



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**

# **Analyse de l'ambiance acoustique d'un train de liquéfaction au niveau de GL3/Z**

Présenté et soutenu publiquement par :

**BENAISSA Djamal Eddine** et **CHAREF AISSA Djilali**

Devant le jury composé de :

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Etablissement</b>	<b>Qualité</b>
BOUHADIBA Brahim	MCA	Université d'Oran 2	Président
KEDDAR Mohamed	MAA	Université d'Oran 2	Encadreur
HEMMAMI Zineb	MCB	Université d'Oran 2	Examineur

Année 2019/2020



## ***Remerciements***

***ALHAMDOU LiL ALLAH, d'abord et avant tout, qui nous a permis d'atteindre ce rang élevé et de surmonter toutes les difficultés pour l'atteindre.***

*Et nous voudrions remercier, avec tout amour et gratitude, tous ceux qui ont contribué à faire une lettre de notre mémoire :*

*Tout d'abord et toujours nous remercions sincèrement nous en cadreur de ce mémoire Monsieur Keddar, M pour ses efforts, ses conseils continus et ses sages directrices, grâce auxquels, après **ALLAH**, nous avons pu accomplir ce travail ;*

*Nous remercions les membres du jury qui ont accepté d'évaluer notre travail.*

*À tous les employés de **GLB/B** pour nous avoir fourni cette quantité d'informations qui nous ont permis de rédiger ce mémoire ;*

*À tous les enseignants de l'**MST** et en particulier les enseignants du département hygiène et sécurité industrielle et à tous les travailleurs de l'institut de maintenance et sécurités industriel.*

*À tous nos collègues, tous nos amis et tous ceux avec qui nous avons eu un moment ou une minute pendant cette période ;*

*Enfin, nous remercions nos parents, nos sœurs et nos frères, pour nous avoir soutenus depuis le début de nos études.*

*Merci à tout le monde ....*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail .....*

*À mes très chers parents, source de vie, d'amour, et  
d'affection.*

*À mes frères et leurs enfants, source de joie et de bonheur.*

*À toute ma famille, source d'espoir.*

*Et à tous mes amis.*

*BENAISSA Djamal Eddine*

## *Dédicaces*

*À ma mère, l'être le plus cher de ma vie.*

*À mon père, à celui qui m'a fait de moi un homme.*

*À mes beaux-frères et belles sœurs.*

*À mes proches et à toute personne qu'il me connue de  
Proche ou de loin.*

*Je dédie ce modeste travail.....*

*CHAREF AISSA Djilali*

## ملخص

يتمثل عملنا هذا في تحليل البيئة الصوتية لمركب إسالة الغاز الطبيعي، والذي يركز على قياس مستويات الضوضاء عند نقاط معينة في منطقة الدراسة.

تحليل الضوضاء بناءً على خريطة الضوضاء لمنطقة الدراسة وحساب مستوى التعرض لمشغلي الضواغط في مناطق مختلفة لتقييم مناطق الخطر، واقتراح حلول وتدابير وقائية.

**الكلمات البحث:** مجمع ارزيو للغاز المسال (رقم 3)، مركب تسييل، تحليل، ضوضاء، أصوات، اهتزازات.

## Résumé

Notre travail est représenté dans l'analyse d'ambiance acoustique d'un train de liquéfaction du gaz naturel, qui se concentre sur la mesure des niveaux de bruit en certains points de la zone d'étude.

Analyse du bruit basée sur la carte du bruit de la zone d'étude et calcul du niveau d'exposition des opérateurs de compresseurs dans différentes zones pour évaluer les zones à risques et proposer des solutions et des mesures préventives.

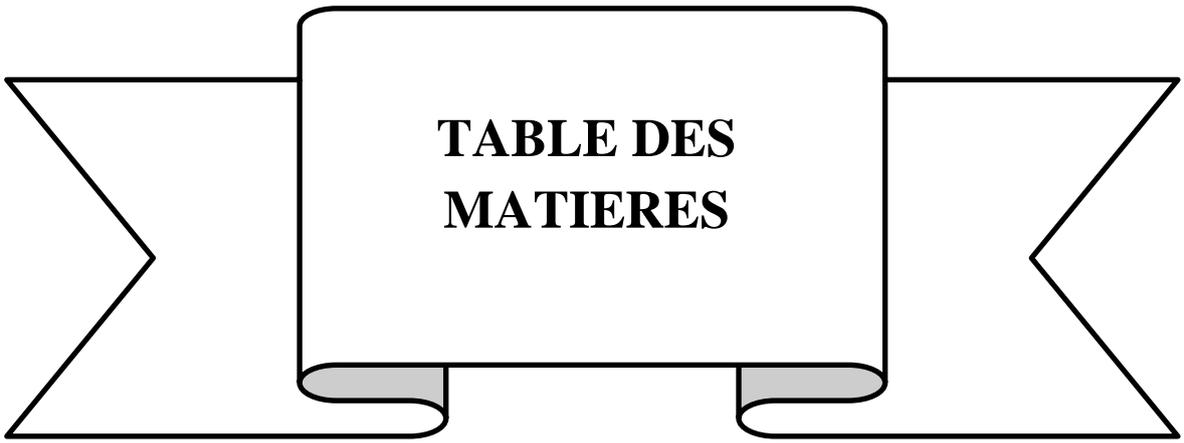
**Mots clés:** GL3/Z, train de liquéfaction, analyse, bruits, sons, vibrations.

## Abstract

Our work is represented in the acoustic environment analysis of a natural gas liquefaction train, which focuses on the measurement of noise levels at certain points in the study area.

Noise analysis based on the noise map of the study area and calculates the exposure level of the compressors operators in different areas to assess risk areas and propose solutions and preventive measures.

**Keywords:** GL3/Z, liquefaction train, analysis, noises, sounds, vibrations.



**TABLE DES  
MATIERES**

**TABLE DES MATIERES**

**LISTE DES TABLEAUX**

**LISTE DES FIGURES**

**LISTE DES ABREVIATIONS**

**INTRODUCTION GÉNÉRALE ..... 1**

**CHAPITRE I : GENERALITES SUR L'AMBIANCE ACOUSTIQUE**

I.1.	INTRODUCTION SUR L'ACOUSTIQUE.....	2
I.2.	NOTIONS FONDAMENTALES SUR L'ACOUSTIQUES .....	3
I.2.1.	NATURE DES SONS (Selon AFNOR NF 530-105) .....	3
I.2.2.	CARACTERISTIQUES DES ONDES .....	3
I.2.3.	CHAMPS SONORES .....	4
I.2.4.	PRESSION ACOUSTIQUE.....	5
I.2.5.	INTENSITE ACOUSTIQUE .....	5
I.2.6.	PUISSANCE ACOUSTIQUE.....	6
I.3.	NOTION DE BRUIT .....	7
I.3.1.	NIVEAU DE BRUIT .....	7
I.3.2.	NIVEAU DE PUISSANCE ACOUSTIQUE .....	7
I.3.3.	NIVEAU DE PRESSION ACOUSTIQUE .....	7
I.3.4.	NIVEAU D'INTENSITE ACOUSTIQUE.....	8
I.3.5.	MESURE DU BRUIT .....	8
I.3.6.	SYSTEME AUDITIF .....	15
I.3.7.	EFFETS DU BRUIT .....	17
I.3.8.	MESURE DE DEFICIT AUDITIF .....	20
I.3.9.	SURDITE PROFESSIONNELLE.....	21
I.3.10.	CARTE DE BRUIT.....	23
I.3.11.	CONTROLE DU BRUIT EN MILIEU INDUSTRIEL .....	24
I.4.	NOTIONS DE VIBRATIONS .....	27
I.4.1.	NOTIONS FONDAMENTALES .....	27
I.4.2.	MOUVEMENT SINUSOIDAL .....	29
I.4.3.	MOUVEMENT PERIODIQUE .....	31
I.4.4.	VIBRATIONS ALEATOIRES .....	32
I.4.5.	MOUVEMENT VIBRATOIRE COMPEXE.....	33
I.4.6.	EFFETS DES VIBRATIONS .....	33

I.4.7.	SOURCES DES VIBRATIONS .....	36
I.4.8.	MESURE DES VIBRATIONS .....	36
I.4.9.	VOIES ENVISAGEABLES POUR REDUIRE LES VIBRATIONS.....	37
I.5.	CONCLUSION.....	39
<b>CHAPITRE II : REGLEMENTATIONS DE BRUIT ET NORMES DE MESURES</b>		
II.1.	INTRODUCTION.....	40
II.2.	REGLEMENTATIONS ALGERIENNES .....	40
II.3.	REGLEMENTATIONS ET LES NORMES AU NIVEAU INTERNATIONAL .....	41
II.3.1.	AU NIVEAUX EUROPEENS .....	41
II.3.2.	AU NIVEAU DES ETATS UNIS.....	42
II.3.3.	NORMES GENERALES .....	43
II.4.	NORMES DE MESURES DE BRUIT INDUSTRIEL.....	43
II.4.1.	MESURE EN CHAMP LIBRE .....	43
II.4.2.	MESURE EN CHAMP DIFFUS.....	44
II.4.3.	MESURE PAR INTENSIMETRIE .....	45
II.5.	CONCLUSION .....	46
<b>CHAPITRE III : METHODES DE REDUCTION ET DE CONTROLE DE BRUIT INDUSTRIEL</b>		
III.1.	INTRODUCTION .....	47
III.2.	DES ACTIONS DE REDUCTION DU BRUIT .....	47
III.2.1.	ACTIONS EN AMONT.....	48
III.2.2.	ACTIONS SUR LES SOURCES FLUIDES.....	49
III.2.3.	ACTIONS SUR LES SOURCES SOLIDIENNES .....	52
III.2.4.	ACTIONS SUR LA PROPAGATION AERIENNE.....	53
III.2.5.	ACTIONS SUR LA PROPAGATION SOLIDIENNE.....	55
III.2.6.	ACTIONS SUR LA RECEPTION.....	56
III.3.	CONCLUSION.....	59
<b>CHAPITRE IV : PRESENTATION DE COMPLEXE GL3/Z</b>		
IV.1.	INTRODUCTION.....	60
IV.2.	EMPLACEMENT DE L'USINE GL3/Z.....	60
IV.3.	DESCRIPTION GENERALE DE L'USINE .....	61
IV.4.	PRESENTATION GENERALE DES INSTALLATIONS DU TRAIN DE GNL.....	62
IV.4.1.	UTILITES .....	62
IV.4.2.	TRAIN DE PROCEDE .....	64
IV.4.3.	OFF-SITES (La zone terminale) .....	66

IV.5.	PROCESSUS DE TRAITEMENT DE GAZ NATUREL.....	67
IV.6.	PROCESSUS DE LIQUEFACTION .....	69
IV.7.	ORGANIGRAMME GENERALE DU COMPLEXE GL3/Z.....	70
IV.8.	SECURITE DANS LE COMPLEXE (DEPARTEMENT SECURITE).....	70
IV.8.1.	SERVICE PREVENTION .....	71
IV.8.2.	SERVICE INTERVENTION .....	72
IV.9.	ORGANISATION GENERALE EN CAS D'URGENCE (O.G.C.U).....	74
IV.9.3.	SCHEMA D'OPERATION.....	75
IV.9.4.	ETATS-MAJORS.....	75
IV.9.5.	PRINCIPALES GENERAUX.....	76
IV.9.6.	CONSIGNES GENERALES .....	77
IV.9.7.	CODE DE SIRENES.....	77
IV.10.	MOYEN DE LUTTE D'INTERVENTION AU COMPLEXE GL3/Z .....	78
IV.10.1.	MOYENS D'INTERVENTION FIXES .....	78
IV.10.2.	MOYENS D'INTERVENTION MOBILES.....	85
IV.11.	ANALYSE D'ACCIDENTALITE POUR UNE PERIODE DE 5 ANNEES.....	87
IV.12.	CONCLUSION.....	89

**CHAPITRE V : ANALYSE DE L'AMBIANCE ACOUSTIQUE D'UN TRAIN DE LIQUEFACTION DE GL3/Z**

V.1.	INTRODUCTION .....	90
V.2.	MESURE DE BRUIT SUR LE TRAIN DE LIQUIFACTION.....	91
V.2.1.	IDENTIFICATION DES LIEUX ET EVALUATION DES SOURCES EMISSIONS SONORES.....	91
V.2.2.	IDENTIFICATION DE LA POPULATION PRESENTE DANS LA ZONE DE DANGER .....	93
V.3.	ANALYSE DE L'AMBIANCE ACOUSTIQUE SUR LA ZONE DES COMPRESSEURS .....	95
V.3.1.	NIVEAU DE BRUIT EQUIVALENT CONTINU .....	96
V.3.2.	METHODE DES POINTS D'EXPOSITION .....	98
V.4.	PRCEPTION DU BRUIT PAR LES OPERATEURS.....	100
V.4.1.	MOYENS DE PROTECTION UTILISES.....	101
V.4.2.	CONSEQUENCES SUR LA VIE QUOTIDIENNE.....	102
V.4.3.	SUGGESTIONS DES OPERATEURS .....	103
V.5.	IMPACT DES NUISANCES SUR LA PRODUCTION.....	103
V.6.	MOYENS DE PROTECTIONS DES MACHINES CONTRE LES VIBRATIONS..	104
V.7.	CONCLUSION ET RECOMMANDATION .....	105

<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>106</b>
<b>RECOMMANDATIONS.....</b>	<b>107</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	
<b>ANNEXE</b>	



**LISTE DES  
TABLEAUX**

## **LISTE DES TABLEAUX**

### **Chapitre I: GENERALITES SUR L'AMBIANCE ACOUSTIQUE**

**Tableau I.1:** La vitesse de l'onde sonore selon la nature des matériaux.

**Tableau I.2:** Exemples de niveaux de bruit en dB(A).

**Tableau I.3:** Durée de l'exposition journalière correspondante aux Pressions acoustiques avec filtre d'atténuation.

**Tableau I.4:** Distance d'intelligibilité de la parole.

**Tableau I.5:** Les valeurs limite maximale d'exposition aux vibrations.

### **Chapitre II: REGLEMENTATIONS DE BRUIT ET NORMES DE MESURES**

**Tableau II.1:** Niveaux d'exposition au bruit autorisés par l'OSHA.

### **Chapitre III: METHODES DE REDUCTION ET DE CONTROLE DE BRUIT INDUSTRIEL**

**Tableau III.1:** Les solutions sur modification de l'écoulement.

**Tableau III.2:** Les différents type des silencieuse.

**Tableau III.3:** Les équipements de la protection individuel contre bruit.

**Tableau III.4:** Les valeurs des seuils pour chacun paramètres d'exposition, puis les actions requises lorsqu'ils sont dépassés.

### **Chapitre IV: PRESENTATION DE COMPLEXE GL3/Z**

**Tableau IV.1:** Capacité de production du complexe GL3/Z.

**Tableau IV.2 :** Les moyens de communications.

**Tableau IV.3 :** Taux de fréquence et Taux de gravité pour une période de 5 années.

### **Chapitre V: ANALYSE DE L'AMBIANCE ACOUSTIQUE D'UN TRAIN DE LIQUEFACTION DE GL3/Z**

**Tableau V.1:** Résultats de mesures réalisées dans l'unité 11.

**Tableau V.2:** Résultats de mesures réalisées dans l'unité 12.

**Tableau V.3:** Résultats de mesures réalisées dans l'unité 13.

**Tableau V.4:** Résultats de mesures réalisées dans l'unité 15.

**Tableau V.5:** Résultats de mesures réalisées dans l'unité 16.

**Tableau V.6:** Résultats de mesures réalisées dans l'unité 17.

**Tableau V.7:** Résultats de mesures réalisées dans l'unité 18.

**Tableau V.8:** Résultats de mesures réalisées dans l'unité 19.

**Tableau V.9:** Répartition des tâches et de mesures pour les différents postes.

**Tableau V.10:** Résultats de calculs d'exposition de Technicien operateur compressistes (Unité 11).

**Tableau V.11:** Résultats de calculs d'exposition de Technicien operateur compressistes (Unité 16).

**Tableau V.12:** Résultats de calculs d'exposition de Technicien operateur compressistes (Unité 17).

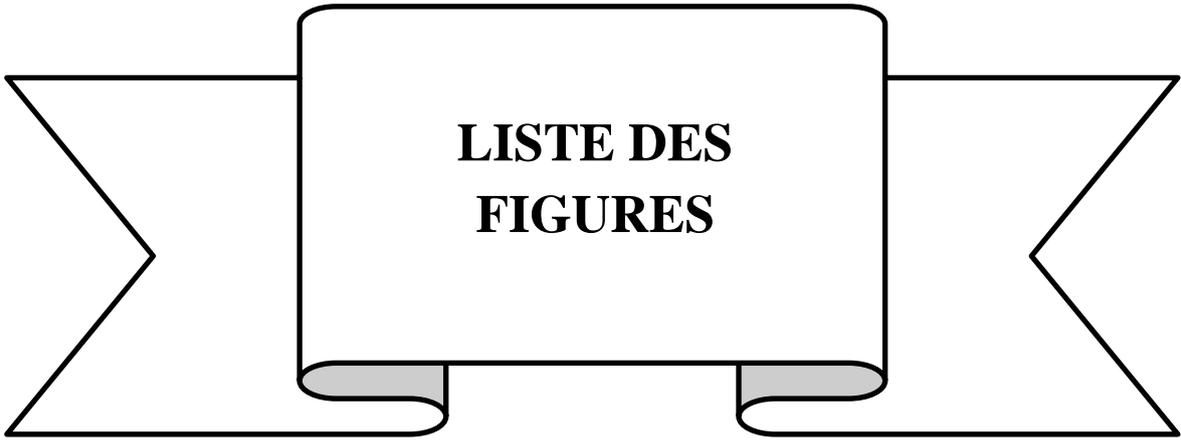
**Tableau V.13:** Les limites d'expositions [INRS].

**Tableau V.14:** Points d'exposition pour différents niveaux de bruit et différentes durée.

**Tableau V.15:** Valeurs indicatives de la méthode des points d'exposition.

**Tableau V.16:** Les valeurs de ces seuils pour chacun des deux paramètres d'exposition.

**Tableau V.17:** Les exigences de la réglementation en fonction des niveaux d'exposition.



**LISTE DES  
FIGURES**

A decorative banner with a central rectangular box containing the text 'LISTE DES FIGURES'. The banner has a ribbon-like shape with pointed ends and a slight shadow at the bottom.

## LISTE DES FIGURES

### CHAPITRE I: GENERALITES SUR L'AMBIANCE ACOUSTIQUE

**Figure I.1:** Différents types de bruits.

**Figure I.2:** Courbe de pondération.

**Figure I.3:** Image d'un sonomètre.

**Figure I.4:** Echelle de bruit.

**Figure I.5:** Echelle de bruit en décibel.

**Figure I.6:** Abaque 1 Addition de n bruits.

**Figure I.7:** Soustraction de n bruits.

**Figure I.8:** Fréquences audibles pour l'être humaine.

**Figure I.9:** Analogie mécanique de l'oreille.

**Figure I.10:** Audiogrammes de référence chez l'homme.

**Figure I.11:** Courbes audiométriques montrant l'évolution de la surdité professionnelle.

**Figure I.12:** Evolution moyenne du déficit auditif en fonction de l'âge pour diverse fréquences (d'après W.Rosenblith et Coll, 1954).

**Figure I.13:** Evolution de la surdité professionnelle d'après le texte de Maduro-Lallemand-Tomatis.

**Figure I.14:** Normes de la conférence des hygiénistes industriels Gouvernementaux américains (1982) –TLVs (Selon « The Ashley Act »).

**Figure I.15:** Pendule simple.

**Figure I.16:** La balance d'énergie dans un système vibratoire.

**Figure I.17:** Oscillation d'une lame autour de sa position d'équilibre.

**Figure I.18:** Amplitude de vibration.

**Figure I.19:** Propagation des vibrations selon les axes de translation et axes de rotation.

**Figure I.20:** Valeur instantanée du déplacement / Elongation.

**Figure I.21:** Représentation graphique du mouvement sinusoïdal.

**Figure I.22:** Mouvement périodique.

**Figure I.23:** Vibration aléatoire.

**Figure I.24:** Dispositifs antivibratoires.

**Figure I.25:** Vibration des équipements transmis aux éléments structuraux.

**Figure I.26:** Isolateurs de vibrations installés aux points de contact.

## **Chapitre II: REGLEMENTATIONS DE BRUIT ET NORMES DE MESURES**

**Figure II.1:** La propagation de bruit dans un champ libre et réverbéré.

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

## **Chapitre III: METHODES DE REDUCTION ET DE CONTROLE DE BRUIT INDUSTRIEL**

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

**Figure III.2:** Classification des actions de réduction du bruit en entreprise.

**Figure III.3:** Principe de contrôle actif.

**Figure III.4:** Isolation acoustique aux bruits aériens avec des parois lourdes.

**Figure III.5:** L'isolation pour de faibles masses avec les parois multiples.

**Figure III.6:** La protection collective par l'encoffrement des machines bruyant [INRS].

**Figure III.7:** L'écran est un obstacle (cloison amovible).

**Figure III.8:** Bandes d'absorption de plafond (à gauche), damier (au milieu), baffles (à droite).

**Figure III.9:** La propagation solidienne se fait par la liaison entre la machine et le sol.

**Figure III.10:** Principes de la cabine «protégé l'opérateur ».

**Figure III.11:** La cabine elle-même peut être isolée d'un point de vue vibratoire.

**Figure III.12 :** Les types de signalisation.

## **Chapitre IV: PRESENTATION DE COMPLEXE GL3/Z**

**Figure IV.1:** Chaîne d'Approvisionnement en Gaz du Projet GL3/Z.

**Figure IV.2:** Zone industrielle Emplacement de l'Usine GL3/Z d'Arzew.

**Figure IV.3:** Emplacement de L'Usine GL3/Z dans l'Algérie.

**Figure IV.4:** Maquette 3D de la Vue d'Ensemble de l'Usine.

**Figure IV.5:** Un schéma représente les utilités du complexe GL3/Z.

- Figure IV.6:** L'unité de fractionnement.
- Figure IV.7:** Schéma de principe du procédé de GNL.
- Figure IV.8:** Procédé de décarbonatation du gaz naturel.
- Figure IV.9:** Procédé de déshydratation du gaz naturel.
- Figure IV.10 :** Organigramme de Complexe GL3/Z
- Figure IV.11:** Organigramme de département Sécurité.
- Figure IV.12 :** Organigramme de service prévention.
- Figure IV.13 :** Organigramme de service intervention.
- Figure IV.14:** Lance monitors (50-FM08)
- Figure IV.15:** Bouches d'incendie (50-FH22)
- Figure IV.16:** Dévidoir fixe (50-HR-007)
- Figure IV.17:** Système déluge (10-DV-4031/32)
- Figure IV.18:** Système mousse (70-ML-03)
- Figure IV.19:** Cuvettes de retentions (10-CV-09)
- Figure IV.20:** Extinction GTG (CO<sub>2</sub>).
- Figure IV.21:** SKIDE A POUDRE (71-MF-01)
- Figure IV.22:** L'ARGOSYSTEM-FIR1-
- Figure IV.23:** Système d'activation -locale-
- Figure IV.24 :** Bouteilles NOVEC-SS1-
- Figure IV.25:** Extincteur à poudre.
- Figure IV.26:** Extincteur à CO<sub>2</sub>.
- Figure IV.27:** Véhicule premier secours (PS).
- Figure IV.28:** Camion anti incendie trivalent.



**LISTE DES  
ABREVIATIONS**

**LISTE DES ABREVIATIONS**

**OMS:** Organisation Mondiale de la Santé.

**TTS:** Temporary THreshold Shift.

**AFNOR:** Association Française de Normalisation.

**OSHA:** Occupational Safety and Health Administration.

**ISO:** Organisation Internationale de Normalisation.

**PICB:** Protecteurs Individuels Contre le Bruit.

**INRS:** Institut National de Recherche et de Sécurité.

**CRAM:** Caisse Régionale d'Assurance Maladie.

**GP1/Z:** Gaz du Pétrole d'Arzew (Complexe 1).

**GL2/Z:** Gaz Liquéfié d'Arzew (Complexe 2).

**GL3/Z:** Gaz Liquéfié d'Arzew (Complexe 3).

**AMDEA:** Amine Méthyle Diéthylamide Activé.

**AGRU:** Acid Gas Removal Unit.

**MCHE:** Main Cryogenic Heat Exchanger.

**APCI:** Air Products and Chemicals Inc.

**GPL:** Gaz du Pétrole Liquéfié.

**GNL:** Gaz Naturel Liquéfié.

**BP:** Basse Pression.

**MP:** Moyenne Pression.

**HP:** Haute Pression.

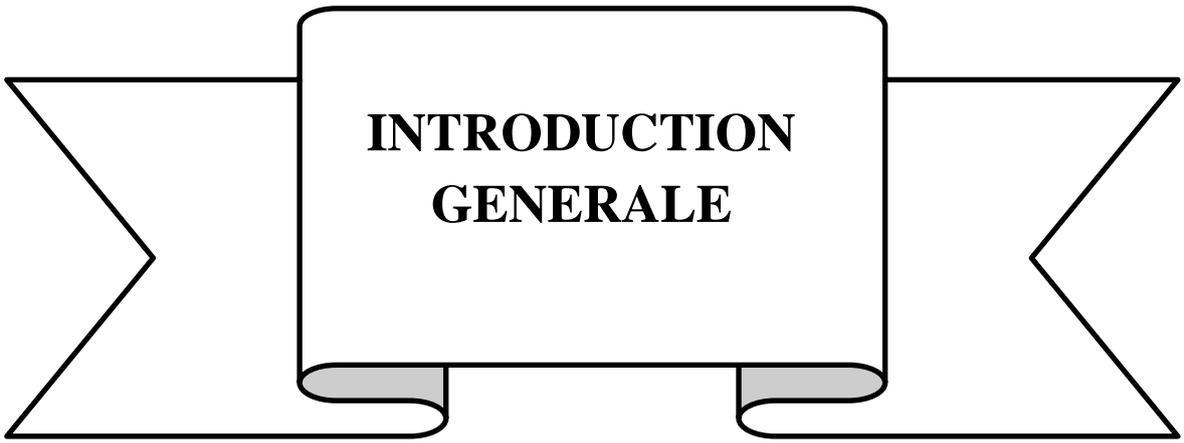
**MR:** Réfrigérant Mixte.

**HSE:** Health and Safety Executive.

**VAI:** Valeur D'exposition Inférieure.

**VAS:** Valeur D'exposition Supérieure.

**VLE:** Valeur Limite d'Exposition.



**INTRODUCTION  
GENERALE**

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le développement que nous vivons actuellement sur notre planète a conduit à la création d'un grand nombre de polluants environnementaux, (polluants de l'air et de la mer et de la terre). Parallèlement, une nouvelle variété de pollution qui ne possède pas une masse, une couleur et une odeur a été découverte ces dernières décennies en raison de l'industrialisation et à travers l'augmentation de l'unité industrielle, les trafics routiers, aériens, etc. Ce polluant se manifeste se forme de pollution sonore et il s'appelle « le bruit ».

De toutes les agressions que l'homme subit dans son environnement quotidien, le bruit représente, sans conteste, l'un des éléments le plus répandu et le plus insidieux en milieu de travail et particulièrement dans certaines industries telles la métallurgie, la pétrochimie, le transport aérien et les textiles...etc. Ces bruits affectent par conséquent et d'une manière directe les travailleurs des sites industriels et d'une manière indirecte les riverains à proximité de ces sites.

Dans toutes les activités humaines et dans l'exécution de la majorité des tâches, l'audition joue un rôle important. L'ouïe est des principaux sens qui nous maintiennent en contact avec notre environnement. Elle est extrêmement importante et élément fondamental de la communication.

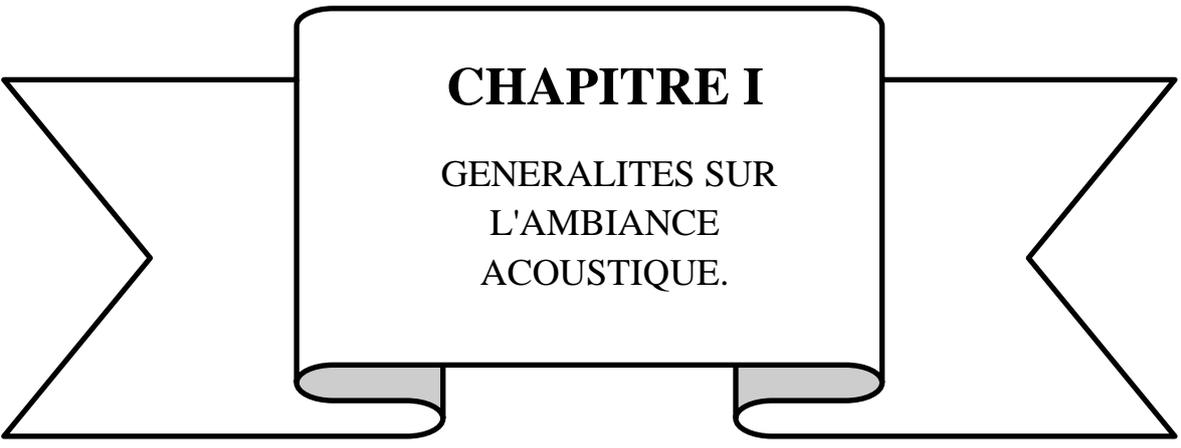
C'est par l'oreille que les bruits pénètrent au plus profond de notre organisme Ils sources de perturbation des communications et des consignes verbales, de facteurs déclenchant des accidents de travail, de perturbation psycho-physiologique et surtout de lésions de l'oreille interne avec comme conséquence une surdité professionnelle par traumatisme sonore chronique.

Donc, l'objectif de notre présent travail vise à la résolution du problème qui peut être posé de la manière suivante:

- ✓ Est-ce que les émissions sonores des différentes sources présentes dans la zone étudiée contribuent à une ambiance sonore résultante qualifiée dangereuse?
- ✓ Quelle sont les zones de dépassement réglementaire?
- ✓ Est-ce que les individus exposés dans ces zones font face à un risque auditif?
- ✓ Quelle sont les mesures à prendre afin d'assurer la sécurité des individus présents dans les zones de danger ?

Pour mener à bien notre étude d'analyse des émissions de bruit au niveau de la train de liquéfaction du complexe GL3/Z, notre travail comporte cinq chapitres présenté de la manière suivante :

- ❖ Chapitre I: Généralités sur l'ambiance acoustique.
- ❖ Chapitre II: Réglementations de bruit et Normes de mesures.
- ❖ Chapitre III: Méthodes de réduction et de contrôle de bruit industriel.
- ❖ Chapitre IV: Présentation de complexe GL3/Z.
- ❖ Chapitre V: Analyse de l'ambiance acoustique d'un train de liquéfaction de GL3/Z.



**CHAPITRE I**

GENERALITES SUR  
L'AMBIANCE  
ACOUSTIQUE.

## I.1. INTRODUCTION SUR L'ACOUSTIQUE

L'acoustique peut se définir comme la « Science du son ». Considérant « bruit » toute perturbation mécanique dans un milieu qui possède élasticité et inertie. Ces perturbations, ou oscillations de la pression d'air, sont converties en ondes mécaniques qui excitent le mécanisme auditif qui donne une « perception » [1].

Le bruit est un polluant parmi les plus fréquents et les plus menaçants. Classé quatrième sur l'échelle des pollutions après celles de l'eau, de l'air et des déchets solides et le deuxième facteur environnemental en terme de dommage sanitaire (OMS) [2], le bruit ne cesse de prendre des dimensions alarmantes et devient parfois une véritable hantise. Présent dans la quasi-totalité des secteurs d'activité économique, le bruit en milieu professionnel est en progression avec les progrès sans cesse croissants des technologies et l'utilisation à outrance d'outillages et de machines sophistiqués.

Les différents types de bruit selon Arrêté du 12 août 1975 être définis comme la (figure I.1) [3].

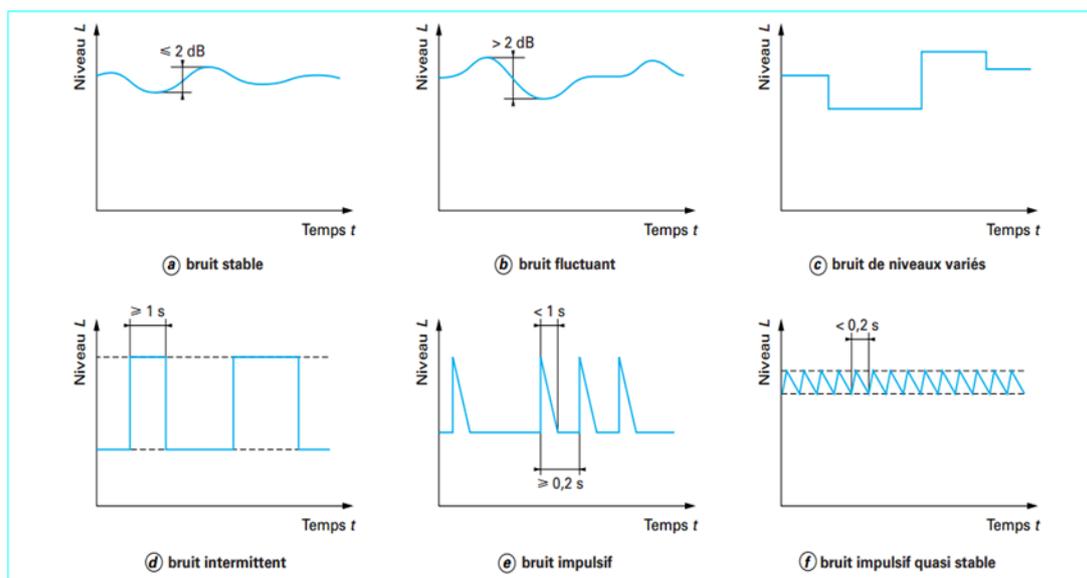


Figure I.1 : Différents types de bruits [4].

◆ **Bruit stable** : présentant des fluctuations négligeables de niveau au cours de la période d'observation (2 dB).

◆ **Bruit fluctuant** : dont le niveau varie de façon continue dans un intervalle notable au cours de la période d'observation.

◆ **Bruit de niveaux variés** : succession de bruits stables, à niveaux différents.

◆ **Bruit intermittent** : dont le niveau tombe brusquement jusqu'au niveau d'ambiance à plusieurs reprises au cours de la période d'observation, le temps pendant lequel le niveau conserve une valeur constante différente de celle du bruit ambiant étant de l'ordre d'une seconde ou plus.

◆ **Bruit impulsif** : consistant en une ou plusieurs impulsions d'énergie acoustique ayant chacune une durée inférieure à une seconde.

◆ **Bruit impulsif quasi stable** : séries d'impulsions d'amplitude comparables avec des intervalles inférieurs à 0,2 seconde entre les impulsions individuelles.

## I.2. NOTIONS FONDAMENTALES SUR L'ACOUSTIQUES [5]

Pour mieux comprendre le phénomène de l'ambiance acoustique, il a été impératif de définir sur le plan physique certaines grandeurs qui composent cette nuisance afin de mieux mener cette analyse sur les installations en question. Nous présentons dans ce chapitre les éléments nécessaires pour comprendre la nature du bruit et les différents indicateurs utilisés pour le mesurer.

### I.2.1. NATURE DES SONS (Selon AFNOR NF 530-105)

Un son est une variation de pression de l'air ambiant détecté par l'oreille humaine. Un bruit c'est tout phénomène acoustique qui produit une sensation auditive jugée désagréable ou gênante.

Les bruits peuvent avoir des caractéristiques temporelles variées. On distingue :

a) Les **bruits continus** : Ce bruit crée une nuisance durable, il concerne essentiellement les usines ou les ouvrier se trouvent soumis pendant longue heures de travail, Par exemple : Compresseurs, machines de filatures ;

b) Les **bruits intermittents** : Le niveau sonore a des variations importantes ayant pour base le niveau ambiant et se répétant à plusieurs reprises pendant un cycle de travail ;

c) Les **bruits d'impact** : Ce sont de brusques variations du niveau de bruit qui comprennent de très brefs maxima (pics) de quelques fractions de secondes suivis d'une atténuation rapide et soudain et qui se répètent avec un intervalle supérieur à une seconde selon « The American Conférence of Gouvernement Industrial Hygienists » .

### I.2.2. CARACTERISTIQUES DES ONDES

Un son est un phénomène vibratoire mécanique qui se propage d'une source au milieu élastique dans lequel elle est plongée (ici l'Air).

Les molécules d'air, au contact de la source, entrent en vibration de sorte qu'il nait une onde sonore qui transmet de proche en proche.

Elle est caractérisée par :

- Son amplitude ;
- Sa fréquence ;
- Sa phase.

L'oreille est définie comme étant un capteur qui permet de détecter une variation de pression :

$$P(t) = P_B + \Delta P(t) \quad (I.1)$$

Où  $P_B$  = Pression barométrique ;  $\Delta P(t)$  = variation de pression captée par l'oreille.

- ✓ La propagation de l'onde dans un solide donne des vibrations.
- ✓ La propagation de l'onde dans un fluide donne une onde sonore.

La vitesse de l'onde sonore est égale : Célérité. Elle est fonction de la nature des matériaux.

A titre d'exemple : La célérité dans l'air est fonction de la température et non pas de la pression, Soit :

- A 0°C la vitesse est de 331 m.s<sup>-1</sup>
- A 20°C la vitesse est de 343 m.s<sup>-1</sup>

Autres données :

**Tableau I.1 : La vitesse de l'onde sonore selon la nature des matériaux.**

Milieux	Vitesses
Eau	1440 m.s <sup>-1</sup>
Béton	2800-3200 m.s <sup>-1</sup>
Pierre	3500 m.s <sup>-1</sup>
Cuivre	4620 m.s <sup>-1</sup>
Fer	5000 m.s <sup>-1</sup>
Verre	5400 m.s <sup>-1</sup>
Acier	6110 m.s <sup>-1</sup>
Aluminium	6220 m.s <sup>-1</sup>

Pour les matériaux la vitesse est fonction de leur poids spécifiques.

