des dB(C).

VI.3.2.2. Le caractère tonal

Selon la norme (ISO 1996-1, 2003) [39], 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.

VI.3.2.3. Le caractère impulsionnel

D'après les normes françaises NF S31-010 [NF S31-010, 1996] et NF S31-110 [NF S31-110, 2008] [40] [41], un bruit impulsionnel est un « *bruit consistant en une ou plusieurs impulsions d'énergie acoustique ayant chacune une durée inférieure à 1 s ou de l'ordre de 1 s et séparées par des intervalles de temps de durées supérieures à 0,2 s* ».

Et selon la norme ISO 1996-1 [39], le bruit impulsionnel est un « *bruit caractérisé par de brefs relèvements de la pression acoustique, qui dure généralement moins de 1 s* ».

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

Chapitre IV : Caractéristiques du bruit industriel et les phénomènes intervenant dans la propagation acoustique en milieux extérieurs

IV.4. Les phénomènes intervenant dans la propagation acoustique en milieu extérieur

La propagation acoustique en milieu extérieur est un domaine qui suscite depuis longtemps un grand intérêt scientifique. Elle dépend d'un nombre important de paramètres liés aux propriétés du milieu de propagation (atmosphère), aux conditions aux limites (sol, obstacles), aux caractéristiques physiques de la source ainsi qu'à la position de la source et du récepteur [42].

IV.4.1. Divergence géométrique [43]

C'est la dispersion de l'énergie dans l'espace en fonction de la distance de propagation, elle dépend uniquement des paramètres géométriques. Pour une source considérée comme ponctuelle (de petite dimension par rapport à la distance source-récepteur), l'atténuation par divergence géométrique est de 6 décibels (dB) par doublement de distance. Pour une source linéaire telle qu'une route, l'atténuation est de 3 dB par doublement de distance.

IV.4.2. Absorption par les matériaux [44]

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 donnée par :

$$Z_n = \frac{Z_1}{Z_0}$$

Où l'indice 0 est associé à l'air et l'indice 1 est associé au matériau.

IV.4.3. Absorption atmosphérique [43] [44]

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 :

Chapitre IV : Caractéristiques du bruit industriel et les phénomènes intervenant dans la propagation acoustique en milieux extérieurs

$$Att_{atm} = al d$$

Où d est la distance entre la source et le récepteur, en mètre ; al est l'atténuation linéique, en décibel par mètre (dB.m-1) qui dépend de la fréquence, de la température et de 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.

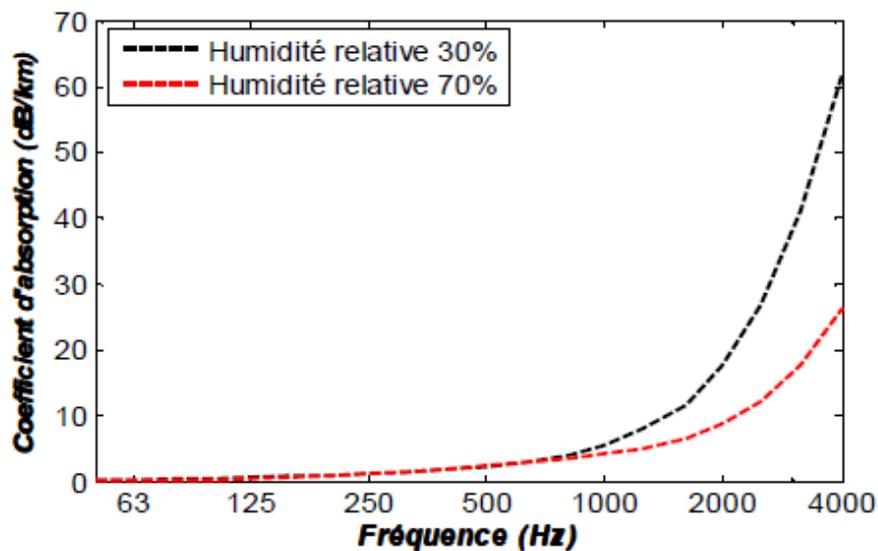


Figure IV.1. : Variation de l'absorption atmosphérique en fonction de la fréquence pour deux valeurs d'humidité relative 30 % et 70 % à une température de 15° [44].

IV.4.4. L'effet de sol [43]

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.

Chapitre IV : Caractéristiques du bruit industriel et les phénomènes intervenant dans la propagation acoustique en milieux extérieurs

IV.4.5. Diffraction par les obstacles [42] [44]

Les obstacles perturbent le parcours des ondes acoustiques. Ils provoquent un changement de la direction de propagation du son. La diffraction est la capacité de l'onde à "contourner" cet obstacle (Figure IV.2). Celle-ci est d'autant plus importante (champ sonore plus élevé au niveau du récepteur) que l'obstacle est petit devant la longueur d'onde considérée.

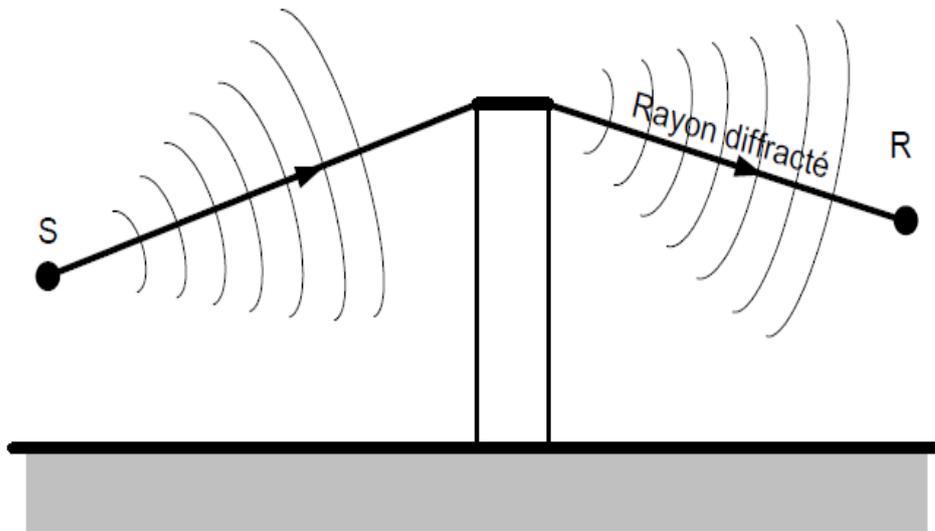


Figure IV.2. : Phénomène de diffraction (une partie de l'onde est diffractée derrière l'écran, dont le sommet agit comme une source secondaire).

IV.4.6. Réflexion sur les parois [43]

Lorsqu'une onde acoustique arrive sur une surface, une partie de son énergie acoustique est réfléchiée, 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 réfléchiée, 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) réfléchi(e)s.

IV.4.7. Les effets météorologiques [44]

Les effets météorologiques, principalement les gradients de température et de vitesse du vent, perturbent la propagation acoustique à longue distance en présence des protections acoustiques.

Chapitre IV : Caractéristiques du bruit industriel et les phénomènes intervenant dans la propagation acoustique en milieux extérieurs

Ces effets sont d'autant plus importants que la source sonore et le récepteur sont proches du sol. Le changement de la direction de propagation des ondes acoustiques est le résultat du phénomène de réfraction. Ce dernier provient d'un effet thermique et/ou d'un effet aérodynamique.

- **Les effets thermiques [45]** : 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 une variation de la vitesse du son. Cette dernière augmente avec la température de l'air.
- **Les effets aérodynamiques [45]** : 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).

Chapitre V :

Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

Chapitre V : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

V.1. Problématique

La compétitivité industrielle repose sur la qualité du produit et la rentabilité de sa production. Il faut produire plus rapidement, en utilisant moins de ressources, matériaux, services, énergies. La plupart des processus de fabrication ont doublé de cadence en quelques décennies, par augmentation des vitesses de lignes et de largeur de laize, taille de matrices, etc.

En dépit des améliorations apportées à la conception et à la construction des machines, les personnels de production sont exposés à des niveaux sonores croissants. La raison en est que l'émission de bruit augmente avec la vitesse de rotation ou de déplacement des produits et parties de machines.

Le cas des bruits industriels apparaît comme complexe, en raison de la diversité des sources de bruit impliquées : machines, pompe, compresseur, turbine, moteur, etc. (nombre d'entre elles fonctionnent 24h/24h). Pouvant gêner de manière notable d'une part les travailleurs au sein de l'industrie et d'autre part les riverains habitant à proximité. L'étude de l'impact environnementale des sources de bruit industriel en termes de nuisance apparaît donc un sujet important, qui nécessite une connaissance approfondie des sources.

Dans le cadre de faire une étude du bruit généré par les unités industrielles, on a choisi un lieu stratégique du stage, c'est la centrale thermoélectrique MARSAT EL HADJAJ puisqu'elle comporte toutes les conditions pour la réalisation de cette étude : les instruments de mesures, les machines, etc. Par ailleurs, notre étude s'inscrit dans l'objectif de répondre à ces préoccupations, en mesurant les niveaux sonores émis par toutes les machines bruyantes, pour réaliser des statistiques précises, une cartographie de bruit, et pouvoir réaliser des interprétations dans le but d'améliorer les conditions de travail et de préserver la santé des employés, des riverains et de l'environnement en générale.

Chapitre V : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

V.2. Méthodologie

Afin d'apporter des éléments de réponse à la problématique exposé « *Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew* », nous avons adopté la méthodologie suivante :

- Présentation générale de la centrale.
- Identification des sources de bruit.
- Réalisation des mesures nécessaires.
- Présentation de l'outil de simulation, le code tympan.
- Simulation des résultats trouvés.
- Interprétation des résultats obtenus.
- Réalisation des cartographies de bruit.

V.3. Présentation générale de la centrale thermoélectrique [46]

V.3.1. 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.

V.3.2. 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 50Km à l'est d'Oran.

V.3.3. 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.

Chapitre V : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

- 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.

V.3.3.1. 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.

V.3.3.2. 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 V.1. : Photo satellitaire de la centrale thermoélectrique.

Chapitre V : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

V.3.4. 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.

V.3.5. Les principales installations :

Les principales installations qui composent la centrale thermoélectrique sont :

V.3.5.1. Système filtration et pompage

- Degrilleur.
- Filtre rotatif.

V.3.5.2. Système eau de circulation

- Pompe de circulation.

V.3.5.3. Système eau d'extraction

- Condenseur.
- Pompes d'extraction.

V.3.5.4. Système eau alimentaire

- Dégazeur et bêche alimentaire.
- Pompes alimentaires.
- Réchauffeur haute pression (HP).

V.3.5.5. Système vapeur

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

Chapitre V : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

- Turbine.

V.3.5.6. Système air et fumé

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

V.3.5.7. Système de traitement d'eau

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

V.3.5.8. 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).
- Basses tension BT (380 V).
- Partie courant continu.

Chapitre V : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

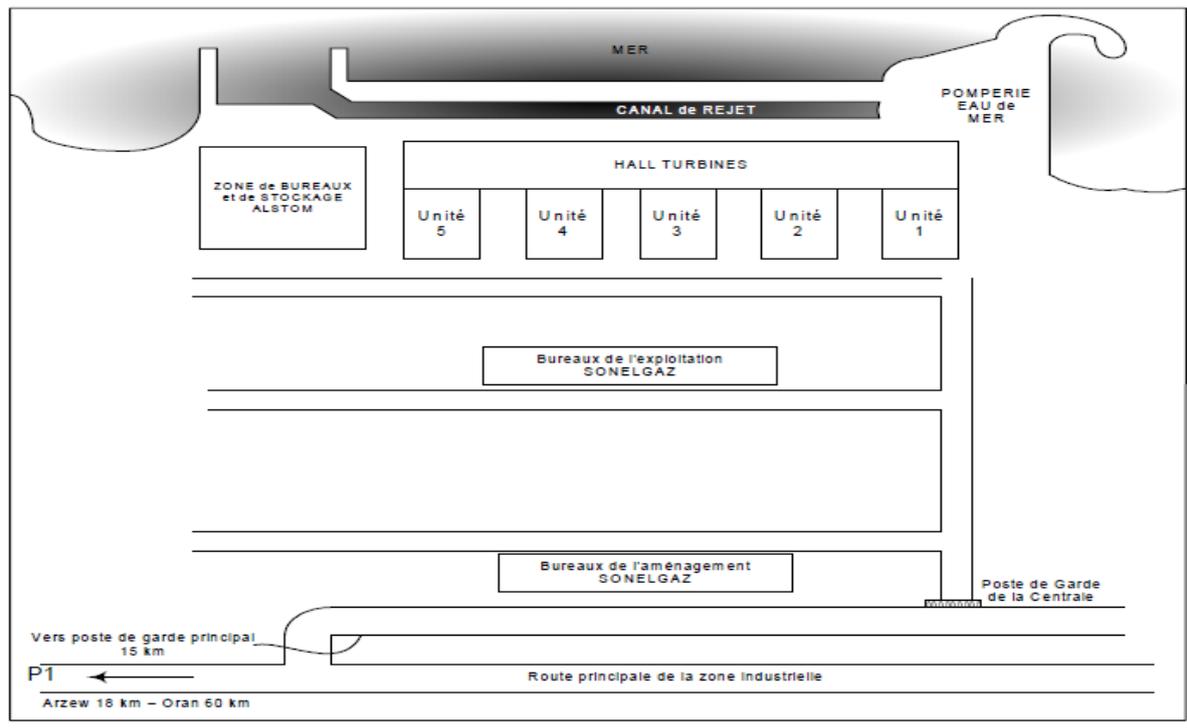


Figure V.2. : Schéma d'implantation des équipements de la centrale de MARSAT El HADJAJ.

Afin d'élaborer une cartographie de bruit de la centrale thermoélectrique de MARSAT El HADJAJ, une mesure des niveaux sonores a été effectuée 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).

V.4. Identification des sources de bruit

Avant de lancer les mesures et d'entamer l'analyse des résultats, il est préférable qu'on identifie d'abord les sources de bruit qui existent au niveau du complexe et pour ce faire, on a suivi les étapes suivantes :

- Visite générale de toutes les zones de la centrale thermoélectrique.
- Vérification des résultats de mesure de bruit des années passées et détection des zones les plus bruyantes.
- Interpellation des ingénieurs HSE qui sont responsables de suivi les niveaux d'émission de bruit par les machines et les groupes.

Après exécution de ces étapes, nous avons pu identifier les sources bruit.

Chapitre V : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

1. Les zones plus bruyantes sont :

- **Zone d'exploitation** : Groupe : 1, 2, 3 et 5.
- **Zone d'alimentation.**
- **Zone d'utilités.**

2. Les équipements et les machines les plus bruyantes sont :

- a) **Les machines tournantes** : compresseurs, pompes, turbines et alternateurs.
- b) **Les machines statiques** : chaudières.

Pour pouvoir comprendre les raisons du bruit intense issu de ces équipements, nous allons d'abord donner une description générales de compresseurs à piston, pompe, turbine, etc.

a) **Les machines tournantes :**

- **Compresseur à piston [47]** : Dans ces machines, le gaz est comprimé dans une chambre (ou effet) par une pièce animée d'un mouvement alternatif qui peut être un piston (compresseur alternatif à piston).
- **Pompe centrifuge** : C'est un dispositif permettant d'aspirer et de refouler un fluide. Leur fonction est d'assurer le débit de liquide souhaité par l'exploitant mais dans des conditions de pression imposées par les procédés et les applications, avec des contraintes particulières à l'installation, l'environnement, la fiabilité, la sûreté, etc [47].
- **Turbines à vapeurs** : La turbine à vapeur est un moteur à combustion externe, fonctionnant selon le cycle thermodynamique dit de Clausius-Rankine. Ce cycle se distingue par le changement d'état affectant le fluide moteur qui est en général de la vapeur d'eau. Donc la turbine à vapeur transforme la vitesse de la vapeur, (l'énergie cinétique) en mouvement de rotation.
- **Alternateurs** : L'alternateur est l'élément qui permet la conversion de l'énergie mécanique de la turbine en énergie électrique fournie au réseau. L'alternateur est constitué d'un rotor, solidaire du rotor de la turbine, d'un stator qui porte les bobinages induits produisant le courant triphasé vers la charge et le dispositif d'excitation équipé en bout d'arbre.

b) **Les machines statiques :**

- **Les chaudières** : Générateur de vapeur d'eau ou d'eau chaude (parfois d'un autre fluide), servant au chauffage, à la production d'énergie [48].

