



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Département de Maîtrise des
Risques Industriels et
Environnementaux
Sarl Ibrahim et Fils IFRI



Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État en Qualité Hygiène
Sécurité et Environnement - Gestion des Risques Industriels

Contribution de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et le *Clustering* dans la gestion des risques associés aux expositions sonores - cas d'IFRI, Algérie

HAOUYA Ines

Sous la direction de :

Mr. BENMOKHTAR Amine
Mme. KEDARI Fadela
Mme. GUEZZANE Rayane
Mr. SACI Moussa

Maître de Conférences A à l'ENP
Consultante en management QHSE à ANESRIF
Doctorante à l'ENP
Superviseur à IFRI

Présenté et soutenu le 22 Juin 2023, devant le jury composé de :

<i>Président</i>	Mr. BOUBAKEUR Mohamed	Maître assistant A à l'ENP
<i>Examinatrice</i>	Mme. FODIL Marya	Maître assistant A à l'ENP
<i>Examineur</i>	Mr. LEGUEBEDJ Farid	Maître assistant A à l'ENP
<i>Examineur</i>	Dr. SADAOUI Mourad	Médecin chef à l'ENP



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Département de Maîtrise des
Risques Industriels et
Environnementaux
Sarl Ibrahim et Fils IFRI



Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État en Qualité Hygiène
Sécurité et Environnement - Gestion des Risques Industriels

Contribution de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et le *Clustering* dans la gestion des risques associés aux expositions sonores - cas d'IFRI, Algérie

HAOUYA Ines

Sous la direction de :

Mr. BENMOKHTAR Amine
Mme. KEDARI Fadela
Mme. GUEZZANE Rayane
Mr. SACI Moussa

Maître de Conférences A à l'ENP
Consultante en management QHSE à ANESRIF
Doctorante à l'ENP
Superviseur à IFRI

Présenté et soutenu le 22 Juin 2023, devant le jury composé de :

<i>Président</i>	Mr. BOUBAKEUR Mohamed	Maître assistant A à l'ENP
<i>Examinatrice</i>	Mme. FODIL Marya	Maître assistant A à l'ENP
<i>Examineur</i>	Mr. LEGUEBEDJ Farid	Maître assistant A à l'ENP
<i>Examineur</i>	Dr. SADAOUI Mourad	Médecin chef à l'ENP

ملخص

بعد استكشاف خط الإنتاج في إفري، تبين وجود مستويات عالية من الضوضاء وتعرض مستمر لعمالها. باستخدام طرق تحليل المكونات الرئيسية والتجميع، تم تحديد المهام الأكثر حساسية والمناطق الأكثر تأثراً. أظهرت النتائج أهمية اتخاذ تدابير وقائية للحد من التعرض للضوضاء، وذلك من خلال التشجيع على ارتداء معدات الحماية الشخصية وتنفيذ التدابير المناسبة. تم تحديد فترة الليل كفترة تعرض متزايدة. في إطار السعي لتحقيق التحسين المستمر، يُوصى بتقييم فعالية نظام تناوب المشغلين بعد تنفيذه وتنفيذ إجراءات المراقبة، مثل جمع بيانات مستوى الضوضاء بشكل منتظم ومراقبة معدل الإنتاج والتقييمات الطبية الدورية.

كلمات مفتاحية : مخاطر الضوضاء، الضوضاء، مستويات الصوت، التجميع، جرعة التعرض.

Abstract

The exploration of the production line at IFRI revealed high levels of noise and prolonged exposure of its operators. Principal Component Analysis (PCA) and K-means clustering methods were employed to identify the most critical tasks and affected areas. Their findings emphasized the need for preventive measures to reduce noise exposure, particularly by promoting the use of personal protective equipment and implementing appropriate measures. Additionally, the study identified increased exposure during the night shift. In the pursuit of continuous improvement, it is recommended to evaluate the effectiveness of operator rotation systems post-implementation and establish monitoring actions, such as regular collection of sound levels, monitoring of production rate, and periodic medical assessments.

Keywords : Noise risks, Noise, Sound levels, Clustering K-means, Exposure dose.

Résumé

L'exploration de la ligne de production chez IFRI a révélé des niveaux élevés de bruit et une exposition prolongée de ses opérateurs. Les méthodes d'analyse en composantes principales (ACP) et de clustering K-means ont permis d'identifier les tâches les plus critiques et les zones les plus affectées. Leurs résultats ont mis en évidence la nécessité de prendre des mesures préventives pour réduire l'exposition au bruit, notamment en promouvant l'utilisation d'équipements de protection individuelle et en mettant en place des mesures adéquates. De plus, il a été identifié que la période nocturne présente une exposition accrue. Dans une perspective d'amélioration continue, il est recommandé d'évaluer l'efficacité de systèmes de rotation des opérateurs après sa mise en place et de mettre en place des actions de surveillance, telles que la collecte régulière de niveaux sonores, supervision du taux de production et les évaluations médicales périodiques.

Mots clés : Risques sonores, Bruit, Niveaux sonores, Clustering K-means, dose d'exposition.

Dédicaces

“

À ma mère qui a toujours cru en moi

À la mémoire de ma grand-mère qui m'a élevée

*À ma tante et à mes oncles qui m'ont soutenue et
encouragée tout au long de mes études*

À mes amis et à tous ceux qui me sont chers

*Merci d'avoir allégé le fardeau de ces cinq dernières
années.*

”

- Ines

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire, dans le cadre de mon projet de fin d'études, pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'État en Qualité Hygiène Sécurité et Environnement - Gestion des risques industriels (QHSE-GRI), marquant ainsi la fin d'un long parcours académique.

Tout d'abord, je souhaite adresser mes sincères remerciements à mes promoteurs pour leur dévouement et leur précieux encadrement.

À **Mr BENMOKHTAR.A**, Maître de conférence A à l'École Nationale Polytechnique, je vous suis reconnaissante pour vos directives éclairées et votre encadrement attentif.

À **Mme KEDDARI.F**, Consultante en management QHSE à ANESRIF et enseignante à l'École Nationale Polytechnique, je tiens à vous remercier pour votre présence constante et votre engagement.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance envers **Mme GUEZZANE.R**, doctorante à l'école pour ses conseils avisés et ses orientations précieuses.

Vos conseils éclairés ont été d'une grande aide pour mener à bien ce travail.

J'exprime ma profonde reconnaissance à tous les membres du jury, **Mr. BOUBAKER**, **Mme. FODIL**, **Mr. LEGUEBEDJ** et **Mr. SAADAOU** pour l'honneur qu'ils m'ont accordée en acceptant de lire et d'examiner ce travail.

De plus, je souhaite adresser un remerciement à **Mr SACL.M**, superviseur à IFRI, pour sa présence soutenue, son soutien et sa patience lors de la réponse à mes multiples questions. Votre expertise généreuse a été un atout précieux pour la réalisation de ce mémoire. J'exprime également ma gratitude envers toute l'équipe du service HSE à IFRI pour leur collaboration, leur expertise et leur disponibilité.

Je tiens aussi à exprimer ma sincère gratitude envers les enseignants du département MRIE pour leur dévouement et leurs efforts dans la formation des ingénieurs de demain.

Enfin, je souhaite adresser un remerciement particulier à **Mr. BOURDJOU.L** pour son énergie positive, ses encouragements constants et surtout pour son soutien inconditionnel envers nous.

Leur présence, leur engagement et leur soutien indéfectible ont joué un rôle essentiel dans l'achèvement de ce mémoire, et je leur suis profondément reconnaissante pour leur contribution inestimable tout au long de ce parcours académique à l'École Nationale Polytechnique.

Nomenclature

L_p	Pression Acoustique
L_{tot}	Niveau de pression acoustique totale
L_{eq}	Niveau Équivalent de pression acoustique continue
L_{Aeq}	Niveau Équivalent pondere (A) de pression acoustique continue
L_{Aeqm}	Niveau Équivalent pondere (A) moyen
L_{Aeq8h}	Niveau Équivalent pondere (A) de pression acoustique continue pour 8 heures
T_{max}	Temps d'exposition Maximum
O_n	Code de l'opérateur
T_n	Code de la Tâche
S_n	Code de Shift
N_n	Code de l'échantillon
Z_n	Code de la Zone

Liste des abréviations

ACP	Analyse en Composantes principales
CSD	Carbonated Soft Drink
dB	Décibels
dB(A)	Décibels pondéré A
EPC	Équipement de Protection Collectif
EPI	Équipement de Protection Individuelle
HSE	Hygiène Sécurité et Environnement
NF EN ISO	Norme française du comité Européen de Normalisation, International Organization for Standardization
NS	Niveaux Sonores
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PET	Polyéthylène-Téréphtalate
RSST	Règlement sur la Santé et la Sécurité du Travail
SARL	Société à Responsabilités limitées
SI	Sécurité Industrielle

Table des matières

Dédicaces

Remerciements

Nomenclature

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale 13

Contexte général de l'étude 15

I Contexte général de l'étude 16

I.1	Présentation de l'entreprise	16
I.1.1	Groupe IFRI	16
I.1.2	Historique de la SARL IFRI	17
I.1.3	Service Hygiène, Sécurité et Environnement	19
I.1.4	Présentation de l'unité d'étude	20
I.2	Mise en contexte	22
I.3	Problématique	23
I.3.1	Objectifs	24
I.4	Méthodologie	25
I.4.1	Enquête préliminaire des situations de travail	25
I.4.2	Stratégie de mesurage	26
I.4.3	L'échantillonnage	30
I.4.4	L'analyse des données	30
I.4.5	L'Analyse en Composantes Principales(ACP)	30
I.4.6	Le <i>clustering</i> en <i>K-means</i>	35
I.4.7	Interprétation et recommandations	36

I Notions et définitions 38

II Notions et définitions 39

II.1	Risques industriels	39
II.1.1	Risques majeurs	39

II.1.2	Risques professionnels	39
II.2	Hygiène du travail	40
II.2.1	Définitions	40
II.2.2	Statistiques	41
II.2.3	Contaminants et agresseurs dans le milieu de travail	41
II.3	Contaminant physique : le Bruit	42
II.3.1	Bruit et ses définitions	42
II.3.2	Références normatives et réglementaires	51
II.3.3	Mesure du bruit	55
II.3.4	Contrôler le bruit	56
II	Enquête sur les différents postes de travail	59
III	Enquête sur les différents postes de travail	60
III.1	Enquête préliminaire du milieu de travail	60
III.1.1	Description du processus de production	61
III.1.2	Description des machines	64
III.1.3	Description des différentes situations de travail	66
III.1.4	Résultats de l'enquête	70
III.2	Mesure des niveaux sonores par tâche	71
III.2.1	Déroulement de l'échantillonnage	71
III.2.2	Technique de mesurage	71
III.2.3	Résultats de l'échantillonnage	71
III	Analyse des données de mesures	75
IV	Analyse des données	76
IV.1	Analyse en composantes principales	77
IV.1.1	Première étape : Standardisation des données	77
IV.1.2	Deuxième étape : Matrice de covariance	77
IV.1.3	Troisième étape : Valeurs et vecteurs propres	78
IV.1.4	Quatrième étape : Projection des données	79
IV.1.5	Représentation graphique : Nuage de points	79
IV.2	<i>Clusterisation</i> en <i>K-means</i>	81
IV.2.1	Manipulation des données	81
IV.2.2	Algorithme de <i>clustering</i>	81
IV.2.3	Représentations graphique	83
IV	Évaluation de l'exposition au bruit	90
V	Évaluation de l'exposition au bruit	91
V.1	Analyse des paramètres d'exposition et des mesures	92
V.1.1	Le temps d'exposition maximum	92
V.1.2	Dose d'exposition	95
V.1.3	Résultats et interprétation	97

V Réduction du risque lié à l'exposition aux nuisances sonores	99
VI Réduction du risque lié à l'exposition aux nuisances sonores	100
VI.1 Rotation des opérateurs et collaboration inter-zones	101
VI.1.1 Première solution	101
VI.1.2 Deuxième solution	101
VI.2 Actions pour la mise en place du système de rotation des postes	103
VI.2.1 Indicateurs de performance	105
VI.2.2 Plan d'actions	108
Conclusion	111
Conclusion générale	112
Références bibliographiques	117
Annexes	117
A Textes législatifs	118
B Positions des échantillons	120
C Formules d'évaluation de l'exposition sonore	122
D Questionnaire	124
E Appareil de mesure - Sound Level Meter SM-20-A	126

Liste des tableaux

I.1	Produits d'eau minérale d'IFRI avec leurs types et volumes	22
I.2	Critères des tests de communication	26
I.3	Calcul des points d'exposition	27
I.4	Table d'interprétation	27
I.5	Exemple de données pour l'ACP	32
II.1	Fréquences des bandes d'octaves	43
II.2	Directives de l'OMS	52
III.1	Caractéristiques acoustiques des machines	66
III.2	Liste des tâches (Partie 1)	68
III.2	Liste des tâches (Partie 2)	69
III.3	Échantillons collectés	71
III.4	Résultats des mesures	73
IV.1	Résumé Taches- <i>Clusters</i>	83
V.1	Durées totales de réalisation des tâches	92
V.2	Niveaux sonores des tâches critiques	93
V.3	Temps maximum d'exposition	93
V.4	L'écart Temps maximum-Durée	94
V.5	Temps d'exposition permis par la RSST	96
V.6	Doses d'exposition	96
V.7	Classement des tâches	98
VI.1	Plan de Formation - Système de Rotation Inter-Zones	104
VI.2	Matrice de notation-Objectifs	106
VI.3	Matrice de notation-Directives	107
VI.4	Échelle de gravité - Capacité auditive	107
VI.5	Planification des actions correctives	109

Table des figures

I.1	Filiales du groupe IFRI	17
I.2	Organigramme de la SARL IFRI	18
I.3	Organigramme générale HSE	20
I.4	Image satellite de la Sarl ifri	21
I.5	Diagramme pour le choix de la méthode de mesurage	29
I.6	Distribution gaussienne multivariée	31
I.7	Quelques exemples d'ensembles de données bidimensionnelles	35
I.8	Méthodologie	37
II.1	Échelle d'audibilité	44
II.2	Source ponctuelle agissante sur une surface	45
II.3	Graphe de majoration des niveaux sonores additionnels	46
II.4	Table d'addition des niveaux sonores	47
II.5	Courbes de pondération fréquentielles	48
II.6	Valeur de correction des niveaux de pression	49
II.7	Courbe de pondération A	49
II.8	Transmission du signal sonore à l'intérieur de l'oreille	51
II.9	Temps d'exposition permis pour un bruit continu	53
II.10	Temps d'exposition permis pour un bruit d'impact	54
III.1	Processus de production de bouteilles en PET (0.5L)	63
IV.1	Matrice de covariance - ACP	77
IV.2	Valeurs et vecteurs propres - ACP	78
IV.3	Nuage de points	80
IV.4	Résultat de <i>clusterisation</i>	82
IV.5	Représentation des NS par <i>clusters</i> - 2D	84
IV.6	Représentation des NS par <i>clusters</i> - 3D	85
IV.7	Cartographie du bruit	88
V.1	Écart Tmax-Durée	94
V.2	Représentation graphique de l'écart Tmax-Durée	97
VI.1	Rotation des opérateurs pendant les 8 heures de travail	101
VI.2	Rotation des opérateurs pendant le service de rotation des 4 équipes	102
B.1	Positions des échantillons	121

Introduction

Introduction générale

Dans cet environnement industriel exigeant, la gestion de l'exposition professionnelle au bruit devient un enjeu majeur pour IFRI afin de préserver la santé, la sécurité et l'hygiène des opérateurs. IFRI est consciente de la nécessité de répondre aux exigences légales et réglementaires en termes de santé et sécurité au travail (*voir section A.1*). L'exposition prolongée au bruit peut entraîner des atteintes auditives graves, notamment la surdité professionnelle, ainsi que des risques accrus d'accidents, de distractions, des troubles cardio-vasculaires et du sommeil et du stress. Par conséquent, il est essentiel pour IFRI de mettre en place des mesures adéquates pour évaluer, contrôler et réduire les niveaux de bruit dans l'usine, afin de préserver la santé auditive des travailleurs et de garantir un environnement de travail sûr, sain et en conformité avec les réglementations en vigueur.

Nous nous engageons, à travers ce travail, à proposer une approche proactive dans la gestion de l'exposition professionnelle au bruit, en mettant en œuvre des stratégies et des technologies appropriées. Cela comprend l'utilisation de méthodes d'analyse et de surveillance du bruit, l'identification des sources de bruit les plus critiques, ainsi que des mesures administratives, telles que la rotation des postes de travail pour réduire l'exposition des travailleurs. En veillant à maintenir des conditions de travail favorables, IFRI pourrait préserver la santé auditive de ses opérateurs et leur bien-être et renforcer sa position en tant qu'entreprise respectueuse des normes de santé et de sécurité. (*voir la définition de l'hygiène industrielle dans II.2.1*)

Dans ce contexte, notre étude se concentre sur l'évaluation et la gestion du bruit au sein de l'usine IFRI. Nous visons à comprendre les niveaux de bruit spécifiques aux postes de travail de la ligne de production des bouteilles en polyéthylène téréphtalate (PET) à volume de 0.5L Carbonate Soft Drinkd (CSD), et à proposer des mesures appropriées pour réduire l'exposition des travailleurs à ces niveaux sonores élevés.

Pour atteindre ces objectifs, nous adoptons une méthodologie comprenant plusieurs étapes. Tout d'abord, nous effectuons une analyse préliminaire pour identifier les machines et les postes de travail générant les niveaux de bruit les plus élevés. Ensuite, nous procédons à des mesurages par tâches afin d'obtenir des données précises sur les niveaux sonores dans la ligne de production CSD.

Une fois les données recueillies, nous utilisons des techniques d'analyse de données telles que l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et le *clustering K-means* pour identifier les paramètres les plus importants contribuant au niveau de bruit. Cette analyse approfondie nous permet de comprendre les sources spécifiques de bruit et de cibler les zones à risque.

En parallèle, nous réalisons une évaluation de l'exposition professionnelle en tenant compte de différents facteurs tels que la durée de réalisation des tâches et la période de

la journée (*shift*). Cette évaluation nous permet de mettre en avant la nécessité d'agir sur la répartition des tâches afin de réduire les différentes doses d'exposition relatives aux différents niveaux sonores pour certains opérateurs.

Dans la dernière partie de notre étude, nous avons formulé des recommandations et des solutions pour réduire l'exposition professionnelle au bruit à l'usine IFRI. En raison de diverses contraintes, telles que les limitations techniques ou les caractéristiques des équipements existants, nous avons principalement proposé des solutions administratives.

Ces recommandations administratives visent à optimiser l'organisation du travail et à sensibiliser les travailleurs à l'importance de la protection auditive. Nous avons proposé la mise en place d'une rotation des postes de travail, permettant aux travailleurs d'alterner entre des tâches exposées au bruit et des tâches moins bruyantes. Cela permettrait de réduire l'exposition individuelle au bruit et d'offrir des périodes de récupération aux travailleurs.

Pour conclure, cette étude expérimentale souligne l'impératif de prendre des mesures adéquates pour gérer l'exposition professionnelle au bruit à l'usine IFRI. En comprenant les défis liés à cette problématique et en proposant des solutions adaptées, il est possible de créer un environnement de travail plus favorable pour les employés. En mettant en œuvre les recommandations établies, IFRI peut améliorer la santé et le bien-être de ses travailleurs tout en renforçant sa compétitivité sur le marché. Il est essentiel de reconnaître que la gestion de l'exposition professionnelle au bruit est un processus continu qui nécessite une vigilance constante, des évaluations régulières et des ajustements en fonction de l'évolution des besoins de l'usine et des avancées technologiques.

Contexte général de l'étude

Chapitre I

Contexte général de l'étude

Dans ce premier chapitre, nous présenterons l'entreprise IFRI et situeront le contexte général de notre étude, nous nous pencherons sur la problématique spécifique à laquelle nous nous attaquons. Ensuite, nous décrirons la méthodologique que nous avons choisie pour aborder cette problématique.

I.1 Présentation de l'entreprise

Dans cette section Nous présenterons l'entreprise Sarl Ibrahim et fils Ifri plus précisément sa première unité destinée à la production d'eau potable, où s'est déroulé notre projet. Nous passerons par son historique, sa situation géographique et son domaine d'activité, son organisation ainsi que son fonctionnement.

I.1.1 Groupe IFRI

Le Groupe IFRI est une entreprise algérienne présente dans le secteur agro-alimentaire. Il se compose de cinq différentes filiales qui opèrent dans des domaines variés [39]. Voici une description des filiales mentionnées :

- IFRI : principale filiale du Groupe IFRI. Elle est spécialisée dans la production et la commercialisation de boissons gazeuses et les eaux minérales. IFRI est une marque bien établie en Algérie, proposant une large gamme de produits rafraîchissants.
- IFRUIT : filiale du Groupe IFRI axée sur la production de jus de fruits. Elle propose une variété de jus de fruits naturels, offrant aux consommateurs des options saines et savoureuses.
- Bejaia Logistique : spécialisée dans la logistique et le transport. Elle assure la gestion des opérations de distribution et de livraison des produits du Groupe IFRI, contribuant ainsi à l'efficacité de la chaîne d'approvisionnement.
- General Plast : filiale du Groupe IFRI qui se consacre à la production d'emballages plastiques. Elle fournit des solutions d'emballage de qualité pour les produits du groupe, contribuant à leur préservation et à leur commercialisation.
- La Huilerie Ouzelaguen : La Huilerie Ouzelaguen est une filiale spécialisée dans la production d'huiles végétales. Elle propose une gamme d'huiles alimentaires de

haute qualité, répondant aux normes et exigences du marché.

Ces différentes filiales du Groupe IFRI témoignent de sa diversification dans le secteur agro-alimentaire, offrant une large gamme de produits et services aux consommateurs.

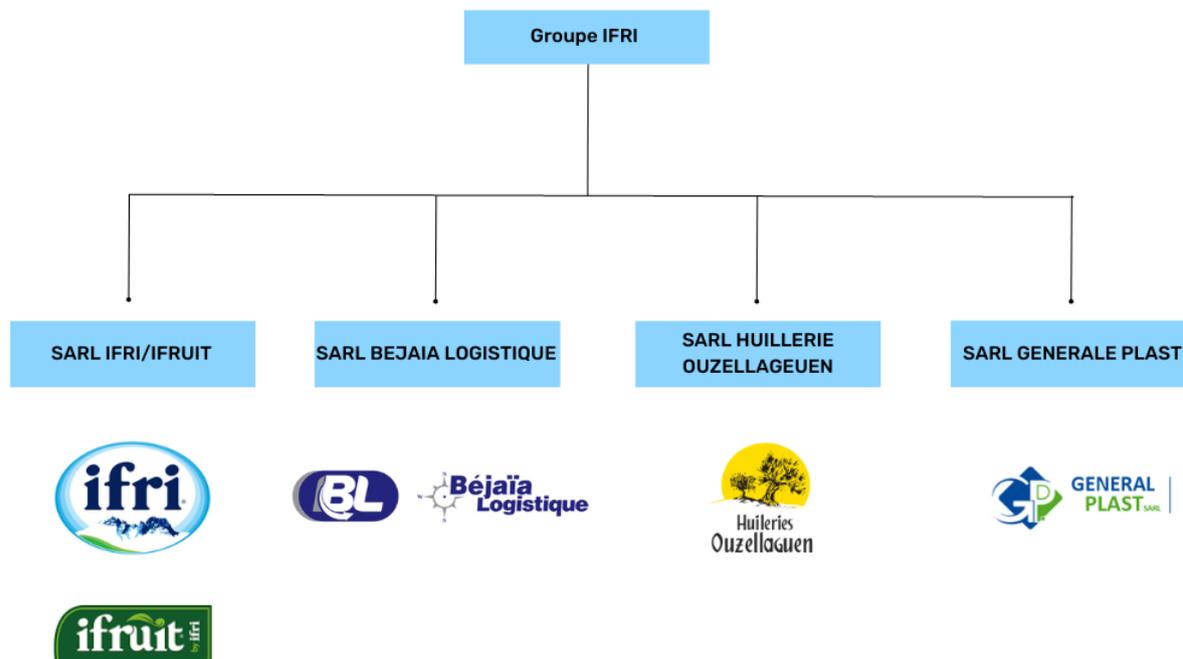


FIG. I.1 : Filiales du groupe IFRI[39]

I.1.2 Historique de la SARL IFRI

L'entreprise IFRI est située à Ighzer Amokrane. Chef-lieu de commune daïra d' IFRI Ouzellaguen, dans la wilaya de Béjaïa, elle est implantée à l'entrée est de la vallée de la Soummam, en contrebas du massif montagneux du Djurdjura qui constitue son réservoir naturel d'eau.

La SARL Ibrahim et fils IFRI est une société à caractère industriel spécialisé dans la production des eaux minérales et des boissons diverses, contribue au développement du secteur agro-alimentaire, créé en 1986 par les fonds propres d'Ibrahim Laid sous le nom limonadière Ibrahim. Dix ans plus tard, en 1996, elle fut transformée en SNC (société au nom collectif) avant d'adopter le statut SARL (société à responsabilité limitée) composée de plusieurs associés.

IFRI est présente dans plus d'une dizaine de pays, son marché principal est l'Algérie suivi de près par la France, l'Angleterre, l'Espagne, l'Italie, l'Allemagne, la Belgique, le Luxembourg, le Soudan, le Canada et les émirats arabes unis.

I.1.2.1 Organigramme d'IFRI

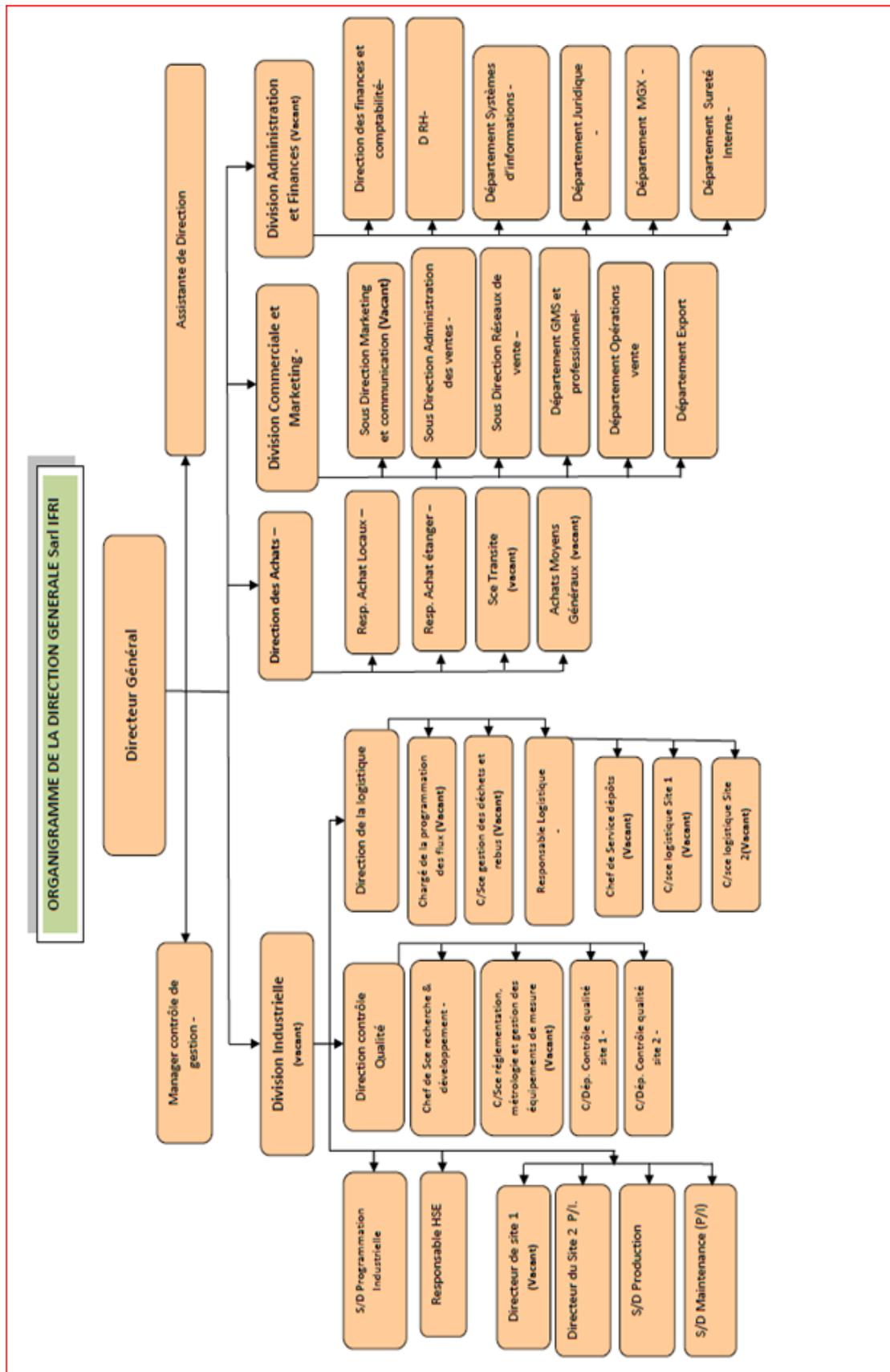


FIG. I.2 : Organigramme de la SARL IFRI[39]

I.1.2.2 Missions et principales activités du groupe IFRI

La société travaille 24/24 heures avec des lignes de productions automatisées et équipées des systèmes de contrôle de qualité de dernière génération dans toutes les étapes et les phases de production. Grâce aux options technologiques qui ont prévalu lors du choix des équipements de production et de contrôle, IFRI accroît sans cesse ses capacités.

En 2010, la production de l'entreprise a franchi les 536 millions de bouteilles, l'équivalent de 503 millions de litres.[39]

Elle veille au respect des normes d'hygiène, de sécurité et environnementales les plus strictes afin de diversifier sa gamme de production à savoir :

- L'eau minérale naturelle ;
- L'eau minérale gazéifiée ;
- Les sodas ;
- Les boissons fruitées ;
- Les boissons fruitées au lait ;
- L'huile d'olive extra vierge ;
- Préformes en PET et bouchons en PEHD.

Le groupe IFRI s'efforce de diversifier sa gamme de produits tout en veillant à maintenir des normes de qualité élevées et à répondre aux besoins changeants du marché.

I.1.3 Service Hygiène, Sécurité et Environnement

Chez IFRI la sécurité au travail doit être la priorité de chacun, l'encadrement doit donner l'exemple au quotidien et influencer le comportement sécuritaire de tous. Leur principe : la sécurité est l'affaire de tous pour réaliser l'ambition d'avoir 0 accidents. [39]

I.1.3.1 Objectifs

- Zéro accident fatal.
- Réduire les accidents de travail de 50 % chaque année.

I.1.3.2 Missions

- Faire évoluer la culture sécurité au sein de la société IFRI.
- Rendre les risques visibles et les traiter en priorité.
- Faire de la sécurité un indicateur de performance. Sensibiliser et former 100 % des salariés aux risques industriels.

- Prioriser la sécurité des personnes aux impératifs business quand le risque est avéré.
- Identifier et faire connaître tous les risques au poste de travail à tout le personnel, clients et partenaires.

