الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT GENIE DES PROCEDES ET DE L'ENVERONNEMENT



Mémoire de Fin d'Études

Etude de la sensantion d'intensité sonore des opérateurs exposes aux acoustique industriels nuisibles

Dirigé par,
Dr.Rahmani Ahmed Chrif
Préparé et présenté par,
Mahdjoubi lakhdar
Mezaad othmane

Année universitaire : 2021/2022

abstract

The purpose of this study is to assess the industrial noise at the algiers refinery . this reserch is based on the computtation of noise levels in various locations within the study zone ,as well as the creation of a noise map

The assessment and analysis of the hazards of industrial noise based on the interpretation of the noise map enabled us to locatte the danger zones and then offer prevention measures.

Keywords : industrial noise , refinery of algiers ,industrial hazard , noise map.

ملخص

الغرض من هده الدراسة هو تقييم الضوضاء الصناعية في مصفاة الجزائر العاصمة . يعتمد هدا البحث على حساب مستويات الضوضاء في مواقع مختلفة داخل منطقة الدراسة و كدلك انشاء خريطة الضوضاء.
مكننا تقييم وتحليل مخاطر الضوضاء الصناعية بناء على تفسير خريطة الضوضاء من تحديد مناطق الخطر ومن ثم تقديم تدابير الوقاية.

الكلمات المفتاحية:
الضوضاء الصناعية ،مصفاة الجزائر،المخاطر الصناعية،خريطة الضوضاء

Résumé

L’objectif de cette étude est d’évaluer le beruit industriel à la raffinerie d’alger. Cette recherche est bassée sur le calcul des niveaux de beruitsàdivers endroits de la zone d’etude ,ainsi que sur la création d’une carte de beruit.

L’évaluation et l’analyse des dangers du beruit industrielà partir de l’interprétation de la carte de beruit nous ont permis de localiser les zones de danger puis de proposer des mesures de prévention.

Mots cles : Bruit industriel , raffinerie d’alger, risques industriels, carte de bruit.

BLE DES MATIÈRES

INTODUCTION GÉNÉRALE 1

CHAPITRE I : PRÉSENTATION DU LIEU DE STAGE 2

I.1 HISTORIQUE 2

I.2 PRESENTATION DE LA RAFFINERIE D"ALGER 3

I.3 PRODUIT DE LA RAFFINERIE D"ALGER 4

I.4 ORGANISATION DE LA SÉCURITÉ DE LA RAFFINERIE D"ALGER 5

I.5 ORGANISATION DE DEPARTEMENT HSE 5

I.5.1 Service intervention 5

I.5.2 Service prévention 6

I.5.3 Service télésurveillance et contrôle d'accès 6

I.5.4 Cellule environnement 7

I.6 DESCRIPTION DES INSTALATIONS 7

I.6.1 Unité de distillation atmosphérique du brut « unité 100: Topping » 8

I.6.2 Unité de reforming catalytique « unité 200: Platforming » 8

I.6.3 Unité de traitement du gaz « unité 300 : gaz plant » 8

I.1.1. Centrale 8

I.6.4 Zone de stockage 9

I.7 ORGANIGRAMME DE LA RAFFINERIE D"ALGER 9

CHAPITRE II : NATURE ET CARACTÉRISATION DE BRUIT 10

II.1 NOTIONS DE BASES D"ACOUSTQUE 10

II.1.1 Son 10

II.1.2 Bruit 10

II.1.3 Grandeurs physiques 11

II.1.4 Analyse spectral d"un bruit par bandes de fréquences 16

II.1.5 Propagation du bruit 18

II.2 ÉVALUATION PHYSIOLOGIQUE DE L"INTENSITÉ SONORE 18

II.2.1 Seuil d"audibilité et seuil de douleur 18

II.2.2 Le décibel (dB) 19
II.2.3 Les niveaux acoustiques 20
II.2.4 Décibel physiologique et pondération fréquentiel (A) 26

CHAPITRE III : EXPOSITION AU BRUIT ET EFFETS SUR L'ORGANISME ... 29

III.1 LA NOTION DE GÊNE 29
III.2 EFFETS DE BRUIT SUR L'APPAREIL AUDITIF 30
III.2.1 La physiologie de l'oreille humaine 30
III.2.2 Effets directes sur l'oreille humaine 35
III.3 EFFETS INDUIT SUR L'ORGANISME 41
III.3.1 Les effets sur la sphère lymphatique 41
III.3.2 Les effets sur le système endocrinien 42
III.3.3 Les effets sur la santé mentale 42
III.3.4 Les effets du bruit sur les performances 42
III.3.5 Effets sur la communication 43
III.4 ÉVALUATION DE L'EXPOSITION SONORE 44
III.4.1 Le niveau acoustique continu équivalent Leq 44
III.4.2 Niveau d'exposition $L_{ex,d}$ 45
III.4.3 Dose de bruit D% 48
III.4.4 Niveau acoustique de crête L_{max} 49
III.5 RÈGLEMENTATION LIÉE A L'EXPOSITION AU BRUIT 50
III.5.1 Bruit au travail (Arrêté/Décret du 19 juillet 2006) 50
III.5.2 Bruit au travail (directive du 6 février 2003) 51
III.5.3 Surveillance médical 52

CHAPITRE IV : ÉVALUATION DES RISQUES AUDITIFS AU MILLIEU DE TRAVAIL 54

IV.1 INSTRUMENTS DE MESURE 54
IV.1.1 Le sonomètre 54
IV.1.2 Le dosimètre ou l'exposimètre 56
IV.2 FACTEUR D'INFLUENCE SUR LES MESURES ACOUSTIQUE 57
IV.2.1 Mesure du bruit en condition contrôlée (chambres anéchoïque et chambre réverbérant) 58

IV.2.2 Mesure du bruit dans un local ordinaire et dans l'environnement:..... 58
IV.3 MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE DE L'ÉVALUATION.....59
IV.3.1 Introduction à la démarche en trois niveaux..... 59
IV.3.2 Estimation sommaire du risque 61
IV.3.3 Evaluation simplifié du risque..... 62
IV.3.4 Mesurage normalisé de l'exposition..... 66
IV.4 ÉTUDE D'IMPACT ET MODELS PREVESIONEL 67
IV.4.1 Cartes de bruit 67
IV.4.2 Réalisation d'une carte de bruit 69
IV.4.3 Méthodologie de l'évaluation d'impact 70
CHAPITRE V : ÉVALUATION DES RISQUES AUDITIFS AU SEIN DE LA RAFFINERIE D'ALGER..... 71
V.1 PRÉSENTATION DE CAS 71
V.2 IDENTIFICATION DES SOURCES ET ÉVALUATION DES ÉMISSIONS SONORES 72
V.3 EXPLOITATION DES MESURES ET CARTOGRAPHIE.....75
V.3.1 Méthodologie de calcule 76
V.3.2 Modèle de simulation - Initiation au logiciel « Golden Surfer 13 » 78
V.3.3 Conception d'une carte de bruit de la zone étudié sur « Surfer13 »..... 78
V.3.4 Interprétation et discussion de la carte 83
V.4 EVALUATION DE L'EXPOSITION INDIVIDUELLE DANS LA ZONE DE DANGER 84
V.4.1 Identification de la population présente dans la zone de danger..... 84
V.4.2 Postes de travail et types d'expositions 85
V.4.3 Calcule de l'exposition quotidienne $L_{ex,\ 8h}$ des postes identifié..... 88
V.4.4 Interprétation et discussion des résultats..... 94
V.5 DÉMARCHE DE LUTTE ET CALCULE CORRECTIF.....95
V.5.1 Calcule de réduction d'exposition 96
V.5.2 Calcule de niveau d'affaiblissement du PICB préalable 98
V.5.3 Information et formation 101
V.6 RAPPORT DE L'ÉVALUATION 102

CONCLUSION GÉNÉRALE 103

LISTE DES FIGURES

FIGURE I.1 : VUE AERIENNE DU SITE (GOOGLE EARTH 2009)..... 3
FIGURE I.2 : ORGANIGRAMME DE LA RAFFINERIE D'ALGER 9
FIGURE II.1 : AMPLITUDE DE L'OSCILLATION ACOUSTIQUE: LE SON 1 (LIGNE CONTINUE) EST PLUS FORT QUE LE SON 2 (LIGNE POINILLEE)..... 12
FIGURE II.2: REPRESENTATION DES FREQUENCES D"UN SON AIGU ET UN SON GRAVE 15
FIGURE II.3: DOMAINE DES FREQUENCES AUDIBLE PAR L'OREILLE HUMAINE 15
FIGURE II.4 : ILLUSTRATION DES BANDES D'OCTAVE 16
FIGURE II.5 : REPRESENTATION SPECTRAL D'UN BRUIT..... 17
FIGURE II.6: COURBES D'EGALE SENSATION (FLETCHER-MUNSON)..... 26
FIGURE II.7 : ILLUSTRATION DE LA SENSIBILITE DE L'OREILLE EN FONCTION DE LA FREQUENCE ET DU NIVEAU SONORE..... 28
FIGURE III.1 : SCHEMA DESCRIPTIF DE L'ANATOMIE DE L'OREILLE HUMAINE 31
FIGURE III.2 : ANATOMIE DE L'OREILLE INTERNE 32
FIGURE III.3 : TRANSITION DU NIVEAU EQUIVALENT PENDANT UNE PERIODE VERS L'EXPOSITION QUOTIDIENNE..... 47
FIGURE III.4 : REPRESENTATION DU NIVEAU ACOUSTIQUE DE CRETE ET DU NIVEAU D'EXPOSITION QUOTIDIENNE..... 49
FIGURE IV.1 : IMAGE D'UN SONOMETRE 54
FIGURE IV.2: SCHEMA DE PRINCIPE D"UN SONOMETRE 55
FIGURE IV.3: DIAGRAMME DE DEROULEMENT DE L'EVALUATION DU RISQUE DE BRUIT SUIVANT LA DEMARCHE DES TROIS METHODES *SOURCE : INRS*..... 60
FIGURE IV.4 : EXEMPLES DE CARTES DE BRUIT EN MAILLAGE SOURCE : INRS..... 68
FIGURE IV.5 : EXEMPLE DE CARTE EN CODE COULEUR ISO-PHONIQUE 68
FIGURE IV.6 : TRANSFORMATION DE NIVEAUX CALCULES EN COURBES ISO-CONTOUR 69
FIGURE V.1: PLAN DE LA ZONE ETUDIE IDENTIFIANT LES SOURCES..... 79
FIGURE V.2 : VISUALISATION DE LA REPARTITION DES POINTS SUR LE PLAN SURFER 80
FIGURE V.3 : CARTE DE BRUIT OBTENU POUR LA ZONE DE PRODUCTION DE LA RAFFINERIE D'ALGER 82
FIGURE V.4 : PICTOGRAMME DE PROTECTION OBLIGATOIRE DE L'OUÏE 101
FIGURE V.5 : PICTOGRAMME DE LIMITATION D"ACCES..... 101

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU II.1 : VITESSE DE SON DANS DIFFERENTS MILIEUX....11
TABLEAU II.2 : VITESSE DU SON A L'AIRE LIBRE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE....11
TABLEAU II.3: CORRELATION ENTRE LES FREQUENCES ET LEURS ORIGINES....15
TABLEAU II.4: BORNES DES BANDES DE FREQUENCES....17
TABLEAU II.5 : VALEURS CORRESPONDANTES AU SEUIL D'AUDIBILITE ET SEUIL DE DOULEUR....19
TABLEAU III.1: ÉQUIVALENCE ENERGETIQUE EN TERME DE TEMPS D'EXPOSITION....46
TABLEAU III.2 : SEUILS REGLEMENTAIRES DECLENCHANT UNE ACTION....51
TABLEAU III.3 : PERIODICITE DE CONTROLE MEDICAL EN FONCTION DE L'EXPOSITION SONORE QUOTIDIENNE....53
TABLEAU IV.1: TEST BASE SUR LA POSSIBILITE DE COMMUNIQUER DANS LE BRUIT SELON INRS. 61
TABLEAU IV.2:POINTS D'EXPOSITION POUR DIFFERENTS NIVEAUX DE BRUIT ET DIFFERENTES DUREE....64
TABLEAU IV.3 : VALEURS INDICATIVES DE LA METHODE DES POINTS D'EXPOSITION....65
TABLEAU V.1 : RESULTATS DE MESURES REALISEES DANS L'UNITE 300. 72
TABLEAU V.2 : RESULTATS DE MESURES REALISEES DANS L'UNITE 100. 73
TABLEAU V.3 : RESULTATS DE MESURES REALISEES DANS L'UNITE 200 74
TABLEAU V.4 : RESULTATS DE MESURE REALISEES DANS L'UTILITE 75
TABLEAU V.5 : POSTES DE TRAVAIL FIXE DANS LA ZONE ETUDIE ET NIVEAUX SONORE ASSOCIES 85
TABLEAU V.6 : REPARTITION DES TACHES, LEUR DUREE MOYENNE, ET LEUR NIVEAU D'EXPOSITION....86
TABLEAU V.7 : REPARTITION DES TACHES, LEUR DUREE MOYENNE, ET LEUR NIVEAU D'EXPOSITION....87
TABLEAU V.8 : REPARTITION DES TACHES, LEUR DUREE MOYENNE, ET LEUR NIVEAU D'EXPOSITION....88
TABLEAU V.9 : RESULTATS DE CALCULE D'EXPOSITION DES POSTES FIXES 88
TABLEAU V.10 : RESULTATS DE CALCULE D'EXPOSITION DE L'OPERATEUR EXTERIEUR (UNITE 100). 89
TABLEAU V.11 : RESULTATS DE CALCULE D'EXPOSITION DE L'OPERATEUR EXTERIEUR (UNITE 200). 90
TABLEAU V.12 : RESULTATS DE CALCULE D'EXPOSITION DU POMPISTE (UNITE 100). 90

TABLEAU V.13 : RESULTATS DE CALCULE D'EXPOSITION DU POMPISTE (UNITE 200)..... 91
TABLEAU V.14 : RESULTATS DE CALCULE D'EXPOSITION DU CHAUFFEUR DE FOURS (UNITE 100,200)..... 91
TABLEAU V.15 : RESULTATS DE CALCULE D'EXPOSITION DE L'OPERATEUR POLYVALENT (UNITE 300)..... 92
TABLEAU V.16 : RESULTATS DE CALCULE D'EXPOSITION DU MACHINISTE (UTILITE)..... 93
TABLEAU V.17 : RESULTATS DE CALCULE D'EXPOSITION DU CHAUFFEUR DE CHAUDIERE (UNITE 100)..... 94
TABLEAU V.18 : RESULTAT DE CALCULE DE REDUCTION D"EXPOSITION DU POMPISTE (UNITE 100)..... 97
TABLEAU V.19 : RESULTAT DE CALCULE DE REDUCTION D"EXPOSITION DU CHAUFFEUR DE FOURS..... 97
TABLEAU V.20 : NIVEAUX D"AFFAIBLISSEMENT RECOMMANDE POUR LES NIVEAUX D"EXPOSITION CALCULES..... 99
TABLEAU V.21 : ÉVALUATION DES NIVEAUX RESIDUELS CALCULES..... 100

INTODUCTION GÉNÉRALE :

Parmi la multitude des risques liés aux ambiances de travail, le risque bruit est considéré dans le domaine industriel comme étant un risque commun dont l'exposition prolongé est lésionnelle et peut causer un handicape auditif permanant. Pour assurer la sécurité auditive des travailleurs fréquentant des ambiances similaires, la règlementation impose une limitation d'exposition suivant une variété de démarches préventives et correctives. Pour ce contexte, nous nous sommes intéressés à l'évaluation du risque bruit au niveau de la raffinerie d'Alger.

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 règlementaire ?
- 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

Toutefois, notre travail s'articulera autour de deux parties :

1. Partie théorique : consacrée à la présentation des chapitres relatifs aux :
    - Présentation de lieu de stage.
    - Nature et caractérisation de bruit.
    - Exposition au bruit et effets sur l'organisme.
    - Évaluation des risques auditifs au milieu de travail.
2. Partie pratique : consacrée à l'exploitation des mesures prises sur site pour élaborer une cartographie permettant de visualiser l'ambiance sonore et l'application des méthodes d'évaluations de l'exposition au bruit proposées par l'INRS. Le but de cette partie est d'identifier les individus présents dans les zones de risque certain et évaluer leur sécurité auditive. L'évaluation nous permet par la suite de proposer un plan d'action préalable pour corriger la situation.

CHAPITRE I : PRÉSENTATION DU LIEU DE STAGE :

En Algérie, l'industrie de raffinage est née avec la découverte et la production du pétrole brut de Hassi Massoud. La première unité fut construire sur les lieux même de la découverte qui a été orientée vers la satisfaction des besoins excessifs des sociétés opérantes dans le cadre de la recherche et l'exploitation de brut.

Aussitôt l'indépendance acquise, l'Algérie s'est attachée à l'idée d'accéder au développement économique en avantageant la mise en place d'une industrie pétrolière par la transformation systématique de ses hydrocarbures.

I.1 HISTORIQUE :

LA RAFFINERIE D"ALGER « ex NAFTEC » est une filiale de Sonatrach spécialisée dans le raffinage et la distribution des produits pétroliers sur le marché algérien. Elle a été mise en service en février 1964.

A l'origine, le raffinage était une activité intégrée dans SONATRACH. En 1982, le raffinage et la distribution des produits pétroliers sont séparés et érigés en Entreprise nationale de raffinage et de distribution des produits pétroliers (ERDP-NAFTAL). En 1988, le raffinage, est à son tour, séparé de l'activité distribution est érigé en Entreprise nationale de raffinage de pétrole NAFTEC Algérie. En avril 1998, l'entreprise devient une filiale dont les actions sont détenues à 100% par le Holding raffinage et chimie du Groupe SONATRACH avec un capital social de 12 000 000 000 de DA dénommée Société nationale de raffinage de pétrole NAFTEC Spa.

Depuis le 10 Janvier 1964 jusqu'à 1971 la raffinerie d'Alger était alimentée par Tankers du port pétrolier de Bejaia au port pétrolier d'Alger, et puis par pipe de diamètre 26" jusqu'au parc de stockage. En 1971, un piquage a été effectué au niveau de Beni-Mansour à partir du pipe de 24" reliant Hassi-Massoud par un oléoduc de 16" alimentant la raffinerie en pétrole brut ainsi que l'extension du parc de stockage (un bac de brut, divers bacs de produits finis et semi-finis et une sphère de butane).

I.2 PRÉSENTATION DE LA RAFFINERIE D'ALGER :

La raffinerie d'Alger est donc approvisionnée par le pétrole de Hassi-Massoud qui est caractérisé par une faible teneur en soufre et une grande richesse en hydrocarbures légers.

La raffinerie d'Alger est située à Sidi Arcine sur la commune de Baraki à 20km à l'est d'Alger et se trouve à une altitude de 20 m. Le site de la raffinerie d'Alger occupe une superficie totale de 182 hectares (bâti et clôturé 96 Hectares) et est délimitée :

- Au Nord-Ouest par le dépôt NAFTAL GPL ;
- Au Nord par les habitons d'El Harrach ;
- Au Sud par les habitations de Baraki ;
- Au Sud Est par la Direction Générale de SONATRACH/ACTIVITÉ AVAL/DIVISION RAFFINAGE et le siège de Sonatrach/TRC ;
- Au Nord, Nord-Ouest, Sud-Ouest et Est par des terrains agricoles ;



Figure I.1 : Vue aérienne du site (Google Earth 2009)

La raffinerie d'Alger est liée au port pétrolier par une nappe de pipes d'une longueur de 14 km. Cette nappe est essentiellement souterraine. Néanmoins elle présente quelques portions aériennes :

- A l‟‟intérieur de dépôts à accès réglementé (2 portions aériennes)
- A proximité d'habitations et d'infrastructures de transport pour la traversée de cours d'eau notamment (3 portions aériennes).

L'ensemble des installations se composent d'unités de production et d'installation générale à savoir :

a) Unités de productions

1. Distillation atmosphérique
2. Reforming catalytique
3. Gaz Plant

b) Installations générales

1. Centrale thermoélectrique pour la production des utilités (électricité, vapeur, air, eau traitée).
2. Un parc de stockage pour les produits finis et semi-finis.
3. Des ateliers d'entretien (mécanique, tuyauterie chaudronnerie, électricité contrôle et instrumentation).
4. Un laboratoire de contrôle de qualité des produits (pour la conformité).

I.3 PRODUIT DE LA RAFFINERIE D'ALGER :

La raffinerie d'Alger traite 2,7 millions de tonnes par an de pétrole brut. Elle produit des GPL (butane et propane) et des carburants (essence normale et super, kérosène et gas-oil) pour l'approvisionnement du marché intérieur. Le fuel et les excédents de naphta sont exportés. De plus, la raffinerie possède des moyens de stockage et d'expédition par pipes, par bateaux et par route.

I.4 ORGANISATION DE LA SÉCURITÉ DE LA RAFFINERIE D'ALGER :

La politique de sécurité mise en place par SONATRACH/ACTIVITÉ AVAL/DIVISION RAFFINAGE est répercutée au niveau des différents sites par le département Hygiène Sécurité et Environnement (HSE) qui veille à sa bonne application. La politique est, en outre, reprise au niveau d'un manuel HSE. Ce dernier renferme des mesures de sécurité appliquées au niveau des sites.

La problématique de la sécurité est aussi traitée dans les manuels opératoires puisque pour chaque unité de l'installation, les procédures, propres au procédé, y sont formalisées. Ces dernières permettent, pour les différents opérateurs, la maîtrise des procédés et de l'exploitation.

Comme cela a déjà été mentionné ci-dessus, en cas d'incident, la raffinerie peut toujours compter sur des moyens d'intervention appropriés. Ces moyens consistent dans des moyens fixes et mobiles d'intervention mais aussi dans un personnel convenablement formé. La raffinerie et le port pétrolier disposent d'un Plan d'organisation Interne (POI) Incendie/Explosion.

I.5 ORGANISATION DE DÉPARTEMENT HSE :

Le département Hygiène, Sécurité et Environnement sont composés de 4 services :

I.5.1 Service intervention :

Ce service composé de 52 agents, assure d'une manière continue, la surveillance et les interventions sur les installations. Il a pour tâches principales :

- Protéger et sauvegarder le personnel ainsi que le patrimoine de l'entreprise.
- Mener, en cas d'urgence, les actions conformément aux différents plans d'organisation des secours : POI, Plan ORSEC….
- S'intégrer aux opérations d'intervention dans le cadre de l'assistance mutuelle.
- Gérer les installations et les équipements d'intervention et de secours.
- Concrétiser les programmes de formation et d'exercices de lutte contre l'incendie.

I.5.2 Service prévention :

Ce service est composé de 9 personnes et assure :

- La supervision et le contrôle des installations.
- La gestion des risques liés aux travaux.
- La préservation de la santé des travailleurs.
- Le contrôle de la conformité des pratiques par rapport aux normes et aux règles du manuel HSE.

Ses tâches principal se résument en :

- Prévoir les risques d'accident et d'incident au sein des installations de l'entreprise.
- Garantir le respect des normes et réglementations de sécurité.
- Assister et contrôler tous les organes et structures d'exploitation en matière de sécurité.
- Promouvoir et développer l'organisation globale en matière d'hygiène et de sécurité.
- Diffuser les consignes de sécurité.
- Sensibiliser l'ensemble du personnel aux règles en matière de sécurité et d'hygiène.
- Contrôler les installations techniques et assurer le suivi des travaux.
- Réaliser des enquêtes et des statistiques des accidents du travail

I.5.3 Service télésurveillance et contrôle d'accès :

Le service accueil a pour mission :

- Le contrôle des accès et des sorties des personnes et des véhicules.
- L'accueil et l'orientation des visiteurs en veillant à la bonne application des règles De sécurité.
- L'exploitation des systèmes de surveillance.

I.5.4 Cellule environnement :

La cellule environnement dépend hiérarchiquement du département **HSE.** Elle est constituée de (02) ingénieurs environnement chargées des inspections et du contrôle environnemental sur les différents types de rejet.

Le rôle de la cellule Environnement est la gestion, le contrôle et l'élimination des différents déchets et nuisances environnementales comme :

- Déchets Liquides / Solides.
- Les rejets atmosphériques.
- Domaine sol et sous-sol.
- Pollutions sonores.
- Luminosité.
- Potabilité de l'eau.
- Gestion des produits chimiques.

I.6 DESCRIPTION DES INSTALATIONS :

La raffinerie est équipée des installations suivantes :

1. ***Unité combinée*** **:**

- Section 100 - Topping : unité de distillation atmosphérique
- Section 200 : Platforming : unité du reforming catalytique
- Section 300 : Gas plant : unité de récupération des GPL.

2. ***Centrale et utilités*** **:**

- Traitement d'eau**.**
- Générateur des vapeurs.
- Groupe électrogène.

3. **Expédition :**

- Bacs de stockage.
- Pomperie.
- Port pétrolier.