Chapitre V : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

Autrement dit Une chaudière est un appareil dont le rôle est de transmettre à un fluide thermique, les calories dégagées par une combustion. Cet apport de chaleur a pour effet soit uniquement de réchauffer le fluide thermique, soit de le réchauffer et le vaporiser.

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

V.5. Matériel de mesure et méthodes

Le sonomètre : L'appareil utilisé est le DIGITAL SOUND LEVEL METER avec un calibrage de 93,8 dB.

- **Fonctions et caractéristiques [49] :**

1. Le Sonomètre a été conçu en accord avec l'IEC651 Type 2, ANSI S1.4 Type 2.
2. Le degré de mesure est de 30 dB à 130 dB avec une variance automatique avec deux niveaux de mesure équivalents, d'intensité des sons A et C.
3. Deux niveaux de fréquence : Rapide/Lent, Fast/Slow.
4. Prise d'interface pour la connexion à un ordinateur.
5. Logiciel d'ordinateur pour l'affichage des données et l'enregistrement des données sur ordinateur.
6. AC et DC signaux analogiques de sortie, lesquels sont raccordés à l'analyseur de fréquence ou l'axe X-Y d'enregistrement.
7. Lumière d'arrière plan pour travailler la nuit. Pour sauvegarder l'énergie, la petite lumière brille cinq secondes, ensuite elle s'éteint automatiquement.
8. Protection secondaire, antichoc en plastique pour le Sonomètre.



Figure V.3. : Sonomètre utilisé.

V.6. Résultats des mesures

V.6.1. Zone d'exploitation

- **Pour les groupes 1 et 2**, la date du prélèvement des mesures est le 12/05/2016.
- La température ambiante = 23 °C.
- La vitesse du vent = 35 km/h.
- La direction de vent : Nord.

Chapitre V : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

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

Tableau V.1. : Niveaux du bruit mesuré au niveau du groupe 1.

Équipement	Les composants	Numéro	Le niveau du bruit mesuré en dB(A)
Groupe turboalternateur (GTA)	Turbine	/	93.4
	Alternateur	/	87.6
Dégazeur	/	/	86.5
Pompes alimentaire	Pompe Booster	11	92.2
		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
		12	92.4
Pompes réfrigérantes NORIA	/	11	En arrêt
		12	87.2
		13	88.5
Chaudière	/		110
Ventilateurs de soufflages	/	11	85.2
		12	84.5
Ventilateurs de recyclages	/	11	90.1
		12	93.5
Surpresseur d'air	/	/	100

Chapitre V : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

Groupe 2 : Les résultats de mesure sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Tableau V.2. : Niveaux du bruit mesuré au niveau du groupe 2.

Équipement	Les composants	Numéro	Le niveau du bruit mesuré en dB(A)
Groupe turboalternateur (GTA)	Turbine	/	98
	Alternateur	/	86
Dégazeur		/	86
Pompes alimentaire	Pompe Booster	21	91
		22	93.5
		23	En arrêt
	Moteur	21	95
		22	94
		23	En arrêt
	Coupleur	21	95
		22	93
		23	En arrêt
	Multiplicateur	21	101
		22	97
		23	En arrêt
	Pompe principale	21	95
		22	95
		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
Surpresseur d'air	/	/	100

Chapitre V : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

- **Pour le groupe 3**, la date du prélèvement des mesures est le 15/05/2016.
- La température ambiante = 24 °C.
- La vitesse du vent = 30 km/h.
- La direction de vent : Nord.

Groupe 3 : Les résultats de mesure sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Tableau V.3. : 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
	coupleur	31	En arrêt
		32	96.5
		33	98.4
	Multiplicateur	31	En arrêt
		32	97.5
		33	98.2
	Pompe principale	31	En arrêt
		32	97.8
		33	100
Pompes d'extraction	/	31	92.2
	/	32	93.1

Chapitre V : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

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

➤ **Pour le groupe 5**, la date du prélèvement des mesures est le 16/05/2016.

- La température ambiante = 26 °C.
- La vitesse du vent = 30 km/h.
- La direction de vent : Nord.

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

Tableau V.4. : Niveaux du bruit mesuré au niveau du groupe 5.

Équipement	Les composants	Numéro	Le niveau de bruit mesuré en dB(A)
Groupe turboalternateur (GTA)	La turbine	/	96
	Alternateur	/	94
Dégazeur	/	/	90

Chapitre V : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

Pompes alimentaire	Pompe Booster	51	97.8
		52	98.3
		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	
	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
Surpresseur 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 enregistrés dans les chaudières sont supérieurs à ceux enregistrés par les pompes et les alternateurs, etc.

Chapitre V : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

Cela est dû principalement aux raisons suivantes :

- Les machines tournantes des grands volumes sont plus bruyantes au ceux des petits volumes.
- Les machines tournantes qui sont alimentées par un grand débit de fluide sont plus bruyantes à ceux alimentées par un faible débit du fluide.
- L'ancienneté des machines jouent également un rôle majeur dans l'émission de bruit.

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

- 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 des cendriers de ces chaudières.
- Les niveaux de bruit observés dans les groupes 1, 2 et 3 sont un peu inférieurs à ceux de groupe 5. Ceci est dû à son âge (âge d'usure) et le temps de marche élevé.

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 enregistré qui est au-dessus des seuils recommandés par la réglementation algérienne et qui est de 70 dB.

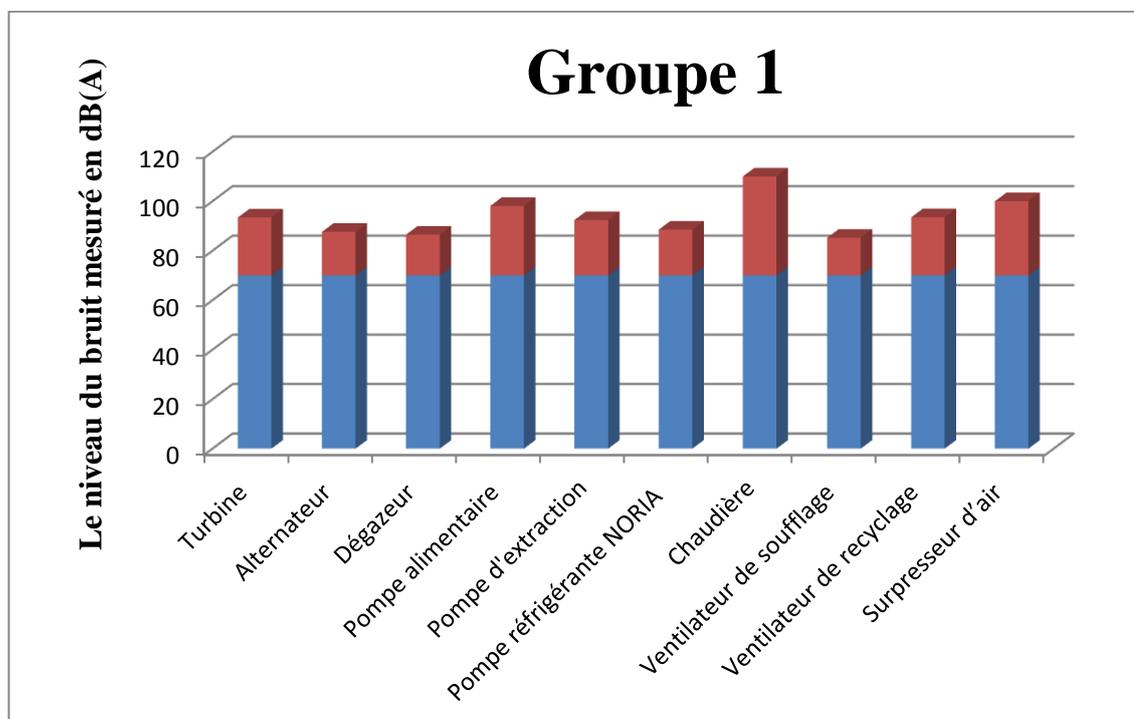


Figure V.4. : Représentation des niveaux du bruit enregistré au niveau du groupe 1.

Chapitre V : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

L'histogramme ci-dessus montre qu'il y a un niveau du bruit inhabituel dans le groupe 1, ceci est principalement dû à la chaudière qui fournit un bruit inacceptable de 110 dB(A). Pour éviter tout risque sanitaire lié à cela, il faut faire :

1. Un entretien général au niveau des chaudières.
2. Doter le personnel exposé par des protections individuelles appropriées et veiller aux conformités.
3. Protection collective, tels que le double vitrage, type de construction, éloigner le lieu de travail du personnel non concerné par l'exploitation.
4. Contrôle médical, gestion du temps d'exposition à travers une étude d'exposition via le dosimètre.

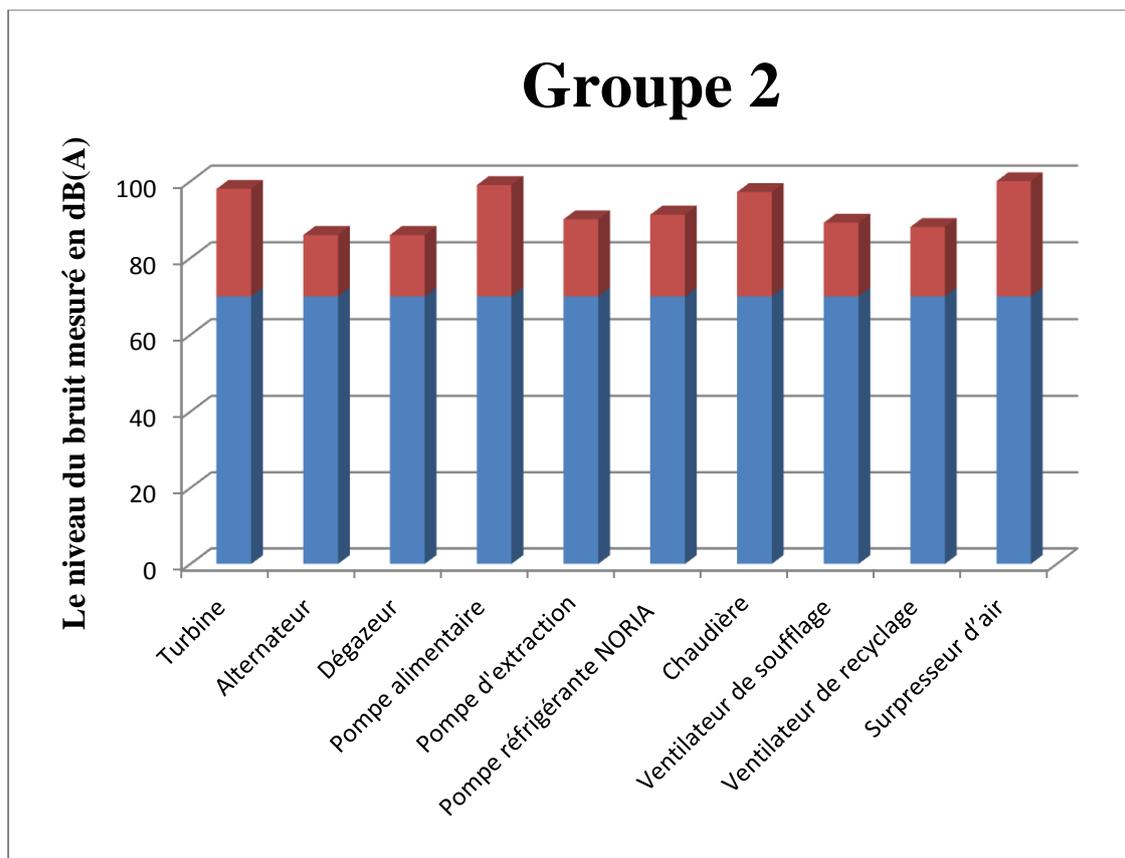


Figure V.5. : Représentation des niveaux du bruit enregistré au niveau du groupe 2.

Ces résultats montrent que le groupe 2 génère beaucoup de bruit qui peut aller jusqu'à 101 dB(A). Les travailleurs exposés à des niveaux de bruit très supérieurs aux normes ont une grande probabilité de présenter des effets sanitaires sous forme de fatigue auditive ou bien

Chapitre V : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

d'irritation du système nerveux. Pour éviter cela, ils sont obligés de porter un casque de protection anti bruit de type PW 45 et qui peut réaliser une atténuation de 31 dB. L'image ci-dessous illustre le casque PW45.



Figure V.6. : Image du casque de protection anti bruit de type PW 45.

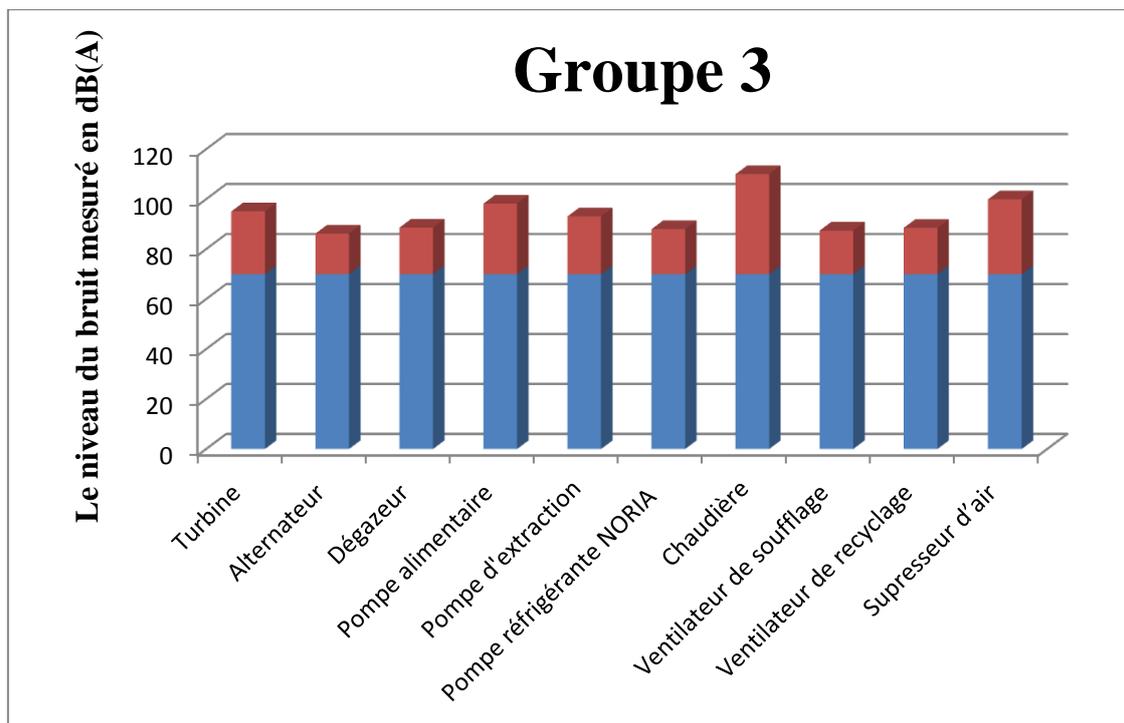


Figure V.7. : Représentation des niveaux du bruit enregistré au niveau du groupe 3.

Les histogrammes de bruit du groupe 3 montrent que les niveaux de bruit enregistrés dans ce groupe sont presque similaires aux ceux enregistrés dans le groupe 1. Donc aussi ce

Chapitre V : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

groupe possède des niveaux beaucoup plus élevés par rapport au seuil recommandé de 70 dB, par conséquent les recommandations restent toutefois les mêmes. Cela n'empêche pas de recommander aux travailleurs de porter des casques de protection antibruit de type PW.