### I.2.3. CHAMPS SONORES

Il existe trois types de champs (libre, diffus, et réel)

- **Champ libre** : Champ sans obstacle, la propagation des ondes se fait dans toutes les directions (Le champ libre n'existe pas en réalité) ;
- **Champ diffus** : Par opposition au champ libre les obstacles existent les ondes sont réfléchies ;
- **Champ réel** : C'est ce qui existe réellement comme champ (c'est à dire ni libre ni diffus) Intermédiaire.

### I.2.4. PRESSION ACOUSTIQUE

L'oreille est insensible à la pression atmosphérique, elle n'est sensible qu'à une variation de pression autour de la pression atmosphérique. La pression acoustique ( $P_{ac}$ ) est la différence entre la pression instantanée de l'air  $P(t)$  en présence d'ondes acoustiques, et la pression atmosphérique ( $P_{atm}$ ).

$$P_{ac} = P(t) - P_{atm} \quad (I.2)$$

- $P_{ac}$ : Pression acoustique (Pa).
- $P(t)$ : Pression instantanée (Pa).
- $P_{atm}$ : Pression atmosphérique (101300 Pa).

La pression acoustique indiquée en pascals [Pa], décrit l'amplitude du son perçu. Les mouvements des particules d'air produisent de faibles variations de pression qui se superposent à la pression atmosphérique ambiante (statique), bien plus élevée. Lors d'une excitation simple, par exemple au moyen d'un diapason, la pression acoustique oscille autour de sa pression statique, ce qui crée une oscillation acoustique sinusoïdale.

La plus petite valeur de pression acoustique à laquelle l'oreille humaine est sensible  $P_0$  est égale à  $2 \times 10^{-5}$  Pa. La valeur de pression acoustique à partir de laquelle une sensation acoustique est douloureuse est  $P_{max}$  et correspond à 20 Pa.

### I.2.5. INTENSITE ACOUSTIQUE (*watt par mètre carré (watts/m<sup>2</sup>)*) :

On appelle intensité sonore, l'énergie moyenne traversant l'unité de surface normale à la direction de la propagation, par unité de temps. Il s'agit donc de la puissance moyenne traversant l'unité de surface. On l'exprime en [Watts/m<sup>2</sup>].

L'intensité acoustique est proportionnelle :

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

L'intensité acoustique ( $I$ ) est le flux de puissance acoustique, en un point, par unité de surface (en considérant que le son se propage, suivant une sphère, dans l'espace:  $S=4\pi R^2$ ).

$$\text{Donc : } I_{ac} = \frac{\omega_{ac}(t)}{S} = \frac{\omega_{ac}(t)}{4\pi R^2} \quad (I.3)$$

- $\omega_{ac}(t)$ : puissance acoustique (Watts).
- $I_{ac}$ : intensité (Watts/m<sup>2</sup>).
- $R$ : rayon d'une sphère en un point (m).

L'intensité acoustique est proportionnelle au carré de la pression acoustique:

$$I_{ac} = \frac{P_{ac}^2}{\rho \times c} \quad (I.4)$$

- $I_{ac}$ : Intensité acoustique (Watts/m<sup>2</sup>).
- $P_{ac}$ : pression acoustique (Pa).
- $\rho$ : masse volumique de l'air (kg/m<sup>3</sup>).
- $c$ : vitesse du son ( $\cong 330$  m/s dans l'air) à 20°C.

### I.2.6. PUISSANCE ACOUSTIQUE (watts):

La puissance acoustique ( $\omega_{ac}(t)$ ) est l'énergie libérée par unité de temps par une source sonore. Exprimée en (Watts) caractérise l'émission sonore d'une source car elle est indépendante de son environnement.

Par définition, la puissance acoustique rayonnée par un élément de surface est:

$$\omega_{ac} = \oint I \cdot dS = I \oint dS = I \times S \quad (I.5)$$

D'où:

$$\omega_{ac}(t) = P_{ac}^2 \times \frac{S}{\rho \times c} \quad (I.6)$$

- $\omega_{ac}(t)$ : puissance acoustique (Watts).
- $P_{ac}$ : pression acoustique (Pa).
- $\rho$ : masse volumique de l'air (kg/m<sup>3</sup>).
- $c$ : vitesse du son ( $\cong 330$  m/s dans l'air) à 20°C.
- $S$ : surface de propagation (m<sup>2</sup>).

➤ Relation entre le décibel (dB) et  $\omega_{ac}(t)$  (Puissance acoustique) :

$$dB = 10 \text{Log} \frac{\omega_{ac}}{\omega_0} \quad (I.7)$$

Où :

- $\omega_{ac}(t)$ : Puissance Acoustique à la source ;
- $\omega_0$ : Puissance « Seuil Audibilité : 10<sup>-12</sup> watts ».

Par exemples :

#### 1- Calcul de dB avec $\omega_{acoustique} = 10^{-12}$ watt

$$dB = 10 \log \frac{10^{-12}}{10^{-12}} = 10 \log 10^0 = 0dB$$

## 2- Calcul de $\omega_{\text{acoustique}}$ avec 30dB

$$dB = 10 \log \frac{x}{10^{-12}} = 30dB \implies \log \frac{x}{10^{-12}} = 3 \implies \log x - \log 10^{-12} = 3$$

$$\log x = 3 + \log 10^{-12} \implies 10^{\log x} = 10^3 + 10^{\log 10^{-12}} \implies x = 10^{-9}$$

### I.3. NOTIONS DE BRUIT

#### I.3.1. NIVEAU DE BRUIT

Pour quantifier la force d'un bruit en utilisant l'échelle des décibels (dB), on applique la forme logarithmique:  $k \log_{10} \frac{x}{x_0}$  ; les valeurs de références sont les valeurs limites de perception auditive  $P_0, I_0, \omega_0$ .

Ce choix n'est pas arbitraire et se justifie par le fait que physiologiquement:

- Le dB est approximativement la plus petite variation de pression acoustique que l'oreille humaine est susceptible de déceler.
- La sensation auditive est proportionnelle au logarithme de l'intensité sonore.

Ainsi, les niveaux acoustiques exprimés en [dB], reflètent assez bien le niveau de bruit perçu par l'oreille humaine.

#### I.3.2. NIVEAU DE PUISSANCE ACOUSTIQUE ( $L_\omega$ ) :

Niveau de puissance acoustique est désigné par  $L_\omega$ . Le niveau de puissance acoustique est défini par:

$$L_\omega = 10 \log_{10} \left( \frac{\omega(t)}{\omega_0} \right) dB(A) \quad (I.8)$$

- $\omega(t)$  : puissance acoustique de la source (Watts).
- $\omega_0$  : La puissance acoustique de référence est de  $10^{-12}$  watts.

#### I.3.3. NIVEAU DE PRESSION ACOUSTIQUE ( $L_P$ ) :

Le niveau de pression acoustique ( $L_P$ ) est défini selon le modèle logarithmique ainsi:

$$L_P = 10 \log_{10} \left( \frac{P^2}{P_0^2} \right) = 20 \log_{10} \left( \frac{P}{P_0} \right) dB(A) \quad (I.9)$$

- P: pression acoustique efficace de l'onde sonore en Pa.
- $P_0$ : Pression acoustique de référence correspondant au seuil d'audibilité d'un son pure à 1000Hz;  $P_0 = 2 \times 10^{-5}$  Pa.

### I.3.4. NIVEAU D'INTENSITE ACOUSTIQUE ( $L_I$ )

Le niveau de pression acoustique ( $L_I$ ) est défini selon le modèle logarithmique ainsi:

$$L_I = 10 \log_{10} \left( \frac{I}{I_0} \right) \text{ dB(A)} \quad (\text{I.10})$$

- $I$ : intensité acoustique (Watts/m<sup>2</sup>).
- $I_0$ : intensité acoustique de référence  $10^{-12}$  watts/m<sup>2</sup>.

### I.3.5. MESURE DU BRUIT

La mesure du bruit n'étant pas simple car cette grandeur « bruit » est caractérisée par une intensité acoustique ou une pression acoustique que produit une source sonore en un point donné. Elle est caractérisée aussi par la sensation qu'elle provoque chez l'individu.

De cela il a été décidé de mesurer le bruit en décibel (dB) dixième partie de bel, unité portant le nom de son inventeur AMERICAIN du téléphone GRAHAM BEL.

#### I.3.5.1. DEFINITION DU DECIBEL [6]

Le décibel est la plus petite variation de niveau acoustique décelable par l'oreille. C'est aussi l'unité de l'acoustique servant à définir le niveau d'intensité acoustique ou le niveau de pression acoustique.

Or le décibel ainsi défini reste comme même difficile à mesurer par biais d'un appareil de mesure des intensités acoustiques quand une source sonore dissipe une énergie en un point, elle se propage dans le milieu sous forme de pression. L'énergie transportée par l'onde est proportionnelle au carré de la pression.

Pour représenter par un chiffre la sensation éprouvée par l'oreille humaine au même endroit que le microphone de l'appareil de mesure, il faut tenir compte des propriétés de l'oreille car celle-ci n'a pas la même sensibilité pour toutes les fréquences qui constituent le bruit.

Les filtres de pondération servent à pondérer les mesures du sonomètre en fonction des réactions de l'oreille humaine aux différentes fréquences.

Trois caractéristiques internationales ont été reconnues se sont les pondérations A, B, & C :

- La pondération « **A** » donne une approximation de la courbe d'égale perception aux faibles niveaux acoustiques ;
- La pondération « **B** » aux niveaux moyens ;
- Et la pondération « **C** » aux niveaux élevés.

Mais il semble que ce soit la pondération A qui répond le mieux aux critères selon les tests subjectifs de sortie que c'est la plus employées.

Le niveau « A » exprimé en dB(A) est celui qui a été choisi pour toutes les mesures de niveau sonores.

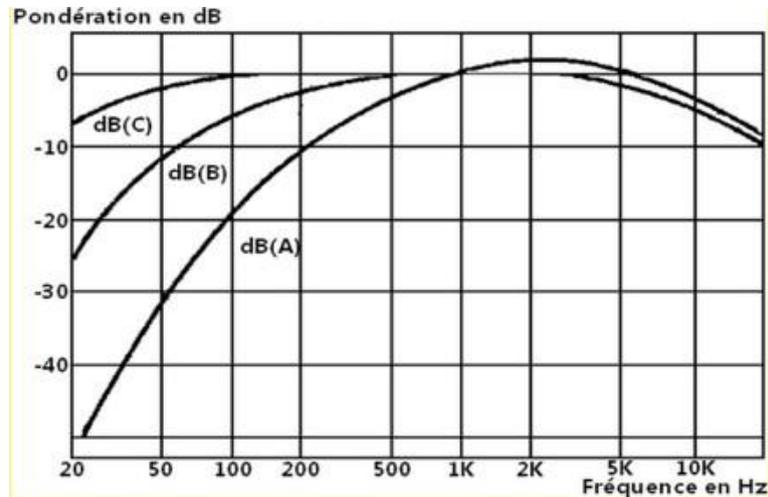


Figure I.2 : courbe de pondération [6].

### I.3.5.2.SONOMÈTRE

Un sonomètre est un instrument de mesure conçu pour répondre au son approximativement de la même façon subjective que l'oreille humaine, mais qui donne des mesures objectives, reproductives et instantanées du niveau de pression acoustique. Un sonomètre donne donc une mesure du niveau global sonore (valeur efficace) et permet, si l'on dispose d'un jeu de filtres d'octaves ou de tiers d'octave, l'analyse en fréquence dans la zone fréquentielle la plus dangereuse située entre 3000 et 5000 Hz.



Figure I.3: Image d'un sonomètre.

### I.3.5.3.ÉCHELLE DES BRUITS [6]

Il convient de noter que sans atteindre le seuil de sensation douloureuse, les bruits peuvent engendrer des nuisances ainsi entre 1000 Hz & 10000 Hz le seuil de sensation douloureuse est situé au voisinage de 100 dB à 120 dB. Mais l'exposition fréquente et prolongée à un bruit de 85 dB engendre des troubles de l'ouïe.

Nous pouvons tracer une échelle des bruits en y distinguant les différentes (trois) zones :

- Audibilité normale 1 dB à 8 dB
- Zone dangereuse 80 dB à 100 dB
- Zone douloureuse > à 120 dB

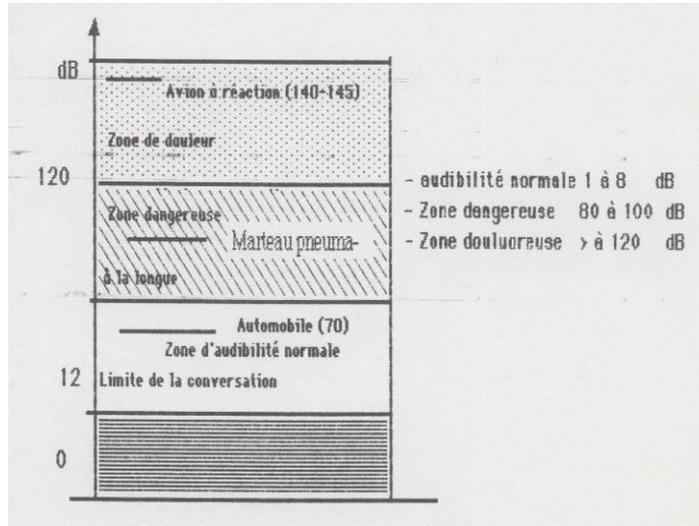


Figure I.4 : Echelle de bruit.

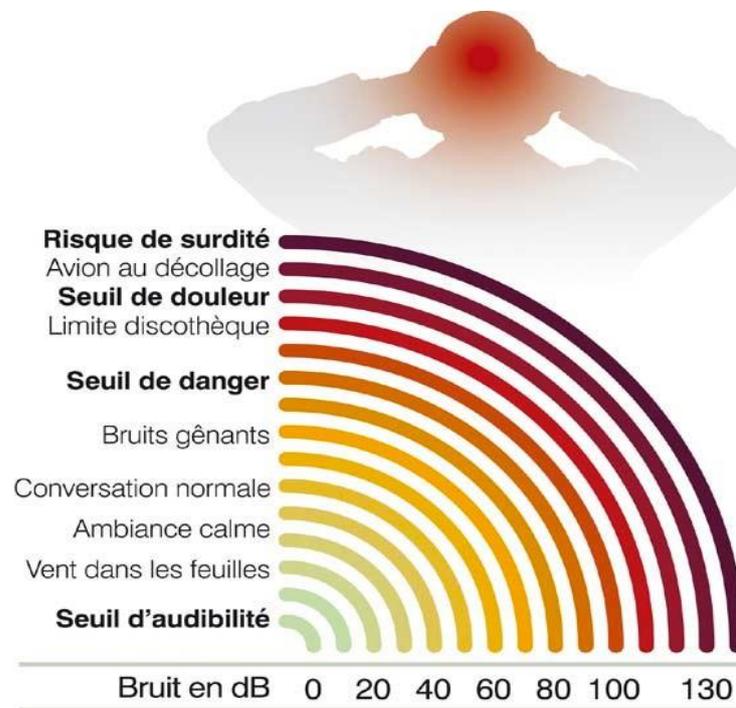


Figure I.5 : Echelle de bruit en décibel.

Tableau I.2 : Exemples de niveaux de bruit en dB(A).

Pression acoustique	Niveau de pression sonore en dB(A)	Sensation sonore	Exemple
$< 2 \cdot 10^{-5}$	$< 0$	inaudible	Chambre sourde (bruit extérieur)
$2 \cdot 10^{-5}$	0	Seuil d'audibilité	Test audiométrique
$6,3 \cdot 10^{-5}$	10	Très calme	Studios d'enregistrement
$2 \cdot 10^{-4}$	20	Très calme	Grottes, camps de neige
$6,3 \cdot 10^{-4}$	30	calme	Chambre à coucher
$2 \cdot 10^{-3}$	40	calme	Bureau calme
$6,3 \cdot 10^{-3}$	50	modéré	Bureau
$2 \cdot 10^{-2}$	60	Gênant W intellect	Parole normal à 1 mètre
$6,3 \cdot 10^{-2}$	70	Assez fort	Rue passagère atelier de confection
$2 \cdot 10^{-1}$	80	Fort	Hall de gares, atelier de presse
$6,3 \cdot 10^{-1}$	90	Seuil lésionnel	Atelier de mécanique
2	100	Très intense	Atelier de presse, verrerie
6,3	110	inaudible	Atelier de chaudronnerie
20	120	Assourdissant	Marteau piqueur
63	130	Seuil douleur	Réacteur d'avion, banc d'essai de moteur
$2 \cdot 10^2$	140	Douloureux	
$6,3 \cdot 10^2$	150	Très douloureux	

#### I.3.5.4. OPERATIONS SUR LES NIVEAUX ACOUSTIQUES [7]

De par leur nature logarithmique, les niveaux de bruit en décibels ne s'ajoutent pas linéairement. Il faut revenir aux valeurs physiques (P, I) qui caractérisent l'excitation, ils sont combinés en sommant les énergies de chacun. Ce critère s'applique aussi aux doses quotidiennes de bruit, définis par un niveau de bruit et une durée d'exposition.

Lorsqu'une ou plusieurs sources engendrent, séparément, des ondes sonores dont les pressions acoustiques sont  $P_1(t)$ ,  $P_2(t)$ , ...,  $P_n(t)$ , la pression résultante au point de réception est égale à la somme des pressions composantes :  $P(t) = P_1(t) + P_2(t) + \dots + P_n(t)$

Lorsque deux bruits se composent de manière énergétique, le niveau de pression résultante est plus complexe. Si l'on veut additionner deux ou plusieurs bruits, on ne peut le faire qu'en revenant à l'expression des puissances qui, seules, s'additionnent.

En effectuant la transformation en énergie on obtient:

$$L_{P1+2+\dots+N} = x + 10\log_{10} \left( 10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_N}{10}} \right) \quad (\text{I.11})$$

$$L_i = 10\log_{10} \left( \frac{I}{I_0} \right) \Leftrightarrow \frac{I}{I_0} = 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (\text{I.12})$$

Après avoir fait les calculs sur les valeurs physiques (P ou I) on revient aux décibels en utilisant leurs définitions correspondantes, par exemple:

$$L_1 + L_2 = 10\log_{10} \left( \frac{I_1}{I_0} + \frac{I_2}{I_0} \right) = 10\log_{10} \left( 10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} \right) \quad (\text{I.13})$$

Cette méthode d'addition de niveau sonore en terme d'énergie introduit le niveau sonore équivalent  $L_{eq}$ , qui représente la quantité d'énergie total reçu en présence de plusieurs sources de contribution acoustique différente; et le niveau d'exposition continu pendant une période de temps t,  $L_{ex,t}$  ou  $L_{eq,t}$ , qui représente la quantité énergétique total issu de plusieurs niveau sonore non continue pendant le temps étudié.

**Remarque:** Dans le cas de deux sources identiques se trouvant à égale distance d'un point d'observation et engendrant respectivement un niveau de pression acoustique égal à x dB, on trouve:

$$L_{P1+2} = x + 10\log_{10} (2) = x + 3dB \quad (\text{I.14})$$

Cette formule est appelé «règle de 3dB».

Dans le cas de N sources identiques se trouvant à égale distance d'un point d'observation et dont les fonctionnements respectifs engendrent à cet endroit un niveau de pression acoustique de x dB, la formule peut être généralisée comme suit :

$$L_{P1+2+\dots+N} = x + 10\log_{10} N \quad (\text{I.15})$$

Dans le cas de N sources non corrélées engendrant des niveaux de pression acoustique différents à l'endroit du point d'observation, la formule est la suivante :

$$L_{P1+2+\dots+N} = x + 10\log_{10} \left( 10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_N}{10}} \right) \quad (\text{I.16})$$

Le niveau obtenu est le niveau de pression acoustique équivalent de toutes les sources d'émission sonore.

#### I.3.5.4.A. ADDITION DE N BRUITS : (*Par la méthode graphique*) [5]

Le bruit ne se somme pas !

Ne jamais faire de mesure dans un champ unidirectionnel (du fait que la mesure sera faible). L'onde va subir des réverbérations qui arrivent de différents endroits :

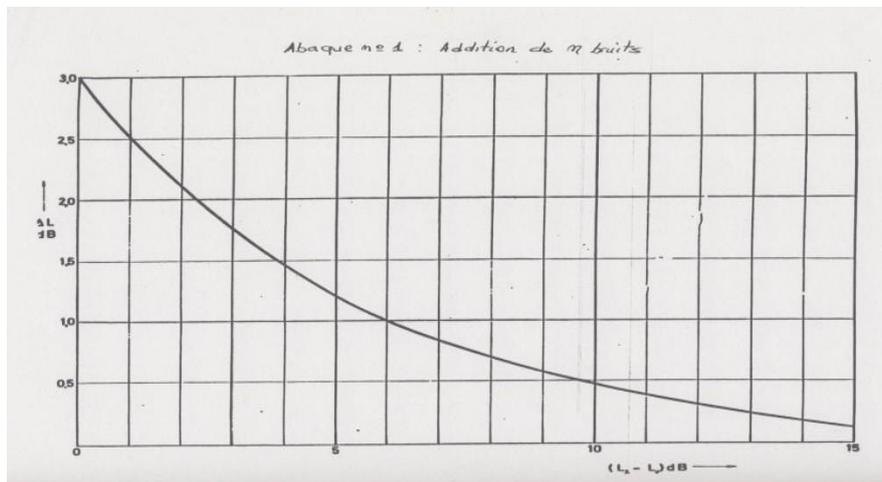
A titre d'exemple, on prend 3 sources:

$$*/ S1 = 90 \text{ dB}$$

$$*/ S2 = 87 \text{ dB}$$

$$*/ S3 = 81 \text{ dB}$$

Utilisation de la table (méthode graphique), voir figure (I.6) ci-dessous :



**Figure I.6: Abaque 1 Addition de n bruits.**

$$1) S1 - S2 = 90 - 87 = 3 \text{ dB} : \text{ Sur abaque 3dB correspond à } 1,75 \text{ dB}$$

$$\text{Soit: } S' = S1 + 1,75 \text{ dB}$$

$$S' = (90 + 1,75) \text{ dB} = 91,75 \text{ dB}$$

$$2) S' - S3 = (91,75 - 81) \text{ dB} = 10,75 \text{ dB} : \text{ Sur l'abaque } 10,75 \text{ dB correspond à } 0,4 \text{ dB}$$

$$\text{Soit: } S'' = S' + 0,4 \text{ dB}$$

$$S'' = (91,75 + 0,4) \text{ dB} = 92,25 \text{ dB}$$

Le bruit total de ces 3 sources S1, S2 et S3 est égale à 92,25 dB.

### I.3.5.4.B. SOUSTRACTION DE N BRUITS : (Par la méthode graphique) [5]

Le problème est de déterminer le niveau acoustique d'une seule machine d'un atelier bruyant contenant plusieurs machines. Ceci revient à définir le bruit de fond et le bruit de la machine (voir Figure I.7 ci-dessous) :

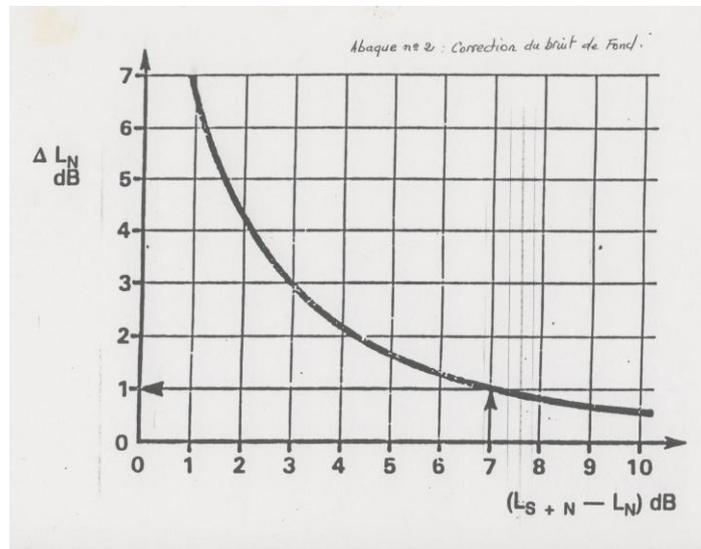


Figure I.7 : Soustraction de n bruits

A titre d'exemple, Le bruit total d'un atelier est de  $S1 = 83$ dB

Le bruit de fond est de  $S2 = 74$  dB (a l'arrêt des machines) Application de la méthode graphique ; correction du bruit de fond, Soit :

$$S1 = 83 \text{ dB (niveau total)} \quad S2 = 74 \text{ dB (bruit de fond)}$$

$$S1 - S2 = 83 - 74 = 9 \text{ dB}$$

Sur le graphe, elle correspond : 9 dB : 0,75dB.

Le bruit des machines sera égal :

$$S' = 83 - 0,75 = 82,25 \text{ dB}$$

**Remarque :** Le calcul de soustraction et d'addition des bruits n'est valable que dans le cas d'un atelier comportant plusieurs machines et qu'on peut démarrer une par une.

Le résultat de la soustraction s'obtient en calculant la différence linéaire entre les deux niveaux de pression acoustique, en déterminant ensuite la valeur correspondant à cette différence sur l'axe des ordonnées et en soustrayant enfin cette valeur du plus élevé des deux niveaux de pression acoustique.

### I.3.5.5. AUDITION

L'oreille n'entend pas les bruits de toutes les fréquences. En dessous de 20 Hz, le bruit n'est pas perçu par l'oreille quel que soit l'intensité, il s'agit alors d'infrasons.

De 20 Hz à 20000 Hz il s'agit de fréquences acoustiques (zone d'audibilité).

Au-delà de 20000 Hz on entre dans le domaine des ultrasons auquel l'oreille est insensible.

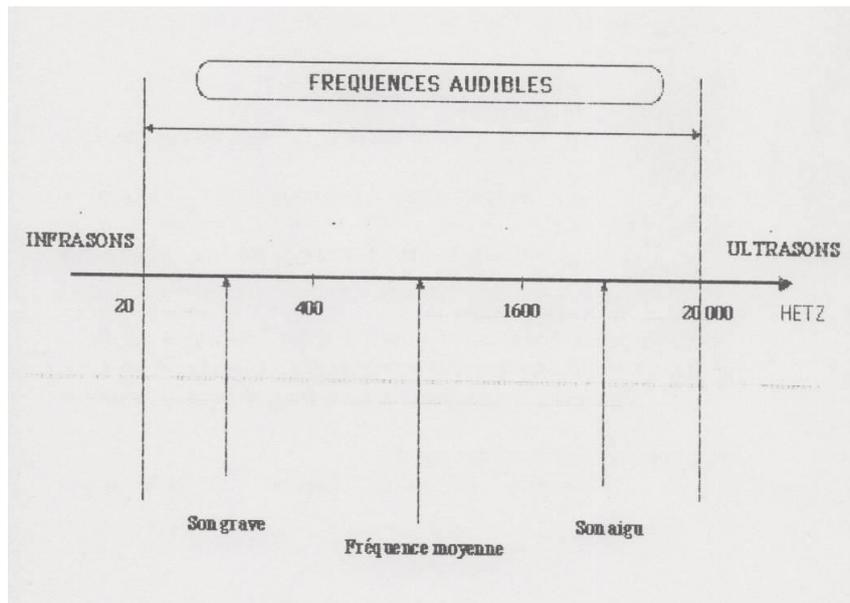


Figure I.8: fréquences audibles pour l'être humaine [8].

### I.3.6. SYSTEME AUDITIF

#### I.3.6.1. ANATOMIE DE L'OREILLE HUMAINE

L'oreille comprend trois parties ayant des fonctions distinctes d'inégale importance :

- L'oreille externe : Conduit le son dans le canal auditif après le passage du pavillon ;
- L'oreille moyenne : Transforme les ondes sonores du tympan à la fenêtre ovale via la chaîne des osselets ;
- Et l'oreille interne : Transforme les ondes sonores (mécaniques) en influx nerveux. Ce processus s'effectue dans un petit organe connu sous le nom de cochlée.

**❖ OREILLE EXTERNE**

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

Elle se compose de :

- D'un pavillon constitué d'un cartilage recouvert de peau qui n'intervient guère dans la qualité d'audition ;
- D'un conduit auditif externe qui est un canal rempli d'air d'un centimètre (1cm) de diamètre et de 2,5 cm de longueur
- D'un tympan, membrane circulaire dont le rôle physiologique est important qui est celui de la membrane d'un microphone.

**❖ OREILLE MOYENNE**

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

Elle se compose de :

- De la caisse du tympan creusée dans un os très dur (le rochet). Elle est remplie d'air et n'est en communication avec l'extérieur que par la trompe d'Eustache, canal étroit et long ;
- Des osselets (le marteau, l'enclume et l'étrier) qui constituent en quelque sorte un transmetteur d'impédance qui amortit les sons.

**❖ OREILLE INTERNE**

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

L'oreille interne se divise en deux parties :

- La cochlée qui comprend trois canaux distincts (Rampe tympanique, cochléaire, vestibulaire) enroulés en spirale.

Le liquide de rampe vestibulaire reçoit des vibrations transmises par les osselets et engendre les déplacements de fenêtre située à l'extrémité de la rampe tympanique ;

Les vibrations liquidiennes d'origine sonore déforment la rampe cochléaire, ce qui entraîne l'influx nerveux entre une électrode placée au voisinage de la rampe cochléaire et une électrode indifférente, ainsi on peut recueillir au cours de l'audition d'un son, une différence de potentiel de l'ordre du millivolt.

- Le vestibule est une partie réceptrice de l'appareil d'équilibration.

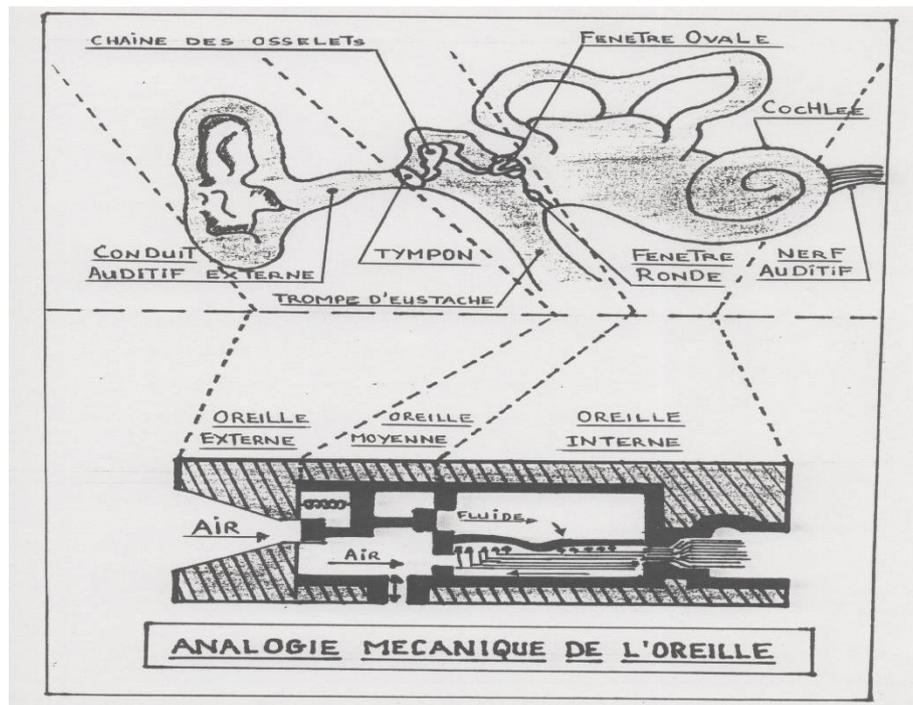


Figure I.9 : Analogie mécanique de l'oreille.

### I.3.7. EFFETS DU BRUIT

Il y a deux types effets qui sont : *Effets aigus et Effets chroniques*

#### I.3.7.1.EFFETS AIGUS

Les effets aigus sont ressentis quand :

- Un bruit intense (exemple : arme à feu) va déterminer des lésions de l'oreille interne (Organe du corti) ;
- Au niveau de l'oreille, quand une onde de choc se produit suite à une explosion, la compression des molécules d'air est considérable et très bref ( $< 10^{-5}$  seconde), le tympan va répondre à cette onde par un déplacement de grande amplitude qui peut provoquer sa rupture.

### I.3.7.2.EFFETS CHRONIQUES

#### ➤ *Sur l'audition*

La réduction de l'audition induite par le bruit peut être temporaire ou permanente. Les hypoacusies temporaires sont dues à des expositions de courtes durées avec un retour à la normale après une période de repos. Cette perte temporaire de l'audition est appelée (*Temporary THreshold Shift*. « *TTS* »).

*Par exemple* : Si une personne avec une ouïe normale travaille toute une journée dans un environnement bruyant, des mesures en fin de journée vont montrer une diminution de l'audition par rapport au début de la journée. Le lendemain matin, l'audition sera revenue à la normale, mais suite à des expositions de plusieurs années au bruit, on constate un dommage permanent aux cellules sensorielles de la cochlée couvrant une atteinte de la cochlée ou du nerf auditif est appelé neuro-sensorielle et provoque une perception altérée de l'intelligibilité aussi bien que de l'intensité (surdité de perception), même s'ils sont amplifiés, les sons semblent indistincts. La perte d'audition neuro-sensorielle est irréversible.

La perte d'audition induite par le bruit est du type surdité de perception, elle est caractérisée par une source de sensibilité aux hautes fréquences (plus de 2000 Hz) la perte, qui apparaît d'abord est plus sévère pour les fréquences de 4000 Hz.

Si l'exposition aux bruits continus, la perte s'étend à d'autres fréquences (500 Hz à 6000 Hz) et se traduit par un manque de compréhension de la parole. Les individus dont l'ouïe est altérée par le bruit sont frustrés de message d'information nécessaire dans la vie sociale.

Si ces individus se trouvent placés en plus dans le bruit de fond, ils peuvent encore moins bien distinguer les sons émis par leur interlocuteur (émission de radio, de TV, en bruit de fond).

#### ➤ *Sur d'autres systèmes*

Diverses études ont impliqué le bruit comme un des facteurs étiologiques des maladies liées aux stress, notamment l'hypertension, les ulcères, les désordres neurologiques, les accidents cardio-vasculaires.

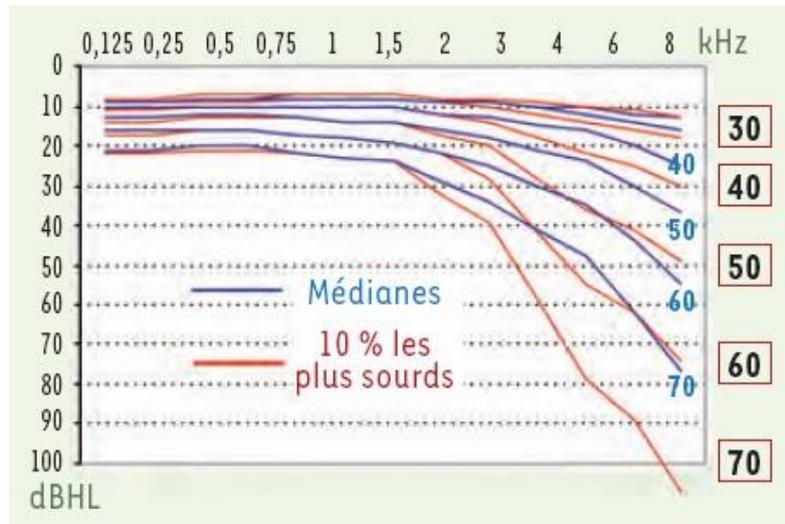


Figure I.10 : Audiogrammes de référence chez l'homme [9].

Ces audiogrammes ont été tracés à partir des équations données dans la norme ISO 7029. Les courbes bleues correspondent aux tracés médians. Les courbes rouges correspondent aux audiogrammes des 10 % les plus sourds de la population de référence ontologiquement normale. Les audiogrammes de la population féminine (non tracés ici) montrent que les femmes résistent mieux à la presbycusie. Schématiquement, leurs courbes audiométriques correspondent à celles des hommes ayant dix ans de plus.

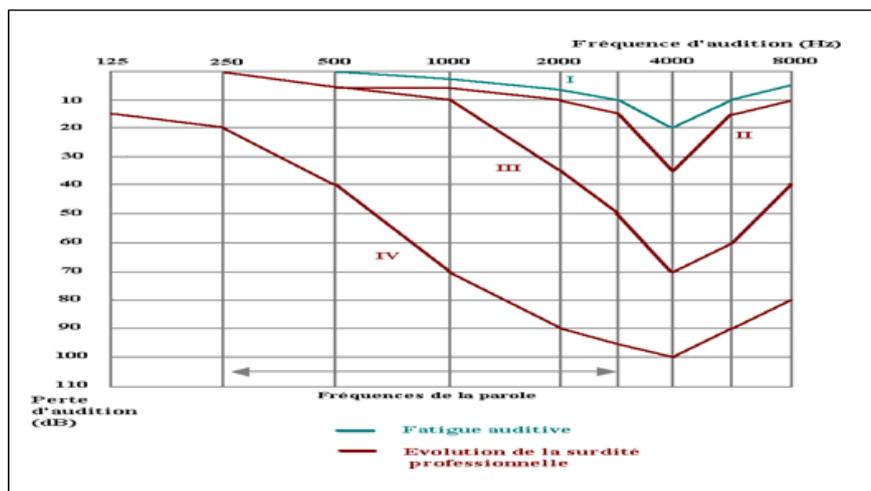


Figure I.11 : Courbes audiométriques montrant l'évolution de la surdité professionnelle [9].