I.6.1 Unité de distillation atmosphérique du brut « unité 100: Topping » :

L'unité 100 est une unité de distillation atmosphérique ou Topping. Elle a pour but de fractionner le Pétrole brut en un certain nombre de coupes ou fractions classées selon les températures d'ébullition des hydrocarbures. Elle produit ainsi de l'essence SR (Straight Run), des gas-oils lourds et légers, du kérosène, des solvants lourds et légers, des gaz liquéfiés et un résidu atmosphérique.

I.6.2 Unité de reforming catalytique « unité 200: Platforming » :

L'unité 200 est une unité de reforming catalytique aussi appelée Platforming. Son but est d'augmenter l'indice d'octane des solvants lourds et légers fabriqués par l'unité 100. C'est une base principale pour la fabrication des carburants automobile (essence normal et super). Cette unité comporte les circuits : catalytique, stabilisateur et générateur de vapeur.

I.6.3 Unité de traitement du gaz « unité 300 : gaz plant » :

Les vapeurs de LPG récupérées à partir des unités de Topping et de reforming catalytique sont principalement chargées en butane et en propane. Le passage de ces vapeurs dans l'unité gaz plant permet donc de séparer et de récupérer le propane et le butane commercial. Cette unité est spécifiée par ses tamis moléculaires.

I.1.1. Centrale :

La vapeur est générée par deux chaudières à vapeur produisant chacune 47 t/h à 35 bars et à 400°C. Les chaudières sont alimentées au fuel gaz en condition normale de marche. Dans certains cas, il peut y être ajouté du gaz naturel ou des gaz condensables (propane). L'eau d'alimentation des chaudières est décarbonatée dans une unité de traitement d'eau.

La chaudière produit une vapeur HP à 35 bars utilisée pour le fonctionnement du turboalternateur de 6MW. Un poste de détente fournit de la vapeur MP à 16 bars, qui est utilisée pour le fonctionnement de turbine à vapeur entraînant le compresseur de gaz K201 et quelques turbines des unités combinées. Un deuxième poste de détente fournit à partir de la vapeur HP de la vapeur BP (Basse Pression) à 3,5 bars.

I.6.4 Zone de stockage :

La raffinerie d'Alger possède deux parcs de stockages distincts :

- Une zone de stockage des LPG issus des unités de fabrication, avec pomperie et poste de chargement/déchargement associés.

Une zone de stockage de tous les autres produits liquides, allant du brut aux produits finis. Cette zone possède également sa propre pomperie d'expédition

I.7 ORGANIGRAMME DE LA RAFFINERIE D'ALGER :

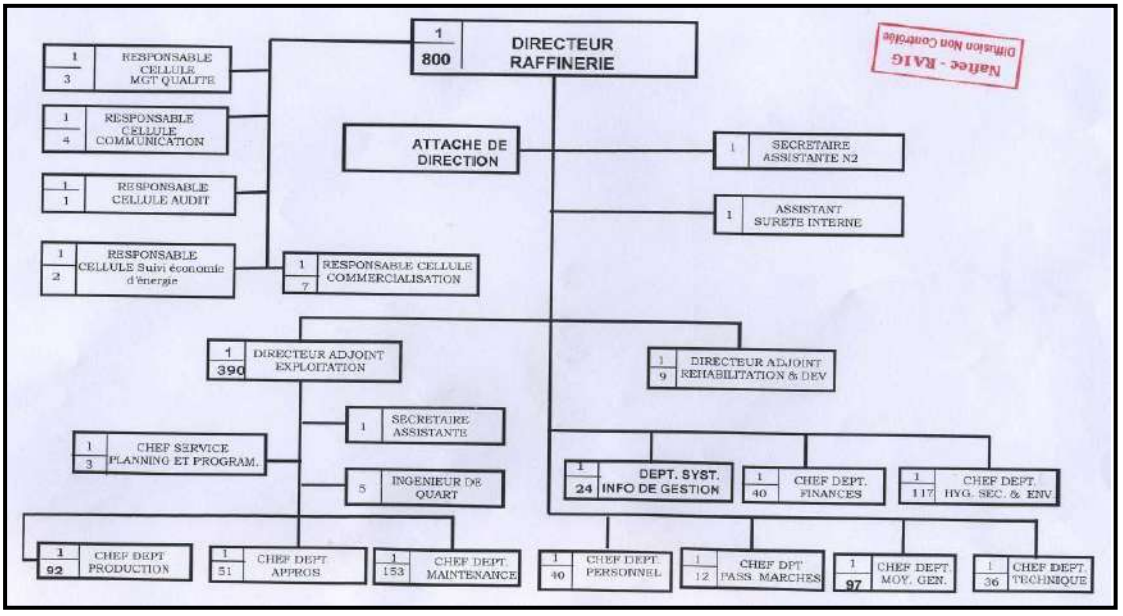


Figure I.2 : Organigramme de la raffinerie d'Alger

CHAPITRE II : NATURE ET CARACTÉRISATION DE BRUIT :

II.1 NOTIONS DE BASES D'ACOUSTQUE :

II.1.1 Son :

Le son peut être défini comme étant l'émission, la propagation et la réception d'ondes dû à une vibration de la pression, dans des milieux élastiques. Le son peut donc se propager dans des gaz, des liquides et des solides. Il n'y a pas de transmission du son dans le vide.[1]

Le son à l'air libre est matérialisé par la vibration de l'air : successions de pressions et de dépressions autour de la pression atmosphérique.

II.1.2 Bruit :

Le bruit est un ensemble de sons générant une sensation auditive jugée désagréable ou gênante, il est donc source de nuisance ou de risque.[2] Toutefois le bruit peut servir de repère ou indication pour faire une diagnostique de dysfonctionnement d'une machine.

Dans les installations industrielles, le bruit trouve en général son origine dans deux principaux modes de génération [3]:

- Les bruit de chocs engendrés par des vibrations de corps solides (dues elles-mêmes a des chocs, à des frottements, ou à des forces alternatives). Exemples : machines tournantes (pompes, compresseurs alternatifs), bande transporteuse, roulements…etc.
- Les bruits d'origine aérodynamique ou hydrodynamique provoqué par les mouvements de gaz, vapeurs ou liquides en turbulence provoquant des chocs de particules les unes contre les autres. Exemple : cavitation dans les pompes, vannes automatique …etc.

[1] Bruxelle environnement, « Vamedecum du bruit routier urbain : notions d'acoustique (Fiche technique) ».
[2] Anses, « évaluation des impacts sanitaires extra-auditifs ».
[3] Formation industrie – IFP training, « Risques professionnels : bruit », 2005.

II.1.3 Grandeurs physiques :

Le son et le bruit sont caractérisés par des grandeurs physiques mesurables, auxquelles sont associées des grandeurs dites “physiologiques” qui correspondent à la sensation auditive.

II.1.3.1 Vitesse de son :

La vitesse de son dépends du milieu de propagation et de sa température :

Tableau II.1 : Vitesse de son dans différents milieux

Milieu	**Vitesse de son** (m/s)
Gazeux	~ 300
Liquide	~ 1500
Solide	~ 5000

Tableau II.2 : Vitesse du son à l‘‘aire libre en fonction de la température

Température de l’aire (°C)	**Vitesse du son** (m/s)
-40	306
-20	319
0	330
20	343
40	354

De manière approximative on admet que la vitesse du son est de 340 m/s. À la température ambiante usuelle, on peut évaluer la vitesse du son par :

$$c = 20\sqrt{T}$$

Où *T* est la température en Kelvin.

II.1.3.2 Pression acoustique :[4]

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) est la différence entre la pression instantanée de l'air P(t) en présence d'ondes acoustiques, et la pression atmosphérique (P_{atm}).

$$P = P\,(t) - P_{atm}$$

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

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.

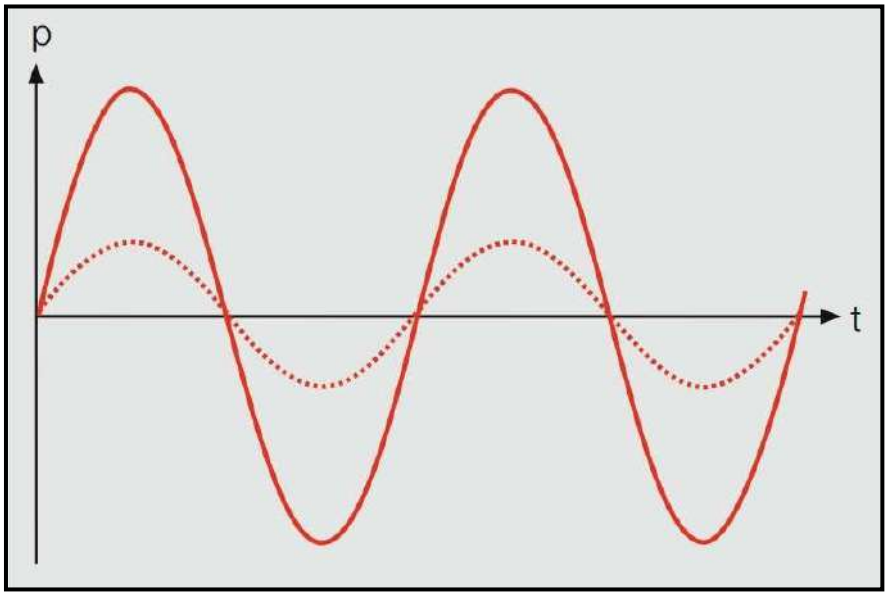


Figure II.1 : amplitude de l'oscillation acoustique: le son 1 (ligne continue) est plus fort que le son 2 (ligne poinillée).

[4] ENSA Grenoble, « Acoustique : propagation en champs libre »

La plus petite valeur de pression acoustique à laquelle l'oreille humaine est sensible P_0 est égale à 2×10^{-5} Pa. La valeur de pression acoustique à partir de laquelle une sensation acoustique est douloureuse est P_{max} et correspond à 20 Pa. Cela vaut pour des sons purs de 1000 Hz. On notera qu'il existe une assez grande variabilité entre les individus.

La différence entre le seuil de sensibilité et le seuil de douleur est dans un facteur de 10^6, c'est la raison pour laquelle les niveaux de pression acoustique sont donnés, non pas dans un échelle linéaire, mais dans une échelle logarithmique.

II.1.3.3 Intensité acoustique :[5]

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 an Watts / m^2.

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).

$$I = \frac{m}{4\pi r^2}$$

- ω : puissance acoustique (W).
- *I* : intensité (W/m^2).
- r : rayon d'une sphère en un point (m).

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

$$I = \frac{P^2}{\rho \times c}$$

- *I* : intensité acoustique (W/m2).
- *P* : pression acoustique (Pa).
- ρ : masse volumique de l'air (kg/m^3) , *c* : vitesse du son (≅ 330 m/s dans l'air) à 20°C.

[5] « Eléments d'acoustique et nuisances sonore »

II.1.3.4 Puissance acoustique : [6]

La puissance acoustique (**ω**) est l'énergie libérée par unité de temps par une source sonore. Exprimé en Watt (W) 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 :

$$m = \oint I.\ S = I \oint S = I \times S$$

D'où :

$$m = P^2 \times \frac{S}{\rho . c}$$

- ω : puissance acoustique (W).
- P : pression acoustique (Pa)
- ρ : masse volumique de l'air (kg/m^3)
- c : vitesse du son (≅ 330 m/s dans l'air) à 20°C
- S : surface de propagation (m²).

II.1.3.5 Fréquence :

Les molécules d'air agitées par la vibration de pression vont et viennent, autour d'une moyenne, un certain nombre de fois par seconde. Ce nombre s'appelle la fréquence, il est exprimé en hertz (Hz). Une fréquence de 1 Hz correspond à une variation de pression par seconde.

Les basses fréquences correspondent aux sons graves et les hautes fréquences aux sons aigus. Un son est généralement composé de plusieurs fréquences : on parle alors de spectre.

[6] Ricardo Atienza, « Introduction à l'acoustique », (2008)

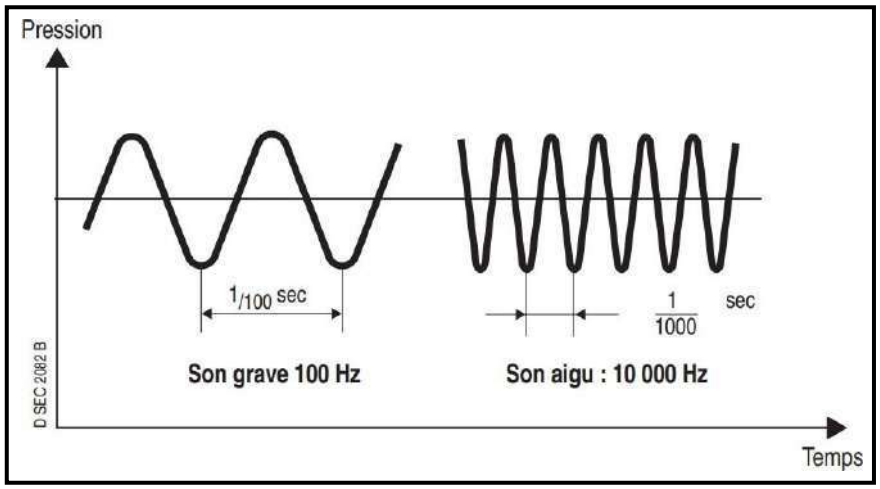


Figure II.2: Représentation des fréquences d'un son aigu et un son grave

La plupart du temps plusieurs sources de bruit interviennent simultanément. Pour les bruits industriels, il existe une corrélation entre leur fréquence dominante et leur origine, comme l'indique le tableau suivant :

Tableau II.3: corrélation entre les fréquences et leurs origines

Sensation auditive	Bande de fréquences	Origine du bruit
Ronflement grave	20 à 100 Hz	Mouvements verticaux de pièces Mécaniques ou rotation
Médium monocorde	400 à 2000 Hz	Vibration latéral forcé
Souffle aigu	1000 à 6000 Hz	Turbulence des fluides
Son aigu monocorde	2000 à 8000 Hz	Résonance de pièce métallique

L'oreille humaine normale est sensible à une gamme de fréquences allant de 15 Hz à 20000 Hz maximum. Les infrasons et les ultrasons, bien que non perçus par l'oreille humaine, peuvent aussi être facteurs de nuisances pour l'homme. [3]

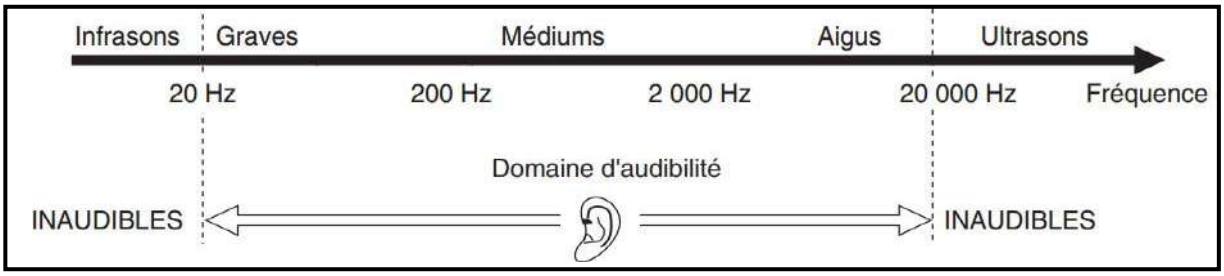


Figure II.3: Domaine des fréquences audible par l'oreille humaine.

II.1.4 Analyse spectral d'un bruit par bandes de fréquences :

Un bruit est un mélange aléatoire de sons de fréquences quelconques, dans la plupart des cas, la fonction définissant la pression sonore n'est pas analysable en séries de fréquences pures, mais en une fonction aléatoire présentant un spectre continu en fréquence. C'est le cas de tous les bruits d'origine aérodynamique.

Le spectre sonore d'un bruit est composé d'une infinité de fréquences, son analyse simplifiée consiste à déterminer des niveaux sonores moyens, dans des bandes de fréquences de largeur finie appelées bandes d'octaves. Généralement, on désigne la bande de fréquence par sa fréquence centrale qui est, du fait de l'échelle logarithmique utilisée, la moyenne géométrique des bandes de coupure.[5]

$$f_c = \sqrt{f_1 \times f_2}$$

- f_c : fréquence central de la bande
- f_1 : fréquence minimal de la bande.
- f_2 : fréquence maximal de la bande.

Une octave est l'intervalle compris entre une fréquence et le double de cette fréquence.

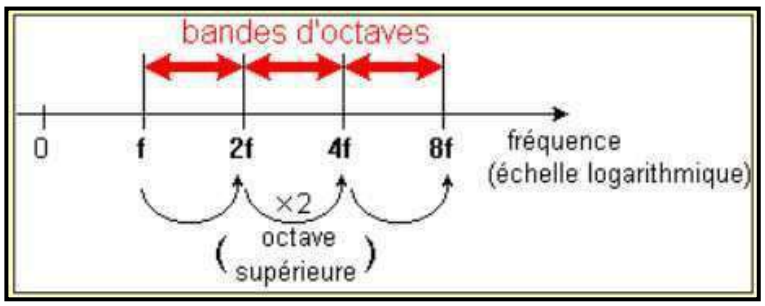


Figure II.4 : Illustration des bandes d'octave

En acoustique, on utilise les filtres d'octave. Les fréquences médianes des octaves normalisées sont des multiples ou des sous-multiples de la fréquence 1000 Hz, soit 31.5 Hz, 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz et 8000 Hz. Le tableau suivant présente la borne des bandes de fréquence[5]

Tableau II.4: bornes des bandes de fréquences

Fréquence minimal (Hz)	Fréquence de coupure (Hz)	Fréquence maximal (Hz)
44	63	88
89	125	176
177	250	352
353	500	707
708	1000	1414
1415	2000	2828
2829	4000	5656
5657	8000	11313
11314	16000	20000

La représentation spectrale d‟un bruit quelconque peut être en ligne brisé ou en histogramme.

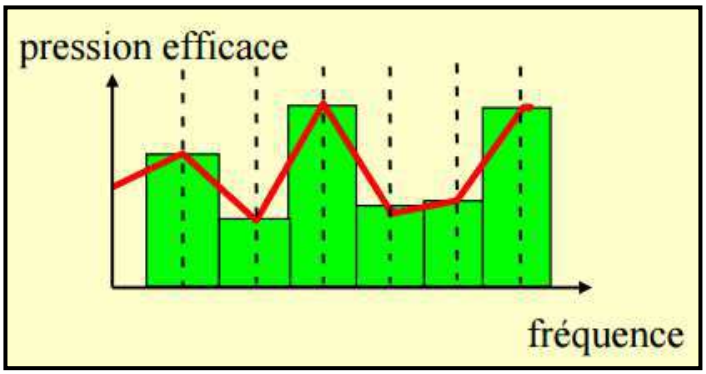


Figure II.5 : représentation spectral d'un bruit.

II.1.5 Propagation du bruit :

Dans un site de grandes dimensions, sans paroi réfléchissante, l'intensité acoustique varie comme l'inverse de la distance au carré.[3]

$$I = \frac{k}{D^2}$$

- I: intensité acoustique (W/m2)
- D : distance (m)
- k : constante

Ce qui revient à :

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 *$$

II.2 ÉVALUATION PHYSIOLOGIQUE DE L'INTENSITÉ SONORE:

II.2.1 Seuil d'audibilité et seuil de douleur :

La plus faible pression acoustique qu'une oreille humaine puisse percevoir est de 2×10^{-5} Pa à 1000 Hz. Cette pression est appelée seuil de perception auditive ou seuil d'audibilité. Elle correspond à une intensité acoustique de 10^{-12} W/m².

La pression acoustique entrainant une sensation douloureuse pour l'oreille humaine est de 63 Pa à 1000 Hz, soit 3 millions de fois plus élevées que le seuil de perception. Elle correspondà une intensité acoustique de 10^2 W /m².

Le tableau suivant présente le seuil d'audibilité et le seuil de douleur en termes de pression acoustique, puissance acoustique et intensité acoustique. [5]

Tableau II.5 : valeurs correspondantes au seuil d'audibilité et seuil de douleur.

Grandeur physique	Seuil d'audibilité	Seuil de douleur
Pression acoustique (Pa)	2×10^{-5} Pa	63 Pa
Puissance acoustique (W)	10^{-12} W	10^{2} W
Intensité acoustique (W/m²)	10^{-12} W/m²	10^{2} W/m²

II.2.2 Le décibel (dB) :

L'oreille est un organe très sensible qui peut détecter des sons correspondants à des variations de pression efficace de l'ordre de 20 µPa. Elle supporte, par ailleurs, des pressions jusqu'à 20 Pa. On dit que l'oreille possède une large gamme dynamique.

Du fait de cette large gamme dynamique et surtout pour des raisons pratiques, plutôt que d'utiliser des grandeurs physiques (Pascals, Watts / m²) pour exprimer la grandeur d'une pression ou d'une intensité acoustique, on leur préfère des grandeurs logarithmiques : des niveaux de la forme : $\log_{10} \frac{x}{x_0}$ où x_0 est une valeur de référence pour la grandeur à mesurer. On définit ainsi les niveaux acoustiques exprimés en décibel.

Pour quantifier la force d'un bruit, on utilise l'échelle des décibels (dB). Cette échelle permet de mesurer la force, c'est-à-dire l'intensité du bruit. Plus un bruit sera fort, plus le nombre de décibels qui lui sera associé sera élevé.

L'oreille humaine a la capacité de percevoir une très grande variété d'intensités. Le son le plus fort que l'oreille puisse supporter est environ 1000 milliards de fois plus intense que le son le plus faible qu'elle puisse détecter. Afin de faciliter la manipulation de ces chiffres, l'échelle des décibels (dB) a été inventée. Elle permet de ramener de 0 à 120 dB l'étendue des intensités que notre oreille peut percevoir. Le 0 dB correspond à la plus petite intensité détectable par l'oreille humaine alors que 120 dB correspond à l'intensité la plus forte que nous puissions entendre avant de ressentir de la douleur.

L'oreille n'a pas la même sensibilité suivant les différentes fréquences. Elle est surtout sensible dans les fréquences medium et beaucoup moins sensible lorsque l'on s'écarte vers les graves ou les aigus. De ce fait, l'oreille n'est pas sensible de la même façon à toutes les fréquences, d'où l'utilisation d'un filtre de pondération (A), qui tient compte de la sensibilité de l'oreille aux différentes fréquences sonores, pour décrire la sensation reçue.

En règle générale, le système de pondération retenu est la pondération A [dB(A)], mais il en existe d'autres. Le décibel (A) utilisé pour mesurer les bruits de l'environnement représente la sensation effectivement perçue par l'oreille humaine.

Un filtre pondérateur (A) est incorporé dans le circuit électrique des sonomètres. Ce filtre a pour effet de reproduire le comportement sélectif de l'oreille vis à vis des fréquences. Pour une personne normale, le seuil d'audition est de 0 dB(A) à 1000 Hz. Le niveau d'inconfort auditif est environ 90 dB(A) et la douleur auditive est à 115 dB(A).

II.2.3 Les niveaux acoustiques :

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, ω_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. [4, 5]

II.2.3.1 Niveau d'intensité acoustique (L_I) :

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

$$L_I = 10 \log_{10} (\frac{I}{I_0}* (dB)$$

- I : intensité acoustique (W / m²).
- I_0 : intensité acoustique de référence.

En sachant que : $I = \frac{P^2}{\rho \times c}$

Et : $I_0 = \frac{{P_0}^2}{\rho_{air} \times c_{air}} = \frac{(2 \times 10^{-5})^2}{400} = 10^{-12}\ (\mathrm{W}/m^2)$

II.2.3.2 Niveau de pression acoustique (L_p) :

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

$$L_p = 10\ \log_{10} (\frac{P^2}{P_0}) = 20\ \log_{10} (\frac{P}{P_0}* (dB)$$

- 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**.

Lorsqu'un son a une pression acoustique égale à P_0, son niveau est égal à 0 dB. Si la pression acoustique d'un son est 10 P_0, 100 P_0, 1000 P_0, les niveaux sonores correspondants sont 20, 40, 60 dB.

Remarque *:* d'après les formules de niveau d'intensité acoustique, et de niveau de pression acoustique, on obtient :

$$L_I = 10\log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right)^* = 10\ \log_{10}\left(\frac{\frac{P^2}{\rho c_2}}{\frac{P_0}{\rho_{air} c_{air}}}\right)$$

Si le son se propage dans l'aire : $L_I = 10\log_{10}\left(\frac{P^2}{P_0{}^2}\right) = L_p$

On note dans les études comprenant une propagation dans l'aire : **L = L_I = L_p**.

II.2.3.3 Niveau de puissance acoustique :

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

$$L_m = 10\log_{10}\left(\frac{m}{m_0}\right)^*$$

- ω : puissance acoustique de la source (W).
- ω_0 : puissance acoustique de référence.

$$m_0 = P_0{}^2\ \frac{S}{\rho_{air}\, c_{air}} = (2\times 10^{-5})^2\ \frac{1}{400} = 10^{-12}\ (\text{W})$$

II.2.3.4 Opérations sur les niveaux acoustiques :

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 : $P(t) = P_1(t) + P_2(t) + \ldots + P_n(t)$.