I.1.3.3 Organigramme du service d'Hygiène Santé et Environnement

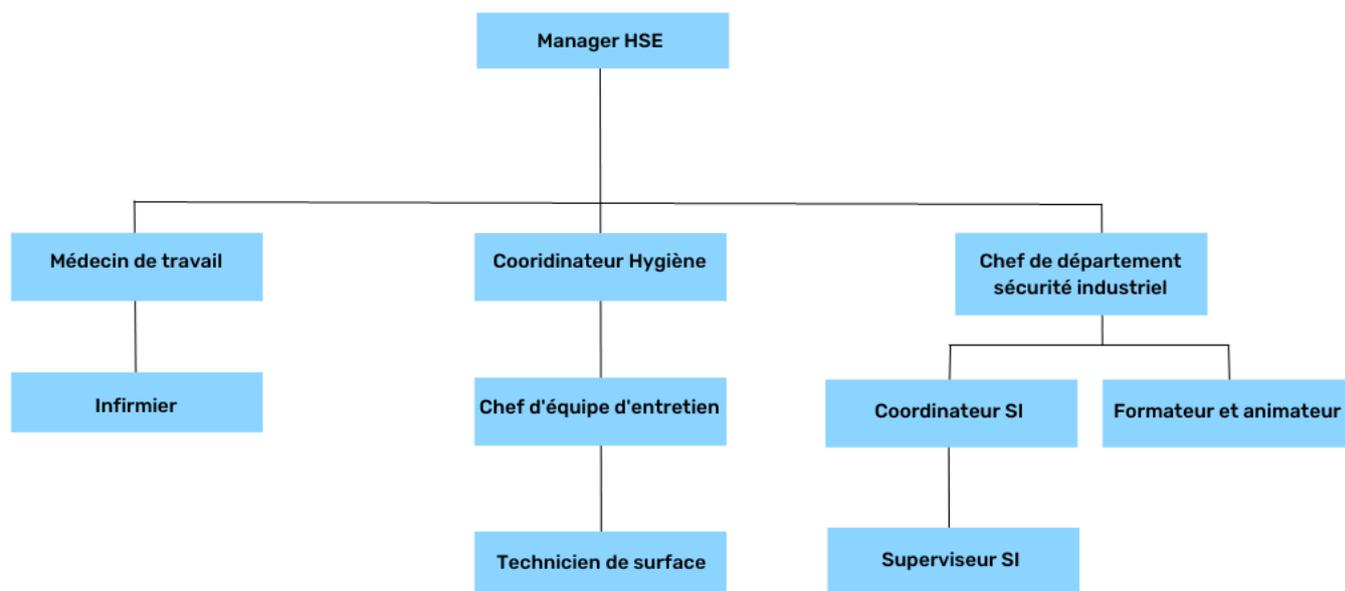


FIG. I.3 : Organigramme générale HSE[39]

I.1.4 Présentation de l'unité d'étude

I.1.4.1 Situation géographique [39]

La SARL IFRI est une société industrielle dans l'agroalimentaire, spécialisé dans le domaine de l'eau minérale et de boissons diverses. Elle se situe à IGHZER AMOUKRANE, à 50 km de la ville de Bejaia et à 170 km de la capitale Alger.

I.1.4.2 Délimitation de la zone

- Au sud : Ex gare ferroviaire Ighzer Amoukrane.
- Au nord : Oued Ighzer Amoukrane.
- À l'est : Oued Soummam.
- À l'ouest : Route Nationale 26.



FIG. I.4 : Image satellite de la Sarl ifri

I.1.4.3 Fiche signalétique

- Raison sociale : SARL IFRI Ibrahim et fils.
- Siège social : Ighzer Amokrane IFRI 06231, Bejaia, Algérie.
- Téléphone : 00213 34 35 12 66 / 034 10 17 a 19
- Fax : 00213 34 35 12 32
- Email : ifri@ifri-dz.com
- Site internet : <http://www.ifri-dz.com>
- Bureau de liaison Alger : lit n°77, Domain ben Haddad Saïd Chéraga, Alger.
- Téléphone : +213 20 36 26 26 Fax : + 213 21 36 27 27
- Capital : 1.293.000.000.00 DA
- Art. D'imposition N° : 066360646615
- Nombre du personnel : 1222 salariés.

I.1.4.4 Produits

Dans le tableau I.1, vous pouvez trouver les différents types d'eau minérale produits par IFRI, le type d'emballage (bouteilles en verre ou en PET) ainsi que les volumes correspondants.[39]

TAB. I.1 : Produits d'eau minérale d'IFRI avec leurs types et volumes

Type d'eau	Produit	Volume (L)
Eau minérale	Bouteilles en verre	1
Eau minérale	Bouteilles en verre	0.5
Eau minérale	Bouteilles en verre	0.25
Eau minérale	Bouteilles en PET	1
Eau minérale	Bouteilles en PET	0.5
Eau minérale	Bouteilles en PET	0.33
Eau minérale	Bouteille PET SPORT	0.5
Eau minérale	Bouteille PET KIDS	0.33
Eau minérale	Bouteille PET pour AIR ALGÉRIE	0.33
Eau minérale pétillante	Bouteilles PET	1
Eau minérale pétillante	Bouteilles PET	0.33
Eau minérale pétillante	Bouteilles en verre	1
Eau minérale pétillante	Bouteilles en verre	0.25

I.2 Mise en contexte

Le bruit en milieu de travail est une nuisance qui génère des conséquences graves sur la santé des travailleurs. Après une exposition cumulée de plusieurs années, il peut causer des atteintes auditives à différentes échelles de gravité, on cite, par exemple, la surdité professionnelle, qui est l'une des maladies professionnelles les plus coûteuses. Le bruit peut également favoriser la survenue d'accidents en couvrant les sons par un danger imminent ou en masquant des signaux d'avertissement. [6] [2]

Les industries les plus touchées par les nuisances sonores sont le commerce, l'agriculture et l'industrie. En effet, 61% des actifs en poste dans le commerce sont touchés par la gêne du bruit. Selon un sondage Ipsos, entreprise de sondages française, les agriculteurs (71%) et les ouvriers (70%) sont les plus touchés par le bruit au travail. Les ouvriers de l'industrie et de la construction sont également touchés, avec un taux de 68%. [26][27]

Les nuisances sonores en milieu de travail sont un problème de santé publique à l'échelle internationale. Selon le Centre de contrôle et de prévention des maladies (CDC) des États-Unis, environ 22 millions de travailleurs sont exposés chaque année à des niveaux de bruit potentiellement dangereux. L'Organisation Internationale du Travail (OIT) a également identifié le bruit comme l'un des risques professionnels les plus courants dans le monde. Les réglementations sur le bruit en milieu de travail varient d'un pays à l'autre, mais de nombreux pays ont adopté des lois pour protéger la santé auditive des travailleurs. Les employeurs doivent réduire l'exposition au bruit par des moyens techniques, administratifs ou en fournissant des dispositifs de protection auditive. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) recommande que les niveaux d'exposition au bruit ne dépassent pas 70 dB sur une période de 24 heures et 85 dB sur une *period* de travail pour éviter les troubles de l'audition.[16][36]

En dépit de la lacune dans nos recherches concernant les nuisances sonores dans les milieux de travail en Algérie, il existe cependant une réglementation pour la protection

contre les nuisances sonores (*voir II.3.2.3*). Les nuisances sonores ne se limitent pas aux milieux de travail en Algérie, mais elles sont également un problème de santé publique dans la vie quotidienne, notamment en raison de la circulation automobile et des interactions humaines. Il est à signaler que les conséquences des nuisances sonores sur les salariés peuvent aussi inclure des incompréhensions avec le management, des tensions au sein des équipes et de l'agressivité dans les échanges.[31][26][34][19]

Longtemps considéré comme une conséquence inévitable d'industrialisation, le bruit est un agresseur très présent en milieux de travail. Cependant en Algérie, l'évaluation de ce risque paraît aujourd'hui mal appréhendée dans la plupart des entreprises. C'est le cas de l'industrie agroalimentaire où il constitue un contaminant important en effet les usines agroalimentaires sont souvent caractérisées par des équipements de production tels que les machines de remplissage, les convoyeurs, les mélangeurs et les systèmes de conditionnement, qui génèrent un niveau élevé de bruit. En plus de ces machines, d'autres sources de bruit peuvent inclure les compresseurs d'air, les systèmes de refroidissement et les véhicules de manutention et de transport. [9]

Chez Ifri, les lignes de production fonctionnent 24 heures sur 24, avec des machines automatisées. Ce qui fait que cette activité industrielle intensive entraîne une exposition élevée au bruit pour les opérateurs travaillant sur les postes de contrôle et de production. Les machines, les convoyeurs et les compresseur sont parmi les principales sources de bruit sur le site d'IFRI. Il est essentiel de connaître les niveaux de bruit existants et d'analyser leurs impacts potentiels sur la santé des travailleurs, afin de mettre en place les mesures de prévention et de protection adéquates.

I.3 Problématique

L'usine IFRI est un acteur majeur dans l'industrie de l'eau minérale en Algérie. Avec une volonté constante d'évolution et d'innovation, IFRI cherche à diversifier sa gamme de produits et à élargir ses horizons de distribution grâce à des stratégies de marketing avancées. Cependant, cette expansion entraîne également une augmentation de la production, ce qui engendrera en conséquence des niveaux de bruit plus élevés dans l'environnement de travail.

IFRI accorde une importance primordiale à la sécurité et à la santé de ses opérateurs. Lors de leur formation initiale en matière de sécurité dès leur embauche, ils sont informés des risques liés aux nuisances sonores présentes dans leur environnement de travail et se voient fournir des équipements de protection individuelle par leurs responsables. Cependant, la production continue et efficace de l'eau minérale qui nécessite la présence d'opérateurs à proximité des lignes de production pendant de longues périodes implique une exposition excessive à des niveaux sonores importants.

Dans le but d'accorder une attention particulière aux risques de nuisances sonores présents en permanence dans l'environnement de travail, il a été décidé d'entreprendre des efforts afin d'évaluer et de mesurer les niveaux sonores auxquels les opérateurs sont

exposés durant leurs heures de travail. Nous avons choisi de concentrer notre étude sur une seule ligne de production spécifique, celle des petites bouteilles en PET pour les boissons, nommée CSD, ce choix s'est justifié par plusieurs facteurs, notamment le fait que la ligne CSD présente un nombre d'arrêts réduit et un fonctionnement continu. Cette caractéristique est essentielle pour garantir un échantillonnage représentatif et fiable de notre étude. Cette approche permettra de mesurer les niveaux de bruit spécifiques à cette ligne et d'identifier les sources de bruit particulières qui y sont présentes. En comprenant les sources de bruit et les zones à risque, nous pourrons mettre en place des mesures appropriées pour minimiser l'impact sonore, améliorant ainsi les conditions de travail et réduisant l'impact sur l'opérateur.

Ainsi, les questions que nous posons pour résoudre cette problématique sont les suivantes :

- Quelles sont les principales sources de bruit présentes sur la ligne et qui sont les opérateurs qui y sont exposés ?
- Comment évaluer ces différentes sources ?
- Quelle est la stratégie d'échantillonnage la plus appropriée pour mesurer les niveaux sonores dans la ligne de production CSD de l'usine IFRI ?
- Comment déterminer les différents postes de travail à échantillonner dans la ligne ?
- Quels sont les critères à prendre en compte pour l'échantillonnage, tels que la période de la journée, la durée d'exposition, l'emplacement des opérateurs, etc. ?
- Quelles méthodes sont les plus appropriées pour analyser les données résultantes de nos mesures ?
- Comment exploiter les résultats de notre analyse de données afin d'identifier les solutions les plus adéquates pour prévenir et préserver la santé de la population ciblée ?

Il est donc primordial de mettre en place une méthodologie pour répondre à ces interrogations et comprendre les besoins en terme de santé et sécurité des opérateurs travaillant dans des conditions à exposition élevée sur la ligne de production choisie.

I.3.1 Objectifs

I.3.1.1 Généraux

L'objectif de cette étude est de fournir une évaluation précise des niveaux sonores sur les différents postes de travail de la ligne CSD et de proposer des solutions pour réduire leurs expositions. Pour ce faire, il est essentiel de choisir une stratégie d'échantillonnage adéquate qu'on va présenter dans la prochaine section, qui permettra d'obtenir des résultats représentatifs et fiables.

I.3.1.2 Spécifiques

- Déterminer les machines et les postes de travail qui génèrent les niveaux de bruit les plus élevés.
- Mesurer les niveaux de bruit et calculer les niveaux équivalents par poste dans la ligne de production CSD de l'usine IFRI.
- Analyser les résultats de nos mesures afin de déterminer les paramètres les plus importants sur lesquels il sera primordial d'agir.
- Proposer des mesures de prévention et de protection pour réduire les niveaux de bruit et minimiser l'impact sur la santé et la sécurité des opérateurs.

I.4 Méthodologie

La méthodologie utilisée dans cette étude vise à évaluer et contrôler les niveaux sonores auxquels sont exposés les opérateurs dans l'usine IFRI, en se concentrant initialement sur la ligne de production CSD de petites bouteilles en PET. Cette approche nous permettra d'obtenir des données précises et spécifiques à cette ligne, tout en ouvrant la possibilité d'une généralisation progressive vers les autres lignes d'IFRI. Dans cette section, nous présenterons la méthodologie générale adoptée, ainsi que la stratégie de mesurage appliquée.

I.4.1 Enquête préliminaire des situations de travail

Dans cette partie, l'objectif est de comprendre le processus de production, le fonctionnement des machines, les différents postes d'opérateurs, les tâches spécifiques effectuées par les opérateurs, les durées et fréquences de chaque tâche, ainsi que les zones où ils opèrent. Ci-dessous une explication détaillée de ces éléments :

- **Processus de production** : Il s'agit d'analyser comment la ligne de production est organisée, depuis le début jusqu'à la fin. Cela inclut l'identification des différentes étapes, des flux de matériaux et des interactions entre les machines et les opérateurs.

- **Fonctionnement des machines** : Cette partie consiste à examiner chaque machine utilisée dans le processus de production. Il est important de comprendre leur rôle et leur fonctionnement afin de pouvoir évaluer le bruit qu'elle émettent.

- **Description des différents postes de travail** : Il est nécessaire d'identifier les différents postes d'opérateurs sur la ligne de production. Chaque poste peut avoir des caractéristiques différentes, des responsabilités spécifiques et des interactions avec les machines qui diffèrent d'une zone à une autre.

- **Tâches spécifiques effectuées par les opérateurs** : en analysant les différents postes de travail nous identifiera les tâches spécifiques que les opérateurs effectuent. Cela peut inclure des actions manuelles, des contrôles qualité, des réglages de machines, etc. Il est important de documenter ces tâches de manière précise et exhaustive.

- **Durées et fréquences des tâches** : Nous estimerons la durée moyenne de chaque tâche effectuée par les opérateurs. Cela permettra de comprendre le temps alloué à chaque

activité et d'identifier le niveau d'exposition au bruit durant chaque tâche.

- Il est à noter que pour recueillir ces informations, différentes méthodes vont être utilisées, telles que l'observation directe sur le terrain, les entretiens avec les opérateurs et les chefs de ligne et la collecte de données existantes.

I.4.2 Stratégie de mesure

Dans cette partie, nous allons présenter les différentes méthodes d'évaluation du bruit, depuis l'évaluation sommaire jusqu'au mesurage normalisé. Nous allons ensuite nous attarder sur la méthode de mesurage normalisé, telle que décrite dans la norme NF EN ISO 9612 (2009). Cette méthode est considérée comme référentiel à notre mesurage de l'exposition au bruit sur le lieu de travail. Nous allons citer les différentes étapes du mesurage normalisé, depuis la préparation du plan de mesure jusqu'à l'analyse des résultats.[25]

I.4.2.1 Estimation sommaire

Lorsqu'aucune donnée n'est disponible afin d'évaluer le niveau de risque auditif, une estimation initiale sommaire est recommandée afin d'avoir une idée d'ensemble sur la situation et cela commence par des observations et des tests de communication dans les différents postes de travail où il est souhaitable de faire l'évaluation.(voir tableau I.2)

TAB. I.2 : Critères des tests de communication

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 1 m 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 m de distance.	Niveau 0 = certitude d'absence de risque

I.4.2.2 Évaluation simplifiée du risque (système de pointage)

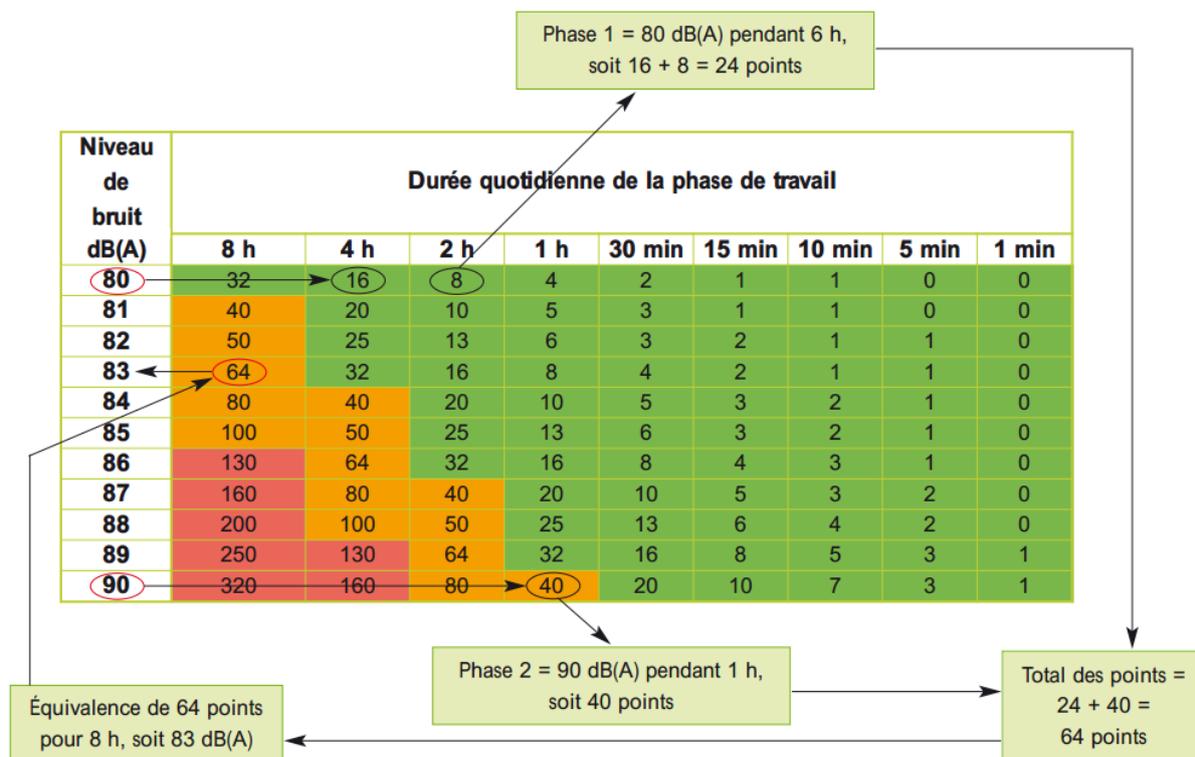
L'évaluation simplifiée est une méthode pour évaluer l'exposition au bruit dans des situations de travail où l'exposition quotidienne peut être divisée en différentes phases distinctes avec des niveaux de bruit et des durées spécifiques. Cette méthode nécessite une estimation du niveau de bruit et de la durée pour chaque phase bruyante afin d'estimer l'exposition totale au bruit et de classer les phases en fonction de leur contribution à l'exposition globale.

L'évaluation simplifiée peut également être utilisée si une variable caractéristique, telle que le niveau de bruit ou la durée quotidienne, est inconnue, imprécise ou difficile à évaluer. Dans ce cas, en fixant un critère de risque spécifié, cette méthode permet d'indiquer la valeur maximale de la variable inconnue compatible avec le respect du critère de risque.

Cependant, cette méthode reste « simplifiée » et ne fournit pas une estimation précise de l'exposition au bruit, contrairement à la méthode normalisée qui nécessite des calculs

plus complexes mais est plus précise. De plus, dans des situations proches des seuils d'actions réglementaires de 80 et 85 dB(A), l'évaluation simplifiée peut être insuffisante pour conclure au dépassement (ou non-dépassement) des seuils d'actions, et une mesure d'exposition au bruit selon la méthode normalisée sera nécessaire. (voir tableau I.3)

TAB. I.3 : Calcul des points d'exposition[25]



I.4.2.3 L'interprétation

Des critères d'interprétation basés sur des valeurs indicatives sont proposés ci-dessous, mais il convient de noter que ces valeurs peuvent comporter une marge d'erreur, qui peut être élargie en fonction de l'appréciation des cas individuels. (voir tableau I.4)

TAB. I.4 : Table d'interprétation [25]

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

I.4.2.4 Mesurage normalisé

Le mesurage normalisé est utilisé dans les situations où l'évaluation simplifiée ne fournit pas une estimation précise de l'exposition au bruit, en particulier lorsque la marge d'erreur peut être critique pour garantir le respect des seuils d'actions réglementaires. Le mesurage normalisé est également recommandé dans les situations où l'exposition au bruit est complexe et peut varier considérablement au cours de la journée ou entre les jours.

La norme NF EN ISO 9612 (2009) définit la méthode de mesurage des niveaux de bruit dans l'environnement et elle établit quatre étapes successives pour la mise en œuvre de cette méthode. Voici ces quatre étapes :

1. Analyser le travail ;
2. Sélectionner une des trois stratégies de mesure ;
3. Planifier et réaliser les mesures ;
4. Calculer et présenter les mesures.

I.4.2.5 Mesurage par tâche

Pour le mesurage de l'exposition au bruit sur le lieu de travail, il existe trois méthodes courantes : la méthode par métier, la méthode par tâche et la méthode par journée entière. La méthode par métier consiste à mesurer le niveau de bruit moyen pour chaque type de travail effectué sur le site, tandis que la méthode par tâche consiste à mesurer le niveau de bruit pour chaque tâche individuelle effectuée par un travailleur. Enfin, la méthode par journée entière consiste à mesurer le niveau de bruit pendant l'ensemble d'une journée de travail.

Dans cette étude, conformément aux recommandations de la norme NF EN ISO 9612 (2009), le choix de la méthode a été déterminé en utilisant une approche basée sur la figure I.5, qui fournit des recommandations en fonction des caractéristiques spécifiques du travail. Cette démarche repose sur une enquête préliminaire sur le terrain afin de mieux comprendre la population ciblée par l'évaluation. Suite à cette enquête, il a été observé que la population étudiée est principalement engagée dans des tâches de nature simple à faible complexité. De plus, ces travailleurs occupent des postes de travail fixes donc sur la base de ces constatations, la méthode d'évaluation est sélectionnée en se référant à la table mentionnée. Cette approche assure une adéquation entre la méthode d'évaluation et les caractéristiques spécifiques du travail, ce qui nous a permis d'aborder le mesurage par tâche comme stratégie d'évaluation de l'exposition au bruit.

I.4.3 L'échantillonnage

Après avoir identifié la stratégie de mesurage la plus adéquate pour nos situations de travail, nous nous concentrons maintenant sur la phase expérimentale de notre échantillonnage. Dans cette étape, nous prévoyons de réaliser des mesures sur quatre journées consécutives afin d'évaluer les niveaux sonores auxquels les quatre équipes, équivalent de vingt opérateurs, travaillant dans la ligne de production sont exposées. L'objectif de l'échantillonnage est d'enregistrer les niveaux de bruit auxquels les opérateurs sont exposés durant la réalisation de leurs différentes tâches.

On a choisi de répartir les mesures sur les trois périodes de travail, à savoir le matin, l'après-midi et la nuit, afin d'obtenir une vision complète des niveaux sonores tout au long de la journée. Cette approche permettra de prendre en compte les variations potentielles des niveaux sonores en fonction des horaires de travail et des différentes activités de production spécifiques à chaque période.

Pendant les journées d'échantillonnage, nous réaliserons des mesures en utilisant la méthode définie précédemment, en effectuant plusieurs échantillonnages d'une durée suffisante pour obtenir des données représentatives et fiables. Nous veillerons à ce que les mesures soient prises dans des conditions similaires d'utilisation des machines et d'activités de production pour chaque équipe, afin d'assurer une comparabilité des résultats.

I.4.4 L'analyse des données

Afin d'évaluer les résultats issus de l'échantillonnage, nous utiliserons deux méthodes d'analyse de données. Tout d'abord, nous appliquerons l'Analyse en Composantes Principales (ACP) pour visualiser les corrélations entre nos différentes tâches et les périodes de la journée. Ce qui nous permettra d'identifier les tendances dans nos données par rapport aux trois *shifts*. Ensuite, nous utiliserons la méthode du *clustering K-means* pour classer les tâches en fonction de leurs niveaux sonores et les regrouper par ordre de criticité. Cela nous aidera à prioriser les actions en nous concentrant sur les tâches les plus critiques en premier.

I.4.5 L'Analyse en Composantes Principales (ACP)

I.4.5.1 Historique

L'analyse en composantes principales (ACP) trouve ses origines dans un article de Karl Pearson publié en 1901[33], où le père du test du χ^2 étend ses travaux sur la régression et les corrélations entre plusieurs variables. Pearson utilise ces corrélations non seulement pour expliquer une variable à partir des autres (comme en régression), mais aussi pour décrire et résumer l'information contenue dans ces variables.

Cependant, c'est dans les années 1930 que l'ACP est formalisée par Harold Hotelling[22], un économiste et statisticien américain. Il développe ensuite l'analyse canonique des corrélations, qui est une généralisation des analyses factorielles incluant l'ACP.

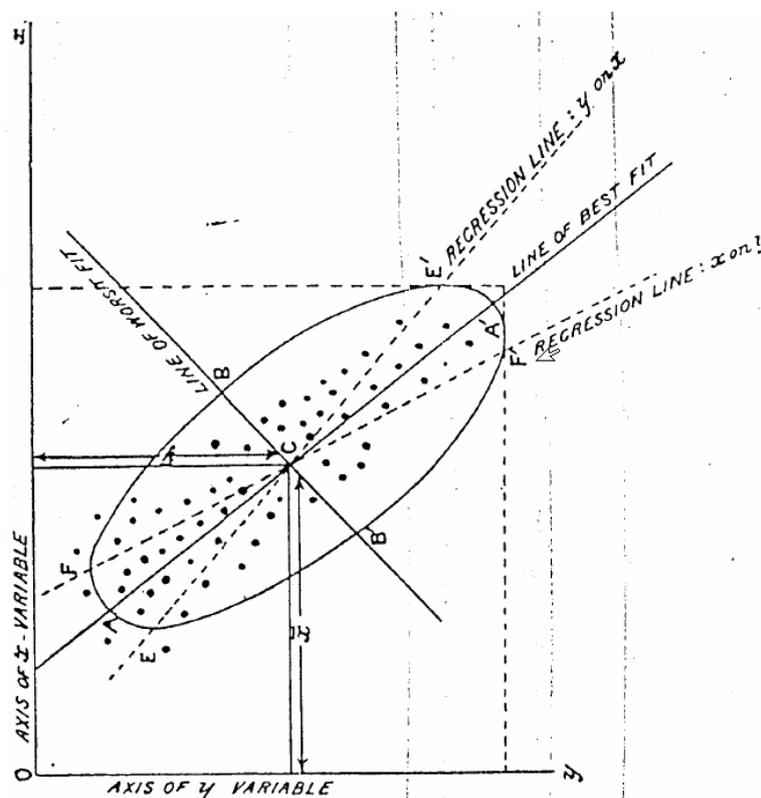


FIG. I.6 : Distribution gaussienne multivariée [33]

I.4.5.2 Notions et définitions

L'ACP est une méthode largement utilisée dans le domaine de l'analyse des données pour explorer et résumer des ensembles de mesures. Dans le contexte spécifique de l'analyse des mesurages des niveaux sonores, l'ACP offre un outil puissant pour comprendre la structure des données et identifier les sources de variation significatives.[4]

En appliquant l'ACP aux données de mesurages des niveaux sonores, nous pouvons extraire les composantes principales qui capturent l'essentiel de la variabilité dans les mesures. Ces composantes principales représentent des combinaisons linéaires des variables de mesure des niveaux sonores et permettent de découvrir les relations sous-jacentes entre ces variables.

L'interprétation des résultats de l'ACP nous permettra de visualiser les relations entre les variables de mesure des niveaux sonores, dans notre cas les différentes *shifts*. Cette compréhension approfondie de la variabilité des données sonores en fonction des *shifts* de la journée sera ensuite utilisée pour prendre des décisions éclairées dans le choix des mesures à mettre en place.

Notion d'individu et de caractère

Lors de l'analyse des données, l'ensemble des individus peut provenir d'un échantillonnage dans une population ou de la population entière.[4]

Pour décrire un individu "i", nous utilisons un vecteur dans l'espace des réels, noté

TAB. I.5 : Exemple de données pour l'ACP

Individu	Variable 1	Variable 2	Variable 3
Individu 1	X_{11}	X_{12}	X_{13}
Individu 2	X_{21}	X_{22}	X_{23}
Individu 3	X_{31}	X_{32}	X_{33}
...
Individu N	X_{N1}	X_{N2}	X_{N3}

R^P , où P représente le nombre de variables. Ce vecteur est défini comme suit :

$$X_i = \{X_{ij}/j = 1 \text{ à } P\} \quad (\text{I.1})$$

Chaque terme X_{ij} est un nombre réel qui représente la mesure de la variable X_j sur l'individu i . Ainsi, nous pouvons représenter chaque individu par un ensemble de valeurs correspondant à différentes variables mesurées.

Il est important de noter que, même si les individus doivent être homogènes, les variables peuvent être hétérogènes. Cela signifie que les variables peuvent représenter des caractéristiques différentes et variées, mais elles sont toutes mesurées sur les mêmes individus.[21] La variable (ou caractère) "j" est décrite par un vecteur dans l'espace des nombres réels, noté R^N , de la manière suivante :

$$X_j = \{X_{ij}/i = 1 \text{ à } N\} \quad (\text{I.2})$$

Chaque terme X_{ij} représente la valeur de la variable j pour l'individu i . Lorsqu'on étudie un individu, nous observons un certain nombre de caractères, également appelés variables, qui représentent généralement des paramètres intervenant dans un phénomène complexe.

I.4.5.3 Présentation des données

Les données dans le contexte de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) sont généralement représentées sous forme de tableau où les individus sont les lignes du tableau et les variables sont les colonnes. Chaque cellule du tableau contient la valeur de la variable pour l'individu correspondant. (Dans notre cas les lignes sont les différents tâches réalisées par les opérateurs, et les individus sont les *shifts*.) (voir I.5)[4]

Chaque X_{ij} représente la valeur de la variable j pour l'individu i . Le tableau peut contenir autant de variables et d'individus que nécessaire en fonction de la taille de l'échantillon.

On vise à projeter les données dans un nouvel espace, appelé l'espace des composantes principales, où chaque dimension est une combinaison linéaire des variables initiales. Les individus sont représentés par des points dans cet espace, et la proximité entre les points indique leur similarité en termes de profils de variables.

En utilisant cette représentation géométrique, nous pouvons visualiser les individus, les variables et les relations entre eux. Par exemple, les individus similaires en termes de leurs caractéristiques auront tendance à être regroupés dans l'espace des composantes principales, tandis que les variables ayant des corrélations élevées se trouveront dans des directions similaires.

I.4.5.4 Objectifs

L'objectif de l'ACP est le suivant

- Avoir une corrélation entre les variables grâce à une représentation des données brutes et fournir des outils simples et lisibles.
- Essayer d'examiner les liens existants entre les variables afin de faciliter leur interprétation.
- Essayer de réduire au maximum le nombre de dimensions étudiées tout en gardant l'ensemble original et en utilisant les relations détectées entre les variables.