### I.3.7.3. CRITERES DE BRUIT

La nocivité du bruit dépend de plusieurs paramètres :

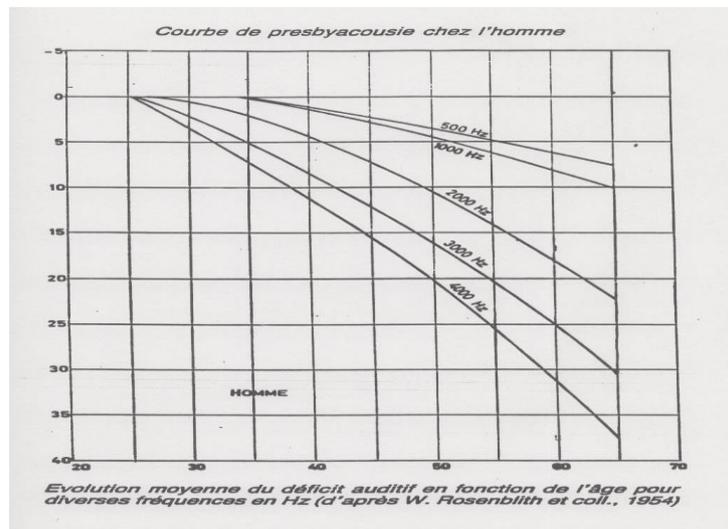
- **La fréquence** : Les bruits aigus dont la fréquence est supérieure à 1000 Hz sont plus nocifs que les bruits graves.

• **L'intensité** : Plus l'intensité du bruit est considérable, plus l'oreille se détériore rapidement et se produit la surdité professionnelle. Quand le bruit dépasse les 120 dB, le travailleur exposé ressent une sensation de douleur.

• **La durée** : Plus la durée est longue, plus le danger est élevé. Un bruit intense provoque des lésions auditives importantes en une courte durée contrairement à un bruit faible qui peut entraîner les mêmes lésions mais en un temps plus long.

• **L'émergence** : Un bruit très intense apparaissant brusquement (soudainement) sans que la personne ne s'y attende à un effet traumatisant. Les bruits impulsifs de très courte durée sont plus nocifs que les bruits continus.

### I.3.8. MESURE DE DEFICIT AUDITIF



**Figure I.12 : Evolution moyenne du déficit auditif en fonction de l'âge pour diverse fréquences (d'après W. Rosenblith et Coll, 1954).**

Les tests auditifs se font par **audiométrie** : On mesure le seuil d'audition d'une personne à plusieurs fréquences choisies normalisés (ISO).

L'instrument de mesure est un **audiomètre** : Il faut savoir que la ligne de base (courbe 0) de l'audiométrie correspond à la courbe d'isonomie « 0 ».

Pour une fréquence donnée, on part d'un niveau sonore très bas, inaudible, on augmente alors le niveau sonore jusqu'à ce que la personne testée signale qu'elle perçoit le son. On dessine alors un point correspondant à ce niveau pour la fréquence choisie. Ce point correspondant au seuil d'audibilité pour cette fréquence.

Lorsqu'on obtient les points seuils pour les différentes fréquences, on les relie entre eux et on a ainsi un tracé appelé **audiogramme** qui est comparé à la courbe réputée normale. Il faut aussi tenir compte du fait que l'audition diminue avec l'âge.

La formule pour le calcul du déficit auditif moyen (perte moyenne) est :

$$\text{Perte moyenne en dB} = (\text{perte en dB à 500 Hz} + \text{perte en dB à 1000 Hz} + \text{perte en dB à 2000 Hz} + \text{perte en dB à 4000 Hz})/4 \quad (\text{I.11})$$

Le calcul peut se faire sur les deux oreilles, l'examen audiométrique se pratiquera après une interruption de l'exposition traumatismale sonore. L'examen clinique de l'oreille visera à rechercher les limites que peuvent constituer une contre-indication à l'exercice d'un métier bruyant.

### I.3.9. SURDITE PROFESSIONNELLE [7]

Elle est consécutive du traumatisme sonore chronique, c'est une maladie professionnelle reconnue par la législation (MP n°42), maladie invalidante et incurable. Elle atteint les deux oreilles : Il s'agit de lésions de l'oreille interne. L'atteinte porte sur les fréquences aiguës plutôt que les fréquences graves.

Elle évolue en quatre phases

- Les deux premiers stades passent inaperçus pour la maladie ;
- Les deux autres stades s'expliquent par des troubles dus au bruit qui sont notamment : La fatigue auditive, les maux de tête, les vertiges, l'insomnie, l'irritabilité, le nervosisme et enfin l'anxiété.

Par ailleurs, il peut occasionner des troubles digestives avec perte de l'appareil et douleurs gastriques. On note aussi des perturbations cardio-vasculaires, une élévation de tension artérielle en accélérant le rythme cardiaque.

Donc la surdité professionnelle est une atteinte permanente (irréversible), non apparente et qui peut être acquise précocement après quelques années d'exposition au bruit.

L'exposition prolongée à des niveaux de bruits intenses détruit peu à peu les cellules ciliées de l'oreille interne.

Elle conduit progressivement à une surdité irréversible. L'exposition à certains solvants, dits *oto-toxiques*, peut amplifier ce phénomène. Aujourd'hui, on ne sait pas soigner la surdité.

L'appareillage par des prothèses électroniques se contente d'amplifier l'acuité résiduelle, il ne restitue pas la fonction auditive dans son ensemble. Son efficacité reste donc limitée.

**❖ EVOLUTION DE LA SURDITE PROFESSIONNELLE**

La surdité professionnelle a été divisée en quatre stades par l'auteur Maduro-Lallemand-Tomatis (voir figure I.13 ci-dessous). Les quatre stades sont définis comme suit :

- Stade 1 : Déficit transitoire ;
- Stade 2 : Période de latence totale ;
- Stade 3 : Période de latence subtotale ;
- Stade 4 : Période de surdité manifeste, infirmité.

➤ **Stade 1 de Déficit transitoire** : Le début d'exposition au bruit se manifeste par une perte d'audition temporaire en fin de journée qui peut atteindre les 50dB sous forme d'un pic à 4000Hz. La perte d'audition temporaire peut s'atténuer par un repos hors du bruit, les phénomènes d'adaptation jouent pendant cette période.

➤ **Stade 2 de latence totale** : Après un mois d'exposition régulière, les déficits s'installent de façon définitive, d'abord centrés sur les fréquences de 4000Hz et ils peuvent atteindre 20 dB à 70 dB, le reste de la courbe est normale au début puis le déficit s'étend sur les fréquences graves pour atteindre les 1500Hz en une période variant de 2 ans à 20ans. Cette période ne produit toujours aucun trouble de sensibilité dans le domaine de la parole.

➤ **Stade 3 de latence subtotale** : A ce stade-là, commence le trouble de perception de la parole car l'atteinte cochléaire descend en dessous de 1500Hz de sorte que la voix chuchotée n'est pas perçue, la voix normale est entendue mais il y a des troubles de compréhension en raison de la déformation des lettres. La personne concernée a conscience de sa surdité étant donné que la fréquence de 1000Hz est atteinte. Ce stade est capital à saisir pour retirer la personne du milieu bruyant dangereux. En effet une fois le sujet est retiré du bruit, l'évolution s'arrête.

➤ **Stade 4 : d'infirmité** : La conversation devient difficile car la fréquence de 500Hz est atteinte, le déficit est généralisé sur les fréquences allant de 500Hz à 8000Hz

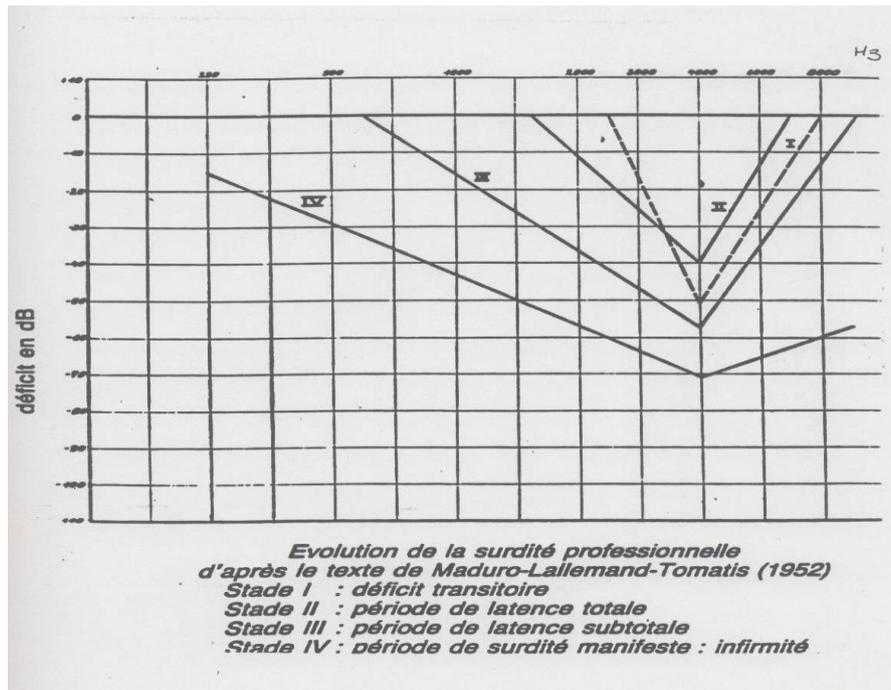


Figure I.13 : Evolution de la surdité professionnelle d'après le texte de Maduro-Lallemand-Tomatis.

### I.3.10. CARTE DE BRUIT

Une carte de bruit est une représentation graphique linéaire, en 2 ou 3 dimensions, de la situation acoustique, sur la base de ce principe, toute information relative au bruit et reportée sur une carte peut donner une «carte de bruit». Sur cette carte les niveaux sonores peuvent être indiqués par des chiffres situés sur le plan aux endroits où ils ont été mesurés, par des courbes iso-valeurs, ou par un code couleur échelonné en fonction du niveau, par exemple du bleu vers le rouge lorsque le niveau va croissant.

Dans le but de délimiter les zones bruyantes d'un milieu industriel, les entreprises dont le niveau sonore dépasse les 85 dB(A) doivent produire obligatoirement une carte de bruit [5].

#### ❖ *Méthodologie*

A. Réaliser un plan de l'entreprise ou d'un atelier :

- a) Cadrer le local en maille
- b) Localiser les sources influentes
- c) Noter les protections des anti-bruits

B. Enquêter sur :

- a) Les appréciations subjectives ;
- b) Le comportement des gens vis-à-vis de l'ambiance bruyante.

C. Recenser :

- a) L'évaluation du temps ;
- b) Les durées d'exposition ;
- c) Les indices sonores utiles ;
- d) Le besoin en communication.

D. Mesurer : où ?

- a) Au centre du quadrillage *quand* ?

Quand l'activité de l'atelier où l'entreprise est normale, habituelle (noter les sources d'activité) :

- b) En décibel A (dB(A)) ;
- c) A la hauteur de l'oreille.

### **I.3.11. CONTROLE DU BRUIT EN MILIEU INDUSTRIEL**

Afin de contrôler le bruit. Il faut considérer certains points de façon analytique et physique. Ces points sont les suivants :

- Détection des sources de bruit
- Le mécanisme de production du bruit par ces sources
- Les voies de transmission sonore
- Le niveau sonore à l'emplacement d'un auditeur.

#### **➤ POURQUOI ETABLIR LES NORMES**

- Limiter la gêne au sens large (loi anti-pollution) ;
- Garantir l'intelligibilité de la parole (travail meilleur, plus agréable et plus sûr) ;
- Éviter les altérations de l'ouïe ;
- Limiter les effets psychomatique (irritation du système nerveux végétatif) tandis que parfois il est souhaitable de percevoir certains bruits.

#### **➤ NORMES VALEURS LIMITES**

La pratique nous apprend que les critères et les valeurs limites fixées aux niveaux sonores sont basées sur :

- La prévision et la limitation des lésions auditives (gêne physiologique) ;
- L'amélioration de l'intelligibilité de la parole (gêne fonctionnelle) ;

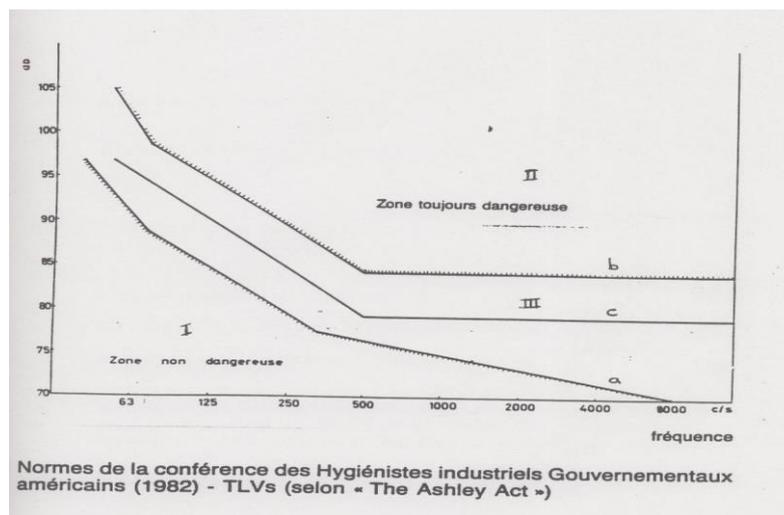
- La prévention ou la limitation de la gêne au sens large (gêne psychologique et/ou sociale de l'environnement professionnel et privé.

### ➤ CRITERES DES NORMES VALEURS LIMITES

- **Premier critère** : Limite acceptable du bruit industriel, recommandation de la commission technique d'étude de bruit du ministère de la santé publique. (Loi du 17 Mars 1961(français)).

Cette commission technique a retenue au cours de sa séance une courbe de niveau de bruit en fonction des fréquences donnant les valeurs qu'ils conviendraient de ne pas dépasser pour une exposition à un bruit complexe pendant une durée de huit heures. Ces valeurs étant considérées non lésionnelles pour une oreille normale.

La comparaison des résultats des travaux effectués dans ce domaine, tant en France que d'autres pays, montre que les courbes proposées par les différents auteurs sont toutes comprises entre les limites. Celles-ci définissent trois zones (figure I.14 ci-dessus) :



**Figure I.14 : Normes de la conférence des hygiénistes industriels Gouvernementaux américains (1982) – TLVs (Selon « The Ashley Act »)**

- Zone 1 : Située au-dessus de la courbe la plus basse (courbe a) ; les niveaux sonores compris dans cette zone peuvent être considérés comme non dangereux, soit non gênants ;
- Zone 2 : Située au-dessus d voire (la courbe la plus élevée (courbe b) ; les niveaux sonores compris dans cette zone considérée comme dangereux ;
- Zone 3 : Située entre les deux courbes (a et b). La courbe c retenue par la commission, qui se situe sensiblement dans l'axe de la zone 3 a été déterminée à partir de considérations d'ordres physiologique. Elle constitue en quelque sorte « la côte d'alarme » préconisée par la commission.

• **Deuxième critère** : Limites des bruits dangereux, recommandation relative aux limites de bruits dangereux pour audition en lieu de travail. Adaptée par la commission technique d'étude du bruit au cours de ses séances. Pour une exposition permanente (40Hs/semaine) en un poste de travail à un niveau de bruit stationnaire et sans chocs ni impulsions, le bruit étant mesuré en niveau pondéré avec un appareillage correspondant à la norme AFNOR relative aux sonomètres de précision réglé « réponse lente » :

- Le niveau sonore de 85 dB(A) doit être pris comme côte d'alerte pour une surveillance du niveau de bruit ;
- Le niveau sonore de 90 dB(A) doit être pris comme côte de danger : au-delà de ce niveau, il apparaît un risque appréciable de surdité professionnelle, croissant avec le niveau et le nombre d'année de travail.

On doit dans ce cas-là, d'une part effectuer un contrôle audiométrique périodique du personnel, d'autre part entreprendre toute action visant à diminuer le bruit ou la durée d'exposition, ou améliorer la protection des travailleurs.

Les limites d'exposition sont fixées dans l'esprit que presque tous les travailleurs peuvent travailler en dessous d'elles sans effet nocif sur leur capacité à entendre et à comprendre les fréquences conversationnelles.

Les durées d'exposition ne devront pas excéder les valeurs suivantes :

**Tableau I.3 : Durée de l'exposition journalière correspondante aux Pressions acoustiques avec filtre d'atténuation.**

<i>Pression acoustique avec filtre d'atténuation A dB(A)</i>	<i>Durée de l'exposition journalière (en heure)</i>
80	16
90	8
95	4
100	1
105	0,5
115	0,125

Aucune exposition à un bruit continu de plus de 115 dB(A) ne peut être permise.

### ➤ NOTION DE GENE

Elle s'explique par les difficultés relatives à la communication de la parole : Le bruit est à l'origine des difficultés dans la transmission et réception du message oral : Réduction d'intelligibilité du langage et effet de masque. Cet effet du bruit résulte de la superposition au langage des bandes de fréquences contenues dans le bruit, surtout celles qui sont situées entre 1000Hz et 3000 Hz, sont importantes à l'intelligibilité du langage.

### ➤ NORMES ISO

On établit la valeur de l'indice d'évaluation « N » en mesurant le niveau sonore aux fréquences 500 Hz, 1000 Hz, 2000Hz, l'indice « N » est la valeur la plus élevée de ces trois mesures. On se rapporte alors au tableau (I.4) ci-dessous pour connaître la distance maximale d'intelligibilité de la parole soit pour la voix normale ou la voix élevée.

*Tableau I.4 : distance d'intelligibilité de la parole.*

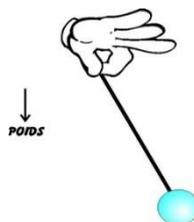
<i>Indice d'évaluation du bruit « N » en dB(A)</i>	<i>Distance maximale d'intelligibilité de la parole à voix normale en mètres</i>	<i>Distance maximale d'intelligibilité de la parole à voix élevée en mètres</i>
40	7	14
45	4	8
50	2,2	4,5
55	1,3	2,5
60	0,7	1,4
65	0,4	0,8
70	0,2	0,4
75	0,13	0,25
80	0,07	0,18
85	////	0,08

## I.4. NOTIONS DE VIBRATION

Les vibrations, dans un équipement motorisé, sont l'oscillation ou le mouvement d'avant en arrière des machines et des composants, comme les moteurs d'entraînement, les appareils à entraînement (pompes, compresseurs, etc.), ainsi que les roulements, arbres, engrenages, courroies et autres éléments qui composent les systèmes mécaniques [10].

### I.4.1. NOTIONS FONDAMENTALES [11]

La plupart des mouvements qui se répètent dans le temps sont appelés vibrations ou oscillations. Le balancement d'une pendule est un exemple typique de mouvement vibratoire (voir Figure (I.15) ci-dessous). La théorie des vibrations étudie les mouvements oscillatoires des corps et les efforts qui leurs sont associées.

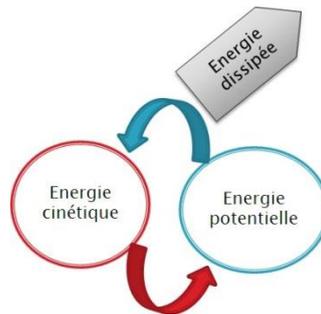


*Figure I.15 : Pendule simple [11].*

En général, comme l'illustre la figure (I.16) ci-dessous, un système vibratoire comprend un moyen pour stocker l'énergie potentielle (élasticité), un moyen pour stocker l'énergie cinétique (masse ou inertie) et un moyen qui graduellement dissipe l'énergie (amortissement).

Les vibrations d'un système impliquent le transfert de son énergie potentielle en une énergie cinétique et l'énergie cinétique en énergie potentielle de manière alternative.

Si le système est amorti, son énergie est dissipée à chaque cycle de vibration et doit être remplacée par une source extérieure si l'état de vibration stationnaire doit être maintenu.



*Figure I.16 : La balance d'énergie dans un système vibratoire [11].*

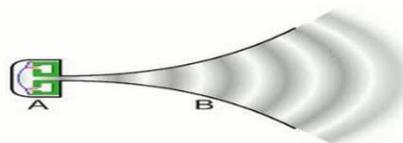
#### I.4.1.1.DÉFINITION DE VIBRATION

Les vibrations sont les oscillations mécaniques d'un objet près de son point d'équilibre. Les oscillations peuvent être régulières, comme le mouvement d'un pendule, ou aléatoires, comme le mouvement d'un pneu sur un chemin en gravier. L'étude des effets des vibrations sur la santé fait appel à la mesure des « ondes de compression » globales qui sont générées par la structure ou l'équipement vibrant [12].

#### I.4.1.2.CARACTÉRISTIQUES DES VIBRATIONS [12]

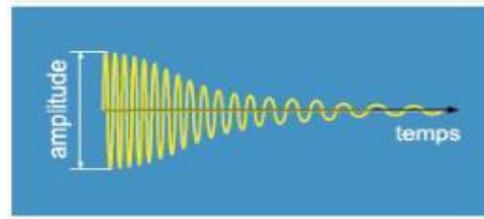
Les caractéristiques des vibrations sont :

- **Sa fréquence** : La fréquence correspond au nombre de fois que l'objet oscille pendant une seconde. Le symbole de la fréquence est «  $f$  ». La fréquence est exprimée en Hertz (Hz).



*Figure I.17 : Oscillation d'une lame autour de sa position d'équilibre.*

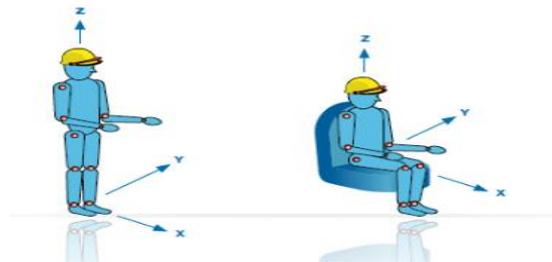
- **Son amplitude** : L'amplitude est la distance comprise entre les positions extrêmes entre lesquelles se déplace l'objet vibrant. L'amplitude est exprimée en mètre (m).



**Figure I.18 : Amplitude de vibration.**

- **Son accélération** : L'accélération se calcule en fonction de l'amplitude et de la fréquence du mouvement d'oscillation. Elle évolue proportionnellement avec ces deux facteurs. L'accélération est exprimée en  $m/s^2$ .

- **La direction** : Les vibrations peuvent se propager selon trois axes de translation et trois axes de rotation. Dans le cas de personnes assises, les axes de translation sont l'axe x (avant-arrière), l'axe y (latéral) et l'axe z (vertical). Les rotations autour des axes x, y et z sont désignées par  $r_x$  (roulis),  $r_y$  (tangage) et  $r_z$  (lacet). Les vibrations sont mesurées d'ordinaire aux interfaces entre le corps et l'élément vibrant.



**Figure I.19 : Propagation des vibrations selon les axes de translation et axes de rotation.**

- **La durée d'exposition** : Les réactions de l'organisme aux vibrations dépendent de la durée totale de l'exposition. Si les caractéristiques de la vibration ne subissent pas de variations dans le temps, la valeur efficace de l'accélération fournit une mesure commode de son amplitude moyenne.

Un simple chronomètre suffit dans ce cas pour déterminer la durée de l'exposition. Si, par contre, les caractéristiques des vibrations varient dans le temps, l'amplitude moyenne mesurée dépendra de la période de mesure.

On considère, par ailleurs, que la valeur efficace de l'accélération sous-estime la sévère des mouvements qui comportent des chocs ou sont transitoires.

#### **I.4.2. MOUVEMENT SINUSOIDAL**

Une vibration est caractérisée par la variation temporaire de la grandeur physique retenue pour la décrire, par exemple : Déplacement, Vitesse ou Accélération.

Cette représentation, appelée spectre temporaire, comporte en abscisse : Le temps, et en ordonné : La valeur instantanée.

Le mouvement vibratoire le plus simple est le mouvement rectiligne sinusoïdal d'un point matériel. Un tel mouvement existe lorsque l'abscisse «  $X = OM$  » du point matériel «  $M$  » prise sur une droite «  $XOX$  », varie comme le sinus d'un angle qui est fonction linéaire du temps. Ce point oscille autour du point «  $O$  » (position moyenne) entre les deux positions extrêmes des abscisses «  $+X$  » et «  $-X$  ».

Le mouvement du point matériel «  $M$  » est décrit par l'expression suivante :

$$X = X_0 \sin(\omega t - \varphi) \quad (\text{I.13})$$

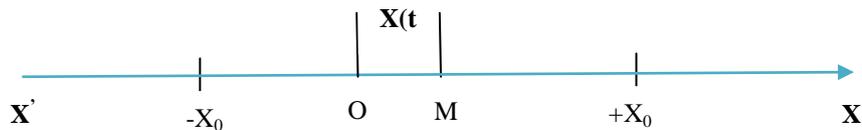
Où :  $X$  : Elongation à l'instant ( $t$ )

$X_0$  : Elongation maximale qui est l'amplitude du mouvement

$\omega$  et  $\varphi$  : sont respectivement appelées pulsation et phase initiale.

En choisissant comme instant initial le moment où le mobile passe par «  $O$  » dans le sens positif, l'équation du mouvement se simplifie et devient «  $X = X_0 \cdot \sin(\omega t)$  ».

La valeur instantanée du déplacement est par définition égale à l'élongation.



*Figure I.20 : valeur instantanée du déplacement / Elongation.*

On appelle la période d'un mouvement sinusoïdal, l'intervalle du temps «  $T$  » qui sépare deux passages consécutifs du mobile au même point et dans le même sens, cela signifie que :

$$X(t) = X(t + T) \quad (\text{I.14})$$

La période «  $T$  » est exprimée en secondes et la pulsation «  $\omega$  » en radians et sont liés par la relation suivante :

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (\text{I.15})$$

La fréquence «  $F$  », exprimée en Hz, est le nombre des oscillations effectuées par le mobile pendant une seconde, elle est égale à l'inverse de la période :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad (\text{I.16})$$

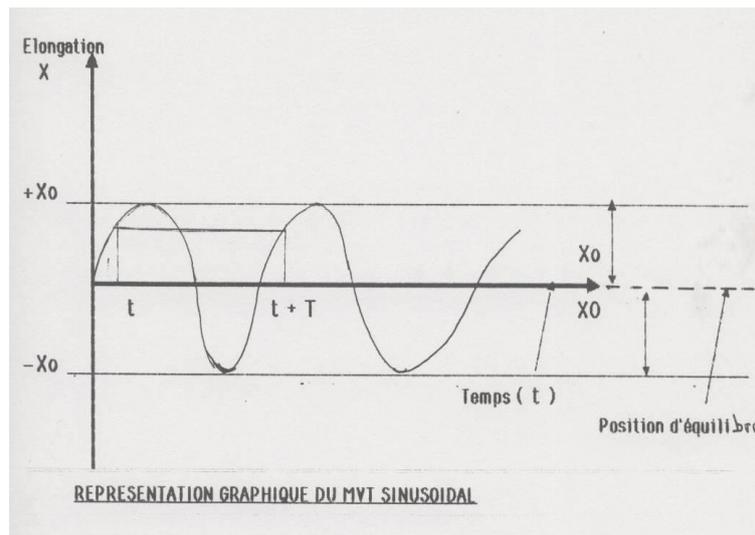


Figure I.21 : Représentation graphique du mouvement sinusoïdal.

### I.4.3. MOUVEMENT PERIODIQUE

C'est un mouvement qui se répète à intervalles de temps réguliers, cet intervalle est appelé période « T » qui s'exprime en seconde (s). Pour les mouvements rapides, on utilise la fréquence : « A » exprimée en Hertz (HZ)

$$T=1/f \text{ et } f=1/T \quad (\text{I.17})$$

La période « T » des oscillations est le temps mis par le système pour revenir à une position identique quel que soit le choix de cette position. C'est aussi, le temps mis pour faire une oscillation complète ou un « aller-retour ». Mathématiquement, le mouvement périodique de période T est défini par:

$$\text{A tout instant } x(t+T)=x(t) \quad (\text{I.18})$$

Il se décompose en une somme de fonctions sinusoïdales, chacune ayant sa fréquence et son amplitude (fondamentale et harmonique). Une telle décomposition est effectuée en pratique au moyen des appareils électroniques appelés analyseurs qui fournissent la valeur efficace par bande de fréquence.

Exemple de décomposition d'une vibration « X(t) » en deux composantes :

$$Y(t) = Y_0 \sin \omega t \text{ et } Z(t) = Z_0 \sin \omega t \quad (\text{I.19})$$

Les vibrations du corps d'un marteau pneumatique excité par les forces de pressions internes, constituent un exemple pratique du mouvement périodique.

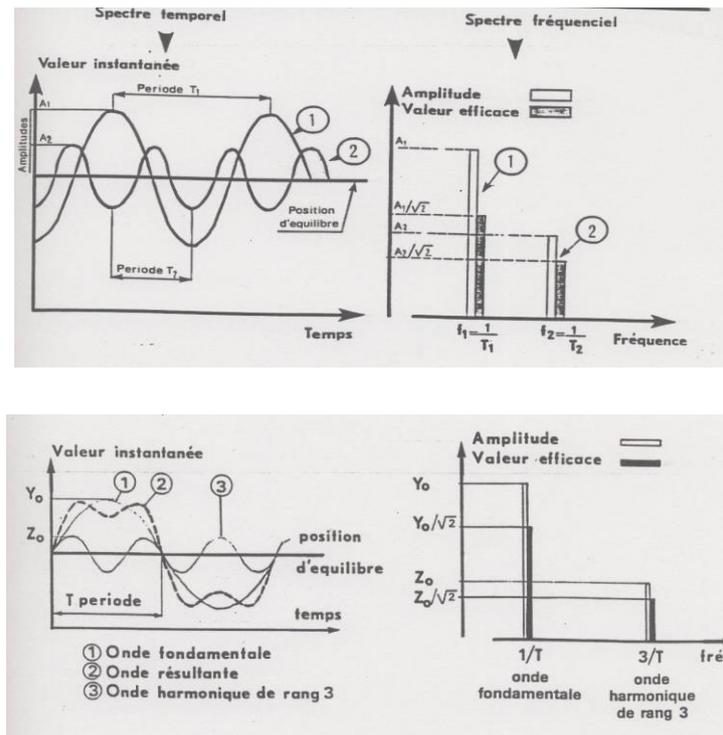


Figure I.22 : Mouvement périodique.

#### I.4.4. VIBRATIONS ALEATOIRES

Une vibration aléatoire est telle que son comportement temporel est quelconque, c'est-à-dire que l'on n'observe jamais de reproductibilité dans le temps. C'est le cas des chocs que l'on enregistre sur un broyeur.



Figure I.23: Vibration aléatoire [13].

Un mouvement est dit aléatoire lorsque son élongation ne peut être prévu à un instant donné dans certains cas. Le phénomène se présente comme la superposition d'un grand nombre de vibrations sinusoïdales de fréquences différentes contigües les uns des autres : On dit que la vibration est aléatoire en bande « large ».

Dans d'autres cas, au contraire, le phénomène est composé d'un petit nombre de vibrations sinusoïdales de fréquences contigües, on dit que la vibration est aléatoire en bande « étroite » en cas extrêmes, il existe de nombreuses variantes.

La caractéristique du mouvement aléatoire fait appel à des concepts probabilistes relativement complexes. Disant que pour caractériser complètement le mouvement aléatoire, le spectre fréquentiel ne suffit pas, il faut le compléter par des informations portant sur la fonction de distribution des valeurs instantanées ensuite de probabilité.

#### **I.4.5. MOUVEMENT VIBRATOIRE COMPEXE**

Pour l'essentiel, il résulte d'une combinaison entre les oscillations imprimées au véhicule par les irrégularités du sol (piste non aménagée) et celles dues aux interactions du godé avec le tas où s'effectue la reprise. On observe cependant une prédominance de vibrations au voisinage de la fréquence 2Hz ; les caractéristiques élastiques (souplesse des pneumatiques) massiques et inertielles de la machine ont, en quelques sortes, opéré une transformation du processus vibratoires entre l'entrée (les sources) et la sortie (plancher de fixation des sièges).

#### **I.4.6. EFFETS DES VIBRATIONS [14]**

Contrairement aux bruits aériens, les bruits d'impact sont ceux qui résultent d'une excitation directe d'une paroi par une force. Cette force peut être le résultat d'un choc entre un objet ou une personne et la paroi (bille, marteau, vaisselle, déplacement des pieds d'une chaise, déplacement ou chute d'une personne, etc.). Cette force peut aussi résulter du contact d'une machine en fonctionnement avec une paroi (machine à laver, par exemple).

Les bruits d'impact sont rayonnés aux locaux par les parois parcourues par les vibrations engendrées par l'impact. Ces vibrations ne se distinguent en rien de celles créées par des bruits aériens. Elles sont de même nature et obéissent aux mêmes règles physiques de propagation ou d'atténuation, par exemple.

##### **I.4.6.1.EFFETS DES VIBRATIONS SUR LES PERSONNES PAR ACTION DIRECTE**

L'influence néfaste des vibrations sur le corps humain est fonction de la fréquence, de l'amplitude des vibrations et de la durée d'exposition. Le corps humain peut être considéré comme un système mécanique déformable constitué de différentes entités reliées entre elles par des ressorts et des amortisseurs que sont les ligaments, les muscles, les disques intervertébraux.

Lors de l'exposition du corps à des vibrations, tous les organes ne réagissent pas de la même manière. Chaque partie du corps possède une fréquence de résonance propre. Si une vibration est transmise au corps et que la fréquence de la vibration et la fréquence de résonance de la partie du corps touchée sont voisines, l'augmentation de l'amplitude peut être grande et nuire à la santé.

Par exemple, la fréquence de résonance de la main se situe entre 50 et 200 Hz, celle de la colonne vertébrale entre 10 et 12 Hz.

Les conséquences en fonction de la fréquence sont :

- Très basses fréquences (0 – 2 Hz) : effets psycho-physiologiques comme le mal de mer ;
- Basses fréquences (2 – 20 Hz) : effets néfastes pour la colonne vertébrale
- 20-40 Hz : affections ostéo-articulaires ;
- 40-300 Hz : troubles au niveau de la circulation sanguine ;
- Au-dessus de 300 Hz : troubles de la circulation dans les mains et les doigts.

On distingue 2 types de vibrations qui ont des effets sur l'être humain :

1. Les vibrations transmises au système main-bras qui sont liées à l'utilisation d'outillage à main (de 5 Hz à 1 500 Hz) ;

La pathologie dépend des fréquences des vibrations des machines utilisées :

- Machines engendrant des vibrations basses fréquences (< 60 Hz)
  - Troubles ostéo-articulaires (arthrose) des épaules, coudes et poignets, tendinite, maladie de Dupuyrien, canal carpien, ...etc.
  - Maladie de Kienböck ou de Köhler : arthrose/nécrose du poignet
- Machines engendrant des vibrations moyennes fréquences (60-200 Hz)
  - Syndrome de Raynaud : blanchissement des doigts.
- Machines engendrant des vibrations hautes fréquences (> 200 Hz)
  - Troubles neurologiques des mains : paresthésies, picotements, engourdissements, perte de sensibilité tactile et thermique.

2. Les vibrations transmises à l'ensemble du corps qui sont liées à l'utilisation d'engins mobiles (de 0,7 Hz à 100 Hz).

- ***Effets à court terme :***

- ✓ Inconfort ;
- ✓ Mal des transports (fréquence < 1 Hz) ;
- ✓ Mal de dos et fatigue ;
- ✓ Fatigue visuelle quand vibrations < 5 Hz ;
- ✓ Diminution, voire perte de la coordination oculo-manuelle et de la dextérité.

- ***Effets établis à long terme :***

- ✓ Lombalgie chronique, Sciatique ;
- ✓ Lésions vertébrales et discales Hernies discales chez les conducteurs d'engins ;
- ✓ Hernies discales chez les conducteurs d'engins. Arthralgies : cou, épaules ;
- ✓ Maladies ostéo-articulaires de la colonne lombaire.

### I.4.6.2. EFFETS DES VIBRATIONS TRANSMISES A L'ENSEMBLE DU CORPS

La conduite régulière d'un véhicule ou d'un engin de chantier, de transport ou de manutention peut exposer les salariés à des niveaux élevés de vibrations. Transmises à l'ensemble du corps, ces vibrations peuvent favoriser la survenue de douleurs particulièrement au niveau du dos. Pour prévenir ces risques, la réglementation définit des valeurs seuils au-delà desquelles des actions de prévention doivent être mises en œuvre.

Les résultats des études portant sur les troubles d'autres systèmes du corps humain sont souvent divergents ou indiquent une dépendance paradoxale de la prévalence de la pathologie par rapport à l'amplitude des vibrations transmises à l'ensemble du corps (c'est-à-dire une prévalence plus élevée des effets nocifs aux amplitudes moins élevées).

Un ensemble caractéristique de symptômes et d'altérations du système nerveux central, de l'appareil locomoteur et de l'appareil circulatoire a été observé chez les travailleurs se tenant debout sur des tables vibrantes pour béton et exposés à des vibrations transmises à l'ensemble du corps d'une amplitude supérieure à la limite d'exposition de la norme ISO 2631, avec des fréquences dépassant 40 Hz (Rumjancev, 1966).

#### ❖ LIMITES TOLERABLES

**En Europe :** La directive **2002/44/EC** fixe les valeurs d'exposition aux vibrations à ne pas dépasser pour l'ensemble du corps et le système main-bras. Deux valeurs sont fixées pour une exposition journalière de 8 heures à des vibrations [15] :

- Une valeur d'exposition journalière déclenchant une action de prévention.
- Une valeur limite maximale à ne pas dépasser.