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 :

$$L_P = 10\log_{10}\left(\frac{P^2}{{P_0}^2}\right) \Leftrightarrow \frac{P^2}{{P_0}^2} = 10^{\frac{L_p}{10}}$$

$$L_I = 10\log_{10}\left(\frac{I}{I_0}*\right) \Leftrightarrow \frac{I}{I_0} = 10^{\frac{L_I}{10}}$$

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

$$L_1 + L_2 = 10\log_{10}\left(\frac{I_1}{I_0} + \frac{I_2}{I_0}*\right) = 10\log_{10}\left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}}*\right)$$

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 :

$$L_{P\,1+2} = x + 10\log_{10}(2) = x + 3\ dB$$

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 :

$$L_{P\ 1+2+\cdots+N} = x + 10\log_{10} N$$

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 :

$$L_{P\ 1+2+\cdots+N} = 10\log_{10}(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + .. + 10^{\frac{L_N}{10}} *$$

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

II.2.3.5 Niveau de pression acoustique continu équivalent $L_{p,eqT}$:

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 $L_{p,eq,T}$.[3,5]

II.2.3.6 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 dépends 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 :[7]

[7] INRS, « évaluer et mesurer l'exposition professionnelle au bruit »

- 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.

Le niveau moyen de bruit $L_{eq,T}$ est donné par la formule :[8]

$$L_{eq,T} = 10\ \log_{10}\left[\frac{1}{T}\sum_{i=0}^{N} T_i \times 10^{\frac{L_i}{10}}\right]$$

Pour une durée T de 8 heures on obtient :

$$L_{eq,8h} = L_{ex,8h} = 10\ \log_{10}\left[\frac{1}{8}\sum_{i=0}^{N} T_i \times 10^{\frac{L_i}{10}}\right]$$

Où :

- L_i : niveau de pression acoustique élémentaire.
- T : durée total du poste, en heures.
- Ti : 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 :

$$L_{ex,8h} = L_{eq,T} + 10\log_{10}\left(\frac{T}{8}\right)^{*}$$

[8] Ontario Ministère De Travail, « Santé et sécurité, Annexe B : Calcule du niveau d"exposition au bruit »

II.2.4 Décibel physiologique et pondération fréquentiel (A) :

Durant les années 1930-1940 *Harvey Fletcher* et ses collaborateurs des *Bell Labs* ont, au moyen d'expériences répétées de psychoacoustique sur des sujets variés, établi les courbes d'égale sensation en fonction de la fréquence. C'est ce que l'on appelle maintenant le diagramme de *Fletcher-Munson.*

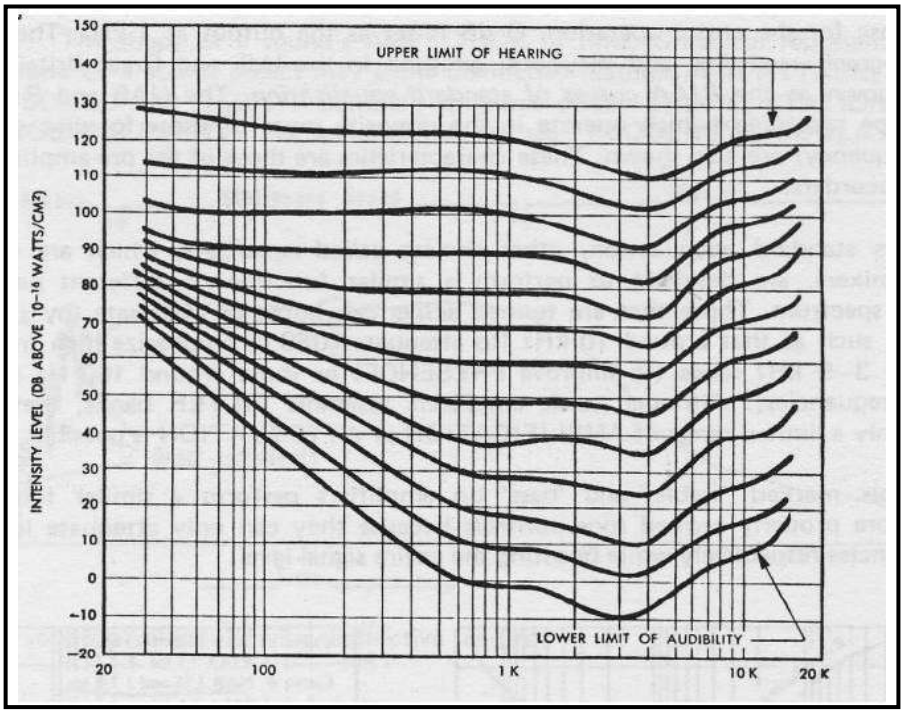


Figure II.6: courbes d'égale sensation (Fletcher-Munson)

Le réseau de courbes isosoniques ci-dessus traduit l'égalité de sensation de niveau sonore pour des sons purs, en fonction de la fréquence. Autrement dit, des sons d'égales intensités acoustiques (et de niveaux égaux), ne produisent pas la même sensation selon la fréquence. On ne perçoit pas les ultrasons au même niveau que les sons, par exemple. Ces courbes sont Indicées par le niveau à 1000 Hz, qui définit l'unité de sensation psychologique pour les sons purs : le phone. Ainsi un son de 100 phones correspond à un niveau de 100 dB à 1000 Hz, et de 120 dB vers 30 Hz. La courbe de seuil correspond au 20 minimum d'audition en fonction de la fréquence, et nous voyons qu'elle correspond à 4 dB à 1 kHz, c'est-à-dire que le seuil d'audition correspond à 4 phones.

Dans la pratique, l'usage de ce réseau de courbes pour déterminer un niveau de nuisance n'est pas très pratique, et on utilise en fait un système de pondération des dB issus de ces courbes :

- dB(A) pondéré par la courbe de Fletcher à 40 phones (bruits faibles)
- dB(B) pondéré par la courbe de Fletcher à 70 phones (bruits moyens)
- dB(C) pondéré par la courbe de Fletcher à 100 phones (bruits forts),

Pour l'oreille humaine. Deux sons de même niveau de pression, mais de fréquences différentes ne sont pas perçus de la même façon par l'homme. À niveau de pression égale, l'oreille humaine entend mieux les sons de fréquences moyennes et aiguës que les sons graves ou très aigus. Par exemple, un son de 1000 Hz de 40 dB est entendu aussi fort qu'un son de 60 dB à 60 Hz.

Pour un son, l'intensité physiologique est la sonie. L'oreille est sensible à la fois au niveau de pression sonore et à la fréquence du son de 20 Hz à 15 kHz environ. On a cherché quels sont, en fonction de la fréquence, les niveaux de pression sonore qui donnent la même sensation de niveau sonore. Tous les couples de points (NPS, fréquence) donnant la même sensation de niveau sonore constituent une ligne isotonique.

La sonie des sons est exprimée en sones. Par définition, le sone est l'intensité subjective d'un son pur de fréquence 1000 Hz et de niveau d'intensité de 40 dB. La courbe isosonique de sone 0 est le seuil d'audibilité.

La notion de décibel, si elle prend en compte la totalité du signal sonore, est insuffisante pour rendre compte la sensation sonore perçue effectivement par l'oreille humaine. Celle-ci n'a pas en effet la même sensibilité suivant la fréquence dans l'ensemble du domaine audible :

- Pour un même niveau sonore, les sons graves et aigus sont moins bien perçus que les sons intermédiaires (médium).
- La sensibilité maximale se situe entre 1000Hz et 5000Hz.
- La variation de sensibilité s'estompe quand le niveau augmente.[9]

[9] Académie de Toulouse, « Courbes isosoniques et décibels acoustiques dB(A) »

La courbes suivantes illustrent la sensibilité de l'oreille humaine et l'en fonction de la fréquence et du niveau sonore.

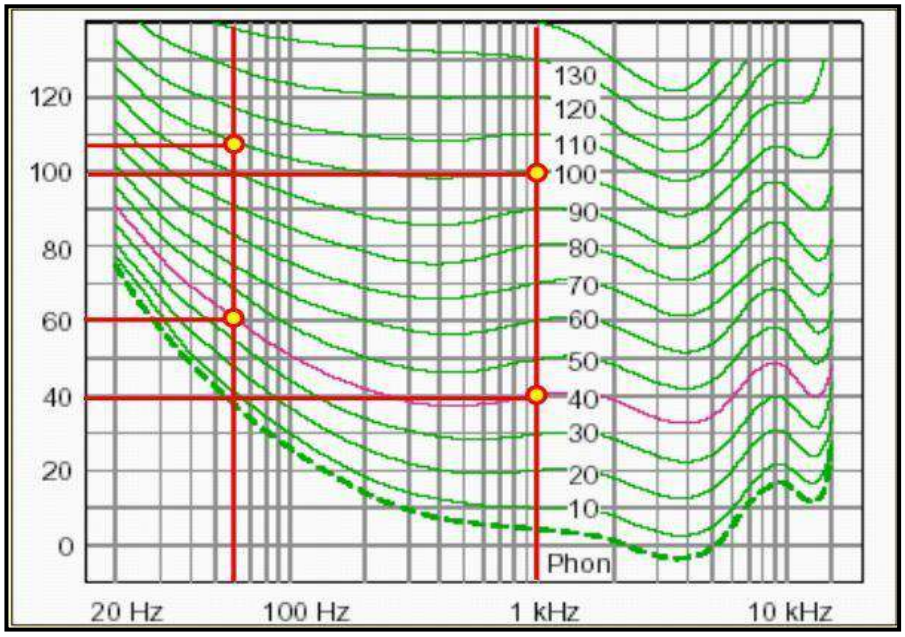


Figure II.7 : illustration de la sensibilité de l'oreille en fonction de la fréquence et du niveau sonore

Si on veut mesurer la sensation perçue par l'oreille, on devra équiper les sonomètres de filtres ou autres dispositifs qui atténueront les basses et les hautes fréquences de la même façon que le fait l'oreille humaine. Lorsque les sonomètres sont pourvus de ces filtres atténuateurs, ils peuvent nous délivrer des niveaux pondérés comparables à ce que l'oreille humaine serait sensible. Il existe trois types de filtres pondérateurs :

- le filtre (A) pour les sons d'intensité faible
- le filtre (B) pour les sons d'intensité moyenne
- le filtre (C) pour les sons d'intensité forte.

Le filtre le plus couramment utilisé est le filtre (A). En ce qui concerne les dB(A), on parle souvent de mesure de niveau de pression acoustique physiologique [5]

CHAPITRE III : EXPOSITION AU BRUIT ET EFFETS SUR L'ORGANISME :

III.1 LA NOTION DE GÊNE :

Les lésions les plus graves susceptibles de toucher les travailleurs sont les surdités professionnelles. Ces lésions n'apparaissent pas de façon systématique ou dans la même mesure chez différentes personnes pourtant soumises à la même exposition. Cela tient à plusieurs facteurs (variabilité individuelle, âge, sexe, tonus musculaire, etc.).

De toutes les façons, le principe de prévention du risque repose sur l'abaissement des niveaux sonores et la diminution de la durée d'exposition à la source nociceptive. Parmi les moyens mis en œuvre, l'utilisation des protections individuelles, est une des plus fréquemment observée. Mais tous les bruits ne conduisent pas à des atteintes graves et irréversibles de l'audition. Il faut pour cela, soit des expositions accidentelles et instantanées à des bruits de très forte intensité (explosion, coup de feu près de l'oreille, etc.), soit des expositions sur de plus longues durées de bruit de niveau important.

En France, la limite maximale du niveau de pression sonore pendant 8 heures est de 85 dB. Cependant, à des niveaux moins importants, et considérés comme sans risque de provoquer une maladie professionnelle.

Le bruit apporte des gênes, par exemple, dans le domaine de l'intelligibilité de la parole, la communication, des effets de masque, du risque de baisse de vigilance à l'égard des signaux acoustiques d'alerte, la qualité du repos pendant les pauses, la fatigue, l'amplification des troubles psychosociaux, les risques d'accident ou d'incident suite à une mauvaise compréhension des consignes ou des recommandations, etc.

La prévision des réactions humaines aux niveaux sonores de l'environnement est souvent impossible à cause du caractère subjectif de la notion de gêne qui varie d'une personne à l'autre, évidemment, mais aussi, chez une même personne en fonction de ses caractéristiques chronobiologique.

En outre, la dispersion réactionnelle s'explique aussi parce que le bruit n'affecte pas que le sens de l'ouïe, mais a des effets plus ou moins marqués sur la santé somatique et psychique des individus affectés.[5]

III.2 EFFETS DE BRUIT SUR L'APPAREIL AUDITIF :

III.2.1 La physiologie de l'oreille humaine :

III.2.1.1 Anatomie :

A. L'oreille externe et l'oreille moyenne :

L'oreille externe est constituée par un pavillon en forme d'entonnoir évasé, présentant un certain nombre de replis et d'anfractuosités, auquel fait suite un canal irrégulier, mesurant environ 2,5 cm de long et 0,8 cm de diamètre : le conduit auditif externe.

L'oreille moyenne fait suite à ce conduit dont elle est séparée par la membrane du tympan. Elle est formée par une cavité d'environ 1 à 2 cm3 dans l'os temporal. La caisse du tympan est traversée par la chaîne des osselets. La caisse du tympan est fermée par la membrane du tympan, côté oreille externe et, du côté de l'oreille interne, par deux ouvertures plus petites : la fenêtre ronde et la fenêtre ovale. La caisse du tympan communique encore, vers l'avant, avec le pharynx par la trompe d'Eustache et vers l'arrière avec les mastoïdes. Une chaîne de petits osselets relient la membrane du tympan avec la membrane de la fenêtre ovale.

Chez les mammifères, la chaîne des osselets est constituée de trois éléments : le marteau, l'enclume et l'étrier. Le marteau est fixé par son manche à la membrane du tympan. La tête arrondie du marteau s'encastre solidement dans l'enclume. L'enclume présente deux bosses dont la plus longue s'articule avec la tête de l'étrier. Ce dernier osselet ferme à peu près complètement, par sa base ovale, l'ouverture de la fenêtre ovale. La chaîne des osselets est reliée aux parois de la caisse du tympan par des ligaments et deux muscles striés, le muscle tenseur du tympan et le muscle de l'étrier.

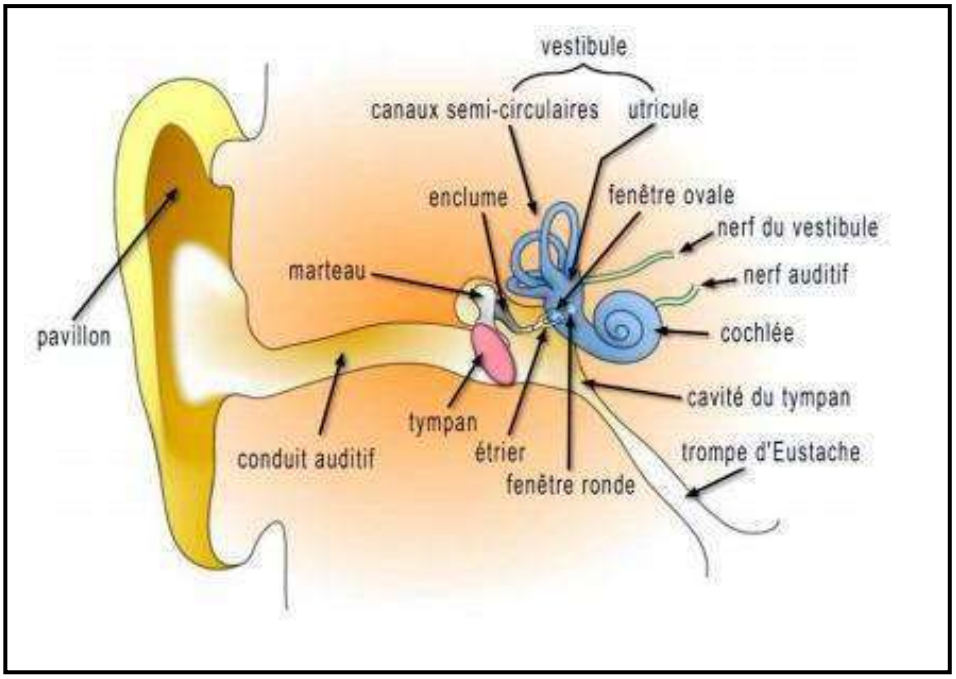


Figure III.1 : schéma descriptif de l'anatomie de l'oreille humaine

B. L'oreille interne :

L'oreille interne renferme à la fois les cellules sensorielles de l'audition (limaçon) et de l'équilibration (canaux semi-circulaires). Ces structures délicates sont enfermées, comme l'oreille moyenne dans un système de cavités creusées dans le rocher (parie épaisse de l'os temporal qui constitue le labyrinthe osseux. Ce labyrinthe osseux comprend trois parties : une cavité centrale, le vestibule sur lequel débouchent les canaux semi-circulaires et le limaçon. Seuls le vestibule et le limaçon ont un rapport avec l'audition. Le vestibule fait suite à la cavité du tympan avec laquelle il communique par la fenêtre ovale.

Le limaçon ou cochlée, placé en avant du vestibule, a l'aspect d'un cône évasé dont la base est tournée vers l'arrière. Le limaçon est formé comme la coquille de l'escargot par un axe central creux, de forme conique, la columelle, autour de laquelle s'enroule un canal à paroi creuse, fermé en cul-de-sac au sommet. Une mince lame osseuse, la lame spirale, divise ce canal incomplètement sur toute sa longueur. La séparation complète est assurée une membrane épaisse, la membrane basilaire. Une deuxième cloison, très mince, la membrane de

Reissner, divise également ce canal. Le limaçon est ainsi divisé en trois canaux accolés qui s'enroulent parallèlement autour de la columelle. Le canal central ou canal cochléaire et la rampe vestibulaire sont en rapport avec l'oreille moyenne par la fenêtre ovale tandis que la rampe tympanique est en rapport avec l'oreille moyenne par la fenêtre ronde.

Ces deux rampes, séparées par le canal cochléaire, se rejoignent au sommet du limaçon où elles communiquent par un orifice, l'hélicotrème.

Le canal cochléaire, fermé à ses bouts, est relié à sa base aux canaux semi-circulaires et à leurs anses (saccule et utricule). Le canal cochléaire et les canaux semi-circulaires sont remplis d'un liquide très riche en ions K^+ ou endolymphe. Les rampes vestibulaire et tympanique sont également remplies d'un liquide, la périlymphe.

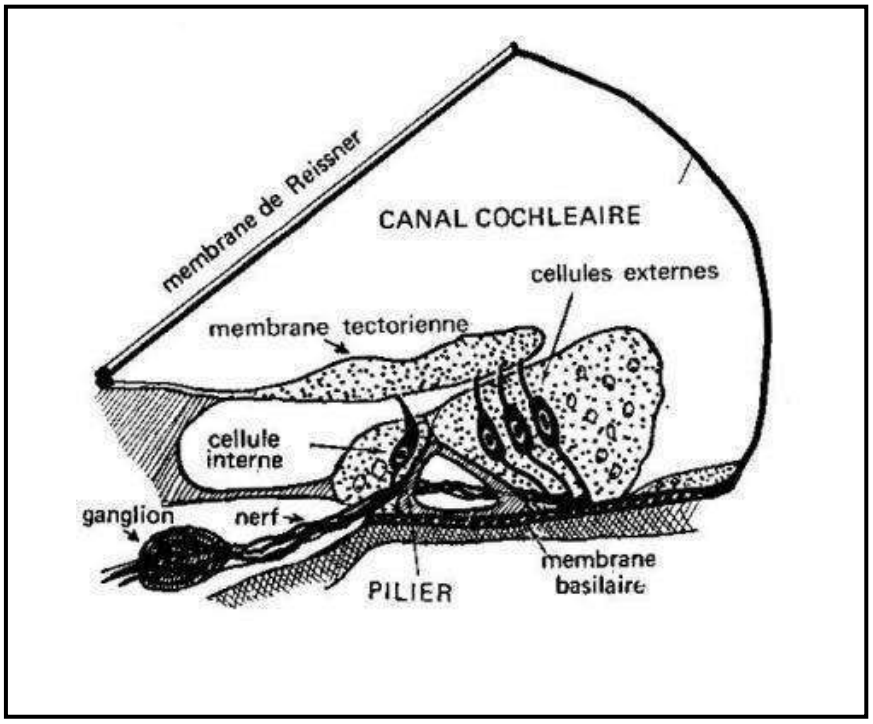


Figure III.2 : Anatomie de l'oreille interne.

La membrane basilaire représente la partie essentielle de l'appareil auditif. C'est elle qui porte, sur sa face intra-cochléaire, les cellules sensorielles auditives et les terminaisons du nerf auditif, le nerf cochléaire. Cette membrane, longue de trois centimètres environ, est de largeur croissante depuis sa base (0.04 cm) à son sommet (0.5 cm). Les cellules sensorielles sont des cellules ciliées, disposées régulièrement le long de la membrane basilaire. Ces cellules accompagnées d'éléments de soutien forme un organe complexe, l'organe de Corti. Chaque

cellule ciliée porte une vingtaine de cils dont le bout libre s'insère dans une formation gélatineuse, la membrane tectoriale ou tectorienne.

III.2.1.2 Physiologie :

A. La collection des sons par l'oreille externe :

L'oreille externe n'est pas indispensable à l'audition. Elle est simplement utile pour collecter les sons et permettre une meilleure localisation de leur provenance. Elle assure, en outre, un rôle de protection pour l'oreille moyenne.

B. La collection des sons par l'oreille moyenne :

Le conduit auditif externe dirige les ondes sonores vers l'oreille moyenne. Les vibrations imprimées à la membrane du tympan entraînent le déplacement de l'air qui remplit la caisse du tympan et celui des osselets qui le traversent. Dans les conditions normales, la transmission des ondes sonores à l'oreille interne s'effectue essentiellement par les osselets au niveau de la fenêtre ovale dans laquelle s'engage la base de l'étrier. La périlymphe peut en suivre les vibrations, en dépit de son incompressibilité, grâce aux oscillations de sens inverse qu'effectue, sous la poussée du liquide, la membrane élastique fermant la fenêtre ronde. L'extrême mobilité de la membrane du tympan lui permet de réagir à des ondes sonores dont l'amplitude est extrêmement faible. Dans la zone de fréquence où la sensibilité de l'oreille est maximale (1000 à 3000 Hz), la plus petite pression sonore perçue est de l'ordre de 2.10^{-4} dynes/cm^2. D'autre part, la chaîne des osselets assure la transmission difficile des vibrations de l'air de l'oreille moyenne à la périlymphe de l'oreille interne. Le rôle des osselets est confirmé par la forte élévation du seuil auditif qui fait suite à leur suppression fonctionnelle (- 30 dB). Le marteau suit les mouvements du tympan auquel il est fixé par son manche et les transmet à l'enclume. Ces deux osselets étroitement emboîtés dans des conditions normales se comportent comme un seul. Leurs vibrations sont transmises à la base plane de l'étrier qui s'applique étroitement à la fenêtre ovale. Ces vibrations ne sont pas comparables à un mouvement de va-et-vient de piston, mais davantage à celui d'une porte qui tourne autour de ses gonds. Les déplacements du tympan et de la base de l'étrier ont la même amplitude. La force exercée par la base de l'étrier sur la périlymphe est ainsi sensiblement la même que celle exercée sur le tympan. Mais la surface de la membrane ovale est 17 fois plus petite que celle du tympan. Il se produit donc un phénomène d'amplification.

La transmission se fait aussi, de façon solidienne, par l'intermédiaire des os du crâne, mais à la condition qu'il existe un contact du récepteur avec la source sonore, par exemple, sa propre voix. C'est la composition d'une transmission aérienne et solidienne qui fait que la perception de notre voix n'est pas la même quand on la réécoute à partir d'un enregistrement. Le bon fonctionnement de l'oreille moyenne est associé à l'activité des muscles du tympan et de l'étrier, ainsi que de l'état de la trompe d'Eustache. Les muscles ont surtout un rôle de protection. Ils limitent, par contraction réflexe, l'amplitude du mouvement du tympan et des osselets dans le cas de la perception de sons forts. Toutefois, compte tenu du temps de latence d'apparition de ce réflexe, la protection est sans effet dans le cas des sons impulsifs comme des coups de feu ou de canon, des explosions, des coups de tonnerre, des bruits impulsifs dans les ateliers ou dans l'environnement. La trompe d'Eustache assure le maintien à la pression atmosphérique de la caisse du tympan. Normalement fermée, elle s'ouvre au moment des bâillements, des éternuements, des déglutitions, etc. Lorsqu'elle reste ouverte, les ondes sonores passent directement de la bouche à l'oreille moyenne, provoquant des bourdonnements désagréables (voyage en montagne ou en avion).