I.4.5.5 Application de l'Analyse en Composantes Principales (ACP)

Voici un résumé des étapes générales pour l'application de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) :

Étape 1 : Standardisation des données

- Calcul de la moyenne de chaque variable.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (\text{I.3})$$

- Calcul de l'écart-type de chaque variable.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (\text{I.4})$$

- Standardisation des données en soustrayant la moyenne et en divisant par l'écart-type de chaque variable.

$$X_{\text{standardisé}} = \frac{X - \bar{X}}{\sigma} \quad (\text{I.5})$$

Étape 2 : Calcul de la matrice de covariance

- Calcul de la covariance entre chaque paire de variables.

$$\text{cov}(X_i, X_j) = \frac{\sum_{k=1}^n (X_{ik} - \bar{X}_i)(X_{jk} - \bar{X}_j)}{n - 1} \quad (\text{I.6})$$

- Calcul de la variance de chaque variable.

$$\text{var}(X_i) = \frac{\sum_{k=1}^n (X_{ik} - \bar{X}_i)^2}{n - 1} \quad (\text{I.7})$$

Étape 3 : Calcul des vecteurs propres et des valeurs propres

- Décomposition de la matrice de covariance en utilisant une méthode appropriée (par exemple, la décomposition en valeurs singulières).

$$C = U\Sigma V^T \quad (\text{I.8})$$

- Obtention des vecteurs propres (ou axes principaux) et des valeurs propres correspondantes.

$$\text{valeurs propres, vecteurs propres} = \text{eig}(C) \quad (\text{I.9})$$

Étape 4: Sélection des composantes principales

- Classement des valeurs propres dans l'ordre décroissant.

$$\text{valeurs propres triées} = \text{trier}(\text{valeurs propres}, \text{ordre} = \text{décroissant}) \quad (\text{I.10})$$

- Choix du nombre de composantes principales à retenir en fonction de critères tels que la proportion de variance expliquée.

$$\text{pourcentage de variance expliquée} = \left(\frac{\text{valeurs propres triées}}{\sum \text{valeurs propres}} \right) 100 \quad (\text{I.11})$$

Étape 5: Calcul des composantes principales

- Multiplication des données standardisées par les vecteurs propres correspondant aux composantes principales retenues.

$$\text{composantes principales} = X_{\text{standardisé}} \text{vecteurs propres} \quad (\text{I.12})$$

Étape 6 : Tracer les nuage de points

Étape 7 : Interprétation des résultats :

- Analyse des valeurs propres pour déterminer la proportion de variance expliquée par chaque composante principale.
- Représentation graphique des individus et des variables dans le plan.
- Interprétation des relations entre les variables et les individus à partir des positions dans le plan et des corrélations entre les variables.

I.4.5.6 Résultats de l'application

L'Analyse en composantes principales met à notre disposition trois résultats nécessaires à notre interprétation, et qui sont [4] :

- Un tableau de vecteurs et valeurs propres.
- Un tableau de corrélation des individus avec les axes factoriels.
- Un tableau de corrélation des variables avec les axes principaux.

I.4.6 Le *clustering* en *K-means*

I.4.6.1 Définition

Le problème de regroupement est courant dans divers domaines tels que la reconnaissance de formes et l'apprentissage automatique. Il vise à trouver des groupes homogènes de points de données dans un ensemble donné, chacun de ces groupes est appelé un *cluster* et peut être défini comme une région dans laquelle la densité d'objets est localement plus élevée que dans les autres régions. L'algorithme le plus utilisé est celui des k-moyennes, qui minimise l'erreur de regroupement en calculant la distance entre chaque point et son centre de *cluster*. Dans la pratique, l'algorithme des k-moyennes avec plusieurs redémarrages est souvent utilisé pour obtenir de meilleurs résultats.[29]

Étant donné un ensemble de points (x_1, x_2, \dots, x_n) , Nous cherchons à partitionner les n points en k ensembles $S = S_1, S_2, \dots, S_k$ (où $k \leq n$) de manière à minimiser l'erreur, qui est définie comme la distance entre les points à l'intérieur de chaque partition.[4]

$$\operatorname{argmin} \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in S_i} \|x_j - \mu_i\|^2 \quad (\text{I.13})$$

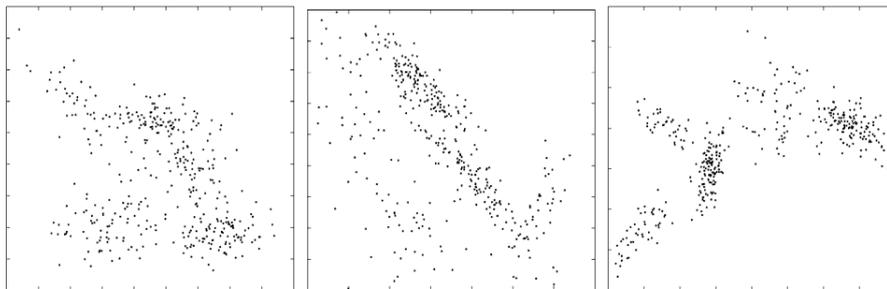


FIG. I.7 : Exemples d'ensembles de données bidimensionnelles[29]

I.4.6.2 Algorithme[4]

Entrée

Ensemble de N données, noté par x

Nombre de groupes souhaité, noté par k

Sortie

Une partition de K groupes C_1, C_2, \dots, C_k

Début

- Initialisation aléatoire des centres C_k ;

Répéter

- Affectation : générer une nouvelle partition en assignant chaque objet au groupe dont le centre est le plus proche :

$$x_i \in C_k \text{ si } \forall_j |x_j - \mu_k| = \min |x_i - \mu_j| \quad (\text{I.14})$$

Avec μ_k le centre de la classe K ;

- Représentation : Calculer les centres associés à la nouvelle partition;

$$\mu_k = \frac{1}{N} \sum_{x \in C_k} x \quad (\text{I.15})$$

Jusqu'à convergence de l'algorithme vers une partition stable ;

Fin

I.4.6.3 Avantages de K-means :

On peut citer les avantages suivants [4] :

- Un algorithme simple à utiliser et facile à comprendre
- Applicable à un grand nombre de données
- Réduit l'erreur quadratique

I.4.6.4 Inconvénients

- Le nombre de classe doit être fixé au départ.
- Ne détecte pas les données bruitées.
- Le résultat dépend de tirage initial des centres des classes.
- Les *clusters* sont construits par rapports à des objets inexistantes (les milieux)
- N'est pas applicable en présence d'attributs qui ne sont pas du type intervalle (Bradley, 1998).

I.4.7 Interprétation et recommandations

Dans la dernière étape de notre méthodologie, l'interprétation des résultats et la formulation de recommandations, après l'analyse des données collectées et l'identification des principaux problèmes qui concernent le bruit et d'exposition des opérateurs. Cette phase permettra de tirer des conclusions significatives à partir des informations recueillies et de formuler des recommandations pratiques pour améliorer la situation dans l'environnement de travail.

Après avoir présenté l'entreprise et défini le contexte global, la problématique et les objectifs, nous nous sommes penchés sur les différentes étapes et méthodes d'analyse de données qui seront appliquées tout au long de cette étude. Ci-dessous un schéma résumant les différents étapes citées.



FIG. I.8 : Méthodologie

Avant d'entrer dans le détail de la résolution de la problématique, il est important de clarifier certaines définitions, notions et référentiels nécessaires à sa compréhension. Nous allons les exposer dans le prochains chapitre.

Chapitre I

Notions et définitions

Chapitre II

Notions et définitions

Afin de pouvoir mener la gestion des risques liés aux nuisances sonores dans la ligne de production ciblée, il nous a fallu en premier comprendre qu'est ce que le bruit, quel type de contaminant représente-il dans le milieu de travail, comment le mesurer et comment agir sur celui-ci. Dans ce chapitre, parlerons dans un premier temps de l'hygiène au travail puis nous présenterons les différentes définitions et notions qui ont servi d'outils et de référentiels dans cette étude.

II.1 Risques industriels

Les risques industriels, qu'ils soient majeurs ou professionnels, sont un sujet d'actualité et de préoccupation dans de nombreux secteurs de l'industrie. En effet, les activités industrielles peuvent engendrer des conséquences potentiellement graves sur l'environnement, la santé humaine, ainsi que sur la sécurité des travailleurs et des populations avoisinantes. Dans ce qui suit, nous examinerons de manière globale les risques industriels, en abordant leurs définitions, leurs causes et leurs conséquences. Nous illustrerons également ces concepts à l'aide d'exemples concrets, mettant en évidence les défis auxquels sont confrontées les industries modernes.[35]

II.1.1 Risques majeurs

Les risques industriels majeurs, tels que les explosions, les incendies, les fuites chimiques, les déversements de matières dangereuses, peuvent avoir des conséquences catastrophiques sur l'environnement et la santé publique. Ces incidents peuvent causer des pertes humaines, des dégâts matériels considérables, ainsi que des impacts sur les écosystèmes et les communautés locales. Par exemple, l'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl en 1986 a eu des répercussions mondiales, provoquant des contaminations radioactives durables, des déplacements de population et des impacts importants sur la santé des personnes touchées.[23]

II.1.2 Risques professionnels

Les risques professionnels liés à la sécurité des travailleurs sont également préoccupants dans le contexte industriel. Les employés des industries sont souvent exposés à

des conditions de travail dangereuses, telles que des machines puissantes, des produits chimiques toxiques, des environnements confinés, et des tâches répétitives, pouvant entraîner des accidents du travail, des maladies professionnelles, et des atteintes à la santé physique et mentale des travailleurs.[40]

Il est important de noter que les risques industriels ne sont pas seulement le résultat d'accidents, mais peuvent également être liés à des erreurs de conception, des défauts de fabrication, des négligences dans la maintenance, ainsi que des lacunes dans la formation et la supervision des travailleurs. Les facteurs humains, techniques, organisationnels, ainsi que les pressions économiques et les enjeux réglementaires sont autant de variables qui peuvent influencer la survenue de risques industriels.

Ce qui fait qu'il soit essentiel de reconnaître l'importance des risques industriels et de prendre en compte les multiples dimensions de ce problème complexe. Il est important de sensibiliser les acteurs industriels, les travailleurs ainsi que le grand public, sur les enjeux liés aux risques industriels et de promouvoir des approches préventives et responsables pour minimiser ces risques. La gestion des risques industriels est un enjeu capital pour garantir la sécurité des travailleurs, protéger l'environnement et assurer la durabilité des activités industrielles dans le contexte actuel de développement économique et technologique.

II.2 Hygiène du travail

II.2.1 Définitions

L'International Occupational Hygiene Association en donne la définition suivante : "L'hygiène du travail est la discipline qui anticipe, reconnaît, évalue et contrôle les risques pour la santé dans le cadre du travail, dans le but de protéger la santé et le bien-être des travailleurs et de sauvegarder la communauté au sens large."

L'hygiène du travail ou L'hygiène industrielle, est également décrite comme une science et un art voués à la reconnaissance, à l'évaluation et au contrôle, dans le milieu de travail, des facteurs ou contraintes de l'environnement susceptibles de provoquer chez le travailleur une maladie industrielle, d'altérer sa santé et son bien-être physique ou de créer chez lui un état significatif d'inconfort ou d'inefficacité.[11]

L'hygiène du travail met en œuvre des moyens scientifiques et technologiques pour prévenir les effets néfastes sur la santé causés par l'environnement dans lequel les travailleurs opèrent. Elle aide les employeurs et les employés à comprendre les risques et à améliorer les conditions et les méthodes de travail. Vu les évolutions technologiques permanentes et l'apparition dans les entreprises et la société de nouveaux risques pour la santé, l'hygiène du travail est un domaine dans lequel les défis sont permanents, et un métier avec des activités très variées. [8]

II.2.2 Statistiques

L'Organisation internationale du travail (OIT) estime que les accidents et les maladies liés au travail font chaque année 2 millions de victimes et coûtent à l'économie mondiale un montant estimé à 1,25 mille milliards de dollars (1,25 trillion).

L'OIT estime également que les maladies et accidents liés au travail coûtent jusqu'à 10 % du produit intérieur brut en Amérique latine et entre 2,6 % et 3,8 % dans l'Union européenne.

On estime qu'entre 2 et 6 % des cancers sont liés au travail et qu'environ 20 000 décès par cancer et 40 000 nouveaux cas de cancer chaque année aux États-Unis sont attribuables à la profession.[5]

II.2.3 Contaminants et agresseurs dans le milieu de travail

II.2.3.1 Contaminant

"Une matière solide, liquide ou gazeuse, un micro-organisme, un son, une vibration, un rayonnement, une chaleur, une odeur, une radiation ou toute combinaison de l'un ou l'autre généré par un équipement, une machine, un procédé, un produit, une substance ou une matière dangereuse et qui est susceptible d'altérer de quelque manière la santé ou la sécurité des travailleurs." [30]

II.2.3.2 Facteur de risque, agresseur, contaminant

"Agent physique, chimique, biologique ou ergonomique auquel est associé un risque pour la santé, la sécurité ou l'intégrité physique du travailleur ; Nous disons en anglais : "risk factor", "stress". [13]

II.2.3.3 Matière dangereuse

"Une matière qui, en raison de ses propriétés, constitue un danger pour la santé, la sécurité ou l'intégrité physique d'un travailleur". [30]

II.2.3.4 Niveau d'exposition

"Le niveau (instantané ou moyen) de mesure de la quantité d'une substance ou d'une énergie dans l'environnement du travailleur ; cette mesure est effectuée ou extrapolée sur une période d'intérêt : instantanée, quinze minutes, huit heures." [13]

II.2.3.5 Dose d'exposition

Quantité d'une substance ou d'une énergie absorbée par kilogramme de masse corporelle ; ne pas confondre avec le niveau d'exposition ; le niveau de dose est une évaluation, une estimation de la dose d'exposition.[17]

II.2.3.6 Norme d'exposition

”Niveau d'exposition suggéré comme guide pour réduire la probabilité d'apparition du risque, du danger associé à l'exposition à un contaminant, agresseur, facteur de risque ; ce niveau est suggéré pour une période d'intérêt selon le mode d'apparition du risque , du danger : instantanée (plafond) , quinze minutes, huit heures habituellement ; lorsque ce guide est spécifié dans une réglementation , il s'agit d'une norme d'exposition réglementée.”[13]

II.2.3.7 Catégories de contaminants

- Contaminants chimiques
- Contaminants physiques
- Contaminants biologiques Les contaminants chimiques, physiques et biologiques agissent surtout sur la santé des travailleurs.
- Contaminants psycho-sociaux Les contaminants psycho-sociaux affectent autant leur santé que leur sécurité.
- Contaminants mécaniques Plus spécifiques, les agresseurs mécaniques provoquent surtout des lésions localisées chez les travailleurs qui s'y exposent.[11]

II.3 Contaminant physique : le Bruit

En milieu de travail, l'exposition au bruit à des niveaux de pression acoustique élevés et pendant un nombre important d'heures est considéré comme une source de danger qui peut avoir plusieurs impacts sur l'employé et sur le déroulement de ses tâches au travail. Cette exposition peut entraîner une perte auditive, créer un stress physique et psychologique, réduire la productivité, interférer avec la communication et contribuer à l'apparition d'incidents et d'accidents.

II.3.1 Bruit et ses définitions

II.3.1.1 Un son

”Défini comme étant toute variation de pression dans un solide, un liquide ou un gaz qui peut être détectée par l'oreille humaine.” [7]

II.3.1.2 Un bruit

”Le bruit est un phénomène acoustique produisant une sensation auditive considérée comme désagréable ou gênante. Ses propriétés acoustiques sont mesurables mais son impact peut varier sensiblement d'une personne à une autre.”[7]

II.3.1.3 Propriétés du son

Dans cette section, nous allons explorer les différentes propriétés physiques du son, telles que sa fréquence, son amplitude, la période, la longueur d'onde.[24]

- **La fréquence (f)** Le nombre de fois par seconde que la pression sonore oscille entre une valeur positive et une valeur négative. (1 cycle/seconde = 1 Hertz)
- **L'amplitude (A)** Correspond à la variation maximale de pression sonore atteinte par rapport à la pression atmosphérique.
- **La période (T)** Correspond au temps (en seconde) requis pour compléter un cycle complet de variation de pression. ($T = \frac{1}{f}$)
- **La longueur d'onde (l)** Correspond à la distance(en mètre) requise pour compléter un cycle complet de variation de pression. ($l = \frac{c}{f}$) tel que c : la vitesse de propagation du son dans l'air = 340 m/s).

II.3.1.4 Spectre acoustique

Un son est caractérisé par un niveau sonore pour chaque fréquence. Pour étudier un bruit, d'une manière approfondie, il est nécessaire d'analyser l'ensemble du spectre. L'analyse spectrale par fréquence est trop fine et ne permet pas une lecture efficace. Afin de simplifier l'analyse, le spectre est découpé en bandes de fréquences appelées des octaves(*voir tableau II.1*). Le principe étant d'obtenir des bandes de largeur relative constante $\Delta f/f$ correspondant au processus de l'audition humaine. Une octave correspond au doublement de la fréquence.[10]

TAB. II.1 : Fréquences des bandes d'octaves[10]

Bandes d'octaves utilisées en acoustique (Hz)							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000

II.3.1.5 Spectre audible

"c'est l'ensemble des fréquences sonores pouvant être perçues par un être humain. Conventionnellement, dans le domaine fréquentiel, il s'étend de 20Hz à 20 kHz (20 000 Hz)."[37]

II.3.1.6 Unité de mesure

- **"Le décibel (dB)** Échelle logarithmique permettant de couvrir le large étendu de pression sonore audible (0,0002 à 20 Pa), variant entre 0 et 120 dB."[1]
- Le logarithme est l'exposant qu'il faut donner à la base pour obtenir le nombre :

$$\log_{10} 1000 = 3 \quad (\text{II.1})$$

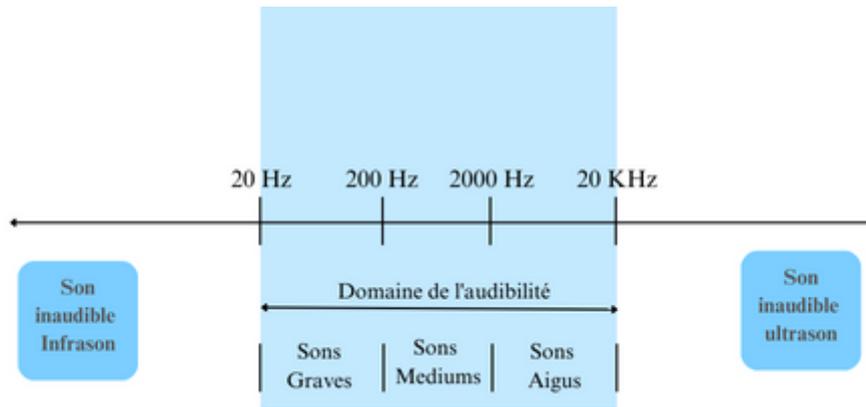


FIG. II.1 : Échelle d'audibilité[10]

II.3.1.7 Niveaux acoustiques

Dans cette section, nous allons présenter les différents niveaux acoustiques ainsi que la relation entre eux (Pression, intensité et puissance). Comprendre ces concepts est essentiel pour évaluer le niveau de bruit. [1]

- Niveau de pression acoustique L_p

La pression acoustique décrit la variation de la pression en présence d'une onde acoustique.

On la relie à la vitesse acoustique par :

$$P = \rho_0 \times c \times V = Z \times V \quad (\text{II.2})$$

où

- ρ_0 est la masse volumique de l'air,
- c : la célérité et Z l'impédance acoustique.[1]

Avec :

- $c = 340$ m/s,
- $\rho_0 = 1,176$ kg/m³
- V est le volume du milieu dans lequel se propage l'onde,
- Nous obtenons $Z \approx 400$ kg/m².s

$$L_p = 20 \log\left(\frac{P}{P_0}\right) \quad (\text{II.3})$$

En acoustique aérienne $P_0 = 20 \mu$ Pa

- Niveau d'intensité acoustique

Une source sonore met en mouvement de vibration l'air situé dans son voisinage. La source se caractérise par sa puissance acoustique (notée W). L'énergie de l'onde acoustique produite est caractérisée par l'intensité acoustique (notée I , unité W/m^2).

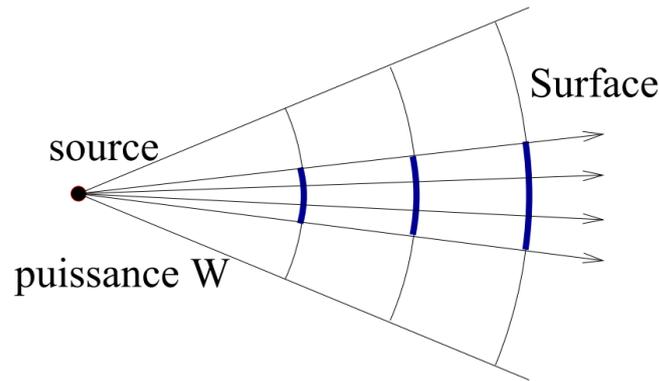


FIG. II.2 : Source ponctuelle agissante sur une surface

$$I = \frac{W}{S} = \frac{W}{2\pi r^2} \quad (\text{II.4})$$

Le niveau d'intensité acoustique permet de prendre en compte la variation de la sensation auditive avec l'intensité de. Il se définit comme :

$$L_i = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \text{ dB} \quad (\text{II.5})$$

En acoustique aérienne, $I_0 = 10^{-12} \text{W/m}^2$ valeur correspondant à l'ordre de grandeur d'intensité juste perceptible dans le domaine de fréquence où l'oreille est la plus sensible(ISO 131).

- Lien entre la pression acoustique et l'intensité acoustique :

$$I = \frac{W}{S} = \frac{FV}{S}$$

$$I = \frac{PSV}{S}$$

$$I = PSV$$

$$I = \frac{P^2}{Z}$$

$$L_i = 10 \log \left(\frac{I}{10^{-12}} \right) = 10 \log \left(\frac{P^2}{40010^{-12}} \right)$$

$$L_i = 10 \log \left(\frac{P^2}{(210^{-5})^2} \right) = 20 \log \left(\frac{P^2}{10^{-5}} \right)$$

$$L_i = L_p \quad (\text{II.6})$$

- Niveau de puissance acoustique

Correspond à l'énergie acoustique irradiée par une source sonore par unité de temps. (Notée Pa, Unité Watts).

$$L_{Pa} = 20 \log \left(\frac{P_a}{P_{a0}} \right) \text{ dB} \quad (\text{II.7})$$

P_{a0} : Puissance acoustique de référence, vaut 10^{-12} .

II.3.1.8 Addition des niveaux de pression acoustique

L'addition des niveaux de bruit ne se fait pas d'une manière directe, Nous devons tenir compte de l'échelle logarithmique de dB. Trois méthodes pour faire ce calcul[7] : La méthode de sommation rapide, la méthode graphique et la table d'addition.

- Méthode de sommation rapide - Théorique

Pour n sources :

$$L_{\text{tot}} = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (\text{II.8})$$

- Méthode graphique

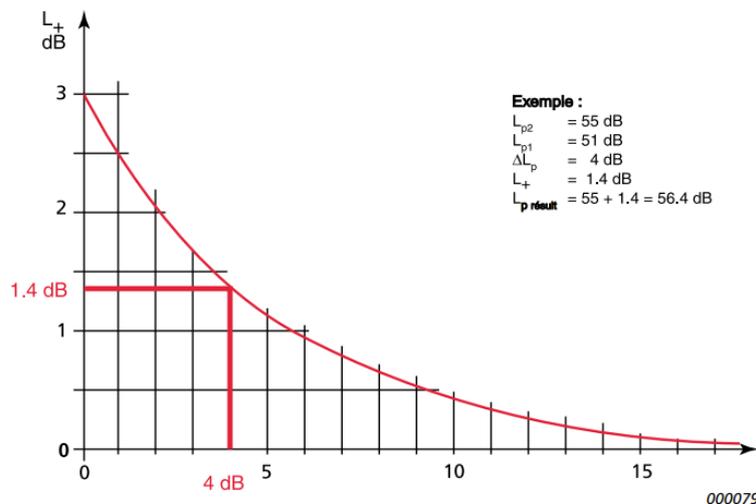


FIG. II.3 : Graphe de majoration des niveaux sonores additionnels[7]

Étapes : [7]

- Mesurer le niveau de pression acoustique SPL (Sound Pressure Level) associé séparément à chacune des sources (L_{p1}, L_{p2}).
- Calculer la différence (L) entre ces niveaux ($L_{p2} - L_{p1}$).
- Repérer cette valeur sur l'axe des abscisses, Nous remontons jusqu'au point d'intersection avec la courbe et Nous lisons la valeur correspondante sur l'axe des ordonnées.
- Ajouter la valeur en ordonnée ainsi obtenue (L_+) au niveau acoustique produit par la source la plus bruyante (L_{p2}) pour obtenir le niveau SPL combiné des deux sources.

Il est à noter que dans le cas d'un nombre de sources plus important, les étapes 1 à 4 doivent être répétées en utilisant la somme obtenue pour les premières sources et le SPL de chacune des sources supplémentaires.

Une différence nulle ($L = 0$) ramène au cas illustré précédemment où 3 dB ont été ajoutés au niveau produit par une source. Si la différence entre les deux niveaux est supérieure à 10 dB, la contribution de la source la moins bruyante peut être ignorée.

Table d'addition du bruit

Différence entre 2 niveaux ($L_2 - L_1$) en dB	Valeur à ajouter au niveau le plus élevé (A_j) en dB
0,0 à 0,1	3,0
0,2 à 0,3	2,9
0,4 à 0,5	2,8
0,6 à 0,7	2,7
0,8 à 0,9	2,6
1,0 à 1,2	2,5
1,3 à 1,4	2,4
1,5 à 1,6	2,3
1,7 à 1,9	2,2
2,0 à 2,1	2,1
2,2 à 2,4	2,0
2,5 à 2,7	1,9
2,8 à 3,0	1,8
3,1 à 3,3	1,7
3,4 à 3,6	1,6
3,7 à 4,0	1,5
4,1 à 4,3	1,4
4,4 à 4,7	1,3
4,8 à 5,1	1,2
5,2 à 5,6	1,1
5,7 à 6,1	1,0
6,2 à 6,6	0,9
6,7 à 7,2	0,8
7,3 à 7,9	0,7
8,0 à 8,6	0,6
8,7 à 9,6	0,5
9,7 à 10,7	0,4
10,8 à 12,2	0,3
12,3 à 14,5	0,2
14,6 à 19,3	0,1
19,4 à ∞	0,0

FIG. II.4 : Table d'addition des niveaux sonores[28]

Exemple :

1. $95 - 90 = 5dB \rightarrow 1,2dB$ (à partir du tableau)
2. $95 + 1,2 = 96,2dB$
3. $96,2 - 86 = 10,2 \rightarrow 0,4dB$ (à partir du tableau)
4. $96,2 + 0,4 = 96,6dB$

II.3.1.9 Réseau de pondération

Les courbes de pondération nous permettent de tenir compte de l'impression ressentie par l'oreille humaine en présence de bruit. [3]

- La sensation auditive varie avec la fréquence.
- Le niveau en dB ne tient pas compte de cette sensibilité .
- Nous corrigeons le niveau en tenant compte des courbes isosoniques (courbes de pondération).

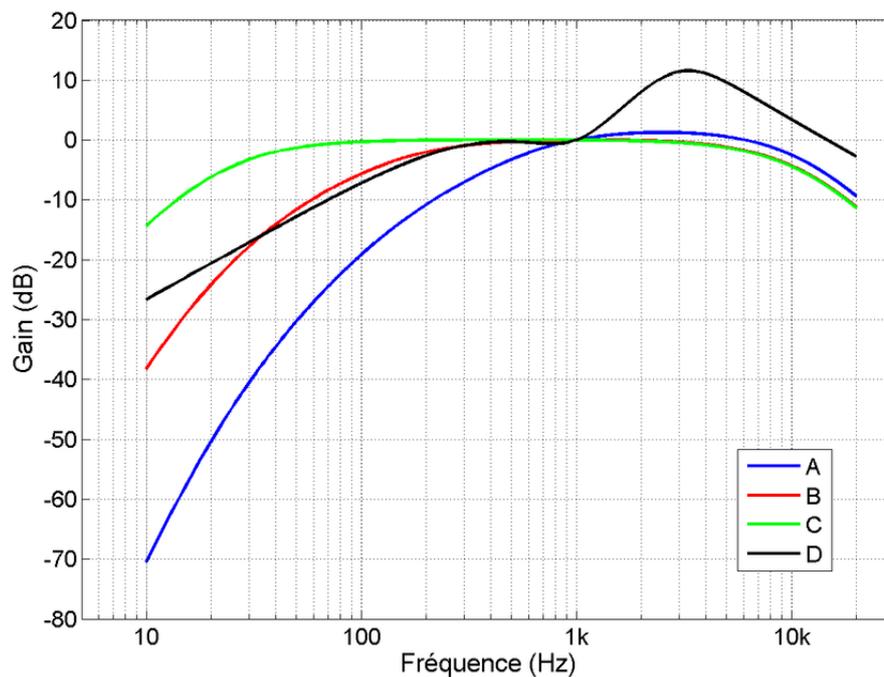


FIG. II.5 : Courbes de pondération fréquentielles[3]

Trois courbes de pondération : A, B, C.

- Pondération « A » correspond à la courbe de réponse de l'oreille à faible intensité (< 55 dB). Elle est la plus utilisée en industrie.
- Pondération « B » correspond aux niveaux moyens ($55 < L_{pa} < 88$ dB)
- Pondération « C » correspond à la courbe de réponse de l'oreille à des niveaux d'intensité élevés ($L_p > 85$ dB).
- Un réseau de pondération « D » est utilisé pour les bruits intenses (avion).[28]

Fréquence Hz	Pondération A dB	Pondération B dB	Pondération C dB
31,5	- 39,4	- 17,1	- 3,0
63	- 26,2	- 9,3	- 0,8
125	- 16,1	- 4,2	- 0,2
250	- 8,6	- 1,3	0
500	- 3,2	- 0,3	0
1 000	0	0	0
2 000	+ 1,2	- 0,1	- 0,2
4 000	+ 1,0	- 0,7	- 0,8
8 000	- 1,1	- 2,9	- 3,0
16 000	- 6,6	- 8,4	- 8,5

FIG. II.6 : Valeur de correction des niveaux de pression[28]

II.3.1.10 Courbe de pondération A

Cette pondération en fréquence du signal électrique de l'appareil de mesure est une simulation de la réponse de l'oreille humaine aux fréquences audibles. Elle se base sur la réponse isophonique à 40 dB. La lettre "A" est incluse aux symboles paramétriques (ex : L_{Aeq}) pour indiquer que les mesures ont été obtenues en appliquant cette pondération.[7]

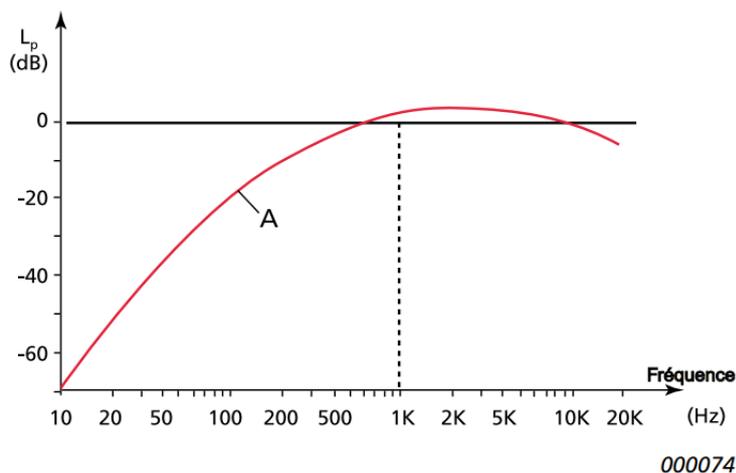


FIG. II.7 : Courbe de pondération A[7]

II.3.1.11 Types de bruit

Dans cette section, nous allons présenter les différents types de bruits qui peuvent affecter notre environnement. (Continue, intermittente et à caractère impulsionnel) Comprendre ces types de bruits est essentiel pour identifier les sources de pollution sonore et évaluer les impacts sur la santé et le bien-être des individus.[7]

- Bruit continu

Le bruit continu est un bruit généré par des machines fonctionnant sans interruption, toujours sur le même mode (ventilateurs, pompes, machines tournantes). Pour déterminer le niveau acoustique produit, il suffit de le mesurer quelques minutes avec un appareil tenu à la main.