**Tableau I.5 :** *les valeurs limite maximale d'exposition aux vibrations.*

Valeur exposition journalière	Système main-bras	Ensemble de corps	
	Vibrations	vibrations	chocs
<b>Valeur déclenchant une action de prévention</b>	2,5 m/s <sup>2</sup>	0,5 m/s <sup>2</sup>	9,1 m/s <sup>1.75</sup>
<b>Valeur limite maximale à ne pas dépasser</b>	5,0 m/s <sup>2</sup>	1,15 m/s <sup>2</sup>	21,0 m/s <sup>1.75</sup>

## **I.4.7. SOURCES DES VIBRATIONS**

### **I.4.7.1. VIBRATIONS PRODUITES PAR UN PROCESSUS DE TRANSFORMATION**

Il y a des vibrations qui conduisent à la transformation de l'énergie sans l'utiliser, comme le bruit sonore, par exemple le mouvement des moteurs ou de tout dispositif mécanique. Cela perd l'énergie produite car cela conduit à l'utilisation d'une partie de l'énergie dans le processus de vibration.

### **I.4.7.2. VIBRATIONS LIEES AUX MODES DE FONCTIONNEMENT DES MACHINES**

La méthode d'utilisation est également d'une grande importance pour la production de vibrations à partir de certains équipements. Une mauvaise utilisation ou une utilisation intensive de la machine sont des facteurs qui peuvent entraîner la perte de l'équilibre de la machine et sa production de vibrations.

### **I.4.7.3. VIBRATIONS DUS AUX DEFAUTS DES MACHINES OU AU MAUVAIS FONCTIONNEMENT**

Le déséquilibre de masse, le frottement du rotor, le désalignement de l'arbre, d'équilibrage de rotors, résonances de tuyauteries, les défaillances des engrenages et les défauts de palier sont des exemples de défauts pouvant conduire à la panne de la machine.

Les vibrations induites par le déséquilibre sont la cause d'erreurs fondamentales dans des systèmes en mouvement et peuvent induire des surcharges considérables sur les outils de coupe lors d'opérations d'usinage. Un arbre est une partie essentielle de la machine tournante ; il est utilisé pour transmettre la puissance et le mouvement. Le désalignement de l'arbre est un problème commun dans les machines tournantes qui cause plus de 70% des problèmes de vibration.

### **I.4.7.4. VIBRATIONS RESULTANTES D'UN PHENOMENE NATUREL**

Telles que les vibrations sismiques ou du sol, les vagues qui balayent les rivages côtiers, le broyage ininterrompu de plaques tectoniques, les bâtiments et les arbres qui soufflent par le vent. Ce bruit existe dans tous les environnements du monde.

## **I.4.8. MESURE DES VIBRATIONS [12]**

Pour être en mesure de faire une évaluation complète de l'exposition aux vibrations, il faut mesurer l'accélération des vibrations en mètres par seconde carrée ( $m/s^2$ ). La direction des vibrations appliquées est également importante et elle est mesurée dans des directions définies. La fréquence des vibrations et la durée de l'exposition doivent être également déterminées.

La force avec laquelle une personne serre un outil influe sur la quantité d'énergie de vibration transmise aux mains, de sorte que la force de préhension manuelle est un autre facteur important pour l'évaluation de l'exposition.

Le degré d'exposition est déterminé en mesurant l'accélération en mètres par seconde carrée. L'accélération est utilisée en tant que mesure de l'exposition aux vibrations pour les raisons suivantes :

- ✓ Il existe plusieurs types d'instruments permettant de mesurer l'accélération (par ex : accéléromètre), c'est-à-dire la variation de la vitesse en grandeur ou en direction par unité de temps (par ex. par seconde).
- ✓ La mesure de l'accélération peut aussi fournir des renseignements sur la vitesse et l'amplitude des vibrations.
- ✓ L'importance des dommages est liée à la grandeur de l'accélération.

#### **I.4.9. VOIES ENVISAGEABLES POUR REDUIRE LES VIBRATIONS [16]**

Pour préserver la santé des salariés, il est nécessaire de prévenir les vibrations transmises au corps humain. Différentes solutions sont proposées et mises en œuvre avec succès.

**1. La réglementation et la normalisation** : La réglementation rend obligatoire les mesures de sécurité pour la suppression des risques dus aux vibrations.

**2. Les mesures techniques de prévention** : Il existe différentes solutions pour réduire l'intensité des vibrations ou encore modifier les fréquences pour supprimer les risques pathologiques :

**2.1. Atténuation des vibrations au niveau des sources** : Le déséquilibre des organes mobiles des équipements et les dysfonctionnements sont souvent sources de vibrations. Le soin apporté à leur conception et à leur fabrication, le retrait des pièces usées présentant des jeux dans les mouvements, les formes particulières donnés à certaines pièces travaillantes (fraises, scies) après étude sont de nature à réduire les vibrations. L'entretien et le nettoyage des pièces en mouvement et leur graissage sont également des mesures efficaces pour atténuer les vibrations produites.

**2.2. Atténuation des vibrations au niveau des transmissions (Isolation vibratoire)** : C'est à ce niveau que les solutions apportés sont les plus efficaces et les plus couramment retenues. Les différentes mesures adoptées sont les suivantes :

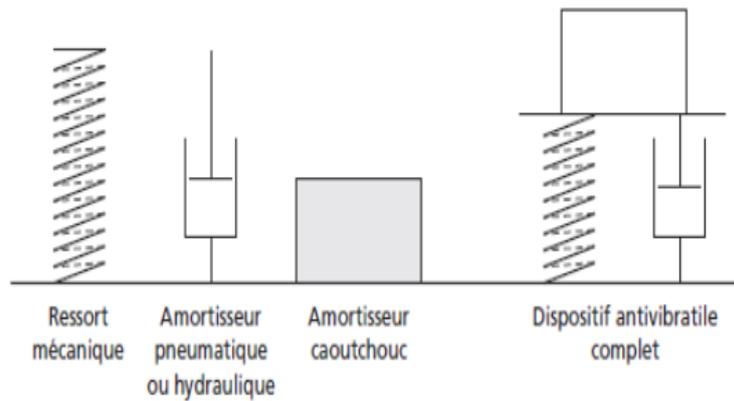


Figure I.24 : Dispositifs antivibratoires.

❖ **La mise en place des systèmes anti-vibratiles** : Les plus courants sont les montages comportant un ou plusieurs ressorts et un ou plusieurs amortisseurs généralement hydrauliques.

L'organe producteur des vibrations est isolé du reste mais est maintenu en place par un système anti-vibratile amortissant. Pour éviter la transmission des vibrations créées par une machine au sol, il suffit que la machine repose sur un tel système.

- On peut remplacer l'ensemble ressort + amortisseur par un bloc amortisseur en élastomère (caoutchouc) spécialement fabriqué et possédant une certaine dureté.
- L'alourdissement de l'ensemble entourant la source des vibrations. L'augmentation de la masse réduit généralement les vibrations.
- La modification des vibrations transmises, notamment au niveau des fréquences et des intensités par le choix des matériaux (remplacer les métaux par certaines matières plastiques ou du bois aggloméré...).
- La suppression du milieu qui transmet les vibrations émises par la source. Cette solution relativement difficile à réaliser, ne convient que pour certaines situations particulières. Le plus souvent, pour la prévention des risques dus aux vibrations, les concepteurs, les constructeurs et les utilisateurs font appel à plusieurs solutions à la fois, ce qui améliore l'efficacité de la sécurité.

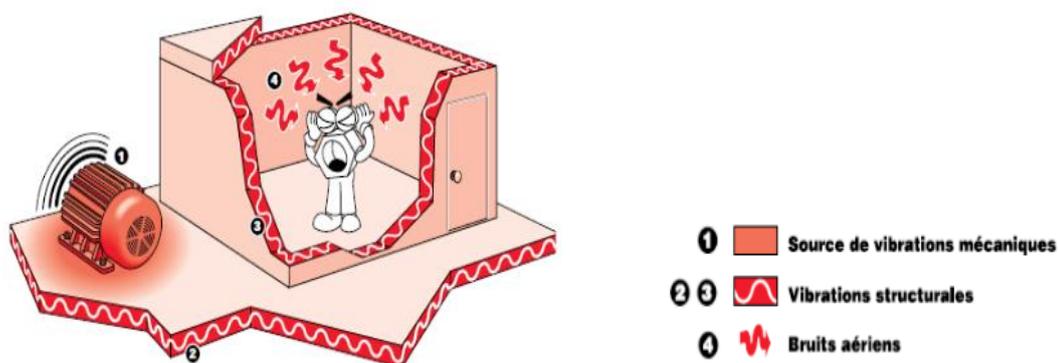
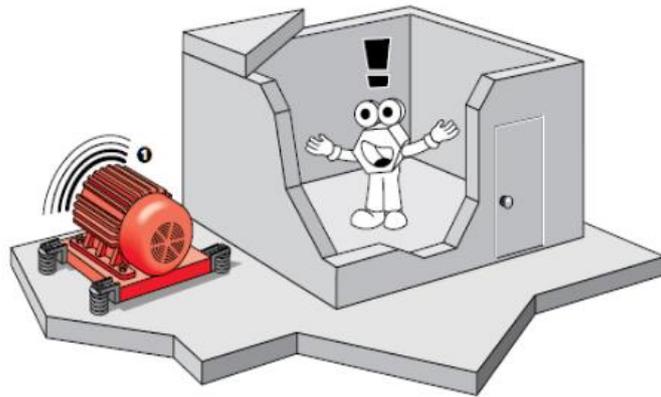


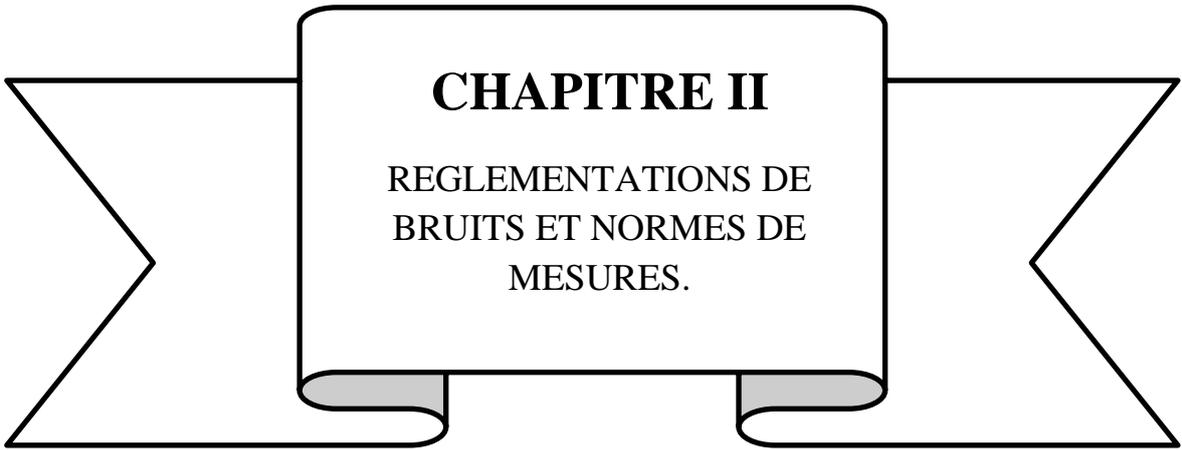
Figure I.25: vibration des équipements transmis aux éléments structuraux.



*Figure I. 26: Isolateurs de vibrations installés aux points de contact.*

## **I.5. CONCLUSION**

Nous avons regroupé dans cette partie les notions fondamentales sur l'acoustique. Ce qui nous aidera à calculer l'évaluation du risque du bruit dans le train de liquéfaction du gaz naturel dans les sections à venir.



**CHAPITRE II**  
REGLEMENTATIONS DE  
BRUITS ET NORMES DE  
MESURES.

---

## II.1. INTRODUCTION

Le bruit est une nuisance souvent intolérable. Il provoque une gêne une menace pour la santé, il rend insupportable la qualité de la vie au travail et peut compromettre gravement la sécurité des travailleurs. Or, il existe des solutions pour lutter efficacement contre le bruit. Il convient en effet d'être vigilant, car l'exposition à des niveaux sonores excessifs, même musicaux, peut entraîner des lésions définitives du système auditif [21].

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. Dans le domaine du bruit d'origine professionnelle, les termes « *réglementation, normes et législation* » sont souvent employés de manière interchangeable, même si, techniquement, ils ont des significations légèrement différentes. Une norme est un ensemble codifié de règles ou de directives, assez proche d'une réglementation, mais qui peut être élaboré sous les auspices d'un groupe consensuel comme l'Organisation internationale de normalisation (ISO). La législation est composée de lois adoptées par les autorités législatives ou par les institutions de l'administration locale [22].

## II.2. REGLEMENTATIONS ALGERIENNES

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

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

La question du bruit a été traitée très évasivement au sens du code pénal durant la période avant 1967, à partir de 1983 une autre forme de lutte a été appréhendée par une loi régissant les accidents de travail et les maladies professionnelles, c'est la loi n°83-13 du 02/11/1983.

Cette loi a donné naissance par la suite de la même année du tableau n°42 qui liste la durée d'exposition et les travaux susceptibles de provoquer des maladies professionnelles. Le bruit est reconnu comme une nuisance susceptible de provoquer une maladie professionnelle qu'il faut réparer.

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

---

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

Le bruit affecte non seulement la qualité de la vie, mais également la santé des citoyens à partir de certains seuils de volumes sonores [23]. Le décret exécutif n°93-184 du 27 juillet 1993 réglemente l'émission des bruits. L'article 2 stipule que « *les niveaux sonores maximums admis dans les zones d'habitation et dans les voies et lieux publics ou privés sont de 70 décibels (70 dB) en période diurne (6 heures à 22 heures) et de 45 décibels (45 dB) en période nocturne (22h à 6 h)* » [24].

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

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

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

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

## **II.3. REGLEMENTATIONS ET LES NORMES AU NIVEAU INTERNATIONAL**

### **II.3.1. AU NIVEAU EUROPEENS**

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

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

Dans le but d'éviter tout dommage irréversible à l'ouïe des travailleurs, la directive prévoit des valeurs limites d'exposition de 87 dB(A) et de pression acoustique de crête de 200 Pa, au-delà desquelles aucun travailleur ne doit être exposé [25].

La directive fixe également des valeurs d'exposition supérieures et inférieures déclenchant l'action 85 dB(A) (et 140 Pa) et 80 dB(A) (et 112 Pa) respectivement, qui déterminent le moment où des mesures préventives doivent être prises afin de réduire les risques pour les travailleurs. Il est important de souligner que, pour l'application des valeurs limites d'exposition, la détermination de l'exposition effective prendra en compte l'atténuation assurée par le port de protecteurs auditifs personnels. Les valeurs d'exposition déclenchant l'action ne tiendront pas compte, pour leur part, de l'effet de l'utilisation de ces protecteurs [26 et 27].

### II.3.2. AU NIVEAU DES ETATS UNIS

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

*Tableau II.1: Niveaux d'exposition au bruit autorisés par l'OSHA [25].*

Durée d'exposition par jour en heures	Niveau sonore en pondération A/dB (A)
8	90
6	92
4	95
3	97
2	100
1.5	102
1	105
0.5	110
0.25 (au 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 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 au d'impact ne dépasse pas le niveau de 140 dB(A) en pression acoustique de crête.

### **II.3.3. NORMES GENERALES [22]**

L'une des normes en matière de bruit le plus largement employée est la norme ISO 1999 (1990). Cette norme internationale constitue la révision d'une version antérieure moins détaillée; 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. Son Comité technique TC43, «Acoustique», travaille sur une norme visant à évaluer l'efficacité des programmes de conservation de l'audition. Selon von Gierke (1993), le Sous-Comité 1 (SC1) du TC43 compte 21 groupes de travail dont certains étudient plus de trois normes. Le TC43/SC1 a publié 58 normes relatives au bruit; 63 autres sont en cours de révision ou en préparation (von Gierke, 1993).

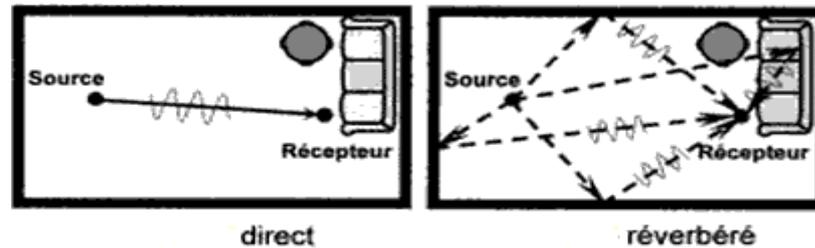
### **II.4. NORMES DE MESURES DE BRUIT INDUSTRIEL [28]**

Il existe trois méthodes de mesures normalisées qui sont souvent utilisées pour le cas de bruit des machines, notamment industrielles :

1. Mesure en champ libre
2. Mesure en champ diffus,
3. Mesure par Intensimétrie

#### **II.4.1. MESURE EN CHAMP LIBRE**

Le champ libre c'est un champ qui est caractérisé par l'absence de tous obstacles susceptibles de modifier le rayonnement de la source, c'est à dire que l'intensité sonore ne provient que par le seul trajet direct source-récepteur.



*Figure II.1: La propagation de bruit dans un champ libre et réverbéré.*

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

La mesure en champ libre, décrite dans la norme **ISO 3744** de novembre, **1995**, la méthode en champ libre est très largement utilisée car elle ne nécessite pas de moyens de mesure trop sophistiqués, ni d'environnement trop particulier. A l'inverse de la chambre réverbérante, le champ libre se caractérise par l'absence de réflexion des ondes. Ceci impose de se trouver dans un espace ouvert (milieu extérieur, grand hall) ou dans une chambre anéchoïque qui absorbe les ondes. En pratique, à l'aide d'un microphone, on mesure la pression acoustique en différents points d'une surface fictive qui enveloppe la machine.

En connaissant cette surface, il est possible de calculer la puissance acoustique. La norme propose deux types de surface. Une surface hémisphérique avec 10 points de mesure ou une surface parallélépipédique avec 9 points de mesure positionnés sur deux plans parallèles. La norme préconise cette dernière pour des sources de petite taille. Les sources hémisphériques sont plutôt conseillées sur des grosses machines, notamment dans le domaine du conditionnement d'air.

Si les conditions de mesure ne sont pas parfaitement anéchoïques, une partie du bruit généré par la source est réfléchi par des obstacles et se superpose au niveau du micro. Ce dernier ne sait pas discriminer les deux composantes. On peut toutefois corriger en mesurant la pression acoustique d'une source de référence dont on connaît la pression intrinsèque.

#### **II.4.2.MESURE EN CHAMP DIFFUS**

Dans un champ diffus le niveau sonore ne dépend plus de la distance à la source , la mesure de bruit se fait en chambre réverbérante qui est une pièce ou une cavité métallique fermée de dimensions supérieures à quelques longueurs d'ondes sur sa gamme fréquentielle d'utilisation , L'essai est réalisé dans Une pièce ou une enceinte dont les parois réfléchissent la quasi-totalité de l'onde. Ainsi, toute l'énergie incidente est restituée. Le récepteur reçoit des rayons qui proviennent statistiquement d'un peu partout.

L'avantage du champ diffus est que le niveau acoustique est identique en tout point de l'espace. Un faible nombre de points de mesure suffira donc à caractériser correctement le champ acoustique. La méthode est rapide. Le niveau de puissance (en dB) est égal au niveau de pression (en dB) auquel s'ajoute un terme caractéristique de la salle mais indépendant de la distance entre la source et le récepteur (à condition que le microphone ne soit pas trop près de la source).

La norme décrit les caractéristiques de la chambre (son volume en fonction du niveau sonore), le coefficient d'absorption des parois ( $\alpha < 0,006$ , avec  $0 < \alpha < 1$ , une chambre en béton peut répondre à ce critère), le nombre de microphones... Cette méthode est particulièrement fine et précise mais elle nécessite des moyens assez lourds.

### II.4.3. MESURE PAR INTENSIMETRIE

La mesure par intensimétrie est née à la fin des années 1970, notamment grâce à Pavić et Fahy. Elle est maintenant l'objet de normes ISO [106, 108, 110]. C'est une des solutions les plus intéressantes pour étudier les problèmes de rayonnement de structure comme le cas que nous examinons dans cette étude. Le principe est simple : évaluer la densité de flux de puissance acoustique, appelée intensité acoustique, qui accompagne la propagation de l'onde sonore pour déduire la puissance acoustique totale rayonnée par la structure.

#### ❖ PRINCIPE DE L'INTENSIMETRIE

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

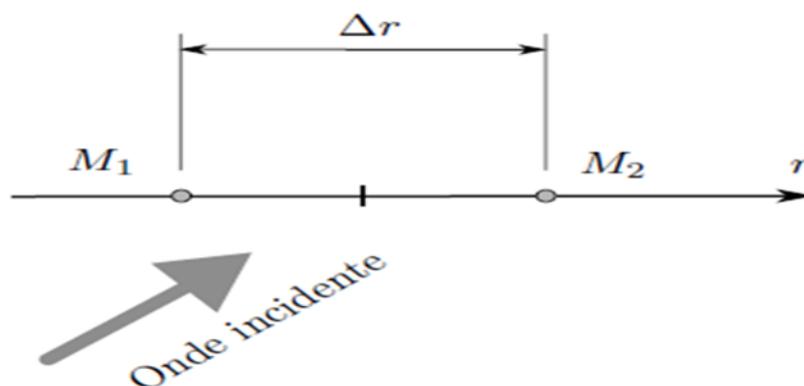


Figure II.2: Principe d'évaluation de l'intensité acoustique par intensimétrie.

**II.5. CONCLUSION**

Nous avons regroupé dans cette partie les réglementations de bruit industrielle au niveau algérienne, européenne et états unis et les normes générales. Qui vise à protéger les travailleurs sur le lieu de travail et l'environnement à côté du complexe industriel contre les nuisances sonores. Enfin, nous avons évoqué les normes de mesure du bruit industriel.



## **CHAPITRE III**

METHODES DE REDUCTION  
ET DE CONTROLE DE BRUIT  
INDUSTRIEL.

### III.1. INTRODUCTION

Mieux vaut prévenir que guérir ! Lorsque le bruit est engendré par n'importe quelle source, il suivra un chemin direct ou indirect pour qu'il soit reçu par un récepteur (l'oreille humaine). Dans notre étude nous nous sommes intéressés au bruit provenant des unités de train de liquéfaction et ceci depuis sa création jusqu'à sa réception. Le contrôle du bruit est devenu très important car il permet d'améliorer d'une part l'environnement de travail et d'autre part d'appliquer et de respecter les lois relatives aux limitations de bruit dans l'environnement.

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

- 1) La source de bruit ;
- 2) La propagation de bruit ;
- 3) Le récepteur de bruit.

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

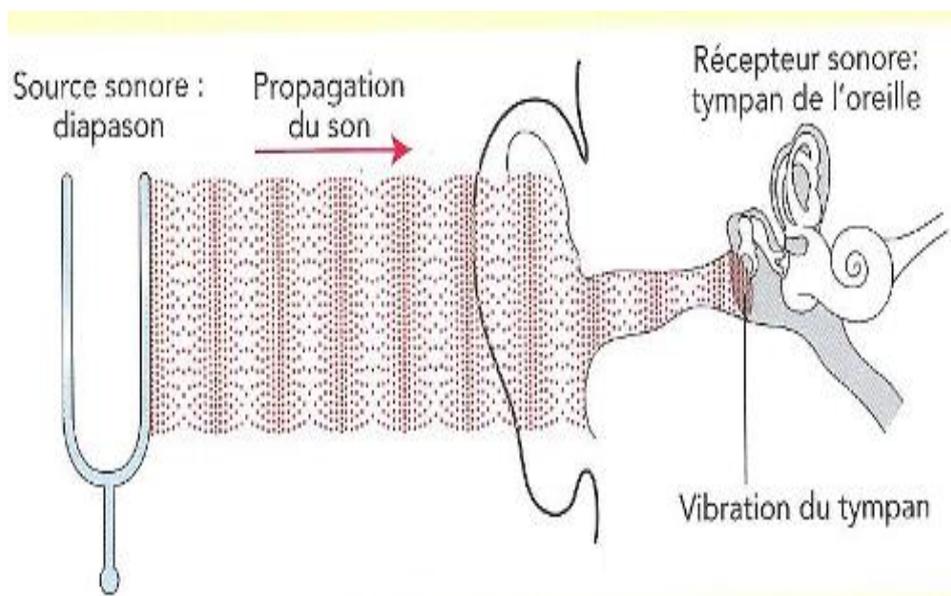


Figure III.1: Les composantes générales de système de bruit.

### III.2. DES ACTIONS DE REDUCTION DU BRUIT [29]

- ✓ action sur les sources aériennes (on y intègre les actions sur les sources liquidiennes, d'où l'appellation « action sur les sources fluides »),
- ✓ action sur les sources solidiennes,
- ✓ action sur la propagation aérienne,
- ✓ action sur la propagation solidienne,
- ✓ action sur la réception.

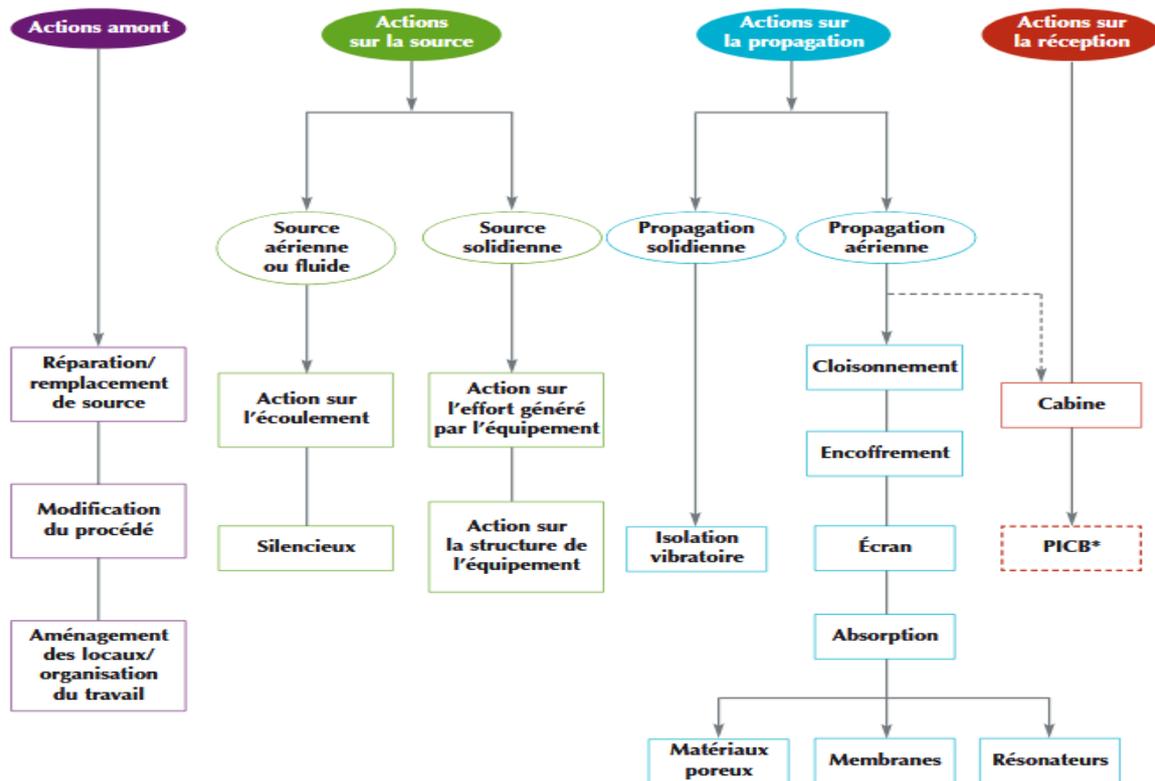


Figure III.2 : Classification des actions de réduction du bruit en entreprise [30].

Cependant, avant toute action technique ponctuelle, il est souvent judicieux d'envisager des actions dont la teneur dépasse le cadre strict du problème technique acoustique et que nous appelons pour cela des actions « *Amont* ». Celles-ci portent sur le procédé bruyant, l'aménagement de l'espace et des tâches, l'organisation du travail. Elles ont un impact positif sur l'exposition sonore, mais leur prise en compte ne peut être dissociée du fonctionnement global de l'entreprise ; leur mise en œuvre peut de ce fait avoir des effets positifs sur d'autres points que l'aspect acoustique « *productivité, maintenance, bien-être au travail...etc.* »

### III.2.1. ACTIONS EN AMONT

#### III.2.1.1. REPARATION ET/OU REMPLACEMENT DE SOURCES

Le mauvais état d'une installation industrielle est souvent générateur de vibrations et par voie de conséquence de bruit : présence de jeux, problème de lubrification, dispositifs silencieux défectueux...etc. Une inspection de la machine bruyante est donc une action utile avant toute analyse : une bonne maintenance est un auxiliaire à ne pas négliger dans la lutte contre le bruit.

Mais l'action la plus efficace est bien sûr de rechercher des sources silencieuses voire, moins bruyantes de par leur conception. Ce critère du « moins de bruit » des équipements est déjà bien instauré dans les biens de consommation courante ; il doit l'être dans les équipements industriels.

---

Acheter plus silencieux est l'action prioritaire, pour peu bien sûr que la situation s'y prête : renouvellement d'installation, recherche d'une performance accrue...etc.

### **III.2.1.2. MODIFICATION DE PROCEDE**

Les choix des réglages du procédé obéissent bien sûr à des considérations de production. Ils sont cependant parfois établis dans des plages données, et la recherche de la condition de fonctionnement « la moins bruyante » peut être possible. Par ailleurs, la recherche de solutions alternatives moins bruyantes va souvent de pair avec des progrès parallèles et peut même amener une amélioration de la fabrication.

### **III.2.1.3. AMENAGEMENT DES LOCAUX ET/OU DE L'ORGANISATION DU TRAVAIL**

L'aménagement des locaux est relatif à la distribution des postes et au parcours des matières. Il est donc souvent lié à l'organisation du travail. Certains principes peuvent être suivis :

- Ne pas placer les sources bruyantes à proximité des parois et en particulier des angles, afin d'éviter les réflexions sonores dès l'émission ou, si nécessaire, traiter au moins localement ces parois en absorption ;
- Regrouper les sources bruyantes pour les confiner ou les éloigner (séparer les postes bruyants et non bruyants) ;
- Eloigner les postes de travail autant que possible des sources de bruit ;
- Evaluer l'incidence d'une répartition des tâches bruyantes entre employés pour répartir l'exposition sonore dans des proportions correctes pour tous.

### **III.2.2.ACTIONS SUR LES SOURCES FLUIDES**

Les sources aériennes et liquidiennes peuvent dans l'ensemble être traitées communément comme sources fluides. C'est ce que nous faisons ici, pour éviter les redondances, en spécifiant lorsque nécessaire les particularités des sources liquidiennes.

#### **III.2.2.1. ACTIONS SUR L'ÉCOULEMENT PRIMAIRE**

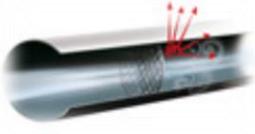
Le paramètre le plus significatif dans le niveau sonore d'une source fluide est la vitesse de l'écoulement : sa diminution, lorsqu'elle est possible, est donc une action performante pour atténuer le niveau sonore émis.

Les actions sur les sources fluides On peut cependant évoquer les axes généraux de solution suivants :

- ✓ Optimiser l'état de surface des éléments solides en contact (tuyauteries, aubes...),
- ✓ Rendre les obstacles plus « aéro- ou hydrodynamiques » et diminuer leur taille,
- ✓ Éviter les singularités géométriques (coudes...),

✓ Réduire si possible les vitesses d'écoulement.

**Tableau III.1: Les solutions sur modification de l'écoulement.**

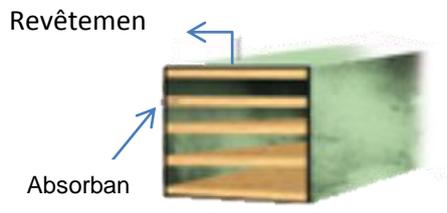
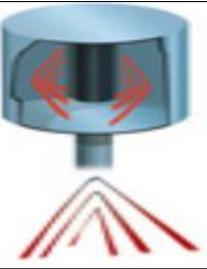
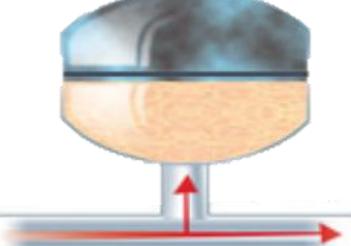
			
Éviter les obstacles	Éviter les variations brusques de géométrie	Jouer sur les conditions de débit.	Optimiser les états de surface.

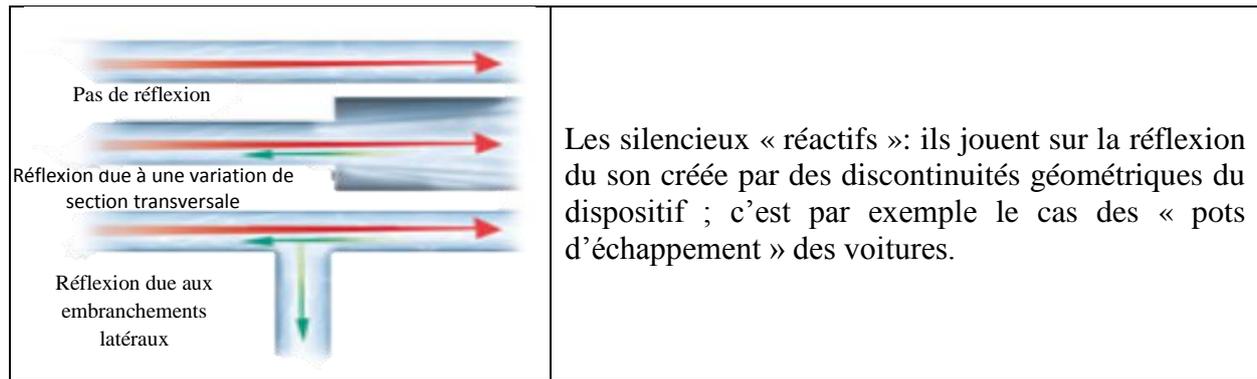
**III.2.2.2. SILENCIEUX**

Le silencieux est un dispositif qui est mis en place au niveau de la source fluide de bruit pour en atténuer l'intensité. Pour les écoulements gazeux, on distingue plusieurs technologies ; selon celles-ci, l'onde sonore transmise est atténuée :

- Par réflexion, celle-ci étant générée par la rencontre d'une discontinuité géométrique sur le trajet de l'onde ;
- Par dissipation, en transformant l'énergie sonore en chaleur par le frottement de molécules (air ambiant ou fluide en contact).

**Tableau III.2 : Les différents type des silencieuse.**

	<p>Les silencieux « dissipatifs »: le son est atténué au travers du silencieux par des revêtements absorbants ; ils sont en général utilisés sur des systèmes de ventilation pour des débits d'écoulement faibles.</p>
	<p>Les silencieux de détente: ils assurent une diminution de pression progressive au travers d'un dispositif poreux ; ils sont utilisés sur des évacuations d'air comprimé, par exemple.</p>
	<p>Les accumulateurs à gaz: ils transmettent les fluctuations de pression à un volume de gaz qui fait office d'amortisseur ; ils sont particulièrement efficaces en cas de bruits impulsionnels et pour les bruits liquidiens</p>



Pour les écoulements liquides, on trouve principalement des silencieux par accumulateurs à gaz : une cavité remplie de gaz « amortissant » est en contact avec le liquide par l'intermédiaire d'une membrane souple. La mise en place d'un silencieux sur une ouverture affecte l'intensité et la directivité de l'émission du bruit : on peut considérer qu'il modifie le « rayonnement » de l'ouverture. On dispose le silencieux au plus près de l'émission du bruit :

- Soit à l'ouverture d'une source apparente,
- Soit en début de conduite dans le cas d'un écoulement : ceci permet d'éviter le rayonnement de la conduite entre la source et le silencieux. Aspiration et échappement sont deux sources à traiter séparément.

### III.2.2.3. CONTROLE ACTIF

Le contrôle actif consiste à créer un bruit opposé à celui que l'on veut atténuer, de telle sorte que le bruit résultant soit (idéalement) nul. Il repose donc sur la mise en place d'une source de bruit artificielle à proximité de la source à atténuer, et d'un dispositif électronique de mesure et de régulation qui règle de manière continue le contre-bruit par rapport aux fluctuations du bruit à traiter.

Cette technologie a pour conséquence que l'efficacité du contrôle actif :

- Est meilleure sur les basses fréquences : le système de régulation a le temps de réagir ;
- Est meilleure sur les bruits périodiques (fréquences « pures »), qui ne varient pas continuellement ;
- Est plus facile à mettre en œuvre pour une propagation guidée (conduite), la multiplication des sources artificielles dans l'espace n'étant pas nécessaire.

Ce type de réalisation reste encore peu répandu dans le milieu industriel ; on en trouve cependant dans le domaine des gaines d'écoulement d'air.

