



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
PEOPLE'S DEMOCRATIC REPUBLIC OF ALGERIA
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION AND SCIENTIFIC RESEARCH
جامعة أمحمد بوقرة بومرداس
UNIVERSITY M'HAMED BOUGARA OF BOUMERDES
كلية المحروقات والكيمياء
FACULTY OF HYDROCARBONS AND CHEMISTRY



Département : *Génie des Procédés Chimiques Et Pharmaceutiques*

Polycopié de cours HSE

Etude des Risques Professionnels

Préparé par :

Mme YOUNSI Farroudja

Maitre de conférences B

2021/2022

*"L'homme et sa sécurité doivent constituer
la première préoccupation de toute aventure technologique"
Albert EINSTEIN*

Avant-propos

A l'heure actuelle, les vrais enjeux des organisations se situent dans leur capacité à faire face aux risques industriels et aux imprévus inhérents à leurs activités.

D'importants progrès ont été réalisés depuis plusieurs années en matière de prévention de la santé et de sécurité au travail mais ce n'est que depuis une dizaine d'années que l'attention des pouvoirs publics, des partenaires sociaux et des organismes de prévention et de santé au travail s'est particulièrement attachée à la notion de prévention des risques professionnels dans les entreprises.

Cette dernière regroupe les actions collectives ou individuelles qui évitent l'apparition d'un risque lié au travail effectué ou à son environnement, ou en diminue les impacts. En effet, les activités industrielles ont toujours présenté un risque important sur le plan humain, matériel et environnemental. La manipulation d'équipements lourds, l'usage d'un appareillage très divers, l'utilisation de produits dangereux, l'exposition aux facteurs ou agents **physiques** tels que le **bruit**, les **vibrations**, l'électricité, les **rayonnements**, la température et les pressions extrêmes peut avoir des répercussions sur les conditions de travail ou sur la santé des personnes exposées. C'est pour cette raison que les risques liés à ces différents facteurs doivent être identifiés et maîtrisés.

Ce document composé de quatre chapitres est destiné aux étudiants de master en spécialité Hygiène, Sécurité et Environnement (HSE).

Le premier chapitre couvre les notions de bases sur le domaine HSE ainsi qu'un aperçu sur la réglementation Algérienne en matière d'hygiène, de sécurité et de médecine du travail.

Les trois autres chapitres sont consacrés à la prévention des risques liés à l'exposition aux facteurs **physiques**. Ainsi, le deuxième chapitre s'intéresse au **bruit** dans le milieu industriel où l'on va d'abord présenter d'une manière succincte des généralités (définition, grandeurs et unités....etc.) puis nous allons discuter des effets de l'exposition au bruit ainsi que des méthodes de prévention et des mesures de protection.

La même démarche est utilisée dans les deux derniers chapitres dédiés aux risques liés aux **vibrations** (chapitre 3) et la prévention des risques liés à l'exposition aux **rayonnements ionisants** (chapitre 4).

Abréviations

ADN	Acide désoxyribonucléique
AFNOR	Association française de normalisation
BIT	Bureau International du Travail
OHSAS	Occupational health and safety assessment series
ISO	Organisation internationale de standardisation
CE	Conformité européenne
VLE	Comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail
CIPR	Commission internationale de protection radiologique.
CNAS	Caisse nationale des assurances sociales des travailleurs salariés.
CNHSMT	Conseil national d'hygiène, sécurité et médecine du travail
DTL	Dosimètre thermo-luminescent
EPI	Equipements de protection individuelle.
LSO	Dosimètre à luminescence stimulée optiquement
OMS	Organisation mondiale de la santé
PICB	Protecteurs individuels contre le bruit
SST	Santé et sécurité au travail
CHSCT	Valeur limite d'exposition