- **Bruit intermittent**

Dans le cas de machines travaillant selon un cycle, le bruit croît puis décroît rapidement. Il peut être mesuré séparément pour chaque cycle comme pour un bruit continu, à condition d'en noter également la durée. La variation du niveau sonore lors du passage d'un véhicule ou d'un avion est appelée "événement sonore". Pour le quantifier, nous utilisons un paramètre qui combine niveau et durée par le biais d'un seul indicateur, le SEL, "niveau équivalent d'exposition". Le niveau de pression acoustique maximal est aussi utilisable. Plusieurs événements similaires peuvent être mesurés pour l'obtention d'une moyenne fiable.

- **Bruit à caractère impulsionnel**

Le bruit d'impacts ou d'explosions (pilonnage, estampage, coup de pistolet) est appelé un bruit impulsionnel. Bref, abrupt, son caractère saisissant crée plus de gêne que ne l'indiquerait une simple mesure de son niveau. Pour le quantifier, nous pouvons mesurer la différence entre un paramètre à réponse rapide et un paramètre à réponse lente (comme le montre le bas du graphique). Sa répétitivité (nombre d'impulsions par seconde, minute, heure ou jour) doit aussi être notée.

Le bruit d'impact est évalué en dB(linéaire), valeur crête, niveau de bruit global mesuré de telle sorte qu'aucune atténuation n'est apportée dans les différentes fréquences du spectre sonore. Pour son évaluation d'un bruit d'impact, nous utilisons un sonomètre avec fonction crête. Cette fonction consiste à retenir la plus haute pression sonore pendant un temps très court.

II.3.1.12 Conséquence de l'exposition au bruit

- **L'oreille humaine**[28]

L'oreille humaine, l'organe cible du bruit, se divise en trois parties distinctes qui travaillent en harmonie pour permettre l'audition et le maintien de l'équilibre.

- L'oreille externe est constituée du pavillon et du canal auditif. Son rôle principal est de capter les ondes sonores et de les diriger vers le tympan, qui agit comme une membrane vibrante.

- L'oreille moyenne abrite trois petits os, le marteau, l'enclume et l'étrier, également connus sous le nom d'osselets. Ces os transmettent les vibrations du tympan vers l'oreille interne, amplifiant ainsi le signal sonore.

- L'oreille interne comprend deux systèmes essentiels. Les canaux semi-circulaires sont responsables de la perception de l'équilibre et fournissent des informations sur l'orientation et les mouvements de la tête. La cochlée, quant à elle, joue un rôle crucial dans l'audition. Il s'agit d'un conduit enroulé rempli d'endolymphe, un liquide spécialisé. La membrane basilaire divise la cochlée sur toute sa longueur et contient les organes de Corti, comprenant environ 30 000 cellules ciliées auditives. Lorsqu'un son parvient à l'oreille interne, il stimule les organes de Corti, générant ainsi un influx nerveux qui se propage jusqu'à la région cérébrale responsable de la perception auditive.

La membrane basilaire présente une répartition spécifique des fréquences, où les sons graves exciteront les cellules ciliées proches de l'hélicotréma, tandis que les sons aigus stimuleront les cellules ciliées situées à l'extrémité opposée. Cette organisation permet une analyse précise des différentes fréquences sonores.

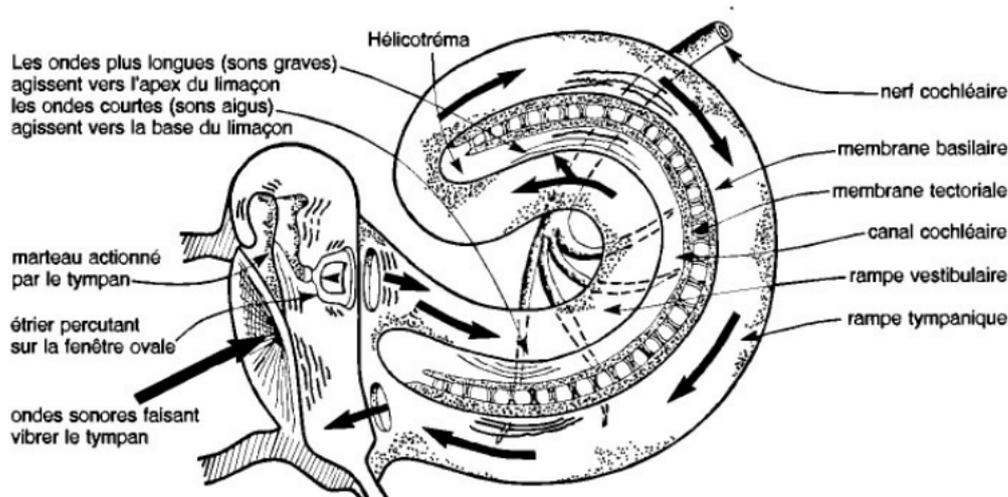


FIG. II.8 : Transmission du signal sonore à l'intérieur de l'oreille[28]

De longues expositions au bruit peut générer des effets indésirables sur la santé et la sécurité des opérateurs, Nous citons quelques éventuelles conséquences.[15]

- Effets sur la santé

L'exposition au bruit, de façon unique ou répétitive peut causer, entre autres :

- du stress ;
- de la fatigue ;
- de l'irritabilité ;
- des acouphènes.

L'exposition au bruit excessif peut aussi être la cause de maladies professionnelles, comme la surdité.

- Selon la durée et l'intensité de l'exposition, ces effets peuvent être temporaires ou permanents.

- Effets sur la sécurité

L'exposition au bruit peut réduire la concentration, la précision et l'attention. Ces effets peuvent accroître les risques d'accident du travail.

II.3.2 Références normatives et réglementaires

II.3.2.1 L'Organisation Mondiale de la Santé

Le tableau II.2 présente les directives de l'OMS établies selon les environnements spécifiques et les effets critiques sur la santé. Les directives considèrent tous les effets défavorables sur la santé identifiés pour un environnement spécifique.

Un effet défavorable dû au bruit se rapporte à tout déficit temporaire ou permanent du fonctionnement physique, psychologique ou social associé à l'exposition au bruit. Des limites spécifiques de bruit ont été fixées pour chaque effet sur la santé, en utilisant le

niveau le plus bas de bruit qui produit un effet défavorable sur la santé. Bien que les directives se rapportent aux niveaux sonores affectant le récepteur le plus exposé aux environnements énumérés, elles sont applicables à la population générale.

La base de temps pour L_{Aeq} pour la "journée" et la "nuit" est de 12-16 heures et de 8 heures, respectivement. Aucune base de temps n'est donnée pour les soirées, mais typiquement la valeur guide devrait être de 5 à 10 dB plus bas que celle de la journée. D'autres bases de temps sont recommandées pour les écoles, les jardins d'enfants et les cours de récréation, selon l'activité. [32]

TAB. II.2 : Directives de l'OMS [32]

Environnement spécifique	Effet critique sur la santé	L_{Aeq} [dB]	Base de temps [Heures]	L_{Amax}
Zone résidentielle extérieure	Gêne sérieuse pendant la journée et la soirée	55	16	-
Zone résidentielle extérieure	Gêne modérée pendant la journée et la soirée	50	16	-
Zones industrielles, commerciales, marchandes, de circulation, extérieur et intérieur	Perte de l'audition	70	24	110

II.3.2.2 Règlement sur la Santé et la Sécurité du Travail (RSST)

Dans ce qui suit nous présenterons un des référentiels de l'étude qui ont été utilisés pour l'évaluation de l'exposition professionnelle au bruit, en effet la réglementation québécoise offre des valeurs seuils en terme de temps maximum toléré pour des niveaux sonores identifiés et cela pour deux types de bruit : continu et d'impact.

- **Pour un bruit continu** : Dans un établissement, aucun travailleur ne doit être exposé aux niveaux de bruit continu prévus ci-dessous pendant une période de temps plus longue que celle qui est indiquée au tableau qui suit[38] :

Niveau de bruit (en dBA, dBA corrigés ou dBA équivalents)	Temps d'exposition* permis (h/jour)
85	16
86	13,9
87	12,1
88	10,6
89	9,2
90	8
91	7
92	6
93	5,3
94	4,6
95	4
96	3,5
97	3
98	2,6
99	2,3
100	2
101	1,75
102	1,50
103	1,3
104	1,2
105	1
106	0,9
107	0,8
108	0,7
109	0,6
110	0,5
111	0,45
112	0,4
113	0,35
114	0,30
115	0,25
>115	0

FIG. II.9 : Temps d'exposition permis pour un bruit continu[38]

- **Pour un bruit d'impact** : Dans un établissement, aucun travailleur ne doit être exposé à un bruit d'impact qui excède dans une journée le nombre indiqué au tableau qui suit[38] :

Niveau de bruit en dB linéaire valeur de crête	Nombre d'impacts permis (pendant 8 heures)
120	10 000
121	7 943
122	6 310
123	5 012
124	3 981
125	3 162
126	2 512
127	1 995
128	1 585
129	1 259
130	1 000
131	794
132	631
133	501
134	398
135	316
136	251
137	200
138	158
139	126
140	100
>140	0

FIG. II.10 : Temps d'exposition permis pour un bruit d'impact[38]

II.3.2.3 Législation Algérienne

II.3.2.4 Décret exécutif n°93-184 du 27 juillet 1993 réglementant l'émission des bruits

Le décret a été émis en réponse à une préoccupation croissante concernant les nuisances sonores générées par les activités industrielles en Algérie. Il vise à établir des limites d'émissions sonores pour les activités industrielles afin de protéger l'environnement et la santé publique.[14]

Art. 2. - Les niveaux sonores maximums admis dans les zones d'habitation et dans les voies et lieux publics ou privés sont de 70 décibels (70 DB) en période diurne (6 heures à 22 heures) et de 45 décibels (45 DB) en période nocturne (22 heures à 6 heures).

Art. 3.- Les niveaux sonores maximums admis au voisinage immédiat des établissements hospitaliers ou d'enseignement et dans les aires de repos et de détente ainsi que

dans leur enceinte sont de 45 décibels (DB) en période diurne (6 heures à 22 heures) et de 40 décibels (DB) en période nocturne (22 h à 6 h).

Art. 4. - Sont considérés comme une atteinte à la quiétude du voisinage, une gêne excessive, une nuisance à la santé et une compromission de la tranquillité de la population toutes les émissions sonores supérieures aux valeurs limites indiquées aux articles 2 et 3 ci-dessus.

Ces articles du décret établissent des limites d'émissions sonores pour les activités industrielles en fonction de la zone d'émission (urbaine, rurale) et de la période de la journée (jour, nuit).

II.3.3 Mesure du bruit

Dans cette section, nous allons aborder les différents appareils de mesure du bruit. Ces instruments sont essentiels pour évaluer l'exposition des travailleurs au bruit.

II.3.3.1 L'exposimètre ou le dosimètre

Le dosimètre est un appareil de mesure du niveau de pression sonore portatif pour mesurer l'exposition au bruit sur une période de temps donnée. Il est conçu pour être utilisé sur la personne et mesure continuellement le niveau de bruit auquel le travailleur est exposé tout au long de sa journée de travail.

Petit de taille, léger et facile à porter. Il est équipé d'un microphone qui capte le bruit ambiant et d'un afficheur qui permet au travailleur de suivre en temps réel les niveaux de bruit. Certains dosimètres peuvent également enregistrer et stocker les données de mesure pour une analyse ultérieure.

Le dosimètre est capable de mesurer et d'enregistrer divers paramètres, tels que le niveau de pression sonore en dB(A) ou dB(C), l'équivalent continu du niveau de pression sonore L_{eq} , la durée d'exposition au bruit, ainsi que d'autres indicateurs statistiques tels que le niveau de crête. Certains dosimètres peuvent également être programmés pour enregistrer les données de mesure à des intervalles de temps spécifiques, ce qui permet d'obtenir une évaluation précise de l'exposition au bruit sur une période donnée.([25])

II.3.3.2 Le sonomètre

Le sonomètre est un appareil de mesure du niveau de pression sonore qui est utilisé pour mesurer le bruit ambiant dans un environnement donné. Contrairement au dosimètre, il n'est pas porté par un individu, mais est généralement utilisé de manière ponctuelle pour mesurer le niveau de bruit dans une zone spécifique.

Petit de taille, portable et facile à utiliser. Il est équipé d'un microphone qui capte le son et d'un afficheur qui affiche les niveaux de bruit en temps réel. Certains sonomètres peuvent également enregistrer et stocker les données de mesure pour une analyse ultérieure.

Le sonomètre est capable de mesurer et d'afficher le niveau de pression sonore en

dB(A), dB(C), dB(Z) ou d'autres pondérations fréquentielles, ainsi que d'autres indicateurs statistiques tels que le niveau de crête. Certains sonomètres peuvent également être équipés de fonctionnalités avancées, comme la mesure du niveau de bruit impulsif, la mesure du temps de réverbération, ou la mesure du niveau de bruit dans différentes bandes de fréquences.[25]

II.3.4 Contrôler le bruit

Les moyens de réduction et d'élimination du bruit peuvent être classés en différentes catégories, notamment les méthodes techniques, administratives et organisationnelles.

- Les méthodes techniques comprennent l'utilisation de matériaux insonorisants, de barrières acoustiques, de silencieux et de technologies de réduction active du bruit.
- Les méthodes administratives concernent la réglementation du bruit, la planification de l'utilisation des terres, la conception de bâtiments et de routes, et la gestion du trafic.
- Les méthodes organisationnelles interviennent sur la formation des travailleurs, la rotation des tâches, la réduction des heures de travail et la mise en place de programmes de santé et de sécurité. Les différentes méthodes peuvent être combinées pour obtenir une réduction efficace du bruit.[12]

II.3.4.1 Élimination du bruit

Les méthodes d'élimination du bruit visent à supprimer complètement le bruit généré par les activités industrielles. Cependant, il convient de noter que l'élimination totale du bruit peut être difficile à réaliser dans certains contextes industriels. Voici quelques exemples de méthodes d'élimination du bruit :

- Remplacement des équipements bruyants : Cela peut impliquer le remplacement d'équipements bruyants par des équipements moins bruyants ou par des technologies alternatives qui produisent moins de bruit.
- Délocalisation des sources de bruit : Cela peut impliquer le déplacement des sources de bruit vers des zones éloignées des zones sensibles, comme les zones résidentielles ou les zones de travail.
- Modification des processus de production : Cela peut impliquer la reconfiguration des processus de production pour éliminer ou réduire les étapes génératrices de bruit, ou l'adoption de nouvelles méthodes de production moins bruyantes.

II.3.4.2 Réduction du bruit

Les méthodes de réduction du bruit visent à diminuer l'intensité du bruit généré par les activités industrielles sans l'éliminer complètement. Voici quelques exemples de méthodes de réduction du bruit :

- **Solutions techniques** : Cela peut inclure l'utilisation de matériaux d'insonorisation, de revêtements absorbants, de silencieux, de barrières acoustiques, de capots ou d'encoffrements pour les équipements bruyants, ainsi que la conception de machines et d'équipements moins bruyants.

- **Solutions organisationnelles** : Cela peut inclure l'aménagement des zones de production et des postes de travail de manière à minimiser les niveaux de bruit, la modification des horaires de travail pour limiter les périodes de production bruyante, la rotation des employés pour réduire l'exposition au bruit, et la formation et la sensibilisation des travailleurs aux bonnes pratiques en matière de gestion du bruit.

- **Solutions administratives** Cela peut inclure l'établissement de procédures et de protocoles de travail pour minimiser les niveaux de bruit, la mise en place de politiques de maintenance régulière des équipements pour éviter les émissions sonores excessives dues à un mauvais entretien, et la mise en œuvre de normes et de directives internes sur la gestion du bruit.

II.3.4.3 Avantages

- Assure la préservation des facultés auditives et diminue le nombre de travailleurs et de travailleuses atteints de surdité professionnelle ainsi que le degré de sévérité des pertes auditives ;
- Diminue les risques d'accident dans la mesure où les alarmes, les avertisseurs sonores, les bris d'équipement et les conversations sont plus faciles à percevoir et à distinguer ;
- Procure un environnement sonore moins agressant et moins stressant qui contribue à améliorer la motivation et le rendement du personnel ainsi que la performance globale de l'entreprise ;
- Contribue, grâce à un entretien préventif, à l'amélioration du rendement des machines et donc de la qualité des produits finis tout en permettant de réaliser des économies d'énergie, de matières premières et d'argent ;
- Diminue les coûts afférents aux dépenses effectuées pour préserver l'audition (achat de protecteurs auditifs, frais d'examsens audiométriques, etc.) ;
- Contribue à revaloriser l'image de l'entreprise ;
- Diminue le nombre de demandes d'indemnisation pour surdité professionnelle et les montants accordés à cet effet ;
- Réduit les frais d'expertise découlant de la contestation des dossiers de réclamation ;
- Contribue enfin à maintenir la qualité de vie du personnel et à réduire les coûts d'exploitation de l'entreprise.

A la fin de ce chapitre, on peut dire que nous avons cité les différents types de bruit, les moyens de mesure et les méthodes de contrôle associés et nous avons également abordé la réglementation en vigueur concernant le bruit.

Dans les prochains chapitres, nous appliquerons des différentes étapes de notre méthodologie. Nous mettrons en œuvre les techniques d'analyse de données pour résoudre la problématique soulevée et atteindre nos objectifs.

Chapitre II

Enquête sur les différents postes de travail

Chapitre III

Enquête sur les différents postes de travail

Dans le cadre de notre étude sur l'évaluation des nuisances sonores dans une ligne de production d'eau minérale, il est essentiel de réaliser une analyse préliminaire approfondie du milieu de travail. Cette analyse nous permettra de comprendre en détail les opérations effectuées, les machines utilisées, ainsi que les caractéristiques sonores et les différentes situations de travail auxquelles les opérateurs sont confrontés. Cela nous aidera à identifier les aspects clés de l'environnement de travail qui nécessitent une attention particulière.

La première partie de ce chapitre se concentrera sur l'enquête préliminaire du milieu de travail. Nous détaillerons chaque étape du processus de production, en décrivant les opérations spécifiques effectuées à chaque étape et les machines utilisées pour les réaliser. Nous porterons une attention particulière aux caractéristiques sonores des machines, en fournissant des informations sur le type de bruit émis et les niveaux sonores moyens en décibels (dB) . En outre, nous examinerons les différentes situations de travail auxquelles les opérateurs sont confrontés, en mettant en évidence les aspects sonores et en décrivant les mesures de prévention mises en place pour assurer la sécurité et le bien-être des travailleurs.

La deuxième partie est consacrée au mesurage par tâche pour chaque opérateur désigné. Nous aborderons la stratégie de mesurage, la technique de mesurage et présenterons les résultats obtenus lors du prélèvement des niveaux sonores dans les différents points de la ligne.

III.1 Enquête préliminaire du milieu de travail

L'enquête préliminaire du milieu de travail a pour objectif d'examiner les divers machines et processus présents dans la ligne CSD. Cette analyse initiale vise à appréhender les étapes clés du processus de production, ainsi que les caractéristiques et les niveaux sonores associés aux machines utilisées. L'objectif principal de cette enquête est d'acquérir une meilleure compréhension des différentes situations de travail et de définir les tâches spécifiques de chaque opérateur, ce qui revêt une importance capitale dans le cadre de notre démarche de mesurage par tâche planifiée.

III.1.1 Description du processus de production

Dans le plan d'ensemble du processus III.1, nous pouvons observer les différentes étapes qui se succèdent pour la fabrication des petites bouteilles en PET. Les flèches rouges symbolisent le déplacement continu de la matière première tout au long du processus, depuis son introduction jusqu'à sa mise en stockage.

III.1.1.1 La salle blanche

- **Étape de préformage** : L'élévateur de préformes est utilisé pour transférer les préformes PET à partir d'un bac de stockage vers la souffleuse. Les préformes sont des tubes creux de plastique qui seront ensuite étirés et soufflés dans la forme finale de la bouteille.

- **Étape de soufflage** : La souffleuse est composée d'un four et d'un compresseur d'air qui sont utilisés pour chauffer les préformes de bouteilles en plastique et les souffler dans la forme finale de la bouteille. Ce processus est appelé soufflage de préformes. Les bouteilles sont soufflées une par une et sont ensuite transférées directement vers l'étape suivante de remplissage et de bouchage.

- **Étape de remplissage et de bouchage** : Dans cette étape, les bouteilles sont remplies avec le liquide approprié, puis fermées à l'aide d'un bouchon. Les deux machines, le remplisseur et la boucheuse, travaillent simultanément en mouvement rotatif pour faciliter le transfert des bouteilles de l'une à l'autre. Cette étape est cruciale pour s'assurer que la bouteille est hermétiquement fermée et que le contenu ne sera pas contaminé.

III.1.1.2 L'étiquetage

- **Étape d'étiquetage** : Après avoir été remplies et bouchées, les bouteilles sont transférées sur des convoyeurs vers la machine suivante, l'étiqueteuse. Cette machine est utilisée pour coller les étiquettes sur les bouteilles. Les étiquettes contiennent des informations sur le produit telles que la marque, le type de produit, le logo de l'entreprise, etc.

- **Étape de détection de non-conformité** : À la sortie de la salle blanche, un détecteur de non-conformité est utilisé pour inspecter chaque bouteille avant qu'elle ne passe à l'étape suivante. Les bouteilles qui ne répondent pas aux normes de qualité sont automatiquement éjectées du convoyeur pour être retirées de la chaîne de production. Cela garantit que seules les bouteilles conformes et de qualité optimale sont livrées aux clients.

- **Étape de codage** : Les bouteilles passent ensuite par un datteur. Cet appareil est utilisé pour marquer chaque bouteille avec des détails de fabrication tels que la date de fabrication et la date de péremption. Les détails de codage sont imprimés sur les bouteilles à l'aide de jet d'encre.

III.1.1.3 La fardeleuse

- **Étape de fardeleuse** : Une fois que les bouteilles ont été codées, elles sont envoyées à la fardeleuse. Cette machine est programmée pour arranger les bouteilles en un groupe spécifique appelé fardeau. Le fardeau contient un nombre prédéfini de bouteilles qui est ensuite emballé avec un film en plastique.

- **Étape de poigneuse** : Après l'étape de fardeleuse et d'emballage, les fardeaux de bouteilles sont envoyés à la machine pour la mise en place du poignée, elle leur applique une étiquette sur le dessus. Cette étiquette est conçue pour permettre aux consommateurs de transporter facilement le fardeau.

III.1.1.4 La palettisation

- **Étape de palettisation** : Cette machine récupère les fardeaux sur les convoyeurs et les dispose sur des palettes selon un schéma prédéfini. Le palettiseur peut empiler les fardeaux sur plusieurs niveaux pour former une palette stable, en veillant à respecter les exigences de poids et de hauteur.

- **Étape de banderolage** : Une fois que la palette est complète, elle est dirigée vers la machine de banderolage qui applique une bande en plastique autour de la palette pour la sécuriser et la maintenir en place pendant le transport. La banderoleuse est généralement équipée de plusieurs rouleaux de film pour assurer une application uniforme de la bande sur la palette. Une fois que la palette a été banderolée, elle est transférée sur un chariot élévateur (ou clark) pour être transportée vers la zone de stockage de l'entrepôt.

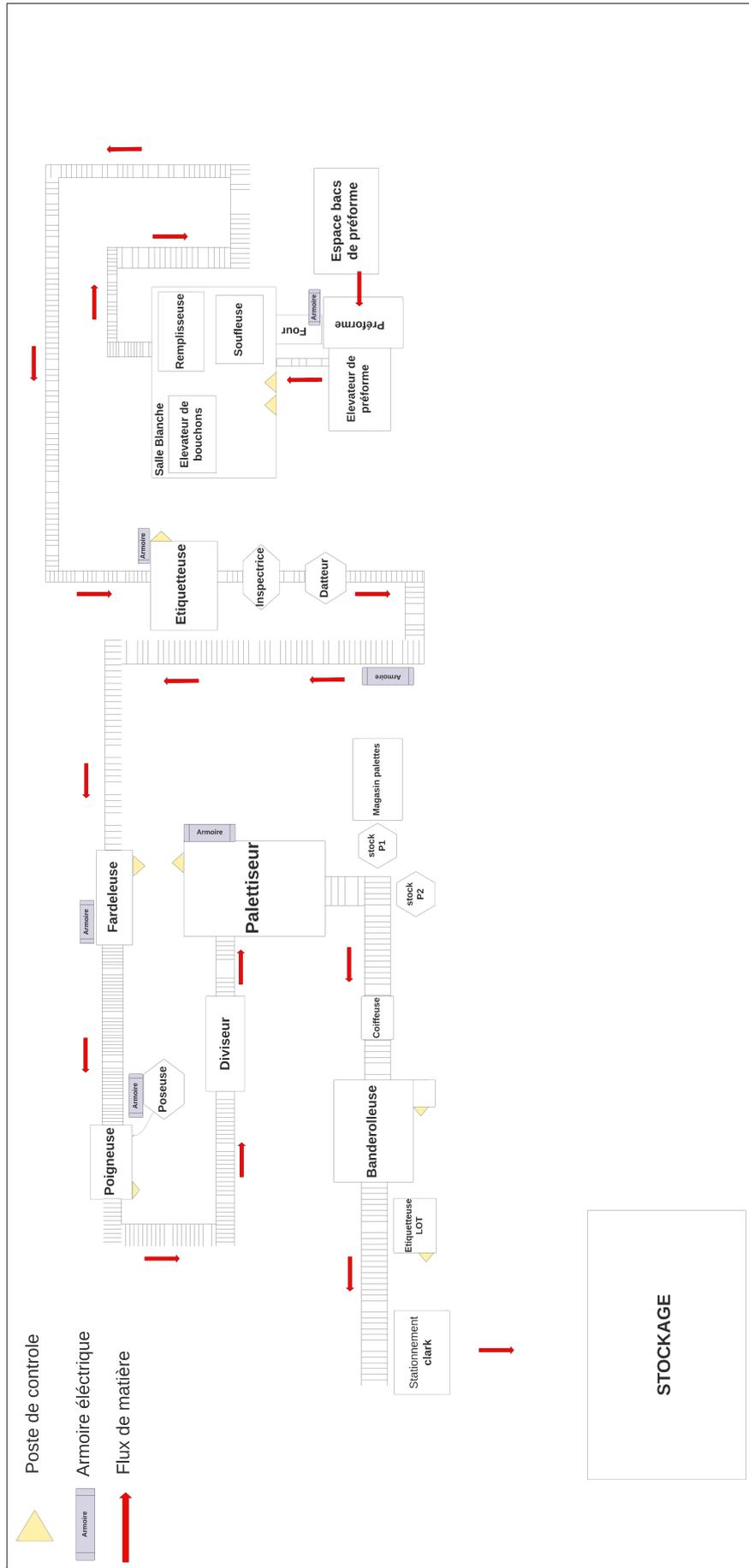


FIG. III.1 : Processus de production de bouteilles en PET (0.5L)

III.1.2 Description des machines

Ci-dessous, nous décrivons les différentes machines principales qui participent aux processus de production, ainsi que leur fonctionnement. Cette description nous permettra de mieux comprendre comment ces machines contribuent à la génération de bruit sur le lieu de travail. La figure III.1 illustre également leur position exacte.

III.1.2.1 L'élévateur de préforme

L'élévateur de préforme est une machine bruyante qui émet des sons continus pendant son fonctionnement 24 heures sur 24. Les préformes, d'un poids d'environ 30g chacune, sont réparties uniformément sur les bandes du convoyeur, et le bruit est généré lorsque l'élévateur déplace les préformes vers la bande qui va les acheminer vers la souffleuse.

Le niveau sonore mesuré à proximité de l'élévateur de préforme est de 89 dB en moyenne. Le son émis par l'élévateur de préforme est principalement de type continu, avec des variations de faible niveau intermittentes lorsqu'une préforme tombe d'une bande à l'autre.

III.1.2.2 La souffleuse

La souffleuse est la machine qui transforme les préformes en bouteilles en soufflant de l'air comprimé à l'intérieur de la préforme. Elle est équipée d'un système qui déplace les préformes depuis la transporteuse de préformes jusqu'à la zone de soufflage. La souffleuse émet un bruit de 93 dB en moyenne lors de son fonctionnement, avec des pics de bruit pouvant atteindre 95 dB lors du déclenchement du compresseur.

III.1.2.3 La remplisseuse

La remplisseuse est la machine qui est responsable du remplissage des bouteilles avec l'eau. Elle est composée de plusieurs têtes de remplissage et d'un convoyeur de bouteilles. Les bouteilles sont transportées par le convoyeur jusqu'aux têtes de remplissage, qui remplissent chaque bouteille avec un volume DE 0.5 L d'eau. La vitesse de remplissage est réglée pour garantir une production de bouteilles uniforme. Le bruit émis par la remplisseuse est principalement un bruit de fond continu provenant du fonctionnement des pompes et des moteurs électriques, 90 dB en moyenne.

III.1.2.4 Le bouchage

La machine de bouchage est un équipement utilisé pour sceller les bouteilles remplies. Les bouteilles sont acheminées vers les têtes de bouchage, où chaque bouteille est fermée hermétiquement à l'aide d'un bouchon en plastique. Afin de maintenir une production de bouteilles homogène, la vitesse de bouchage est régulée en fonction des besoins. Le bruit émis par la machine de bouchage est principalement continu et provient du mouvement des têtes de bouchage lorsqu'elles descendent pour sceller chaque bouteille, 89 dB en moyenne. Il est important de souligner que cette machine fonctionne de manière continue et travaille en parallèle avec la remplisseuse.

III.1.2.5 L'étiquetteuse

L'étiquetteuse est la machine qui colle des étiquettes sur les bouteilles. le processus de mise en place de l'étiquette sur la bouteille est facilité par le mouvement rotationnel de cette dernière. La bouteille est positionnée de manière à tourner autour de son axe central pendant que l'étiquetteuse applique l'étiquette. Ce mouvement rotatif permet d'assurer une distribution uniforme de la colle et une fixation précise de l'étiquette sur la surface de la bouteille.

Le mouvement des différentes parties de l'étiquetteuse génère un bruit continu et régulier d'environ 89 dB. Le bruit peut varier en fonction de la vitesse à laquelle la machine fonctionne et de la taille des étiquettes appliquées. Il peut également y avoir des bruits de cliquetis lorsque les étiquettes sont chargées dans la machine et que les rouleaux les distribuent sur les bouteilles.

III.1.2.6 La fardeleuse

La fardeleuse est une machine automatisée qui a pour fonction d'assembler les bouteilles pour former des fardeaux avant de les emballer. Elle est équipée de plusieurs actionneurs tels que des vérins pneumatiques et des moteurs électriques qui permettent de réaliser des mouvements en haut et en bas, ainsi que des déplacements dans des sens précis pour agencer les bouteilles de manière optimale.

Au niveau sonore, la fardeleuse émet principalement un bruit continu, généré par les mouvements des actionneurs. En général, le niveau sonore moyen est d'environ 80 à 85 dB.

III.1.2.7 La poigneuse

La poigneuse est une machine composée de plusieurs éléments. Tout d'abord, elle est équipée de rouleaux qui permettent le transfert des étiquettes vers la machine, on nomme cette partie la poseuse. Le mouvement est continu et régulier. Ensuite, il y a un dispositif de coupe qui permet de séparer les étiquettes individuelles en unités. Ce dispositif produit un bruit continu à faible variation. En moyenne, le niveau sonore émis par la poigneuse est d'environ 85 dB.