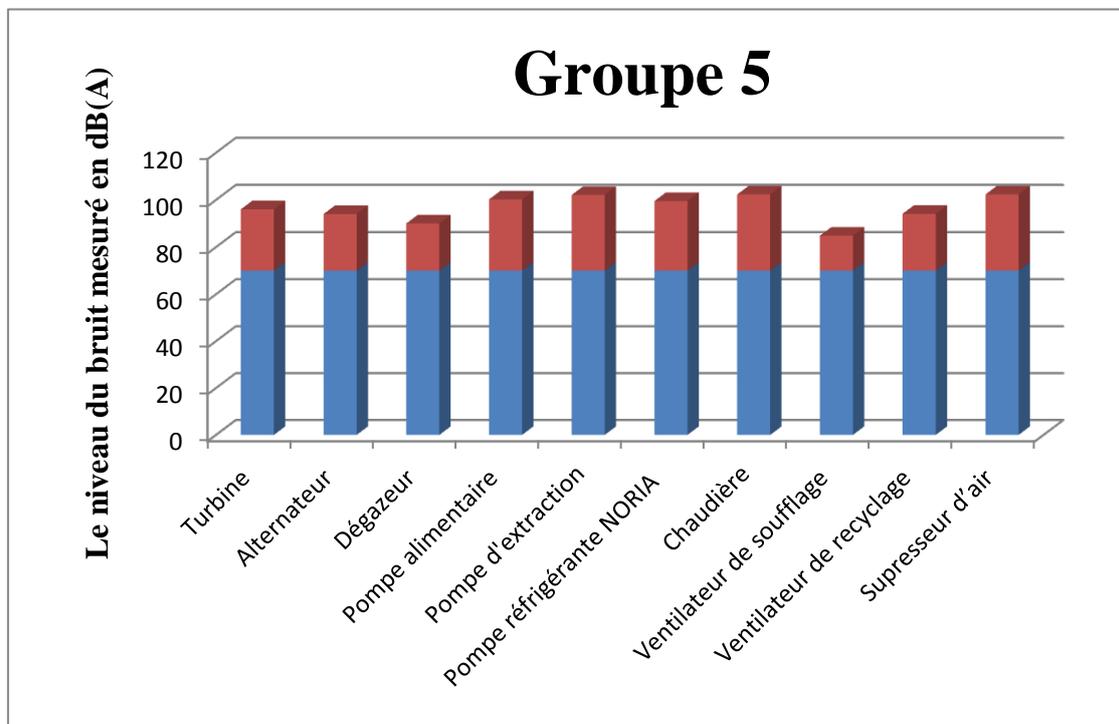


Figure V.8. : Représentation des niveaux du bruit enregistré au niveau du groupe 5.

Nous observons dans la figure précédente que le niveau de bruit du groupe 5 est plus élevé et peut atteindre les 103 dB(A) et il reste toujours supérieur au seuil recommandé par la loi algérienne 70 dB. Ceci constitue une menace majeure pour les travailleurs qui sont obligés de porter un casque de protection anti bruit de type PW 44. Celui-ci peut réaliser une atténuation de 33 dB du bruit. L'image ci-dessous illustre le casque PW44.



Figure V.9. : Image du casque de protection anti bruit de type PW 44.

Chapitre V : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

V.6.2. Zone d'alimentation

- **Pour la station de pompage et la station de dessalement**, la date du prélèvement des mesures est le 17/05/2016.
- La température ambiante = 28 °C.
- La vitesse du vent = 35 km/h.
- La direction de vent : Est.

- **Station pompage :**

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

Tableau V.5. : 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
pompe de circulation N21	90.6
pompe de circulation N22	94.4
pompe de circulation N31	87.4
pompe de circulation N32	87.4
pompe de circulation N51	86
pompe de circulation N52	89

- **Station de dessalement :**

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

Tableau V.6. : Niveaux du bruit mesuré au niveau de la station de dessalement 1.

Équipement	Niveau du bruit mesuré en dB(A)
Chaudière	96.1
Pompe à vide	92.3

Nb : La station de dessalement 2 est en arrêt.

Chapitre V : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

Station 3 : Les résultats de mesure sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Tableau V.7. : Niveaux du bruit mesuré au niveau de la station de dessalement 3.

Équipement	Niveau du bruit mesuré en dB(A)
Chaudière	97.1
Pompe à vide	94.5

Station 4 : Les résultats de mesure sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Tableau V.8. : Niveaux du bruit mesuré au niveau de la station de dessalement 4.

Équipement	Niveau du bruit mesuré en dB(A)
Chaudière	87.6
Pompe à vide	96.7

➤ **Interprétation des résultats :**

Les tableaux ci-dessus résument les mesures du bruit réalisées dans différents sites de la zone d'alimentation. On observe que le bruit est élevé dans la station de dessalement mais supportable dans la station de pompage. Par contre, il faut souligner une légère diminution du niveau de bruit en comparaison avec ceux générés par les groupes 1, 2, 3 et 5.

Pour conforter nos résultats, nous les avons aussi 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.

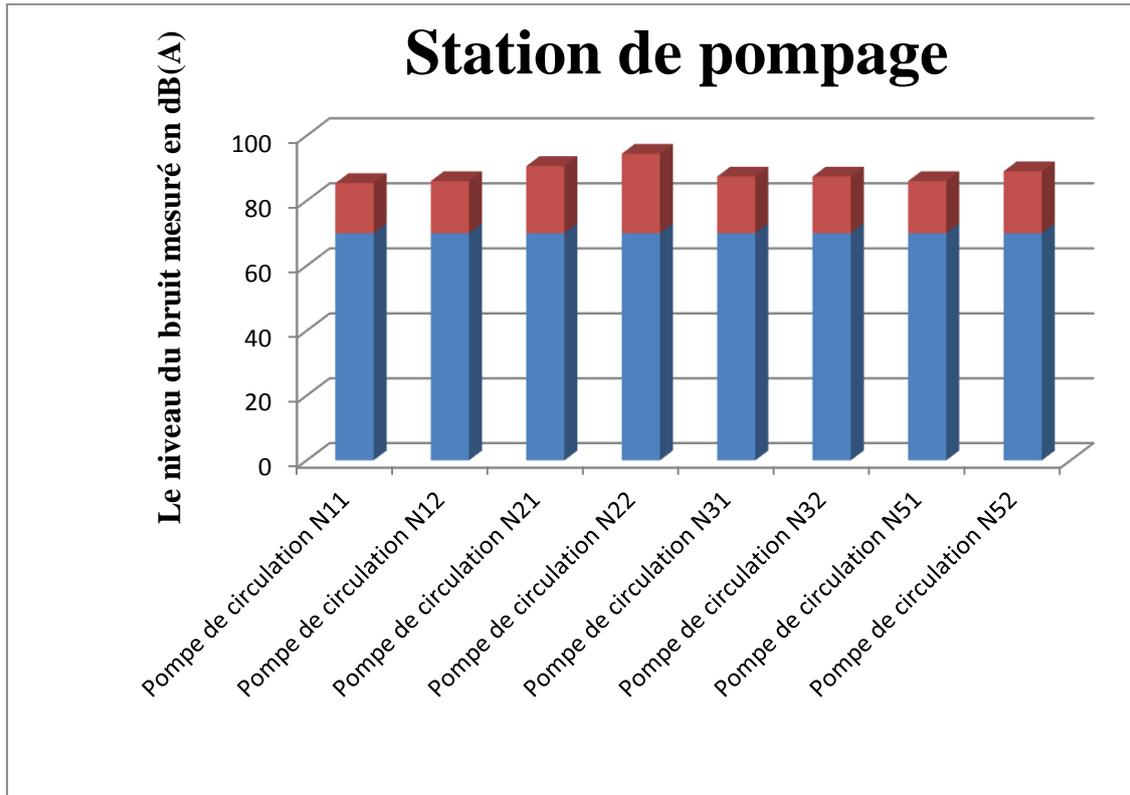


Figure V.10. : Représentation des niveaux du bruit enregistré au niveau de la station de pompage.

Cette figure montre que le niveau de bruit est sensiblement inférieur par rapport aux groupes 1, 2, 3 et 5 qui peut atteindre les 95 dB(A), mais il reste toujours supérieur au seuil recommandé par la loi algérienne qui est 70 dB.

Ceci constitue une menace majeure pour les travailleurs qui sont obligés de porter un casque de protection anti bruit de type PW 41. Celui-ci peut réaliser une atténuation de 28 dB du bruit. L'image ci-dessous illustre le casque PW41.



Figure V.11. : Image du casque de protection anti bruit de type PW 41.

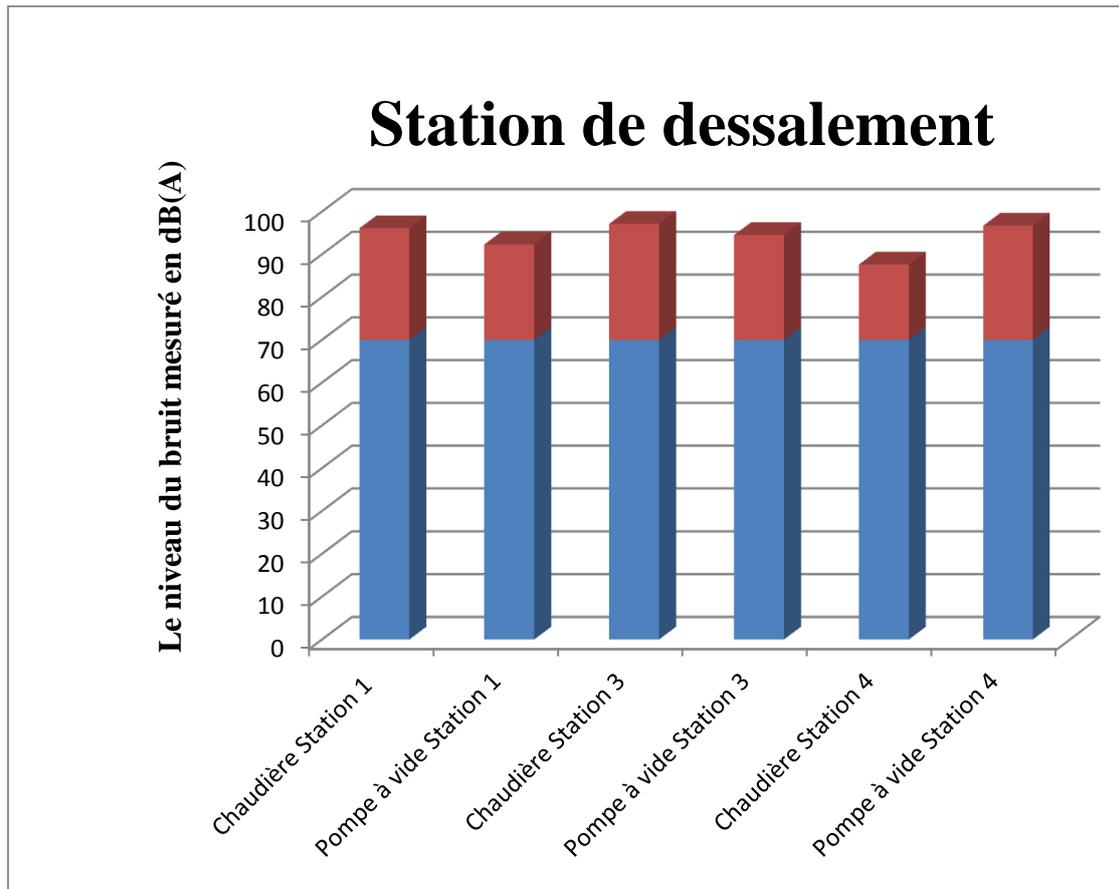


Figure V.12. : Représentation des niveaux du bruit enregistré au niveau de la station de dessalement.

Les histogrammes de bruit de la station de dessalement montrent que les niveaux de bruit enregistrés dans cette zone sont légèrement supérieurs à ceux enregistrés par la station de pompage. Si on doit classer les zones qui ont le moins d'effet pour la santé des travailleurs. Cette zone est classée en deuxième position après la station de pompage. Les recommandations restent toutefois les mêmes, de porter le casque anti bruit de type PW 41.

V.6.3. Zone d'utilités

- **Pour la zone d'utilités**, la date du prélèvement des mesures est le 18/05/2016.
- La température ambiante = 24 °C.
- La vitesse du vent = 30 km/h.
- La direction de vent : SW.

Chapitre V : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

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

Tableau V.9. : Niveaux du bruit mesuré au niveau de la station 1.

Équipement	Niveau du bruit mesuré en dB(A)
Compresseur d'air	110
Groupe diesel	En arrêt

Station 2 : Les résultats de mesure sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Tableau V.10. : Niveaux du bruit mesuré au niveau de la station 2.

Équipement	Niveau du bruit mesuré en dB(A)
Compresseur d'air	93.2
Groupe diesel	En arrêt

➤ **Interprétation des résultats :**

Les résultats obtenus, montrent que le niveau de bruit est élevé dans les deux stations comprenant la zone d'utilités. 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.

Pour conforter nos résultats, nous les avons aussi 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.

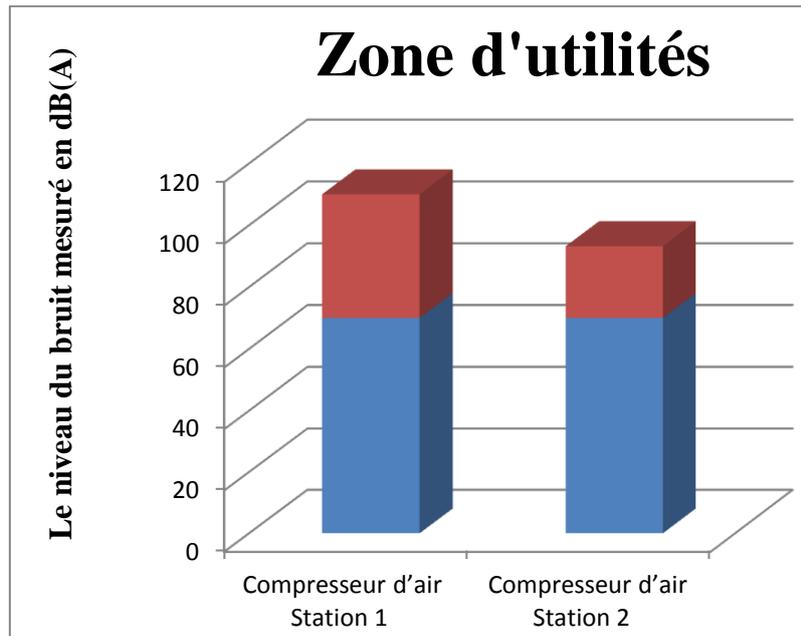


Figure V.13. : Représentation des niveaux du bruit enregistré au niveau de la zone d'utilités.

Cette figure montre que le bruit généré par les machines tournantes de la zone d'utilités qui sont les compresseurs peut atteindre les 110 dB(A). On se situe largement au-dessus des normes autorisées. Les travailleurs qui sont exposés 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.

C'est pour cela les travailleurs sont aussi obligés de porter un casque de protection anti bruit de type PW pour réaliser le maximum d'atténuation des niveaux de bruit.

V.7. Cartographie de bruit de la centrale MARSAT EL HADJAJ

V.7.1. Introduction :

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 différents lieux et procédés chimique par modèles physique, mathématique, thermodynamique, qui traduisent les comportement par l'intermédiaire de résolution des équations analytiques.

Chapitre V : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

Concernant notre étude, nous avons utilisé le simulateur **Code_TYMPAN** pour l'élaboration de la cartographie du bruit de la centrale.

V.7.2. Présentation l'outil de simulation le Code_TYMPAN [50]

V.7.2.1. Introduction :

Le Code_TYMPAN est un logiciel d'ingénierie en acoustique environnementale. Il s'appuie sur l'expérience d'EDF R&D dans le domaine. Les produits proposés sur le marché sont essentiellement orientés vers le traitement des bruits de transport (routier, aérien et ferroviaire) et sont mal adaptés à la gestion des sources industrielles. Dans ce contexte, il a été décidé de concevoir une application dédiée aux problèmes de bruits posés par les sources rencontrées sur les sites EDF.

V.7.2.2. A propos du logiciel :

Code_TYMPAN est un code de propagation acoustique dans des scènes 3D complexes pour l'évaluation et la prévision de l'impact sonore de sites industriels. Il permet la réalisation d'études d'ingénierie en acoustique environnementale et capitalise une partie des résultats de l'équipe acoustique d'EDF R&D.