C. Le fonctionnement de l'oreille interne :

Les vibrations de l'air communiquées à la membrane du tympan, puis transmises par la base de l'étrier à la fenêtre ovale, provoquent des oscillations périodiques de la périlymphe refoulée entre les fenêtres ovale et ronde, par les rampes vestibulaire et tympanique. Ces oscillations de la périlymphe se transmettent au canal cochléaire dont les mouvements et, en particulier, ceux de la membrane basilaire, représentent le dernier stade de la transmission des vibrations sonores vers les cellules sensorielles de l'audition, les cellules ciliées. Du fait de sa forme et de son implantation, la membrane basilaire ne vibre pas uniformément. Ses mouvements sont, au contraire, très complexes et dépendent, entre autres facteurs, de la fréquence des sons perçus. Ainsi toute la membrane vibre pour les fréquences inférieures à 50 Hz. Les sons plus aigus font vibrer des plages plus ou moins grandes de la membrane basilaire. Ces plages sont d'autant plus étroites et proches de la fenêtre ovale que les fréquences sont plus élevées. C'est pourquoi un son très aigu sera rapidement traumatisant, car toute l'énergie dispersée le sera sur une plage très étroite de la membrane.

L'entrée en résonnance particulière de la membrane basilaire est une explication pour la discrimination des sons de fréquence différente. Cela permet aussi d'expliquer les effets de masque. Des recherches récentes ont également montré l'importance de cette discrimination membranaire (éducable) sur la production des sons, le chant ou l'émission de phonèmes (idiomes). [5]

III.2.2 Effets directs sur l'oreille humaine :[10]

L'oreille interne où se trouve la cochlée est la partie la plus déterminante pour l'audition, mais aussi la plus sensible et fragile de l'oreille. C'est là que se trouvent les cellules sensorielles dites cellules ciliées (20.000 environ) dont la mission est de transformer la vibration en impulsion électrique qui informera le cerveau de l'origine et de la nature du son et lui permettra de comprendre la parole, de reconnaître les bruits familiers

Les cellules ciliées sont d'une importance capitale : elles perdent leurs cils sous l'effet de nombreux facteurs tels que :

- la maladie.
- le vieillissement.
- le bruit.

Une fois dégradées elles ne peuvent se renouveler. Leur perte est irréparable et provoque la surdité. Ce processus est irrémédiable. Les niveaux sonores élevés et durables résultent de l'activité humaine et ne sont pas naturels. L'oreille n'est donc pas naturellement armée pour les supporter.

Chaque groupe de cellules s'occupe d'un groupe de fréquences à transmettre au cerveau, les cellules des fréquences aiguës sont à l'entrée du limaçon et les cellules des fréquences graves à l'intérieur du limaçon. Les cellules ne transmettent pas les sons d'une façon linéaire mais d'une façon quasi logarithmique. Les cellules ciliée sollicité trop longtemps par des bruits intense se « fatiguent », puis progressivement perdent leur faculté de récupération et peuvent finalement être détruites.

[10] Interson Protac, « Le bruit au travail »

Les cellules ciliées dédiées aux sons aigus d'environ 4000Hz sont les premières touchées. La perception du son est d'abords modifiée par l'absence des signaux électriquecorrespondant aux hautes fréquences.

Une dose de bruit reçue trop importante peut engendrer :

- une gêne auditive transitoire.
- Une fatigue auditive avec récupération possible (déficit temporaire).
- La surdité définitive (perte de la sensibilité auditive).

L'acuité auditive diminue progressivement. Plus il y ‟a des cellules détruites moins le cerveau est capable de compenser la perte d'information. La personne devient « dur d'oreille » :

- Les mots se suivent sans distinction.
- La parole et le fond sonore ne peuvent plus être dissociés.
- La musique devient assourdie.

On peut considérer deux grands types d'effets du bruit sur l'oreille, les effets plus ou moins réversibles et les effets irréversibles.

III.2.2.1 Fatigue auditive :

La fatigue auditive est caractéristiquement un de ces effets qui passe pour être réversible. Lorsque l'on est exposé longtemps à une ambiance bruyante, il arrive un moment où, revenu dans une pièce plus calme, les sensations auditives que l'on perçoit sont modifiées : notre voix nous semble lointaine, nos oreilles bourdonnent. Cela va durer un certain temps, quelques heures pour le moins avant que tout semble rentrer dans l'ordre.

Lorsque les cellules auditives sont soumises à de fortes pressions acoustiques, elles se fatiguent. Cela se traduit par une perte temporaire d'audition et un relèvement du seuil d'audibilité. Ces effets ne portent pas seulement sur les cellules auditives puisque l'on remarque aisément que les sujets qui ont subi une exposition au bruit, se plaignent d'être aussi fatigués, d'avoir des difficultés à réfléchir, voire d'être totalement incapable de quelque travail intellectuel que ce soit comme lire ou écrire.

Il est évident que ces troubles peuvent être responsables d'effets indirects sur les individus affectés. Les troubles de la communication pouvant entraîner des accidents au travail ou sur le trajet de retour, des situations conflictuelles, etc.

On a calculé qu'un déficit d'audition de 40 dB lié à une seule fatigue auditive demandait 16 heures au moins de récupération. Il va de soi qu'un travailleur soumis tous les jours à de telles fatigues ne pourra jamais récupérer. Ses pertes temporaires d'audition ne tarderont pas à devenir des pertes définitives.

III.2.2.2 Surdités causé par le bruit [11] :

A. La surdité professionnelle :

La surdité professionnelle est une atteinte permanente (irréversible), non apparente et qui peut être acquise précocement après quelques années d'exposition au bruit. Mis à part le bruit, d'autres agents sont réputés ototoxiques (ex. : toluène, styrène) ou potentialisent les effets du bruit sur l'audition (ex : vibrations). Ils peuvent aussi modifier la configuration « typique » de l'atteinte auditive 7,8. En général, cette atteinte évolue sur plusieurs décennies d'exposition. Ces dommages permanents au système auditif affectent les cellules sensorielles de l'oreille interne. La destruction de ces cellules peut également entraîner la dégénérescence des fibres du nerf auditif reliant l'oreille interne aux voies auditives supérieures.

L'atteinte auditive est partielle et altère d'abord la détection des fréquences aiguës. Puis, au fur et à mesure que l'exposition au bruit persiste dans le temps, non seulement cette surdité s'aggrave, mais elle progresse et touche peu à peu les fréquences moyennes et plus basses (sons graves). Elle affecte le plus souvent les deux oreilles de façon symétrique. Cependant, dans certains emplois (ex. : camionneurs, agriculteurs) ou pour certaines tâches bruyantes (ex. : utilisation d'outils manuels) lorsqu'une oreille est davantage exposée au bruit, les pertes auditives peuvent être asymétriques.

[11] Portrait de la surdité professionnelle acceptée par la Commission de la santé et de la sécurité du travail au Québec : 1997-2010 TROUBLES DE L'AUDITION SOUS SURVEILLANCE Direction des risques biologiques et de la santé au travail

Bien que la personne entende encore, la surdité se manifeste par différentes incapacités sur le plan de l'écoute et de la communication telles que comprendre la parole en présence de bruits de fond, détecter ou localiser des signaux sonores (ex. : sonneries), ne pas tolérer des sons forts.

Ces limitations fonctionnelles entraînent des conséquences dans toutes les sphères de la vie quotidienne (couple, famille, amis, loisirs, travail) de la personne atteinte souvent pendant de nombreuses années avant qu'elle ne cherche à obtenir des services et du soutien. Par conséquent, au fur et à mesure que la surdité évolue, on observe l'isolement du travailleur dans sa famille, dans ses activités sociales et professionnelles, ainsi qu'une perte d'autonomie et une image de soi de plus en plus négative. Ces divers facteurs affectent de façon importante la qualité de vie des travailleurs et de leurs proches. Il est important de noter que ces manifestations varient en nombre et en importance d'un individu à l'autre. De même, les conséquences qui en découlent sont tributaires, notamment, du degré de la surdité et des habitudes de vie de la personne atteinte.

Finalement, même si l'exposition au bruit en milieu de travail cesse, la surdité peut évoluer compte tenu des effets du vieillissement sur l'audition. Par conséquent, les incapacités auditives et les handicaps qui en découlent peuvent très bien s'aggraver même après que les travailleurs aient cessé de travailler dans le bruit. Les effets du vieillissement s'ajoutent aux pertes auditives causées par le travail.

L'évolution de la surdité professionnelle peut être résumé en trois étape :

- ***1ère étape*** :

Le sujet ne se rend pas encore compte de sa perte d'audition car les fréquences de la parole sont peu touchées La surdité commence par une encoche à la fréquence 4000 Hz. La perte dépasse 30 dB. Il s'agit d'une zone d'hypersensibilité de l'oreille où l'énergie acoustique frappe les cellules sensorielles de la zone réceptive de cette fréquence.

- ***2ème étape*** :

Les fréquences aiguës de la conversation sont touchées. Le sujet se renferme sur lui-même, il ne communique plus facilement. La lésion s'étend vers la fréquence 2000 Hz. Lorsque la perte atteint 30 dB pour cette fréquence, le sujet commence à remarquer sa surdité, il fait répéter.

- ***3ème étape*** :

La surdité est profonde et irréversible, la gêne sociale est très forte. Toutes les fréquences sont atteintes, même le 5000 Hz dont la perte dépasse 30 dB. La fréquence 8000 Hz est également très touchée. Le défaut de perception de la parole est important. La surdité est sévère et profonde.

Cette évolution est fonction de plusieurs facteurs :

- ***L'âge*** :

Le seuil d'audition s'élève statistiquement proportionnellement à l'âge des sujets. Dans cette perte démographique intervienne : la pathologie, l'action des bruits traumatisants occasionnels ou professionnels, la régression physiologique qui représente de grandes variations individuelles, en particulier génétiques. En fait, si on élimine les sujets ayant une pathologie influant sur l'audition on constate qu'à 60 ans le seuil d'audition n'atteint pas 20 dB de perte pour les fréquences de 125 à 4000 Hz inclus. Le facteur de sénescence, s'il est isolé, intervient peu dans l'audition avant 60 ans.

- ***La durée de travail et dose de bruit :***

Il semble préférable, pour exprimer l'action du bruit sur l'oreille, de choisir une échelle en durée de travail puisque c'est cette durée de travail qui est le facteur influent. La perte aux fréquences 2000, 3000, 4000 Hz est significativement liée à la durée de travail alors que la perte pour les fréquences 1000,500, 250 Hz est beaucoup plus liée aux atteintes pathologiques autres que professionnelles.

La dose de bruit c'est l'énergie acoustique perçue par notre système auditif pendant un temps d'exposition donné. Le temps d'exposition de référence étant de 8 heures. Ce temps est réduit de moitié à chaque fois que la dose de bruit augmente de 3 dB(A). La sécurité de l'audition dépend directement du temps d'exposition au bruit.

B. La surdité traumatique :

Les pertes auditives soudaines dont l'origine est un traumatisme sonore aigu sont des surdités dont l'évolution et le processus d'acquisition diffèrent de la surdité consécutive à une exposition chronique au bruit.

Ce type de surdité peut se définir comme suit : « Les traumatismes sonores aigus résultent de l'exposition brutale de la cochlée à une pression acoustique excessive. Que ce soit par bruits impulsionnels ou par bruits continus de courte durée et parfois même uniques (explosion), les atteintes auditives induites peuvent être définitives, même pour une exposition unique ou isolée. Selon la quantité d'énergie ayant pénétré dans l'oreille interne, les atteintes auditives peuvent être réversibles, avec élévation temporaire des seuils, ou irréversibles, avec perte auditive définitive a La symptomatologie clinique est assez stéréotypée, associant acouphènes, hypoacousie et hyperacousie douloureuse »

C. Les acouphènes :

L'acouphène peut être défini comme l'incapacité à percevoir le silence. En fait, « acouphène » est le terme général se référant à une perception sonore telle que sifflement, tintement, chuintement ou bourdonnement entendu dans une ou deux oreilles ou dans la tête qui ne peut être attribuée à une source sonore externe.

Il est généralement admis que des acouphènes occasionnels légers soient perçus par presque tout le monde à un moment ou un autre de leur vie. Néanmoins, les acouphènes font également partie des symptômes associés à une exposition prolongée au bruit, dont le bruit en milieu de travail. D'ailleurs, la documentation scientifique soutient l'hypothèse d'un lien entre la perte auditive et les acouphènes chez les personnes exposées au bruit au travail. Toutefois, ce dernier juge qu'il n'est pas possible d'établir si la perte auditive et les acouphènes peuvent survenir de manière indépendante l'un de l'autre suite à l'exposition au bruit ou si l'un a une relation causale avec l'autre.

Les acouphènes peuvent être source de difficultés chez les personnes qui en souffrent. En effet, dans certains cas, ils peuvent entraîner des conséquences néfastes dans diverses sphères de la vie quotidienne telles que des perturbations du sommeil, des difficultés de concentration, de l'irritabilité, du stress et, parfois même de la dépression et des restrictions dans la participation à la vie sociale. Le bruit peut engendrer des dérèglements touchants d'autres fonctions que l'ouïe.

III.3 EFFETS INDUIT SUR L'ORGANISME [12] :

le bruit n'affecte pas que le sens de l'ouïe, mais a des effets plus ou moins marqués sur la santé somatique et psychique des individus affectés.

III.3.1 Les effets sur la sphère lymphatique :

La sphère végétative comprend divers systèmes dont le fonctionnement n'est pas placé sous la dépendance de la volonté. C'est le cas du système cardio-vasculaire, du système respiratoire ou encore du système digestif. Ainsi, le bruit entraîne une réponse non spécifique au niveau du système cardio-vasculaire en accélérant la fréquence cardiaque et en provoquant une vasoconstriction (diminution du calibre des petites artères).

Ces modifications cardio-vasculaires sont propices à l'élévation de la pression artérielle. Le bruit entraîne également une accélération du rythme respiratoire sous l'effet de la surprise. La stimulation acoustique provoque également des modifications au niveau du système digestif. Les plus fréquentes sont une diminution de la fonction salivaire et du transit intestinal. Les modifications de la sécrétion et de la composition du suc gastrique peuvent constituer le lit de troubles graves tels que l'ulcère gastrique ou l'ulcère du duodénum. L'effet de l'exposition au bruit sur le système cardio-vasculaire est fortement plausible, car les diverses manifestations allant d'une légère augmentation de la pression artérielle à la pathologie cardio-vasculaire avérée sont consistantes avec la progression connue des pathologies dans ce domaine de santé et sont confortées par les résultats des études de laboratoire sur les réactions au stress et la dynamique vasculaire.

[12] Patrick Kruissel, « Le bruit, effet sanitaire et règlementation », 6janvier 2010

III.3.2 Les effets sur le système endocrinien :

Le système endocrinien est composé par l'ensemble des glandes qui possèdent une fonction de sécrétion d'hormones. L'exposition au bruit entraîne une modification de la sécrétion des hormones liées au stress que sont l'adrénaline et la noradrénaline.

Les concentrations de ces hormones surrénaliennes sont augmentées de façon significative lors de l'exposition au bruit au cours du sommeil et ceci se traduit par une excrétion urinaire accrue de leurs produits de dégradation. L'élévation du taux nocturne de ces hormones peut entraîner des conséquences sur le système cardio-vasculaire tels que l'élévation de la fréquence cardiaque et de la pression artérielle ou encore des arythmies cardiaques, des agrégations plaquettaires ou encore une augmentation du métabolisme des graisses.

Plusieurs études rapportent également une élévation du taux nocturne de cortisol sous l'effet du bruit. Le cortisol est une hormone qui traduit le degré d'agression de l'organisme et qui joue un rôle essentiel dans les défenses immunitaires de ce dernier. Une étude émet l'hypothèse que cette augmentation du cortisol puisse entrainer une atrophie de l'hippocampe au niveau cérébral.

III.3.3 Les effets sur la santé mentale :

Le bruit est considéré comme la nuisance principale chez les personnes présentant un état anxiodépressif. La présence de ce facteur joue un rôle déterminant dans l'évolution et le risque d'aggravation de cette maladie. La sensibilité au bruit est très inégale dans la population, mais le sentiment de ne pouvoir « échapper » au bruit auquel on est sensible, constitue une cause de souffrance accrue qui accentue la fréquence des plaintes subjectives d'atteinte à la santé.

III.3.4 Les effets du bruit sur les performances :

De manière générale, le bruit semble affecter les tâches complexes, c'est-à-dire qui requièrent une attention régulière et soutenue par rapport à des détails, ou à des indicateurs variés : on peut évoquer les épreuves de vigilance, de coordination multi sensorielle, de doubles tâches ou qui font appel à la mémorisation.

On cite le plus souvent parmi les tâches de vigilance celles relatives à la détection de signaux visuels, de type surveillance d'écrans. On sait que, dans ce type d'épreuve, le bruit serait à l'origine de moments d'inattention. Dans le cas de ce que l'on appelle l'apprentissage incident, c'est-à-dire dans lequel une personne doit effectuer un travail, mais est interrogée parallèlement sur un point qui ne lui avait pas été signalé au départ, on observe une détérioration de cette dernière épreuve.

Ces résultats ont été confirmés par de nombreux chercheurs : ainsi lors d'une présentation visuelle de mots dans le bruit, les sujets ont reconnu aisément ces mots par la suite, mais étaient moins performants que ceux qui n'étaient pas exposés pour localiser la place où étaient situés ces mots sur l'écran. De même, on a observé des post-effets de l'exposition au bruit, c'est-à-dire des effets qui s'opèrent sur diverses tâches de type résolution de problèmes ou sur l'aide à autrui à la suite d'une exposition.

III.3.5 Effets sur la communication :

Le bruit a comme autre effet nocif celui de nuire à la qualité des communications orales (conversations, écoute de la télévision) car il est susceptible de provoquer un effet de masque, phénomène qui se produit lorsque deux sons d'intensité différente sont émis. A ce moment, le bruit le plus fort peut masquer partiellement ou totalement le second. L'effet de masque est d'autant plus grand quand les fréquences sont voisines et les sons graves masquent mieux les sons aigus. Or les bruits extérieurs de trafic, correspondant à des sonorités graves, masquent largement la voix humaine et peuvent causer ainsi une gêne importante.

Pour une communication compréhensible, il faut que le bruit de fond provenant de l'extérieur soit au moins inférieur de 10 dB(A) à celui des conversations. Or le niveau des conversations normales est de l'ordre de 55 dB(A) et ce n'est pas en élevant la voix que l'on se fait mieux comprendre. Plus on crie, plus sont méconnaissables les syllabes que nous prononçons et plus sont importantes les altérations de la parole. Le contenu informatif du message ne passe plus. Pourtant, il n'est pas besoin d'entendre toutes les syllabes d'une phrase pour en comprendre le sens.

III.4 ÉVALUATION DE L'EXPOSITION SONORE[13, 14] :

Les mesures de bruit permettent de caractériser les sons. Il existe un grand nombre de méthodes d'analyse scientifique, de paramètres et d'indicateurs pour caractériser ceux-ci. Cette diversité s'explique par la complexité du phénomène physique et par la difficulté d'objectiver la gêne ressentie par l'individu.

Un bruit est un phénomène physique caractérisé notamment par son niveau de pression acoustique et par sa composition fréquentielle. Ces paramètres constituent les composantes objectives du bruit. Pour tenir compte de la sensibilité de l'oreille humaine, ces paramètres physiques sont pondérés par un « filtre fréquentiel », introduisant une première approche de la notion de gêne subie par l'individu. Mais un indicateur performant ne doit pas se limiter à caractériser la gêne à partir du niveau de pression acoustique et d'un spectre de fréquences. D'autres caractéristiques constituent des paramètres qu'il est essentiel d'intégrer dans un indice de gêne. Par exemple, un individu exposé pendant un certain temps à une source de bruit «absorbe» une «dose» de bruit caractérisé par un temps d'exposition.

Un indice de gêne est toujours défini en liaison avec des seuils de gêne. A chaque seuil correspond un niveau de gêne spécifique : gênant, très gênant, insupportable, etc. L'indice de gêne doit intégrer, en plus des composantes objectives, trois critères importants :

- une évaluation correcte des effets du bruit sur la santé et une étude statistique établissant la corrélation entre la dose de bruit reçue et l'effet sur la santé doit être réalisée.
- une facilité d'utilisation et de manipulation.
- une simplicité suffisante pour être accessible au public.

III.4.1 Le niveau acoustique continu équivalent Leq :

Le son étant une forme d'énergie, le potentiel de nocivité auditive d'un environnement sonore donné ne dépend pas seulement de son niveau de pression acoustique, mais aussi de la durée pendant laquelle une personne supporte ce bruit, appelée durée d'exposition.

[13] Les données de l"IBGE « Bruit :Données de bases pour le plan -Notions acoustique est indices de gêne »
[14] Philip Nika , « évaluation de l'exposition sonore »

L'oreille peut supporter un niveau acoustique élevé s'il dure très peu de temps. Le niveau acoustique continu équivalent L_{eq} est alors utilisé en sonométrie, il représente le niveau d'intensité acoustique d'un bruit constant qui développerait la même énergie que le bruit fluctuant supporté pendant le même temps.

L'énergie totale E produite par le bruit pendant l'intervalle le temps T est donnée par :

$$E = \int_0^T \frac{I}{I_0} dt = \int_0^T \frac{P^2}{P_0^2} dt = \int_0^T 10^{\frac{L_p}{10}} dt$$

On peut calculer l'énergie moyenne durant l'intervalle de temps T :

$$E_{moy} = \frac{1}{T} \int_0^T 10^{\frac{L_p}{10}} dt$$

Finalement le niveau acoustique continu équivalent L_{eq} s'exprime par :

$$L_{eq} = 10 \log_{10} * \frac{1}{T} \int_0^T 10^{\frac{L_p}{10}} dt +$$

Cette relation est souvent remplacée par la sommation des mesures faites durant le temps :

$$L_{eq,T} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T} \sum_i 10^{\frac{L0_{Pi}}{10}} \Delta T_i + \right.$$

Pour une L_{eq} pondéré "A" (cas le plus fréquent), le symbole L_{Aeq} est utilisé ; on trouve parfois $L_{Aeq,T}$.

Les mesures de L_{eq} peuvent être effectuées durant des périodes quelconques (généralement 8 heures pour l'évaluation de l'exposition sonore des salariés) pour déterminer le potentiel de nocivité auditive d'un bruit.

III.4.2 Niveau d'exposition $L_{ex,d}$:

Le niveau d'exposition quotidienne $L_{ex,\ d}$ correspond à un niveau acoustique continu équivalent ramené à une période d'observation journalière de 8 heures :

$$L_{ex,d} = L_{Æeq,8h}$$

L'organisation Internationale des Standards (ISO) 1999 définit une méthode qui ne tient compte que du critère énergie et ne prend pas en considération la faculté de récupération de l'oreille. Ainsi, le doublement du niveau de l'intensité acoustique diminue de moitié le temps d'exposition acceptable. L'écarte en décibels est calculé comme suit :

$$L_2 = 10\log_{10}(\frac{2I_1}{I_0}* = 10\log_{10}2 + 10\log_{10}(\frac{I_1}{I_0}*$$

$$L_2 = 3dB + L_1$$

Suite à ce principe, l'augmentation du niveau acoustique de 3dB exige une réduction du temps d'exposition toléré vers la moitié pour avoir la même dose énergétique permise. Selon le principe d'égale énergie à la base de définition de niveau équivalent, le tableau suivant montre l'équivalence énergétique entre différents niveaux acoustiques en termes de temps d'exposition :

Tableau III.1: Équivalence énergétique en termes de temps d'exposition

Bruit dB(A)	80	83	86	89	92	95	98	101	104	107	110	113	116	119	122
Duré d'exposition	8	4	2	1	30	15	7	3	1	56	28	7	0.8	0.4	0.2
	En heures				***En minute***						***En secondes***				

D'après le tableau précédent on conclue que l'exposition à :

[80 dB(A) pendant 8h] = [98 dB(A) pendant 7 min] = [122 dB(A) pendant 0.2 sec].

A côté du principe d'égale énergie (connu comme étant le principe ISO, q=3), d'autres principes ont été utilisé, en particulier, un principe connu comme étant le principe OSHA (Occupational Safety and Health Act, q=5) qui postule qu'une exposition à un niveau acoustique L dB(A) pendant 8 heures est équivalente à une exposition à un niveau acoustique

L+5 dB(A) pendant 4 heures. Ce principe est toujours utilisé dans la règlementation américaine.

Si le temps d'exposition est plus ou moins de 8 heures, le $L_{ex,8h}$ peut être calculé à partir de l'équation suivante :

$$L_{ex,8h} = L_{eq,T} + 10\log_{10}\left(\frac{T}{8}\right)^*$$

Où T est la durée du poste en heures.

Par exemple, le L_{eq} d'un poste de 10 heures sera converti en $L_{ex,8h}$ comme suit :

$$L_{ex,8h} = L_{eq,10} + 10\log_{10}\left(\frac{10}{8}\right)^* = L_{eq,10} + 1dB(A)$$

On obtiendra le même résultat en utilisant le nomogramme qui suit où figurent les corrections en décibels à apporter au L_{eq} selon les différentes durées de poste.