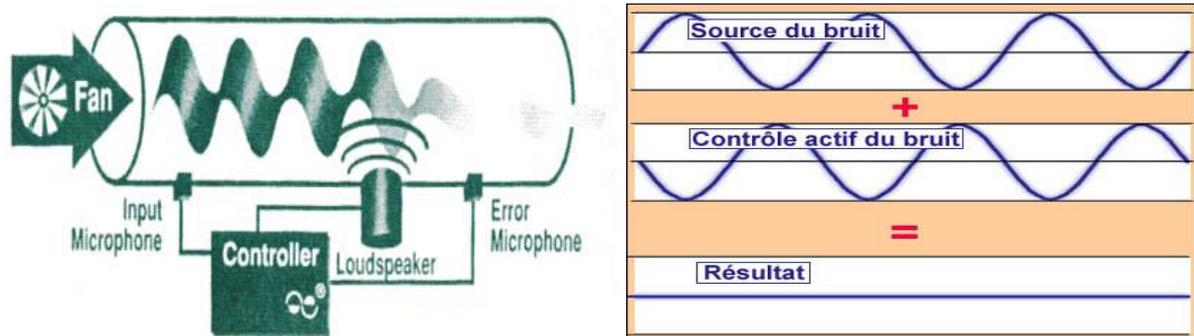


Figure III.3: Principe de contrôle actif.

#### III.2.2.4. CAS DE LA CAVITATION

Comme nous l'avons vu précédemment dans la partie 1 « Aspect physique : génération, propagation et réception du bruit », la cavitation est plutôt une source aérienne que liquidienne. Cependant, les actions pour atténuer ou éviter la cavitation sont appliquées sur l'écoulement fluide lui-même : il s'agit d'éviter la dépression qui vaporise le liquide.

Différents axes sont possibles :

- Augmenter la pression statique du réseau d'écoulement,
- Réduire la vitesse de l'écoulement,
- Diminuer les pertes de charge : géométrie et état de surface des conduites...etc.

#### III.2.3. ACTIONS SUR LES SOURCES SOLIDIENNES

##### III.2.3.1. ACTIONS SUR LA FORCE

Ici les solutions dépendent du type de source : forces de contact ou à distance, caractère continu, impulsionnel ou de friction...

On peut cependant évoquer les axes généraux de solution suivants :

- Optimiser l'état des surfaces en contact (amortir ou étaler les contacts),
- « lisser » les efforts (éviter les à-coups),
- Lubrifier,
- Diminuer les énergies de mouvement ; éviter les jeux.

##### III.2.3.2. ACTIONS SUR LA STRUCTURE

On peut distinguer deux situations :

- une résonance de structure est identifiée, et il est établi que cette résonance est influente sur le niveau sonore : il s'agit alors de modifier la structure en cause pour déplacer sa fréquence propre (modification de masse, de raideur) ou augmenter son amortissement ;

➤ Le facteur de rayonnement d'un élément de la structure est jugé important, et il est établi que l'incidence de ce rayonnement partiel est influente sur le niveau sonore global : on peut alors modifier la surface en cause, la perforer, la revêtir de matériau amortissant, ou l'isoler d'un point de vue vibratoire de ses sources d'excitation.

L'identification du problème, le choix de la modification à réaliser, l'évaluation de l'impact attendu sont complexes : une analyse du problème à l'aide de méthodes spécifiques s'avère souvent nécessaire pour éviter une erreur.

### III.2.4.ACTIONS SUR LA PROPAGATION AERIENNE

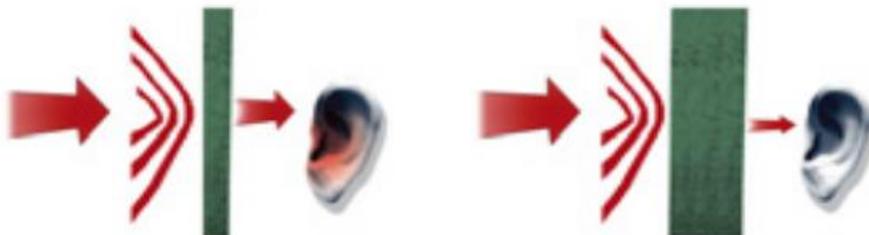
#### III.2.4.1. ISOLATION (aux bruits aériens)

##### III.2.4.1.1. CLOISONNEMENT

L'isolation aux bruits aériens permet d'atténuer la transmission du bruit entre deux espaces séparés.

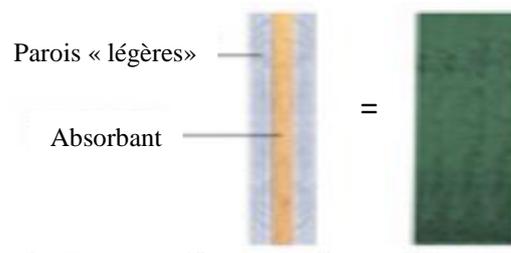
La séparation de base est une cloison qui délimite la frontière entre les deux espaces, de manière hermétique. Le caractère isolant d'une cloison peut être accru par deux voies :

➤ En augmentant la masse surfacique, c'est-à-dire la masse par mètre carré : une paroi est d'autant plus isolante qu'elle est massive ;



**Figure III.4 : Isolation acoustique aux bruits aériens avec des parois lourdes.**

➤ En utilisant le principe de la paroi multiple : elle est constituée de plusieurs éléments séparés par une lame d'air, de préférence « enfermée » dans un complexe absorbant de type laine de verre. Par ce système, on obtient un fort isolement pour une masse globale de paroi faible.



**Figure III.5 : L'isolation pour de faibles masses avec les parois multiples.**

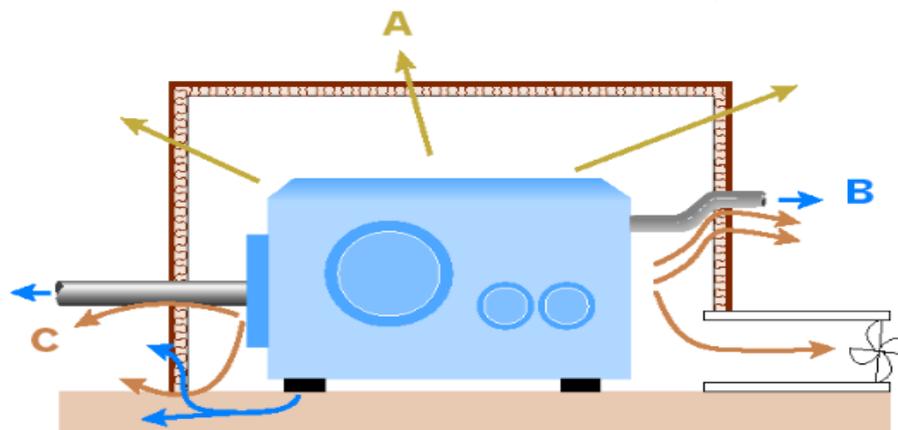
### III.2.4.1.2. ENCOFFREMENT

L'encoffrement est une enceinte qui enferme l'équipement bruyant, afin de l'isoler acoustiquement du reste du local. Les caractéristiques d'isolation des parois de l'encoffrement suivent les mêmes principes que celles des cloisons.

Les techniques et précautions sont également identiques, à ceci près qu'un encoffrement nécessite souvent de nombreuses ouvertures pour les entrées et sorties de matière, son aération, etc., et que, de ce fait, une attention très poussée doit être apportée à ces sources potentielles de faiblesse acoustique :

- Eviter toute « fuite acoustique » aux joints entre parois, sol et huisseries,
- Mettre en place des vitrages et des ouvrants de bonnes caractéristiques d'isolation acoustique,
- Traiter les ouvertures par la mise en place de silencieux, tunnels ou rideaux en lanières acoustiques.

L'inconvénient principal de l'encoffrement est de limiter l'accès à l'équipement ; cependant, ses performances en atténuation de bruit sont importantes lorsque toutes les précautions de réalisation sont respectées.



Chaque couleur symbolise un mode de transmission différent:

- Voie A** : transmission aérienne du son par les parois de l'encoffrement,
- Voie B** : transmission des vibrations de la machine par les liaisons solides et rayonnement des structures ainsi excitées, comme par exemple les parois de l'encoffrement,
- Voie C** : transmission par les fuites et les ouvertures (ici, la ventilation).

*Figure III.6 : La protection collective par l'encoffrement des machines bruyant [INRS].*

### III.2.4.2. OBSTACLES : ECRANS

Lorsque la mise en place d'une isolation complète (cloison ou encoffrement) n'est pas possible, pour des raisons d'accès ou de circulation par exemple, on peut envisager de mettre un obstacle sur le trajet de l'onde sonore pour atténuer sa progression : c'est le principe de l'écran. C'est une paroi éventuellement amovible qui protège le récepteur.

Le gain acoustique d'un tel dispositif est limité ; de ce fait, il n'est pas nécessaire que l'écran ait une masse surfacique élevée. En revanche, un traitement absorbant de la face côté émission évite de créer une nouvelle source apparente de bruit par réflexion. L'efficacité de l'écran demande de nombreuses précautions, et il faut en particulier que le local soit traité acoustiquement, afin d'éviter les réflexions de celui-ci du côté récepteur.

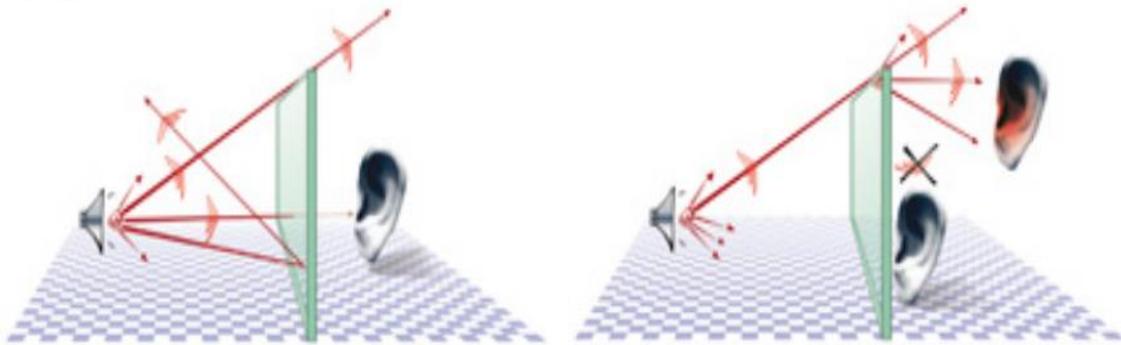


Figure III.7: *L'écran est un obstacle (cloison amovible).*

### III.2.4.3. ABSORPTION DU LOCAL

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

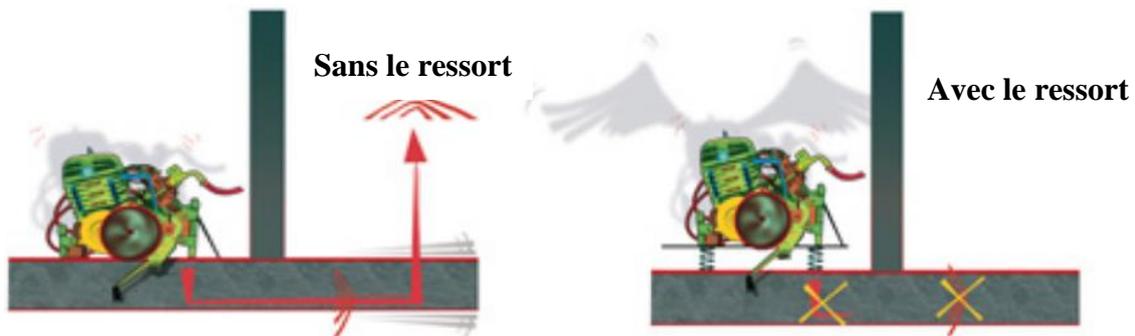


Figure III.8: *Bandes d'absorption de plafond (à gauche), damier (au milieu), baffles (à droite).*

### III.2.5. LES ACTIONS SUR LA PROPAGATION SOLIDIENNE

L'action la plus efficace pour atténuer la propagation solidienne est l'isolation vibratoire. Le but est d'affaiblir le lien entre l'équipement source de vibration et son environnement. On « suspend » l'équipement de telle sorte qu'il se comporte de manière libre et indépendante, sans aucune interaction avec ce qui l'entoure.

Pour aboutir à cela, on dispose entre l'équipement et le sol une liaison la plus souple possible (suspension métallique ou élastique) : on est bien entendu limité par le fait que la raideur de cette liaison doit néanmoins être suffisante pour supporter la charge.



**Figure III.9:** *La propagation solidienne se fait par la liaison entre la machine et le sol.*

Pour que l'isolation soit efficace, il faut éviter toute autre liaison rigide entre l'équipement et son environnement : des dispositifs souples doivent donc être prévus au niveau de la fixation des tuyauteries, des structures associées...etc. Il faut également que la structure de part et d'autre de la suspension (châssis machine et dalle) soit suffisamment rigide pour ne pas interagir avec le ressort de la suspension.

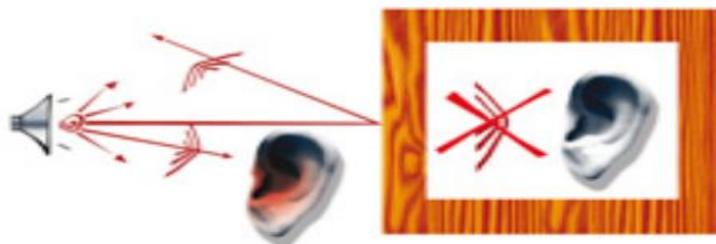
### III.2.6.LES ACTIONS SUR LA RECEPTION

#### III.2.6.1. CABINES

Le principe de la cabine est identique à celui de l'encoffrement, à ceci près qu'au lieu d'enfermer la source, on enferme le récepteur pour le protéger. Cette solution est donc également performante au niveau du gain acoustique, mais elle n'est bien sûr envisageable que pour un poste sédentaire : des sorties répétées de la cabine amènent à une exposition sonore élevée qui contribue fortement à l'exposition totale sur la journée de travail.

Les spécificités de la cabine par rapport à l'encoffrement sont les suivantes :

- Il est souvent souhaitable de prévoir un dispositif de communication avec l'opérateur situé à l'intérieur ;
- Il est possible d'isoler la cabine d'un point de vue solidien pour protéger l'opérateur des vibrations extérieures.



**Figure III.10 :** *Principes de la cabine « protégé l'opérateur ».*

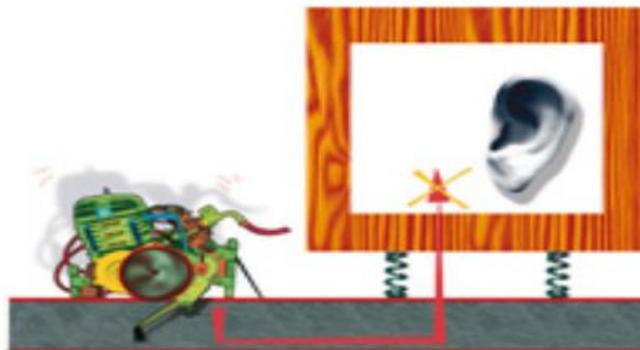


Figure III.11 : La cabine elle-même peut être isolée d'un point de vue vibratoire.

### III.2.6.2. PROTECTEURS INDIVIDUELS CONTRE LE BRUIT (PICB)

Les principes de base de la prévention veulent que la protection collective soit prioritaire par rapport à la protection individuelle : les PICB ne sont donc à utiliser qu'en complément de mesures de protection collective, ou en dernier recours en l'absence d'autre moyen de réduction de l'exposition sonore.

Mais ceci est particulièrement vrai pour le domaine du bruit. En effet, la performance effective du PICB, quel qu'en soit le type, est fortement atténuée par des paramètres courants :

- La durée du port : le PICB doit être porté en permanence, sinon son efficacité est considérablement réduite. Or, l'opérateur est souvent amené à ôter cet équipement pour des périodes courtes, soit pour discuter, soit par gêne momentanée.
- Les conditions de port : une mauvaise mise en place du PICB, ou un changement de position occasionné par un geste quotidien, génèrent des « fuites acoustiques » qui peuvent atténuer considérablement sa performance.

Tableau III.3 : Les équipements de la protection individuel contre bruit.

	<p>Les protecteurs munis de coquilles sont plus adaptés à des ports intermittents.</p>
	<p>Les bouchons d'oreille sont plus adaptés à des ports continus ; ils peuvent être « moulés sur mesure ».</p>

	<p>Certains protecteurs équipés électroniquement permettent un contrôle actif du bruit. Un système de communication par radio peut être intégré à certains « PICB ».</p>
---	--

### III.2.6.3. SIGNALISATION DES ZONES DANGEREUSES

#### ✓ *Affichage du signal d'avertissement*

La notion de « danger dû au bruit » n'est pas réglementaire et est facultatif. Toutefois, il demeure conseillé dans tous les cas où les niveaux instantanés d'exposition atteignent et dépassent habituellement 80 dB (A) ou 135 dB(C).

#### ✓ *Affichage des symboles normalisés d'obligation ou d'interdiction*

Il est réglementairement obligatoire, mais ne suffit généralement pas. Des affiches à caractère préventif éditées par l'INRS et mises à la disposition des entreprises par les CRAM (Caisse régionale d'Assurance maladie) permettent d'accompagner de manière incitative l'action de prévention mise en place sur le terrain.

**Tableau III.4 : les valeurs des seuils pour chacun paramètres d'exposition, puis les actions requises lorsqu'ils sont dépassés.**

Environnement sonore concerné	Nature de l'information	Types de signalisation
$80\text{dB (A)} < L_{\text{ex},j} < 85\text{dB (A)}$ $135\text{dB (C)} < L_{\text{pc}} < 137\text{dB (C)}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Danger du au bruit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Signal d'avertissement</li> </ul>
$L_{\text{ex},j} \geq 85\text{dB (A)}$ $L_{\text{pc}} \geq 137\text{dB (C)}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Danger du au bruit</li> <li>➤ Port obligatoire PICB</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Signal d'avertissement</li> <li>✓ Signal d'obligation</li> </ul>
$L_{\text{ex},j} \geq 105\text{dB (A)}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Danger du au bruit</li> <li>➤ Port obligatoire PICB</li> <li>➤ Accès des lieux réglementés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Signal d'avertissement</li> <li>✓ Signal d'obligation</li> <li>✓ Signal d'interdiction</li> </ul>

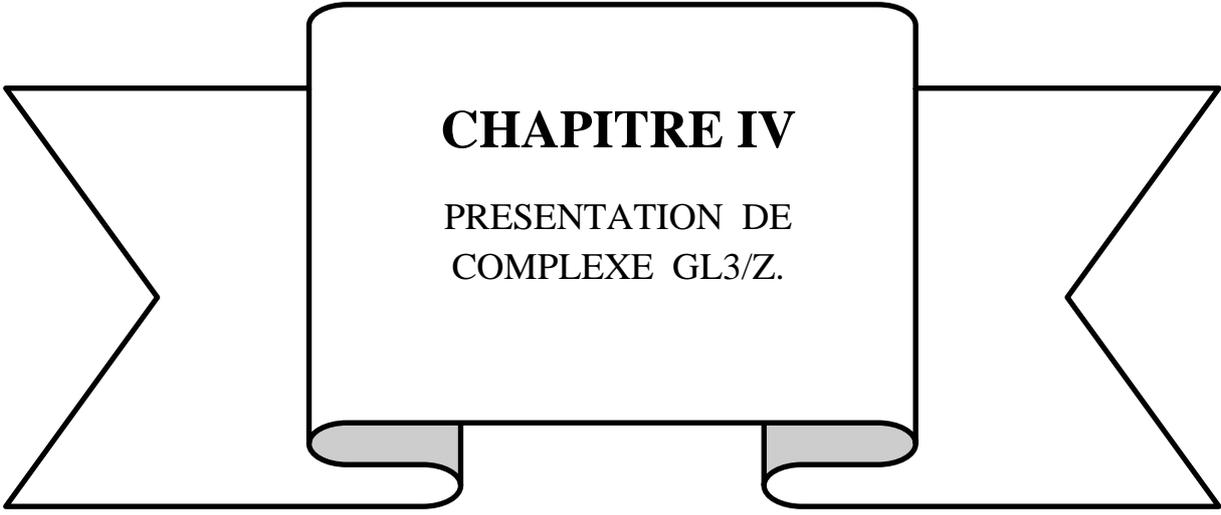


*Figure III.12 : Les types de signalisation.*

### III.3. CONCLUSION

Nous avons regroupé dans cette partie les différentes actions de réduction de bruit dans et les moyens de protection en vigueur.

Donc avant d'appliquer l'une de ces action, les sources de bruit doivent être identifiées, et après cela, le risque de bruit pour les travailleurs doit être évalué pour objet de déterminer des indicateurs de risques, principalement niveau d'exposition sonore quotidienne exprimé en dB(A) et niveau de pression acoustique de crête qui correspond à des bruits intenses mais courts et de décider des mesures de prévention appropriées.



**CHAPITRE IV**

PRESENTATION DE  
COMPLEXE  $GL_3/\mathbb{Z}$ .

## IV.1. INTRODUCTION

Le Projet GL3/Z fait partie d'une série de projets de gaz intégrés de plus grande envergure, créés par SONATRACH en Algérie, impliquant le développement des réserves de champs de gaz dans le Bassin de Berkine (Algérie centre-orientale), la construction d'un système de gazoduc et d'une nouvelle unité d'Usine GPL dans la zone industrielle portuaire El-Djedid à Arzew.

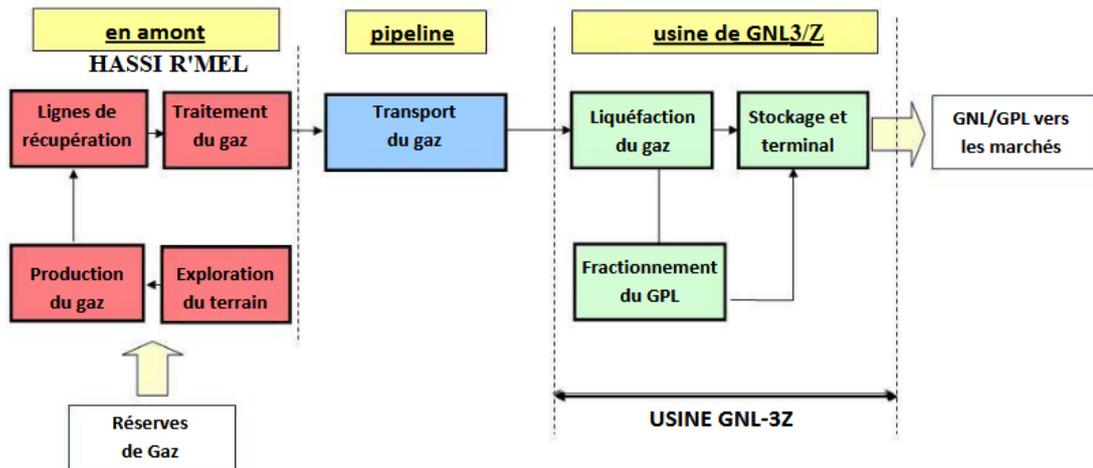


Figure IV.1: Chaîne d'Approvisionnement en Gaz du Projet GL3/Z.

## IV.2. EMBLACEMENT DE L'USINE GL3/Z

Le site de l'usine se trouve sur la Côte Méditerranéenne à Béthioua , à l'Est d'Arzew, dans la zone du port industriel d'Arzew; son étendue est de 54,6 ha. L'usine de GPL GP1/Z se trouve à la limite Est du site, tandis que l'usine de désalinisation (KAHRAMA) et l'usine GL2/Z existante se trouve à la limite Ouest. La Mer méditerranée et la route du port se trouvent au nord du site, alors que la route principale de la zone industrielle se trouve au sud.

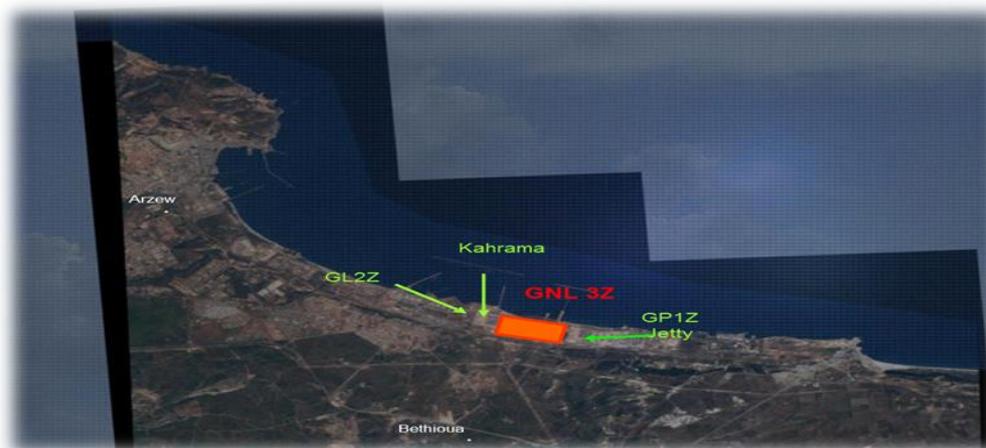


Figure IV.3 : Zone industrielle Emplacement de l'Usine GL3/Z d'Arzew.

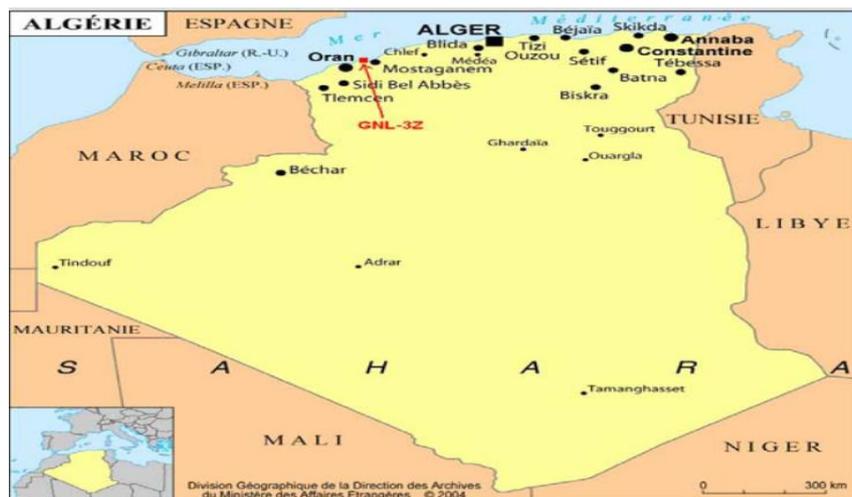


Figure IV.2 : Emplacement de L'Usine GL3/Z dans l'Algérie.

### IV.3. DESCRIPTION GENERALE DE L'USINE

L'Usine GL3/Z, décrite dans le présent Manuel Opérateur, est une usine entièrement nouvelle qui se compose d'un train de GNL. Des dispositions pour l'installation d'un second train et toutes les infrastructures nécessaires, comme les utilités, le stockage et le chargement sur les cargo sont également été prévus. La capacité productive annuelle du train de GNL est de 4,7 millions de tonnes (nettes dans les cargos de GNL), qui sera la même que celle du futur deuxième train de GNL. L'Usine GL3/Z produit du GNL, mais aussi de l'Ethane, du Propane, du Butane, de la Gazoline et un courant d'Hélium brut. La Gaz Naturel Liquéfié produit dans l'Usine de GNL est exporté vers les marchés internationaux, tandis que les composants plus lourds, comme le GPL et la gazoline, dont la valeur ajoutée est plus élevée, sont extraits et exportés séparément.

Le courant d'Hélium Brut sera disponible à une interconnexion qui alimentera une future Usine d'Extraction d'Hélium. L'éthane sera en grande partie acheminé vers une Usine d'Hydrocraquage située à proximité de GL3/Z, tout en satisfaisant à la consommation interne du train, c'est-à-dire l'appoint en Réfrigérant Mixte et les éventuels besoins en gaz combustible.

La capacité de production du complexe GL3/Z est présentée ci-dessous

Tableau IV.1: capacité de production du complexe GL3/Z.

Produit	Capacité de production
GNL	10.6 Millions m <sup>3</sup> /an (4.7 M tonne/an)
Ethane	300 000 Tonne/an
Propane	275 000 Tonne/an
Butane	58 000 Tonne/an
Gazoline	47 000 Tonne/an

Le GNL sera stocké dans deux réservoirs de rétention totale, chacun ayant une capacité de 160 000 m<sup>3</sup>.

Les produits du GPL seront stockés dans des réservoirs de rétention totale et séparés, d'une capacité de :

- ✓ 56 000 m<sup>3</sup> pour le propane
- ✓ 12 000 m<sup>3</sup> pour le butane

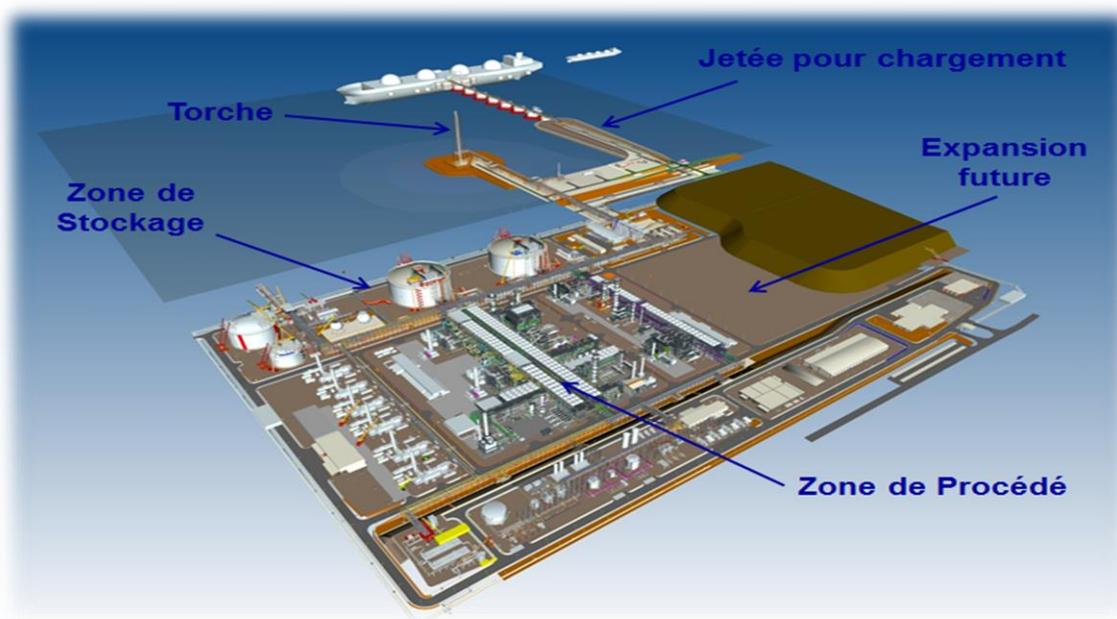
La gazoline produite sera stabilisée et stockée dans une sphère d'une capacité de 1800 m<sup>3</sup>.

#### IV.4. PRESENTATION GENERALE DES INSTALLATIONS DU TRAIN DE GNL

**Train de liquéfaction** : Ensemble des unités d'une usine ou d'une installation mobile assurant le traitement et la liquéfaction du gaz naturel [17].

D'une façon générale, l'implantation du complexe est divisée en trois parties bien distinctes :

- Les utilités.
- Le train de procédé N° 318800-GNL-3Z.
- La zone terminale « Stockage et chargement ».

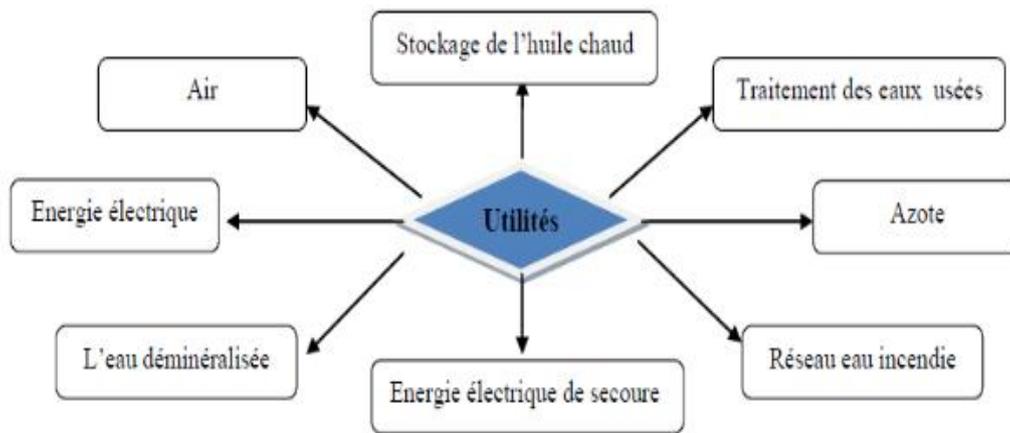


*Figure IV.4 : Maquette 3D de la Vue d'Ensemble de l'Usine.*

##### IV.4.1. UTILITES :

Le rôle des utilités est de fournir les éléments nécessaires au fonctionnement du train de procédé de GNL et de gérer les réseaux communs qui le composent. Ces unités produisent et distribuent l'énergie électrique, l'air service et l'air instrument.

Elles gèrent également les réseaux communs tels que les systèmes torche, eaux diverses, azote, huile chaude. La figure (IV.5) représente les différentes unités de la section d'utilité.



*Figure IV.5: un schéma représente les utilités du complexe GL3/Z [18].*

#### ➤ Description générale des différentes unités

**Unité 01:** L'arrivée du Gaz.

Est conçue pour mesurer le gaz Arrivée, d'alimentation de l'Usine et comprend un skid de comptage et une vanne d'isolement.

**Unité 02:** Stockage d'Amine

C'est un système de Stockage et de distribution (vers Unité 12) du Solvant d'élimination du Gaz Acide utilisant le produit « Amine Méthyle Diéthylamide Activé (AMDEA) ».

**Unité 08:** Stockage d'Huile

Unité de stockage de l'Huile distribuée vers le four (Unité 18) afin d'assurer de l'huile Chaude le réchauffage du gaz à un moment défini pendant le processus de liquéfaction.

**Unité 51:** Génération d'énergie « normale »

C'est une unité disposant de quatre (04) turbogénérateurs à turbine à gaz, permettant la production de l'énergie électrique nécessaire pour l'alimentation de toutes les unités et infrastructures de l'Usine.

**Unité 53:** Génération d'énergie « secours »

Cette unité dispose de 04 Générateurs de secours à moteur diesel assurant l'alimentation des unités nécessaires et des infrastructures de l'Usine pendant l'arrêt ou le dysfonctionnement de l'unité 51.

**Unité 55:** Système Commun de Gaz Combustible

Le Système Commun de Gaz Combustible (Gaz Arrivée) est conçu pour alimenter et distribuer le gaz combustible (HP à 24.5 baret BP à 5 bar).

**Unité 56:** Système d'Air Instrument et d'Air Service

Ce Système est conçu pour produire une quantité d'air suffisante pour l'exploitation du site. Cette unité comporte deux (02) compresseurs pour la production d'Air et deux (02) sècheurs assurant la déshumidification de ce dernier pour les exigences du processus de liquéfaction.

**Unité 57 :** Système d'Azote

Celle-ci est conçue pour stocker et distribuer l'Azote nécessaire au fonctionnement adéquat de l'Usine. Cette unité comprend deux réservoirs de stockage alimentés quotidiennement d'Azote fourni par d'autres Usines, par l'intermédiaire de camions citernes.

**Unité 59:** Système d'Eau Déminéralisée et de Service

Le Système d'Eau est conçu pour recevoir, stocker et distribuer l'Eau de Service et l'Eau Déminéralisée.

**Unité 58:** Système d'Eau Potable

Le Système d'Eau Potable est conçu pour recevoir, stocker et distribuer de l'eau, utilisée comme Eau Potable et Eau de Service pour les infrastructures.

**IV.4.2. TRAIN DE PROCEDE (Unités de Fabrication) :**

Comprend les unités suivantes:

**Unité 11:** Conditionnement du Gaz d'Alimentation

L'Unité de Conditionnement du Gaz d'Alimentation comprend la Compression du Gaz d'Alimentation et la section d'Elimination du Mercure.

**Unité 12:** Décarbonatation de Gaz

Unité d'élimination du Gaz Acide (Dioxyde de Carbone).

**Unité 13:** Déshydratation de Gaz

L'unité de Déshydratation est conçue pour éliminer l'humidité du gaz d'alimentation afin d'éviter tout bouchage au niveau du processus cryogénique.

**Unité 14:** Système du Gaz Combustible (Train 1)

Le Système de Gaz Combustible est conçu pour alimenter et distribuer le gaz combustible HP à 26 bars et le gaz combustible BP à 6 bars aux utilisateurs.

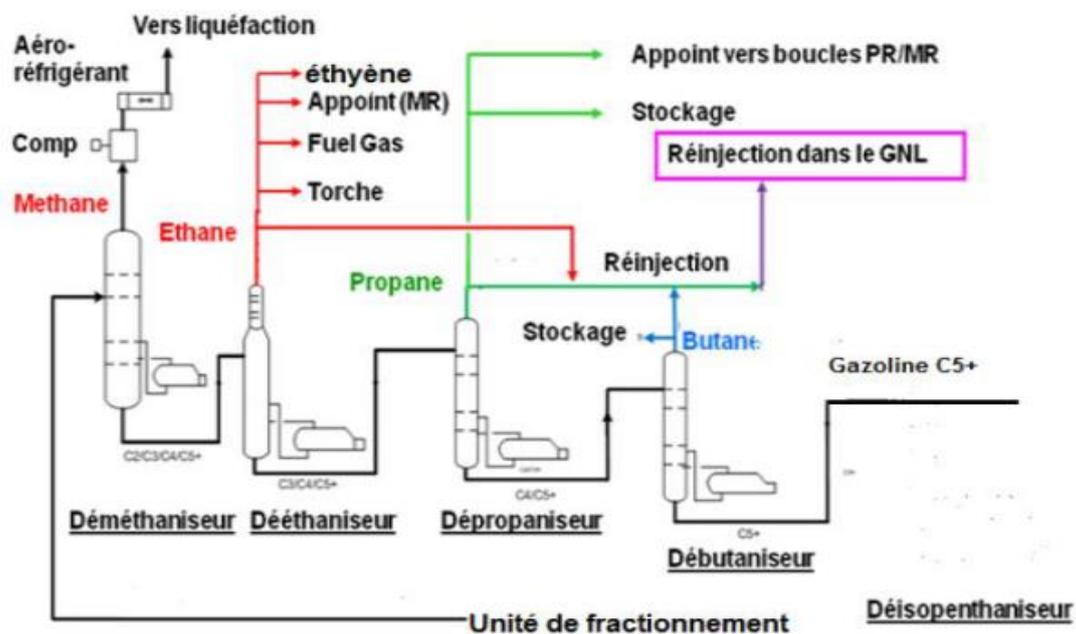
**Unité 18:** Système de l'huile Chaude

Unité de chauffage de l'huile stockée (Unité 08) et de distribution de l'huile chaude vers les utilisateurs.