III.1.2.8 Le palettiseur

La machine palettiseur se compose de deux machines principales : l'empileur de fardeaux et la machine de transfert de palettes. L'empileur de fardeaux dispose d'un système de contrôle qui gère les mouvements de haut en bas pour placer les fardeaux sur la palette. La machine dispose également d'un système qui aligne les fardeaux avant de les placer sur la palette. Lorsque la première couche de fardeaux est empilée, un bras va chercher un intercalaire et le place sur la première couche pour que la deuxième ligne puisse être empilée.

La machine de transfert de palettes est responsable du transfert des palettes vides vers la zone où la palette est construite. Elle dispose d'un système de transport qui prend les palettes vides d'un bac et les transfère vers l'espace de constitution de la palette. Le bruit

émis par la machine palettiseur est continu, 85 dB en moyenne.

III.1.2.9 La banderoleuse

La banderoleuse est une machine qui permet de regrouper et de maintenir en place les cartons ou les palettes contenant les bouteilles avant leur transport vers les zones de stockage. Elle est équipée d'un plateau tournant sur lequel les palettes ou les cartons sont placés. Un bras motorisé se déplace autour du plateau pour enrouler un film plastique autour de la charge à plusieurs reprises afin de la maintenir solidement en place. En termes de bruit, la banderoleuse émet un son continu à un niveau moyen de 82 dB.

Le tableau III.1 ci-dessous offre un aperçu global des différentes machines utilisées dans le processus de production, en mettant en évidence les niveaux sonores moyens associés, le temps de fonctionnement et le type de bruit émis.

TAB. III.1 : Caractéristiques acoustiques des machines

N°	Machine	TM(h)	Type de bruit	Leq(dB)	Transmission sonore
1	Élévateur de préformes	24/24	Bruit continu et intermittent	89 dB	Aérienne, vibration
2	Souffleuse	24/24	Bruit continu	93 dB	Vibration, aérienne
3	Remplisseuse	24/24	Bruit continu	90 dB	Aérienne
4	Boucheuse	24/24	Bruit continu	89 dB	Aérienne
5	Étiqueteuse	24/24	Bruit continu	89 dB	Aérienne, vibration
6	Fardeuse	24/24	Bruit continu	85 dB	Aérienne, vibration
7	Poigneuse	24/24	Bruit continu	83 dB	Aérienne, vibration
8	Palettiseur	24/24	Bruit continu et intermittent	84 dB	Aérienne, vibration
9	Banderoleuse	24/24	Bruit intermittent	82 dB	Aérienne, vibration

- **Remarque :** Les valeurs indiquées dans le tableau pour le niveau de bruit (Niveau L_{Aeq}) sont des estimations basées sur les mesures effectuées lors de l'enquête préliminaire en milieu de travail.

III.1.3 Description des différentes situations de travail

III.1.3.1 Opérateur de la salle blanche

Dans cette étape de la production, nous avons un opérateur dont le rôle consiste à alimenter les bacs de préforme, à veiller sur la conformité des paramètres dans les deux postes de contrôle de la salle, à arrêter la machine en cas de pannes, à inspecter la machine et, dans certains cas, à intervenir sur la machine à l'arrêt pour la maintenance. Il est exposé à son poste pendant 8 heures par jour avec une fréquence de sortie variable.

III.1.3.2 Opérateur de l'étiqueteuse

Le deuxième opérateur travaille sur la machine étiqueteuse. Son rôle consiste en chargement des banderoles des étiquettes dans la machine, le remplacement de la colle et le nettoyage de la machine en cas d'accumulation de colle. Il est également responsable de l'arrêt de la machine en cas de pannes et peut intervenir sur la machine à l'arrêt pour

effectuer des réparations mineures. Le poste de contrôle de l'opérateur est équipé d'un écran tactile permettant de surveiller les paramètres de la machine, tels que la vitesse de production et la quantité d'étiquettes appliquées. Il est exposé pendant 8 heures à des niveaux sonores élevés générés par la machine.

Il est à noter que l'alimentation des bacs de bouchons dans la salle blanche est une tâche assignée à cet opérateur.

III.1.3.3 Opérateur de la fardeleuse et de la poigneuse

L'opérateur prend en charge la fardeleuse et la poigneuse. Il est responsable du chargement des rouleaux d'emballage et des étiquettes pour la poseuse de poignets. Il dispose de deux postes de contrôle et intervient sur la machine en cas de problème d'ajustement des bouteilles ou de panne technique, comme les autres opérateurs mentionnés précédemment.

III.1.3.4 Opérateur du palettiser et banderoleuse

L'opérateur du palettiseur est chargé de vérifier les paramètres de la machine dans les deux postes de contrôle, à savoir le palettiseur et la banderoleuse. Il intervient également sur les machines en cas de besoin pour réorganiser les fardeaux, charger les intercalaires dans le bac spécifique, remplacer les rouleaux de film plastique et résoudre les problèmes techniques lorsque cela est possible.

III.1.3.5 Conducteur du chariot élévateur (cariste)

L'opérateur est responsable de l'approvisionnement des bacs de préforme, de la fourniture des palettes pour le palettiseur et du déplacement des palettes finales vers l'espace de stockage désigné.

- Les différentes tâches enregistrées durant l'enquête préliminaire sont résumées dans le tableau III.2 ci-dessous.

TAB. III.2 : Liste des tâches (Partie 1)

Code Opérateur	Zone	Numéro de la Tâche	Tâches
O1	1	T1	Contrôler le réarmement de la machine
		T2	Alimenter les bacs de préforme
		T3	Intervention sur le transporteur de préformes (P1)
		T4	Intervention sur le transporteur de préformes (P2)
	2	T5	Contrôle et ajustement du poste de contrôle
		T6	Intervention sur la souffeuse (coté 1) en cas de problèmes
		T7	Intervention sur la remplisseuse (coté 1) en cas de problèmes
		T8	Intervention sur la souffeuse (coté 2) en cas de problèmes
		T9	Intervention sur la remplisseuse (coté 2) en cas de problèmes
	3	T10	Intervention sur les convoyeurs P1
		T11	Intervention sur les convoyeurs P2
O2	4	T1	Réglage du convoyeur à l'entrée de l'étiqueteuse
		T2	Maintenance du corps de la machine en cas de problème
		T3	Contrôle et ajustement du poste de contrôle
		T4	Entretien des cylindres et recharge de la colle
		T5	Inspection à la sortie de la machine
		T6	Configuration du datteur
		T7	Gestion du convoyeur à la sortie de cette partie
	2	T8	Alimenter les bacs de bouchons dans la salle blanche

TAB. III.2 : Liste des tâches (Partie 2)

Code Opérateur	Zone	Numéro de la Tâche	Tâches
O3	5	T1	Réarrangement des bouteilles à l'entrée de la fardeleuse
		T2	Intervention sur le poste de contrôle
		T3	Chargement des bobines (fardeleuse)
		T4	Intervention à la sortie des fardeaux
	6	T5	Chargement des Bobines dans la poseuse de poignée
		T6	Intervention sur le poste de contrôle (poigneuse)
		T7	Intervention sur le convoyeur à la sortie de la poigneuse
O4	7	T1	Réglage du diviseur de fardeaux
		T2	Contrôle et ajustement du poste de contrôle
		T3	Intervention sur le constructeur de palettes en cas de problème
		T4	Alimentation des intercalaires P1
		T5	Alimentation des intercalaires P2
	8	T6	Intervention sur la coiffeuse
		T7	Intervention sur la banderolleuse
		T8	Contrôle et ajustement du poste de contrôle
		T9	Intervention sur la machine d'étiquettes
		T10	Alimentation des bobines
O5	1.7.8	T1	Approvisionnement des bacs de préforme
		T2	Fourniture des palettes pour le palettiseur
		T3	Déplacement de la palette finale vers l'espace de stockage désigné

Remarques

- Les codes des opérateurs sont présentés comme suit
 - O1 = Opérateur de la salle blanche ;
 - O2 = Opérateur de l'étiquetteuse ;
 - O3 = Opérateur de la fardeleuse et de la poigneuse ;
 - O4 = Opérateur du palettiser et banderolleuse ;
 - O5 = Conducteur du chariot élévateur (cariste) ;
- Les différentes zones citées correspondent chacune à la surface d'intervention des opérateurs.

- Les autres agents qui sont présents régulièrement dans la ligne de production mais sans emplacement fixe sont : le chef de la ligne, le technicien de la ligne et l'agent d'entretien. Il convient de souligner qu'en raison de l'absence de positions fixes dans la ligne, il est difficile de définir des points de mesure spécifiques pour ces agents.
- En plus des postes de travail réguliers, il y a des membres du personnel qui sont présents de manière occasionnelle sur la ligne de production. Cela inclut le personnel HSE qui effectue des inspections de sécurité périodiques, le responsable de la production qui effectue des visites de contrôle et les maintenanciers qui interviennent en cas de pannes.
- Pour mieux comprendre la répartition des différentes tâches des opérateurs et visualiser leurs positions sur la ligne de production, nous avons établi un plan détaillé de la ligne (voir annexe A.1.1). Ce plan, représenté graphiquement, nous permet de cartographier les zones spécifiques où chaque tâche est effectuée. Il indique les endroits stratégiques où les échantillons seront prélevés afin de mesurer les niveaux de bruit réels auxquels les opérateurs sont exposés.

III.1.4 Résultats de l'enquête

En observant les données collectées, il est possible d'identifier plusieurs aspects importants liés à l'exposition au bruit dans la ligne de production choisie. Il est essentiel de comprendre ces éléments dans le cadre de notre stratégie d'évaluation :

- **Fonctionnement des machines**

Les machines utilisées dans les huit zones de travail fonctionnent 24 heures sur 24 suivant 3 *shifts* en temps normal, avec des arrêts planifiés pour l'entretien et le nettoyage. Ce fonctionnement continu des machines contribue à une exposition prolongée des opérateurs au bruit ce qui fait qu'il est important de tenir compte de cette exposition prolongée lors de l'évaluation des risques et de la mise en place de mesures de prévention.

- **Caractéristiques sonores des machines**

Chaque machine émet un type de bruit spécifique. Cette combinaison de différents bruits génère un vacarme global, ce qui augmente le niveau global de bruit dans les zones de travail. Il convient de noter que la salle blanche présente un aspect particulièrement important par rapport à l'émission du bruit. Cette zone est soumise à des niveaux de bruit élevés en raison du fonctionnement des machines et des différentes tâches effectuées.

- **Exposition des employés :**

Les opérateurs dans toutes les zones sont exposés à des niveaux de bruit élevés. Cependant, il est important de noter que certains opérateurs peuvent refuser de porter les équipements de protection individuelle (EPI) tels que les bouchons d'oreilles en raison de la gêne ressentie, ce qui augmente leur vulnérabilité. De plus, il convient de souligner qu'il n'y a actuellement aucun équipement de protection collective mis en place pour réduire l'exposition au bruit.

Afin d'obtenir des données plus précises sur les niveaux de bruit réels auxquels les opérateurs sont exposés, nous avons réalisé une phase de mesurage présentée dans la prochaine section. Cette étape de mesure a été effectuée en suivant la méthode présentée dans le chapitre I.4.2.5, en adoptant cette approche expérimentale, nous visons à obtenir des données objectives et précises. Ces mesures nous permettront de mieux comprendre

l'exposition au bruit des opérateurs et faciliteront l'identification des mesures correctives appropriées pour atténuer les effets néfastes du bruit.

III.2 Mesure des niveaux sonores par tâche

III.2.1 Déroulement de l'échantillonnage

Après avoir mené l'enquête préliminaire des tâches effectuées sur la ligne de production par les opérateurs, nous avons procédé à la phase de mesurage par tâche planifié. Dans cette étape, nous avons effectué deux échantillonnages pour *shift*, pendant quatre jours consécutives afin de couvrir l'ensemble des équipes et d'obtenir une représentation exhaustive de l'exposition des opérateurs tout au long de la journée. Les échantillons ont été sélectionnés de manière stratégique pour couvrir à la fois les périodes diurnes et nocturnes comme résumés dans le tableau III.3

TAB. III.3 : Échantillons collectés

Opérateurs	Zones	Taches	<i>shift 1</i> (entre 5h et 13h) -S1		<i>shift 2</i> (entre 13h et 21h) - S2		<i>shift 3</i> (entre 21h et 5h) - S3	
			Échantillon S1.N1	Échantillon S1.N2	Échantillon S2.N1	Échantillon S2.N2	Échantillon S3.N1	Échantillon S3.N2
			Début : 8h15	Début : 11h30	Début : 13h15	Début : 14h30	Début : 21h06	Début : 03h26
Fin : 9h00	Fin : 12h10	Fin : 13h45	Fin : 15h15	Fin : 21h40	Fin : 04h00			

III.2.2 Technique de mesurage

La technique d'échantillonnage que nous avons utilisée lors de la mesure des niveaux sonores avec l'appareil de mesure SM-20-A. (*voir annexe C.2*)

- Distance de mesure : 1 mètre de la source de bruit et à une distance d'un bras de l'oreille.
- Positionnement de l'appareil : Maintenu de manière stable durant la période.
- Durée de mesure : 1 minute pour chaque emplacement.
- Enregistrer la valeur maximale identifiée en dB.

III.2.3 Résultats de l'échantillonnage

Le tableau VI.5 présente les mesures du niveau de bruit en dB effectuées dans différentes zones de travail, pour chaque opérateur et ses tâches spécifiques. La valeur moyenne L_{eq} a été calculée en utilisant la formule :

$$L_{Aeqm} = \frac{Ech1 + Ech2}{2} \quad (III.1)$$

Le calcul de la grandeur L_{tot} est une étape importante dans l'évaluation du niveau de bruit total généré par différents opérateurs. Cette grandeur représente une mesure agrégée du niveau sonore provenant de chaque opérateur individuel sur une période donnée.

Pour chaque opérateur, nous calculons la grandeur L_{tot} pendant trois périodes d'échantillonnage différentes. Au cours de chaque période, nous mesurons les niveaux sonores spécifiques à chaque opérateur et appliquons la formule suivante :

$$L_{\text{tot}} = 10 \log \left(\sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \quad (\text{III.2})$$

TAB. III.4 : Résultats des mesures

Code Opérateur	Opérateur	N° de tâche	Tâches	Niveau de bruit en dB											
				Shift 1 (entre 5h et 13h) - S1			Shift 2 (entre 13h et 21h) - S2			Shift 3 (entre 21h et 5h) - S3					
				Échantillon S1.N1 Début : 8h15 Fin : 9h00	Échantillon S1.N2 Début : 11h30 Fin : 12h10	Laeq _m = (Ech1 + Ech2)/2	Échantillon S2.N1 Début : 13h15 Fin : 13h45	Échantillon S2.N2 Début : 14h30 Fin : 15h15	Laeq _m = (Ech1 + Ech2)/2	Échantillon S3.N1 Début : 21h06 Fin : 21h40	Échantillon S3.N2 Début : 03h26 Fin : 04h00	Laeq _m = (Ech1 + Ech2)/2			
O1	Opérateur de la salle blanche	1	Contrôler le réarmement de la machine Alimenter les bacs de préforme Intervention sur le transporteur de préformes (coté 1) Intervention sur le transporteur de préformes (coté 2) Contrôle et ajustement du poste de contrôle Intervention sur la souffluse (coté 1) en cas de panne Intervention sur la souffluse (coté 2) en cas de panne Intervention sur la remplisseuse (coté 1) en cas de panne Intervention sur la remplisseuse (coté 2) en cas de panne Intervention sur les convoyeurs P1 Intervention sur les convoyeurs P2	85.1	83.9	84.5	84.8	86.2	85.5	84.6	87.4	86	86	86	86
				86.5	89.2	87.5	90.4	90.4	89.5	93.4	98.4	90.4	90.4	98.4	95.9
				87.5	88.3	87.9	88.9	88.9	88.9	86.8	89.3	89.3	88.9	89	86.05
				85.9	89.2	87.55	96	93	94.3	94.3	94.3	94.5	94.5	95.5	94.9
				94.7	95.9	95.3	98.4	95.7	97.05	95	96.8	97.05	95	96.8	95.9
				89.7	90.3	90	92.4	91.5	92.7	92.7	92.7	91.5	92.7	92.7	93.95
				96.4	98	97.2	99.3	95.8	97.55	98.3	99	97.55	98.3	99	98.65
				93.7	96.3	95	97.8	93.9	95.5	94.7	95.5	95.85	94.7	95.5	95.1
				85	86	85.5	86.6	85.9	86.25	87.6	86.6	86.25	87.6	86.6	87.1
				81.9	84.9	83.4	85.9	85	84.3	84.3	83.1	84.5	84.3	83.1	83.7
							102,0771831	103,5983615		104,2740287					
O2	Opérateur de l'étiqueteuse	2	Réglage du convoyeur à l'entrée de l'étiqueteuse Maintenance du corps de la machine en cas de panne Contrôle et ajustement du poste de contrôle Entretien des cylindres et recharge de la colle Vérification de l'inspectrice à la sortie de la machine Configuration du dateur Gestion du convoyeur à la sortie de cette partie Alimenter les bacs de bouchons	84.5	85.3	84.9	85.1	83.4	84.25	86.4	86.7	86.55	86.55		
				87.7	87.8	87.75	87.6	86.5	87.6	88.7	86.5	87.6	88.7	91.05	
				88.3	88	88.15	88.7	87.2	87.95	88.7	88.2	87.95	88.7	88.2	88.45
				92.3	93.6	92.95	93.9	90.2	92.05	92.3	91.3	92.05	92.3	91.8	91.8
				84.7	85.4	85.05	85.8	84.3	85.05	87.1	85.6	85.05	87.1	85.6	86.35
				83.9	89.2	86.55	84.7	84.3	84.5	86.3	84.5	84.5	86.3	84.5	85.9
				82.7	85.1	83.9	84.3	83.9	84.1	85.2	84.1	84.1	85.2	84.1	85.3
				85.7	86.8	86.25	95.1	94.3	94.7	94.1	97.8	94.7	94.1	97.8	95.95
			96,96282791	98,33148391		99,55864289									
O3	Opérateur fardeuse et poigneuse	2	Réarrangement des bouteilles à l'entrée de la fardeuse Intervention sur le poste de contrôle Chargement des rouleaux (fardeuse) Intervention à la sortie des fardeaux Chargement des produits sur la poigneuse Intervention sur le poste de contrôle (poigneuse) Intervention sur le convoyeur à la sortie de la poigneuse	84.9	86.4	85.65	86.5	83.8	85.15	84.3	86	85.15	85.15		
				85	83.5	84.25	84.4	82.3	83.35	83	82.3	82.2	82.6	82.6	
				84.8	85	84.9	86.2	83.1	84.65	88.8	84.2	84.65	88.8	86.5	
				84.5	86.7	85.6	86.9	83.6	85.25	83.8	89.4	85.25	83.8	86.6	
				88.8	89.9	89.35	90.3	87.9	89.1	89.1	89.1	89.1	89.1	89.1	85.85
				91.3	93.4	92.35	91.7	89.1	90.4	86.5	88.5	90.4	86.5	88.5	87.5
				85.2	84.5	84.85	82.9	80.4	81.65	84.1	84.6	81.65	84.1	84.6	84.35
							96,22199165	95,08643781		94,20333041					
O4	Opérateur du palettiseur et de la banderolleuse	1	Réglage du diviseur de fardeaux Contrôle et ajustement du poste de contrôle Intervention sur le constructeur de palettes en cas de panne Alimentation des palettes P1 Alimentation des palettes P2 Intervention sur l'inspectrice de niveau Intervention sur la banderolleuse Contrôle et ajustement du poste de contrôle Intervention sur la machine d'étiquettes Alimentation des banderolles	83.6	84.4	84	83.6	80.4	82	86	84.2	85.1	85.1		
				86.9	86.6	86.75	85.4	85.4	87	83.4	87.7	85.4	87.7	85.55	
				83.1	83	83.05	87.1	83.9	85.5	84.4	85.3	85.5	84.4	84.85	
				81.5	85	83.25	81.5	78.3	79.9	83.5	84.6	79.9	83.5	84.05	
				82	82.3	82.15	84	80.8	82.4	81.3	83.8	82.4	81.3	82.55	
				79.5	81.8	80.65	81.7	78.5	80.1	82	81.3	80.1	82	81.65	
				82.2	80.8	81.5	80.2	77	78.6	81	81.8	78.6	81	81.4	
				83.4	79.7	81.55	83.5	80.3	81.9	82.5	81.8	81.9	82.5	82.15	
				80.1	79.3	79.7	82.9	79.7	82.1	81.7	81.7	82.1	81.7	81.9	
				79.8	82.2	81	83	79.9	81.45	86.4	83.3	81.45	86.4	84.85	
			92,83547802	92,76503492		93,67482828									
O5	Cariste	1,7,8	Approvisionnement des bacs de préforme Fourniture des palettes pour le palettiseur Déplacement de la palette finale vers l'espace de stockage	86.3	87.6	86.95	89.9	88.7	89.3	89.7	87.3	88.5	88.5		
				78.9	80.5	79.7	82.7	81.7	82.2	81.4	82.2	81.4	82.2	83.4	
				79.3	80.1	79.7	81.2	81	81.1	81	82.4	81.1	81	81.7	
			88,33848719	90,59154938		90,31260086									

Ce chapitre a donné les bases de notre étude en collectant des données à travers une enquête et des prélèvements. Maintenant, il est temps d'analyser ces données afin de mieux comprendre les paramètres qui influencent concrètement les niveaux sonores. Dans ce prochain chapitre, nous allons appliquer les méthodes que nous avons présentées pour examiner en détail les résultats obtenus. Nous chercherons, à travers ces méthodes, à identifier les facteurs clés qui contribuent aux niveaux sonores élevés, en tenant compte des différentes tâches et des périodes de travail.

Chapitre III

Analyse des données de mesures

Chapitre IV

Analyse des données

La partie d'analyse de données joue un rôle essentiel dans notre étude expérimentale, car elle nous permet d'extraire des informations pertinentes à partir des mesures collectées. Dans ce chapitre, nous avons appliqué deux méthodes d'analyse couramment utilisées, à savoir l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et le *clustering K-means*, afin de découvrir des structures et des tendances cachées dans nos données. Notre objectif principal avec cette analyse de données est de hiérarchiser les tâches réalisées par les opérateurs en fonction de leur degré de criticité en termes de niveau sonore. Cette hiérarchisation nous permettra de réaliser un zonage dans notre ligne de production par degré de criticité, en regroupant les tâches en fonction de leur niveau sonore critique. En comprenant clairement quelles zones sont les plus critiques, nous pourrons prendre des décisions éclairées concernant les mesures d'atténuation à mettre en place.

En appliquant l'ACP à nos données, nous avons pu extraire des informations concernant les différentes tâches effectuées par les opérateurs en fonction des différents *shifts* de la journée. Cette analyse nous a permis d'observer une convergence des tâches effectuées pendant certains créneaux horaires. Ce qui nous a aidé à mieux comprendre les variations de niveaux sonores et à identifier les périodes critiques.

Grâce à l'application du *clustering*, nous avons pu hiérarchiser les tâches réalisées par les opérateurs en fonction de leur degré de criticité en termes de niveaux sonores. Cette classification nous permet de distinguer les tâches qui présentent les risques les plus élevés par rapport aux autres. En utilisant cette hiérarchisation, nous avons élaboré une cartographie des nuisances, qui représente visuellement les zones de la ligne de production en fonction de leur niveau de risque sonore. Cette cartographie nous offre une vue d'ensemble claire des zones les plus critiques, ce qui facilite l'identification des mesures d'atténuation spécifiques à mettre en place pour réduire l'exposition des opérateurs au bruit et améliorer leur environnement de travail.

IV.1 Analyse en composantes principales

IV.1.1 Première étape : Standardisation des données

Dans notre cas, puisque nous avons des mesures de bruit en dB, il n'est pas nécessaire de standardiser les données car elles sont déjà dans la même échelle. Nous pouvons donc passer directement à l'étape suivante, qui est le calcul de la matrice de covariance.

IV.1.2 Deuxième étape : Matrice de covariance

La matrice de covariance permet de quantifier les relations linéaires entre les différentes variables. Pour notre analyse, nous avons créé deux matrices de covariance distinctes : une pour la période diurne et une pour la période nocturne. Cette approche a été adoptée en raison de la cohérence des résultats obtenus dans chacune de ces périodes.

Les formules mathématiques pour calculer les matrices de covariance sont résumées dans la section I.4.5.

Néanmoins, afin de faciliter le processus de calcul, nous avons développé un programme Python spécifique. Ce programme a été utilisé pour obtenir les résultats suivants, qui sont présentés dans la figure IV.1 :

```

Shift1 (entre 5h et 13h) - S1      Shift1 (entre 5h et 13h) - S1  \
Shift2 (entre 13h et 21h) - S2    17.682024
Shift3 (entre 21h et 5h) - S3     15.304534
                                  18.327470

Shift1 (entre 5h et 13h) - S1      Shift 2 (entre 13h et 21h) - S2  \
Shift2 (entre 13h et 21h) - S2    15.304534
Shift3 (entre 21h et 5h) - S3     18.427301
                                  17.867841

Shift1 (entre 5h et 13h) - S1      Shift 3 (entre 21h et 5h) - S3
Shift2 (entre 13h et 21h) - S2    18.327470
Shift3 (entre 21h et 5h) - S3     17.867841
                                  24.934588

```

FIG. IV.1 : Matrice de covariance - ACP

IV.1.2.1 Résultats et interprétations

- La variance des niveaux sonores du "shift1 (entre 5h et 13h) - S1" est de 17.682024. Cela indique que les niveaux sonores varient considérablement pendant ce *shift*, avec une dispersion assez importante des valeurs enregistrées.
- La variance du *shift 3* (entre 21h et 5h) - S3 est de 24.934588. Cela indique que les niveaux sonores pendant cette période ont une variation plus élevée par rapport aux autres *shifts*.
- La covariance entre les niveaux sonores du "shift1 (entre 5h et 13h) - S1" et ceux du "shift 2 (entre 13h et 21h) - S2" est de 15.304534. Cela suggère une corrélation positive entre les niveaux sonores de ces deux *shifts*, ce qui signifie qu'ils ont tendance

à augmenter ou diminuer ensemble. Il est possible qu'il y ait des facteurs similaires qui influencent les niveaux sonores pendant ces deux périodes.

- La covariance entre les niveaux sonores du "shift1 (entre 5h et 13h) - S1" et ceux du "shift 3 (entre 21h et 5h)-S3" est de 18.327470. Cette covariance positive indique une relation linéaire entre les niveaux sonores de ces deux *shifts*. Il est intéressant de noter que ces deux *shifts* couvrent des périodes nocturnes, ce qui pourrait expliquer une certaine similitude dans les niveaux sonores en raison de facteurs environnementaux ou d'activités spécifiques pendant la nuit.

En considérant ces résultats, il est raisonnable de conclure que les niveaux sonores du *shift 3* (entre 21h et 5h) ont tendance à être plus élevés par rapport aux autres *shifts*, comme le suggère la variance élevée et les covariances positives avec les autres *shifts*. Cette augmentation des niveaux sonores peut être attribuée à des facteurs tels que des activités nocturnes spécifiques, une diminution des activités diurnes et une réduction de l'isolation acoustique pendant cette période.

IV.1.3 Troisième étape : Valeurs et vecteurs propres

Dans cette étape, nous procédons au calcul des valeurs propres et des vecteurs propres, qui sont des éléments essentiels de l'analyse en composantes principales (ACP). Les valeurs propres nous renseignent sur l'importance relative de chaque composante principale, tandis que les vecteurs propres décrivent la contribution de chaque variable à ces composantes.

Les formules mathématiques utilisées pour effectuer ces calculs sont répertoriées en détail dans la section I.4.5 du rapport. Cependant, pour faciliter l'implémentation et l'automatisation de cette étape, nous avons développé un code Python dédié qui nous a permis d'obtenir les résultats présentés dans la figure IV.2.

```

Shift 1:
  Valeur propre                               Vecteur propre
0   3.536405e+01  [0.7071067811865475, -0.7071067811865476]
1  -3.552714e-15  [0.7071067811865476, 0.7071067811865475]

Shift 2:
  Valeur propre                               Vecteur propre
0   3.685460e+01  [0.7071067811865476, -0.7071067811865474]
1   3.552714e-15  [0.7071067811865474, 0.7071067811865476]

Shift 3:
  Valeur propre                               Vecteur propre
0   4.986918e+01  [0.7071067811865476, -0.7071067811865475]
1   3.552714e-15  [0.7071067811865475, 0.7071067811865476]

```

FIG. IV.2 : Valeurs et vecteurs propres - ACP

IV.1.3.1 Résultats et interprétations

Pour chaque *shift*, les valeurs propres indiquent l'importance relative des composantes principales dans l'explication des variations des niveaux sonores pendant cette période

spécifique. Une valeur propre plus élevée indique qu'une composante principale particulière joue un rôle plus important dans la capture des variations des niveaux sonores.

Les valeurs propres positives indiquent que la composante principale associée explique une partie importante de la variance totale des niveaux sonores pendant le *shift*. La présence d'une deuxième valeur propre proche de zéro ($3.552714e-15$) suggère que la deuxième composante principale n'a quasiment aucun impact significatif sur la variance des niveaux sonores.

En examinant les vecteurs propres associés à chaque valeur propre, nous pouvons identifier les combinaisons linéaires de variables qui contribuent le plus à chaque composante principale. Cependant, les vecteurs propres partagent des valeurs similaires et sont perpendiculaires entre elles, ce qui suggère une similitude dans les influences des variables sur les niveaux sonores pendant les trois *shifts*.

Nous pouvons dire que les variations des niveaux sonores pendant les trois *shifts* sont principalement influencées par une composante principale commune. Cette composante principale est caractérisée par une combinaison linéaire des variables avec des poids équivalents, indiquant que les mêmes facteurs ou caractéristiques ont une influence cohérente sur les niveaux sonores, quelle que soit la période de la journée.

Dans notre cas cela est expliqué par la présence d'un facteur ou récurrent tout au long de la journée. Cela peut être justifié par les sources de bruit constantes.

IV.1.4 Quatrième étape : Projection des données

La projection des données sur les composantes principales permet de réduire la dimensionnalité des données tout en préservant une partie importante de l'information. Les nouvelles variables obtenues, appelées "Composantes Principales", sont des combinaisons linéaires des variables d'origine. Elles capturent les variations les plus significatives des données.