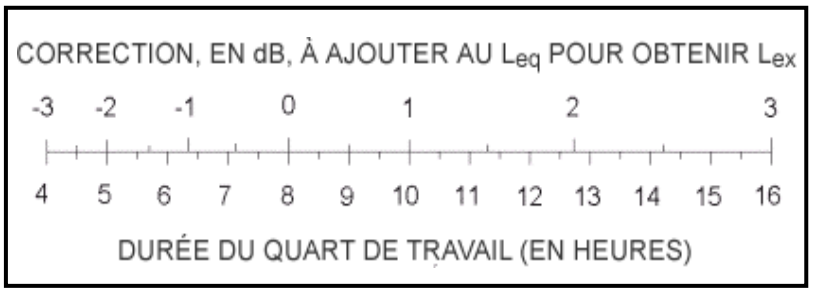


Figure III.3 : transition du niveau équivalent pendant une période vers l'exposition quotidienne

Dans le nomogramme, les chiffres du bas (sous la ligne) représentent la durée réelle du poste et ceux du haut les indices de correction correspondants à ajouter au L_{eq} du poste pour obtenir le $L_{ex,8h}$ [8].

.

III.4.3 Dose de bruit D% :

La dose de bruit c'est l'énergie acoustique perçue par le système auditif pendant un temps d'exposition donné. Le temps d'exposition de référence étant de 8 heures. Ce temps est réduit de moitié à chaque fois que la dose de bruit augmente de 3 dB(A).

Il existe des dosimètres individuels qui donnent le résultat cumulé sur une journée de travail sous la forme d'un pourcentage de dose maximale «admissible ». Cent pour cent correspondent à une dose de référence pendant 8 heures ; au-delà, il y a dépassement de la dose sonore autorisée.

Si un travailleur est exposé à un niveau de bruit uniforme pendant son poste, la durée d'exposition ne doit pas dépasser le temps limite d'exposition pour le niveau subis. Une fois que le travailleur a atteint la limite permise pour ce niveau de bruit, il aura atteint 100% de la dose de bruit quotidienne permise.

Si l'exposition quotidienne au bruit comprend deux ou plusieurs périodes d'exposition à des niveaux de bruit différents, on peut utiliser l'équation suivante pour déterminer si l'exposition globale dépasse les limites permises :

$$D\% = 100 \sum_{i=1}^{N} \frac{C_i}{T_i}$$

Où :

- C_i : durée totale de l'exposition à un niveau de bruit particulier.
- T_i : durée totale d'exposition permise au niveau C_i.

III.4.4 Niveau acoustique de crête L_{max} :

La pression acoustique de crête est la valeur maximale de la pression acoustique rencontrée au cours de la journée de travail. Elle se mesure en dB sans pondération. Elle sera notamment utilisée pour apprécier les risques auditifs importants de l'exposition des salariés aux bruits impulsionnels et de chocs (bruits transitoires)

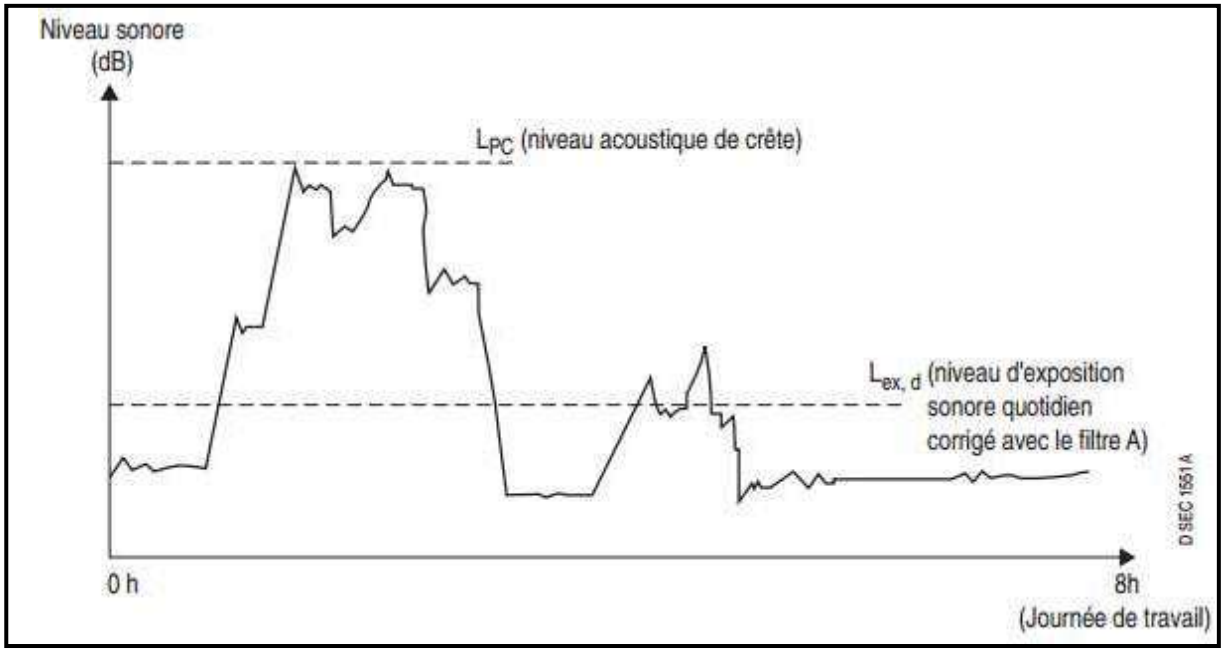


Figure III.4 : représentation du niveau acoustique de crête et du niveau d'exposition quotidienne

Remarque : L_{ex},d et L_{max} sont à rapprocher respectivement à VME et VLE utilisé dans le risque toxique des produits.

III.5 RÈGLEMENTATION LIÉE A L'EXPOSITION AU BRUIT :

III.5.1 Bruit au travail (Arrêté/Décret du 19 juillet 2006) :

« Arrêté & décret du 19 juillet 2006 pris pour l'application des articles R. 231-126, R. 231-128 et R. 231-129 du code du travail »

Avec cet arrêté les seuils d'exposition quotidienne au bruit sont abaissés pour améliorer la protection des travailleurs exposés à un tel risque. De nouvelles valeurs sont ainsi fixées :

- les valeurs limites d'exposition
- les valeurs d'exposition déclenchant une action de prévention.

Cet abaissement des seuils a pour principale conséquence de soumettre un plus grand nombre d'entreprises au respect de ces règles.

Les entreprises sont désormais concernées par les mesures correctives si les niveaux enregistrés sont supérieures à 80 dB(A). Le nombre de personnes bénéficiant d'une surveillance médicale renforcée devrait ainsi être en augmentation.

Mesures à prendre en fonction des valeurs d'exposition :

- ***Supérieur à 80 dB*** : des protections auditives sont à disposition des salariés. Le salarié a droit à un contrôle de son ouïe.
- ***Supérieur à 85 dB*** : Le lieu de travail doit faire l'objet d'une signalisation et d'une limite d'accès. L'employeur élabore un programme visant à réduire l'exposition.
- ***Limitée à 87 dB*** : L'employeur prend des mesures immédiates pour réduire le niveau l'exposition. Cette valeur tient compte des protections auditives (PICB).

III.5.2 Bruit au travail (directive du 6 février 2003) :

« Directive 2003/10/CE du 6 février 2003 concernant les prescriptions minimales de sécurité et des anté relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (bruit) »

- **Valeurs limites d'exposition et valeurs d'exposition déclenchant l'action** :

L'exposition du travailleur au bruit ne peut dépasser :

- $L_{ex,8h}$ = 87 dB(A).
- L_{max} = 140 dB(C).

La détermination de l'exposition effective du travailleur au bruit tient compte de l'atténuation assurée par les protecteurs auditifs individuels portés par le travailleur.

- **Valeurs d'exposition déclenchant une action** :

Tableau III.2 : Seuils réglementaires déclenchant une action

Valeur	Supérieur	Inferieur
$L_{ex,8h}$ dB(A)	85	80
L_{max} dB(C)	135	135

Ces valeurs d'exposition déclenchant l'action ne prennent pas en compte l'effet de l'utilisation des protecteurs auditifs individuels.

- **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.

III.5.3 Surveillance médical :

Outre l‟information et la formation qu‟il doit assurer auprès des travailleurs exposés, le médecin du travail réalise :

- Un examen médical et un contrôle audiométrique préalable a l'affectation à un poste de travail exposant au bruit $L_{ex,8h}$ dB(A).
- Des examens médicaux et des contrôles audiométriques périodiques.

Tableau III.3 : Périodicité de contrôle médical en fonction de l'exposition sonore quotidienne

Exposition sonore quotidienne $L_{ex,8h}$ en dB(A)	***Contrôle médical de l'ouïe***	***L_{max} en dB(A)***
85≤ Lex,8h<90	Tous les 3 ans	<140
85≤ Lex,8h<90	Tous les 2 ans	≥140
≥105	Tous les ans	

Une lésion auditive causée par un traumatisme sonore brutal est considérée comme un accident de travail. La surdité au cours de la vie professionnelle est reconnue comme maladie professionnelle (déficit minimum de 35 dB sur la meilleure oreille).

CHAPITRE IV : ÉVALUATION DES RISQUES AUDITIFS AU MILLIEU DE TRAVAIL :

Il est nécessaire de chiffrer pour connaître. Les mesures permettent finalement d'améliorer l'acoustique des bâtiments et protéger la santé des personnes. Compte tenu des différences physiologiques et psychologiques entre individus, le degré de gêne ne peut pas être mesuré scientifiquement pour une personne donnée. Par contre, les mesures acoustiques nous donnent un moyen objectif de comparaison de la gêne causée par le bruit dans différentes conditions.

La protection contre le bruit relève essentiellement de trois domaines complémentaires qui sont la sonométrie, la dosimétrie et l'audiométrie. (Qui concerne davantage l'étude otologique de l'oreille). Les mesures acoustiques, qu'elles soient sonométriques ou dosimétriques, indiquent clairement si un bruit est dangereux ou non, et permettent alors de déclencher des actions correctives ou préventives de réduction de bruit [14].

IV.1 INSTRUMENTS DE MESURE [15]:

IV.1.1 Le sonomètre :



Figure IV.1 : Image d'un sonomètre

[15] Prof. J. Malchaire, « PROGRAMME DE CONSERVATION DE L4AUDITION :Organisation en milieu industriel », Edition Masson, Paris, 1993

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. Les sonomètres sont classés en fonction de leur incertitude de mesure :

- classe 1 si incertitude < 0,7 dB.
- classe 2 si incertitude < 1 dB.
- classe 3 si incertitude < 1,5 dB.

On distinguera :

- les sonomètres simples qui mesurent le niveau de pression acoustique en un lieu précis.
- les sonomètres intégrateurs destinés à prévoir les effets du bruit sur l'homme.

Un sonomètre comporte un microphone, une unité de traitement analogique et un affichage.

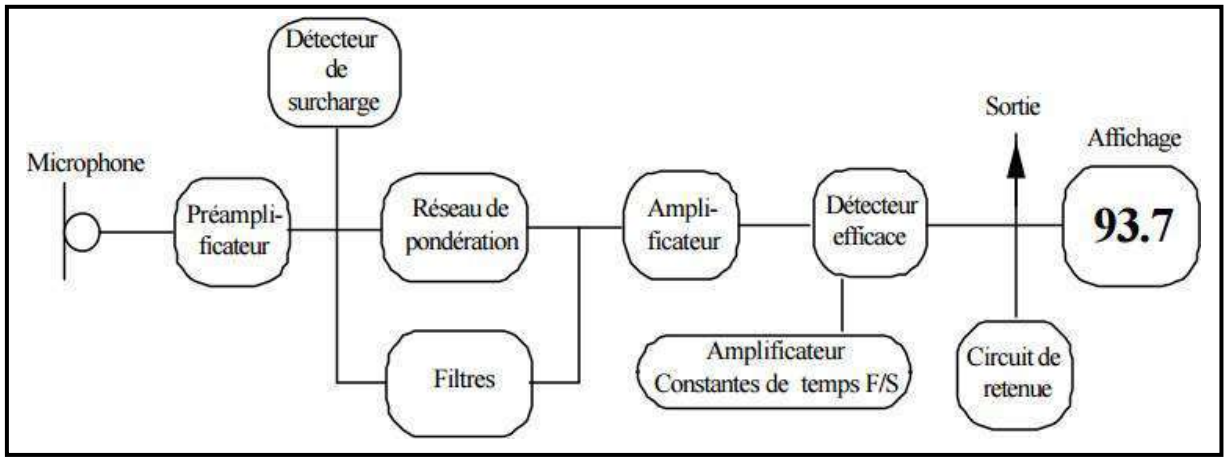


Figure IV.2: Schéma de principe d'un sonomètre.

Le microphone (ou encore transducteur acoustique) convertit le signal sonore en une information électrique équivalente. Parmi les nombreux principes de microphones pour mesure de pression en usage actuellement, trois méritent une attention plus approfondie :

1. **microphones dynamiques :**

Le diaphragme est connecté à une bobine centrée dans un champ magnétique. Les mouvements de la bobine dans le champ, suivant les fluctuations du diaphragme, donnent lieu à une différence de potentiel analogique aux bornes de la bobine

2. **microphones piézoélectriques :**

Le diaphragme est attaché à un cristal piézoélectrique qui génère un courant lorsqu‟il est soumis à une tension mécanique. Les contraintes mécaniques résultant des vibrations de la membrane donnent ainsi lieu à un signal électrique analogique.

3. **microphones capacitifs :**

Le diaphragme est construit parallèlement à une plaque fixe et une différence de potentiel est appliquée entre les deux plaques du condensateur ainsi formé. Les mouvements de la membrane, induits par les ondes sonores, donnent lieu à des variations de la capacité électrique, qui se traduisent par un petit courant électrique.

Les sonomètres possèdent en principe des corrections qui permettent de tenir compte des courbes de Fletcher et autorisent alors la mesure de la sensation sonore réellement ressentie par l'oreille en fonction de la fréquence.

IV.1.2 Le dosimètre ou l'exposimètre :

Des mesures d'exposition au bruit d'un travailleur qui changent d'environnement sonore durant leur journée de travail peuvent être obtenues à l'aide d'un dosimètre. Un dosimètre peut se représenter schématiquement par un sonomètre muni de la courbe de pondération (A) et de détecteurs de hauts niveaux gardant en mémoire les dépassements momentanés. Un filtre de bas niveau bloque le compteur pour toutes valeurs inférieures à 80 dB(A), niveau auquel les effets cumulatifs irréversibles ne sont pas reconnus.

Cet appareil alimenté par pile est portatif et peut se mettre dans la poche. Le microphone peut être séparé du corps du dosimètre et doit être, de préférence, monté près de l'oreille la plus exposée de l'individu concerné. En général, les dosimètres affichent le pourcentage de la dose de bruit journalière admissible D%.

IV.2 FACTEUR D'INFLUENCE SUR LES MESURES ACOUSTIQUE :

Plus l'influence de l'instrument, de l'opérateur et de l'environnement, de nombreux facteurs d'ambiance sont susceptibles d'intervenir, à différents degrés, sur la précision des mesures sonométriques et dosimétriques on mentionne[14] :

- **Le vent** : le vent ou un courant d'air qui souffle sur le microphone produit du bruit supplémentaire comparable au bruit qu'on entend quand le vent souffle dans nos oreilles. Pour en réduire les effets, un écran anti-vent spécial, fait d'une balle en éponge de polyuréthane poreux, doit toujours être employé sur le microphone pour la mesure.
- **Humidité** : le sonomètre et le microphone ne seront pas influencés jusqu'à des niveaux d'humidité relative de 90%. Mais pour un emploi continu dans un environnement humide, il est recommandé d'utiliser des microphones spéciaux, les capots anti-pluies et les dessiccateurs.
- **Température** : les sonomètres sont conçus pour fonctionner de façon précise de -10 à 50 °C. Mais on doit faire attention aux brusques changements de température qui pourraient provoquer de la condensation dans le microphone.
- **Pression ambiante** : des variations de pression ambiante de ± 10 % n'auront qu'une influence négligeable (inférieure à ± 0,2 dB) sur la sensibilité du microphone. Mais, aux très hautes altitudes, la sensibilité, particulièrement aux hautes fréquences, peut être affectée de façon non négligeable.
- **Vibrations** : il est toujours bon d'isoler le sonomètre et le microphone des fortes vibrations et des chocs.
- **Champs magnétiques et électrostatiques** : influence négligeable.

IV.2.1 Mesure du bruit en condition contrôlée (chambres anéchoïque et chambre réverbérant) :

En champ libre, les ondes se propagent uniformément dans toutes les directions s'il n'existe pas d'objets réfléchissants ou de barrières dans le champ sonore. Si l'on veut faire des mesures dans les conditions de champ libre, il faut une chambre anéchoïque dont toutes les parois ainsi que le plafond et le sol sont doublés d'un matériau hautement absorbant pour éliminer toute réflexion.

Le contraire d'un local anéchoïque est la chambre réverbérant où toutes les surfaces sont recouvertes d'un matériau aussi dur et réverbérant que possible, et aucune paroi n'est parallèle à une autre. Cela crée un champ sonore dit « diffus », car l'énergie acoustique est également distribuée dans la pièce. Dans des chambres de ce type, on peut mesurer la puissance acoustique totale émise par une source sonore, mais le niveau de pression acoustique dans n'importe quelle direction est pratiquement sans signification à cause des réflexions [14].

IV.2.2 Mesure du bruit dans un local ordinaire et dans l'environnement:

En pratique, la majorité des mesures de bruit industriel s'effectue dans les conditions réelles pour lesquelles les locaux sont ordinaires, c'est-à-dire ni anéchoïques, ni réfléchissants, car engendrant de l'absorption et de la réflexion en même temps. Si la mesure est prise trop près de la machine, le niveau de pression acoustique peut varier de façon significative pour un petit déplacement du point de mesure. Ce phénomène apparaît quand l'éloignement du point de mesure est inférieur à la longueur d'onde de la fréquence la plus basse émise par la machine, ou inférieur à deux fois la plus grande dimension de la machine, quelle que soit la plus grande des distances. Cette zone est appelée le champ proche de la machine et on évitera autant que possible d'y faire des mesures. D'autres erreurs peuvent se produire si la mesure est prise trop loin de la machine. Ici, les réflexions dues aux parois ou à d'autres obstacles peuvent être aussi fortes que le son direct et des mesures correctes n'y seront pas possibles. Cette zone est appelée le champ réverbérant.

Entre les champs réverbérant et proche se trouve le champ libre que l'on peut trouver lorsque le niveau tombe de 6 dB pour chaque doublement de la distance depuis la source. Les mesures de niveau doivent être faites dans cette zone.

Le bruit dû à l'environnement implique la mesure du bruit total (quelle que soit sa source) à un endroit particulier. Le bruit peut alors être dû à une ou à plusieurs sources et à leurs réflexions sur les murs, le plafond…etc. Le bruit industriel à un poste de travail est un exemple de bruit de l'environnement. La mesure est réalisée là où la personne travaille sans tenir compte du fait qu'il s'agit du champ proche ou du champ éloigné de la machine [14].

IV.3 MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE DE L'ÉVALUATION :

IV.3.1 Introduction à la démarche en trois niveaux :

Le mesurage des niveaux d'exposition au bruit professionnel est une opération qui peut être longue et complexe. Pour cette raison, il est recommandé d'appliquer une approche qui combine trois méthodes, allant d'une estimation basique simplifié aux mesures précises, normalisé.

Les méthodes simplifiées permettent d'identifier les situations « certaines » de présence ou d'absence de risque, et de diriger, par la suite, les efforts vers la suppression ou la réduction des risques identifiés. Dans les situations où il y a doute, près des seuils d'action règlementaires, il est nécessaire de quantifier le risque précisément. Sur la base de ces principes, la démarche d'évaluation comprend trois méthodes [7]:

- Estimation sommaire du risque : sans aucune mesure, elle se fonde sur un questionnaire relatif aux possibilités de communiquer dans le bruit.
- Evaluation simplifiée : quand on dispose d'une indication sur les niveaux de bruit et sur les durées des phases d'exposition, l'application de la méthode des « points d'exposition » peu fournir une idée sur l'ampleur du risque bruit.
- Le mesurage d'exposition normalisé : cette méthode complexe doit être appliquée quand un résultat précis est nécessaire. Elle impose le mesurage d'échantillons représentatifs et spécifie comment estimer l'incertitude du résultat.

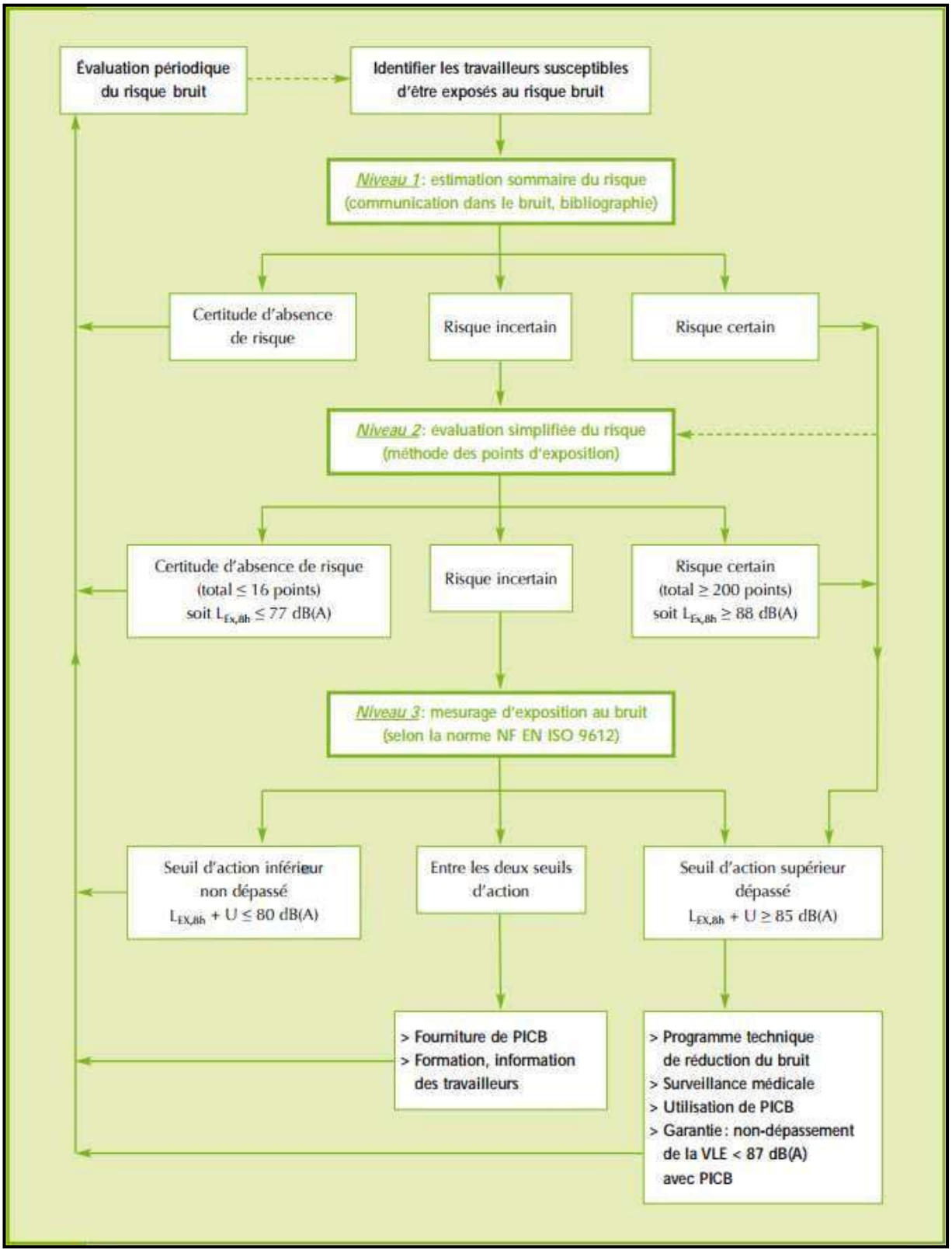


Figure IV.3:diagramme de déroulement de l'évaluation du risque de bruit suivant la démarche des trois méthodes *Source : INRS*

Il est recommandé d'utiliser ces trois méthodes de façon conjointe afin de réserver les moyens disponibles pour le mesurage quand les deux premières méthodes ne permettent pas de conclure.

IV.3.2 Estimation sommaire du risque :

L'estimation sommaire est la première étape dans une évaluation globale de bruit professionnel. Elle est qualifiée de « sommaire » parce qu'elle n'implique la réalisation d'aucune mesure du bruit professionnel. Elle se base sur des questions relatives à la possibilité de communiquer entre collègue dans le bruit, ou sur des données bibliographique, informations qui suffisent souvent pour distinguer les situations de risque certain des situations sans risque. Quand le risque est incertain, une méthode d'évaluation du risque plus précise sera indispensable.

Le test de communication dans le bruit, peut fournir une idée approximative du niveau du risque lié au bruit. Il dépend de la distance entre deux interlocuteurs et du niveau de la voix.

Le tableau suivant résume l'estimation par test de communication :

Tableau IV.1: Test basé sur la possibilité de communiquer dans le bruit selon INRS.