**Unité 17:** Fractionnement

Cette Unité est divisée suivant les sections suivantes :

- ✓ Dé-méthanisation et Compression du Gaz Résiduel
- ✓ Dé-éthanisation
- ✓ Dé-propanisation
- ✓ Dé-butanisation



*Figure IV.6: l'unité de fractionnement.*

**Unité 16 :** Réfrigération

Cette Unité est divisée en deux sections :

- ✓ Circuit de Propane.
- ✓ Circuit du Réfrigérant Mixte.

**Unité 15:** Liquéfaction

Cette unité se compose de :

- ✓ Section de Liquéfaction de Gaz Naturel ;
- ✓ Section de Récupération de l'Hélium ;
- ✓ Section de Rejet de l'Azote ;
- ✓ Système de Gaz « End Flash ».

**Unité 19: Système de Refroidissement**

L'élimination de la chaleur de la machinerie est obtenue en utilisant de l'eau de refroidissement tempérée. Cette unité comprend deux grandes pompes distribuant l'eau de refroidissement amenée de l'Unité 59.

**IV.4.3.OFF-SITES (La zone terminale) :****Unité 64: Traitement des Eaux Usées et des Effluents**

Le Système de Traitement des Eaux Usées et des Effluents est conçu pour traiter les eaux usées Provenant des autres unités, utilités et production, mais aussi ceux provenant des infrastructures.

**Unité 71: Stockages et Chargement du GNL**

Le Système de Stockage et de Chargement du GNL est conçu pour stockage le produit fini et les installations adéquates pour assurer les chargements des navires (Méthaniers) dans les meilleures conditions de sécurité et les meilleurs délais.

**Unité 72: Chargement et Stockage des Produits GPL**

L'installation de stockage et de chargement des GPL fournit assure le stockage et l'exportation des produits finis (Propane C3 et Butane C4).

**Unité 73: Stockage du Réfrigérant (Ethane)**

Le Système de stockage du « Réfrigérant » est conçu pour assurer le fonctionnement du train de GNL, l'Ethane étant utilisé dans le mélange «Réfrigérant Mixte MR », utile dans le processus de l'liquéfaction du gaz naturel.

**Unité 75: Système de Torches**

Le Système de Torches est conçu et dimensionné pour faire face à toute élimination des produits non utiles au processus, cette élimination se fait en brûlant les dits produits vers atmosphérique. Cette unité comprend deux (02) torches HP montées sur une même structure (l'une pour les gaz chauds et l'autre pour les gaz froids) d'une hauteur de 130m, une (01) torche BP indépendante des deux précédentes pour les vapeurs de gaz lourds et une fosse permettant de brûler les liquides ne pouvant être éliminé vers les torchères.

**Unité 76: Système de Stockage de la Gazoline**

Cette unité comprend une sphère de stockage de la gazoline produite.

#### IV.5. PROCESSUS DE TRAITEMENT DE GAZ NATUREL :

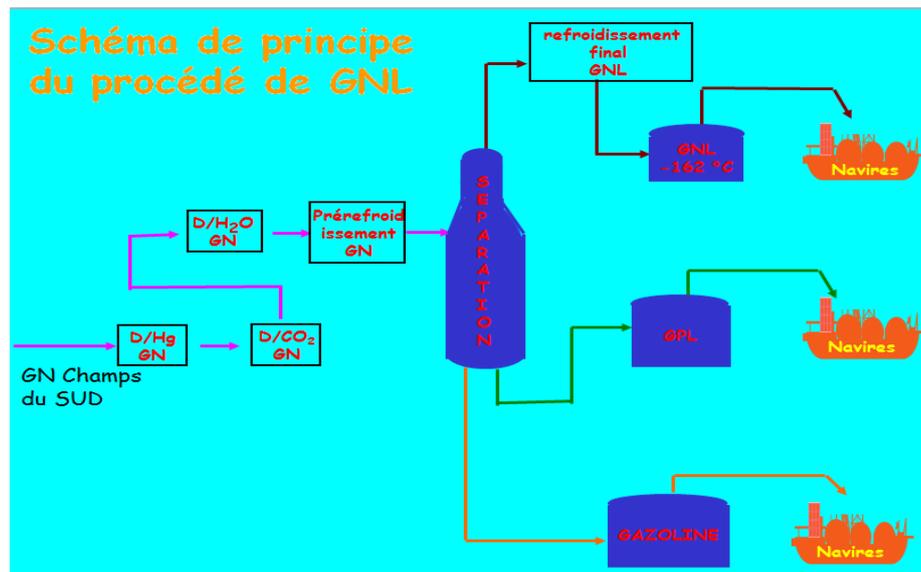


Figure IV.7 : Schéma de principe du procédé de GNL.

#### UNITE 11 : (Conditionnement du Gaz d'Alimentation)

Le gaz naturel provenant de l'unité d'Installations d'Entrée est envoyé vers l'unité de Traitement du Gaz d'Alimentation (Unité11) avant d'être acheminé vers l'unité d'élimination des gaz acides (Acid Gas Removal Unit, AGRU) (Unité12).

Les objectifs principaux de l'unité de Traitement du Gaz d'Alimentation sont les suivants:

1. Contrôler la pression à l'entrée du train de Procédé à l'aide d'une station de détente dédiée qui adoucit les fluctuations de pression du pipeline de gaz d'alimentation en amont du train de procédé;
2. Augmenter la pression du gaz naturel à l'aide d'une station de compression, dans le but de faciliter l'absorption des gaz acides et la récupération des GNL réalisées dans les unités 12 et 17 en aval;
3. Réduire la teneur en mercure du gaz d'alimentation à l'aide d'un lit d'adsorption, afin d'éviter d'endommager les équipements en aluminium en aval.

#### UNITE 12 : (Décarbonation du gaz naturel)

L'objectif de l'Unité d'Elimination des Gaz Acides est de réduire la teneur en CO<sub>2</sub> du gaz d'alimentation traité provenant de l'Unité11 à une concentration inférieure à 50 ppm en vol, avant que ce dernier soit acheminé vers la section de Déshydratation (Unité13).

Le processus de décarbonation, sous licence BASF, est effectué de façon aussi bien à répondre aux spécifications de vente normales du GNL qu'à éviter d'endommager l'équipement situé dans l'usine en aval. En effet, le CO<sub>2</sub> peut congeler en conditions de basse température, ce qui peut entraîner des blocages dans la section cryogénique.

L'Unité est principalement constituée d'une section d'absorption où le CO<sub>2</sub> est extrait du gaz d'alimentation et d'une section de régénération où le CO<sub>2</sub> est extrait de l'amine par désorption.

Un Incinérateur est prévu pour brûler les gaz acides extraits de l'amine par désorption dans la section de régénération. Un système de drainage dédié est également prévu afin de récupérer les drains d'amine et de séparer le solvant des hydrocarbures condensés.

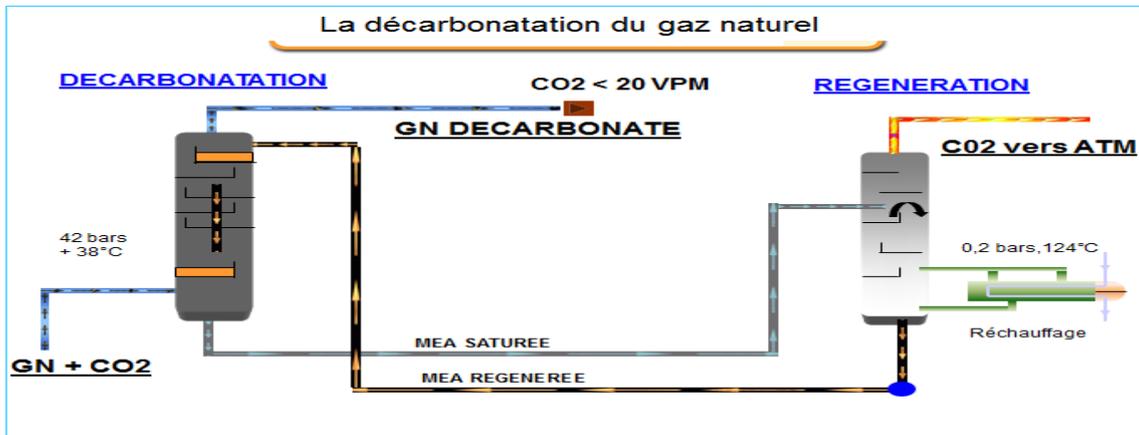


Figure IV.8: Procédé de décarbonatation du gaz naturel.

### UNITE 13 : (Déshydratation du gaz naturel)

L'objectif de la Déshydratation du Gaz (Unité13) est de réduire la teneur en eau du gaz d'alimentation décarbonaté provenant du Système d'Élimination des Gaz Acides (Unité12) avant d'être acheminé vers la section de Récupération des GNL en aval (Unité17), où l'eau pourrait geler à basse température.

L'Unité 13 a été conçue pour produire un gaz sec dont la teneur en eau est de 0,5 ppm en vol maximum. La déshydratation est obtenue au moyen de trois Sécheurs à Tamis Moléculaires installés après deux phases de refroidissement, avec un séparateur permettant de récupérer et renvoyer vers l'Unité 12 la plus grande quantité possible d'eau.

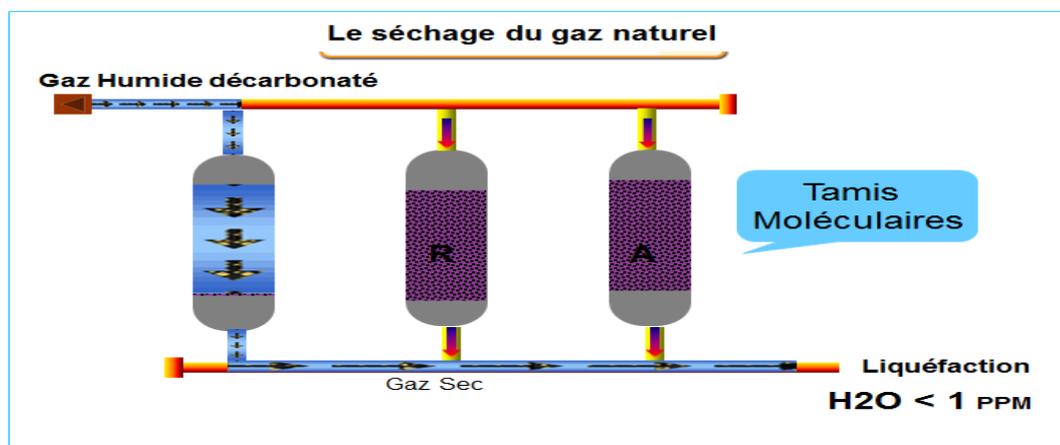


Figure IV.9 : Procédé de déshydratation du gaz naturel.

---

**IV.6. PROCESSUS DE LIQUEFACTION:****❖ Principe général de liquéfaction**

On liquéfie un gaz en abaissant sa température ou en augmentant sa pression. Dans la pratique, pour liquéfier le gaz naturel on combine ces deux moyens. Plus la pression est élevée et moins basse la température à atteindre pour liquéfier ce gaz. Donc, on augmente suffisamment sa pression puis on enlève de la chaleur.

L'extraction de cette chaleur est obtenue par le biais d'un fluide réfrigérant qui «s'auto-refroidit» par détente, après avoir lui-même été pré-refroidi par un autre fluide réfrigérant. Ce réfrigérant, par la suite circule, à contre-courant dans un échangeur cryogénique où il va extraire la chaleur contenue dans le gaz naturel [19].

**UNITE 15 : Liquéfaction**

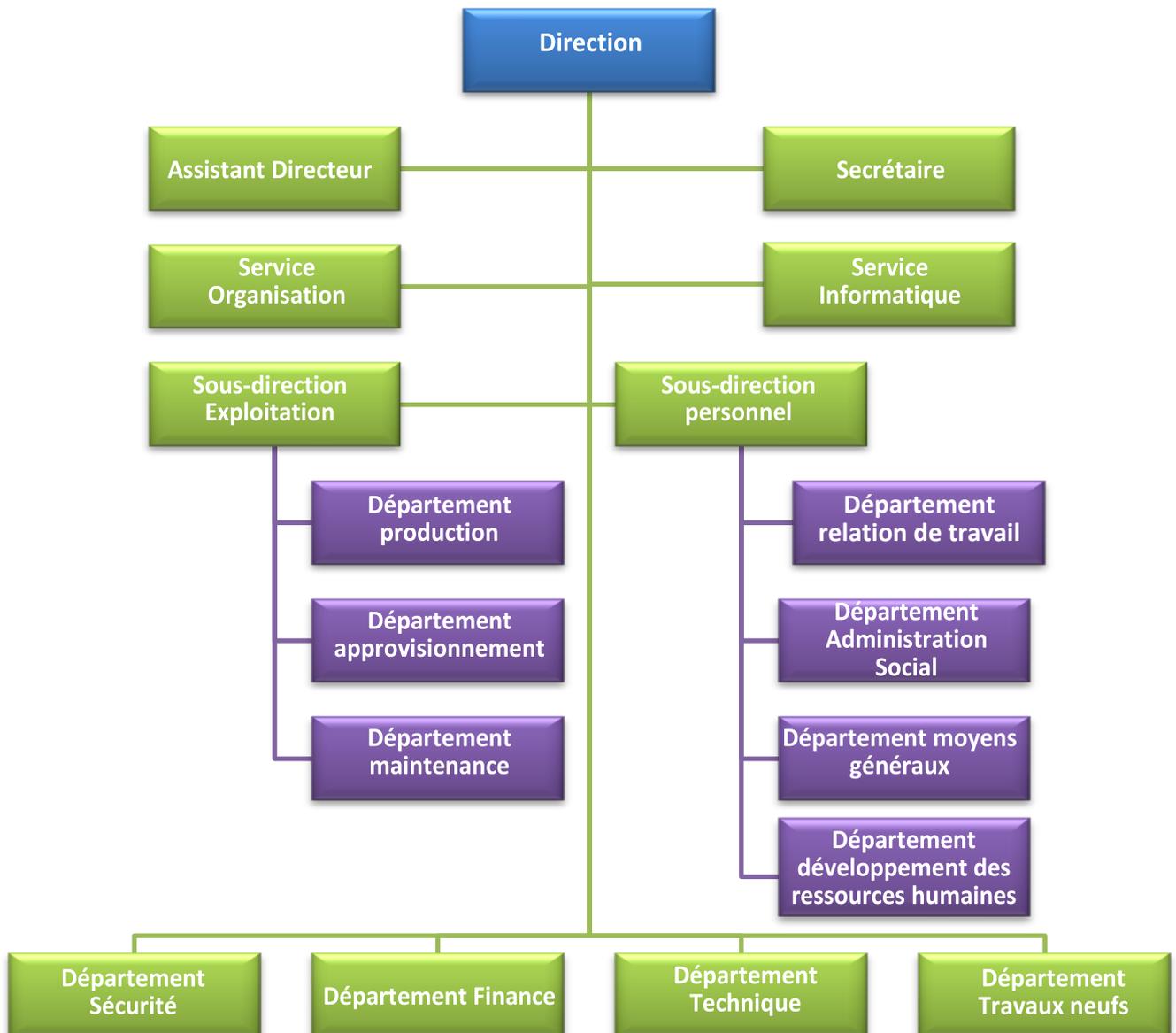
L'objectif de l'Unité de Liquéfaction (Unité15) est de produire du Gaz Naturel Liquéfié (GNL) répondant à une qualité de marché spécifique et un courant d'hélium brut.

Le gaz résiduel entrant dans l'Unité 15 ne contient aucune des impuretés principales, telles que l'eau, le dioxyde de carbone, les hydrocarbures lourds et le mercure. Ainsi, ces impuretés ne se solidifient pas à température basse et n'endommagent ni l'Echangeur Cryogénique Principal « *Main Cryogenic Heat Exchanger* », (MCHE) ni la Boîte Froide.

Les unités de Liquéfaction et de Réfrigération sont basées sur la Licence d'« *Air Products and Chemicals Inc. 's*» (APCI), le procédé Propane-Réfrigérant Mixte qui utilise un seul MCHE. La production de GNL dépend de la puissance de la turbine à gaz disponible pour les compresseurs de réfrigérant et des exigences d'alimentation spécifique (MW/tonnes de GNL).

#### IV.7. ORGANIGRAMME GENERALE DU COMPLEXE GL3/Z

Le Complexe GL3/Z est géré suivant un organigramme bien déterminé de façon à bien maîtrisé les tâches, il est composé d'une direction générale, de deux sous-directions et des départements de contrôle, comme le montre l'organigramme ci-dessous.



*Figure IV.10 : Organigramme de Complexe GL3/Z*

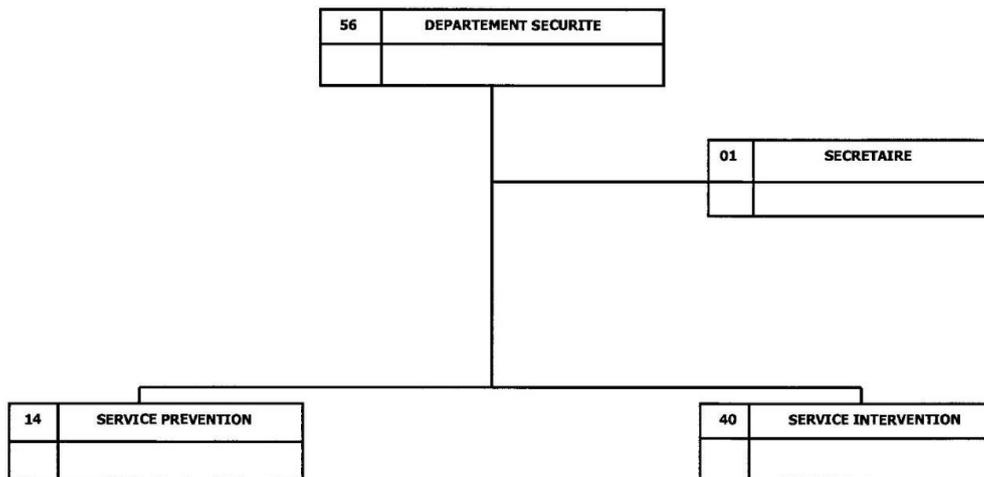
#### IV.8. SECURITE DANS LE COMPLEXE (DEPARTEMENT SECURITE)

Dans un lieu de travail qui se spécialise en exploitation de matière inflammable le problème de sécurité du personnel, des installations et des équipements est confié au département sécurité qui a pour mission :

- Prévenir les incidents et les accidents.
- Intervenir en cas d'accident.
- L'application des règles de sécurité pour éviter tout facteur de risque.
- Le contrôle des installations et la détermination des recommandations nécessaires.
- Le suivi des projets de développement en collaboration avec le service technique afin de respecter les normes de sécurité.
- Assumer toute opération d'intervention en cas d'accident.
- L'organisation des mouvements de véhicules et de personnel à l'intérieur du complexe.

Le département sécurité est constitué de deux services :

1. Service prévention.
2. Service intervention.



*Figure IV.11: Organigramme de département Sécurité.*

#### IV.8.1. LE SERVICE PREVENTION

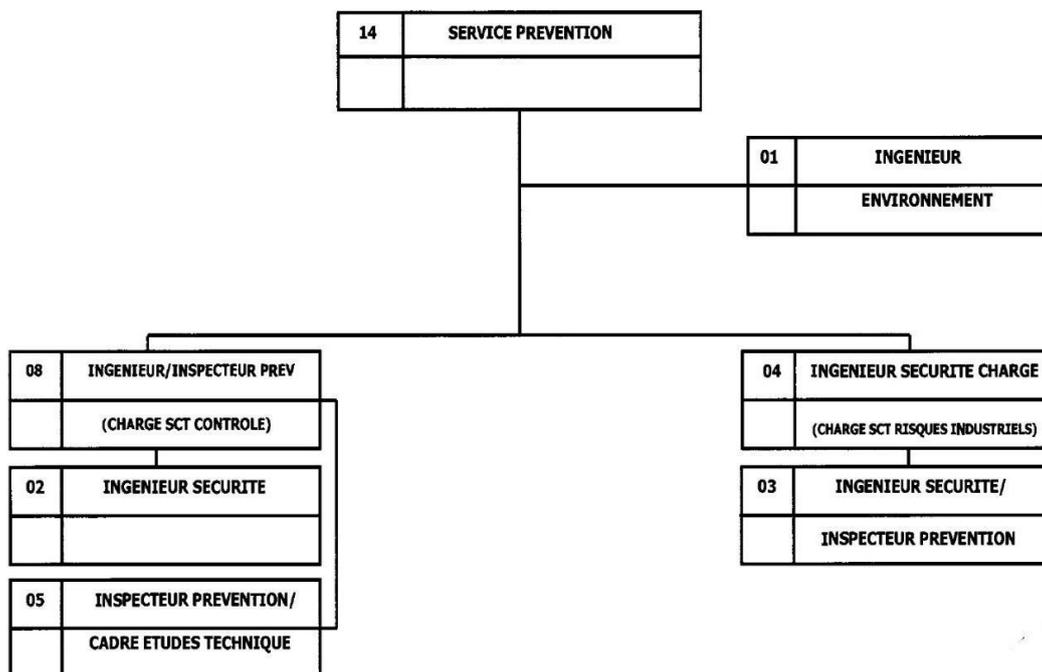
Les inspecteurs et ingénieurs de sécurité seront d'une expérience éprouvée, chacun suivant son affectation, ont la charge d'inspecter les installations, de délivrer des autorisations pour les travaux et de les surveiller pour être à l'affût du risque.

Ils peuvent par moment être formateurs, analystes des risques et des causes d'accidents.

Ils sont des observateurs attentifs des nuisances et de l'hygiène industrielle, ils proposent toutes les mesures d'améliorations qu'ils jugent utiles en se référant toujours aux normes et directives.

L'application de la règle de l'art peut susciter leurs interventions et leurs conseils.

L'homme de prévention s'attachera à devenir le conseiller et non l'homme de loi. Son métier l'oblige à évoluer avec son environnement. Il doit être formé aux techniques modernes d'analyse, de communication, de management, de gestion et d'organisation.



*Figure IV.12 : Organigramme de service prévention.*

#### IV.8.2.LE SERVICE INTERVENTION :

Description du département auquel nous avons été affectés :

Le service intervention est constitué de :

- a. Quatre équipes de quart.
- b. Section équipement.

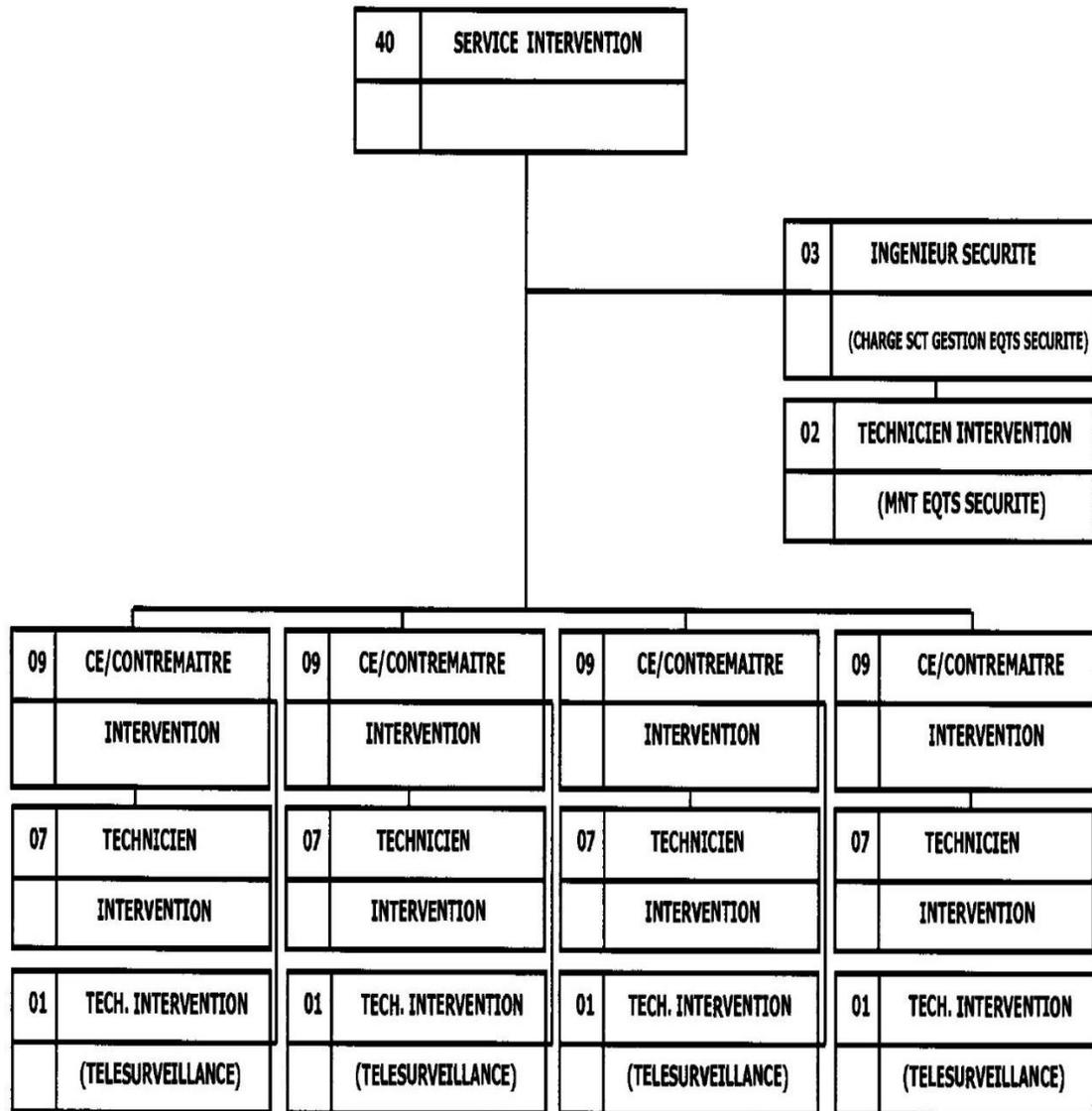


Figure IV.13 : Organigramme de service intervention.

#### a. Quatre équipes de quart:

Quatre équipes de quart est chargée de :

- Intervenir en cas d'accident/ incident.
- Evacuer des victimes.
- Assurer les premiers soins de secours et évacuer les blessés à l'infirmerie conformément à la procédure d'évacuation.
- Faire des rondes d'inspections des installations de production.
- Participer à la formation au feu.
- Assurer la gestion des moyens d'intervention.

- 
- Suivre les travaux de maintenance relatifs à l'entretien et à l'inspection des équipements et matériel de sécurité
  - Contrôler et entretenir les équipements et matériels de sécurité.
  - Surveiller les installations de production par le biais des caméras téléguidées ; ainsi que les équipements de lutte contre l'incendie à partir de deux consoles DCS.

#### **b. Section équipement :**

La section équipement est chargée de :

- Inspecter en permanence les équipements fixes et mobiles de sécurité.
- Entretien des équipements mobiles (extincteurs) ainsi que ceux d'Hélios et COGIZ.
- Assurer la maintenance des équipements fixes en collaboration avec le département de maintenance.
- Assurer l'installation des équipements fixes nouveaux avec le département Travaux neufs.
- Gérer les produits extincteurs (poudre, émulseurs, CO<sub>2</sub>).

Assurer la disponibilité de tous les véhicules avec les départements maintenance & moyens généraux Effectuer les différents tests des équipements avec le département.

### **IV.9. ORGANISATION GENERALE EN CAS D'URGENCE (O.G.C.U)**

Les activités d'exploitation de l'industrie pétrolière peuvent entraîner dans certains cas, des situations d'insécurité limitées ou généralisées devant lesquelles, tout effort serait vain, s'il ne fait pas partie d'une organisation prévue et adaptée aux circonstances.

La mise en œuvre des premiers secours n'aura de chances de succès, dans l'inévitable confusion qui suit la naissance d'un important événement, que si le plan de secours a été minutieusement préparé et compris par chaque exécutant, qui doit être pourvu d'une consigne écrite simple et précise.

Toute l'organisation n'a, en effet, de valeur et d'efficacité qu'autant que les Chefs, aux divers échelons, ont prévu les divers points suivants :

- Avoir des moyens (Personnel et Matériel) adaptés aux besoins ;
- Instruire le personnel à l'emploi du matériel pour que celui-ci soit utilisé dans les meilleures conditions ;

---

Posséder au moment de l'action un réseau de transmission important, qui sera nécessaire pour obtenir :

- Une prompt transmission des renseignements ;
- Une rapide diffusion de ceux-ci ;
- Une prompt transmission des demandes et des ordres ;
- Une sûre coordination des efforts de chacun.

### IV.9.3.SCHEMA D'OPERATION

Tout incident se caractérise par trois (03) étapes :

- La détection et l'alarme.
- L'organisation, la mise en œuvre et la coordination des moyens de défense.
- L'analyse des causes et de conséquences du sinistre.

### IV.9.4.ETATS-MAJORS

La mise en œuvre du plan O.G.C.U est assurée par :

- Un Poste de Commandement Fixe (P.C.F).
- Un Poste de Commandement Opérationnel (P.C.O).

#### IV.9.4.1. POSTE DE COMMANDEMENT FIXE (P.C.F)

Le P.C.F est placé sous le commandement du *Directeur*, assisté par les responsables des modules d'intervention.

#### ❖ LE RESPONSABLE DU (P.C.F) ENGAGE LES ACTIONS SUIVANTES

- S'informe de la situation auprès du P.C.O unité sinistrée.
- Réunit les membres du P.C.F et décide des mesures et dispositions à entreprendre.
- Détermine les actions stratégiques et opérationnelles, nécessaires à la gestion globale du sinistre :
- Définit les plans d'action.
- Délimite les secteurs d'intervention et mobilise les moyens à mettre en œuvre sur les lieux du sinistre.
- Met en alerte la Force d'Intervention de Réserve (F.I.R).
- Suit l'évolution de la situation.
- Fait lever le dispositif.
- Fait le bilan des opérations avec l'Etats-majors.

---

**IV.9.4.2. POSTE DE COMMANDEMENT OPERATIONNEL (P.C.O)**

Le P.C.O est placé sous le commandement du *chef de service Intervention*, assisté par le ou les spécialistes désignés dans le Plan.

**❖ LE RESPONSABLE DU (P.C.O) ENGAGE LES ACTIONS SUIVANTES**

- Tient informé l'Etat-major de toute évolution de situation.
- Met en œuvre les dispositions et mesures décidées par le P.C.F.
- Veille à la mise en œuvre et au renforcement des dispositifs.
- Selon l'évolution de la situation :
  - Demande les moyens nécessaires supplémentaires.
  - En situation incontrôlable susceptible de générer des risques majeurs, entreprend toutes mesures conservatoires et informe le P.C.F.
    - En situation maîtrisée ; continue à suivre l'évolution avec le P.C.F jusqu'à élimination du risque.
    - Annonce la fin des opérations.
    - Fait le constat des lieux et le communique au P.C.F.
    - Etablit le rapport préliminaire.
    - Participe à la consolidation du bilan et rapport final avec le P.C.F.

**IV.9.5. PRINCIPALES GENERAUX**

- Seul le Directeur ou son intérimaire désigné en journées normales sont habilités à demander les secours extérieurs.
  - L'ingénieur de quart fabrication ou le responsable de permanence peuvent être délégués par le Directeur à déclencher l'intervention des secours extérieurs.
  - Seul le Directeur ou son intérimaire désigné, peuvent décider le rappel du personnel de quart, qui n'est pas en service, si cela s'avère nécessaire.
  - Les agents des groupes d'intervention de réserve (GIR) rejoignent le poste de veille sécurité dès le déclenchement de l'alarme et se tiennent à la disposition du contremaître de quart intervention.
    - Les agents qui opèrent des travaux doivent dès le déclenchement de l'alarme, suspendre leur travail, mettre en sécurité leurs équipements et rejoindre sans panique le point de rassemblement le plus proche.
    - L'évacuation des blessés et les premiers soins se font sous le contrôle du médecin et des infirmiers.
    - Il est formellement interdit à tout agent non concerné par l'intervention de se rendre sur le lieu de l'incident.

---

#### IV.9.6. CONSIGNES GENERALES

Toute personne, témoin d'un début d'incident (feu, fuite, etc..) doit immédiatement donner l'alarme :

- En actionnant une boîte d'alarme.
- En téléphonant au poste de veille.
- En utilisant les postes téléphoniques ADF localisés sur site.
- En appelant par radio au canal (n) ou par téléphone.

Le message doit être clair et précis, en indiquant la nature, l'importance et le lieu de l'incident.

En cas d'incendie les moyens d'intervention disponibles à proximité, doivent être utilisés pour attaquer le feu à la base des flammes, en attendant l'arrivée des secours.

**Attention** : Informer d'abord, intervenir après.

Dès la réception de l'information, le stationnaire (poste de veille) :

- Actionne le Klaxon interne pour la mobilisation des équipes d'intervention ; Informe le Chef de Quart intervention et le Chef de Service intervention ; Rappelle tous les mobiles pour rejoindre le bâtiment intervention.

- Pendant la durée de l'intervention, l'usage des moyens de communication (téléphones, radios) devra être strictement réservé aux appels urgents et principalement de ceux rentrant dans le cadre de l'intervention.

- Tous détenteurs de radios doivent se mettre en écoute sur Canal (n).
- Toutes les voies conduisant sur les lieux d'une intervention doivent être maintenues dégagées pendant toute la durée de l'intervention.
- Les véhicules d'intervention et les ambulances sont prioritaires pendant la durée de l'intervention.

Tout mouvement d'entrée et de sortie de véhicules et de personnes doit être suspendu à l'exception de ceux rentrant dans le cadre de l'assistance mutuelle.

#### IV.9.7. CODE DE SIRENES

❖ *Un (01) coup de sirène continu de 1 mn (Etat d'alerte) :*

- Arrêter les travaux, les moteurs des véhicules, engins et appareils électriques ;
- Rester à votre poste.

❖ *Deux (02) coups de sirène (Etat d'alarme):*

- Dégager les routes et autres voies d'accès; Rejoindre votre structure.

---

**❖ Trois (03) coups de sirène (Etat d'évacuation) :**

- Rejoindre le point de rassemblement désigné.
- Se mettre à la disposition du responsable du point de rassemblement.

**❖ Un (01) coup de sirène continu de 30 secondes (Fin d'alerte):**

- Rejoindre votre poste de travail initial, sauf nouvelles instruction ou orientation de votre hiérarchie.

**IV.10. MOYEN DE LUTTE D'INTERVENTION AU COMPLEXE GNL/3Z**

Les systèmes fixes de lutte contre l'incendie sont nécessaires pour protéger les équipements susceptibles d'être exposés, afin d'éviter que l'incendie ne s'étende et de minimiser les dommages dus à l'incendie.

**IV.10.1. MOYENS D'INTERVENTION FIXES****IV.10.1.1. INSTALLATION FIXE A EAU**

L'installation fixe à eau de protection et lutte contre incendie est constituée de :

**1. Source d'eau pour l'eau incendie :** Le réservoir de stockage 63-MF01 est utilisé pour servir le système d'Eau Anti-Incendie.

**2. Dispositifs d'entraînement (Pompes) :** Plusieurs pompes à eau incendie ont prévus avec une capacité suffisante pour satisfaire à la plus grande demande instantanée.

**Unités 63 :** Les deux pompes jockey (63-MJ03-A/B) dimensionnée chacune pour 72 m<sup>3</sup>/h à 10 bar, sont des pompes centrifuges horizontales entraînées par un moteur électrique.

La pompe 63MJ01-A, dimensionnée pour 908 m<sup>3</sup>/h à 10 barg, est une pompe centrifuge horizontale à moteur électrique.

La pompe 63MJ01-B, dimensionnée pour 908 m<sup>3</sup>/h à 10 barg, est une pompe centrifuge horizontale à moteur diesel.

**Unités 77 :** La pompe 77MJ01-A, dimensionnée pour 908 m<sup>3</sup>/h à 10,2 barg, est une pompe centrifuge verticale à moteur électrique.

La pompe 77MJ01-B, dimensionnée pour 908 m<sup>3</sup>/h à 10,2 barg, est une pompe centrifuge verticale à moteur diesel.

La pompe 77MJ01-C, dimensionnée pour 908 m<sup>3</sup>/h à 10,2 barg, est une pompe centrifuge verticale à moteur diesel.