Table des matières

1.	INTRODUCTION A L'HYGIENE, SECURITE ET ENVIRONNEMENT	6
1.1.	PARTIE 1 : GENERALITES SUR LE DOMAINE HSE	7
1.1.1.	Concepts et vocabulaire liés à la santé/sécurité au travail.....	7
1.1.2.	Acteurs de la SST (Santé et Sécurité au Travail)	9
1.1.2.1.	Les acteurs internes.....	9
1.1.2.2.	Les acteurs externes	10
1.2.	PARTIE 2 : EVALUATION DES RISQUES	11
1.2.1.	Définition de la démarche d'évaluation des risques.....	11
1.2.2.	Préparation de la démarche	11
1.2.3.	Identification des risques.....	12
1.2.4.	Analyse et évaluation des risques	12
1.2.5.	Actions de prévention.....	15
1.2.6.	Suivi de la démarche de prévention	15
2.	PREVENTION DES RISQUES ET NUISANCES LIES AU BRUIT	19
2.1.	INTRODUCTION	20
2.2.	CARACTERISTIQUES DU BRUIT	20
2.2.1.	Définition du son.....	20
2.2.2.	Définition du bruit.....	20
2.2.3.	Notion de décibel pondéré.....	20
2.2.4.	Types de bruit	21
2.2.5.	Les grandeurs physiques.....	22
2.3.	EFFETS DU BRUIT SUR LA SANTE ET LA SECURITE AU TRAVAIL	26
2.3.1.	Appareil auditif et mécanisme de l'audition	26
2.3.2.	Effets du bruit	26
2.3.2.1.	Effets auditifs	27
2.3.2.2.	Effets non auditifs.....	28
2.4.	PROTECTION ET PREVENTION CONTRE LE BRUIT	29
2.4.1.	PRISE EN COMPTE DU BRUIT DES LA CONCEPTION DES LOCAUX	29
2.4.1.1.	Loi de décroissance spatiale du bruit (DL ₂).....	29
2.4.1.2.	Coefficient d'absorption acoustique.....	30
2.4.1.3.	Temps de réverbération	31
2.4.2.	Evaluation des risques de l'exposition au bruit.....	32
2.4.3.	Protections collectives.....	33
2.4.3.1.	Réduction à la source (actions sur la machine)	33
2.4.3.2.	Réduction à la propagation	33
2.4.4.	Protections individuelles.....	34
2.4.4.1.	Les protections à coquilles.....	35
2.4.4.2.	Les bouchons d'oreilles.....	35
2.4.5.	Formation et information des salariés	36
2.4.6.	Surveillance médicale renforcée	37
2.5.	EXIGENCES REGLEMENTAIRES ET MESURES DE PREVENTION CORRESPONDANTES	37
3.	PREVENTION DES RISQUES LIES AUX VIBRATIONS MECANIQUES	39
3.1.	INTRODUCTION	40

3.2.	DEFINITIONS	40
3.3	CARACTERISTIQUES DES VIBRATIONS.....	40
3.3.1.	<i>L'amplitude</i>	40
3.3.2.	<i>La fréquence</i>	41
3.3.3.	<i>L'accélération</i>	41
3.3.4.	<i>La direction</i>	41
3.4.	EFFETS ET MANIFESTATIONS	41
3.4.1.	<i>Effet des vibrations de basse fréquence (< à 2 Hz)</i>	42
3.4.2.	<i>Effet des vibrations de moyenne fréquence (entre 2 et 30 Hz)</i>	42
3.4.3.	<i>Effet des vibrations de haute fréquence (> à 30 Hz)</i>	42
3.6.	MOYENS DE PREVENTION	45
3.5.1.	<i>Moyens organisationnels</i>	45
3.5.2.	<i>Moyens techniques</i>	46
3.5.3.	<i>Moyens humains</i>	47
3.6.	ÉVALUATION DU RISQUE VIBRATOIRE	47
3.6.1.	<i>Identification des risques</i>	47
3.6.2.	<i>Évaluation de l'exposition quotidienne A(8)</i>	48
3.6.3.	<i>Méthode simplifiée de l'estimation A(8)</i>	49
4.	PREVENTION DES RISQUES LIES AUX RAYONNEMENTS IONISANTS.....	52
4.1.	INTRODUCTION	53
4.2.	DEFINITION DES CONCEPTS « RADIOACTIF » ET « RADIOACTIVITE »	53
4.3.	TYPES DE RAYONNEMENT	53
4.3.1.	<i>Rayonnement alpha (α)</i>	53
4.3.2.	<i>Rayonnement bêta(β)</i>	54
4.3.3.	<i>Rayonnement gamma (γ)</i>	54
4.3.4.	<i>Rayonnement X</i>	55
4.4.	GRANDEURS ET UNITES	56
4.4.1.	<i>Energie</i>	56
4.4.2.	<i>Activité</i>	56
4.4.3.	<i>Période radioactive « demi-vie T »</i>	56
4.4.4.	<i>Dose absorbée par un organisme « D »</i>	57
4.4.5.	<i>Dose équivalente HT</i>	57
4.4.6.	<i>Dose efficace « E »</i>	57
4.5.	SOURCES DE RAYONNEMENT	58
4.5.1.	<i>Exposition naturelle (58 % de la dose totale reçue)</i>	58
4.5.2.	<i>Exposition artificielle (42 % de la dose totale reçue)</i>	59
4.6.	APPLICATIONS DES RI	60
4.7.	EFFETS DES RAYONNEMENTS IONISANTS	61
4.7.1.	<i>Les effets déterministes</i>	61
4.7.2.	<i>Les effets stochastiques</i>	62
4.8.	RADIOPROTECTION : PRINCIPES DE BASE ET LIMITES DE DOSES	62
4.8.1.	<i>Justification</i>	62
4.8.2.	<i>Optimisation</i>	62
4.8.3.	<i>Limitation des doses</i>	63
4.9.	RADIOPROTECTION : MESURES TECHNIQUES ET ORGANISATIONNELLES	63
	ANNEXES.....	66
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	71