IV.1.5 Représentation graphique : Nuage de points

Le nuage de points obtenu après la projection des données sur les deux premières composantes principales offre une visualisation significative de la structure sous-jacente de nos données. Cette représentation graphique permet de condenser l'information contenue dans les différentes dimensions des variables mesurées. Chaque point dans le nuage correspond à une tâche spécifique, et sa position est déterminée par les valeurs des niveaux de bruit enregistrés lors des différents *shifts*. En observant la distribution des points, nous pouvons identifier des tendances, des regroupements ou des écarts entre les tâches, ce qui peut fournir des indications précieuses pour l'évaluation des N.S. (*voir IV.3*)

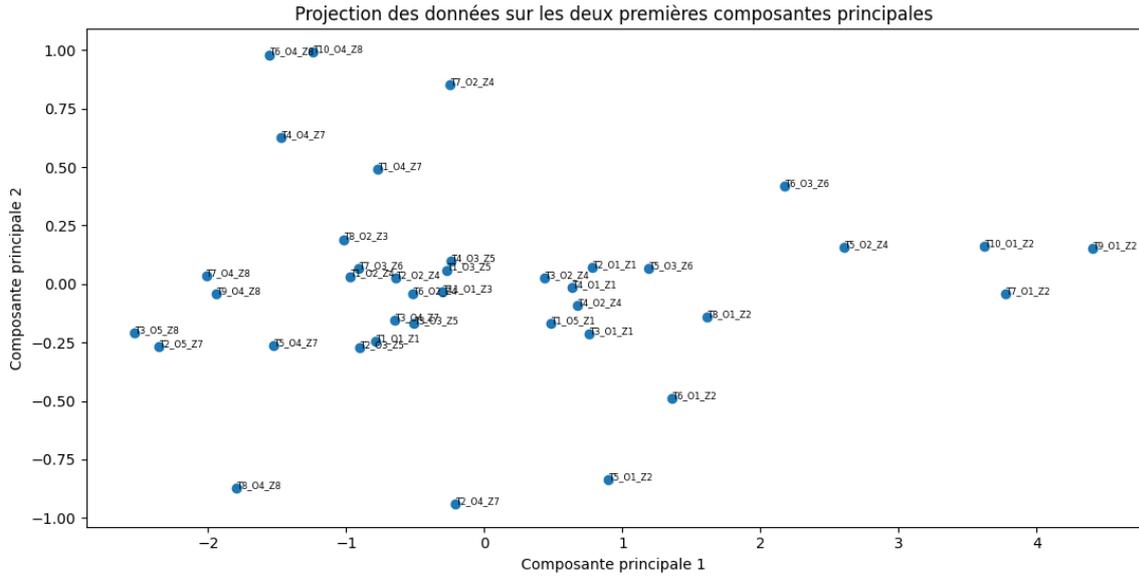


FIG. IV.3 : Nuage de points

IV.1.5.1 Résultats et interprétations

L'analyse du nuage de points révèle des regroupements distincts et des tendances significatives qui éclairent les performances des différentes tâches. Par exemple, la tâche $T_8O_4Z_8$ se démarque nettement des autres en occupant une position dans le coin inférieur gauche du nuage. $T_8O_4Z_8$ démontre des niveaux de bruit exceptionnellement faibles pendant le **shift 1 (entre 5h et 13h)**, témoignant d'une performance remarquable en termes de réduction du bruit. En revanche, des tâches se localisent dans la partie supérieure droite du nuage, indiquant des niveaux de bruit élevés pendant le **shift 3 (entre 21h et 5h)**. Ces tâches spécifiques semblent être sensibles aux conditions environnementales nocturnes, ce qui peut impacter leurs performances en matière de réduction du bruit.

Le nuage met en évidence le rôle significatif du facteur de *shift* de travail sur les niveaux sonores. Les regroupements distincts et les tendances observés dans le nuage de points soulignent les variations des tâches en fonction des différents *shifts*. Les tâches situées dans des zones spécifiques du nuage indiquent des niveaux de bruit plus faibles ou plus élevés selon le *shift* de travail considéré.

IV.2 *Clusterisation en K-means*

Dans cette section, nous décrirons la méthodologie de *clustering* que nous avons utilisée pour regrouper les données de niveaux de bruit. Notre objectif était d'identifier des patterns ou des similarités dans les données qui pourraient indiquer des regroupements naturels. Afin de pouvoir regrouper les tâches qui sont similaires en prenant en compte le paramètre de période de mesure.

IV.2.1 Manipulation des données

Afin de réduire la dimensionnalité des données dans cette partie nous avons attribué à chaque période la mesure de niveau sonore moyenne des deux échantillons noté lors du mesurage par tâche dans le milieu de travail.(voir tableau VI.5)

Avant d'appliquer l'algorithme, nous avons effectué un prétraitement des données pour les préparer à l'analyse. Cela comprenait la création d'un DataFrame sur python à partir des données collectées et la sélection des colonnes contenant les niveaux de bruit pour chaque période de mesure.

IV.2.2 Algorithme de *clustering*

Pour effectuer le *clustering*, nous avons utilisé l'algorithme K-means, une méthode utilisée pour regrouper les données. L'algorithme K-means vise à partitionner les données en un nombre prédéfini de *clusters*, en minimisant la distance entre les échantillons appartenant au même *clusters* et en maximisant la distance entre les échantillons appartenant à des *clusters* différents.(voir figure IV.4)

Nous avons choisi de former trois *clusters*, ce qui nous a permis de regrouper les échantillons en trois groupes et cela en fonction de leur similarité dans les niveaux de bruit mesurés.

	Tâche	...	Cluster
0	T1_O1_Z1	...	0
1	T2_O1_Z1	...	1
2	T3_O1_Z1	...	1
3	T4_O1_Z1	...	1
4	T5_O1_Z2	...	1
5	T6_O1_Z2	...	1
6	T7_O1_Z2	...	2
7	T8_O1_Z2	...	1
8	T9_O1_Z2	...	2
9	T10_O1_Z2	...	2
10	T11_O1_Z3	...	0
11	T1_O2_Z4	...	0
12	T2_O2_Z4	...	0
13	T3_O2_Z4	...	1
14	T4_O2_Z4	...	1
15	T5_O2_Z4	...	2
16	T6_O2_Z4	...	0
17	T7_O2_Z4	...	0
18	T8_O2_Z2	...	0
19	T1_O3_Z5	...	0
20	T2_O3_Z5	...	0
21	T3_O3_Z5	...	0
22	T4_O3_Z5	...	0
23	T5_O3_Z6	...	1
24	T6_O3_Z6	...	1
25	T7_O3_Z6	...	0
26	T1_O4_Z7	...	0
27	T2_O4_Z7	...	0
28	T3_O4_Z7	...	0
29	T4_O4_Z7	...	0
30	T5_O4_Z7	...	0
31	T6_O4_Z8	...	0
32	T7_O4_Z8	...	0
33	T8_O4_Z8	...	0
34	T9_O4_Z8	...	0
35	T10_O4_Z8	...	0
36	T1_O5_Z1	...	1
37	T2_O5_Z7	...	0
38	T3_O5_Z8	...	0

FIG. IV.4 : Résultat de *clusterisation*

Afin d'avoir une vue détaillée sur le *clustering* réalisé et d'examiner les descriptions des tâches ainsi que les moyennes de niveaux sonores pour les trois période regroupées associées à chaque échantillon, le tableau IV.1 présente les résultats de l'analyse.

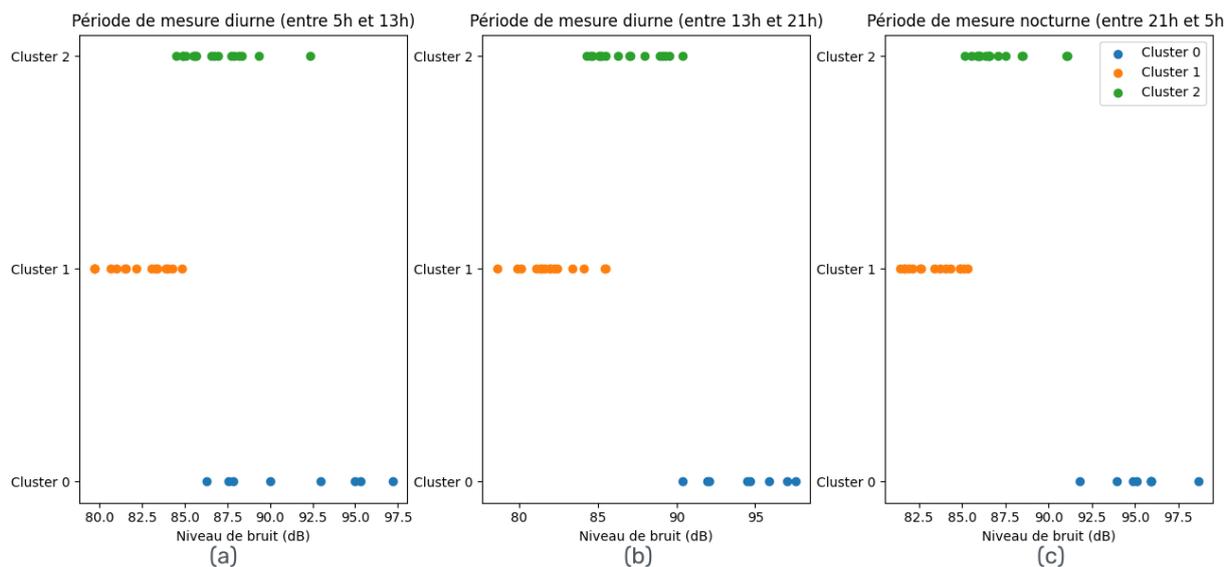
TAB. IV.1 : Résumé Taches-Clusters

Numéro	Code	CLUSTER	Taches	Moyenne (dB)
0	T2_O1_Z1	0	Alimenter les bacs de préforme	91,3833333
1	T5_O1_Z2	0	Contrôle et ajustement du poste de contrôle	91,95
2	T6_O1_Z2	0	Intervention sur la souffleuse (coté 1) en cas de problèmes	92,65
3	T7_O1_Z2	0	Intervention sur la remplisseuse (coté 1) en cas de problèmes	95,4333333
4	T8_O1_Z2	0	Intervention sur la souffleuse (coté 2) en cas de problèmes	96,6166667
5	T9_O1_Z2	0	Intervention sur la remplisseuse (coté 2) en cas de problèmes	92,65
6	T4_O2_Z3	0	Entretien des cylindres et recharge de la colle	90,45
7	T8_O2_Z2	0	Alimenter les bacs de bouchons dans la salle blanche	93,5333333
8	T11_O1_Z3	1	Intervention sur les convoyeurs P2	85,1333333
9	T7_O2_Z3	1	Gestion du convoyeur à la sortie de cette partie	87,9833333
10	T2_O3_Z5	1	Intervention sur le poste de contrôle	83,4
11	T7_O3_Z6	1	Intervention sur le convoyeur à la sortie de la poigneuse	83,6166667
12	T1_O4_Z7	1	Réglage du diviseur de fardeaux	83,7
13	T3_O4_Z7	1	Intervention sur le créateur de palettes en cas de problème	84,4666667
14	T4_O4_Z7	1	Alimentation des intercalaires P1	82,4
15	T5_O4_Z7	1	Alimentation des intercalaires P2	82,3666667
16	T6_O4_Z8	1	Intervention sur la coiffeuse	80,8
17	T7_O4_Z8	1	Intervention sur la banderolleuse	80,5
18	T8_O4_Z8	1	Contrôle et ajustement du poste de contrôle	81,8666667
19	T9_O4_Z8	1	Intervention sur la machine d'étiquettes	80,9666667
20	T10_O4_Z8	1	Alimentation des bobines	82,4333333
21	T2_O5_Z7	1	Fourniture des palettes pour le palettiseur	81,7666667
22	T3_O5_Z8	1	Déplacement de la palette finale vers l'espace de stockage désigné	80,8333333
23	T1_O1_Z1	2	Contrôler le réarement de la machine	85,3333333
24	T3_O1_Z1	2	Intervention sur le transporteur de préformes (P1)	89,4666667
25	T4_O1_Z1	2	Intervention sur le transporteur de préformes (P2)	87,8333333
26	T10_O1_Z2	2	Intervention sur les convoyeurs P1	85,15
27	T1_O2_Z3	2	Réglage du convoyeur à l'entrée de l'étiqueteuse	86,7333333
28	T2_O2_Z3	2	Maintenance du corps de la machine en cas de problème	87,75
29	T3_O2_Z3	2	Contrôle et ajustement du poste de contrôle	89,3
30	T5_O2_Z3	2	Inspection à la sortie de la machine	85,3333333
31	T6_O2_Z3	2	Configuration du datteur	85,45
32	T1_O3_Z5	2	Réarrangement des bouteilles à l'entrée de la fardeuse	85,3166667
33	T3_O3_Z5	2	Chargement des bobines (fardeuse)	85,35
34	T4_O3_Z5	2	Intervention à la sortie des fardeaux	85,8166667
35	T5_O3_Z6	2	Chargement des Bobines dans la poseuse de poigneuse	88,1
36	T6_O3_Z6	2	Intervention sur le poste de contrôle (poigneuse)	90,0833333
37	T2_O4_Z7	2	Contrôle et ajustement du poste de contrôle	86,4333333
38	T1_O5_Z1	2	Approvisionnement des bacs de préforme	88,25

IV.2.3 Représentations graphique

- Représentation en 2D

Les résultats du **clustering** ont été représentés graphiquement pour chaque période de mesure (diurne et nocturne) selon les niveaux de bruit en décibels (dB). La Figure figure IV.5 présente les trois sous-graphiques correspondant à chaque période de mesure.


 FIG. IV.5 : Représentation des NS par *clusters* - 2D

Interprétation

- Le premier sous-graphique (a) (voir Figure IV.5) représente les échantillons de bruit pendant le *shift* 1 (entre 5h et 13h). Chaque point dans le graphe représente un échantillon, positionné le long de l'axe horizontal en fonction de son niveau de bruit. Les différentes lignes horizontales représentent les clusters identifiés par l'algorithme de clustering. Les échantillons appartenant au même cluster sont regroupés horizontalement et sont plus proches les uns des autres que des échantillons appartenant à d'autres clusters. Cette représentation nous permet de visualiser comment les échantillons se regroupent en fonction de leur niveau de bruit pendant le premier *shift*.
- Le deuxième sous-graphique (b) (voir Figure IV.5) représente les échantillons de bruit pendant le deuxième *shift* (entre 13h et 21h). Il suit la même logique que le premier sous-graphique, mais pour cette période de mesure spécifique. Les échantillons sont à nouveau positionnés le long de l'axe horizontal en fonction de leur niveau de bruit, et les lignes horizontales représentent les clusters. La comparaison avec le premier sous-graphique nous permet d'observer comment les échantillons se regroupent différemment pendant ce deuxième *shift*.
- Le troisième sous-graphique (c) (voir Figure IV.5) représente les échantillons de bruit du troisième *shift* (entre 21h et 5h). Il suit la même structure que les deux précédents sous-graphiques. En comparant avec les autres *shifts* on arrive à voir comment les échantillons se regroupent différemment pendant la période nocturne.

En analysant de près ces graphiques pour chaque période de mesure, nous pouvons clairement distinguer des regroupements de tâches qui présentent des niveaux sonores plus élevés pendant le troisième *shift* (entre 21h et 5h). Ces regroupements spécifiques nous indiquent une corrélation directe entre le *shift* de travail et les niveaux de bruit mesurés. Par exemple, certains clusters de tâches dans le troisième sous-graphique démontrent de manière évidente des niveaux de bruit nettement plus élevés par rapport aux autres *shifts*.

Cette observation met en évidence une sensibilité accrue des tâches regroupées dans ces clusters aux conditions environnementales ou aux facteurs liés à la période nocturne.

- Représentation en 3D

La représentation en 3D est une façon intéressante de visualiser les clusters dans un espace tridimensionnel. Elle permet de mieux appréhender la structure des données et les relations entre les différentes dimensions du bruit mesuré à différentes périodes de la journée. (voir figure IV.6)

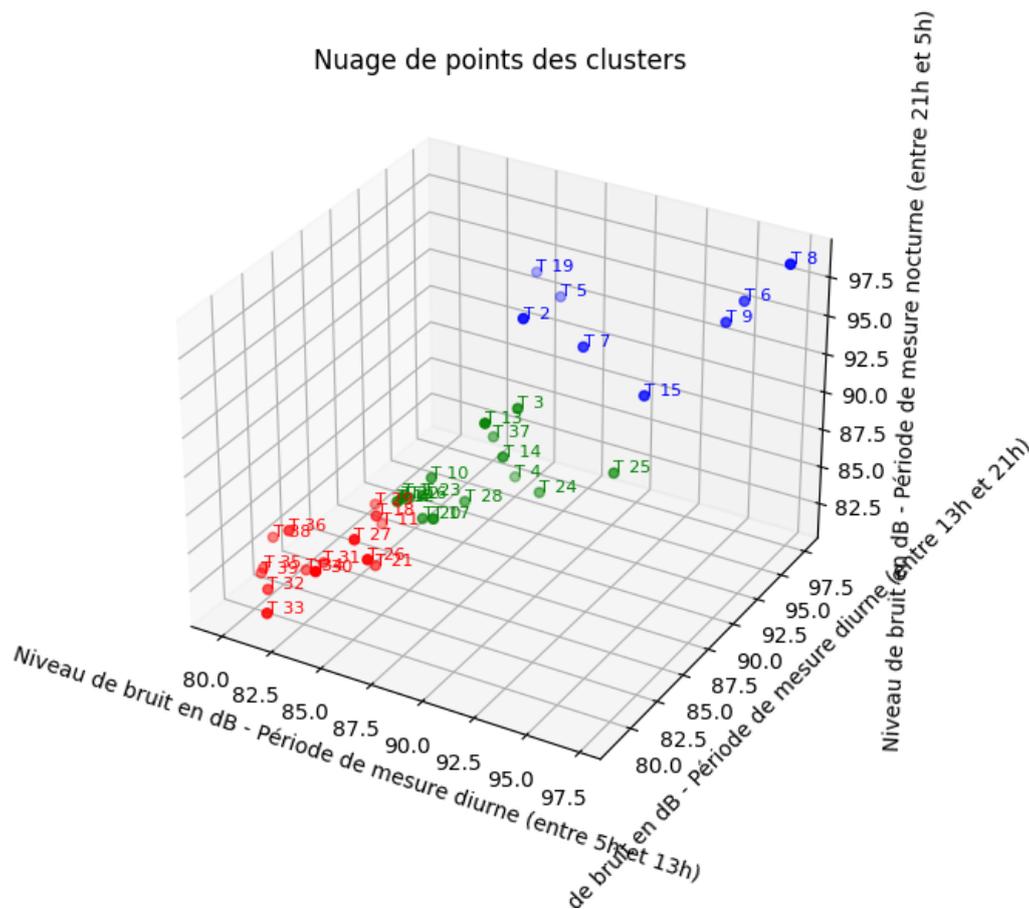


FIG. IV.6 : Représentation des NS par *clusters* - 3D

Interprétation

En observant le graphique en 3D, nous pouvons remarquer la répartition des tâches en fonction de leurs niveaux de bruit mesurés pendant différentes périodes de la journée. Chaque point représente une tâche spécifique, et sa position dans l'espace est déterminée par les valeurs moyennes de bruit enregistrées pendant les différentes périodes.

Les clusters de points de couleurs différentes indiquent les regroupements de tâches à niveaux de bruit similaires. Les tâches qui appartiennent au même cluster sont plus proches les unes des autres dans l'espace, ce qui engendre une similarité dans les profils de bruit entre ces tâches.

En examinant attentivement les clusters, nous pouvons remarquer certaines tendances. Par exemple, les tâches regroupées dans le cluster rouge semblent présenter des niveaux de bruit relativement faibles dans les trois périodes de mesure. Cela indique que ces tâches sont moins bruyantes dans l'ensemble par rapport aux autres clusters.

D'autre part, le cluster bleu montre des niveaux de bruit plus élevés, en particulier pendant la période diurne entre 13h et 21h. Cela souligne que les tâches regroupées dans ce cluster génèrent plus de bruit pendant cette période spécifique.

Le cluster vert semble être un compromis entre les deux autres clusters, avec des niveaux de bruit modérés dans les différentes périodes de mesure.

En résumé, cette représentation graphique en 3D nous permet de visualiser les regroupements des tâches en fonction de leurs niveaux de bruit. Elle nous aide à identifier les similarités et les différences entre les tâches par rapport à leurs niveaux de bruit.

Il est à noter que dans la représentation graphique, chaque point est associé à une tâche spécifique. Les codes des points correspondent à l'ordre dans lequel les tâches sont mentionnées dans les résultats obtenus. (*voir figure IV.4*)

IV.2.3.1 Exploitation des résultats des deux méthodes d'analyse de données utilisées

L'analyse en composantes principales (ACP) et le clustering K-means ont été utilisés pour analyser les données afin d'identifier les tâches critiques et réaliser la cartographie du bruit de la ligne CSD. Voici les principaux enseignements tirés de chaque méthode :

- Analyse en composantes principales (ACP)

- Réduction de la dimensionnalité : L'ACP a permis de réduire la complexité des données en identifiant les principales composantes qui capturent l'information. Cela nous a aidés à visualiser la variation globale des niveaux de bruit dans un espace à dimensions réduites, facilitant ainsi l'analyse et l'interprétation des données.
- Exploration des données : L'ACP a fourni une perspective globale des données en mettant en évidence les relations entre les variables et en identifiant les tendances dominantes. Cela a permis de mettre en évidence le rôle significatif du facteur de *shift* dans la contribution aux NS.

- Clustering K-means

- Identification des regroupements de tâches similaires : Le clustering K-means s'est avéré particulièrement utile pour regrouper les tâches similaires en fonction de leurs niveaux de bruit. Cette approche nous a permis d'identifier des patterns et des regroupements intrinsèques dans les données, mettant en évidence des groupes de tâches partageant des caractéristiques communes en termes de niveaux de bruit.
- Segmenter les zones de production : Grâce au K-means, nous avons pu segmenter efficacement les zones de production en fonction de la similarité des niveaux de bruit. Cette segmentation nous offre une meilleure compréhension des variations de bruit à travers la ligne de production, ce qui nous permet de prendre des décisions éclairées pour améliorer les conditions de travail et réduire les niveaux de bruit excessifs qui seront présentés dans les prochains chapitres.

En exploitant les résultats de ces deux méthodes, nous avons pu obtenir une vision plus claire de la distribution des niveaux de bruit et des regroupements de tâches similaires. Ces informations nous ont permis d'adopter une approche ciblée pour améliorer les performances et réduire les nuisances sonores. On a pu à travers cette dernière identifier les tâches présentant des niveaux de bruit élevés pendant certaines périodes et prendre des mesures spécifiques pour atténuer ces bruits indésirables.

IV.2.3.2 Cartographie du bruit

En se référant aux résultats de l'analyse précédente et en regroupant les tâches associées à chaque *cluster*, nous avons pu diviser notre ligne de production en trois zones, allant de la plus critique en termes de niveaux sonores vers la moins critique. Ces résultats ont été utilisés pour élaborer la cartographie présentée dans la figure IV.7.

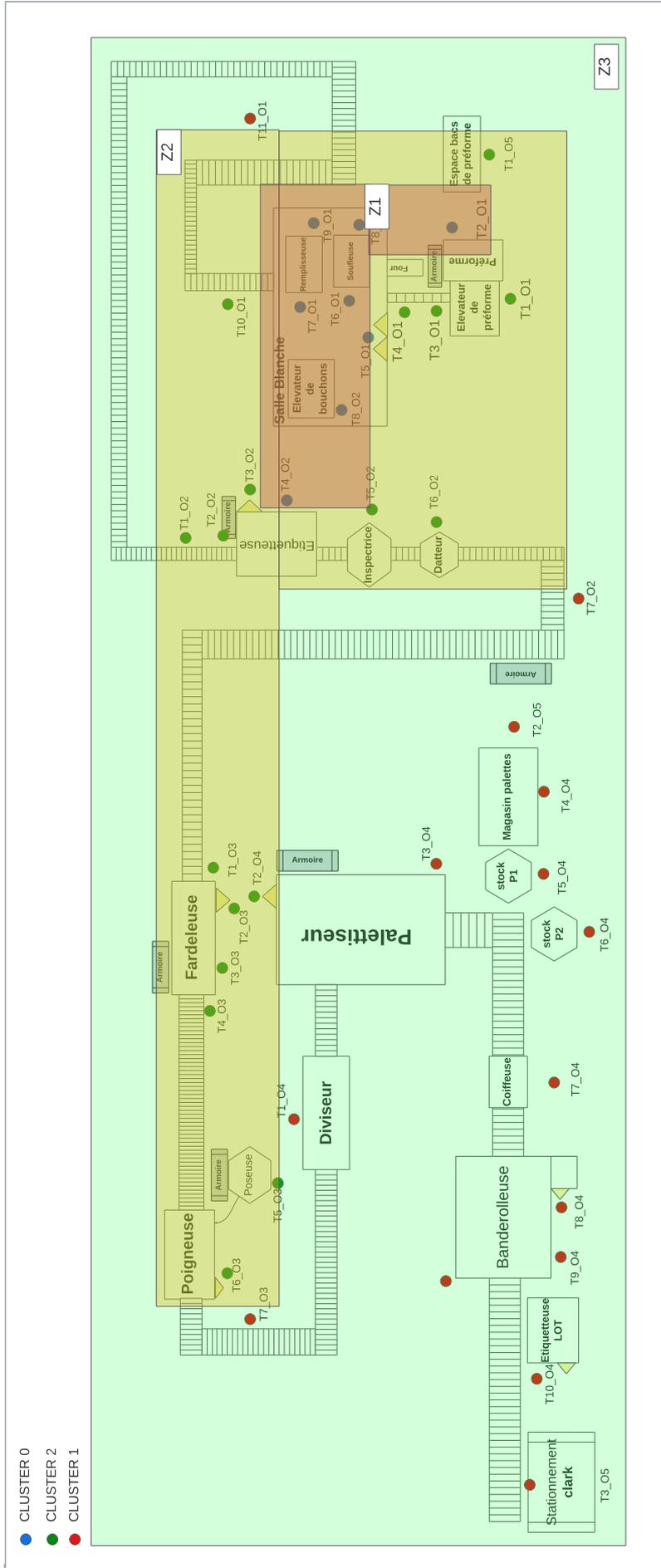


FIG. IV.7 : Cartographie du bruit

En conclusion de ce chapitre, les résultats obtenus de l'analyse de données nous a permis de faire un zonage et un regroupement des tâches sur notre ligne de production ce qui nous a aidé à identifier les tâches les plus critiques à niveaux sonores élevés. Cette distinction nous a permis de mettre en évidence les zones nécessitant une attention particulière et de définir les prochaines étapes de notre étude.

La zone identifiée comme les plus critiques, qui est la **zone Z1** dans la figure IV.7 a été sélectionnées pour une deuxième évaluation approfondie par rapport à l'exposition professionnelle des opérateurs. Cette évaluation consistera à analyser en détail les degrés d'expositions des opérateurs lors de l'exécution de ces tâches spécifiques.

En examinant attentivement les tâches regroupées dans cette zone, nous pourrons mettre en avant un autre facteur qui est la durée de l'exposition, qui sera traités dans le prochain chapitre, et déterminer les mesures de contrôle du bruit appropriées à mettre en œuvre. Ces mesures peuvent inclure l'utilisation d'équipements de protection individuelle, les rotations, l'isolation acoustique des machines, ou d'autres solutions visant à réduire l'exposition au bruit des opérateurs.

Chapitre IV

Évaluation de l'exposition au bruit

Chapitre V

Évaluation de l'exposition au bruit

Suite à l'analyse des données de mesure des niveaux sonores dans différents points de la ligne de production, nous avons identifié les tâches les plus critiques en termes d'exposition au bruit. Cela nous a permis d'établir une cartographie précise des zones à risque au sein de la ligne. Dans ce chapitre, nous nous concentrerons sur un autre paramètre essentiel : l'évaluation de l'exposition professionnelle des opérateurs associés à ces tâches critiques. Pour cela, nous utiliserons deux critères principaux : le temps d'exposition maximum toléré pour les niveaux sonores calculés et la dose d'exposition, en référence au temps maximum autorisé par la Réglementation sur la santé et la sécurité au travail (RSST).(*voir figure II.9*)

L'objectif de cette évaluation est de mettre en avant le facteur de dose d'exposition et de hiérarchiser les tâches par ordre de criticité. Nous analyserons ensuite les résultats obtenus afin d'établir un plan d'action visant à corriger les écarts constatés par rapport aux normes réglementaires. Ce plan d'action sera élaboré en collaboration avec les responsables concernés et sera déployé dans un ordre de priorité basé sur les résultats de notre évaluation.

Ainsi, cette section nous permettra de mieux comprendre l'ampleur de l'exposition des opérateurs, d'identifier les tâches nécessitant une intervention prioritaire et de formuler des recommandations adaptées pour réduire les risques liés au bruit dans notre environnement de travail.

Il convient de noter que la durée d'intervention et de réalisation des tâches a été déterminée après une observation sur le terrain et en consultation avec le chef de la ligne et a été calculé suivant l'équation V.1.

$$\text{Durée totale} = \text{Durée moyenne de réalisation de la tâche} \cdot \text{Fréquence} \quad (\text{V.1})$$

Ces estimations ont été établies en prenant en compte la moyenne de la durée et de la fréquence dans la réalisation des tâches, en se basant sur l'expérience et les connaissances de l'équipe. Ces estimations sont fournies à titre indicatif et peuvent varier en fonction des conditions spécifiques de chaque situation. Il est donc important de considérer ces valeurs comme des approximations.(*Voir tableau V.1*)

TAB. V.1 : Durées totales de réalisation des tâches

Numéro	Code	Tâches	Durée totale (min)	Durée totale (h)
0	T2_O1_Z1	Alimenter les bacs de préforme	120	2
1	T5_O1_Z2	Contrôle et ajustement du poste de contrôle	40	3
2	T6_O1_Z2	Intervention sur la souffleuse (côté 1) en cas de problèmes	40	
3	T7_O1_Z2	Intervention sur la remplisseuse (côté 1) en cas de problèmes	40	
4	T8_O1_Z2	Intervention sur la souffleuse (côté 2) en cas de problèmes	40	
5	T9_O1_Z2	Intervention sur la remplisseuse (côté 2) en cas de problèmes	40	
6	T4_O2_Z3	Entretien des cylindres et recharge de la colle	50	0.83
7	T8_O2_Z4	Alimenter les bacs de bouchons dans la salle blanche	110	1.83

V.1 Analyse des paramètres d'exposition et des mesures

Dans cette section, nous procéderons à une analyse approfondie des paramètres d'exposition au bruit. Pour évaluer ces paramètres temporels, nous nous référerons aux niveaux sonores tolérés tels qu'énoncés par la Réglementation sur la santé et la sécurité au travail (RSST). (*voir figure II.9*)

Dans un premier temps, nous examinerons le temps d'exposition maximum autorisé pour les niveaux sonores enregistrés lors de notre enquête dans la ligne CSD. Nous utiliserons la formule spécifiée par la RSST, qui est détaillée dans l'annexe A.1.1 et applicable au bruit continu. Cette évaluation nous permettra de déterminer si le temps d'exposition aux niveaux sonores dépasse les seuils acceptables fixés par la réglementation.

Ensuite, nous aborderons le deuxième paramètre d'évaluation, à savoir la dose d'exposition. Cette mesure compare la durée d'exposition réelle des opérateurs à la durée d'exposition autorisée par la RSST, exprimée en pourcentage. Si la dose d'exposition est inférieure à 1, cela indique une exposition tolérable. Cependant, si la dose d'exposition dépasse ce seuil, des actions correctives seront jugées nécessaires afin de réduire l'exposition des opérateurs au bruit.

Les résultats obtenus orienteront notre plan d'action présenté dans le prochain chapitre en vue de réduire l'exposition au bruit et d'améliorer les conditions de travail de nos opérateurs.

V.1.1 Le temps d'exposition maximum

Dans cette section, nous aborderons d'abord le temps d'exposition maximum. Nous utiliserons une formule qui nous permettra de calculer le temps estimé pour un niveau sonore donné et de le comparer à la durée d'exposition réelle.

Nous avons effectué les calculs suivants :

- Calcul du temps d'exposition maximum pour chaque tâche réalisée individuellement.
- Calcul du temps d'exposition maximum pour les combinaisons de tâches en prenant en compte le L_{Aeq} . (*Rappel des niveaux sonores enregistrés dans tableau V.2*)

- Détermination du temps d'exposition maximum total des opérateurs prédéfini pour prendre en compte l'ensemble des points d'exposition. Pour consulter les résultats détaillés, veuillez vous référer au tableau V.3.