**3. Un réseau d'incendie :** la conduite souterraine d'eau anti-incendie sera GRP, le réseau est équipé de :

- **Tuyauterie :** doit être bouclée et maillée de même diamètre qui permettra de réduire les pertes de charges dans la canalisation et une bonne distribution de l'eau incendie.
- **Vannes de sectionnement :** permettront en cas de fuites ou de rupture dans n'importe quels tronçons de l'isoler et d'assurer à l'ensemble du réseau l'arrivée de l'eau incendie.
- **Bouches d'incendie (FH/HT/HJ) :** les 99 bouches incendies sont utilisées pour moyen d'alimentation, les bouches se trouvent le long de la route, à des endroits stratégiques. Il comporte:
  - Une prise d'eau de Ø100.
  - 04 prises d'eau de Ø70.
- **Lance monitors (FM) :** Les lances monitors sont destinées à fournir de l'eau ou de la mousse pour le refroidissement ou l'extinction des incendies. Ils complètent les systèmes de déluge.

Une lance monitor est un appareil destiné à projeter de l'eau sous pression sous forme de jet plein ou bien jet pulvérisé (rideau d'eau). On trouve 50 lances monitor FM dans l'usine.

- **Lances monitor surélevées (EM) :** 2 lances monitor EM installées sur la jetée pour protéger la zone du collecteur des méthaniers et des bras de chargement.



*Figure IV.14: Lance monitors (50-FM08)*



*Figure IV.15: Bouches d'incendie (50-FH22)*

- **Dévidoir fixe (HR) :** C'est un mécanisme formé d'une bobine tournant autour d'un axe sur lequel on enroule un tuyau de 30 mètre souple. 51 dévidoirs sont installés le long des pipe-rack des unités en des points stratégiques.

• **Boîtiers à tuyau (HB) :** fournis sur toute la surface de l'usine, Chaque boîtier à tuyau doit contenir deux tuyaux et deux tubulures de pulvérisation (jet diffusé/direct) dotés de raccords. Les 48 HB sont présent dans l'usine.



*Figure IV.16: Dévidoir fixe (50-HR-007)*

• **Robinet Incendie Armée (RIA) :** 28 robinet incendie armé sont installée dans les bâtiments maintenance et approvisionnement.

• **Postes d'incendie (FP) :** 12 FP placés en des points stratégiques sur l'ensemble de l'usine et disponibles pour un emploi immédiat de la part des opérateurs en cas d'incendie. Ils sont ouverts afin de faciliter l'accès, ils ont un auvent pour les protéger contre les intempéries et sont clairement identifiables et dotés de :

- Deux (2) extincteurs à poudre chimique à roulettes d'une capacité de 50 kg.
- Deux (2) couvertures ignifuges.
- Deux réservoirs de mousse à bas foisonnement d'une capacité de 100l.
- Une armoire contenant deux (2) appareils respiratoires.
- Une armoire contenant deux (2) combinaisons anti-feu.

#### **4. Système de protection refroidissement (système déluge)**

Le système de pulvérisation d'eau est un système à tuyau fixe constamment raccordé au réseau de distribution d'eau anti-incendie et muni de buses de pulvérisation d'eau judicieusement agencées pour garantir la décharge et la distribution de l'eau sur la surface de l'équipement à protéger.

• Les installations de ce type sont destinées d'arroser une zone déterminée dans laquelle le feu peut s'étendre dès L'origine.

• Une installation "déluge" est une installation dont le réseau d'extinction est équipé de Sprinklers ouverts ou de buses spéciales.

Une installation "déluge" est une installation dont le réseau d'extinction est équipé de Sprinklers ouverts ou de buses spéciales. Branchés de manière permanente au réseau d'eau anti-incendie et dotés de tubulures de pulvérisation d'eau correctement positionnées pour l'écoulement d'eau et la distribution sur toute la surface de l'équipement à protéger.

107 système D.V présent dans l'usine pour assurer la protection des transformateur, four, compresseur, collons, échangeur, sphères et cuve.



*Figure IV.17: Système déluge (10-DV-4031/32)*

L'élément thermosensible est soit un fusible soit une ampoule qui maintien en place un bouchon obturant l'arrivée d'eau. Cet élément est calibré à une température précise.

La température de fonctionnement des sprinklers les couramment utilisés est de 68°C.

#### **IV.10.1.2. INSTALLATION FIXE A MOUSSE**

Afin d'améliorer l'efficacité de la protection incendie par système déluge, en particulier sur les feux de classe B, on utilise de plus en plus souvent l'injection d'émulseur AFFF dans les réseaux d'extinction.

L'emploi d'émulseurs AFFF (Agent Formant Film Flottant) s'impose donc car ces produits, mélangés à l'eau ont la propriété de former un film à la surface du combustible.

Toute installation fixe à mousse est constituée :

- D'un réservoir à émulseur.
- D'un groupe de proportionner (en fonction des débits de solution moussante).
- D'une arrivée d'eau sous pression.
- D'un réseau de tuyauteries doit être en acier zingue afin d'éviter les dépôts de rouille et le bouchage des canalisations.

- Des générateurs de mousse (GHF, GMF ou GBF), adéquatement placés en de l'éjection et de la distribution de la mousse sur la surface du bassin de rétention à protéger ou des lances monitor situées sur les installations.

Ce film contribue donc à l'extinction d'un feu de liquide inflammable, d'une part en isolant la surface du combustible de l'air ambiant, d'autres parts en empêchant l'émission de vapeurs inflammables.

On trouve dans le complexe 12 système mousse repartie près des cuvettes de retentions et pour alimentations des lance monitor élevé qui se trouve dans la jeté.



*Figure IV.18: Système mousse (70-ML-03)*



*Figure IV.19: Cuvettes de retentions  
(10-CV-09)*

#### IV.10.1.3. INSTALLATION FIXE A POUVRE

Dispositifs de poudre fixes de protection anti-incendie de l'Unité (SKIDE A POUVRE):

Le système de poudre est un système de tuyauterie fixe doté de tubulures pour la libération de la poudre et sur chaque vanne de refoulement du tuyau d'échappement placé sur le toit du réservoir de GNL/GPL.

Le système à poudre doit être défini selon la norme du fournisseur mais doit être composé de la manière suivante:

- Réservoir de poudre rempli de poudre chimique sèche.
- Bouteilles d'azote utilisées pour la pressurisation du système.
- Vanne de décharge.
- Tuyauterie de distribution.

#### IV.10.1.4. INSTALLATION FIXE A DIOXYDE DE CARBONE (CO<sub>2</sub>)

Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est un agent extincteur il agit en s'opposant à la réaction de combustion.

**Domaine d'application** : l'application de CO<sub>2</sub> permet de maîtriser les incendies d'origine électrique dans les bâtiments où des incendies de nature électrique pourraient se déclarer. Un système automatique est aussi prévu sur les équipements suivants:

- Turbines à gaz et générateur (GTG) + diesel de secours (EDG).
- Compresseur (17MJ03/08, 11MJ01) + compresseur MR et PR (système SANCO).



*Figure IV.20: Extinction GTG (CO<sub>2</sub>)*



*Figure IV.21: SKIDE A POUDRE (71-MF-01)*

#### IV.10.1.5. INSTALLATION FIXE D'EXTINCTION PAR (ARGON)

L'ARGOSYSTEM utilise comme agent extincteur le gaz Argon, qui agit sur l'incendie, en faisant baisser le pourcentage d'oxygène de 20.9% à 15%.

Les cylindres IG-01 doivent être installés convenablement et soutenus par un rack prévu à cet effet. Cet ensemble et ces espaces de maintenance doivent être insérés dans des conteneurs situés aussi près que possible de la pièce protégée. Ils ne doivent pas être situés à l'intérieur de la pièce protégée. Les conteneurs doivent être protégés de la lumière directe du soleil, de la présence de sujets non autorisés et ils doivent aussi être secs et aérés.



*Figure IV.22: L'ARGOSYSTEM-FIR1-*



*Figure IV.23: Système d'activation -locale-*

Les cylindres IG-01 doivent être installés convenablement et soutenus par un rack prévu à cet effet. Il peut être déclenché automatiquement via les détecteur S.D comme il peut être déclenché manuellement à l'extérieur du bâtiment.

L'IG-01 doit être utilisé dans les Salle des Instruments (FIR1, FIR2, FIR3, FIR4, CIR).

#### IV.10.1.6. INSTALLATION FIXE D'EXTINCTION PAR (NOVEC 1230)

Le NOVEC 1230 est utilisé pour maîtriser les incendies se déclarant dans les sous stations de l'usine.

Le système de lutte contre l'incendie Novec1230 installés au sein des sous-stations de l'Installation GL3Z (Algérie) et des instrumentations de lutte contre l'incendie s'y afférant.

Activation de système: Chaque système comprend une ligne principale et une ligne de réserve de bouteilles, dont le volume a été dimensionné sur la base du volume de l'espace qui doit être rempli par l'agent d'extinction.

Les 214 bouteilles Sont disposées de façon à pouvoir être permutées facilement et sont connectées en permanence à un Système de tuyaux fixes.

La disposition des tubulures de pulvérisation satisfait aux exigences de Concentration de NOVEC 1230 dans l'enceinte choisie pour la protection.

NOVEC 1230 doit être utilisé dans les sous-stations (SS1, SS2, SS3, SS4, SS5, SS7).



*Figure IV.24 : Bouteilles NOVEC-SS1-*

Le système comprend des cylindres NOVEC principaux et 100% de réserve, en ligne, disposés de manière à être facilement remplacés, et connectés de manière permanente à un système fixe de conduits et tubulures de distribution qui répond à la concentration requise de NOVEC 1230 dans l'enveloppe sélectionnée pour la protection.

---

## IV.10.2. MOYENS D'INTERVENTION MOBILES

### IV.10.2.1. LES EXTINCTEURS

**a. Les extincteurs portatifs :** Des extincteurs portatifs doivent être installés dans différentes zones de l'usine de façon à être à la portée des opérateurs en cas de besoin.

Les extincteurs portatifs sont installés sur les murs, colonnes, etc.

Trois types d'extincteurs portatifs sont disponibles dans l'usine:

- Extincteurs à poudre chimique sèche (quantité 222) : répartis dans différents bâtiments et les différentes installations, et dans les sous-stations électriques.
- Extincteurs à CO<sub>2</sub> (quantité 84) : situées dans les bureaux, salles électriques et électroniques.
- Extincteurs à eau (quantité 6) : présent dans l'archive.



*Figure IV.25: Extincteur à poudre*



*Figure IV.26: Extincteur à CO<sub>2</sub>*

**c. Les extincteurs sur roues :** Trop volumineux pour être portés, et donc équipés de roues afin d'être mobiles (on retrouve des extincteurs 50 kg).

### IV.10.2.2. LES ENGINS

**a. Camion anti incendie trivalent:** Il se compose trois réservoirs :

- Réservoir d'eau de 4000 L.
- Réservoir d'émulseur de 2000 L.
- Réservoir de poudre de 1000 kg.

- Quatre compartiments équipés principalement de lance, tuyaux, dévidoirs, réductions, tricoises et division.
- Un compartiment en arrière pour l'alimentation du réservoir d'eau et le contrôle des pompes et la vérification du niveau des réservoirs eau et émulseur
- Deux lance canons l'une eau/émulseur et l'autre à poudre.

#### b. Véhicule Premier secours (PS)

Un pick-up équipé de deux réservoirs de poudre d'une capacité de 150 kgs et deux dévidoirs et 3 extincteurs (eau, poudre et CO<sub>2</sub>).

Le véhicule de premier secours (PS) est parfaitement équipé pour la première intervention en cas de sinistre.



*Figure IV.27: Véhicule premier secours (PS)*



*Figure IV.28: Camion anti incendie trivalent*

#### IV.10.2.3. ÉQUIPEMENTS ET MOYENS DE SECOURS

- Moyens de sauvetage
  - Echelles
  - Cordage
  - Matériels de secours aux asphyxies
  - Ambulance
- Moyens de protection
  - Groupe de vide-cave
  - Moto- pompe

**Tableau IV.2 : Les moyens de communications**

Type	Localisation
Radio Fixe	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Service intervention</li> <li>▪ Service fabrication</li> <li>▪ Service stockage</li> <li>▪ Service utilité</li> </ul>
Tel ADF	Tous les cadres de complexe
Messagerie Internet / SONATRACH	Tous les services du complexe
Radio Portative	
Echange Par E-Mail	
Tel Fixe	
Radio FIR	Service intervention
Accès Panel	
Radio Mobile	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ambulance</li> <li>▪ Camions de lutte contre l'incendie</li> <li>▪ Véhicule premier secours et VL</li> </ul>

#### IV.11. ANALYSE D'ACCIDENTALITE POUR UNE PERIODE DE 5 ANNEES

L'analyse des accidents est nécessaires pour connaître l'évolution de l'effort de prévention dans l'entreprise, elles permettent de mesurer les causes, la fréquence des accidents de travail et d'en déterminer les causes principales. Pour cette analyse nous devons considérer deux indicateurs clés qui sont : le taux de fréquence, taux de gravité.

Les deux indicateurs sont définis et obtenus comme suit:

➤ **Taux de fréquence:** mesure le rapport entre accident de travail et le nombre d'heure travaillé

$$T_f = \frac{\text{nombre accident avec arrêt}}{\text{nombre d'heure réellement travaillées}} * 10^6$$

➤ **Taux de gravité:** exprime la perte subie en incapacité du fait des accidents de travail

$$T_g = \frac{\text{nombre de jour calendaires perdus}}{\text{nombre d'heure travaillées}} * 10^3$$

Statistiques d'accidents de travail dans le complexe pour une période de 5 années (TF & TG) sont comme suit :

**Tableau IV.3 : Taux de fréquence et Taux de gravité pour une période de 5 années**

<b>Années</b>	<b>Nombre AAA</b>	<b>TF</b>	<b>TG</b>
2019	01	1,84	0,03
2018	04	2,95	0,03
2017	04	4,23	0,013
2016	06	8,12	0,051
2015	03	3,74	0,043

**Remarque** : Selon les résultats obtenus de Statistiques d'accidents de travail dans le complexe pour une période de 5 années Il s'avère que les accidents diminuent considérablement Et les efforts de prévention donnent de bons résultats afin d'atteindre la sécurité industrielle à l'intérieur de l'usine.

#### **IV.12. CONCLUSION**

Dans ce chapitre, nous avons décrit le site de liquéfaction de gaz naturel GL3/Z, ses activités et ses produits finis, on a aussi présente un aperçu sur les différentes zones du complexe.

# **CHAPITRE V**

ANALYSE DE L'AMBIANCE  
ACOUSTIQUE D'UN TRAIN  
DE LIQUEFACTION DE  
GL3/Z.

## V.1.INTRODUCTION

Le train de GL3/Z (N° 318800-GNL-3Z) est une entité industrielle de production de gaz naturel liquéfié, comprenant les zones de Procédé principale (de l'Unité 11 à l'Unité 19). Ces zones sont classées; selon les opérateurs sur site; comme étant des zone ou on trouve des difficultés de communication.

Ce test de communication dans ce cas, qualifie ces zones d'être susceptible de présenter un risque auditif, est donc sont classé comme des zones acoustique de niveau 1.

La population faisant face à une incertitude de risque bruit est:

- Les ouvriers de taches diverses.
- L'opérateur sur site.
- Les travailleur en poste fixe dans, et à proximité de ces zone.

Est-ce que la population présente dans ces zone face un risque bruit? Quelle sont les zones de danger? Et comment faire face si le risque existe?

Dans cette partie, on va mener une étude simplifié de risque bruit, visant à identifier les zones de risque certains, les zone de confort acoustique, et les zone d'incertitude dont le périmètre sera limité pour être objet a une étude normalisé.

L'identification des zones de danger, va permettre d'estimer l'exposition journalière des travailleurs occupants des postes fixes. Ainsi que l'exposition des opérateurs sur site, et des métiers dont les durées moyennes des taches sont connus.

A la fin de cette étude simplifiée, on sera capable de:

- ✓ Procéder vers les plans de lutte contre le bruit.
- ✓ Planifier une étude approfondie dans les zones d'incertitudes.
- ✓ Diminuer la durée de quelque tache si l'exposition quotidienne présente un risque à long terme (acouphènes, surdité professionnelle).
- ✓ Identification et représentation cartographique des zones de danger acoustique:

➤ Pour identifier les zones de danger, nous allons représenter les différents niveaux sonores calculés dans différents points répartis sur toutes les zones, sur un plan de masse, pour avoir une carte de bruit illustrant les différentes zones.

➤ Pour faire le calcule, les sources présentent sur site doivent être repéré, est la puissance sonore émise doit être évalué.

## V.2. MESURE DE BRUIT SUR LE TRAIN DE LIQUIFACTION

### V.2.1. IDENTIFICATION DES LIEUX ET EVALUATION DES SOURCES EMISSIONS SONORES

Dans le site de production, les sources bruyantes sont:

- Le four.
- Les pompes.
- Les compresseurs.
- Les Aéros-réfrigérants.

Une prise sonore par un sonomètre de classe 1, avec un filtre de pondération (A), les émissions sonores prises en considération correspondent 85 dB(A) ou plus à 1 mètre de distance du boîtier ou de la surface des éléments ; nous a donné les résultats présentés dans les tableaux suivant:

*Tableau V.1: Résultats de mesures réalisées dans l'unité 11 ;*

<b>Unité 11</b>		
<b>Étiqueté de l'équipement</b>	<b>Description</b>	<b>Niveau de pression acoustique à 1 mètre [dB(A)]</b>
11-MJ01-GT	Conducteur de turbine de compresseur de gaz d'alimentation	91
11-MC01	Refroidisseur du compresseur de gaz d'alimentation	87

*Tableau V.2: Résultats de mesures réalisées dans l'unité 12 ;*

<b>Unité 12</b>		
<b>Étiqueté de l'équipement</b>	<b>Description</b>	<b>Niveau de pression acoustique à 1 mètre [dB(A)]</b>
12-MJ21-A	Pompe du solvant pauvre	88
12-MJ22-A/B	Pompe de surpression de solvant pauvre	89
12-MJ23-A	Pompe de reflux de régénérateur	85
12-MJ29-A	Pompe de Drainage d'Eau Acide	86
12-MJ30-A	Pompe à eau de lavage	87
12-MJ31-A	Pompe de lavage	85
12-ML22	Ensemble de l'Incinérateur de Gaz Acide	85
12-ML22-MJ01-A/B	Ventilateur d'incinérateur de gaz acide	89
12-MC24	Condenseur du Régénérateur	85
12-MC21	Refroidisseur d'Amine Légère	86

*Tableau V.3: Résultats de mesures réalisées dans l'unité 13 ;*

<b>Unité 13</b>		
<b>Étiqueté de l'équipement</b>	<b>Description</b>	<b>Niveau de pression acoustique à 1 mètre [dB(A)]</b>
13-MC01	Pré-refroidisseur de gaz des sécheurs	86
13-MC05	Pré-refroidisseur d'air des sécheurs	85

*Tableau V.4: Résultats de mesures réalisées dans l'unité 15 ;*

<b>Unité 15</b>		
<b>Étiqueté de l'équipement</b>	<b>Description</b>	<b>Niveau de pression acoustique à 1 mètre [dB(A)]</b>
15-MJ01-A-ML01	Console de l'Huile de Lubrification du Compresseur End Flash	86
15-MC02	Refroidisseur à Propane MP/ Gaz Résidue	85
15-MC01	Refroidisseur à Propane HP/ Gaz Résidue	86
15-MJ02	Turbine Hydraulique de GNL	88
15-MJ03-A	Pompe de Produit GNL	89

*Tableau V.5: Résultats de mesures réalisées dans l'unité 16 ;*

<b>Unité 16</b>		
<b>Étiqueté de l'équipement</b>	<b>Description</b>	<b>Niveau de pression acoustique à 1 mètre [dB(A)]</b>
16-MJ01	Compresseur du Réfrigérant Mixte Basse Pression	109
16-MJ02	Compresseur MP MR	96
16-MJ03	Compresseur HP MR	92
16-MJ04	Compresseur principal de propane	91
16-MJ06	Générateur de la Turbine Hydraulique du Réfrigérant Mixte	94
16-MC01	Refroidisseur Intermédiaire Du Compresseur De MR BP	94
16-MC02	Refroidisseur Intermédiaire du Compresseur de Réfrigérant mixte MP	96
16-MC03	Refroidisseur de Sortie du Compresseur de Réfrigérant Mixte HP	96
16-MC09	Condenseur de Propane Principal	104

*Tableau V.6: Résultats de mesures réalisées dans l'unité 17 ;*

<b>Unité 17</b>		
<b>Étiqueté de l'équipement</b>	<b>Description</b>	<b>Niveau de pression acoustique à 1 mètre [dB(A)]</b>
17-MJ01	Compresseur du Turbo-expandeur	92
17-MJ03	Compresseur de Gaz Résidue	86
17-MJ04-A/B	Pompe du Fond du Déméthaniseur	85
17-MJ05-A/B	Pompe de Reflux du Dééthaniseur	85
17-MJ06-A/B	Pompe de Reflux du Dépropaniseur	85
17-MJ08	Compresseur de Propane Auxiliaire	95
17-MJ13-A/B	Pompe de Réinjection de Propane	86
17-MJ14-A/B	Pompe de Réinjection de Butane	85
17-MC13	Condenseur du Débutaniseur	89

*Tableau V.7: Résultats de mesures réalisées dans l'unité 18 ;*

<b>Unité 18</b>		
<b>Étiqueté de l'équipement</b>	<b>Description</b>	<b>Niveau de pression acoustique à 1 mètre [dB(A)]</b>
18-MB01	Four d'Huile Chaude	90
18-MJ01-A/B/C	Pompe de Circulation d'Huile Chaude	91
18-MJ02	Pompe du Ballon de Drainage d'Huile Chaude	88

*Tableau V.8: Résultats de mesures réalisées dans l'unité 19 ;*

<b>Unité 19</b>		
<b>Étiqueté de l'équipement</b>	<b>Description</b>	<b>Niveau de pression acoustique (dB)</b>
19-MC01	Refroidisseur d'eau de refroidissement	88
19-MJ01-A	Pompe de circulation d'eau de refroidissement	85

## V.2.2. IDENTIFICATION DE LA POPULATION PRESENTE DANS LA ZONE DE DANGER

*Tableau V.9 : Répartition des tâches et de mesures pour les différents postes.*

<b>Poste</b>	<b>Tâches</b>	<b>Durée moyenne</b>	<b>Niveau d'exposition dB(A)</b>
Chef de quart intervention	Ronde prise en service	30 min	85
	signature les permis de travail sur place	30 min	89

	Ronde inspection aux l'installation	30 min	88
	Ronde fin service	30 min	85
Technicien mécanique	Ronde prise en service	30 min	88
	Ronde fin service	30 min	88
Technicien électricité	Ronde prise en service	30 min	86
	Ronde fin service	30 min	86
Technicien instrumentation	Ronde prise en service	30 min	87
	Ronde fin service	30 min	87
Technicien intervention	Ronde inspection aux l'installation	30 min	87
	Surveillance des travaux	30 min	85
	Assisté les tests de système anti-incendie	30 min	88
	Vérification des systèmes anti-incendie	30 min	84
Inspecteur de prévention	Signature les permis et certificats de travail	1 h	85
	Surveillance des travaux	2 h	87
Chimiste laboratoire	3 × Prise des échantillons	20 min	88
		20 min	88
		20 min	88
Chef de zone (service fabrication)	Signature les permis de travail sur place	30 min	86
	Ronde inspection aux l'installation	20 min	87
Chef de quart (service fabrication)	Signature les permis de travail sur place	30 min	86
	Ronde inspection aux l'installation	30 min	86
Opérateur polyvalent	Signature les permis de travail sur place	30 min	86
	Ronde inspection aux l'installation	30 min	86
Technicien operateur compressistes (Unité11)	Prise en service	40 min	89
	3 × Remplissez les relevées de procès	15 min	91
		15 min	91
		15 min	91
Fin de service	40 min	89	
Technicien operateur compressistes (Unité 16)	Prise en service	40 min	90
	3 × Remplissez les relevées de procès	15 min	97
		15 min	97
		15 min	97

	Fin de service	40 min	90
Technicien operateur compressistes (Unité 17).	Prise en service	40 min	90
	3 × Remplissez les relevées de procès	15 min	93
		15 min	93
		15 min	93
	Fin de service	40 min	90

### V.3.ANALYSE DE L'AMBIANCE ACOUSTIQUE SUR LA ZONE DES COMPRESSEURS

*Tableau V.10: Résultats de calcule d'exposition de Technicien operateur compressistes (Unité 11).*

Phase de travail	Niveau d'exposition	Durée quotidienne d'exposition	Points d'exposition
Ronde Prise en service	89	40 min	21
3 × Remplissez les relevés de processus	91	45 min	38
Ronde fin de service	89	40 min	21
<b>Total</b>		<b>2 h 5 min</b>	<b>80</b>
<b>Equivalence sur 8h des points d'exposition <math>L_{ex,8h}</math></b>			<b>84 dB</b>
<b>Equivalence sur 4h des points d'exposition <math>L_{ex,4h}</math></b>			<b>87 B</b>

*Remarque :* Le niveau d'exposition et le nombre de points est entre les bornes d'incertitude, évaluation normalisé recommandé.

*Tableau V.11: Résultats de calcule d'exposition de Technicien operateur compressistes (Unité 16).*

Phase de travail	Niveau d'exposition	Durée quotidienne d'exposition	Points d'exposition
Ronde Prise en service	90	40 min	26
3 × Remplissez les relevés de processus	97	45 min	150
Ronde fin de service	90	40 min	26
<b>Total</b>		<b>2 h 5 min</b>	<b>202</b>
<b>Equivalence sur 8h des points d'exposition <math>L_{ex,8h}</math></b>			<b>88 dB</b>
<b>Equivalence sur 4h des points d'exposition <math>L_{ex,4h}</math></b>			<b>91 dB</b>

*Remarque :* Le niveau d'exposition et le nombre de points est entre les bornes d'incertitude sont dépassé les limites réglementaire. Cet opérateur face un risque certain.

**Tableau V.12: Résultats de calcul de l'exposition de Technicien operateur compressistes (Unité 17).**

Phase de travail	Niveau d'exposition	Durée quotidienne d'exposition	Points d'exposition
Ronde Prise en service	90	40 min	26
3 × Remplissez les relevés de processus	93	45 min	60
Ronde fin de service	90	40 min	26
<b>Total</b>		<b>2 h 5 min</b>	<b>112</b>
<b>Equivalence sur 8h des points d'exposition <math>L_{ex,8h}</math></b>			<b>85 dB</b>
<b>Equivalence sur 4h des points d'exposition <math>L_{ex,4h}</math></b>			<b>88 dB</b>

**Remarque :** Le niveau d'exposition et le nombre de points est entre les bornes d'incertitude, évaluation normalisé recommandé.

### V.3.1. LE NIVEAU DE BRUIT EQUIVALENT CONTINU ( $L_{eq}$ ) :

L'exposition d'un niveau au bruit varie dans le temps, soit parce que la machine bruyante d'un fonctionnement intermittent ou émet un bruit qui varie avec la phase de travail, soit parce que le poste de travail est mobile. La valeur  $L(L)$  du niveau sonore au poste de travail à un instant (t) peut donc ne pas être représentative de l'exposition véritable du travailleur. C'est ainsi que l'on a été amené à évaluer l'énergie sonore totale reçue. Pendant un temps (T) donné qui peut être une journée de travail, une semaine ou autre durée représentative du type d'exposition au bruit. Ce niveau sonore est dit équivalent ( $L_{eq}$ ).

Le ( $L_{eq}$ ) constitue une mesure de la dose de bruit absorbée pendant un certain temps d'exposition. En général, le calcul est fait à partir de niveau sonore exprimé en dB(A).

#### V.3.1.1. NIVEAU DE PRESSION ACOUSTIQUE CONTINU EQUIVALENT ( $L_{p,eqT}$ ) :

Le bruit se caractérise à chaque instant t par le niveau de pression acoustique instantané,  $L_p(t)$ , exprimé en décibels.

Pour prendre en compte les variations de  $L_p(t)$  durant le temps de travail, on définit une durée T (quelques minutes, une heure..) et on évalue le niveau du bruit pendant T selon une moyenne en énergie. C'est ce qu'indique le niveau acoustique continu équivalent mesuré durant T, noté ( $L_{p,eq,T}$ ).

#### V.3.1.2. NIVEAU D'EXPOSITION AU BRUIT ( $L_{ex,8h}$ ) :

D'une entreprise à l'autre parfois au sein d'une même entreprise, l'amplitude des journées de travail varie entre groupe de travailleur. Or la dose quotidienne de bruit dépend du niveau moyen du bruit ( $L_{p,eq,T}$ ) et la durée quotidienne effective de travail, pour tenir compte de ces faits, le critère légale a été rendu indépendant des différence de durée quotidienne de travail.

Il «normalise» par une durée de référence fixée à 8 heures la dose quotidienne de bruit reçu. C'est ce qui conduit au «niveau d'exposition quotidienne au bruit» noté  $L_{ex,8h}$ , exprimé en dB(A) et évalué en trois étapes:

✓ Détermination de la durée totale effective de la journée de travail de chaque groupe;

✓ Estimation ou mesure du niveau de pression acoustique continu équivalent  $L_{p,eqT}$ , pour la totalité de la journée de travail.

✓ Normalisation de la dose de bruit en appliquant la durée de référence réglementaire de 8 heures afin d'obtenir le niveau d'exposition quotidienne au bruit  $L_{ex,8h}$ ; seul ce niveau  $L_{ex,8h}$  est comparable aux seuils d'actions réglementaires.

*Tableau V.13: les limites d'expositions [INRS].*

Pression acoustique en dB(A)	Durée d'exposition en heure
80	10
85	8
90	4
95	2
100	1
105	0.5
110	0.25
115	0.125

### V.3.1.3. METHODE DE CALCUL DE NIVEAU DE BRUIT EQUIVALENT

Le niveau moyen de bruit  $L_{eq,T}$  est donné par la formule :

$$L_{eq,T} = 10 \log_{10} \left[ \frac{1}{T} \sum_{i=0}^N T_i \times 10^{\frac{L_i}{10}} \right] \quad (V.1)$$

Pour une durée T de 8 heures on obtient:

$$L_{eq,T} = L_{ex,8h} = 10 \log_{10} \left[ \frac{1}{8} \sum_{i=0}^N T_i \times 10^{\frac{L_i}{10}} \right] \quad (V.2)$$

Où :

\*/  $L_i$ : niveau de pression acoustique élémentaire.

\*/ T: durée total du poste, en heures.

\*/  $T_i$ : durée de la tache associé au niveau acoustique, en heures.

Si la durée de travail est plus ou moins de 8 heures, le  $L_{ex,8h}$  peut être calculé à partir de l'équation suivante:

$$L_{ex,8h} = L_{eq,T} + 10 \log_{10} \left( \frac{T}{8} \right) \quad (V.3)$$

### V.3.2. METHODE DES POINTS D'EXPOSITION [20]

Quand le travail d'une personne exposée au bruit comprend plusieurs phases, l'estimation du niveau de bruit global reste difficile parce que les décibels ne s'additionnent pas simplement.

La méthode «des points d'exposition» permet de contourner cette difficulté. Sa mise en œuvre est très simple, dès lors que l'on dispose d'une estimation des niveaux de bruit et des durées quotidiennes de chaque phase de travail.

Cette méthode est basée sur l'exposition sonore (notée selon cette méthode  $E_{A,T}$  et exprimé en  $Pa^2.h$ ). La variable  $E_{A,T}$  définit la dose du bruit cumulée pendant une durée T. Son intérêt est de pouvoir additionner de manière classique. L'usage de cette méthode est recommandé par l'organisme britannique homologue de l'INRS, le HSE (Health and Safety Executive).

En pratique, pour chaque phase de travail, le niveau de bruit en dB(A) et sa durée totale quotidienne, seront représentés par un nombre de points. Après addition ou soustraction des points de toutes les phase de travail, leur total lu dans la colonne «8 h» donne une estimation à 0,5 dB près du niveau global d'exposition quotidienne au bruit  $L_{ex,8h}$ . On utilise pour cette méthode le tableau à deux entrées (le niveau et la durée) illustré dans le tableau suivante; Le code couleur utilisé à la signification suivante:

- ❖ **Zone verte:** la dose de bruit équivalente à 80 dB(A) durant 8 heures n'est pas dépassée;
- ❖ **Zone rouge:** la dose de bruit équivalente à 85 dB(A) durant 8 heures est atteinte ou dépassée;
- ❖ **Zone orange:** la dose de bruit est intermédiaire entre les deux précédentes.

**Tableau V.14 : Points d'exposition pour différents niveaux de bruit et différentes durée [20].**

Niveau de bruit dB(A)	Durée quotidienne de la phase de travail								
	8 h	4 h	2 h	1 h	30 min	15 min	10 min	5 min	1 min
75	10	5	3	1	1	0	0	0	0
76	13	6	3	2	1	0	0	0	0
77	16	8	4	2	1	1	0	0	0
78	20	10	5	3	1	1	0	0	0
79	25	13	6	3	2	1	1	0	0
80	32	16	8	4	2	1	1	0	0
81	40	20	10	5	3	1	1	0	0
82	50	25	13	6	3	2	1	1	0
83	64	32	16	8	4	2	1	1	0
84	80	40	20	10	5	3	2	1	0
85	100	50	25	13	6	3	2	1	0
86	130	64	32	16	8	4	3	1	0
87	160	80	40	20	10	5	3	2	0
88	200	100	50	25	13	6	4	2	0
89	250	130	64	32	16	8	5	3	1
90	320	160	80	40	20	10	7	3	1
91	400	200	100	50	25	13	8	4	1
92	510	250	130	64	32	16	11	5	1
93	640	320	160	80	40	20	13	7	1
94	800	400	200	100	50	25	17	8	2
95	1 000	510	250	130	60	32	21	11	2
96	1 300	640	320	160	80	40	27	13	3
97	1 600	800	400	200	100	50	33	17	3
98	2 000	1 000	510	250	130	60	40	21	4
99	2 500	1 300	640	320	160	80	50	27	5
100	3 200	1 600	800	400	200	100	70	33	7
101	4 000	2 000	1 000	500	250	130	80	40	8
102	5 100	2 500	1 300	630	320	160	110	50	11
103	6 400	3 200	1 600	800	400	200	130	70	13
104	8 000	4 000	2 000	1 000	500	250	170	80	17
105	10 000	5 100	2 500	1 300	630	320	210	110	21
106	13 000	6 400	3 200	1 600	800	400	270	130	27
107	16 000	8 000	4 000	2 000	1 000	500	330	170	33
108	20 000	10 000	5 000	2 500	1 300	630	420	210	40
109	25 000	13 000	6 400	3 200	1 600	790	530	270	50
110	32 000	16 000	8 000	4 000	2 000	1 000	670	330	70
111	40 000	20 000	10 000	5 000	2 500	1 300	840	420	80
112	51 000	25 000	13 000	6 300	3 200	1 600	1 100	530	110
113	64 000	32 000	16 000	8 000	4 000	2 000	1 300	670	130
114	80 000	40 000	20 000	10 000	5 000	2 500	1 700	840	170
115	100 000	51 000	25 000	13 000	6 300	3 200	2 100	1 100	210
116	125 000	64 000	32 000	16 000	8 000	4 000	2 700	1 300	270
117	160 000	80 000	40 000	20 000	10 000	5 000	3 300	1 700	330
118	200 000	100 000	50 000	25 000	13 000	6 300	4 200	2 100	420
119	255 000	125 000	64 000	32 000	16 000	8 000	5 300	2 600	530
120	320 000	160 000	80 000	40 000	20 000	10 000	6 700	3 300	670

Les résultats d'une évaluation simplifiée par la méthode de points d'exposition sont interprétés selon les critères d'interprétation basée sur des valeurs indicatives suivants:

**Tableau V.15: Valeurs indicatives de la méthode des points d'exposition [20].**

Critère	Interprétation
Nombre total de points $\leq 16$ [soit $L_{ex,8h} \leq 77$ dB(A)]	Quasi-certitude d'absence de risque
Nombre total de points $\geq 200$ [soit $L_{ex,8h} \geq 88$ dB(A)]	Risque quasi certain
Nombre total de points $\geq 1000$ [soit $L_{ex,8h} \geq 88$ dB(A)] Avec usage de PICB pour réduire le risque.	Assurer la conformité avec la <b>VLE</b> de 87 dB(A) compte tenu de PICB en vérifiant que son port est correcte est effectif.

Si le nombre total quotidien de points est compris entre 16 et 200, le résultat de l'évaluation simplifiée est proche, à 3dB(A) près, des deux seuils d'actions réglementaires (80 et 85 dB(A) équivalent respectivement à 32 et 100 points).

Dans ce cas, des mesures précises s'imposent pour garantir le non-dépassement des seuils d'actions. Au-delà de 200 points, un autre critère d'interprétation peut être proposé selon le port et l'affaiblissement sonore des PICB. Le dépassement de 1000 points d'exposition, avec usage de PICB, exige un passage à l'action impérative mentionné dans le tableau des critères.

#### V.4. PRCEPTION DU BRUIT PAR LES OPERATEURS

Les exigences de la réglementation varient en fonction des niveaux d'exposition : Le dépassement de certains seuils déclenche une série d'actions à mettre en œuvre par le chef d'entreprise.

L'exposition est évaluée à partir de deux paramètres :

- L'exposition moyenne quotidienne (sur 8 heures : notée  $L_{EX,8h}$ )
- L'exposition instantanée aux bruits très courts (niveau crête : noté  $L_{pC}$ )

Chacun de ces deux paramètres est comparé à 3 seuils :

◆ Valeur d'exposition inférieure déclenchant l'action (**VAI**) : c'est le seuil le plus bas ; il déclenche les premières actions de prévention ;

◆ Valeur d'exposition supérieure déclenchant l'action (**VAS**) : c'est le 2<sup>ème</sup> seuil : il déclenche des actions plus sévères. En particulier des actions correctives doivent être mises en œuvre ;

◆ Valeur limite d'exposition (**VLE**) : ce troisième seuil ne doit être dépassé en aucun cas. A la différence des seuils précédents, il prend en compte l'atténuation du bruit apportée par les protecteurs individuels.