1. Introduction à l'Hygiène, Sécurité et Environnement

1.1.Partie 1 : Généralités sur le domaine HSE

1.1.1. Concepts et vocabulaire liés à la santé/sécurité au travail

1.1.1.1.Hygiène

L'hygiène est la discipline qui s'occupe de l'environnement professionnel de manière à ce qu'il soit optimum pour la santé et le bien-être des travailleurs.

Le Bureau International du Travail (BIT) définit l'hygiène du travail comme la science de l'anticipation, de l'identification, de l'évaluation et de la maîtrise des risques professionnels qui pourraient nuire à la santé et au bien-être des travailleurs. Elle prend également en compte l'impact éventuel de ces risques sur les collectivités avoisinantes et sur l'environnement en général [1].

L'hygiène au travail est la science de la gestion des *risques d'exposition mesurables*. Elle prend aussi en compte les facteurs organisationnels et psychosociaux ; et pour mieux diagnostiquer ces risques, elle fera appel à d'autres spécialités telles que la médecine et l'ergonomie.

1.1.1.2. Sécurité

La sécurité est souvent définie par rapport à son contraire : elle serait l'absence de danger, d'accident ou de sinistre.

Selon le guide ISO/CEI 73 sur la terminologie du management du risque, la sécurité est l'absence de risque inacceptable, de blessure ou d'atteinte à la santé des personnes, directement ou indirectement, résultant d'un dommage au matériel ou à l'environnement [2].

La sécurité peut être définie comme l'aptitude d'un système à fonctionner en maîtrisant, à un niveau acceptable, les risques pour les personnes, les biens et l'environnement.

Objectifs de l'hygiène et sécurité

- Garantir la santé des personnes au travail,
- Identifier les agressions du milieu industriel envers l'individu,
- Évaluer les risques qui en résultent pour l'individu,
- Recommander les actions de protection,
- Informer de la nature, de l'importance et des effets des risques,
- Faire connaître les moyens de les maîtriser,
- Entraîner l'implication personnelle de chacune des personnes au travail.

1.1.1.3. Notion de danger (phénomène dangereux)

Le danger désigne une nuisance potentielle pouvant porter atteinte aux personnes, aux biens (détérioration ou destruction) ou à l'environnement. Le danger peut avoir une incidence directe sur les personnes, par des blessures physiques ou des troubles de la santé, ou indirecte, au travers de dégâts subis par les biens ou par l'environnement.

Le référentiel BS OHSAS 18001 le définit comme « source, situation ou acte ayant un potentiel de nuisance en termes de préjudice personnel ou d'atteinte à la santé, ou une combinaison de ces éléments ». [3]

Exemple : Scie, machine à bois, benzène, essence, gasoil, acide, électricité, soudage, travail en hauteur.

1.1.1.4. Notion de Risque

Selon OHSAS 18001, un risque est la combinaison de la probabilité de la survenue d'un ou de plusieurs événements dangereux et de la gravité du préjudice personnel ou de l'atteinte à la santé que ces événements peuvent causer [3].

Le risque résulte donc, de la probabilité d'occurrence d'un dommage résultant d'une exposition à un danger. C'est la résultante de deux paramètres : la probabilité et la gravité. Plus la probabilité et la gravité d'un événement sont élevées plus le risque est élevé.

Cependant, il existe des définitions légèrement plus complexes dans lesquelles apparaît un troisième facteur : l'acceptabilité du risque, seuil en dessous duquel on accepte l'existence du danger bien que sa gravité et sa probabilité d'occurrence ne soient pas nulles.