TAB. V.2 : Niveaux sonores des tâches critiques

Numéro	Niveau du bruit dB								
	Période 1			Période 2			Période 3		
	L eq	L eq-taches critiques	L eq(8H)tot	L eq	L eq-taches critiques	L eq(8H)tot	L eq	L eq-taches critiques	L eq(8H)tot
0	87,85	87,85	102,0771831	90,4	90,4	103,598361	95,9	95,9	104,274029
1	87,55	101,2605496		94,5	102,785133		94,9	103,016389	
2	95,3			97,05			95,9		
3	90			91,95			93,95		
4	97,2			97,55			98,65		
5	95			95,85			95,1		
6	92,95	93,79145777	92,05	96,5843638	98,3314839	97,3632175	99,5586429		
7	86,25		94,7		91,8			95,95	

TAB. V.3 : Temps maximum d'exposition

Numéro	Temps d'exposition maximum								
	Periode1			Periode 2			Periode3		
	par Tache	par L eq-taches critiques	par L eq(8H)	par Tache	par L eq-taches critiques	par L eq(8H)	par Tache	par L eq-taches critiques	par L eq(8H)
0	4,141059695	4,141059695	0,154706489	2,29739671	2,29739671	0,108860025	0,64468515	0,64468515	0,09312574
1	4,438277888	0,131362233		0,890898718	0,13136223		0,8122524		
2	0,740548776			0,49425701			0,64468515		
3	2,5198421			1,605845764			1,01161944	0,12452756	
4	0,477420802			0,440332937			0,34151006		
5	0,793700526			0,652176035			0,77557238		
6	1,274560627	1,049363182	1,569168196	0,55039734	0,367590664	1,66247579	0,45975192	0,27683899	
7	5,993228308		0,850667161		0,63728031				

V.1.1.1 Interprétation

Après avoir effectué les calculs pour déterminer le temps d'exposition maximum pour les différentes tâches, nous avons observé les résultats suivants :

- Le temps d'exposition maximum toléré diminue significativement lorsque nous prenons en compte la réalisation de l'ensemble de ces tâches sur une période de travail de 8 heures. Cette constatation met en évidence l'importance de considérer la durée totale d'exposition aux niveaux sonores élevés, plutôt que de se concentrer uniquement sur les tâches individuelles.

En effet, lorsqu'on évalue les tâches individuellement, il semble qu'elles ne dépassent le temps d'exposition maximum toléré. Cependant, en prenant en compte la réalisation de toutes ces tâches au cours d'une journée de travail complète, le temps d'exposition total se situe au delà des limites permises par la réglementation.

Nous calculeront l'écart entre la durée d'exposition réelle et le temps d'exposition maximum permis pour la combinaison des tâches, en utilisant la formule

$$\text{Écart}(\%) = \left(\frac{\text{Durée} - T_{\text{max}}}{T_{\text{max}}} \right) 100 \quad (\text{V.2})$$

Ces écarts sont présentés dans le tableau V.4. Cette analyse des écarts nous permettra d'identifier les tâches présentant les plus grandes non-conformités par rapport aux limites d'exposition.

TAB. V.4 : L'écart Temps maximum-Durée

Numéro	Code	Taches	Ecart(Tmax-Durée totale)		
			Période 1	Période 2	Période 3
0	T2_O1_Z1	Alimenter les bacs de préforme	Conforme	Conforme	Ecart très important
1	T5_O1_Z2	Contrôle et ajustement du poste de contrôle	Ecart très important	Ecart très important	Ecart très important
2	T6_O1_Z2	Intervention sur la souffleuse (coté 1) en cas de problèmes	Ecart très important	Ecart très important	Ecart très important
3	T7_O1_Z2	Intervention sur la remplisseuse (coté 1) en cas de problèmes	Ecart très important	Ecart très important	Ecart très important
4	T8_O1_Z2	Intervention sur la souffleuse (coté 2) en cas de problèmes	Ecart très important	Ecart très important	Ecart très important
5	T9_O1_Z2	Intervention sur la remplisseuse (coté 2) en cas de problèmes	Ecart très important	Ecart très important	Ecart très important
6	T4_O2_Z3	Entretien des cylindres et recharge de la colle	Ecart important	Ecart très important	Ecart très important
7	T8_O2_Z4	Alimenter les bacs de bouchons dans la salle blanche	Ecart important	Ecart très important	Ecart très important

	Ecart très important
	Ecart important
	Conforme

V.1.1.2 Représentation graphique

Le graphique dans la figure V.1 illustre de manière visuelle les écarts entre la durée réelle et les Tmax pour les tâches critiques dans chaque période. Chaque barre de l'histogramme représente une tâche spécifique, tandis que l'axe des x représente les différentes périodes étudiées. Les variations dans la hauteur des barres indiquent les différences entre la durée réelle et la durée maximale permise selon les niveaux sonores auxquels les opérateurs sont exposés.

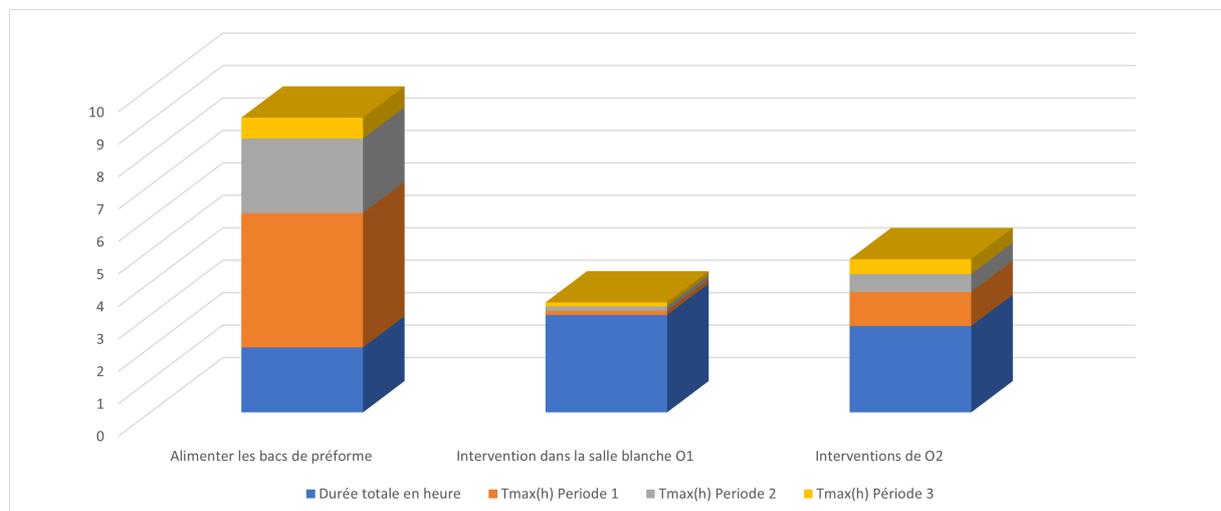


FIG. V.1 : Écart Tmax-Durée

V.1.1.3 Interprétation

En examinant les graphiques, nous pouvons clairement identifier que les tâches effectuées à l'intérieur de la salle blanche sont les plus critiques du point de vue de dépassement du temps d'exposition maximum permis par la réglementation en matière de santé et de sécurité au travail (RSST). Cela peut s'expliquer par plusieurs facteurs.

Dans la salle blanche, les machines de conception et de remplissage des bouteilles sont les principales sources d'exposition élevée. Ces machines génèrent des niveaux sonores significatifs lors de leur fonctionnement, ce qui expose les opérateurs à des risques auditifs accrus. La nécessité d'intervenir à l'intérieur de la salle blanche est souvent liée à des problèmes techniques pouvant survenir au sein de ces machines. Ces interventions sont nécessaires pour éviter tout retard dans la production et maintenir la ligne de production en marche.

Il est important de souligner que les problèmes techniques dans d'autres parties de la ligne peuvent également avoir une influence. En cas de problème dans une autre section de la ligne, cela pourrait entraîner une nécessité d'arrêt de la production dans la salle blanche afin d'éviter l'accumulation excessive de bouteilles.

Pendant la nuit, nous avons observé une diminution du temps d'exposition maximum permis par rapport aux autres périodes de la journée. On peut expliquer cela par des facteurs qui contribuent à une augmentation des niveaux sonores :

Premièrement, l'absorption sonore est réduite car il y a moins d'obstacles pour absorber le son, ce qui entraîne une propagation plus importante du bruit. De plus, les résonances et les vibrations amplifiées peuvent survenir en raison des changements dans les conditions environnementales, tels que les variations de température. Les limitations d'isolation acoustique des bâtiments jouent un rôle, car les matériaux isolants peuvent avoir une performance acoustique moindre à des températures plus basses. Enfin, les contraintes opérationnelles pendant la nuit, telles que l'utilisation intensive des machines et des équipements avec des cycles de fonctionnement plus longs, des vitesses plus élevées ou des ajustements moins fréquents des paramètres, produisent davantage de bruit.

V.1.2 Dose d'exposition

Dans l'analyse du deuxième paramètre : la dose d'exposition, nous avons également pris en compte les écarts entre les niveaux de bruit réels et les valeurs de référence définies par la réglementation en matière de temps d'exposition pour différents niveaux sonores (*voir figure II.9*). Ces comparaisons ont été réalisées pour les valeurs L_{Aeq} des combinaisons de tâches, et les résultats ont été présentés dans le tableau V.6.

TAB. V.5 : Temps d'exposition permis par la RSST

Numéro	Temps d'exposition permis (h/jour) - Réglementation								
	Periode1			Periode 2			Periode3		
	par Tache	par L eq-taches critiques	par L eq(8H)	par Tache	par L eq-taches critiques	par L eq(8H)	par Tache	par L eq-taches critiques	par L eq(8H)
0	10,6	10,7	1,3	7	7	1,2	3,5	3,6	1
1	10,66	1,5		4	1,2		4,6	1,2	
2	3,5			3			3,5		
3	8			6			4,6		
4	2,6			2,6			2,3		
5	4			3,5			4		
6	5,3	3,5	3	6	2,6	2,6	6	3	2
7	12,1		4,6	3,5					

TAB. V.6 : Doses d'exposition

Numéro	Dose d'exposition(%)								
	Periode1			Periode 2			Periode3		
	par Tache	par L eq-taches critiques	par L eq(8H)	par Tache	par L eq-taches critiques	par L eq(8H)	par Tache	par L eq-taches critiques	par L eq(8H)
0	18,86792453	18,69158879	615,3846154	28,5714286	28,57142857	666,6666667	57,1428571	55,55555556	800
1	28,14258912	200		75	250		65,2173913	250	
2	85,71428571			100			85,7142857		
3	37,5			50			65,2173913		
4	115,3846154			115,384615			130,434783		
5	75			85,7142857			75		
6	15,66037736	76	266,6666667	13,8333333	102,3076923	307,6923077	13,8333333	88,6666667	400
7	15,12396694		39,7826087		52,2857143				

 N.C

 C

V.1.2.1 Représentation graphique

Afin de mettre en évidence les résultats de nos calculs sur la dose d'exposition, nous avons réalisé un graphique en barres en 2D figure V.2. Ce graphique permet de visualiser clairement les tâches où la dose d'exposition dépasse le seuil de tolérabilité de 1, correspondant à 100%.

Les barres représentent chaque tâche spécifique, et leur hauteur indique le niveau de la dose d'exposition calculée. Les tâches pour lesquelles la dose d'exposition dépasse 100% sont clairement identifiées par les barres.

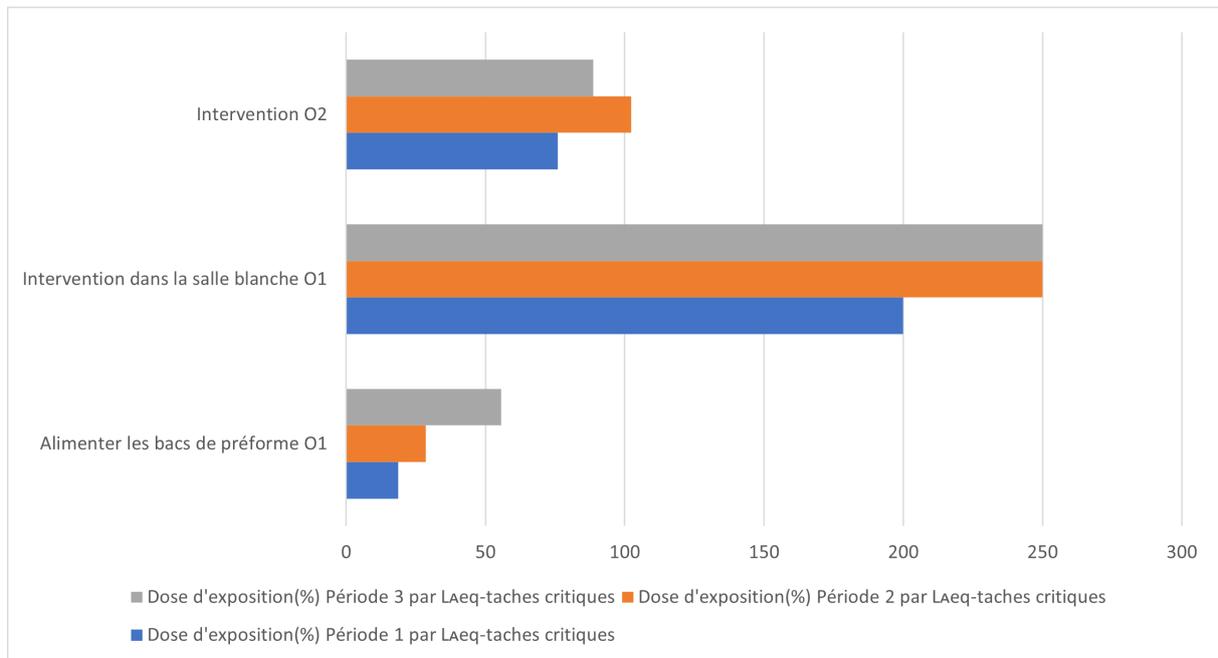


FIG. V.2 : Représentation graphique de l'écart Tmax-Durée

V.1.2.2 Interprétation

Comme observé précédemment, les tâches effectuées dans la salle blanche se révèlent être les plus critiques sur le plan de dépassement de la dose d'exposition tolérée.

De plus, l'analyse des résultats montre que les périodes de travail ont une influence significative sur la dose d'exposition. Pendant la nuit, où les niveaux sonores peuvent être plus élevés, la dose d'exposition atteint des valeurs plus élevées par rapport aux autres périodes. Cela peut être expliqué par une augmentation de l'intensité du bruit ambiant pendant la nuit, en raison de facteurs tels que la réduction de l'absorption sonore, les effets de résonance et les limitations d'isolation acoustique qu'on a expliqués précédemment.

V.1.3 Résultats et interprétation

Les résultats de l'évaluation de l'exposition au bruit mettent en évidence la criticité des tâches en fonction des facteurs de temps d'exposition maximum permis par la RSST et de dose d'exposition. Ces résultats ont été analysés pour hiérarchiser les tâches en fonction de leur criticité.

Dans le tableau V.7, l'ordre de priorité d'intervention proposé sur des tâches est présenté, ce qui permettra de guider l'allocation des ressources de temps et budgétaires nécessaires dans la mise en place de mesures préventives.

TAB. V.7 : Classement des tâches

Numéro	Code	Taches	Regroupement	Ordre de priorité		
				Période 1	Période 2	Période 3
0	T5_O1_Z2	Contrôle et ajustement du poste de contrôle	Intervention dans la salle blanche O2			
1	T6_O1_Z2	Intervention sur la souffleuse (coté 1) en cas de problèmes				
2	T7_O1_Z2	Intervention sur la remplisseuse (coté 1) en cas de problèmes				
3	T8_O1_Z2	Intervention sur la souffleuse (coté 2) en cas de problèmes				
4	T9_O1_Z2	Intervention sur la remplisseuse (coté 2) en cas de problèmes	Intervention O2			
5	T4_O2_Z3	Entretien des cylindres et recharge de la colle				
6	T8_O2_Z4	Alimenter les bacs de bouchons dans la salle blanche				
7	T2_O1_Z1	Alimenter les bacs de préforme				

Ce chapitre marque ainsi la fin de l'évaluation et constitue un point de départ pour la dernière étape de notre démarche pour la gestion des risques associés aux nuisances sonores dans la ligne CSD. Dans le chapitre suivante, nous proposerons des les actions à mettre planifier afin de réduire l'exposition au bruit et diminuer l'impact de ces nuisances sur la santé des opérateurs.

Chapitre V

Réduction du risque lié à l'exposition aux nuisances sonores

Chapitre VI

Réduction du risque lié à l'exposition aux nuisances sonores

Afin de remédier aux écarts identifiés dans l'exposition excessive au bruit dans les tâches identifiées, nous proposons la mise en place d'un système de rotation des postes pour les opérateurs. Cette solution organisationnelle permettra de diversifier les tâches, de réduire l'exposition au bruit et de favoriser une répartition équitable de l'exposition. Deux approches de rotation sont présentées : la rotation des opérateurs et la collaboration inter-zones.

La collaboration inter-zones, implique un échange périodique des postes de travail entre les opérateurs pendant les heures de travail. Cela permettra à chaque opérateur de travailler dans différentes zones, favorisant ainsi l'apprentissage et l'adaptation à diverses tâches. De plus, cette rotation contribuera à répartir équitablement l'exposition au bruit et à prévenir les risques liés à la monotonie des tâches.

La rotation des opérateurs, quant à elle, propose un changement de poste entre les périodes de travail. Les opérateurs échangeront leurs responsabilités, leur permettant ainsi de travailler dans différentes zones lors des différentes périodes de travail. Cette approche favorise la diversification des tâches critiques, tout en maintenant une continuité opérationnelle efficace.

Pour évaluer l'efficacité de ces actions, plusieurs indicateurs de performance seront mis en place. Nous surveillerons le temps moyen passé sur chaque poste, le taux d'achèvement des tâches assignées, la productivité avant et après la formation, ainsi que le niveau d'assimilation des opérateurs. De plus, nous proposons d'accorder une attention particulière à la santé auditive des opérateurs en mettant en place un suivi médical régulier, notamment par le biais de tests d'audition.

En mettant en œuvre ces rotations des postes et en favorisant la collaboration inter-zones, nous visons à créer un environnement de travail équilibré, où les opérateurs pourront développer leurs compétences, maintenir leur santé, tout en contribuant à une production efficace et de haute qualité.

Dans les parties suivantes, nous détaillerons les deux systèmes de rotation proposés, en expliquant leur mise en œuvre. Nous aborderons également les indicateurs de performance clés à surveiller pour évaluer l'efficacité des actions correctives et garantir des résultats positifs pour les opérateurs et l'entreprise.

Note : Nous tenons à souligner que ce changement de système de rotation des postes impactera un effectif total de 16 opérateurs.

VI.1 Rotation des opérateurs et collaboration inter-zones

VI.1.1 Première solution

On propose ci-dessous une rotation entre les opérateurs O1 et O4, O2 et O3 pendant les 8 heures de travail. Voici comment cela pourrait être organisé :

Durant les 4 premières heures de travail

- L'opérateur O1 effectue ses tâches assignées dans sa zone initiale.
- L'opérateur O2 effectue ses tâches assignées dans sa zone initiale.
- L'opérateur O3 effectue ses tâches assignées dans sa zone initiale.
- L'opérateur O4 effectue ses tâches assignées dans sa zone initiale.

Pour les 4 heures restantes

- Les opérateurs O1, O2, O3 et O4 échangent de poste.
- L'opérateur O1 effectue les tâches assignées à l'opérateur O4 dans sa zone.
- L'opérateur O2 effectue les tâches assignées à l'opérateur O3 dans sa zone.
- L'opérateur O3 effectue les tâches assignées à l'opérateur O2 dans sa zone.
- L'opérateur O4 effectue les tâches assignées à l'opérateur O1 dans sa zone.

Ainsi, chaque opérateur aura l'opportunité de travailler dans les différentes zones pendant la même période de travail. Cette rotation permettra de répartir équitablement l'exposition au bruit et de diversifier les tâches critiques entre les opérateurs. (*voir figure VI.1*)

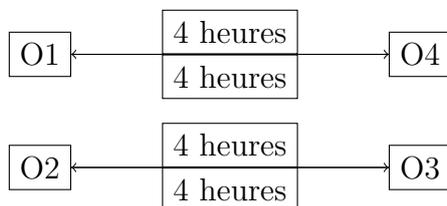


FIG. VI.1 : Rotation des opérateurs pendant les 8 heures de travail

VI.1.2 Deuxième solution

Intégrer le système de rotation des postes des opérateurs dans le programme de rotation des 4 équipes :

Dans cette proposition, nous suggérons un changement de poste entre les périodes de travail pour les opérateurs O1, O2, O3 et O4. Voici comment cela pourrait être

organisé :(voir figure VI.2)

shift de nuit :

- L'opérateur O1 travaille dans sa zone initiale pendant la période de nuit.
- L'opérateur O2 travaille dans sa zone initiale pendant la période de nuit.
- L'opérateur O3 travaille dans sa zone initiale pendant la période de nuit.
- L'opérateur O4 travaille dans sa zone initiale pendant la période de nuit.

shift du matin :

- Les opérateurs O1, O2, O3 et O4 échangent de poste.
- L'opérateur O1 effectue les tâches assignées à l'opérateur O4 dans sa zone.
- L'opérateur O2 effectue les tâches assignées à l'opérateur O3 dans sa zone.
- L'opérateur O3 effectue les tâches assignées à l'opérateur O2 dans sa zone.
- L'opérateur O4 effectue les tâches assignées à l'opérateur O1 dans sa zone.

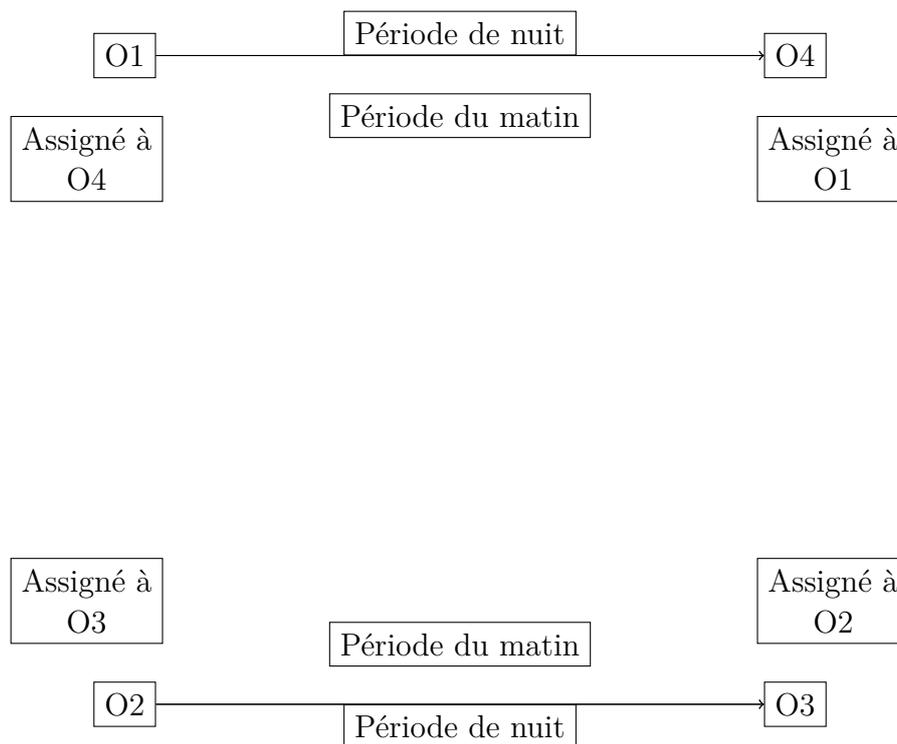


FIG. VI.2 : Rotation des opérateurs pendant le service de rotation des 4 équipes

En suivant ce plan de rotation entre les périodes de travail, les opérateurs O1, O2, O3 et O4 auront l'occasion de travailler dans les différentes zones à différents moments de la journée. Cette rotation contribuera à réduire l'exposition prolongée au bruit et à promouvoir une répartition équitable des tâches critiques, tout en évitant de compromettre la production.

VI.2 Actions pour la mise en place du système de rotation des postes

Pour garantir une mise en place efficace des systèmes de rotation des postes, plusieurs actions à mettre en place sont proposées ci-dessous. Ces mesures englobent la planification, la formation, le suivi médical régulier, ainsi que l'évaluation des performances. En combinant ces différentes actions, nous visons à optimiser les compétences des opérateurs, à assurer leur santé et leur bien-être, tout en préservant l'efficacité globale de la production.

- Planification

- Effectuer une évaluation initiale des compétences et connaissance des opérateurs de la ligne concerné par le système de rotation et cela à travers un questionnaire. Ce questionnaire permettra de dresser un état des lieux des compétences actuelles des opérateurs et d'identifier les écarts de compétences nécessitant des séances de formation. (*voir annexe C.2*)
- Organiser des réunions avec les chefs de ligne et les responsables de production afin de garantir leur engagement dans la mise en place du système et de les responsabiliser en termes de communication et de coordination du plan de rotation au sein de leurs équipes. S'assurer qu'ils comprennent les objectifs du plan, ainsi que les avantages qu'il apporte pour la santé des opérateurs.

- Sessions de formation

- Organiser des sessions de formation où les opérateurs qui ont déjà travaillé dans les postes ou zones assignés partagent leur expérience et expertise avec les opérateurs qui seront affectés à ces postes. Ces sessions peuvent prendre la forme de présentations, de discussions en groupe ou même de séances pratiques sur place.

Nous proposons ci-dessous deux plans de formation à mettre en place à partir du 01-08-2023 pour un des deux systèmes de rotation proposés. Une fois que le premier plan sera complété, il sera également appliqué au deuxième système. (*voir tableau VI.1*), il est à noter que ces formations se dérouleront sous forme d'une séance pratique et seront supervisées par le chef de la ligne.

- Plan de Formation - Système de Rotation Inter-Zones

TAB. VI.1 : Plan de Formation - Système de Rotation Inter-Zones

Période d'essai	Date	Heure	Numéro de l'équipe	Type de rotation	Opérateurs	Supervision	Observations			
<i>shift 1 : 05h-13h</i>	01/08/2023	09:00	1	Rotation inter-zone	01 - 04 / 02 - 03	Chef de ligne/ Responsable de production				
	04/08/2023		2							
	03/08/2023		3							
	02/08/2023		4							
<i>shift 2 : 13h-21h</i>	02/08/2023	17:00	1							
	01/08/2023		2							
	04/08/2023		3							
	03/08/2023		4							
<i>shift 3 : 21h-05h</i>	03/08/2023	01:00	1							
	02/08/2023		2							
	01/08/2023		3							
	04/08/2023		4							

- Remarques

- La première vague de formation durera 15 jours, et cela afin de garantir la présence des chefs de ligne, une semaine sera consacré pour les opérateurs de la salle blanche et les opérateurs du palettiseur et de la banderoleuse, la deuxième semaine sera dédiée à la formation des Opérateur de l'étiquetteuse et de la fardeleuse et de la poigneuse.

- La période spécifique de chaque système de rotation est indiquée dans la colonne "Période d'essai".

- L'observation est prévue pour noter les points forts et les points à améliorer pendant la rotation.

- Le chef de ligne assure la supervision et la coordination de la rotation pendant les séances de formation.

- Suivi médical

Accorder une attention particulière à la santé des opérateurs lors de la mise en place du système de rotation des postes est essentiel. Pour cela, nous proposons un suivi de la capacité auditive des opérateurs désignés. Le médecin du travail sera responsable dans ce processus et sera chargé d'évaluer les opérateurs concernant leur santé auditive et d'éventuels symptômes de stress professionnel, le burn-out et la fatigue excessive, qui peuvent être dus à une exposition excessive à des niveaux sonores élevés.

Il est également important de fournir à l'infirmerie de l'entreprise un audiomètre, qui est un appareil dédié à l'évaluation de la capacité auditive des opérateurs. Cet audiomètre

permettra d'effectuer des tests réguliers tels que l'audiométrie tonale et vocale, afin de détecter toute diminution de la capacité auditive des opérateurs et prendre les mesures nécessaires en cas de besoin qui sera noté dans le suivi et permettra d'évaluer l'efficacité du système de rotation après sa mise en place.

- Suivi et évaluation

On propose d'effectuer des comptes rendus tous les 15 jours, à la fin de chaque formation, pour examiner l'évolution de la mise en place des deux plans de rotation. Ces comptes rendus vont inclure les points suivants :

- Récapitulatif des activités de rotation effectuées au cours des deux semaines précédentes.

- Évaluation des indicateurs de performances pour chaque action corrective. - Commentaires des opérateurs et des chefs d'équipe sur leur expérience de rotation, les défis rencontrés et les améliorations possibles.

- Mesure de l'assimilation des opérateurs par le biais d'enquêtes ou d'entretiens individuels.

- Évaluation de la productivité pendant la période de rotation par rapport aux périodes précédentes.

Avec un suivi consciencieux, On pourra obtenir des informations sur l'efficacité du plan de rotation, identifier les défis potentiels et apporter les ajustements nécessaires pour optimiser les résultats en termes de satisfaction des opérateurs, de productivité et de réduction d'impact du aux nuisances sonores.

VI.2.1 Indicateurs de performance

Afin d'évaluer l'efficacité des actions à mettre en place nous proposons différents indicateurs quantitatifs pour évaluer les séances pratiques, la productivité, le suivi médical et le niveau de satisfaction des opérateurs. Ces indicateurs nous fourniront des données concrètes et mesurables, nous permettant ainsi de prendre des décisions éclairées pour améliorer continuellement le processus de rotation des postes.

Planification :

- **Taux de complétion du questionnaire** : Mesure du pourcentage de questionnaires d'évaluation des compétences et feedbacks rempli. Un taux de complétion élevé indique une participation des opérateurs.

Le taux de complétion peut être calculé comme suit :

$$\text{Taux de complétion(\%)} = \frac{\text{Nombre de questionnaires complétés}}{\text{Nombre de questionnaires transmis}} 100 \quad (\text{VI.1})$$

- **Écarts de compétences identifiés** : Analyse des résultats du questionnaire pour identifier les écarts de compétences entre les compétences actuelles des opérateurs et celles requises pour la rotation et cela en mesurant l'écart .

Le taux de compétence peut être calculé comme suit :

$$\text{Taux de compétence(\%)} = \frac{\text{Nombre de tâches maîtrisées}}{\text{Nombre de tâches requises}} \cdot 100 \quad (\text{VI.2})$$

- **Niveau de compréhension des objectifs du plan de rotation** : Mener une enquête auprès des chefs de ligne et des responsables de production pour évaluer leur compréhension des objectifs du plan de rotation. On utilisera une échelle de notation pour mesurer le niveau de compréhension.

TAB. VI.2 : Matrice de notation-Objectifs

Niveau de compréhension	Signification
3	Une compréhension solide et claire des objectifs du plan de rotation, avec seulement quelques points de clarification nécessaires.
2	Une compréhension partielle des objectifs du plan de rotation, mais avec des zones d'incertitude et de confusion.
1	Une compréhension très limitée des objectifs du plan de rotation, avec des lacunes importantes.

Sessions de formation :

- **Le respect du temps requis pour la formation** : Calcul du temps moyen que chaque opérateur passe sur chaque poste pendant les séances pratiques. Comparez ce temps avec le temps recommandé pour chaque poste afin d'évaluer l'efficacité de la formation et l'adaptation des opérateurs à chaque poste.

Pour calculer l'efficacité de cet indicateur :

$$\text{Temps moyen passé sur un poste(\%)} = \frac{\text{Temps passé sur le poste}}{\text{Temps recommandé pour la formation}} \cdot 100 \quad (\text{VI.3})$$

- Temps recommandé pour la formation pour le plan de rotation inter-zones est de 4 heures.

- **Taux de non-conformité dans la réalisation des tâches** : Évaluer le pourcentage de tâches assignées que les opérateurs sont en mesure de terminer pendant les séances pratiques sans solliciter l'aide de son superviseur et sans commettre des erreurs. Cela permet de mesurer leur compétence et leur capacité à effectuer les tâches assignées .

$$\text{Taux de dysfonctionnement (\%)} = \frac{\text{Nombre d'erreurs}}{\text{Nombre total de tâches assignées}} \times 100 \quad (\text{VI.4})$$

- Respect des directives

Le niveau de respect des directives peut être évalué en menant une enquête auprès des opérateurs pour estimer leur niveau de respect quant aux consignes données. On utilisera une échelle de notation pour effectuer cette mesure.