*Tableau V.16 : Les valeurs de ces seuils pour chacun des deux paramètres d'exposition [20].*

SEUILS	PARAMÈTRES	RÉGLEMENTATION
Valeur d'exposition inférieure déclenchant l'action (VAI)	Exposition moyenne ( $L_{ex,8h}$ )	80 dB(A)
	Niveau de crête ( $L_{p,c}$ )	135 dB(C)
Valeur d'exposition supérieure déclenchant l'action (VAS)	Exposition moyenne ( $L_{ex,8h}$ )	85 dB(A)
	Niveau de crête ( $L_{p,c}$ )	137 dB(C)
Valeur limite d'exposition (VLE*)	Exposition moyenne ( $L_{ex,8h}$ )	87 dB(A)
	Niveau de crête ( $L_{p,c}$ )	140 dB(C)

**Tableau V.17 : Les exigences de la réglementation en fonction des niveaux d'exposition [20].**

NIVEAU D'EXPOSITION	EXIGENCE
Quel que soit le niveau	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Évaluation du risque.</li> <li>✓ Suppression ou réduction au minimum du risque, en particulier à la source.</li> <li>✓ Consultation et participation des travailleurs pour l'évaluation des risques, les mesures de réduction, le choix des protecteurs individuels contre le bruit (PICB).</li> <li>✓ Bruit dans les locaux de repos à un niveau compatible avec leur destination.</li> </ul>
la valeur d'exposition inférieure déclenchant l'action (VAI) $L_{ex,(8h)} \geq 80$ dB(A) ou $L_{p,c} \geq 135$ dB(C)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Mise à disposition des PICB.</li> <li>✓ Information et formation des travailleurs sur les risques et les résultats de leur évaluation, les PICB.</li> <li>✓ Examen audiométrique préventif proposé.</li> </ul>
la valeur d'exposition supérieure déclenchant l'action (VAS) $L_{ex,(8h)} \geq 85$ dB(A) ou $L_{p,c} \geq 137$ dB(C)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Mise en œuvre d'un programme de mesures de réduction d'exposition au bruit.</li> <li>✓ Signalisation des endroits concernés (bruyants) et limitation d'accès.</li> <li>✓ Contrôle de l'utilisation effective des PICB.</li> </ul>
la valeur limite d'exposition (VLE) (compte tenu de l'atténuation du PICB) $L_{ex,(8h)} \geq 87$ dB(A) et $L_{p,c} \geq 140$ dB(C)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Adoption immédiate de mesures de réduction du bruit.</li> <li>✓ Identification des causes de l'exposition excessive et adaptation des mesures de protection.</li> </ul>

#### V.4.1. MOYENS DE PROTECTION UTILISES

##### V.4.1.1. PROTECTIONS COLLECTIVE

Le genre de protection collective utilisée dans cette situation :

➤ **Le cloisonnement des machines** : Cloisonner c'est séparer l'ensemble des sources de bruit des opérateurs par la mise en place d'une paroi hermétique.

➤ **Les encoffrements des machines** : Un encoffrement est une boîte présentant un isolement phonique élevé, à l'intérieur de laquelle est placée la machine bruyante.

➤ **Les cabines de l'opérateur** : C'est pour protéger l'opérateur pendant l'inspection de la machine ou la prise d'échantillons. Ils sont situés à côté de toutes les machines bruyantes.

#### V.4.1.2. PROTECTIONS INDIVIDUELLE

Le type de protection individuelle utilisée est :

- Les protecteurs avec coquilles englobant le pavillon de l'oreille et formant ainsi un obstacle. Ils se déclinent en trois types : « casques anti-bruit », aussi appelés « serre-tête », « coquilles montées sur casque » et « coquilles serre-nuque » aussi appelées « serre-nuque ».
- les bouchons d'oreilles qui obstruent le conduit auditif.

#### V.4.2. CONSEQUENCES SUR LA VIE QUOTIDIENNE

Le bruit fait partie de la vie. D'ailleurs, l'absence totale de bruit est unanimement reconnue comme très difficilement supportable pour l'homme. Pourtant, certaines situations d'exposition au bruit, dans la vie de tous les jours ou au travail, peuvent être néfastes pour la santé.

L'exposition au bruit sur le lieu de travail est susceptible d'affecter la santé des travailleurs. La perte auditive (surdité) en est l'effet le plus connu, mais le risque accru d'accidents et l'exacerbation du stress comptent aussi parmi les conséquences possibles du bruit au travail.

- ***Troubles de l'audition***

Le seuil de danger au-delà duquel des dommages peuvent survenir est estimé à 85 dB(A) (niveau moyen sur une journée de travail de huit heures). Mais, à partir d'un niveau sonore moyen de 80 dB(A) sur huit heures, on peut considérer le niveau d'exposition préoccupant.

Si la douleur apparaît vers 120 dB(A), la fatigue auditive survient bien en dessous de ce seuil de niveau sonore. Elle se manifeste par une baisse temporaire d'acuité auditive, ou par l'apparition d'acouphènes (sifflements, bourdonnements).

- ***Risque accru d'accidents***

Le bruit peut couvrir le son émis par un danger imminent, ou masquer des signaux d'avertissement (par exemple, avertisseurs de recul sur certains véhicules) ; il peut distraire les travailleurs, notamment les conducteurs, ou encore contribuer au stress lié au travail et accroître ainsi le risque d'erreurs.

- ***Augmentation du stress***

Le stress lié au travail se produit lorsque les exigences de l'environnement de travail dépassent la capacité des travailleurs à y faire face. La manière dont le bruit affecte le niveau de stress d'un travailleur dépend d'une conjugaison complexe de facteurs, parmi lesquels la nature du bruit (volume, tonalité, prévisibilité), la complexité de la tâche à effectuer ou l'état de fatigue.

- ***Perturbation de la qualité du sommeil*** (sommeil plus léger, augmentation des réveils durant la nuit, etc.).
- ***Difficultés d'apprentissage, baisse de vigilance et de l'attention.***
- ***Apparition et renforcement de l'agressivité ou de la dépression.***
- ***Difficultés de communication.***

#### **V.4.3. SUGGESTIONS DES OPERATEURS**

✓ ***Détermination et évaluation des risques:*** L'employeur doit évaluer et, si besoin est, mesurer les niveaux de bruit auxquels les travailleurs sont exposés. Il doit ensuite déterminer, en fonction des résultats obtenus, les mesures à prendre.

✓ ***Dispositions visant à éviter ou à réduire l'exposition:*** L'employeur doit établir et mettre en œuvre un programme de mesures techniques et/ou organisationnelles visant à réduire l'exposition au bruit des travailleurs et, mettre en place une signalisation appropriée pour les lieux de travail où les travailleurs sont susceptibles d'être exposés à un bruit supérieur à 85 dB(A).

✓ ***Protection individuelle:*** Si d'autres moyens ne permettent pas d'éviter les risques dus à l'exposition au bruit, des protecteurs auditifs individuels, appropriés et adaptés, sont mis à la disposition des travailleurs.

✓ ***Information et formation des travailleurs:*** L'employeur est tenu de veiller à ce que les travailleurs exposés, sur leur lieu de travail, à un niveau supérieur ou égal à 80 dB(A) reçoivent des informations et une formation en rapport avec les risques découlant de l'exposition au bruit.

#### **V.5.IMPACT DES NUISANCES SUR LA PRODUCTION**

L'inconfort acoustique qui règne au sein du milieu professionnel présente des méfaits sur les salariés pouvant également affecter leur efficacité au travail et donc pénaliser l'employeur. Source de multiples altérations de la santé aussi bien physique que mentale, les niveaux sonores trop élevés sont un obstacle à l'épanouissement d'une entreprise, quel que soit son domaine d'exercice.

Parfois négligées par les dirigeants, ces sensations auditives aussi gênantes que désagréables ont des impacts importants, en cas d'exposition prolongée dans la durée, sur la santé des salariés, ainsi que leur productivité au travail. Ce qui peut conduire à une diminution de la productivité car elle a une relation positive avec la santé du travailleur.

## **V.6.MOYENS DE PROTECTIONS DES MACHINES CONTRE LES VIBRATIONS (moyens antivibratoires)**

Le montage des supports antivibratoire sous les 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 compresseurs, Les pompes...). Les dispositifs s'intercalent entre le sol et la machine (ou son socle : massif lourd et rigide, sur lequel elle est fixée si nécessaire).

❖ Nature des supports :

- Les supports les plus répandus dans l'industrie ont les propriétés élastiques du caoutchouc naturel (efficaces et économiques).
- Les supports synthétiques ont des coefficients d'amortissement supérieurs à 0.2 et résistent à des atmosphères corrosives
- Les supports « sandwich » constitués d'empilages d'armatures métalliques et de plaques de caoutchouc, utilisés pour des ensembles lourds et de grande surface
- Les ressorts métalliques, ...etc.

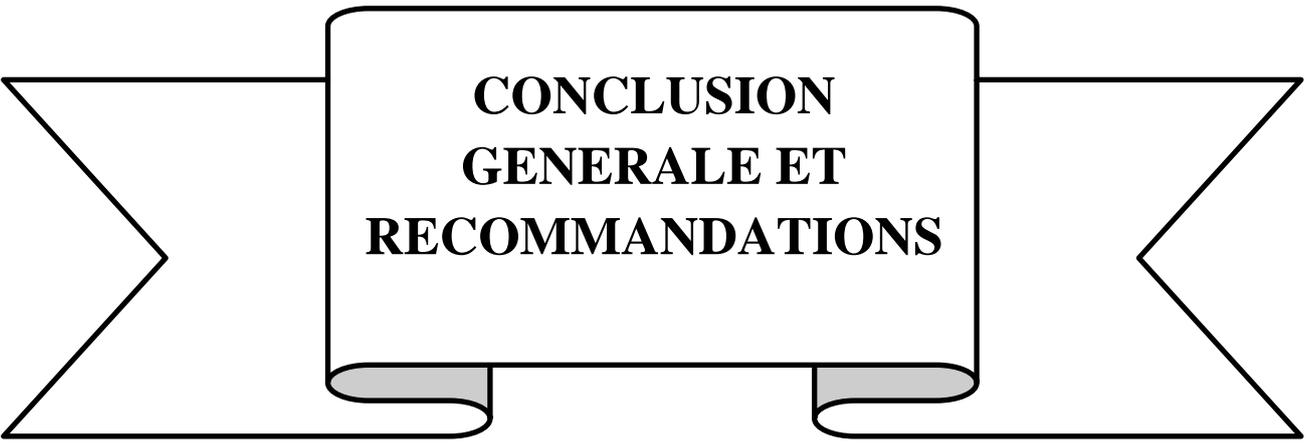
## V.7.CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'exploitation des données recueillis sur site; telles que les emplacements des équipements est les niveaux de la pression acoustiques; nous a permis comparaison entre les zones de compresseur et les taux d'exposition de les opérateurs. Identifiant ainsi les zones de dépassement des seuils réglementaires. Cette identification permet de trier la totalité des postes de travail et désigner ceux qui se situent dans la zone de danger. Les postes désignés ont été sujet de notre évaluation d'expositions quotidiennes, une évaluation des postes mobiles à plusieurs phases d'exposition par la méthode des points d'exposition recommandée par l'INRS. Les résultats de cette évaluation nous informent sur la certitude de risque, ce qui oriente la démarche de correction vers les cas de risque certain.

D'après les résultats précédents, il a été constaté que l'opérateur dans la zone de l'unité 16 est exposé à un bruit intense, nous avons donc suggéré des solutions qui peuvent réduire son exposition :

- ✓ Placer les opérateurs qui travaillent en rotation et diviser les patrouilles pour réduire la durée d'exposition au bruit.
- ✓ Réorganisation du temps de travail (minimiser le temps d'exposition a ces hauts niveaux sonores).
- ✓ Configurer les opérateurs pour utiliser correctement les équipements de protection individuels.
- ✓ Intégration d'équipements de protection individuelle avec des dispositifs de communication sans fil.
- ✓ Prévoir des commandes à distances de l'appareillage (en salle de contrôle par exemple) pour soustraire ce travailleur de la zone bruyante.
- ✓ Il doit être soumis à un examen médical en cours.

Le port de PICB est obligatoire durant toute la période d'exposition pour assurer la protection des individus concernés. Pour indiquer cette obligation, les zones dont les niveaux dépassent les seuils d'exposition règlementaire doivent être signalées par les pictogrammes convenables.



**CONCLUSION  
GENERALE ET  
RECOMMANDATIONS**

## CONCLUSION GENERALE

Au cours de cette étude, nous nous sommes intéressés à l'analyse de l'ambiance acoustique au niveau de la zone de liquéfaction de GL3/Z. On a commencé par une étude bibliographique pour expliquer les différentes notions relatives au risque bruit, et on a déterminé les formules de calcul et les méthodes d'évaluation qu'on a utilisées dans ce travail.

L'évaluation a été faite en exploitant les données qui nous ont été attribuées du site. Suivant la méthode expliquée dans le chapitre 5, le calcul des niveaux de bruits dans la zone d'étude cela a été fait en utilisant les valeurs précédemment prises et la carte de bruit du site (voir l'annexe). L'analyse et l'interprétation de la carte nous ont permis d'identifier les zones où le seuil réglementaire est dépassé. Cette identification nous a permis de viser les postes dont leurs occupants sont susceptibles d'être en danger.

Par la suite, une évaluation de l'exposition quotidienne au bruit a été réalisée suivant deux méthodes:

- Pondération directe vers le niveau d'exposition équivalent pendant 8 heures et 4 heures.
- Évaluation par la méthode des points d'exposition recommandée par l'INRS.

À la suite de l'étude, nous suggérons quelques points qui peuvent augmenter la conscience de l'opérateur face au bruit sur le lieu de travail.

Le plan d'action proposé se résume en:

- ✓ Planifier une étude approfondie pour les cas d'incertitude de risque.
- ✓ Mettre en disponibilité les PICB recommandés.
- ✓ Formation des travailleurs sur les risques liés à l'exposition au bruit.
- ✓ Formation des travailleurs sur l'utilisation correcte des PICB.
- ✓ Signalisation des zones de danger en indiquant les zones de port obligatoire des PICB, ainsi que les zones d'accès limité.

Enfin, nous avons clarifié certaines solutions et moyens de protection collective qui visent à réduire le bruit dans les lieux professionnels et qui ont eu un effet positif sur la lutte contre le bruit. Cependant, ils ne peuvent pas être efficaces s'ils ne remplissent pas les conditions nécessaires à leur mise en œuvre, les travailleurs restent donc à porter des outils de protection individuelle, même s'ils peuvent parfois être gênants.

## RECOMMANDATIONS

1. L'autorité compétente devrait prescrire la nature, la fréquence et les autres modalités de la surveillance de la pollution de l'air, du bruit et des vibrations sur les lieux de travail, exécutée sous la responsabilité de l'employeur.

2. Des contrôles spéciaux quant aux limites d'exposition devraient être effectués sur les lieux de travail chaque fois que des machines ou des installations sont mises en service, qu'elles ont subi des modifications importantes, ou que de nouveaux procédés sont introduits.

3. L'employeur devrait avoir l'obligation de veiller à ce que les appareils utilisés pour surveiller les niveaux de la pollution de l'air, de bruit et de vibrations sur les lieux de travail soient régulièrement vérifiés, entretenus et étalonnés.

4. Les dossiers relatifs à la surveillance du milieu de travail, ainsi qu'à la vérification, à l'entretien et à l'étalonnage des appareils et matériels utilisés à ces fins, devraient être ouverts aux travailleurs, ou à leurs représentants, et aux services d'inspection.

5. Les opérations produisant du bruit ou des vibrations sur les lieux de travail, devraient dans la mesure du possible, être remplacées par des opérations qui n'engendrent que peu ou pas de pollution de l'air, de bruit ou de vibrations.

6. La surveillance de l'état de santé dans les conditions déterminées par l'autorité compétente:

a) un examen médical préalable à l'affectation;

b) des examens périodiques à des intervalles appropriés;

c) des examens ou investigations d'ordre biologique ou autre nécessaires pour évaluer l'exposition du travailleur et surveiller son état de santé;

d) des examens médicaux, biologiques ou autres examens ou investigations après cessation de l'affectation dont, dans des cas justifiés du point de vue médical, les travailleurs devraient avoir le droit de bénéficier sur une base régulière et pendant une période prolongée.

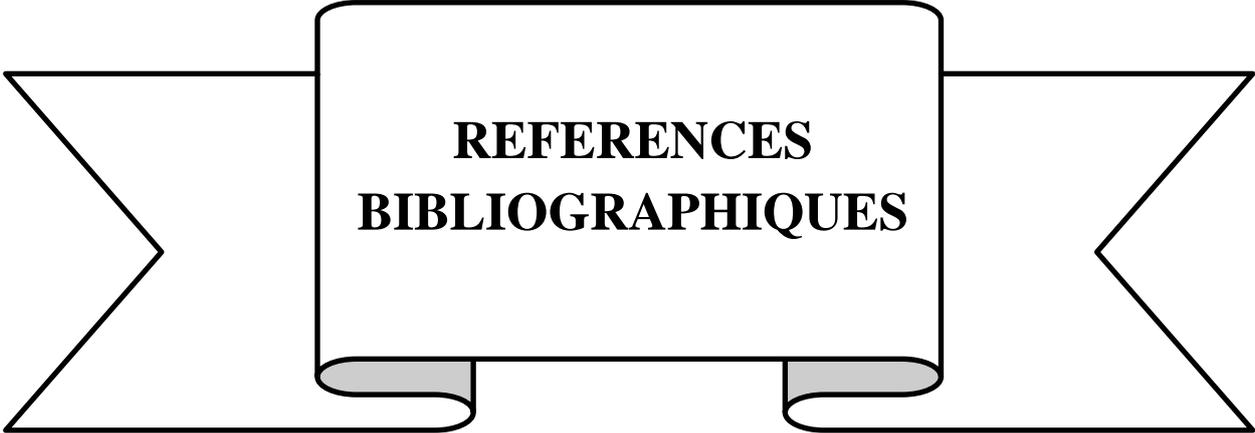
e) L'autorité compétente devrait exiger que les résultats de ces examens ou de ces investigations soient communiqués au travailleur et, si celui-ci le désire, à son médecin traitant.

7. Formation, Information des travailleurs :

a) L'autorité compétente devrait prendre des mesures pour promouvoir la formation et l'information de toutes les personnes intéressées en matière de prévention et de limitation des risques professionnels existants et potentiels dus à la pollution de l'air, au bruit et aux vibrations sur les lieux de travail ainsi qu'en matière de protection contre ces risques.

b) Les représentants des travailleurs de l'entreprise devraient être informés et consultés préalablement par l'employeur sur les projets, mesures et décisions susceptibles d'avoir des conséquences nocives sur la santé des travailleurs en relation avec la pollution de l'air, le bruit et les vibrations sur les lieux de travail.

c) Avant d'être affectés à un travail susceptible de les exposer à des risques de pollution de l'air, de bruit ou de vibrations, les travailleurs devraient être informés par l'employeur des risques, des mesures de sécurité et de protection de la santé, ainsi que des possibilités de recourir à l'intervention des services médicaux.



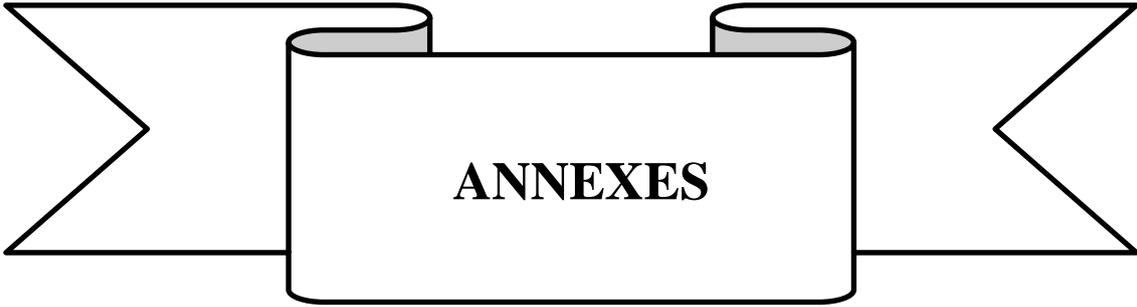
**REFERENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES**

- [1] : dBcover acoustic protection solution. Introduction à l'acoustique [En ligne] (Page consultée le 23/11/2020). URL: (<https://dbcover.com/fr/introduction-a-lacoustique/>).
- [2] : Florence, R. (2011). L'OMS s'inquiète des impacts sanitaires du bruit. Actu Environnement: [En ligne] (Page consultée le 23/11/2020). URL : (<https://www.actu-environnement.com/ae/news/oms-rapport-bruit-impacts-sanitaires-12287.php4>).
- [3] : Légifrance le service public de la diffusion de droit. Droit national en vigueur. [En ligne] (Page consultée le 25/11/2020).  
URL: (<https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/LEGITEXT000006074517/1988-05-09/>).
- [4] : JACQUES, J. (2008). Effet du bruit sur l'homme. Techniques de l'Ingénieur, Acoustique des salles et de l'environnement, Réf. Internet : 42422.
- [5] : BOUHADIBA, B. (2017). Ambiances acoustiques LES NUISANCES. Polycopié du cours : HSI 3<sup>ème</sup> Année LMD Licence Académique. Oran, IMSI.
- [6] : France acouphènes. Niveau sonore. [En ligne] (Page consultée le 25/11/2020). URL: (<https://www.france-acouphenes.org/index.php/component/tags/tag/niveau-sonore>).
- [7] : YETTO, I (2016). Evaluation des nuisances sonore et cartographie de bruit (cas de la raffinerie d'Alger). Mémoire de master : Génie des procédés. BOUMERDES: Université M'hamed BOUGARA, (Page 22).
- [8] : INRS. Réglementation. [En ligne] (Page consultée le 25/11/2020).URL : (<http://www.inrs.fr/risques/bruit/reglementation.html>).
- [9] : érudit. Hypoacousie due au bruit : la réglementation évolue. [En ligne] (Page consultée le 25/11/2020). URL: (<https://www.erudit.org/en/journals/ms/2005-v21-n12-ms1023/012017ar/>).
- [10] : Fluke Corporation. (2010). Notions sur les vibrations. Site web: [www.fluke.fr](http://www.fluke.fr) , email [info@fr.fluke.nl](mailto:info@fr.fluke.nl).
- [11] : BELAKROUM, R. (2016). Introduction aux Vibrations Mécaniques, Polycopié du cours : Génie Mécanique. OUARGLA : UNIVERSITE KASDI MERBAH, (Page 02).
- [12] : CCHST Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail. Vibrations – Introduction. [En ligne] (Page consultée le 23/11/2020). URL : ([https://www.cchst.ca/oshanswers/phys\\_agents/vibration/vibration\\_intro.html](https://www.cchst.ca/oshanswers/phys_agents/vibration/vibration_intro.html)).
- [13] : BOUMAILA, A. (2018). Diagnostic des défauts d'un ventilateur M14A par analyse vibratoire au niveau de l'unité SIDER TSS. Mémoire de master : CONSTRUCTION MECANIQUE. ANNABA, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR, (Page 28).
- [14] : Encyclopédie de sécurité et de santé au travail. Chapitre 50 - Les vibrations [En ligne] (Page consultée le 23/11/2020). URL : (<http://www.ilocis.org/fr/documents/ilo050.htm>).

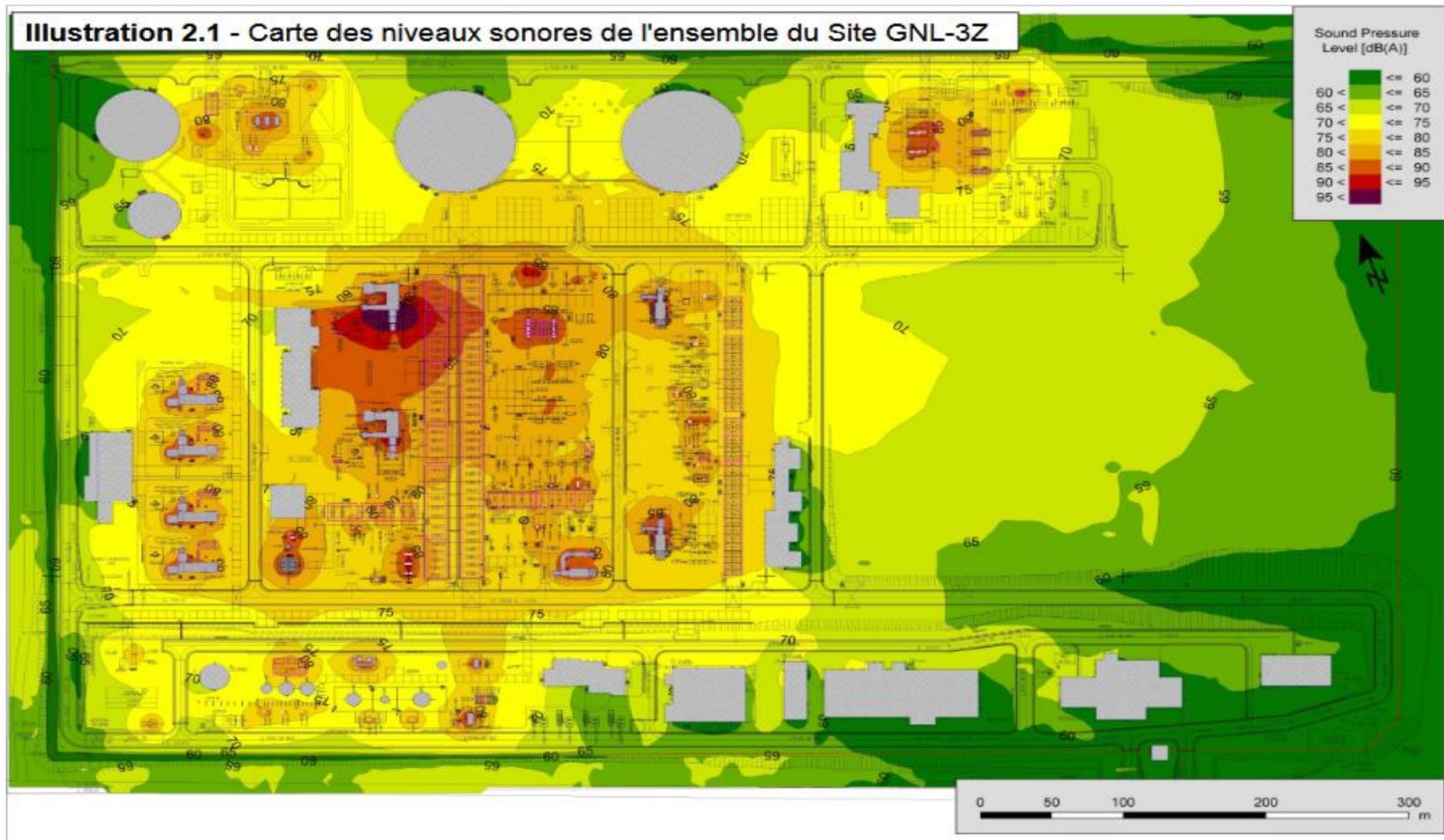
- [15] : Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer. Règlement Général des Industries Extractives (RGIE) Guide technique Vibrations. [En ligne] Disponible sur : <https://aida.ineris.fr/sites/default/files/fichiers/guide-technique-vibrations.pdf>
- [16]: BENOMAR, F. Risques liés aux vibrations. Polycopié du cours : HSE, M1. Oran, IMSI, (Page 21).
- [17] : France Terme. Ressources terminologiques. [En ligne] (Page consultée le 25/11/2020).URL : ( <http://www.culture.fr/franceterme/terme/PETR279>).
- [18] : Talbi, D. Abderrezague, F. (2018). Etablissement d'un inventaire des gaz à effet de serre issus de la combustion stationnaire au niveau du complexe GL3Z. Mémoire de fin de formation de professionnalisation: sécurité industrielle. Boumerdes : IAP, (Page 09).
- [19] : LASSOUANE, T. (2015). Analyse Energétique et Exergétique d'un cycle APCI de liquéfaction de gaz naturel-Sonatrach GL1/K –SKIKDA. Mémoire de master : Génie Mécanique ; Energétique. Béjaïa : Université Abderrahmane MIRA, (Page 06).
- [20] : Évaluer et mesurer l'exposition professionnelle au bruit. INRS, ED6035, septembre 2009, (Page 18).
- [21] : Officiel Prévention santé et sécurité au travail. Lutte contre le bruit sur les lieux de travail. [En ligne] (Page consultée le 23/11/2020). URL: (<https://www.officiel-prevention.com/dossier/sante-hygiene-medecine-du-travail-sst/lutte-contre-le-bruit/>).
- [22]: Encyclopédie de sécurité et de santé au travail. Chapitre 47 - Le bruit. [En ligne] (Page consultée le 23/11/2020). URL : ( <http://www.ilocis.org/fr/documents/ilo047.htm>).
- [23]: Réglementation sur l'émission des bruits. Décret exécutif n°93-184 du 27 juillet 1993
- [24]: José Biosca de Sagastuy: Magazine de l'Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail, le bruit au travail, 2005.
- [25]: Code of Federal Regs Occupational Safety and Health Act.Title 29, Chapter XVII, Part 1910, 2006.
- [26] : Application of noise guidance to the assessment of industrial noise with character on residential dwellings in the UK Applied Acoustics, 93, (2015), (Page 88 à 96).
- [27] : Journal officiel de l'Union européenne, directive 2003/10/CE du parlement européen et du conseil du 6 février 2003.
- [28] : ARBAOUI, I (2018). Étude acoustique du bruit généré par les unités industrielles d'Arzew. Thèse de doctorat : Matériaux et Environnement. Oran : Université Oran 1, (Page 42 à 44).

[29] : Techniques de réduction du bruit en entreprise : quelles solutions, comment choisir. INRS, ED 962, Septembre 2006.

[30] : Techniques de réduction du bruit en entreprise : Exemples de réalisation. INRS, ED 997, décembre 2007.



**ANNEXES**



*Figure 1 : la carte bruit de complexe GL3/Z.*

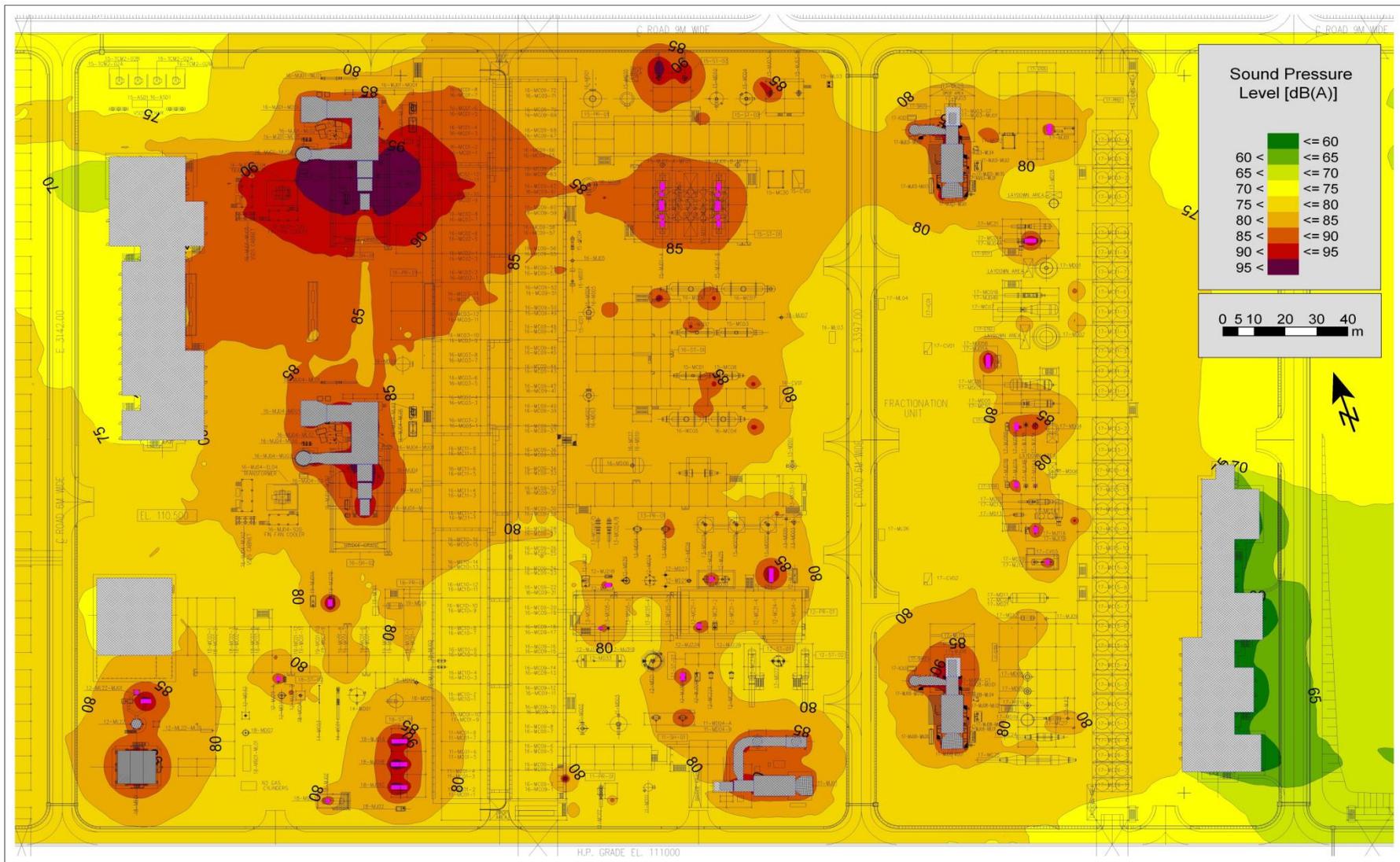


Figure 2: la carte bruit de train de liquéfaction (la zone de procédé).

Illustration 2.3

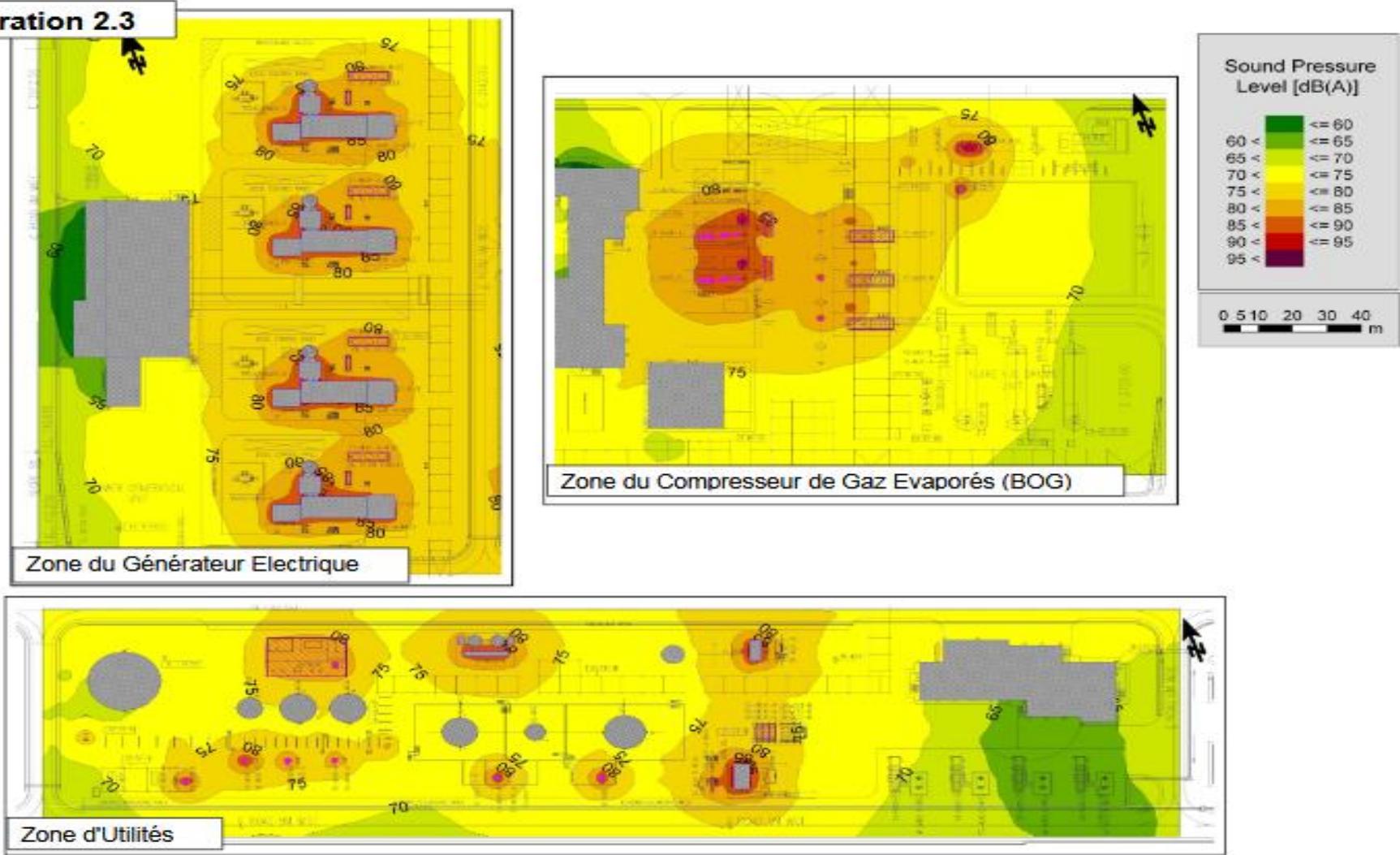


Figure 3: carte bruit de la zone d'Utilités.