Code_TYMPAN dispose d'une librairie d'objets métier spécifiques, d'un solveur de résolution acoustique basé sur la norme ISO9613 et de deux méthodes géométriques de recherche de chemins acoustiques : une approche par enveloppes convexes et un lancer de rayons.

Code_TYMPAN possède aussi une interface homme-machine riche permettant la construction 3D de modèles réalistes, riche permettant la construction 3D de modèles réalistes, la saisie des propriétés acoustiques des objets, l'exécution des calculs de propagation acoustique et l'exploitation des résultats. Ses structures de données permettent de maintenir la pérennité des modèles et de capitaliser l'historique acoustique des sites. Son architecture ouverte permet d'adapter l'application à l'évolution des besoins.

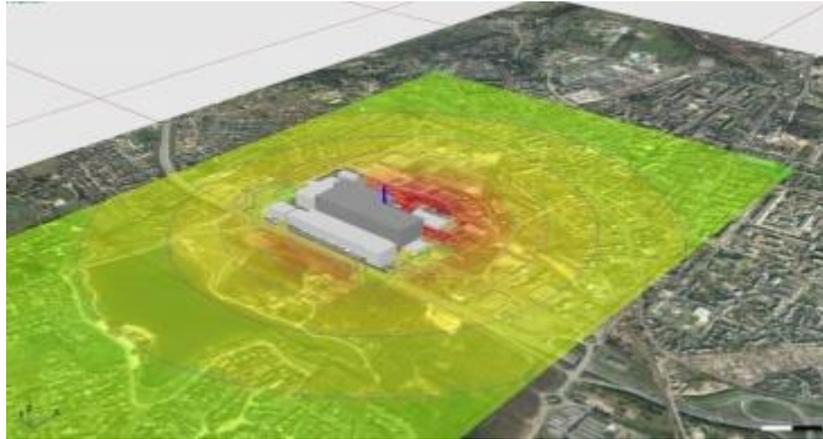


Figure V.14. : Exemple de cartographie acoustique obtenue avec Code_TYMPAN.

V.7.3. Procédure de la simulation

Les procédures de calcul, et de simulation dans l'environnement Code_TYMPAN nécessite les données suivantes :

- L'image satellitaire de l'endroit (site) où nous souhaitons simuler.
- La détermination de l'échelle et de l'altitude de l'image, dans notre cas : l'échelle = 1,96 et l'altitude = 2,08 Km.
- La détermination des sources de bruit qui existent dans le site.
- L'introduction des valeurs des niveaux de bruits.
- L'introduction des paramètres météorologiques : température, pression et humidité.
- La détermination du périmètre du site.

V.7.3.1. Les étapes suivis au cours de la simulation

1) La première étape est de créer un nouveau projet par un simple clique dans Fichier/Nouveau.../Nouveau Projet. Ensuite, on fait un Double-cliquer sur « Projet » dans la fenêtre « Gestion de Projet », pour ouvrir le modeleur de Site de Projet de la fenêtre d'affichage. L'image ci-dessous illustre cette étape.

Chapitre V : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

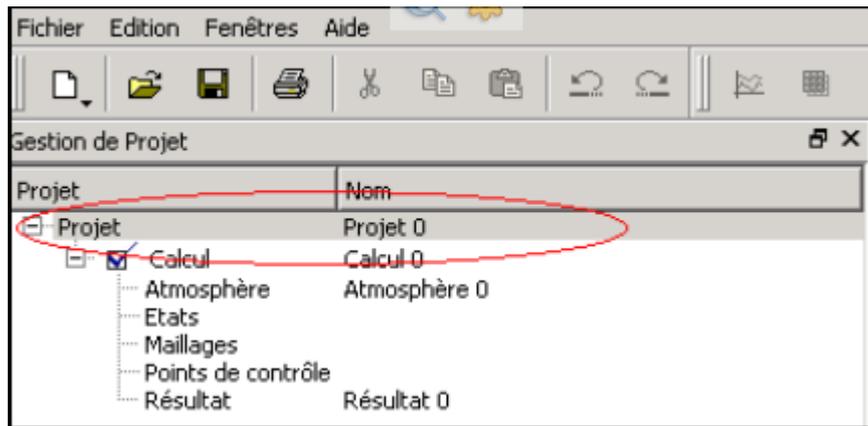


Figure V.15. : Création d'un nouveau projet.

2) La deuxième étape consiste à choisir et à introduire l'image satellite du site choisi pour faire la simulation. L'importation d'une image satellites se fait de la façon suivante :

- Un Clic droit sur « Site » dans la fenêtre « Gestion de Sites ». Un menu contextuel apparaît.
- Un Clic dans « Propriétés », la boîte de dialogue « Site » apparaît, comme ci-dessous.

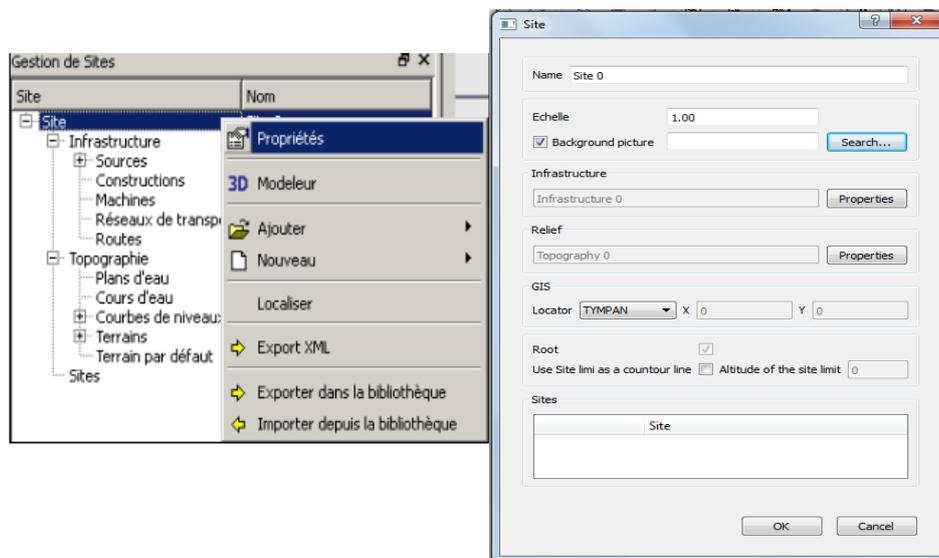


Figure V.16. : Choix de l'image satellite.

- ON coche dans « Image de fond », puis on clique sur le bouton « Parcourir » afin de sélectionner le fichier de la carte satellite et on valide le choix par « Ouvrir ».
- Un Clic sur le bouton « Ok » pour terminer. La carte satellites apparaît dans la fenêtre d'affichage de Code_TYMPAN en vue 2D, comme ci-dessous.

Chapitre V : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

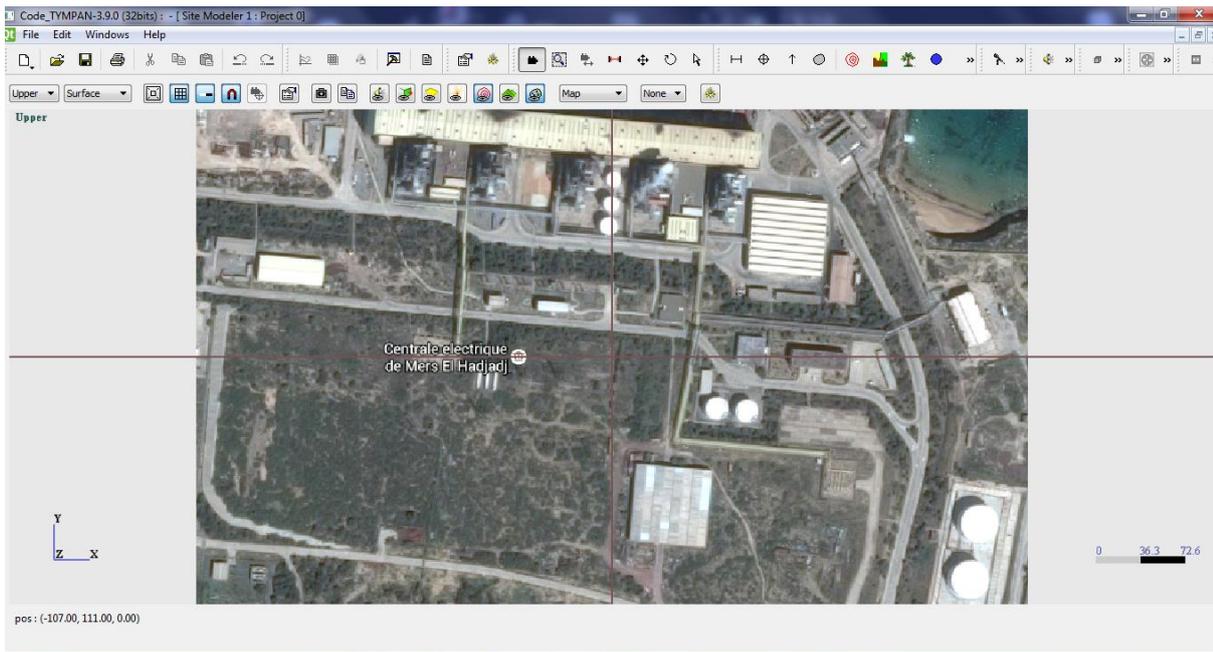


Figure V.17. : Introduction de l'image satellite de notre centrale.

3) La troisième étape consiste à faire positionner les sources et saisir les propriétés acoustiques par :

- Un clic sur l'icône « Source ponctuelle ». On place ensuite les « Sources ponctuelles » en cliquant sur la fenêtre principale du modeleur de site au niveau des endroits désirés. Dans l'image ci-dessous les endroits des sources sont sous forme de points rouges.

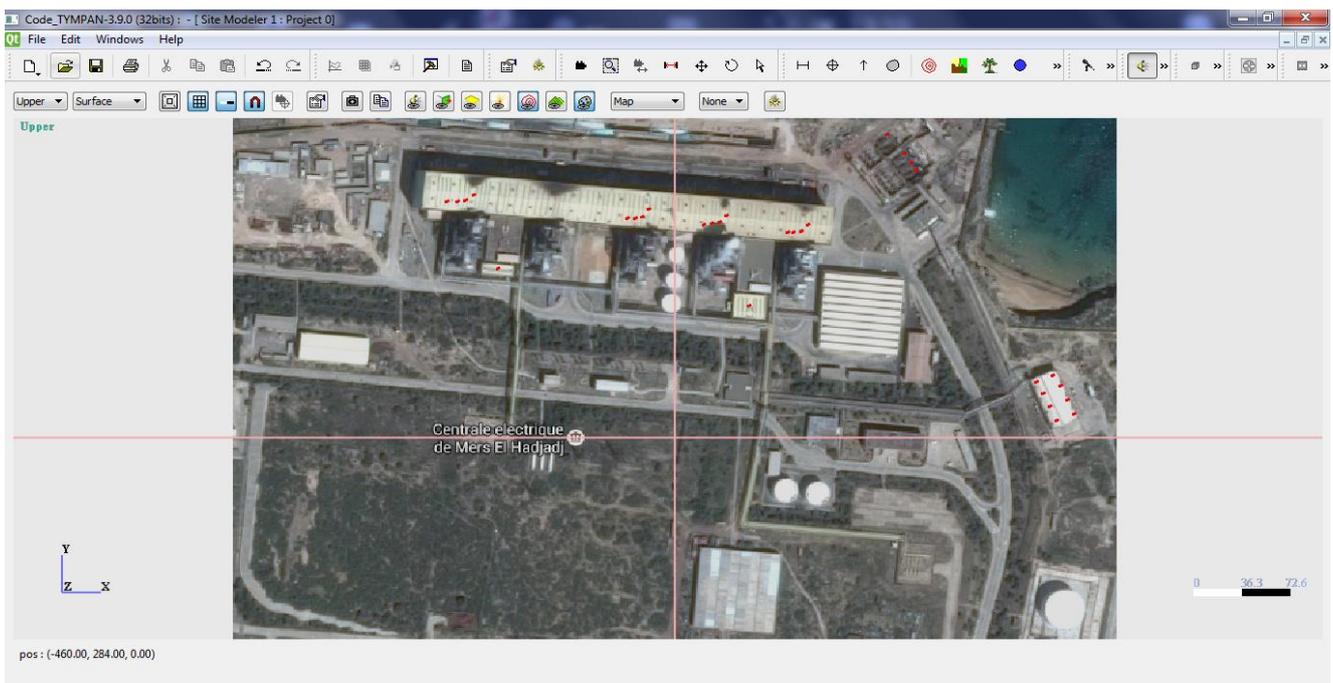


Figure V.18. : Image satellite introduite.

Chapitre V : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

Nous avons bien placé les sources sur notre terrain plat, mais les caractéristiques n'ont pas été définies. Pour ce faire :

- Après, un clic-droit sur la « source » : un menu contextuel apparaît comme ci-dessous.

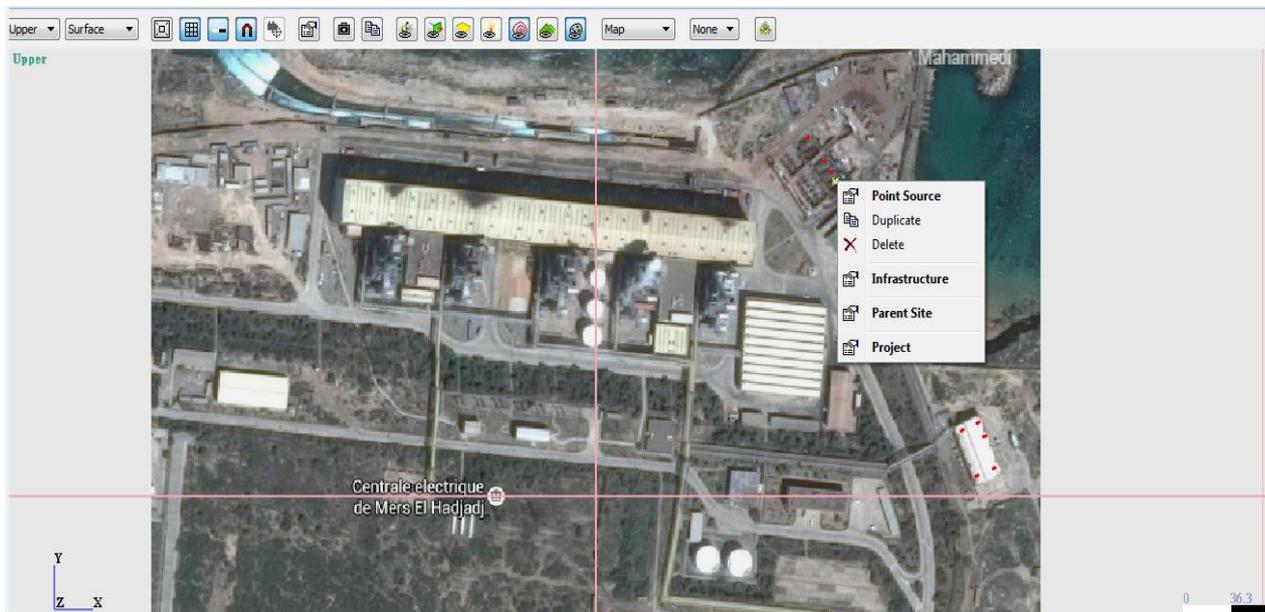


Figure V.19. : Positionnement des sources et saisie des propriétés acoustiques.

- On clic sur l'item « Source ponctuelle ».

La boîte de dialogue des propriétés de la source apparaît comme ci-dessous. Elle permet, en outre, de paramétrer un grand nombre d'informations de la source comme ; le nom, les caractéristiques acoustiques, le type de rayonnement, la hauteur au sol, la position 3D, la forme visuelle, etc.