TAB. VI.3 : Matrice de notation-Directives

Niveau de respect	Signification
3	Les opérateurs respectent parfaitement les directives données, sans aucune déviation.
2	Les opérateurs respectent majoritairement les directives, mais peuvent commettre quelques écarts mineurs.
1	Les opérateurs ont du mal à respecter les directives et nécessitent fréquemment des rappels ou des interventions de la part du chef de ligne.

Indicateurs pour le suivi médicale

- Application des exigences légales et réglementaires liées à la médecine de travail, mesurer le degré de conformité aux normes légales et réglementaires applicables. Cela peut être mesuré en effectuant des audits internes ou en suivant les résultats des inspections réglementaires.

$$\text{Taux de conformité} = \left(\frac{\text{Nombre d'exigences appliquées}}{\text{Nombre total d'exigences}} \right) \quad (\text{VI.5})$$

- Taux d'opérateurs présentant une dégradation auditive :

$$\text{Taux(\%)} = \left(\frac{\text{Nombre d'opérateurs présentant une dégradation auditive}}{\text{Nombre total d'opérateurs ayant réalisé un test de l'audition}} \right) \times 100 \quad (\text{VI.6})$$

- Voici un tableau qui pourrait permettre de classer la capacité auditive des opérateurs ayant présenter une quelconque dégradation :

TAB. VI.4 : Échelle de gravité - Capacité auditive

Gravité	Capacité auditive
1	Aucune perte auditive détectée
2	Perte auditive légère
3	Perte auditive modérée
4	Perte auditive critique

Indicateurs de suivi et d'évaluation des systèmes de rotation

- **Taux de production de la ligne** : Comparer le taux de production avant et après la mise en place de chaque système de rotation. Ce taux permettra de mesurer l'impact du système de rotation sur la production moyenne habituelle de la ligne de production. On utilisera pour cela la formule suivante :

$$\text{Taux de production (\%)} = \left(\frac{\text{Production après la mise en place du système de rotation}}{\text{Production avant la mise en place du système de rotation}} \right) 100 \quad (\text{VI.7})$$

- **Maîtrise des nuisances sonores** : son évaluation se fait en calculant les nouvelles doses d'exposition après la mise en place du système de rotation des opérateurs. L'objectif est de réduire ces doses d'exposition pour qu'elle soit inférieure à 100% pour l'ensemble des tâches effectuées.

VI.2.2 Plan d'actions

Nous présentons ci-dessous un tableau récapitulatif des mesures à mettre en place et des indicateurs de performance correspondants (voir tableau VI.5). Cela permettra d'avoir une vision claire et concise des actions prévues ainsi que des critères d'évaluation pour mesurer l'efficacité de notre plan d'action

TAB. VI.5 : Planification des actions correctives

Phase d'élaboration	N	Actions correctives	Indicateurs de performance	Cible	Responsable	Date limite de réalisation	Suivi
Planification et formalisation	1	Entretien initial avec les opérateurs	Taux de complétion du questionnaire	100%	Superviseur HSE/RH	15-07-2023	
	2	Identification des écarts en compétences	Taux de compétence	100%	Ressources humaines	15-07-2023	
	3	Assurer l'implication des chefs de ligne	Niveau de compréhension des objectifs	3	Responsable HSE/Resp. production	15-07-2023	
Suivi et formation	4	Effectuer les séances d'application sur terrain	Respect du temps requis pour la formation	100%	Chefs de ligne	30-09-2023	
			Taux de non-conformité dans la réalisation des tâches	<20%			
			Respect des directives	100%			
5	Assurer le suivi médical	Application des exigences légales et réglementaires liées à la médecine de travail	100%	Médecin de travail /Resp. HSE	15-10-2023		
		Taux d'opérateurs présentant une dégradation auditive	<50%		30-08-2023		
Évaluation de l'efficacité	6	Suivi global de la mise en place du système	Taux de production	>100%	Resp. HSE /Resp. production	31-12-2023	
			Dose d'exposition	<100%			

Dans ce chapitre, nous avons proposé deux systèmes de rotations visant à remédier aux expositions professionnelles au bruit dépassant les limites réglementaires. Ces systèmes offrent une approche proactive pour réduire les risques liés au bruit et garantir un environnement de travail sûr et sain pour nos opérateurs.

Pour assurer la mise en place stratégique de ces systèmes de rotation, nous avons proposé un ensemble d'actions concrètes. La planification minutieuse, la formation appropriée, le suivi médical régulier et l'évaluation continue sont des éléments essentiels de cette démarche. Ces actions permettent de s'assurer que les systèmes de rotation sont mis en œuvre de manière efficace et respectent les normes de santé et de sécurité. En combinant ces systèmes de rotation avec les actions correctives appropriées, nous visons à améliorer considérablement les conditions de travail de nos opérateurs tout en garantissant le respect des normes de santé et de sécurité.

Pour renforcer la démarche et maximiser les résultats, nous recommandons vivement de prendre en compte les actions suivantes :

- Mettre en place un système de collecte régulière de données sur les niveaux sonores et les doses d'exposition pour évaluer l'efficacité des rotations.
- Effectuer des enquêtes de satisfaction des employés pour recueillir leur feedback et identifier les éventuels problèmes ou besoins supplémentaires.
- Renforcer la sensibilisation des opérateurs à l'importance du port des équipements de protection individuelle (EPI) et veiller à leur disponibilité et à leur bon état de fonctionnement.
- Promouvoir une culture de prévention en organisant des formations régulières sur les bonnes pratiques en matière de gestion du bruit et en encourageant la participation active des employés.

Conclusion

Conclusion générale

Suite à l'étude expérimentale approfondie menée sur la ligne de production CSD, les résultats obtenus révèlent la présence préoccupante d'un contaminant physique dans l'environnement de travail des opérateurs : le bruit. Bien que ces résultats ne confirment pas directement l'existence de maladies professionnelles ou d'incidents spécifiques liés au bruit, il est indéniable que cette exposition au bruit constitue un enjeu significatif pour la santé et la sécurité des travailleurs.

L'enquête préliminaire a révélé que la ligne de production étudiée présente plusieurs aspects importants liés à l'exposition au bruit. Les machines fonctionnent en continu, entraînant une exposition prolongée des opérateurs. Chaque machine émet un type de bruit, se manifestant principalement sous forme d'un bruit continu contribuant à un niveau global élevé de bruit dans les zones de travail, en particulier dans la salle blanche telles que la **remplisseuse** et la **souffleuse**. Les opérateurs sont exposés à des niveaux élevés de bruit, avec certains refusant de porter des équipements de protection individuelle. Aucun équipement de protection collective n'est actuellement en place.

L'analyse des données a permis de tirer plusieurs conclusions importantes concernant les niveaux de bruit sur la ligne de production. Les méthodes d'analyse en composantes principales (ACP) et de clustering K-means ont été utilisées pour identifier les tâches critiques et réaliser la cartographie du bruit.

L'ACP a joué un rôle essentiel dans la réduction des données en identifiant les principales composantes qui capturent l'information ce qui a mis en évidence le rôle significatif du **facteur de *shift* (Période de travail)** dans la contribution aux niveaux sonores.

Le clustering K-means s'est révélé particulièrement utile pour regrouper les **tâches similaires** en fonction de leurs niveaux de bruit. Cette approche a permis d'identifier des patterns et des regroupements intrinsèques dans les données, mettant en évidence des groupes de tâches partageant des caractéristiques communes concernant les niveaux de bruit. De plus, le K-means a permis **desegmenter efficacement les zones** de production en fonction de la similarité des niveaux de bruit, ce qui offre une meilleure compréhension des variations de bruit à travers la ligne de production.

En utilisant les résultats de ces deux méthodes, nous avons pu élaborer une **cartographie de bruit** et regrouper les tâches sur la ligne de production sous forme de **trois zones** distinctes : Z1, Z2 et Z3 (IV.7) , ce qui aide à visualiser les tâches les plus critiques exposantes à des niveaux sonores élevés. La salle blanche s'est avérée être la zone la plus critique, principalement en raison des machines de conception et de remplissage des bouteilles qui génèrent des niveaux sonores significatifs.

De plus, il a été observé que les périodes de travail, notamment la nuit, ont une **influence significative sur la dose** d'exposition au bruit. Pendant la nuit, les niveaux

sonores peuvent être plus élevés, ce qui entraîne des doses d'exposition plus élevées par rapport aux autres périodes. Cela peut être expliqué par une augmentation de l'intensité du bruit ambiant pendant la nuit, due à des facteurs tels que la réduction de l'absorption sonore et les effets de résonance.

En examinant les résultats de notre évaluation de l'exposition au bruit sur la ligne de production CSD d'IFRI, nous pouvons conclure que les tâches effectuées dans la salle blanche présentent un risque élevé dans le cadre de l'hygiène au travail englobant les tâches les plus critiques, **dépassant souvent le temps d'exposition maximum permis par la réglementation** en matière de santé et de sécurité au travail (RSST) et surtout en période nocturne. Absolument, l'absence d'adaptation des situations de travail aux facteurs de temps de travail peut représenter un réel danger pour les opérateurs à long terme. L'exposition prolongée au bruit sans mesures d'atténuation appropriées peut entraîner des problèmes de santé cités à maintes reprises.

Finalement, cette exploration a permis de mieux comprendre la distribution des niveaux de bruit et d'identifier les tâches les plus critiques ainsi que les périodes les plus exposées. Ces informations nous ont orienté vers la mise en place de mesures ciblées visant à améliorer les performances et à réduire les nuisances sonores sur la ligne de production.

Parmi les différentes options envisageables, l'isolation sonore a été considérée comme une solution potentielle pour réduire les niveaux de bruit à la source. Toutefois, compte tenu des contraintes liées à la non-qualification du personnel et aux difficultés techniques et financières, il a été décidé de privilégier les solutions administratives.

Dans cette optique, des mesures ont été proposées, telles que l'utilisation d'équipements de protection individuelle adaptés au bruit et la mise en œuvre de systèmes de rotations. **Les rotations inter-zones**, permettant aux opérateurs de passer d'une zone bruyante à une zone moins exposée au bruit, ainsi que **es rotations des postes** entre les périodes de travail, font partie de ces solutions administratives.

En étendant cette approche à d'autres unités de l'usine ou même à d'autres sites du groupe, il est possible de promouvoir des normes de santé et de sécurité cohérentes, tout en tirant parti des meilleures pratiques identifiées. Cette généralisation de la démarche contribuera à créer un environnement de travail plus sécuritaire et plus favorable à la santé des travailleurs, tout en améliorant la productivité et la performance globale de l'entreprise.

Donc dans une perspective d'amélioration continue et de gestion proactive des risques sonores, nous recommandons vivement l'adoption de la norme ISO 45001: Systèmes de management de la santé et de la sécurité au travail. Cette norme internationale fournit un cadre solide pour évaluer, contrôler et réduire les risques liés au bruit dans nos opérations.

En intégrant les principes de l'ISO 45001, IFRI sera en mesure d'instaurer des processus structurés et documentés pour évaluer l'exposition au bruit, fixer des objectifs de réduction des niveaux sonores, mettre en place des mesures de prévention appropriées et assurer un suivi régulier des performances pour la gestion du bruit.

L'adoption de cette norme facilitera la standardisation des pratiques de gestion du bruit au sein de du groupe IFRI, tout en aidant à respecter les réglementations nationales et internationales en matière de santé et de sécurité au travail. De plus, elle témoignera d'un engagement envers l'excellence opérationnelle, la protection des collaborateurs et la création d'un environnement de travail sûr et sain.

Bibliographie

- [1] *Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 1: Basic quantities and assessment procedures*. International Organization for Standardization, 2016.
- [2] AUDA-DESIGN. *Les risques du bruit au travail*. fr. URL : <https://www.protacbyprodways.com/les-risques-du-bruit-au-travail> - (visité le 28/04/2023).
- [3] Yves BEAUDET et al. *Hygiène du travail*. Presses de l'Université du Québec, 2005.
- [4] Ouail BENSALÉM et Rafik FERRAOUN. *Modélisation de l'énergie électrique des STEP Boumerdes et Tipaza*. Mémoire de projet de fin d'études. 2018.
- [5] “Bilan saisissant des risques du travail Des millions de morts et des milliards de dollars perdus, selon le BIT”. fr. In : (mai 2003).
- [6] *Bruit en milieu de travail*. fr. Avr. 2023. URL : <https://travail-emploi.gouv.fr/sante-au-travail/prevention-des-risques-pour-la-sante-au-travail/autres-dangers-et-risques/article/bruit-en-milieu-de-travail> (visité le 27/04/2023).
- [7] BRÜEL & KJÆR SOUND. *Bruit de l'Environnement*. Publication interne de l'entreprise. Brüel & Kjør Sound & Vibration Measurement A/S, 2000.
- [8] *BSOH | gewijd aan de discipline en de toepassing van de arbeidshygiëne*. URL : <https://www.bsoh.be/> (visité le 02/05/2023).
- [9] Direction des Risques Professionnels CARSAT BRETAGNE. “Le bruit dans les Industries Agroalimentaires”. In : ([2021]).
- [10] CENTRE CANADIEN D'HYGIÈNE ET DE SÉCURITÉ AU TRAVAIL (CCHST). “Bruit en milieu de travail - Notions de base”. In : (non spécifiée). Site web du CCHST.
- [11] Jean-René CHENARD, Johanne JEAN et Hélène BILODEAU. *Hygiène industrielle*. Travail de recherche réalisé à l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, Rouyn-Noranda, dans le cadre du module 4 en santé et sécurité au travail. 1986.
- [12] COMMISSION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL (CSST). *Réduire le bruit en milieu de travail : Informations générales et techniques illustrées*. 2005.
- [13] Jan-Erik DEADMAN et Pierre PUGIN. *Cahier des procédures en hygiène ou travail*. Département de santé communautaire, module santé du travail, Cité de la santé de Laval. Montréal : Institut national de santé publique du Québec, 1987.
- [14] *Décret exécutif n°93-184 du 27 juillet 1993 réglementant l'émission des bruits*. 1993.

- [15] *Exposition au bruit*. fr. URL : <https://www.cnesst.gouv.qc.ca/fr/prevention-securite/identifier-corriger-risques/liste-informations-prevention/exposition-au-bruit> (visité le 02/05/2023).
- [16] *Exposition au bruit au travail - Aperçu | Administration de la sécurité et de la santé au travail*. URL : <https://www.osha.gov/noise> (visité le 28/04/2023).
- [17] Atherley GORDON. “A Critical Review of Time-Weighted Average as an Index of Exposure and Dose, and Its Key Elements”. In : *American Industrial Hygiene Association Journal* 46 (1986), p. 481-487.
- [18] GOVERNMENT OF QUEBEC, CANADA. *Regulation respecting occupational health and safety (RSST)*. Article 132: Noise Exposure.
- [19] Abdelghani GRAMEZ. “Introduction à la réglementation acoustique Algérienne et la réhabilitation acoustique des façades”. fr. In : () .
- [20] Fouzi HADEF et al. *Recueil des Textes réunis et classés*. 1^{ère}. ROUIBA-ALGER : Service universitaire de médecine du travail, 2015.
- [21] Amel HAMRICHE. *Contribution à l'étude et à la simulation des paramètres hydro-métriques par l'analyse en composantes principales (ACP)*. Projet de Fin d'Étude, ENP Alger. 1993.
- [22] Harold HOTELLING. “Analysis of a Complex of Statistical Variables with Principal Components”. In : *Journal of Educational Psychology* (1933).
- [23] *Incendie et explosion. Incendie et explosion - Risques - INRS*. fr. URL : <https://www.inrs.fr/risques/incendie-explosion/introduction.html> (visité le 02/05/2023).
- [24] INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT et ADMINISTRATION DE L'EQUIPEMENT ET DES DEPLACEMENTS. *Vademecum du Bruit Routier Urbain, Volume 1: Notions d'acoustique*. Rapp. tech. Rapport technique. Bruxelles : Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement et Administration de l'Équipement et des Déplacements, 2004.
- [25] INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES (INERIS). *Évaluer et mesurer l'exposition professionnelle au bruit*. Rapp. tech. INERIS, 2009.
- [26] Adeline LAJOINIE. *Nuisances Sonores au Travail : L'adaptation des entreprises*. fr-FR. Oct. 2022. URL : <https://culture-rh.com/nuisances-sonores/> (visité le 28/04/2023).
- [27] *Le bruit au travail gêne un Français sur deux*. fr. ISSN : 2107-6677 Publisher : Actu-environnement. Fév. 2008. URL : https://www.actu-environnement.com/ae/news/enquete_ipsos_JNA_bruit_travail_4550.php4 (visité le 28/04/2023).
- [28] Sylvain LEQUOC. *Module : bruit, cours : Hygiène Industrielle*. Cours magistral. École Polytechnique de Montréal, 2003.
- [29] Aristidis LIKAS, Nikos VLASSIS et Jakob J. VERBEEK. “The global k-means clustering algorithm”. In : *Pattern Recognition* 36.2 (2003), p. 451-461. DOI : [10.1016/S0031-3203\(02\)00060-2](https://doi.org/10.1016/S0031-3203(02)00060-2).
- [30] *Loi sur la santé et la sécurité du travail*. LSQ, c. S-2.1, art. 1. 1979.

- [31] *Métriologie des nuisances sonores*. URL : https://www.hse-algerie.com/services/metrologie-des-nuisances/nuisances-sonores/Metrologie-des-nuisances-sonores_21_63_2_42 (visité le 28/04/2023).
- [32] ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ. *Résumé d'orientation des Directives de l'OMS relatives au bruit dans l'environnement*. Rapp. tech. Genève, Suisse : OMS, 1999.
- [33] K. PEARSON. "On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space". In : *Philosophical Magazine* 2.6 (1901), p. 559-572.
- [34] *Pollution sonore en Algérie : un problème de santé publique ignoré - Journalistes Écrivains pour la Nature et l'Écologie*. URL : <https://www.jne-asso.org/2018/01/13/pollution-sonore-en-algerie-un-probleme-de-sante-publique-ignore/> (visité le 28/04/2023).
- [35] *Prévention et risques industriels. Qu'est-ce qu'un risque industriel ? - Démarches de prévention - INRS*. fr. URL : <https://www.inrs.fr/demarche/risques-industriels/definition-risque-industriel.html> (visité le 02/05/2023).
- [36] *Public Health and Scientific Information | NCEH | CDC*. en-us. Oct. 2019. URL : https://www.cdc.gov/nceh/hearing_loss/public_health_scientific_info.html (visité le 28/04/2023).
- [37] Mario ROSSI. *Audio*. fr. Google-Books-ID : n6VrGMyYtkkC. PPUR presses polytechniques, 2007.
- [38] *Règlement sur la santé et la sécurité du travail*. 2019.
- [39] SARL IFRI. Document interne de l'entreprise SARL IFRI. 2023.
- [40] *Évaluation des risques professionnels. Évaluation des risques professionnels - Démarches de prévention - INRS*. fr. URL : <https://www.inrs.fr/demarche/evaluation-risques-professionnels/ce-qu-il-faut-retenir.html> (visité le 02/05/2023).

Annexes

Annexe A

Textes législatifs

A.1 Loi n 88-07

Du 26 Janvier 1988, relative à

A.1.1 L'hygiène, la sécurité et la médecine du travail

Dans le cadre de la réglementation en vigueur, plusieurs articles sont pertinents pour imposer le respect de l'hygiène et la sécurité au travail . Parmi ces articles, on cite :

Art. 3 - L'organisme employeur est tenu d'assurer l'hygiène et la sécurité aux travailleurs.

Art. 4 - Les locaux affectés au travail, les emplacements de travail et leurs environnements, leurs dépendances et leurs annexes, y compris les installations de toute nature mises à la disposition des travailleurs, doivent être tenus dans un état constant de propreté et présenter les conditions d'hygiène et de salubrité nécessaires à la santé des travailleurs. L'ambiance de travail devra répondre aux conditions de confort et d'hygiène, notamment de cubage, d'aération, de ventilation, d'éclairage, d'ensoleillement, de chauffage, de protection contre les poussières et autres nuisances et d'évacuation des eaux usées et déchets. Les travailleurs doivent pouvoir pratiquer la gymnastique de pause et bénéficier des moyens d'assurer leur hygiène individuelle et, notamment, par la mise à leur disposition des vestiaires, lavabos, douches, toilettes, eau potable, et par l'hygiène dans les cantines. Les modalités d'application du présent article sont définies par voie réglementaire.

Art. 12 - La protection de la santé du travailleur par la médecine du travail est partie intégrante de la politique nationale de santé.

Dans le cadre des missions, telles que définies par la législation en vigueur, la médecine du travail, dont la double mission est préventive essentiellement et curative accessoirement, a pour but :

- de promouvoir et maintenir le plus haut degré de bien-être physique et mental des travailleurs dans toutes les professions et en vue d'élever le niveau des capacités de travail et de création ;
- de prévenir et protéger les travailleurs des risques pouvant engendrer des accidents ou des maladies professionnelles et de tout dommage causé à leur santé
- d'identifier et de surveiller, en vue de réduire ou d'éliminer tous les facteurs qui, sur

les lieux de travail, peuvent affecter la santé des travailleurs ;

- de placer et maintenir les travailleurs dans un emploi convenant à leurs aptitudes physiologiques et psychologiques et, en règle générale, adapter le travail à l'homme et chaque homme à sa tâche ;
- de réduire les cas d'invalidité et assurer une prolongation de la vie active des travailleurs ;
- d'évaluer le niveau de santé des travailleurs en milieu de travail ;
- d'organiser les soins d'urgence aux travailleurs, la prise en charge des traitements ambulatoires et le traitement des maladies professionnelles et à caractère professionnel ;
- de contribuer à la sauvegarde de l'environnement par rapport à l'homme et à la nature.

Art. 26 - Chaque fois que l'importance de l'organisme employeur ou la nature de ses activités l'obligent, il est obligatoirement créé un service d'hygiène et de sécurité en milieu de travail.

Pour plus de détails sur la réglementation en vigueur, veuillez consulter la référence suivant [20].

Annexe B

Positions des échantillons

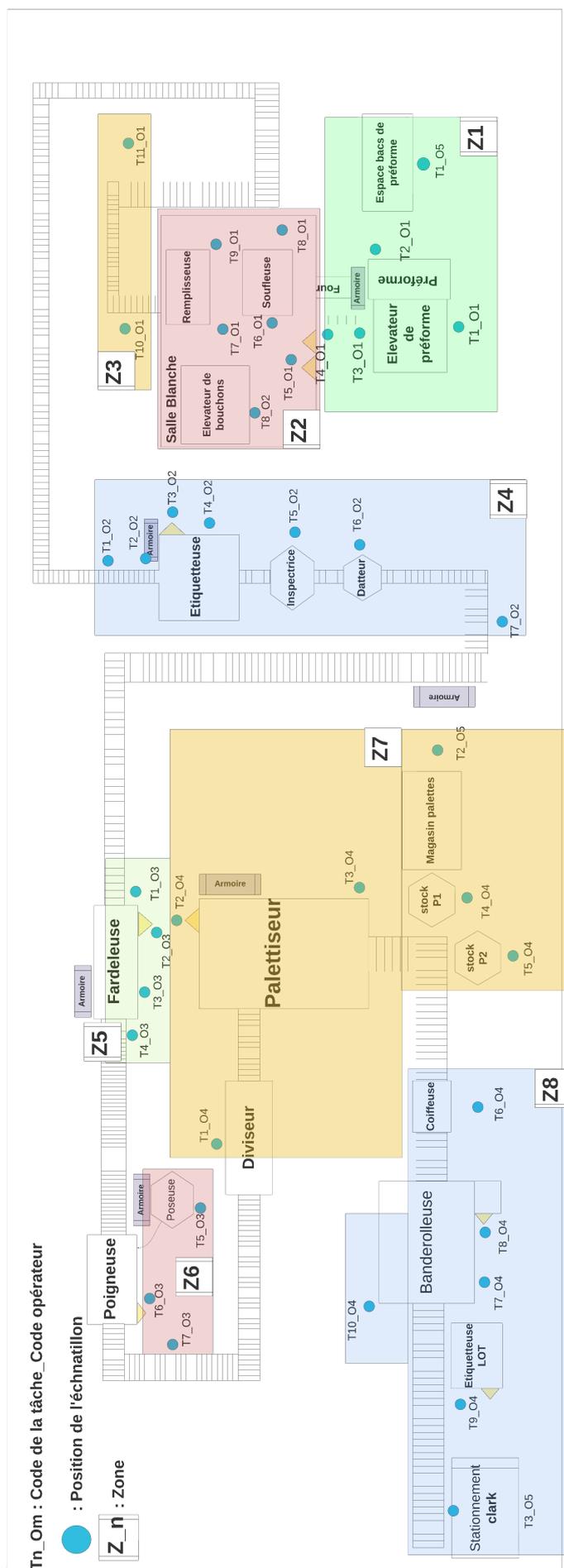


FIG. B.1 : Positions des échantillons

Annexe C

Formules d'évaluation de l'exposition sonore

C.1 Le temps d'exposition maximum

L'évaluation de l'exposition au bruit dans un environnement de travail est essentielle pour assurer la santé et la sécurité des travailleurs. Au Québec, les normes établies par la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST) fournissent des directives pour évaluer et contrôler l'exposition au bruit sur le lieu de travail. L'une des considérations clés dans ce processus est de déterminer le temps d'exposition maximum permis pour les travailleurs. Pour ce faire, une formule mathématique appropriée est utilisée, qui tient compte du niveau sonore mesuré. Cette formule permet de calculer le temps d'exposition maximum autorisé pour les travailleurs dans le cas d'un bruit continu.

La formule utilisée pour calculer le temps d'exposition maximum permis, en supposant un bruit continu, est la suivante :

$$T_{max} = \frac{8}{2^{\left(\frac{L-85}{3}\right)}} \quad (C.1)$$

C.2 La dose de bruit

Lorsqu'un travailleur est exposé à des bruits continus de niveaux différents, l'effet combiné de ces niveaux peut être évalué en utilisant la formule suivante pour calculer la dose d'exposition :

$$\text{Dose} = \frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_m}{T_m} \quad (C.2)$$

où :

- Dose représente la dose d'exposition au bruit,
- C_1, C_2, \dots, C_m indiquent le temps total en heures d'exposition à un niveau donné,
- T_1, T_2, \dots, T_m indiquent le temps total en heures d'exposition permis selon les réglementations.

Cette formule permet de calculer la somme des fractions de temps d'exposition à chaque niveau sonore spécifique. Chaque fraction représente le rapport entre le temps d'exposition à un niveau donné et le temps total d'exposition permis.

Il est important de noter que la somme des fractions ne doit pas dépasser l'unité, ce qui signifie que le travailleur ne doit pas être exposé à un niveau de bruit qui entraînerait une dose d'exposition supérieure à la limite permise. [18]

Annexe D

Questionnaire

Questionnaire numéro 1

Titre : Evaluation initiale des compétences

Date du questionnaire : / / 2023

Type de poste : Opérateur salle blanche / Etiqueteuse / Fardeuse / Palettiseur

Ligne :

Shift : 05h-13h / 13h-21h / 21h-05h

Note : Avant de commencer à poser les questions, veuillez prendre un moment pour présenter le système de rotation des postes que nous envisageons de mettre en place. Expliquez les objectifs de ce système, tels que la réduction de l'exposition professionnelle au bruit afin de prévenir les maladies professionnelles liées à l'audition et de lutter contre l'impact des nuisances sonores sur la capacité auditive des opérateurs.

- Q1 : Depuis combien de temps occupez-vous votre poste actuel ?
.....
.....
- Q2 : Avez-vous déjà occupé d'autres postes au sein de la ligne ? Si oui, veuillez décrire brièvement ces postes et les tâches que vous y avez réalisées.
.....
.....
- Q3 : Pensez-vous connaître les tâches des autres opérateurs de la ligne ? Si oui, veuillez me dicter les différentes tâches de l'opérateur X.
.....
.....
- Q4 : Pensez-vous être exposé à un niveau de bruit plus élevé que les autres opérateurs de la ligne ?
.....
.....
- Q5 : Seriez-vous en mesure d'occuper un autre poste dans la même ligne ?

-
.....
- Q6 : Que pensez-vous des systèmes de rotation que nous avons proposés ? Pensez-vous pouvoir vous adapter à un tel changement pendant vos shifts ?

-
.....
- Q7 : Souhaitez-vous ajouter quelque chose ?

.....
.....

Nous vous remercions d'avoir pris le temps de répondre à ce questionnaire. Vos réponses nous aideront à mieux planifier et adapter le système de rotation des postes en fonction des compétences de chaque opérateur.

Signature

Annexe E

Appareil de mesure - Sound Level Meter SM-20-A

E.1 Introduction :



Ce sonomètre a été conçu pour répondre aux exigences de mesure des ingénieurs travaillant dans les domaines de la sécurité, de la santé, des agences de sécurité industrielle et du contrôle qualité dans différents environnements. Il est conforme aux normes CEI651 type 2, ANSI S1.4 type 2 et JISC1502 pour les sonomètres.

E.2 Utilité :

Le sound level meter SM-20-A est utilisé pour mesurer les niveaux de pression acoustique dans diverses situations. Il permet de quantifier le niveau sonore et de vérifier la conformité aux réglementations en matière de bruit. Cela peut être utile pour évaluer les niveaux de bruit sur le lieu de travail, dans les environnements industriels, les espaces publics, les studios d'enregistrement, etc.

E.3 Génération :

Le SM-20-A est un modèle de sonomètre de dernière génération, offrant des fonctionnalités avancées et une précision accrue par rapport aux modèles précédents.

E.4 Fonctionnement :

- Appuyez sur le bouton d'alimentation pour allumer l'appareil.
- Sélectionnez la pondération et le temps de réponse souhaités. Utilisez la réponse

rapide (FAST) pour les brèves rafales sonores ou les crêtes du signal acoustique, et utilisez la réponse lente (SLOW) pour mesurer le niveau sonore moyen. Choisissez la pondération A pour le niveau de bruit global et la pondération C pour mesurer le niveau sonore du matériel acoustique.

- Tenez fermement l'appareil dans votre main ou fixez-le sur un trépied, puis pointez le microphone vers la source de bruit suspectée pour afficher le niveau de pression acoustique.

Fonctions supplémentaires :

- MAX/MIN : Cette fonction permet de lire et de mettre à jour l'affichage pour indiquer la valeur maximale ou minimale lorsque le bouton MAX/MIN est activé. En appuyant sur le bouton MAX/MIN pendant 2 secondes, cette fonction peut être désactivée.
- Maintien d'affichage : Ce bouton permet de figer la mesure affichée sur l'écran LCD.
- Rétroéclairage : Le bouton de rétroéclairage permet d'activer la fonction d'éclairage pour faciliter la lecture des résultats dans des environnements faiblement éclairés. Le rétroéclairage s'éteint automatiquement après 15 secondes.

E.5 Spécifications :

- Affichage : Écran LCD à 4 chiffres
- Microphone : Microphone à condensateur électret de 1/2 pouce
- Alimentation : Pile 9 V NEDA 1604, CEI 6F22, JIS 006P
- Autonomie : Environ 50 heures avec une pile alcaline
- Arrêt automatique : Environ 5 minutes d'inactivité
- Température/Humidité : Fonctionnement de 5 °C à 40 °C, < 80
- Dimensions : 200 x 55 x 38 mm
- Poids : 233 g avec la pile
- Normes : Conforme aux normes CEM EN61326-1, CEI 651 type 2, ANSI S1.4 type 2