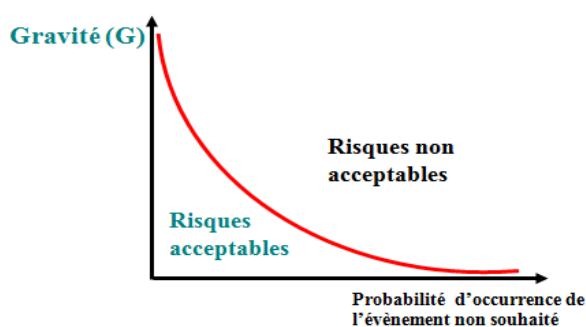


Figure 1.1. Paramètres du risque

1.1.1.5. Notion de dommage

Le « dommage » est une lésion physique ou atteinte à la santé, aux biens ou à l'environnement.

Les dommages peuvent être exprimés en termes humains, financiers, économiques, sociaux ou environnementaux.

Exemple: fracture, maladie professionnelle, intoxication, surdité, la mort.

1.1.2. Acteurs de la SST (Santé et Sécurité au Travail)

Afin de structurer et d'organiser la démarche de prévention dans l'entreprise, il est nécessaire de définir les rôles et missions « sécurité » au sein de l'entreprise. Chaque acteur de l'entreprise est donc un maillon de la chaîne de prévention.

1.1.2.1. Les acteurs internes

- ***L'employeur***

L'employeur doit prendre toutes les dispositions nécessaires pour assurer la sécurité et protéger la santé des travailleurs de l'établissement y compris celle des travailleurs temporaires, sur la base d'une **évaluation des risques** existants dans son entreprise. Il veille personnellement à la mise en œuvre de la politique de prévention (*9 principes généraux de prévention du code du travail*).

- ***Les salariés***

Les salariés sont les premiers concernés et les mieux placés pour identifier et mettre en pratique les mesures adaptées. Ils doivent, par exemple, alerter les personnes compétentes, en cas de problème relatif à la SST et participer à la recherche de solutions de prévention, tout en respectant les consignes liées au maintien de sa sécurité et de celle des autres.

Le droit de retrait : lorsqu'un agent se retrouve dans une situation présentant un danger grave et imminent pour sa vie ou pour sa santé, il peut quitter son poste de travail sans sanction ni retenue de salaire. Dans ce cadre, il renseigne le registre des dangers graves et imminents.

- ***Le Comité d'Hygiène, de Sécurité et des Conditions de Travail (CHSCT)***

C'est une instance représentative du personnel qui réunit l'employeur et les délégués représentant les salariés.

Le CHSCT participe à l'analyse des risques et des accidents de travail et au suivi de l'application des règles relatives à la protection des salariés. Il alerte en cas d'atteinte à la santé physique ou mentale des salariés.

Le CHSCT est obligatoire dans tous les établissements d'au moins 50 salariés. Dans les établissements dépourvus d'un tel comité (les établissements de 10 à 50 salariés), les délégués du personnel exercent toutes les compétences de ce comité.

- ***Le médecin du travail***

Le médecin du travail est un acteur incontournable de la prévention et de la santé en entreprise. Il a pour objectif *“d'éviter toute altération de la santé des salariés, du fait de leur travail, notamment en surveillant leur état de santé, les conditions d'hygiène du travail et les risques de contagion”*.

À ce titre, il est le conseiller de l'employeur, des salariés, des représentants du personnel et des services sociaux, notamment sur :

- L'adaptation des postes, des techniques et des rythmes de travail à la santé physique et mentale, notamment en vue de préserver le maintien dans l'emploi des salariés ;
- La protection des salariés contre des nuisances et risques d'accidents du travail ;
- L'hygiène générale de l'établissement et dans les services de restauration ;
- La prévention et l'éducation sanitaires dans le cadre de l'établissement en rapport avec l'activité professionnelle ;
- La construction ou les aménagements nouveaux ;
- Les modifications apportées aux équipements ;
- La mise en place ou la modification de l'organisation du travail de nuit ;
- L'accompagnement en cas de réorganisation importante de l'entreprise.

1.1.2.2. Les acteurs externes

Des acteurs hors de l'entreprise, participent au système de prévention des risques professionnels et à l'amélioration des conditions de travail. En Algérie, la prévention des risques professionnels est placée sous la responsabilité du :

- ***Ministère chargé du travail***

Il est chargé d'élaborer les politiques de prévention et fixer les règles d'ordre public (préparer la *législation*, établir les *textes réglementaires*).

Ce ministère est assisté par un organe consultatif qui est : le Conseil National d'Hygiène, Sécurité et Médecine du Travail (CNHS/MT).