Chapitre V : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

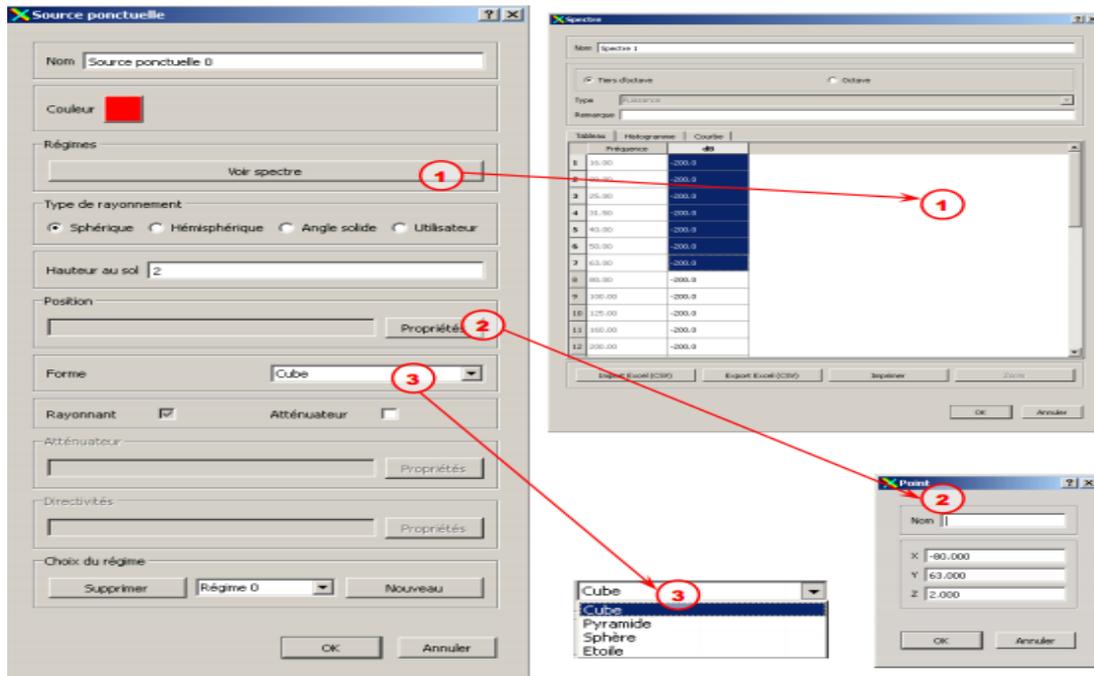


Figure V.20. : Paramétrage des informations de la source.

4) La quatrième étape consiste à faire choisir le « Récepteur surfacique » qui permet d'effectuer un calcul sur un champ acoustique et sur un domaine large qui peut être positionné précisément par l'utilisateur.

Pour créer un récepteur surfacique, on sélectionne l'outil « Récepteur surfacique ». Un outil en forme de croix apparaît. On délimite ensuite, le domaine du Récepteur surfacique. En lâchant le bouton gauche de la souris, Code_TYMPAN propose de saisir la hauteur au sol et la densité de points dans les deux directions. L'emploi des Récepteurs surfaciques peut servir :

- ❖ A donner une information claire à destination des décideurs par exemple.
- ❖ A caractériser l'effet d'un élément (source, atténuateur, directivité, etc.).

Le récepteur apparaît comme ci-dessous :

Chapitre V : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

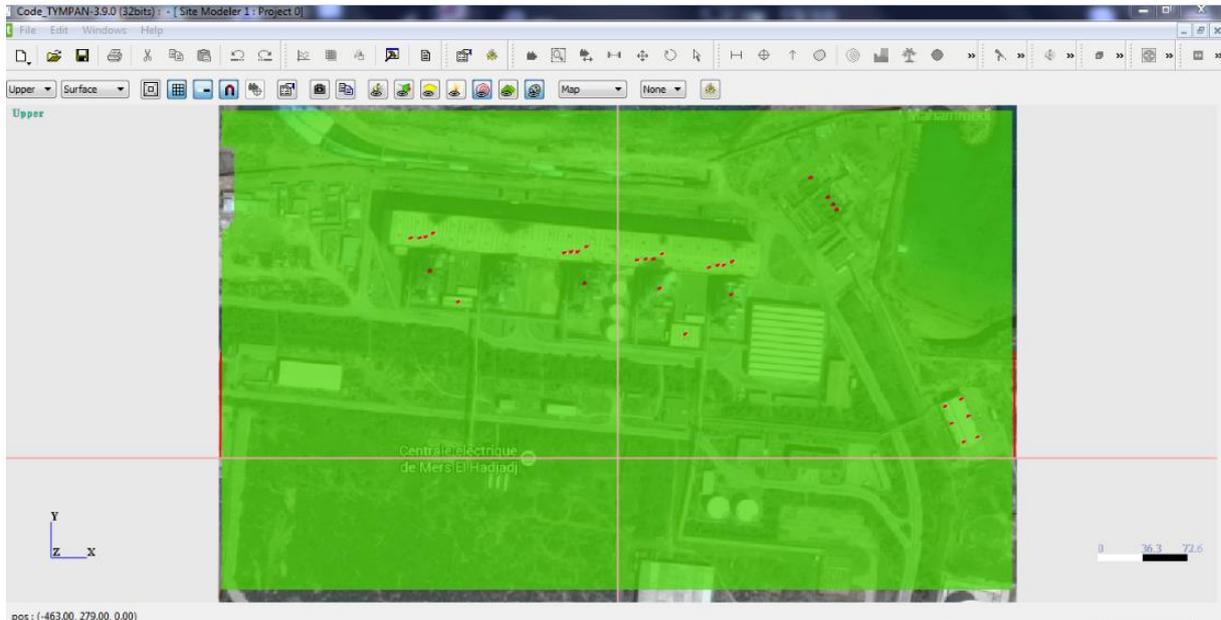


Figure V.21. : Choix du « Récepteur surfacique ».

5) La dernière étape de notre simulation est le paramétrage et le lancement du calcul qui se fait dans l'arborescence de projet, de la manière suivante :

- Double clic sur l'item « Calcul » ou clic-droit sur l'item Calcul / Propriétés, dans la fenêtre Gestion de Projet / Projet / (voir, ci-dessous).

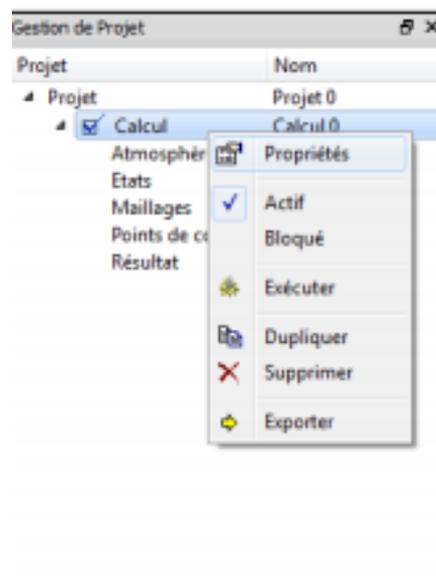


Figure V.22. : Choix du paramétrage du calcul.

Chapitre V : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

La boîte de dialogue des propriétés du calcul apparaît. Elle permet de spécifier toutes les options possibles de calcul dans les différents onglets.

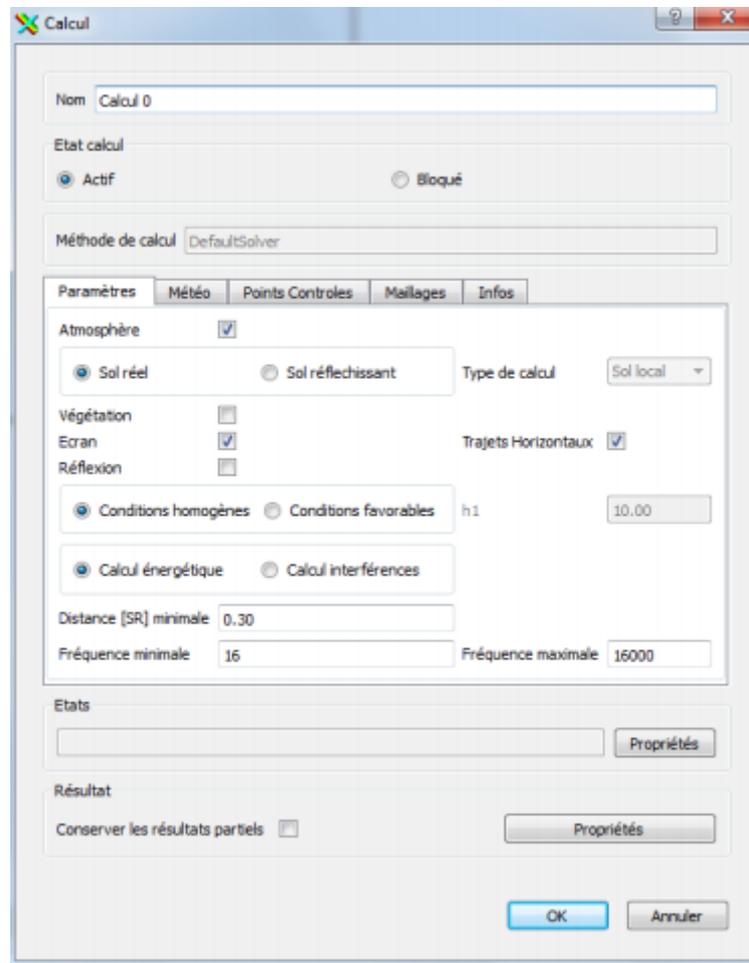


Figure V.23. : Paramétrage et lancement du calcul.

- Pour terminer, nous lançons le calcul par un clique sur l'icône « Lance le calcul courant ». La « fenêtre de Messages » affiche passivement toute sorte de messages destinés à l'utilisateur et indique quand le calcul est terminé.

Les résultats de simulation obtenus seront exposés dans la partie suivante.

V.7.4. Les résultats de simulation

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

Chapitre V : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

V.7.4.1. La zone d'exploitation

La figure ci-dessous représente les résultats de simulation de la zone d'exploitation qui comporte les groupes 1, 2, 3, 4, 5, (le groupe 4 est actuellement à l'arrêt).

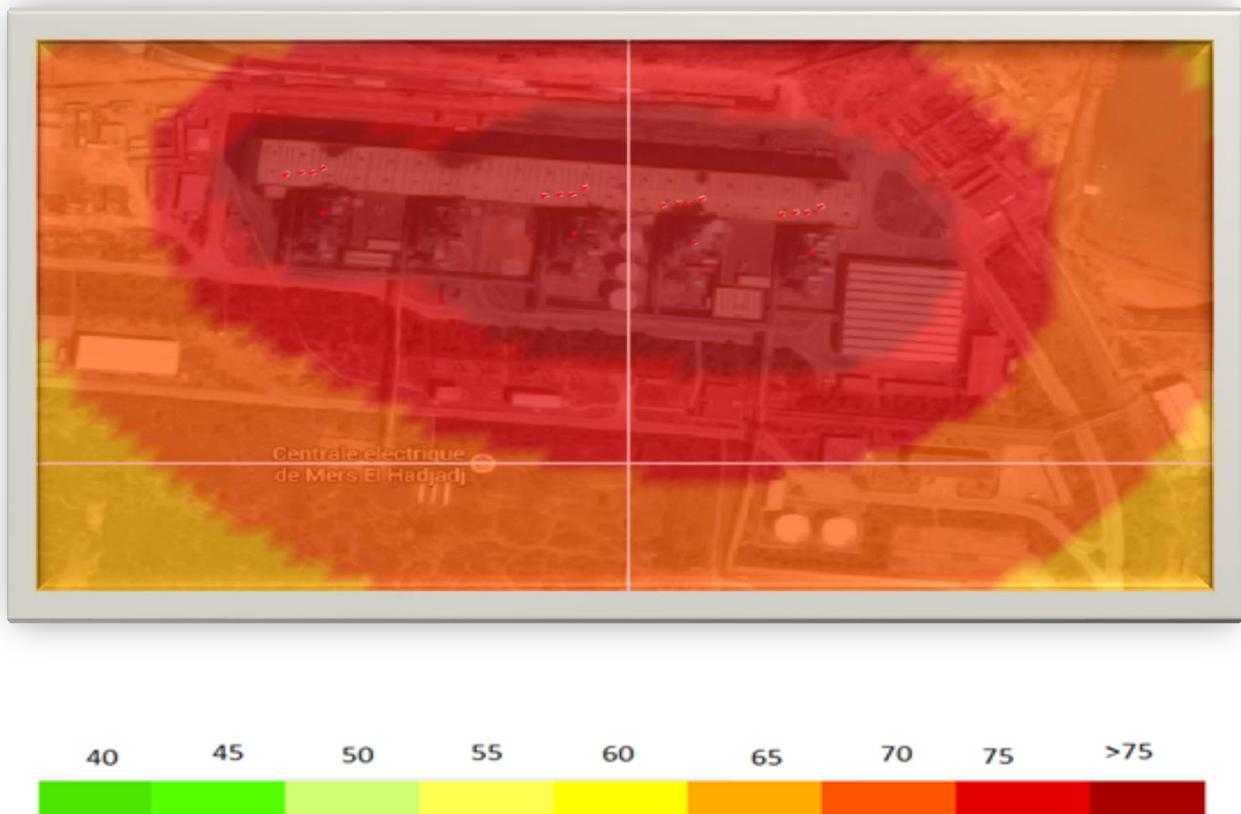


Figure V.24. : Cartographie de bruit de la zone d'exploitation.

D'après cette figure nous remarquons que les niveaux de bruit les plus importants se situent au centre des groupes (1, 2, 3, 5). En effet, c'est l'endroit où se trouve les machines les plus bruyantes (chaudière, turbine, pompe, etc.). Nous remarquons aussi que les taux de bruit diminuent au fur et à mesure que l'on s'éloigne du centre des groupes.

A partir de cette cartographie partielle de bruit de la zone d'exploitation, nous recommandons aux travailleurs de :

- Le port obligatoire des protecteurs individuels dans les zones définies est strictement appliqué et respecté en permanence.
- Réduire le temps d'exposition à des niveaux sonores élevés.

Chapitre V : Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew

V.7.4.2. La zone d'alimentation

La figure ci-dessous représente la simulation de propagation acoustique du bruit de la zone d'alimentation qui se compose en deux stations, la station de pompage (au-dessus) et la station de dessalement (au-dessous).

Nous remarquons que les niveaux de bruit les plus importants se situent au niveau de la station de dessalement parce qu'elle contient des chaudières.

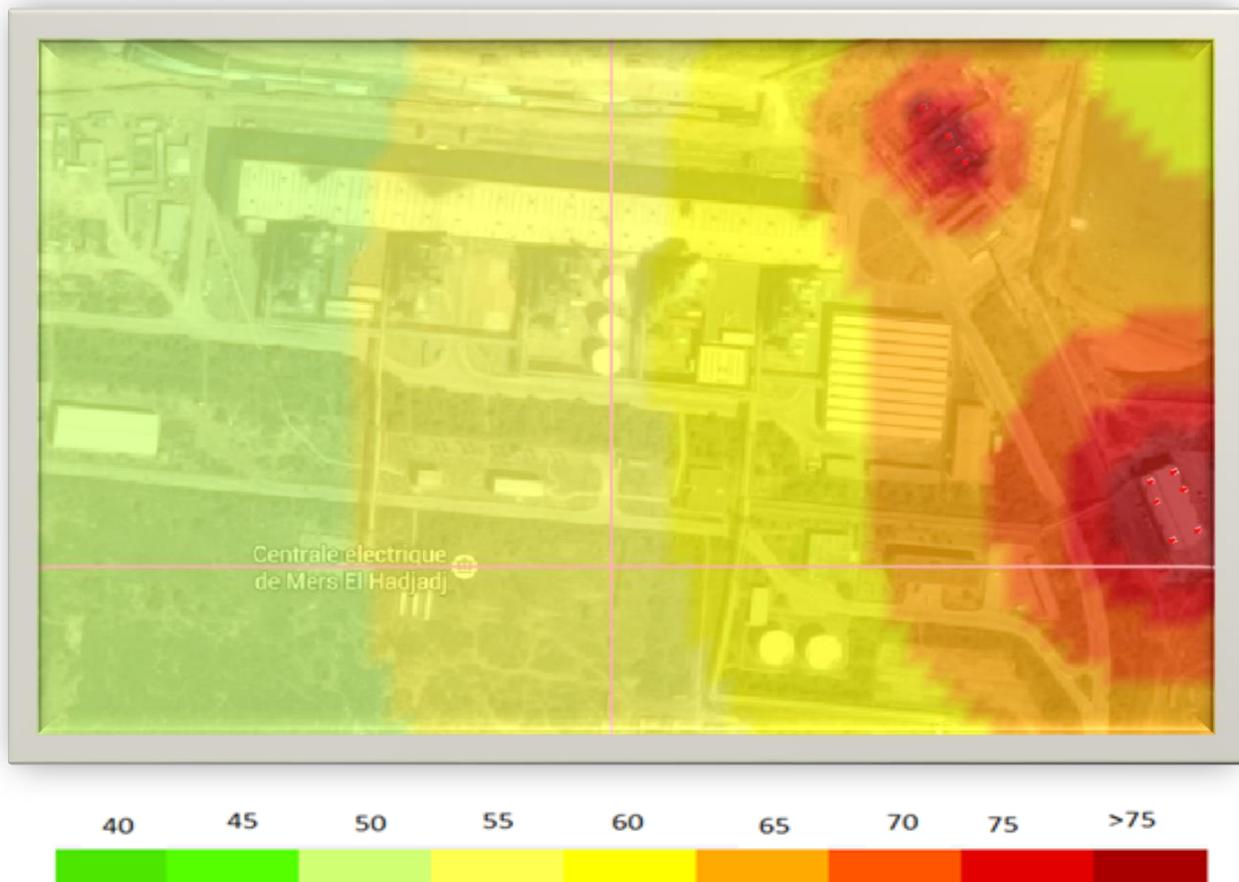


Figure V.25. : Cartographie de bruit de la zone d'alimentation.