Test	**Interprétation en termes de niveau de risque**
Devoir crier ou avoir beaucoup de difficulté à se faire comprendre par une personne située à moins de 1m de distance.	Niveau 2 = risque certain
Devoir crier ou avoir beaucoup de difficulté à se faire comprendre par une personne située à 2 m de distance.	Niveau 1 = risque incertain
Pouvoir communiquer normalement avec une personne située à 0,5 de distance.	Niveau 0 = certitude d'absence de risque

Si une phase bruyante est classée en niveau de risque certain par le teste de communication, reste limitée en durée quotidienne à moins de 10% du temps, le risque est considéré comme incertain.

IV.3.3 Evaluation simplifié du risque :

L'évaluation simplifiée s'applique lorsque l'exposition quotidienne au bruit peut être décomposée en plusieurs phases distinctes de travail. C'est le cas lorsque le travail comprends différentes taches, liées à des circonstances d'exposition spécifiques.

L'application de l'évaluation simplifiée impose d'estimer pour chaque phase bruyante, deux grandeurs : le niveau de bruit et la durée totale quotidienne. Elle permet alors d'en déduire très simplement deux résultats :

- Une estimation de l'exposition totale au bruit ;
- Un classement des phases d'exposition selon leur contribution à l'exposition globale, ce qui permet d'identifier les priorités à donner aux actions de réduction de risque, entre les diverses phase d'exposition.

L'évaluation simplifiée peut être utilisé aussi lorsqu'une variable caractéristique d'une phase bruyante (son niveau de bruit ou sa durée quotidienne) est inconnue, imprécise ou très difficile à évaluer. Dans ce cas, en fixant a priori un critère de risque spécifié (par exemple 85dB(A) pour 8 heures), l'évaluation simplifiée permet d'indiquer la valeur maximale de la variable inconnue compatible avec le respect du critère de risque spécifié.

Cette évaluation reste « simplifiée ». Elle fournit un résultat sans requérir les calculs complexes de la méthode normalisée, sans estimer son incertitude. Il faudra en tenir compte dans l'interprétation du résultat : à proximité immédiate des seuils d'actions règlementaires de 80 et 85 dB(A) l'évaluation simplifiée sera insuffisante pour conclure au dépassement (ou non-dépassement) des seuils d'action, et le mesurage d'exposition au bruit selon la méthode normalisé s'imposera.

Quand la journée de travail d‟un opérateur comprend plusieurs phases d‟exposition au bruit l'évaluation simplifiée du risque peut-être réalisé par la « méthode des points d'exposition ».

IV.3.3.1 Méthode des points d'exposition :

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 la figure 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 IV.2:points d'exposition pour différents niveaux de bruit et différentes durée.

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	1000	510	250	130	60	32	21	11	2
96	1300	640	320	160	80	40	27	13	3
97	1600	800	400	200	100	50	33	17	3
98	2000	1000	510	250	130	60	40	21	4
99	2500	1300	640	320	160	80	50	27	5
100	3200	1600	800	400	200	100	70	33	7
101	4000	2000	1000	500	250	130	80	40	8
102	5100	2500	1300	630	320	160	110	50	11
103	6400	3200	1600	800	400	200	130	70	13
104	8000	4000	2000	1000	500	250	170	80	17
105	10000	5100	2500	1300	630	320	210	110	21
106	13000	6400	3200	1600	800	400	270	130	27
107	16000	8000	4000	2000	1000	500	330	170	33
108	20000	10000	5000	2500	1300	630	420	210	40
109	25000	13000	6400	3200	1600	790	530	270	50
110	32000	16000	8000	4000	2000	1000	670	330	70
111	40000	20000	10000	5000	2500	1300	840	420	80
112	51000	25000	13000	6300	3200	1600	1100	530	110
113	64000	32000	16000	8000	4000	2000	1300	670	130
114	80000	40000	20000	10000	5000	2500	1700	840	170
115	100000	51000	25000	13000	6300	3200	2100	1100	210
116	125000	64000	32000	16000	8000	4000	2700	1300	270
117	160000	80000	40000	20000	10000	5000	3300	1700	330
118	200000	100000	50000	25000	13000	6300	4200	2100	420
119	255000	125000	64000	32000	16000	8000	5300	2600	530
120	320000	160000	80000	40000	20000	10000	6700	3300	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 IV.3 : Valeurs indicatives de la méthode des points d'exposition

Critère	**Interprétation**
Nombre total de points ≤ 16 [soit $L_{ex,8h} \leq 77$ dB(A)]	Quasi-certitude d'absence de risque
Nombre total de points ≥ 200 [soit $L_{ex,8h} \geq 88$ dB(A)]	Risque quasi certain
Nombre total de points ≥ 1000 [soit $L_{ex,8h} \geq 88$ dB(A)] Avec usage de PICB pour réduire le risque.	Assurer la conformité avec la VLE 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.

IV.3.4 Mesurage normalisé de l'exposition :

Alors que les méthodes d'évaluation présenté antérieurement ne fournissent que des estimations du risque, le mesurage normalisé s'applique dès que les niveaux d'exposition quotidienne au bruit est susceptible d'être proche des seuils d'action règlementaires. Dans ce cas, seules des mesures effectuées dans les conditions normalisées permettront de conclure au non-dépassement des seuils d'actions règlementaire, définis par les niveaux d'exposition quotidienne au bruit de 80 et 85 dB (A). La norme de mesure garantit que les mesures sont effectuées partout dans des conditions comparables et qu'elles fournissent un résultat dont l'incertitude est connue.

La norme de référence pour effectuer un mesurage de l'exposition au bruit en milieu de travail est la norme NF EN ISO 9612 (2009). Elle comprend cinq étapes successives de mise en œuvre du mesurage :

- Analyser le travail.
- Sélectionner une des trois stratégies de mesure : par tache, par métier, par journée.
- Planifier et réaliser les mesures.
- Contrôler les erreurs et les incertitudes de mesures.
- Calculer et présenter le résultat avec son incertitude.

Le rapport de mesure doit fournir de nombreuses informations on mentionne :

- Les informations générales : nom de l'entreprise, identification des travailleurs ou des groupes dont l'exposition a été déterminée.
- L'analyse du travail : description des activités professionnelles, de la journée nominale et de la stratégie de mesurage employée.
- Les instruments de mesures utilisés : identification et vérifications d'étalonnage.
- Les mesurages : description des sources de bruit, caractéristiques des mesures (position, durée, nombre), résultats de chaque mesurage.
- Les résultats (arrondis à la première décimale) et l'incertitude associée.

IV.4 ETUDE D'IMPACT ET MODELS PREVESIONEL[16] [17] :

L'évaluation d'impact acoustique dans les milieux de travail et dans les installations industrielles se base sur des méthodes de représentation et des technique de simulation sur ordinateur qui permettent de calculer les niveaux de bruit rayonné par les entité industriel, ainsi que les différents équipements techniques associés.

Une « carte de bruit » est calculée et donne une représentation visuelle de la situation acoustique, sous forme de courbes qui joignent des points de mêmes niveaux sonores. C‟est cet ensemble de courbes que l‟on appelle communément une carte de bruit.

IV.4.1 Cartes 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 indiqué par des chiffres situé sur le plan aux endroits où ils ont été mesuré, 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.

Pour le bruit sur les lieux de travail, contrairement au bruit urbain, aucune norme ne spécifie comment établir une carte de bruit. Dans ces conditions une carte de bruit peut exprimer :

- Le bruit mesuré prés de chaque machine, ce qui permet de localiser les machines les plus bruyantes.
- Le bruit mesuré dans les allées.
- Le bruit mesuré ou calculé à chaque point d'un maillage d'un atelier.
- Le bruit mesuré à des emplacements de travail fixes et bien localisé.

[16] CEDIA, (Centre d'étude et de Développement en Ingénierie Acoustique – Université de Liège), « Chapitre 11 : études d'impact et modèles prévisionnels ».
[17] CERTU, « Comment réaliser les cartes de bruit stratégiques en agglomération », 2006.

En milieu professionnel, aucune obligation réglementaire ne demande l'établissement de cartes de bruit. Si une carte de bruit est réalisé, aucune norme ne spécifiant la nature des informations reproduites, il faut impérativement indiquer la nature des informations fournies (Position des points de mesure, nature des mesures de bruit…etc.).

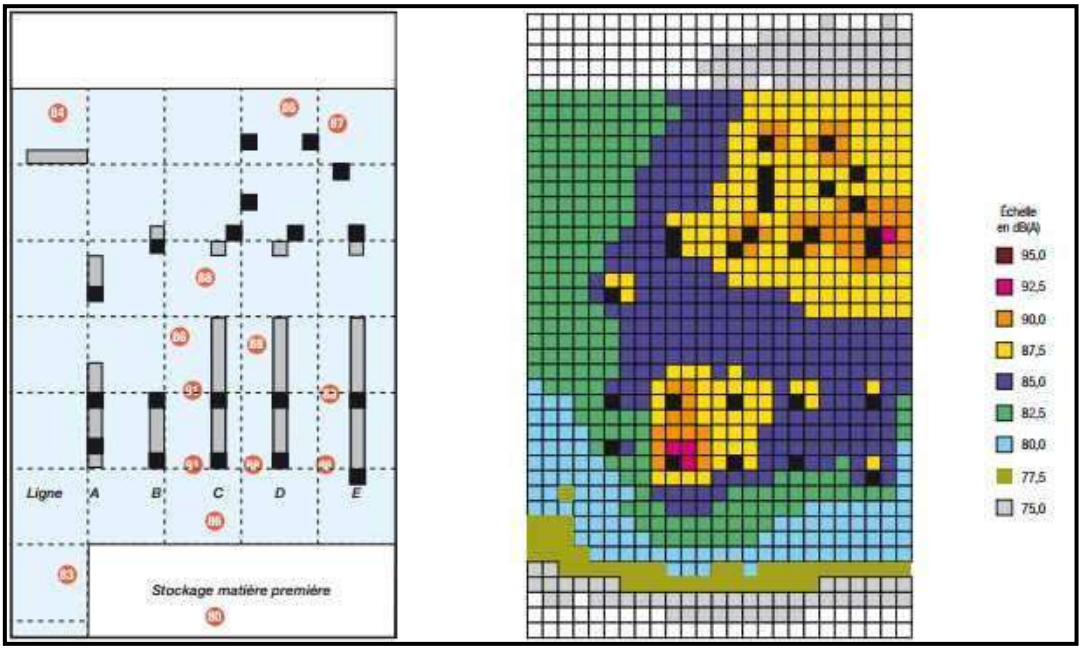


Figure IV.4 : exemples de cartes de bruit en maillage Source : INRS



Figure IV.5 : exemple de carte en code couleur iso-phonique

La réalisation de tel carte a pour but de communiquer avec le publique en leur indiquant la répartition des différents niveaux sonore et les zones de risque acoustique, et de décider les actions de lutte contre le bruit et les protections collective à adopter.

Si on s'intéresse à représenter l'exposition des travailleurs au bruit, une carte présente toujours des incertitudes liée aux variations des circonstances quotidiennes du travail et du bruit reçu lors des déplacement non prévus. De ce critère, une carte de bruit ne peut être utilisée que pour une évaluation simplifiée du risque, mais pas dans une quantification normalisée de l'exposition au bruit.

IV.4.2 Réalisation d'une carte de bruit :

Il y''a essentiellement deux manières d'obtenir une carte de bruit. La première est d'obtenir cette carte de bruit à partir de mesures et la seconde à partir de simulation sur ordinateur.

En ce qui concerne la carte de bruit mesurée, on réalisera des mesures en des points répartis sur un quadrillage régulier autour de l'entité industrielle. D'un autre côté, si on réalise les cartes de bruit par calcule, on évaluera les niveaux sonore en chaque point, est transformé cet ensemble de niveaux en cartes de bruit à l'aide d'outils informatiques.

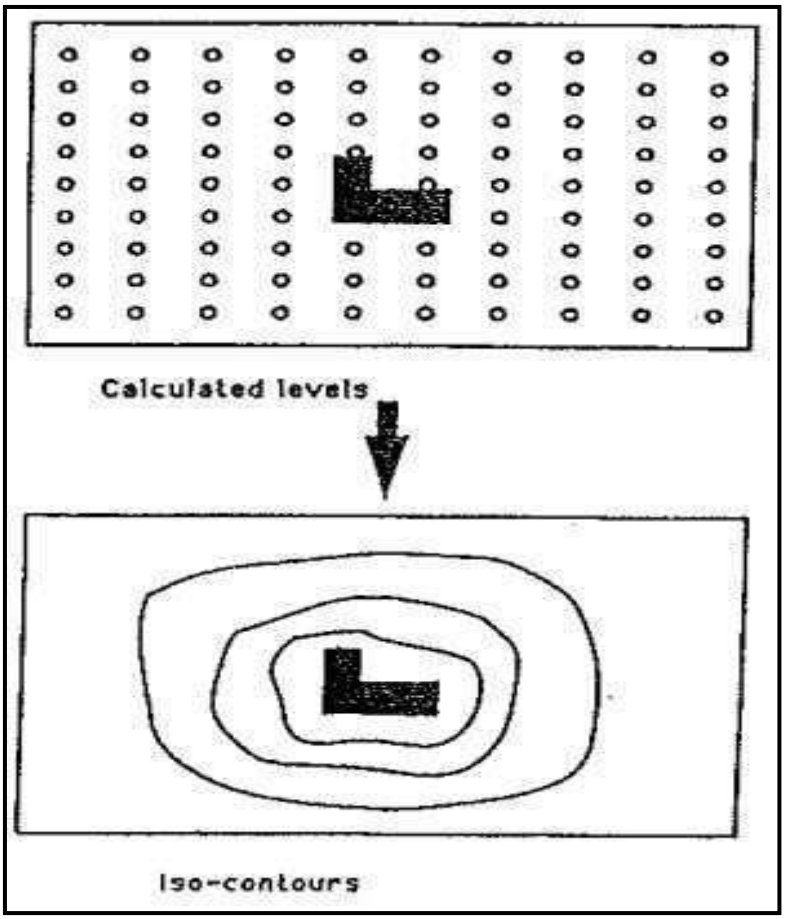


Figure IV.6 : Transformation de niveaux calculés en courbes iso-contour

Une carte de bruit mesurée est simplement une représentation graphique d'une situation existante, et n'est pas utiles pour la recherche future de solutions, d'un autre coté une carte de bruit calculée est également une représentation graphique de la situation actuelle, mais constitue de plus un outil très puissant qui permet d'aider à la recherche de moyens de réduction du bruit.

IV.4.3 Méthodologie de l'évaluation d'impact :

La réalisation d'une étude d'impact acoustique passe obligatoirement par les étapes suivantes :

- Identification et limitation du site étudié.
- Identification des sources de bruit susceptible de rayonner des niveaux sonore importants, et évaluation de la puissance acoustique rayonné par ces sources.
- Modélisation informatique du site étudié.
- Calcule du rayonnement acoustique.

Une fois que toutes les données sont collectées et que le site est modélisé, il est possible de procéder à la simulation de qui représentera la situation acoustique actuelle dans l'environnement de l'entité industrielle. il est maintenant possible de rechercher des solutions en vue de réduire cet impact en utilisant le modèle mathématique comme un outil.

Avec le modèle construit, il est très facile d'évaluer l'impact individuel de chaque source, les zones d'exposition dangereuse, et les moyens de lutte collective et individuel à mettre en œuvre.

CHAPITRE V : ÉVALUATION DES RISQUES AUDITIFS AU SEIN DE LA RAFFINERIE D'ALGER :

V.1 PRÉSENTATION DE CAS :

La raffinerie d'Alger est une entité industrielle de production d'hydrocarbures,comprenant 3 unités de production, et une zone d'utilité. Ces zones sont classées ; selon les opérateurs sur site ; comme étant des zone ou on trouve des difficultés de communication et de se faire comprendre par des personnes a des distances plus de 2 mètre.

Ce test de communication dans ce cas, qualifie ces trois 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 3 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 IDENTIFICATION DES SOURCES ET ÉVALUATION DES ÉMISSIONS SONORES :

Dans le site de production, les sources bruyantes sont :

- Les fours et les chaudières.
- Les pompes.
- Les compresseurs.
- Les Aéros.

Une prise sonore par un sonomètre de classe 1, avec un filtre de pondération (A), à une distance de 1 m de chaque source nous a donné les résultats présentés dans les tableaux suivant :

Tableau V.1 : Résultats de mesures réalisées dans l'unité 300.

Unité 300		
Les points de mesures	**Niveau d'intensité acoustique dB(A)**	**Abréviation**
Aéro E305	91,5	S27
Pompe P302	92,3	S28

Tableau V.2 : Résultats de mesures réalisées dans l'unité 100**.**

Unité 100			
Points de mesures		**Niveau d'intensité acoustique dB(A)**	**Abréviation**
Four F101	Cellule 1	104,3	S01
	Cellule 2	111,2	S02
Pompes U100	P110	102,7	S03
	P111	93	S04
	P103	106,1	S05
	P102	98,8	S06
Aéro U100	E116	91,7	S07
	E115	94,1	S08
	E113	92,8	S09
	E112	91,3	S10
	E124	95,6	S11
	E114	93,5	S12

Tableau V.3 : Résultats de mesures réalisées dans l'unité 200

Unité 200			
Les points de mesures		**Niveau d'intensité acoustique dB (A)**	**Abréviation**
Four F203	Cellule 1	94,8	S13
	Cellule 2	100,4	S14
Four F202	Cellule 1	96,5	S15
	Cellule 2	98,4	S16
Four F204	Cellule 1	107,2	S17
	Cellule 2	104,5	S18
Pompes U200	P206	94,9	S19
	P207	95,3	S20
	P211	92,3	S21
	P202	96,4	S22
Aéros E200	E212	95,5	S23
	E215	95,6	S24
	E209	94,2	S25
Compresseur K201		90,7	S26

Tableau V.4 : Résultats de mesure réalisées dans l'utilité**.**

Utilités			
Les points de mesures		**Niveau d'intensité acoustique dB (A)**	**Abréviation**
Pompes	Pompe alimentaire	94,3	S29
	Pompe d'extraction	92,5	S30
Compresseur G9		93,8	S31
Aéros		92,3	S32
Les chaudières	Chaudière 1	101,8	S33
	Chaudière 2	103,3	S34

On a identifié ainsi 34 sources bruyantes, répartis sur le site. Les mesures obtenues sont pondéré avec le filtre pondérateur (A) intégré au sonomètre.

Cette pondération nous permet d'évaluer la totalité de l'énergie reçue par l'oreille humaine, en tenant comptes des fréquences ultra est infrasons présents dans l'atmosphère acoustique étudié. Ce qui peut nous informer sur l'état de confort auditif dans les lieux.

V.3 EXPLOITATION DES MESURES ET CARTOGRAPHIE :

Dans le but d'évaluer la sécurité auditif dans les zones étudié, une carte de bruit nous sera utile pour limité géographiquement les zone de risque. Pour cette raison nous allons exploiter les niveaux acquis pour réaliser cette carte de bruit.

Une carte de bruit, représente les niveaux d'intensité sonore sous forme de contours, chaque contour limité par un niveau donné, comprends une plage de niveau d'intensité qu'on peut décider selon les objectifs à atteindre.

Pour avoir un tel résultat, nous allons calculer le niveau d'intensité sonore dans plusieurs points. A la suite on introduit les résultats dans un logiciel qui va analyser les données et relier les points de même niveau d'intensité sonores pour avoir des courbes iso-phones.

V.3.1 Méthodologie de calcule :

Pour un point (P) sur la zone étudié, le niveau d'intensité sonore résultant L_{total}, comprends les contributions partielles en énergie de toutes les sources identifiées. Pour un nombre n de sources, ce niveau est donné par la formule :

$$L_{total} = 10\log_{10}\sum_{i=1}^{n} 10^{L_i/10} \text{ dB(A)}$$

Ou : L_i est le niveau d'intensité sonore atténué sur une distance D de la source d'émission.

Ce niveau d'intensité L_i, est donné par la formule :

$$L_i = 10\log_{10}(\frac{I_i}{I_0}* \text{ dB(A)}$$

D'où :

$$\frac{I_i}{I_0} = 10^{L_i/10}$$

D'après ces 2 dernières formules, le niveau d'intensité total peut être exprimé ainsi :

$$L_{total} = 10\log_{10}\sum_{i=1}^{n}\frac{I_i}{I_0} \text{ dB(A)}$$

D'autre part, pour une source S, caractérisé par une puissance acoustique constante ω, l'intensité acoustique définis comme étant le flux d'énergie est donné par la formule :

$$I_i = \frac{\omega_s}{4\pi {r_i}^2} \text{ W}/m^2$$

Cette quantité d'énergie diminue en s'éloignant de la source. Pour la même source on peut exprimer suivant la formule précédente les intensités à r_1 et r_2 (deux distances différentes séparant la source des 2 points P_1 et P_2) le rapport entre les deux intensités peu nous fournir une relation entre une intensité sonore mesuré à une distance connu de la source, et l'intensité inconnu dans un point précis.

La relation reliant deux intensités à deux distances différentes se démontre ainsi :

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{\frac{\omega_s}{4\pi r_2^2}}{\frac{\omega_s}{4\pi r_1^2}}\right) = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$

Cette relation peut être généralisée dans notre cas, en remplaçant r_1 par la valeur 1 mètre, ce qui exprime la distance à la source lors des mesures prises sur site. De même, I_1 sera remplacé par la valeur d'intensité correspondante au niveau d'intensité mesuré sur le même point.

Donc pour un point (P), l'intensité sonore reçue d'une source (S), séparé par une distance (D), peut être exprimé par la relation :

$$I_{P,S} = I_{1m}\left(\frac{1}{D}\right)^2$$

L'intensité I_{1m}, est définie par les mesures prises sur site, à une distance d'un mètre à la source, est présenté dans les tableaux précédents. Cette quantité va être calculée suivant la formule de définition du niveau d'intensité acoustique :

$$L_{I,1m} = 10\log_{10}\left(\frac{I_{1m}}{I_0}\right) dB(A)$$

$$I_{1m} = I_0 \times 10^{L_{I,1m}/10}$$

Sur un repère échelonné, le point (P) est donné par ses coordonné (x_p, y_p), ainsi que la source (S) (x_s, y_s), d'où on peut calculer la distance entre les deux points par le théorème de Pythagore, comme suit :

$$D_{p,s} = \sqrt[2]{(x_p - x_s)^2 + (y_p - y_s)^2}$$

Et on rapporte la distance calculé sur le plan, vers la distance réelle, en utilisant l'échelle donné.

En calculant, la contribution de chaque source en intensité acoustique, dans le point (P), on pourra calculer le niveau d'intensité acoustique résultant. Et en faisant un balayage d'un nombre suffisant de points (P) sur le plan étudié, on pourra par la suite réaliser la carte de bruit du site.

L'introduction des coordonnés de chaque point, et le niveau d'intensité sonore résultant calculé pour chaque point, le logiciel Surfer13, peu donné des courbes isophonique, et des contours colorée selon une échelle proposé.

V.3.2 Modèle de simulation - Initiation au logiciel « Golden Surfer 13 » [18] :

Le logiciel Surfer 13, conçu par Golden Software, est un logiciel de modélisation numérique des terrains. Cette modélisation est basé sur des donné collecté sur terrain.

Le principe de Surfer est de permettre de créer des grilles qui interpolent les données irrégulières des points d'entrées. C'est à partir de ces grilles que l'on pourra créer des plusieurs types de cartes : *Base Map, Contour Map, 3D surface, Vector*…etc.

Les donné d'entrées sont de la forme (x, y, z), des coordonnés des points (x, y) est une valeur numérique associé (z). Ces donné peuvent être introduit au logiciel via un document Excel déjà enregistré.

V.3.3 Conception d'une carte de bruit de la zone étudié sur « Surfer13 » :

Pour réaliser la carte de bruit sur surfer, des donné de forme (x, y, z) nous seront nécessaire. Ces trois valeurs représente en ordre, les coordonné cartésiens des différents points, est leur niveau d'intensité acoustique associés.

Pour fournir ce type de donné, il faut réaliser un calcule donnant comme résultat, le niveau d'intensité acoustique pour un nombre de points caractérisé par leurs coordonnés exprimées sur le plan de base sur Surfer (x, y).

[18] Documentation et tutorial Golden Surfer.

On précède donc par l'extraction des coordonné « Surfer » des sources d'émission.