- ***Inspection du travail***

L'organe spécialisé du ministère du travail qui doit assurer la surveillance et le contrôle en termes de respect des règles de prévention des risques professionnels et l'application du code du travail (horaires, médecine du travail, travail des enfants...).

- ***Sécurité sociale***

La Caisse Nationale des Assurances Sociales des travailleurs salariés (CNAS) est *l'assureur du risque* professionnel. C'est un système financé par des cotisations de l'employeur, créateur du risque. Il est chargé de régler les tarifications et les modalités de réparation des accidents du travail et des maladies professionnelles.

1.2. Partie 2 : Evaluation des risques

1.2.1. Définition de la démarche d'évaluation des risques

Le code du travail traduit trois exigences d'ordre général pour l'employeur :

- Assurer la *sécurité* et *protéger* la santé physique et mentale des travailleurs,
- Mettre en œuvre les *principes généraux de prévention* des risques professionnels,
- Procéder à *l'évaluation des risques*.

L'évaluation des risques constitue la pierre angulaire de tout système de gestion de la sécurité. C'est un processus qui permet *d'identifier* les risques présentés par chaque tâche, de les *évaluer* et de prévoir les mesures *d'élimination / réduction* pour amener le risque à un niveau acceptable [4].

1.2.2. Préparation de la démarche

Cette étape est primordiale pour le bon déroulement de la démarche. Elle peut être décomposée en plusieurs phases :

- *Instaurer une politique santé, sécurité dans l'entreprise*

L'entreprise doit formuler sa politique en exposant les enjeux de la santé/sécurité (objectifs à atteindre), les leviers d'actions et les raisons pour lesquelles cette politique s'inscrit dans le projet global de l'entreprise.

La politique santé/sécurité doit être adaptée à la culture de l'entreprise et à ses activités. Elle a une logique de progrès continu et se construit grâce à la contribution active de l'ensemble des acteurs de l'entreprise.

- *Constitution de groupe de travail pluridisciplinaire*

La démarche de prévention se base sur des connaissances complémentaires d'ordre technique, médical, organisationnel...etc.

Elle doit être conduite par une équipe multidisciplinaire, il faut donc désigner au préalable un groupe de travail comprenant les personnes ressources (salariés, médecins du travail, préventeurs, etc.). Les membres du CHSCT et/ou les délégués du personnel sont obligatoirement associés à l'évaluation.

Le groupe de travail doit choisir la méthodologie de travail en concertation avec les représentants du personnel, acceptée par le chef d'entreprise et présentée aux salariés. Il s'agit de définir *la méthode d'évaluation* convenant à l'entreprise, *les unités de travail* (poste de travail – groupe de poste – métiers – lieux de travail...), la méthode d'évaluation *les moyens financiers* et enfin, les *modalités de communication* des résultats doivent être précisées.

- **Recueil de données**

Les différents *documents* concernant la sécurité doivent être rassemblés notamment :

- Données statistiques internes ou par branche professionnelle sur les accidents de travail ou maladies professionnelles,
- Registre de sécurité contenant les rapports des différents organismes de contrôle,
- Rapport annuel du CHSCT et procès-verbaux des réunions,
- Evaluation des risques réalisés par l'entreprise,
- Registre des délégués du personnel,
- Fiche d'entreprise du médecin du travail,
- Données liées à l'utilisation de produits (fiches de données de sécurité),
- Projets de construction, d'aménagement de postes, d'achat de nouvelles machines, de changement d'organisation.

1.2.3. Identification des risques

Il s'agit de repérer les risques et les dangers auxquels sont exposés les travailleurs dans chaque unité de travail en examinant ce qui suit :

- Observer le poste de travail et son environnement à la recherche de dangers,
- Déterminer et analyser toutes les tâches réalisées,
- Demander l'avis des opérateurs sur des situations dangereuses potentielles ou réelles à leur poste,
- Rechercher d'éventuels dommages corporels ou matériels antérieurs au poste,
- Connaître la nature des produits utilisés et leur éventuelle toxicité.

L'identification des risques se fera par l'observation du poste en considérant les facteurs humains, les équipements et produits utilisés, le process de travail et l'environnement ou le milieu de travail.

Une liste non exhaustive de risques à considérer et des effets possibles est donnée en annexe A.

1.2.4. Analyse et évaluation des risques

Cette étape a pour but d'estimer les risques de chaque situation de travail. Elle permet d'aider à planifier des actions de prévention et de les hiérarchiser en fonction de la gravité des risques.