V.7.4.3. La zone d'utilité

La figure ci-dessous représente la simulation de propagation acoustique du bruit généré. Station 1 (côté droit de l'image) et station 2 (côté gauche de l'image).

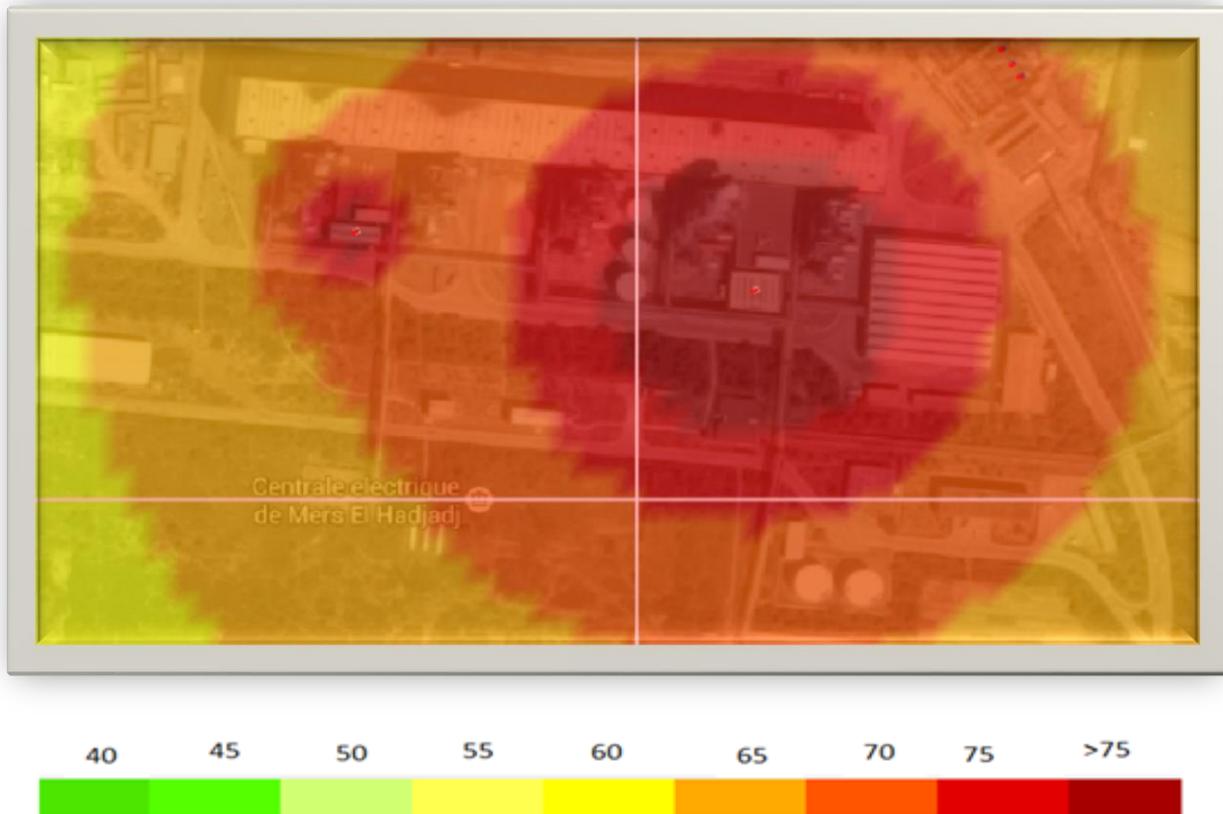


Figure V.26. : Cartographie de bruit de la zone d'utilités.

La simulation du bruit issu de la zone d'utilités, nous a permis de classer cette zone parmi les zones rouges qui possèdent des niveaux de bruit intolérable et qui affecte l'environnement du travail. Par comparaison entre les deux stations nous remarquons que la station 2 est moins bruyante que la station 1 parce 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.

V.7.5. La cartographie générale du bruit de la centrale thermoélectrique MARSAT EL HADJAJ

Nous allons dans cette dernière étape réaliser la cartographie du bruit et faire le bilan sonore générale de toute la centrale afin de faciliter la localisation des zones d'activités les plus bruyantes 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.

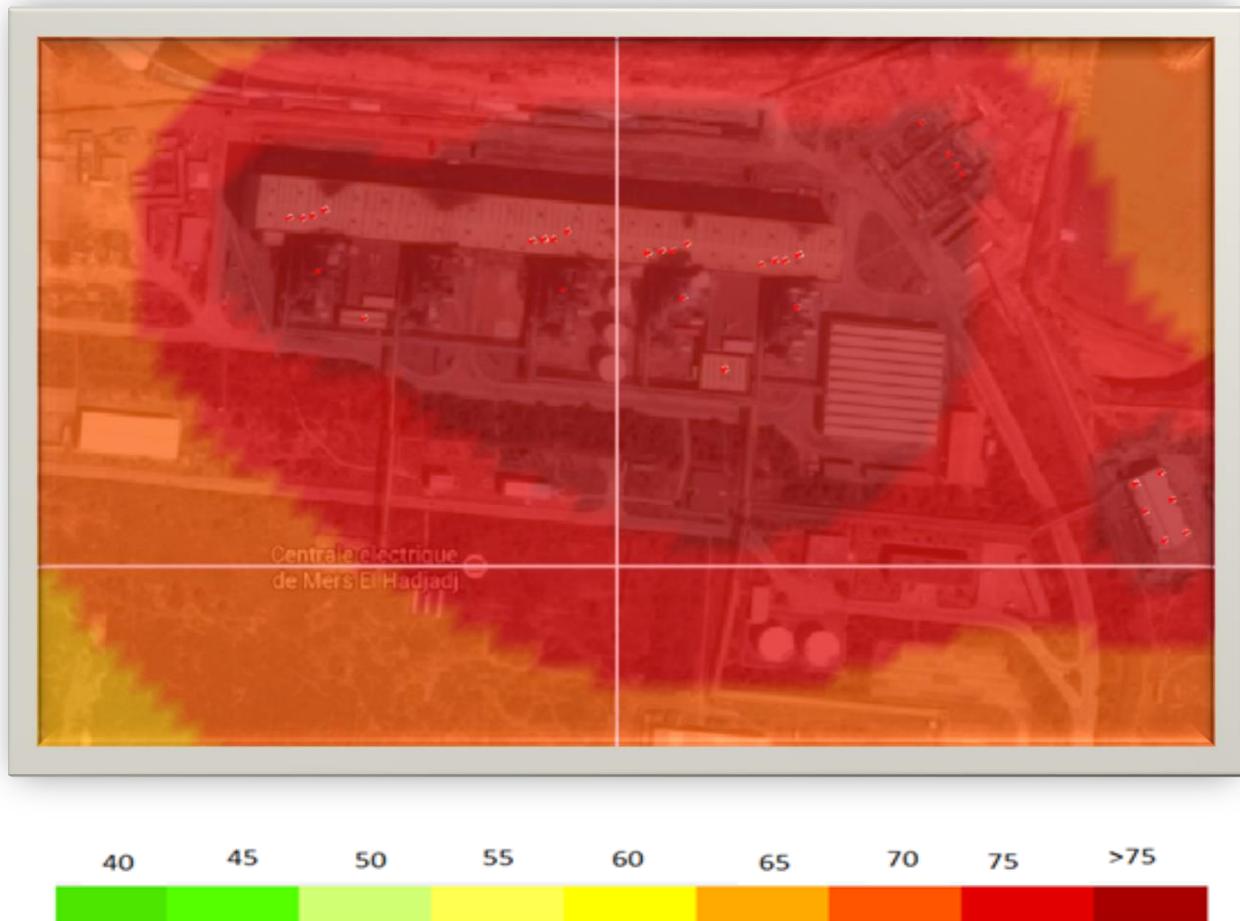


Figure V.27. : Cartographie générale du bruit de la centrale MARSAT EL HADJAJ.

V.8. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons identifié les sources bruyantes et nous avons réalisé une cartographie générale du bruit de la centrale thermoélectrique MARSAT EL HADJAJ selon les résultats obtenues à l'aide d'un simulateur qui calcule la propagation acoustique pour le but d'identifier les zones dangereuses et qui constituent une menace pour la santé des personnes les plus exposées.

Conclusion et recommandation

Conclusion

Conclusion

L'objectif de ce travail était de déterminer les sources bruyantes et de mesurer les taux des émissions de bruit afin de réaliser une cartographie du bruit pour contribuer à la sensibilisation et la protection des travailleurs et optimiser l'environnement de travail.

Notre travail a donc permis d'aboutir aux résultats suivants :

- Évaluer l'exposition au bruit dans la centrale thermoélectrique MARSAT EL HADJAJ.
- Faire le bilan sonore général de la centrale.
- Identifier les zones rouges et les zones calmes.
- Contribuer à sensibiliser l'ensemble des personnels de la centrale.

Ce travail consacré à l'évaluation des niveaux sonores générés par les unités industrielles de la centrale thermoélectrique MARSAT EL HADJAJ nous a permis d'établir les conclusions suivantes :

- ✓ La moyenne des niveaux sonores est supérieure au niveau sonore autorisé par la réglementation algérienne.
- ✓ Les niveaux sonores générés par les installations sont capables de provoquer une maladie professionnelle.
- ✓ Les zones les plus bruyantes sont la zone d'exploitation, la zone d'alimentation, et la zone d'utilité.
- ✓ Les compresseurs, les chaudières et les turbines se caractérisent par des niveaux sonores très élevés parfois supérieures à 100 dB(A).
- ✓ Aucun travailleur ne doit être exposé sans le port des protecteurs auditifs personnels.

Recommandations

Recommandation

Au terme de l'étude que nous avons réalisé, nous suggérons aux autorités et aux travailleurs de la centrale thermoélectrique de MARSAT El HADJAJ quelques recommandations qui nous semblent très importantes par leurs efficacités dans la résolution des problèmes liés à la pollution sonore générée par les installations :

- Réduire le temps d'exposition à des niveaux sonores élevés.
- Assurer la sensibilisation et la formation du personnel.
- Le port obligatoire des protecteurs individuels par le personnel intervenant au niveau des installations doit être strictement appliqué et respecté en permanence.
- Un suivi médical périodique est nécessaire pour le personnel exposé à des niveaux sonores élevés.
- Mettre en place des panneaux de signalisation qui doivent être simples, résistants, visibles, compréhensifs.
- Veiller au bon entretien des pompes et des chaudières.
- Installer la laine isolante sur les parois et les portes des locales pour absorber le bruit.
- Le coffrage est une méthode efficace pour réduire le niveau de bruit des appareils fixes.
- Installer les compresseurs dans un local séparé construit avec des matériaux lourds comme des blocs de béton.

Orientations bibliographiques

Orientations bibliographiques

Orientations bibliographiques

[1] : Aybike ONGEL, Fatih SEZGIN, Assessing the effects of noise abatement measures on health risks: A case study in Istanbul, *Environmental Impact Assessment Review*, V56, 2016, 180-187.

[2] : Antonio J. TORIJA, Diego P. RUIZ, Automated classification of urban locations for environmental noise impact assessment on the basis of road-traffic content, *Expert Systems with Applications*, V53, 2016, 1-13.

[3] : Liang CHENG, Shao-Hui WANG, Yun HUANG, Xiao-Mei LIAO, The hippocampus may be more susceptible to environmental noise than the auditory cortex, *Hearing Research*, V333, 2016, 93-97.

[4] : Stefanie DREGER, Nicole MEYER, Hermann FROMME, Gabriele BOLTE, Environmental noise and incident mental health problems: A prospective cohort study among school children in Germany, *Environmental Research*, V 143, Part A, 2015, 49-54.

[5] : Mathieu CARRIER, Philippe APPARICIO, Anne-Marie SÉGUIN, Road traffic noise in Montreal and environmental equity: What is the situation for the most vulnerable population groups?, *Journal of Transport Geography*, V 51, 2016, 1-8.

[6] : Lígia T. SILVA, Ivone S. OLIVEIRA, José F. SILVA, The impact of urban noise on primary schools. Perceptive evaluation and objective assessment, *Applied Acoustics*, V 106, 2016, 2-9.

[7] : Sergio CASTIÑEIRA-IBAÑEZ, Constanza RUBIO, Juan Vicente SÁNCHEZ-PÉREZ, Environmental noise control during its transmission phase to protect buildings. Design model for acoustic barriers based on arrays of isolated scatterers, *Building and Environment*, V93, Part 2, 2015, 179-185.

[8] : Angel M. DZHAMBOV, Donka D. DIMITROVA, Green spaces and environmental noise perception, *Urban Forestry & Urban Greening*, V4, Issue 4, 2015, 1000-1008.

[9] : Jacques JOUHANEAU, Effet du bruit sur l'homme, *Techniques de l'Ingénieur, Traité Environnement*, G2 720, 2001, 2-14.

[10] : Quentin M.J. TENAILLEAU, Multi-exposition en milieu urbain : une approche multi-échelles spatiales de l'exposition humaine au bruit et à la pollution atmosphérique. Thèse pour le doctorat en Science de la vie et de l'environnement. Université de Franche-Comté, France, 2014.

[11] : Centre d'Information et de Documentation sur le Bruit (CIDB), Bruit et santé : guide de synthèse des connaissances actuelles de l'impact du bruit sur la santé, France, 2013.

[12] : Site web de Dr Albert MUDRAY, Suisse : www.oreillemudry.ch (dernière consultation le 15/12/2015).

Orientations bibliographiques

[13] : Conseil départemental, Plan de prévention du bruit dans L'environnement 2ème échéance : Infrastructures routières départementales, France, 2015.

[14] : Site web de Services aux Entreprises pour la Santé au Travail, France : www.sestidf.fr (dernière consultation le 25/12/2015).

[15] : Marjorie DOLE, Perception de la parole dans le bruit et Dyslexie : Approches comportementale, neuroanatomique et fonctionnelle. Thèse pour le doctorat en Sciences Cognitives. Université de Lyon, France, 2012.

[16] : Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail (AFSSET), Synthèse du rapport de l'AFSSET : Bruit & santé, France, 2007.

[17] : Louise SCHRIVER-MAZZUOLI, Nuisances sonores (prévention, protection, réglementation), 2007, 65-75.

[18] : Site web de l'encyclopédie libre Wikipédia : fr.wikipedia.org (dernière consultation le 02/02/2016).

[19] : BERGLUND B, MASCHKE C, Bruit et santé, WHO Local Authorities Health and Environment, 2000.

[20] : Site web de l'Association Santé Environnement, France : www.esef-asso.fr (dernière consultation le 05/03/2016).