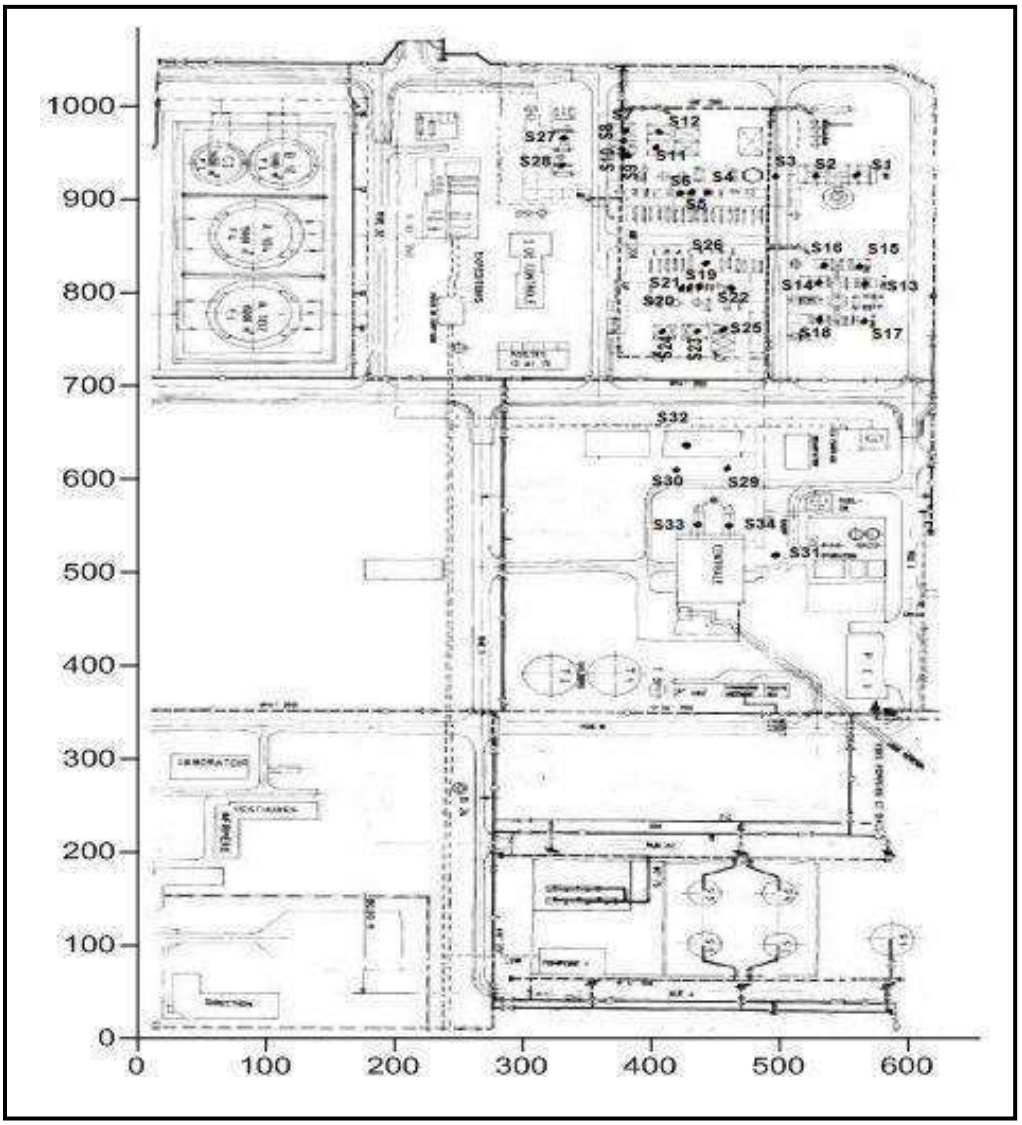


Figure V.1: Plan de la zone étudié identifiant les sources

Dans cette figure, le plan de la zone étudiée identifiant les 34 sources d'émission sonores et l'échelle Surfer en pixels. Les distances calculées doivent être rapporté vers les distances réelles, par une échelle de 48m/100pixels, pour effectuer les calculs.

L'extraction des coordonnés cartésiens sur l'interface Surfer, se fait par la fonction Dégitiez. Cette fonction nous permet d'extraire les coordonné des sources en cliquant dessus, les coordonné sont enregistré par la suite sur une grille Excel.

Les coordonné d"une source, sont utilisé pour calculer la distance entre elle et un point quelconque P(x, y) suivant la formule de Pythagore.

Pour couvrir le plus de point que possible sur le plan visé, une fonction Excel génère des valeurs aléatoires entre les bornes (x_{min}, x_{max}), (y_{min}, y_{max}).

Les coordonné des points obtenus vont couvrir le plan d'une manière aléatoire. La répartition des points sur le plan peut être vérifiée par la fonction (Post Map) sur Surfer.

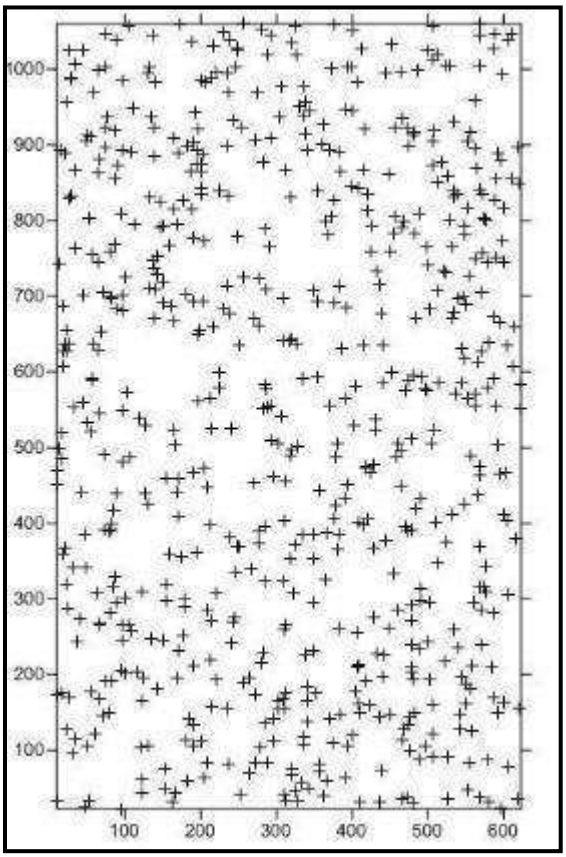


Figure V.2 : Visualisation de la répartition des points sur le plan Surfer.

Pour réduire la marge d'erreur liée à l'échelle, on répète cette opération plusieurs fois pour assurer la couverture quasi-totale du plan visé.

Une fois les coordonné en main, on introduit les valeurs dans un tableau Excel, qui a l'aide des fonctions Excel intégré, va calculer suivant la méthode de calcul expliqué précédemment, pour chaque point définis par ses coordonné (x, y), la distance à la source.

Une fois les distances séparant les points des sources sont obtenue, on peut calculer les contributions partielles en intensité acoustique de toutes les sources dans un point donné par la loi d'atténuation suivant la distance. En faisant un balayage sur la plage des points initiales, les donné obtenues nous seront suffisants pour calculer la résultante sonore de toute les sources dans chaque points du plan.

On aura à ce point les donné nécessaire pour lancer une simulation sur Surfer. Les donné à introduire sont les coordonné proposé par le logiciel et le niveau sonores calculé pour tous les points de plan. Le logiciel va traiter et ordonner les données, reliant les points ayant le même niveau sonore par un contour.

Sur l'interface du logiciel les contours peuvent être colorés selon une échelle de couleur choisis, pour identifier par exemple, les zones dont l'exposition prolongée est dangereuse pour l'ouïe. Cette méthode nous a permis de concevoir une carte de bruit couvrant la totalité de la zone de production de la raffinerie d'Alger (Unité100, Unité200, Unité300, Utilité).

Dans la carte de bruit obtenu et pour avoir une carte claire, la valeur maximale présentée par un contour est de 100 dB. Ce contour coloré en violet, renferme une plage de valeur allant jusqu'à 107,84 dB.

Les contours qui suivent, représentent par une différence de 3 dB, les valeurs inférieures à la valeur maximale.

.

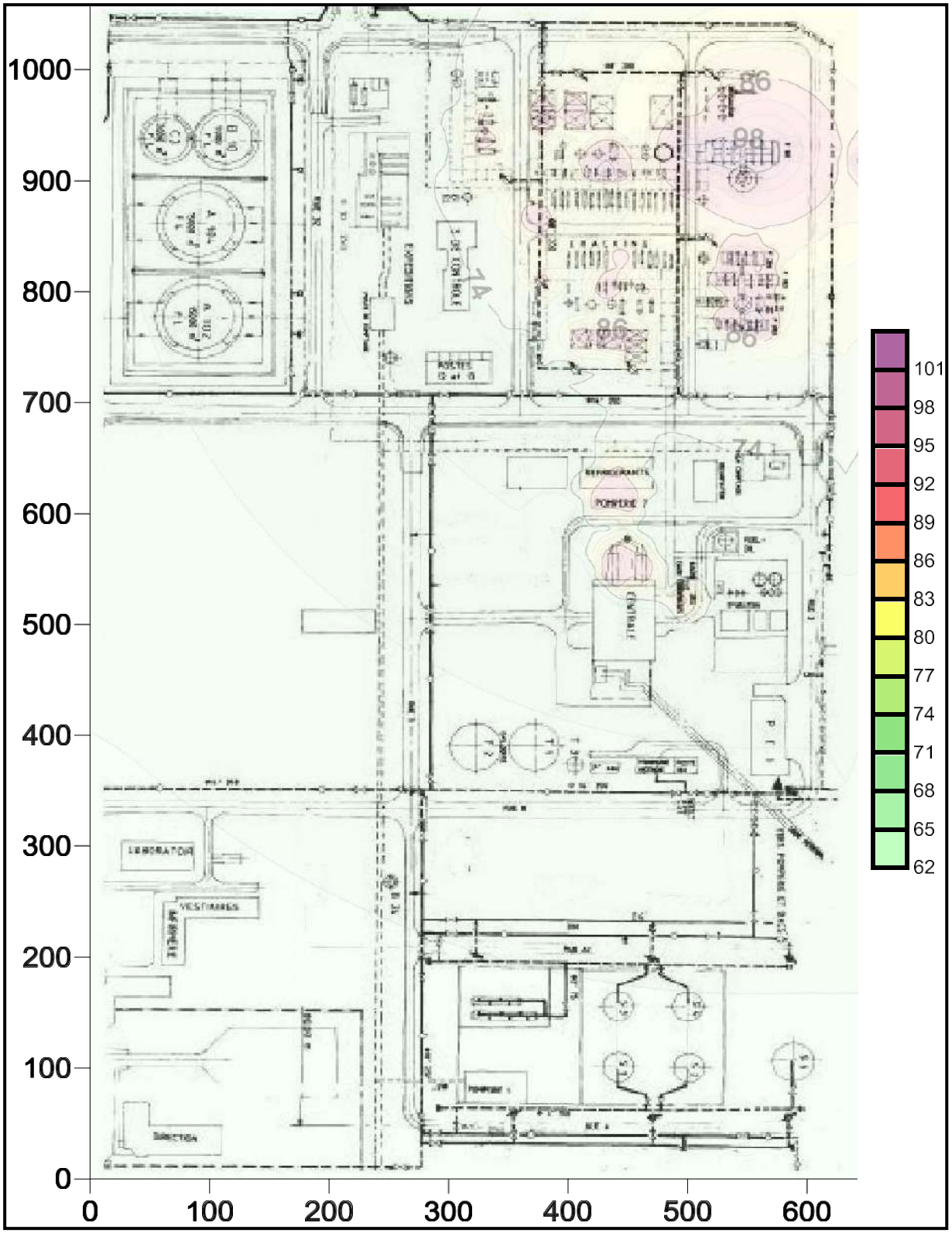


Figure V.3 : Carte de bruit obtenu pour la zone de production de la raffinerie d'Alger

V.3.4 Interprétation et discussion de la carte :

Dans la carte obtenue et suivant l'échelle colorée, les zones où les niveaux acoustiques dépassent la limite inférieure d'exposition sonore en absence de protection individuelle sont présentées par des contours colorés en nuances de jaune, orange, rouge et violet. Les contours colorés en nuance de vert présente les zones ou les niveaux acoustiques sont inférieurs à 80 dB.

Suivant cette échelle, on remarque en haut de la carte de bruit, que la majorité des niveaux qui dépassent le seuil d'exposition en absence de protection auditive, se concentrent dans les unités 100 et 200, plus précisément dans les lieux proches des fours ou on trouve les niveaux les plus élevés indiqué en ordre croissant par des nuances d'orange, rouge et violet.

Néanmoins, l'unité 300 et les utilités, renferment aussi des zones dont les niveaux d'intensité acoustique dépassent les 80 dB. Ces dernières sont limitées par les périmètres des équipements présents sur les lieux.

Toutes ces zones sont regroupées sous le contour de valeur 74 dB. Autrement dit la population présente prés de ces zones est susceptible d'être exposé à des niveaux d'intensité acoustique compris entre 74 – 120 dB, donc par obligation, les opérateurs dans cette partie et les postes de travails fixe doivent être sujets d'une estimation d'exposition quotidienne au bruit, on cite : la salle de contrôle, la baraque de compressait et la centrale d'utilité.

Par contre, les postes fixes dans la zone verte (<74 dB), seront exclus de cette estimation de dose quotidienne. On mentionne : le laboratoire d'analyse, les bureaux de service technique, le département HSE, le service de planification, la station de traitement des eaux et le poste de garde.

Maintenant que les zones de danger sont visibles, notre évaluation de l'exposition individuelle au bruit est dirigée directement vers les individus présents sur les lieux cités.

V.4 EVALUATION DE L'EXPOSITION INDIVIDUELLE DANS LA ZONE DE DANGER :

Avant de quantifier l'exposition quotidienne au bruit, il faut identifier quels sont les travailleurs susceptibles d'être exposés. Ensuite, il faut identifier parmi eux ceux qui occupent des postes fixes et ceux dont l'exposition quotidienne peut être décomposé en plusieurs phases distinctes.

L'application de l'évaluation simplifiée impose d'estimer, pour chaque phase bruyante, deux grandeurs : le niveau du bruit et la durée total quotidienne, pour en déduire une estimation de l'exposition totale au bruit et le classement des phases d'exposition selon leur contribution à l'exposition globale, ce qui permet d'identifier les priorités à donner aux actions de réduction du risque, entre les diverses phase d'exposition.

V.4.1 Identification de la population présente dans la zone de danger :

Comme nous montre la carte de bruit établis, la zone de dépassement s'étend sur les 3 unités de production (100, 200, 300) et l'unité des utilités. Ces unités renferment durant une journée de 8 heures les travailleurs suivants :

V.4.1.1 Unités de production (100, 200, 300) :

- Un chef de quart dans la salle de contrôle.
- 2 opérateurs extérieurs (répartis sur les unités 100 et 200).
- 2 pompistes (répartis sur les unités 100 et 200).
- Un opérateur polyvalent dans l'unité 300.
- Un chauffeur de fours (responsable sur les 4 fours des unités 100 et 200).
- Un compressiste à l'intérieur de sa baraque dans l'unité 200 près du compresseur K201.

V.4.1.2 Utilités :

- Un chef de quart dans le central.
- Un machiniste.
- Un chauffeur de chaudière.

V.4.2 Postes de travail et types d'expositions :

Les individus présents dans la zone étudiée, sont responsables d'accomplir un nombre de tâche. Ces tâches peuvent être dans des postes fixes ou mobiles, et leur répartition s'étend sur une durée totale de 8 heures, et plus précisément, sur une durée effective de 7 heures.

Afin de quantifier l'exposition de ces individus, on procède par les classer selon la nature de leur poste. Ensuite, les expositions composées de plusieurs phases seront décomposées en tâches élémentaires de durées moyennes connues.

V.4.2.1 Postes de travail fixes à exposition constante :

Les postes de travail fixes, sont les postes liées à un endroit précis. Les personnes occupants ces postes, sont exposées à des niveaux d'intensité acoustique fixes, ou variant entre deux valeurs différentes séparées par 2-3 dB au maximum.

Les travailleurs occupant des postes de travail fixes dans la zone étudiée sont :

- Le chef de quart dans la salle de contrôle de la zone de production.
- Le chef de quart dans le central de l'unité d'utilité.
- Le compressiste dans sa baraque près du compresseur K201 dans l'unité 200.

Ces trois individus sont exposés pendant 7 heures aux mêmes niveaux correspondants à leurs postes. Les niveaux peuvent être estimé d'après la carte de bruit ou tirés depuis les résultats de calcule sur le document Excel. Le tableau suivant présente les niveaux d'intensité acoustique correspondant aux postes fixes mentionnés.

Tableau V.5 : Postes de travail fixe dans la zone étudié et niveaux sonore associés

Poste de travail	Niveau d'intensité acoustique dB(A)
Salle de contrôle de la zone de production	74
Le central de l'unité d'utilité	77
Baraque de compressite	88.3

V.4.2.2 Poste de travail mobile à plusieurs phases d'exposition :

La mobilité des personnes dans la zone de danger pour accomplir leurs tâches, cause une exposition à plusieurs niveaux d'intensité acoustique pendant une durée d'exposition différente pour chaque niveau. Pour quantifier ce type d'exposition, on estime pour chaque tâche une durée moyenne d'exposition, et on l'associé avec le niveau d'intensité acoustique le plus élevé dont la personne va être exposé. Ces deux grandeurs définissent une phase d'exposition, et le total de ces phases va nous permettre d'évaluer l'exposition au bruit durant une journée nominal de 8 heures.

Les individus dont l'exposition quotidienne est décomposée en phase sont regroupés dans le tableau qui suive, ainsi que leurs différentes tâches, leur durée moyenne, et les niveaux d'intensité acoustique associé.

Tableau V.6 : répartition des tâches, leur durée moyenne, et leur niveau d'exposition

Poste	Tâches	Durée moyenne	Niveau d'exposition dB(A)
Opérateur extérieur (unité 100)	4 × Prises d'échantillons	80 minutes	95,3
	4 × rondes	2h40 min	92
Opérateur extérieur (unité 200)	4 × prises d'échantillons	80 minutes	95,3
	4 × rondes	2h40 min	86

Tableau V.7 : répartition des tâches, leur durée moyenne, et leur niveau d'exposition

Pompiste (unité 100)	4 × Vérifications des pompes (vibration, température…etc.)	20 minutes	103,4
		20 minutes	97,1
		20 minutes	106,7
		20 minutes	99,6
Pompiste (unité 200)	4 × Vérifications des pompes (vibration, température…etc.)	20 minutes	95,2
		20 minutes	95,4
		20 minutes	93
		20 minutes	96,7
Chauffeur de fours (unité 100 et 200)	4 × Vérification des fours et réglage des volets d'aire	20 minutes	107
		20 minutes	95
		20 minutes	98
		20 minutes	103
Opérateur polyvalent (unité 300)	4 × Prise d'échantillons	60 minutes	95,3
	4 × Vérification de la pompe	40 minutes	93

Tableau V.8 : répartition des tâches, leur durée moyenne, et leur niveau d'exposition

Machiniste (utilité)	4 × vérification des machines (pompe et compresseur)	20 minutes	94,7
		20 minutes	93,2
		20 minutes	94,1
	4 × vérification des vannes de détentes	20 minutes	89,5
		20 minutes	98,5
		20 minutes	94,7
Chauffeur de chaudière (utilité)	4 × vérification des chaudières	20 minutes	98
		20 minutes	95

V.4.3 Calcule de l'exposition quotidienne $L_{ex,\,8h}$ des postes identifié :

V.4.3.1 Exposition des postes fixes :

La conversion d'un niveau d'exposition durant une période T, vers le niveau d'exposition quotidienne $L_{ex,\,8h,}$ peut être calculé à partir de l'équation suivante :

$$L_{\text{ex},8h} = L_{\text{eq},T} + 10\log_{10}(\frac{T}{8}*$$

Tableau V.9 : Résultats de calcule d'exposition des postes fixes.

Poste de travail	Niveau d'exposition durant 7 heures	Equivalent sur 8h $L_{ex,\,8h}$ dB(A)
Salle de contrôle de la zone de production	74	73,42
Le central d'utilité	77	76,42
Baraque de compressite	88.3	87,7

On remarque que l'exposition quotidienne $L_{ex,\ 8h}$ du compressiste dépasse le seuil réglementaire fixée à 85 dB, Le lieu de travail doit faire l'objet d'une signalisation et d'une limite d'accès. L'employeur élabore un programme visant à réduire l'exposition.

V.4.3.2 Exposition des postes de travail mobile par la méthode des points d'exposition recommandée par l'INRS :

Tableau V.10 : Résultats de calcule d'exposition de l'operateur extérieur (unité 100).

Phase de travail	**Niveau d'exposition**	**Durée quotidienne d'exposition**	**Points d'exposition**	**Contribution à l'exposition totale**
4 × Prises d'échantillons	95,3	80 minutes	173	50%
4 × rondes	92	2h40 min	173	50%
Total		4h	346	100%
Equivalence sur 8h des points d'exposition $L_{ex,8h}$			90 dB(A)	

Le niveau d'exposition réglementaire est dépassé. Cet opérateur face un risque certain.

Tableau V.11 : Résultats de calcule d'exposition de l'operateur extérieur (unité 200).

Phase de travail	**Niveau d'exposition**	**Durée quotidienne d'exposition**	**Points d'exposition**	**Contribution à l'exposition totale**
4 × Prises d'échantillons	95,3	80 minutes	173	80%
4 × rondes	86	2h40 min	43	20%
Total		4h	216	100%
Equivalence sur 8h des points d'exposition $_{Lex,8h}$			88 dB(A)	

Le niveau d'exposition réglementaire est dépassé. Cet opérateur face un risque certain.

Tableau V.12 : Résultats de calcule d'exposition du pompiste (unité 100).

Phase de travail	**Niveau d'exposition**	**Durée quotidienne d'exposition**	**Points d'exposition**	**Contribution à l'exposition totale**
4 × Vérifications des pompes (vibration, température…etc.)	103,4	20 minutes	270	27%
	97,1	20 minutes	67	7%
	106,7	20 minutes	530	54%
	99,6	20 minutes	107	11%
Total		1h20min	974	100%
Equivalence sur 8h des points d'exposition $_{Lex,8h}$			95 dB(A)	

Le niveau d'exposition réglementaire est dépassé. Cet opérateur face un risque certain.

Tableau V.13 : Résultats de calcule d'exposition du pompiste (unité 200).

Phase de travail	Niveau d'exposition	Durée quotidienne d'exposition	Points d'exposition	Contribution à l'exposition totale
4 × Vérifications des pompes (vibration, température…etc.)	95,2	20 minutes	43	26%
	95,4	20 minutes	43	26%
	93	20 minutes	27	16%
	96,7	20 minutes	53	30%
Total			166	100%
Equivalence sur 8h des points d'exposition $L_{ex,8h}$			87 dB(A)	

Le nombre de points est entre les bornes d'incertitude, évaluation normalisé recommandé.

- **Chauffeur de fours (unité 100,200) :**

Tableau V.14 : Résultats de calcule d'exposition du chauffeur de fours (unité 100,200).

Phase de travail	Niveau d'exposition	Durée quotidienne d'exposition	Points d'exposition	Contribution à l'exposition totale
4 × Vérification et réglage des volets d'aire	107	20 minutes	670	63%
	95	20 minutes	43	4%
	98	20 minutes	81	7%
	103	20 minutes	270	25%
Total		1h20min	1064	100%
Equivalence sur 8h des points d'exposition $L_{ex,8h}$			95 dB(A)	

Le niveau d'exposition réglementaire est dépassé. Le chauffeur du four face un risque certain.

Tableau V.15 : Résultats de calcule d'exposition de l'operateur polyvalent (unité 300).

Phase de travail	**Niveau d'exposition**	**Durée quotidienne d'exposition**	**Points d'exposition**	**Contribution à l'exposition totale**
4 × Prise d'échantillons	95,3	1h	130	71%
4 × Vérification de la pompe	93	40min	53	29%
Total		1h40min	183	100%
Equivalence sur 8h des points d'exposition $L_{ex,8h}$			87 dB(A)	

Le niveau réglementaire est dépassé, mais le nombre de points est entre les bornes d'incertitude de risque, le poste dois être sujet d'une évaluation normalisée.

Tableau V.16 : Résultats de calcule d'exposition du machiniste (utilité).

Phase de travail	**Niveau d'exposition**	**Durée quotidienne d'exposition**	**Points d'exposition**	**Contribution à l'exposition totale**
4 × vérification des machines (pompe et compresseur)	94,7	20 minutes	43	22%
	93,2	20 minutes	27	14%
	94,1	20 minutes	33	17%
4 × vérification des vannes de détentes	89,5	20 minutes	11	5%
	98,5	20 minutes	81	41%
	94,7	20 minutes	43	22%
Total		2h	195	100%
Equivalence sur 8h des points d'exposition $L_{ex,8h}$			88 dB(A)	

Le niveau réglementaire est dépassé, mais le nombre de points est entre les bornes d'incertitude de risque, le poste dois être sujet d'une évaluation normalisée.

Tableau V.17 : Résultats de calcule d'exposition du chauffeur de chaudière (unité 100).

Phase de travail	**Niveau d'exposition**	**Durée quotidienne d'exposition**	**Points d'exposition**	**Contribution à l'exposition totale**
4 × vérification des chaudières	98	20min	81	65%
	95	20min	43	35%
Total		40min	124	100%
Equivalence sur 8h des points d'exposition $L_{ex,8h}$			85 dB(A)	

Le niveau réglementaire est dépassé, mais le nombre de points est entre les bornes d'incertitude de risque, le poste dois être sujet d'une évaluation normalisée.

V.4.4 Interprétation et discussion des résultats :

En comparant les résultats au seuils règlementaires, on remarque que les postes fixes étudié, présentent une certitude de risque pour le compressist de l'unité 200 exposé à un niveau $L_{ex,8h}$ de 88,3 dB(A). Les chefs de quarts sont exposés à des niveaux qui ne présente aucun danger sur l'ouïe, mais qui peuvent causer, selon les personnes, une fatigue auditive.