[21] : Alice H. SUTER, Le bruit, Encyclopédie de sécurité et de santé au travail, V2, Partie V, Titre 47, 2000, 2-17.

[22] : L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), Résumé d'orientation des Directives de l'OMS relatives au bruit dans l'environnement : NIGHT NOISE GUIDELINES FOR EUROPE, 2009.

[23] : Site web de l'Institut National de Recherche et de Sécurité, santé et sécurité au travail, France : www.inrs.fr (dernière consultation le 09/03/2016).

[24] : Jean-Jacques BARBARA, Bruit : synthèse des données réglementaires, Techniques de l'Ingénieur, traité Environnement G2 790, 2002.

[25] : Abdelghani GRAMEZ, Introduction à la réglementation acoustique Algérienne et la réhabilitation acoustique des façades, 10ème Congrès Français d'Acoustique, France, 2010.

[26] : Jean-Michel MONDOT, Anne-Marie ONDET, Méthodologie de réduction du bruit en milieu professionnel, Techniques de l'Ingénieur, traité Environnement G2 760, 2000.

[27] : A. HAMOU, H. ABDERRAHIM et H. KECIBA, Etude des nuisances sonores dans la ville d'Oran. Communication Science & technology (COST) N° 14. January 2014.

[28] : Loi n° 83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement, Journal Officiel de la République Algérienne N° 25, février 1983.

Orientations bibliographiques

[29] : Décret exécutif n° 93-184 du 27 juillet 1993 réglementant l'émission des bruits, Journal Officiel de la République algérienne N° 50, 28 juillet 1993.

[30] : Loi n° 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, Journal Officiel de la République Algérienne N° 43, 2003.

[31] : Arrêté interministériel du 5 mai 1996 fixant la liste des maladies présumées d'origine professionnelle ainsi que ses annexes 1 et 2, Journal Officiel de la République Algérienne N° 16, 1997.

[32] : José BIOSCA DE SAGASTUY, Magazine de l'agence Européenne pour la sécurité et la santé au travail, le bruit au travail, 2005.

[33] : Parlement Européen, 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). Journal officiel de l'Union européenne, n° 42, 2003, 38-44.

[34] : Parlement Européen, Directive 2002/49/CE du parlement européen et du conseil du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement. Journal officiel des Communautés européennes, n° 189, 2002, 12-25.

[35] : Occupational Safety and Health Act, Code of federal regulations, Title 29, Chapter XVII, Part 1910.

[36] : Encyclopédie Larousse de la langue française, 2016.

[37] : Marion ALAYRAC, Indicateurs de gêne sonore pour l'étude d'impact du bruit d'un site industriel : caractérisation physique et perceptive. Thèse pour le doctorat en Acoustique. Université Claude Bernard Lyon, France, 2009.

[38] : Guillaume LE NOST, Contribution à l'étude de l'impact environnemental sonore des sites industriels : une typologie perceptive de sources de bruit. Thèse pour obtenir le doctorat en Acoustique. Université Claude Bernard Lyon, France, 2007.

[39] : ISO. Acoustique - Description, mesurage et évaluation du bruit de l'environnement - Partie 1 : grandeurs fondamentales et méthodes d'évaluation. ISO 1996-1 2003. Genève : ISO, 2003, 27.

[40] : L'Association Française de Normalisation (AFNOR). Acoustique, caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement, NF S 31-010, France, 1996, 48.

[41] : L'Association Française de Normalisation (AFNOR). Acoustique, caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement, grandeurs fondamentales et méthodes générales d'évaluation, NF S 31-110, Tirage 2, France, 2008, 50.

Orientations bibliographiques

[42] : François-Edern ABALLÉA, Propagation acoustique en milieu extérieur : Application de l'équation parabolique rapide au couplage d'effets météorologiques et de topographies complexes. Thèse pour obtenir le doctorat en Acoustique. Université du Maine, France, 2004.

[43] : Marine BAULAC, Optimisation des protections antibruit routières de forme complexe. Thèse pour le doctorat en Acoustique. Université du Maine, France, 2006.

[44] : Faouzi KOUSSA, Évaluation de la performance acoustique des protections antibruit innovantes utilisant des moyens naturels : application aux transports terrestres. Thèse pour obtenir le doctorat en Acoustique. Université de Lyon, France, 2012.

[45] : Abdellah SBARGOUD, Caractérisation et mesurage du bruit en milieu urbain. Rapport de stage d'Ingénieur d'état en environnement. Observatoire national de l'environnement et du développement durable, Algérie, 2009.

[46] : Rapports de stage de la centrale thermoélectrique de MARSAT EL HADJAJ fournis par le service mécanique et le service de sécurité industrielle.

[47] : Documents extraits de la formation ENPSM.

[48] : Dictionnaire de français Larousse, 2016.

[49] : Guide d'utilisation du sonomètre DIGITAL SOUND LEVEL METER.

[50] : Code TYMPAN, Notice d'utilisation, EDF R&D, 12/12/2012.

Les annexes

Annexe A

Annexe A (La réglementation algérienne du bruit)

A.I. Loi n°83-03 du 5 Février 1983 relative à la protection de l'environnement (titre IV, chapitre V)

Article 119 : Les immeubles, les établissements industriels, artisanaux ou agricoles et autres édifices, les animaux, les véhicules et autres objets mobiliers possédés, exploités ou détenus par toute personne physique ou morale sont construits, exploités ou utilisés de manière à satisfaire aux dispositions prises en application de la présente loi afin d'éviter l'émission de bruits susceptibles de causer une gêne excessive de nature à incommoder la population ou à nuire à sa santé.

Article 120 : Lorsque les émissions de bruits sont susceptibles de constituer un gêne excessif pour la population ou de nuire à sa santé, les personnes visées à l'article 119 doivent mettre en œuvre toutes les dispositions utiles pour les supprimer.

Article 121 : Les prescriptions visées aux articles 119 et 120 font l'objet de décrets qui déterminent notamment :

1. les cas et conditions dans lesquels doit être interdite ou réglementée l'émission des bruits.
2. les délais dans lesquels il doit être satisfait à ces dispositions pour les immeubles, établissements, autres édifices, animaux, véhicules et autres objets mobiliers existants à la date de publication de chaque décret.
3. les cas et conditions dans lesquels le ministre chargé de l'environnement doit, avant l'intervention de la décision judiciaire, prendre, en raison de l'urgence, toutes les mesures exécutoires destinées d'office à faire cesser le trouble.

A.II. Décret exécutif n° 93-184 du 27 juillet 1993 réglementant l'émission des bruits

Article 1 : Le présent décret a pour objet de réglementer l'émission des bruits et ce en application de l'article 121 de la loi n°83-03 du 5 février 1983, susvisée.

Annexe A

Article 2 : 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 (22 heures à 6 heures).

Article 3 : 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 (6 heures à 22 heures) et de 40 décibels (DB) en période nocturne (22 h à 6 h).

Article 4 : Sont considérés 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 toutes les émissions sonores supérieures aux valeurs limites indiquées aux articles 2 et 3 ci-dessus. '

Article 5 : Les méthodes de caractérisation et de mesurage des bruits sont effectuées conformément aux normes algériennes en vigueur.

Article 6 : Toute personne physique ou morale exploitant des activités exigeant l'emploi de moteurs, d'outils, de machines, d'équipements ou d'appareils générateurs de bruits de niveaux supérieurs aux valeurs limites telles que définies par le présent décret est tenue de mettre en place des dispositifs d'insonorisation ou des aménagements appropriés de nature à éviter d'incommoder la population ou de nuire à sa santé.

Article 7 : Les infrastructures sont construites, réalisées et exploitées en tenant compte des bruits aériens émis par leurs activités.

Article 8 : Les constructions à usage d'habitation ou à usage professionnel sont conçues et réalisées en tenant compte de la qualité acoustique des murs et planchers.

Un arrêté conjoint du ministre chargé de l'habitat et du ministre chargé de l'environnement définit les modalités d'application du présent article.

Article 9 : Les engins de chantier dotés de moteurs à explosion ou à combustion interne, les brises béton, les marteaux piqueur, les groupes électrogènes de puissance, les groupes moto-compresseurs, les compresseurs et les surpresseurs doivent être munis d'un dispositif

Annexe A

d'insonorisation ou d'atténuation de bruit lorsqu'ils sont utilisés à moins de 50 m des locaux à usage d'habitation ou des lieux de travail.

Un arrêté conjoint du ministre chargé de la normalisation et du ministre chargé de l'environnement précisera les limites des niveaux sonores émis par chaque type de matériel et d'équipement.

Article 10 : Sont interdites les réparations et mises au point des véhicules à moteurs et motocyclettes sur tous les lieux publics ou privés lorsqu'elles sont de nature à gêner ou à nuire à la santé du voisinage.

Article 11 : Est interdit tout bruit d'animal susceptible de troubler la tranquillité du voisinage lorsqu'il est causé entre 22 h et 06 h 00. Les propriétaires et possesseurs d'animaux ont responsables du bruit que ces animaux peuvent causer.

Article 12 : Les dispositions prévues aux articles 6, 7, 8, 9 et 10 ci-dessus doivent être satisfaites au plus tard, deux années à compter de la date de publication du présent décret au Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire.

Article 13 : Toutes infractions au présent décret sont sanctionnées conformément aux dispositions de l'article 129 de la loi n°83-03 du 5 février 1983 susvisée.

Article 14 : Le présent décret sera publié au Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire.

A.III. Loi n° 03-10 du 19 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable (titre IV, chapitre 2)

Article 72 : Les prescriptions de protection contre les nuisances acoustiques ont pour objet, de prévenir, supprimer ou limiter l'émission ou la propagation des bruits ou des vibrations de nature à présenter des dangers nuisibles à la santé des personnes, à leur causer un trouble excessif ou à porter atteinte à l'environnement.

Article 73 : Sans préjudice des dispositions législatives en vigueur, les activités bruyantes exercées dans les entreprises, les établissements, les centres d'activités ou les installations

Annexe A

publiques ou privées établis à titre permanent ou temporaire et ne figurant pas dans la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement, ainsi que les activités bruyantes sportives et de plein air susceptibles de causer des nuisances sonores, sont soumises à des prescriptions générales.

Article 74 : Lorsque les activités visées à l'article 73 ci-dessus sont susceptibles, par le bruit qu'elles provoquent, de présenter les dangers ou causer les troubles mentionnés à l'article 72 ci-dessus, elles sont soumises à autorisation.

La délivrance de cette autorisation est soumise à la réalisation de l'étude d'impact et de la consultation du public conformément aux conditions déterminées.

Sont fixées par voie réglementaire la liste des activités soumises à autorisation, les modalités de délivrance de l'autorisation, les prescriptions générales de protection, les prescriptions imposées à ces activités, les mesures de prévention, d'aménagement et d'isolation phonique, les conditions d'éloignement de ces activités des habitations ainsi que les méthodes selon lesquelles sont effectués les contrôles.

Article 75 : Les dispositions de l'article 74 ci-dessus ne sont pas applicables aux activités et installations relevant de la défense nationale, des services publics de protection civile et de lutte contre l'incendie, ainsi qu'aux aménagements et infrastructures de transports terrestres soumis aux dispositions de textes législatifs spécifiques.

Annexe A

A.IV. Affections professionnelles provoqués par les bruits (Tableau N°42 des maladies professionnelles)

DESIGNATION DES MALADIES	DELAIS DE PRISE EN CHARGE	LISTE LIMITATIVE DES TRAVAUX SUSCEPTIBLES DE PROVOQUER CES MALADIES
<p>Déficit audiométrique, bilatéral, par lésion cochléaire, irréversible et ne s'aggravant plus après cessation de l'exposition au risque.</p> <p>Ce déficit sera confirmé par une nouvelle audiométrie effectuée de trois semaines à un an après cessation de l'exposition aux bruits lésionnels.</p> <p>Cette audiométrie doit faire apparaître au minimum sur la meilleure oreille un déficit moyen de 35 décibels calculé en divisant par 10 la somme des déficits mesurés sur les fréquences 500, 1000, 2000 et 4000 hertz, pondérés respectivement par les coefficients 2, 4, 3 et 1.</p>	<p>1 an</p> <p>(sous réserve d'une durée d'exposition au risque de 1 an, réduite à 30 jours en ce qui concerne la mise au point des propulseurs, réacteurs et moteurs à pistons)</p>	<p>Travaux exposant aux bruits provoqués par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - les travaux sur métaux par percussion, abrasion, ou projection, tels que : <ul style="list-style-type: none"> * Le décolletage, l'emboutissage, l'estampage, le broyage, le fraisage, le martelage, le burinage, le rivetage, le laminage, l'étrirage, le tréfilage, le découpage, le sciage, le cisailage, le tronçonnage. * L'ébarbage, le meulage, le polissage, le gougeage par procédé arc-air, la métallisation, - le câblage, le toronnage et le bobinage de fils d'acier, - l'utilisation de marteaux et perforateurs pneumatiques, - la manutention mécanisée de récipients métalliques, - les travaux de verrerie à proximité de fours, machines de fabrication, broyeurs et concasseurs, l'embouteillage, - le tissage sur métiers à navette battante, - la mise au point, les essais et l'utilisation des propulseurs, réacteurs, moteurs thermiques ou électriques, groupes électrogènes, groupes hydrauliques, installations de compression ou de détente fonctionnement à des pressions différentes de la pression atmosphérique, - l'emploi ou la destruction de munitions ou d'explosifs, - l'utilisation de pistolets de scellement, - le broyage, le concassage, le criblage, le sciage et l'usinage de pierres et de produits minéraux, - les procédés industriels de séchage de matière organique par ventilation, - l'abattage et le tronçonnage des arbres, - l'emploi des machines à bois en atelier, - l'utilisation d'engins de chantier : bouteurs, décapeurs, chargeuses, moutons, chariots de manutention tous terrains, pelles mécaniques, - le broyage, l'injection et l'usinage des matières plastiques et du caoutchouc, - le travail sur les rotatives dans l'industrie graphique, - la fabrication et le conditionnement mécanisé du papier et du carton, - l'emploi de matériel vibrant pour l'élaboration de produits en béton, - les essais et la réparation en milieu industriel des appareils de sonorisation, - les travaux effectués sur les pistes d'aéroports.

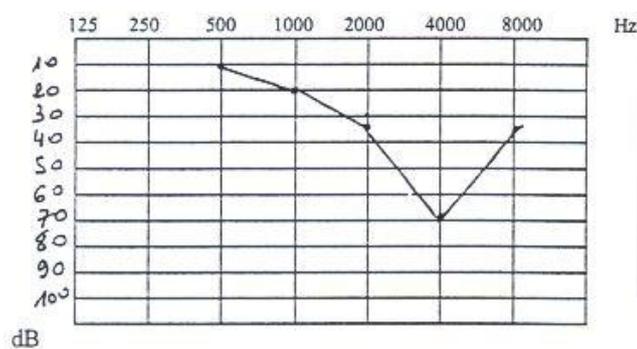
Annexe A

- Le déficit moyen sur la meilleure oreille doit être supérieur ou égal à 35 dB.

$$D_m = \frac{(2 \times d_{500}) + (4 \times d_{1000}) + (3 \times d_{2000}) + (1 \times d_{4000})}{10} \geq 35 \text{ dB}$$

10

Ce déficit doit être confirmé par une audiométrie tonale (CA, CO) et vocale réalisée trois semaines à un an après la cessation de l'exposition aux bruits lésionnels.

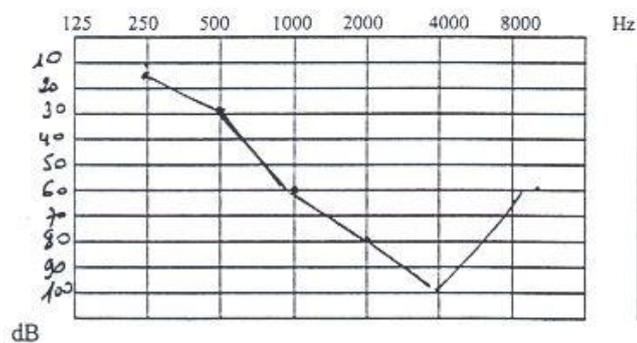


1er Cas :

- Calcul du déficit selon la formule réglementaire :

$$\frac{(2 \times 10) + (4 \times 20) + (3 \times 35) + (1 \times 70)}{10} = 27,5$$

Dans ce cas la S.P. ne sera pas reconnue comme MP.



2ème Cas :

- Calcul du déficit selon la formule réglementaire

$$\frac{(2 \times 30) + (4 \times 60) + (3 \times 80) + (1 \times 100)}{10} = 58$$

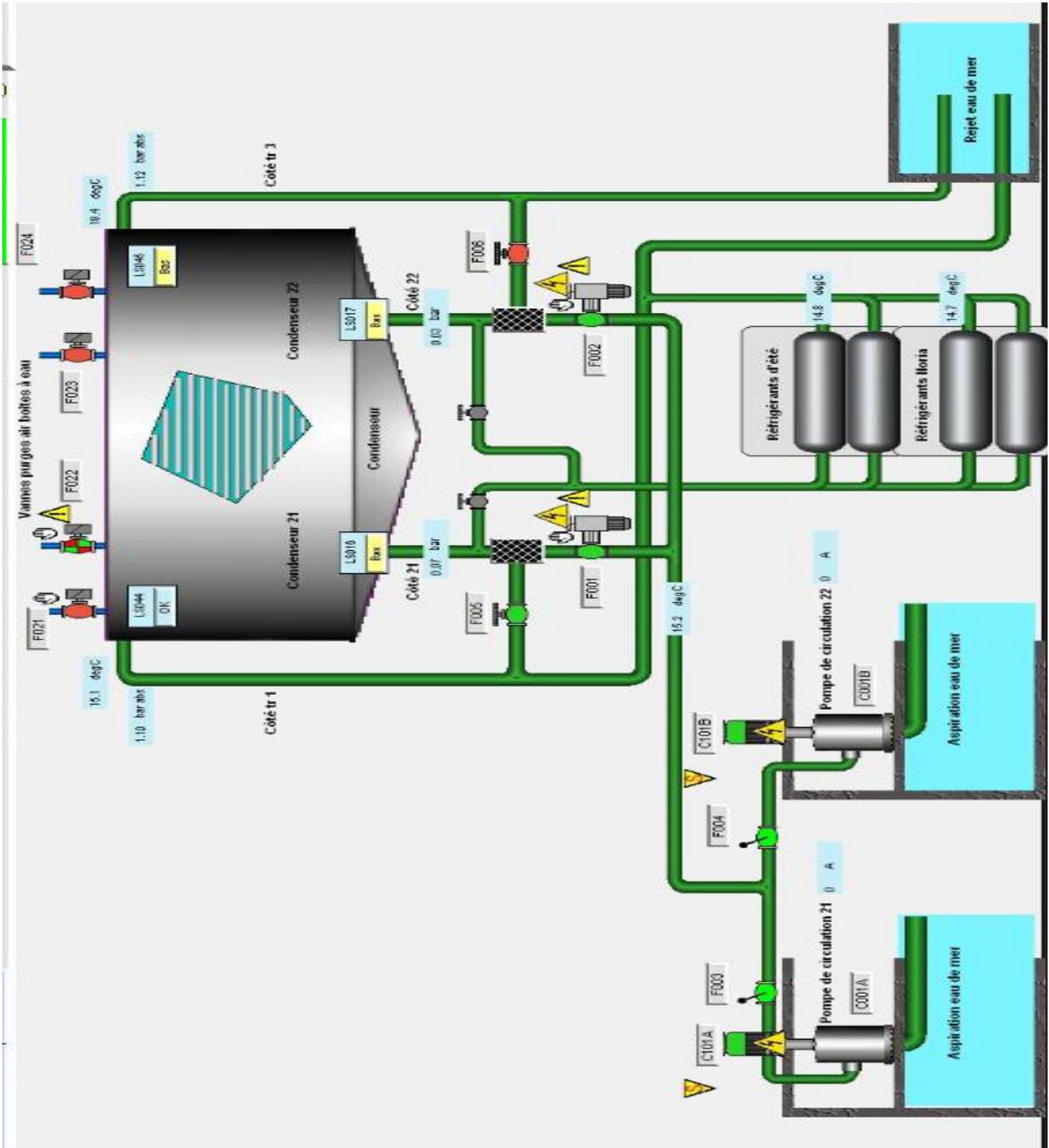
- dans ce cas la S.P. sera reconnue comme MP

Aucune évolution de la surdité ne peut être prise en compte après la fin de l'exposition au bruit, il n'y a en effet pas d'aggravation reconnue de celle-ci après arrêt de cette exposition.

Annexe B

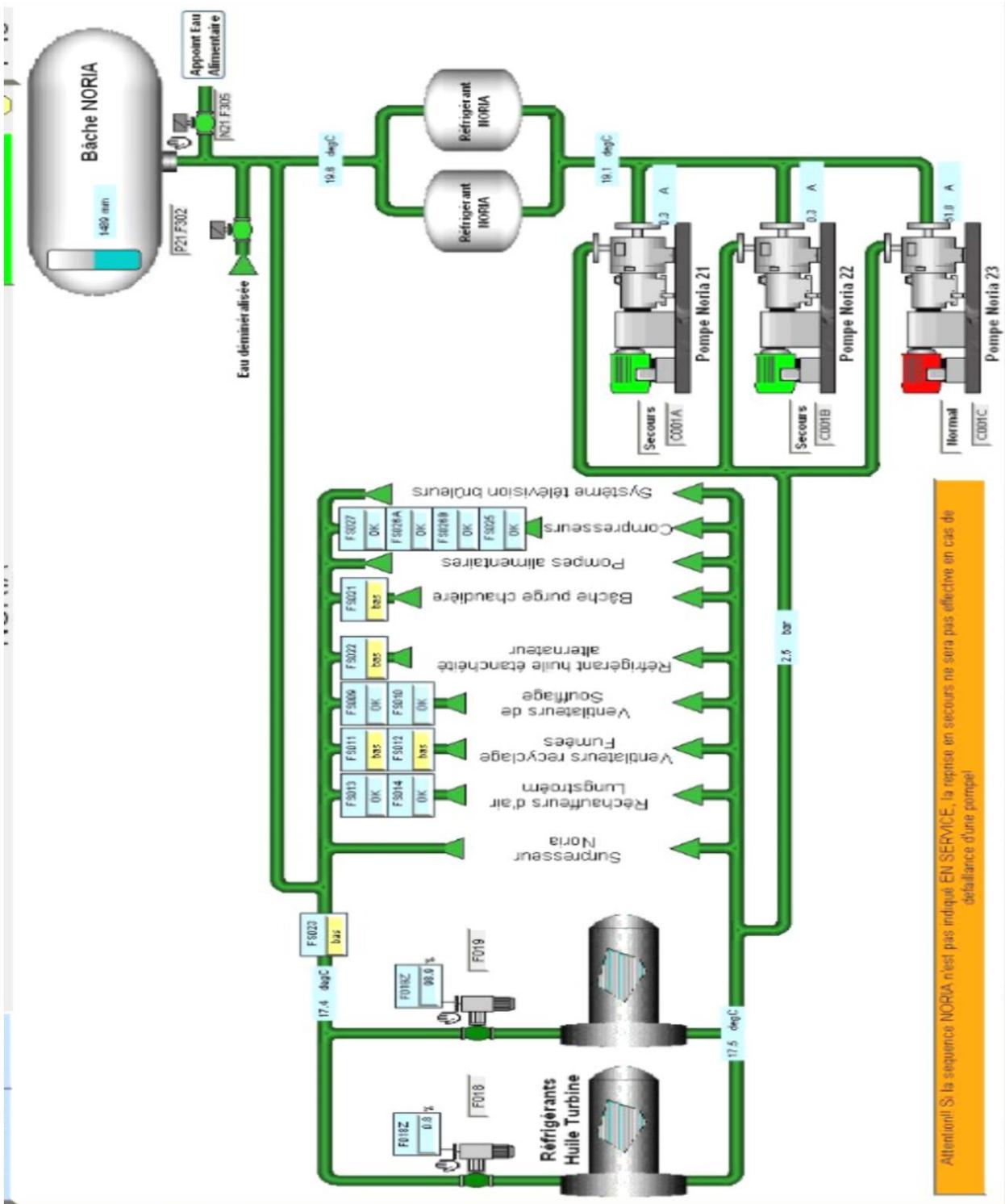
Annexe B (Photos process)

B.I. Circulation eau de mer



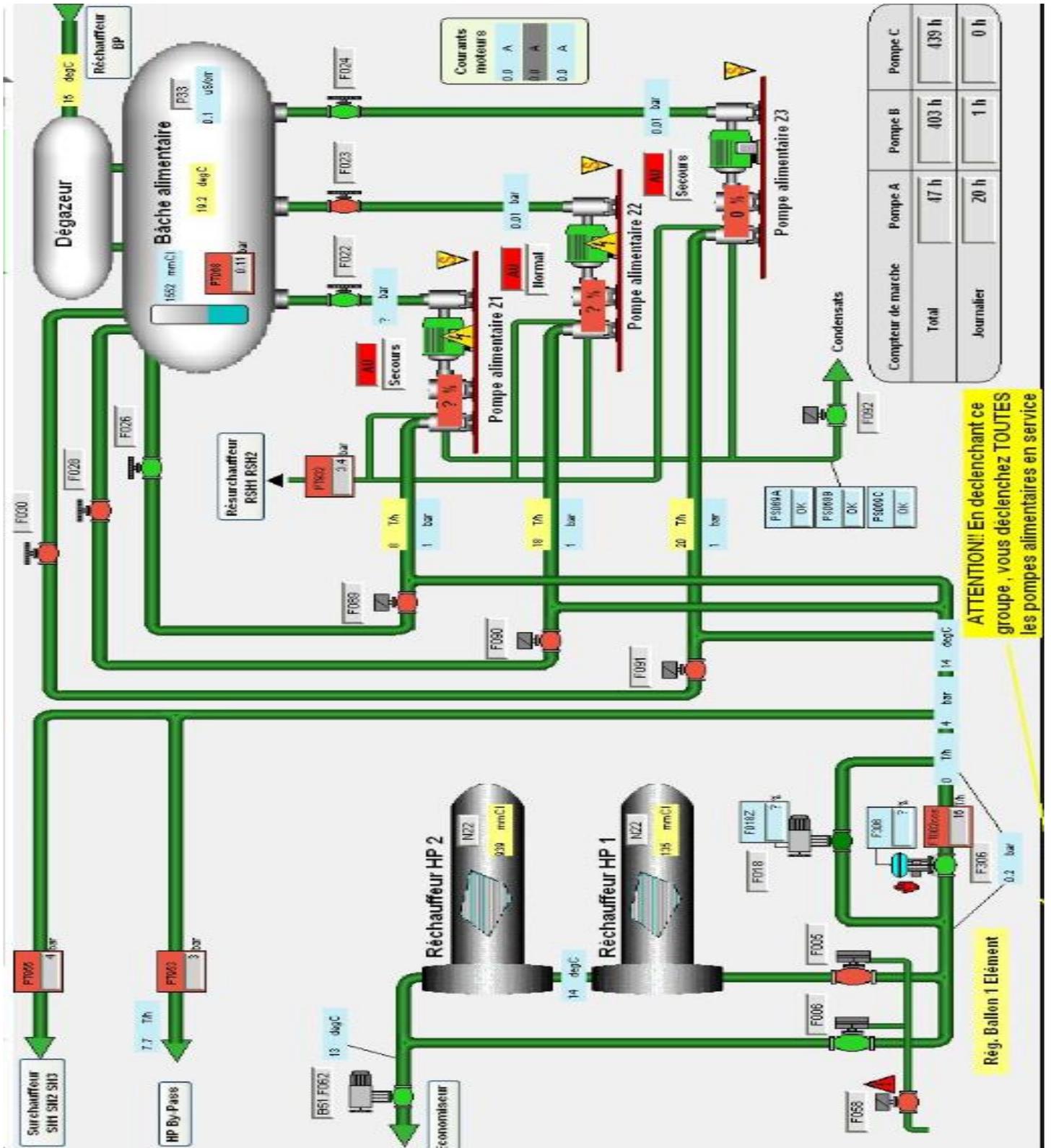
Annexe B

B.II. Circuit de refroidissement NORIA

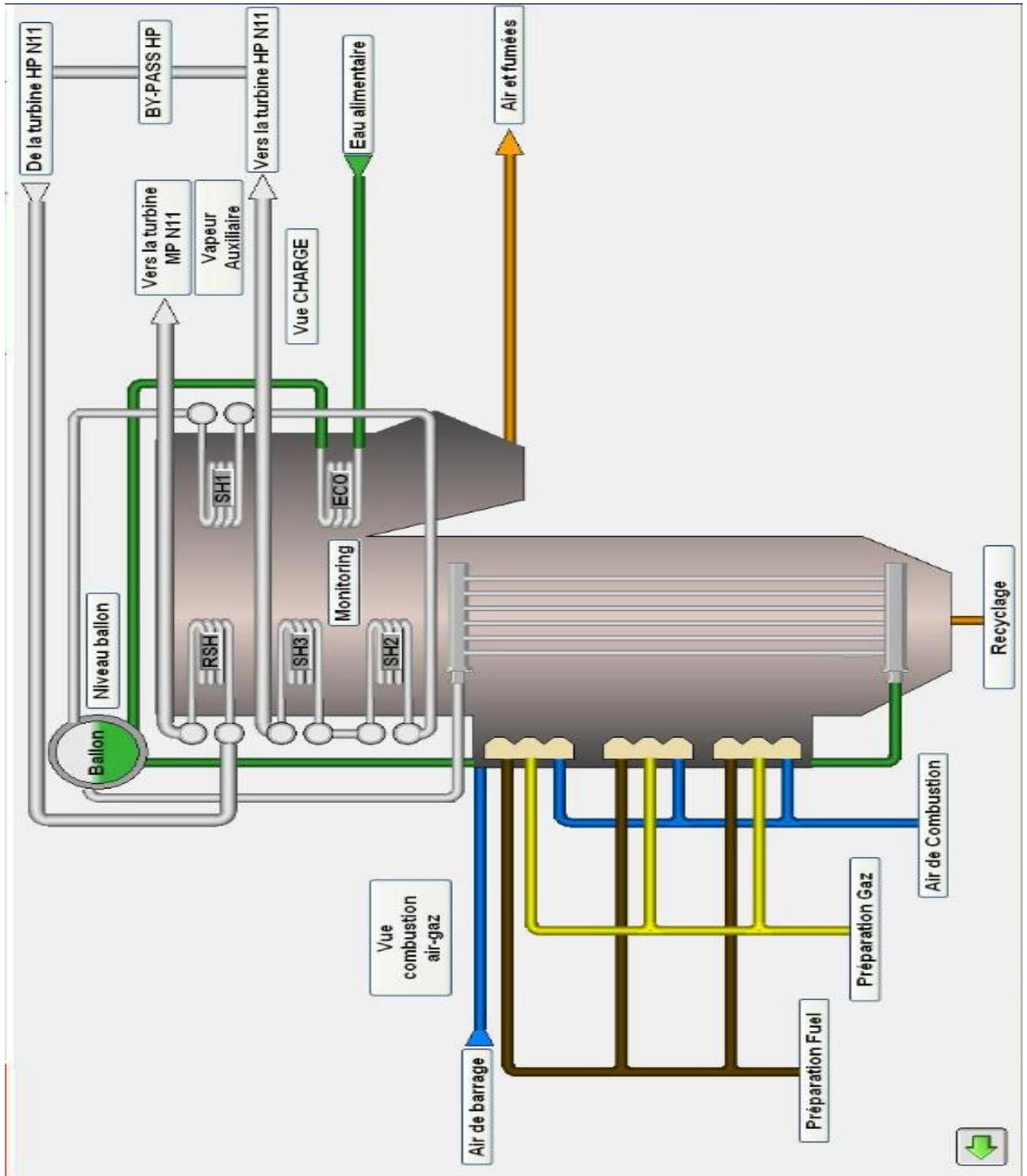


Annexe B

B.III. Eau alimentaire



B.IV. Chaudière



Annexe B

B.VI. Vue générale