D'autre part, les résultats obtenus pour les postes mobiles suivant la méthode de points d'exposition sont jugés d'après les tableaux d'interprétation des points d'exposition pour trouver la classification suivante :

- certitude de risque :
  - Les opérateurs extérieurs (unité 100/200).
  - Le pompiste de l'unité 100.
  - Chauffeur de four.
- Incertitude de risque :
  - Le pompiste de l'unité 200.
  - L'opérateur polyvalent de l'unité 300.
  - Le machiniste d'utilité.
  - chauffeur de chaudières.

Les cas de risque certain, ce concentre dans les unités 100 et 200, lorsque l'unité 300 et l'unité d'utilité restent des zones dont les postes mobiles font face à une incertitude de risque.

Les cas d'incertitudes doivent subir une évaluation normalisée approfondie pour décider la certitude de risque. Durant le temps de planification et de déroulement de l'évaluation, on doit assurer une prévention de risque convenable.

Les cas de risque certain sont identifiés, on précède à une démarche corrective pour assurer la sécurité auditive des personnes exposées.

V.5 DÉMARCHE DE LUTTE ET CALCULE CORRECTIF :

Afin de corriger la situation en face et assuré la sécurité auditive des personnes présentes dans la zone de danger, la démarche de lutte doit se baser sur les principes généraux de prévention qui se résument en :

- Eviter les risques.
- Evaluer les risques qui ne peuvent être évités.
- Combattre les risques à la source.
- Agir sur les conditions et l'organisation du travail.
- Former et informer les personnes sur les risques et leur prévention.

Le risque lié à l'exposition au bruit dans la zone étudié ne peut pas être évité parobligation des tâches à accomplir, et comme les sources d'émission sonores doivent assurer un fonctionnement continu et une accessibilité permanente pour pouvoir effectuer la maintenance et le suivi nécessaire, combattre ce risque à la source se limite au remplacement par des équipements moins bruyants. C'est pour cette raison que notre démarche de lutte vise directement les conditions de travail, le temps d'exposition et la formation des personnes concernées.

Selon Le décret n° 2006-892 du juillet 2006 de la directive européenne, les ambiances acoustiques industriels doivent respecter 3 valeurs d'exposition quotidienne $L_{ex,8h}$, pour chaque valeur la règlementation exige une action préalable :

- Valeur admissible inférieur (VAI = 80 dB) : déclenche les premières actions préventives :
  - Mise à disposition des PICB.
  - Formation et information des personnes concernées sur le risque et son évaluation, et sur l'utilisation correcte des PICB.
  - Examen audiométrique proposé.
- Valeur admissible supérieur (VAS = 85 dB) : déclenche les actions correctives :
  - Mise en œuvre d'un programme de mesures de réduction d'exposition.
  - Contrôle de l'utilisation effective des PICB
  - Signalisation et limitation de l'accès aux zones bruyantes.
- Valeur limite d'exposition (VLE = 87 dB) : compte tenu de l'atténuation du PICB, cette valeur ne doit être dépassée en aucun cas :
  - Mesures de réduction d'exposition sonore immédiates.

Suivant cette réglementation on a opté dans notre démarche de lutte l'ordre suivant :

1. Proposer un plan de réduction d'exposition rationnel.
2. Choix d'un PICB caractérisé par un niveau d'affaiblissement convenable.
3. Evaluation des niveaux sonores résiduels.
4. Signalisation des zones de danger et formation du personnel.

V.5.1 Calcule de réduction d'exposition :

L'évaluation des niveaux résiduels nous a permis d'identifier les postes dont l'exposition doit être réduite. En se basant sur les tableaux établi lors de l'évaluation par la méthode des points d'exposition, on peut viser directement la phase de travail ayant le pourcentage de contribution le plus élevé.

Tableau V.18 : Résultat de calcule de réduction d'exposition du pompiste (unité 100)

Phase de travail	Niveau d'exposition	Durée quotidienne d'exposition	Points d'exposition	Contribution à l'exposition totale
1 × Vérifications des pompes (vibration, température…etc.)	103,4	5 minutes	70	28%
	97,1	5 minutes	17	7%
	106,7	5 minutes	130	52%
	99,6	5 minutes	33	13%
Total		20min	250	100%
Equivalence sur 8h des points d'exposition $L_{ex,8h}$			89 dB(A)	

Tableau V.19 : Résultat de calcule de réduction d'exposition du chauffeur de fours

Phase de travail	Niveau d'exposition	Durée quotidienne d'exposition	Points d'exposition	Contribution à l'exposition totale
1 × Vérification des fours et réglage des volets d'aire	107	5 minutes	170	63%
	95	5 minutes	11	4%
	98	5 minutes	21	7%
	103	5 minutes	70	25%
Total		20min	272	100%
Equivalence sur 8h des points d'exposition $L_{ex,8h}$			89 dB(A)	

Cette exemple de calcule nous montre qu'une réduction de une heure d'exposition n'est pas suffisante pour garantir la sécurité auditif des postes mentionnés. De plus, réduire le nombre de vérification des équipements augmente la probabilité des dysfonctionnements et des accidents liées à ces derniers. De ce fait, la réduction de la durée d'exposition n'est pas recommandée, on précède vers la protection individuelle.

V.5.2 Calcule de niveau d'affaiblissement du PICB préalable :

Le niveau d'affaiblissement d'un PICB doit assurer que la personne soit protégée. En même temps la protection ne doit pas être excessive. Isoler une personne complètement de son environnement cause des problèmes de communication et augmente la possibilité de ne pas percevoir un signal d'alarme. Le niveau d'affaiblissement devient excessif dès lorsqu'il dépasse -15 dB du niveau d'action positionné à 80dB.

Dans notre cas d'étude, les niveaux d'exposition quotidienne sont compris entre 85 et 95 dB(A). A l'‟aide d'une calculette Excel recommandé par HearingProTech, on peut avoir l'affaiblissement idéal pour chaque niveau d'exposition ($L_{ex,8h}$), ainsi que l'affaiblissement minimal pour assurer la protection, et l'affaiblissement maximal afin d'éviter la protection excessive.

Tableau V.20 : Niveaux d'affaiblissement recommandé pour les niveaux d'exposition calculés

Poste de travail	**Niveaux d'exposition quotidienne dB(A)**	**Niveau d'affaiblissement dB(A)**		
		Minimal	**Idéal**	**Maximal**
Compressiste (unité 200)	88,7	10	17	24
Opérateur extérieur (unité 100)	90	11	18	25
Opérateur extérieur (unité 200)	88	9	16	23
Pompiste (unité 100)	95	16	23	30
Pompiste (unité 200)	87	8	15	22
Chauffeur du four	95	16	23	30
Operateur polyvalent (unité 300)	87	8	15	22
Machiniste (utilité)	88	9	16	23
Chauffeur de la chaudière (utilité)	85	6	13	20

D'après les résultats présentés dans le tableau précédent, on va choisir le niveau d'affaiblissement maximal correspondant au niveau d'exposition le plus bas. L'analyse des niveaux sonores résiduels va nous permettre d'évaluer la protection apportée par un PICB caractérisé par cette valeur.

Tableau V.21 : Évaluation des niveaux résiduels calculés

Poste de travail	**Niveaux d'exposition quotidienne dB(A)**	**Niveaux résiduel avec port de PICB dB(A)**	**Evaluation**
Compressiste (unité 200)	88,7	68,7	Protégé
Opérateur extérieur (unité 100)	90	70	Protégé
Opérateur extérieur (unité 200)	88	68	Protégé
Pompiste (unité 100)	95	75	Protégé
Pompiste (unité 200)	87	67	Protégé
Chauffeur du four	95	75	Protégé
Operateur polyvalent (unité 300)	87	67	Protégé
Machiniste (utilité)	88	68	Protégé
Chauffeur de la chaudière (utilité)	85	65	Protégé

Toutes les personnes pourront être protégées sans réduction de temps d'exposition, par des PICB caractérisé par un niveau d'affaiblissement de 20 dB, si et seulement si cette protection est portée durant toute la période d'exposition.

V.5.3 Information et formation :

Afin de communiquer la présence d'une ambiance sonore nuisible dépassant les 80 dB, les zones bruyantes vont être signalées par des pictogrammes illustrant le danger présent. Dès que les niveaux d'intensité acoustique atteignent 85 dB le port des PICB est obligatoire. L'accès à ces zones doit être interdit aux travailleurs non autorisé.

Notre évaluation nous a permis de prévoir une limitation d'accès aux unités 100 et 200 où les niveaux sonores dépassent les 100 dB, et un port obligatoire d'un PICB convenable.



Figure V.4 : Pictogramme de protection obligatoire de l'ouïe



Figure V.5 : Pictogramme de limitation d'accès

Ces indications doivent être accompagnées par des sessions de sensibilisation aux risques liés au bruit, ainsi que l'importance de porter les PICB pendant toute la période d'exposition pour éviter les effets lésionnels.

V.6 RAPPORT DE L'ÉVALUATION :

L'exploitation des données recueillis sur site ; telles que les emplacements des équipements est les niveaux d'intensité acoustiques ; nous a permis d'établir la carte de bruit de la zone de production. Cette dernière a rendu visible l'ambiance sonore présente sur la zone étudiée, 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 devisées en deux parties, une évaluation d'exposition des postes fixes par pondération de la durée effective de travail, et 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. Les cas d'incertitudes sont qualifiés d'être sujet d'une évaluation normalisé, en même temps, comme une démarche préventive, on a prévu que ces cas doivent être traités comme étant des cas de risque certain.

D'après les calculs correctifs et comme un plan de lutte contre le risque auditif liée à l'exposition, on a proposé l'adaptation des PICB caractérisés par un niveau d'affaiblissement sonore de 20 dB. Le port de ces protecteurs 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 GÉNÉRALE :

Au cours de cette étude, nous nous somme intéressé à l'évaluation du bruit industriel au niveau de la raffinerie d'Alger. 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 a été fait avec EXCEL pour un nombre important de points, ce qui nous a permis par la suite d'élaborer une carte de bruit de la zone étudiée sous le logiciel « Golden Surfer 13 ». L'analyse et l'interprétation de la carte obtenue 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 pour les postes a exposition constante.
- Évaluation par la méthode des points d'exposition recommandée par l"INRS pour les postes a plusieurs phases d'exposition.

Cependant, l'interprétation des résultats de l'évaluation a mis en évidence la certitude de risque pour quelques postes, ainsi qu'une incertitude pour d'autres. Les cas d'incertitude sont donc visés pour être l'objet d'une étude approfondis et une évaluation normalisé. Pendant ce temps, nous avons suggéré comme une démarche préventive de traiter les deux cas comme étant des cas de certitude de risque, pour procéder dans le reste du notre travail vers la réalisation d'un plan de lutte qui vise à corriger la situation en face.

Notre démarche de lutte a été basée sur la réduction de l'exposition quotidienne et de mettre en disponibilité des PICB d'un niveau d'affaiblissement convenable. Toutefois, les calculs nous montrent que la réduction de la durée d'exposition n'est pas pratique et ne corrige pas les niveaux d'expositions quotidiennes.

Afin de proposer un PICB convenable, on a calculé à l'aide d'une calculette EXCEL proposé par l'organisation HearingProTech, les niveaux d'affaiblissement recommandés pour chaque niveau d'exposition quotidienne, pour conclure après l'analyse des niveaux d'exposition résiduels, que la totalité des niveaux d'exposition peuvent être corrigé par un PICB ayant un niveau d'affaiblissement caractérisant de 20 dB.

Le plan d'action proposé se résume en :

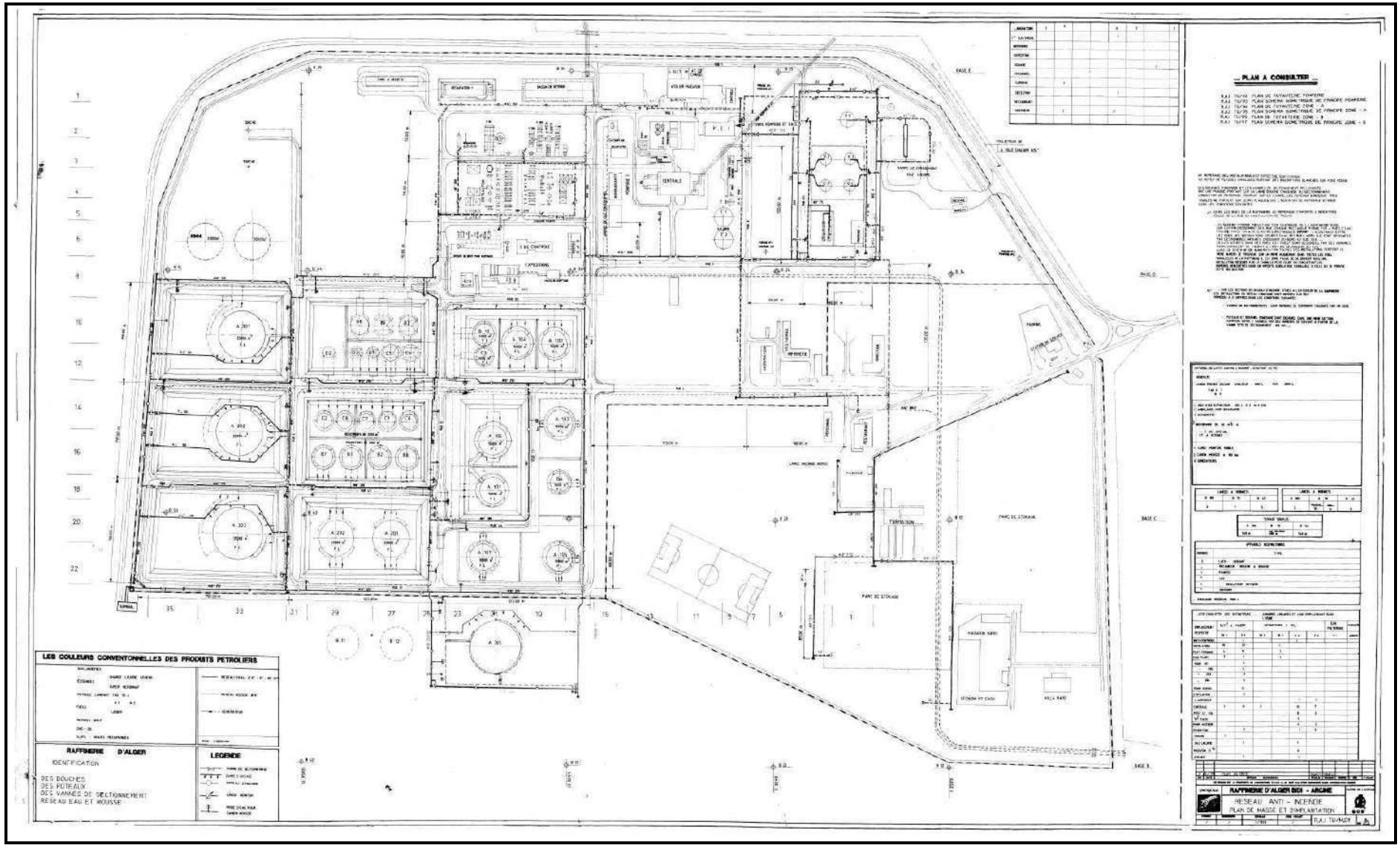
- Planifier une étude approfondis pour les cas d'incertitude de risque.
- Mettre en disponibilité les PICB recommandés.
- Formation des travailleurs sur les risques liés à l'exposition au bruit.
- Formation des travailleurs sur l'utilisation correcte des PICB.
- Signalisation des zones de danger en indiquant les zones de port obligatoire des PICB, ainsi que les zones d'accès limité.

Pour finir, ce travail est la base d'une démarche globale de lutte contre les risques liés au bruit au niveau de la raffinerie d'Alger, la méthodologie suivie nous permet d'organiser les priorités et de diriger les ressources disponibles vers une démarche de lutte pratique, cohérente et économique.

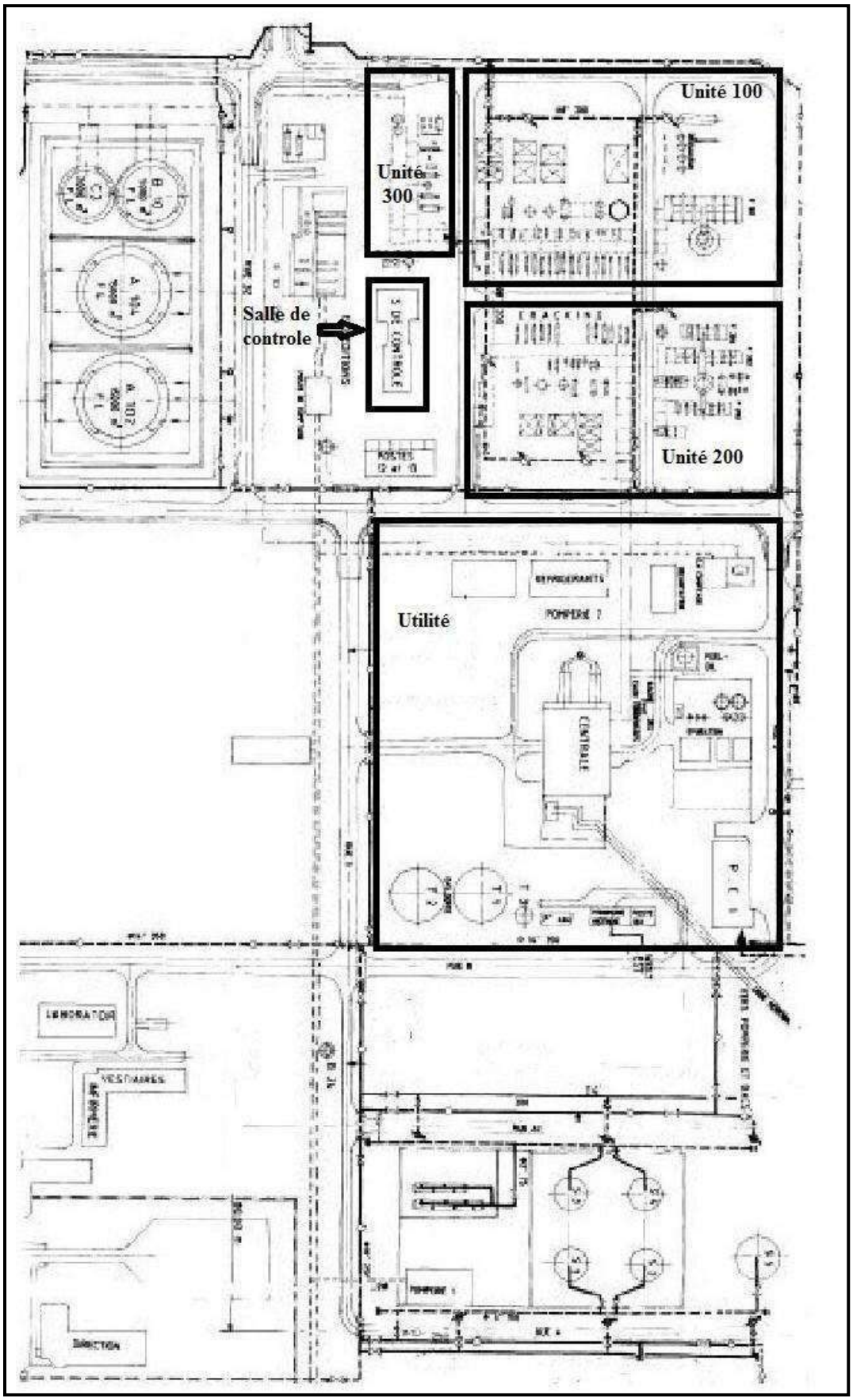
BIBLIOGRAPHIE

- Académie de Toulouse, « Courbes isosoniques et décibels acoustiques dB(A) »
- Anses, « évaluation des impacts sanitaires extra-auditifs »,
- Bruxelle environnement, « Vamedecum du bruit routier urbain : notions d'acoustique (Fiche technique) »
- CEDIA, (Centre d'étude et de Développement en Ingénierie Acoustique – Université de Liège), « Chapitre 11 : études d'impact et modèles prévisionnels », URL : www.montefiore.ulg.ac.be/services/acous/STSI/file/noise_chap11.pdf
- CERTU, « Comment réaliser les cartes de bruit stratégiques en agglomération », 2006.
- Documentation et tutorial Golden Surfer.
- Marre. L, « Eléments d'acoustique et nuisances sonore »
- ENSA Grenoble, « Acoustique : propagation en champs libre »
- Formation industrie – IFP training, « Risques professionnels : bruit », 2005.
- INRS, « évaluer et mesurer l'exposition professionnelle au bruit ».
- INRS, « Techniques de réduction du bruit en entreprise. Exemples de réalisation ».
- INRS, « Signalisation de santé et de sécurité au travail - INRS »
- Interson Protac, « Le bruit au travail »
- Les données de l"IBGE « Bruit : Données de bases pour le plan -Notions acoustique est indices de gêne »
- Ontario Ministère De Travail, « Santé et sécurité, Annexe B : Calcule du niveau d'exposition au bruit »
- Portrait de la surdité professionnelle acceptée par la Commission de la santé et de la sécurité du travail au Québec : 1997-2010 TROUBLES DE L"AUDITION SOUS SURVEILLANCE Direction des risques biologiques et de la santé au travail
- Patrick Kruissel, « Le bruit, effet sanitaire et règlementation », 6janvier 2010
- Philip Nika , « évaluation de l'exposition sonore »
- Prof. J. Malchaire, « PROGRAMME DE CONSERVATION DE L"AUDITION : Organisation en milieu industriel », Edition Masson, Paris, 1993
- Ricardo Atienza, « Introduction à l'acoustique », (2008)

Annexe 1 : Plan de masse de la raffinerie d'Alger.



Annexe 2 : Plan regroupant les installations étudiées et la salle de contrôle.



Annexe 3 : Echantillon de calcul sur EXCEL

Sources				
	X	Y	L	I
S1	561,12	925,45	104,3	0,0269153480
S2	528,44	925,45	111,2	0,1318256739
S3	496,85	925,45	102,7	0,0186208714
S4	442,38	908,02	93	0,0019952623

Points			Distace par rapport aux sources			
	X	Y	D1	D2	D3	D4
P1	590,18	1023,25	48,9725245	55,51562136	64,8894119	89,9571647
P2	574,95	1023,25	47,4110482	51,98207221	60,0756963	84,311775
P3	555,9	1025,43	48,0557647	49,76757962	55,7356334	78,3913606
P4	535,9	1024,34	48,9865352	47,60207143	51,0340339	71,6412387
P5	525,42	1024,34	50,4656078	47,4893295	49,40848	68,6013609
P6	506,38	1022,16	53,3411362	47,61316371	46,6456408	62,8120664
P7	486,38	1022,16	58,6678843	50,62092767	46,6920478	58,7170476
P8	459,71	1022,16	67,263077	56,94960197	49,7262479	55,4150978
P9	436,86	1024,34	76,227536	64,6952549	55,518453	55,8964334
P10	414,95	1024,34	84,7100064	72,25429047	61,6325273	57,3650153
P11	400,67	1024,34	90,4687755	77,55291685	66,2153424	59,3146131
P12	387,33	1024,34	95,9786331	82,70953555	70,8286518	61,7706942
P13	362,57	1026,52	106,941207	93,23374719	80,6717984	68,5776826
P14	344,48	1024,34	114,308674	100,250518	87,1908459	72,9769755
P15	324,48	1025,43	123,309085	109,030478	95,6482564	79,8670356
P16	305,43	1027,61	132,164879	117,7420781	104,148145	87,2716968

Contribution des intesités des sources				Niveau total
I1	I2	I3	I4	IT
1,1223E-05	5,4966E-05	7,7642E-06	8,3195E-07	82,42028496
1,1974E-05	5,8646E-05	8,284E-06	8,8765E-07	82,70174366
1,1655E-05	5,7083E-05	8,0632E-06	8,6399E-07	82,58442495
1,1216E-05	5,4935E-05	7,7597E-06	8,3147E-07	82,41780035
1,0568E-05	5,1762E-05	7,3115E-06	7,8345E-07	82,15942464
9,4597E-06	4,6331E-05	6,5445E-06	7,0125E-07	81,67808957
7,8199E-06	3,83E-05	5,41E-06	5,7969E-07	80,85132627
5,949E-06	2,9137E-05	4,1157E-06	4,4101E-07	79,66380019
4,6321E-06	2,2687E-05	3,2046E-06	3,4338E-07	78,57709717
3,7509E-06	1,8371E-05	2,595E-06	2,7805E-07	77,66064051
3,2885E-06	1,6107E-05	2,2751E-06	2,4378E-07	77,08936057
2,9218E-06	1,431E-05	2,0214E-06	2,166E-07	76,5758436
2,3535E-06	1,1527E-05	1,6282E-06	1,7447E-07	75,63643316
2,0599E-06	1,0089E-05	1,4251E-06	1,527E-07	75,0577511
1,7701E-06	8,6698E-06	1,2246E-06	1,3122E-07	74,39943329