Le risque est perçu du point de vue **probabilité** de son occurrence (**P**) et **gravité** de ses conséquences (**G**). Des techniques d'évaluation (qualitatives et quantitatives) nous permettent d'estimer le niveau du risque pour le comparer aux normes établies et décider s'il est acceptable ou pas. Il s'agit alors d'estimer sa **criticité** (C) : $C = P \times G$

La perception du niveau d'occurrence et de gravité d'un dommage est subjective et différente pour chacun. L'estimation des risques doit faire l'objet d'un travail en commun avec toutes les personnes qualifiées.

Lorsqu'il y a des risques sur l'environnement, il faut alors conduire une étude d'évaluation de l'impact sur l'environnement.

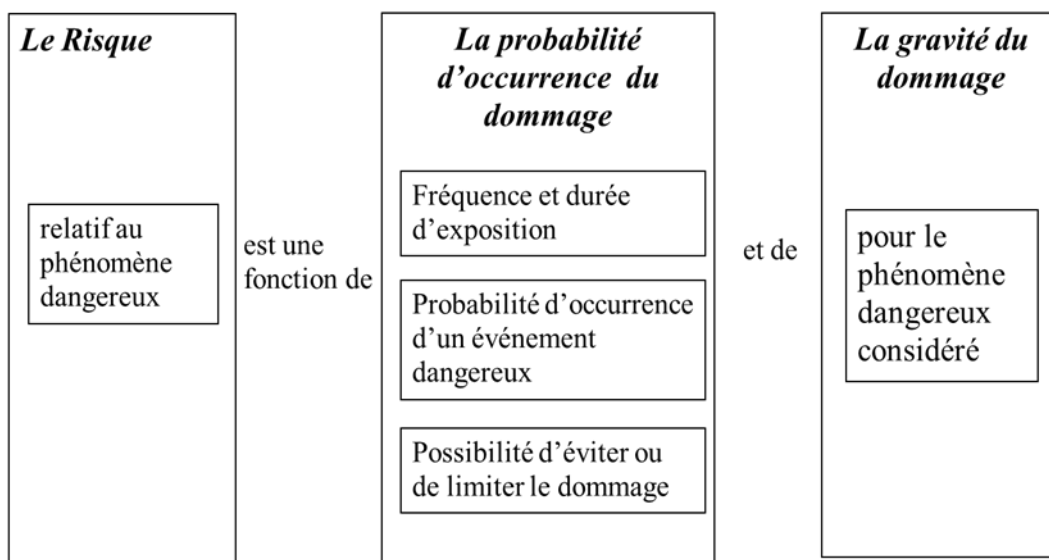


Figure 1.1. Estimation du risque (Norme NF EN 1050)

L'estimation de la probabilité d'occurrence du risque peut se faire en se référant aux statistiques existantes et en faisant appel à l'expérience du personnel du poste.

Tableau 1.1. Exemple d'estimation de la probabilité

Indice	Probabilité	Fréquence
1	Faible	Plus d'une année
2	Moyenne	1 – 12 Mois
3	Elevée	1 – 30 Jours

L'estimation de la gravité du risque se fait en considérant les conséquences les plus mauvaises sur les plans Humain, Matériel et Environnemental.

La gravité est quantifiée en associant un indice au niveau des conséquences potentielles du risque.

Tableau 1.2. Exemple d'estimation de la gravité [5]

Indice	Gravité	Personnel	Matériel	Environnement
1	Mineure	Blessures avec < 30 Jrs Perdues	Pertes <500 m DA	Déversements < 10 Bbl
2	Majeure	> 30 Jrs Perdues	Pertes :0.5-50 M DA	Déversements : 10 - 100 Bbl
3	Catastrophique	Incap.Perm.; Fatalité	Pertes >50 M DA	Déversements > 100 Bbl

Tableau 1.3. Exemple de niveau du risque (criticité)

		Indice de probabilité (P)		
		1	2	3
Indice de gravité (G)	1	1	2	3
	2	2	4	6
	3	3	6	9

Criticité (C)	Définition
1 à 2 <i>Négligeable</i>	Pas d'action à court terme requise. Surveillance pour s'assurer que les mesures en place sont toujours efficaces
3 à 4 <i>Acceptable</i>	Risque nécessitant des actions à moyen terme sauf si des mesures immédiates peu coûteuses et rapides peuvent améliorer la situation
6 <i>Indésirable</i>	Risque nécessitant une intervention à court terme afin de réduire le danger
9 <i>Inacceptable</i>	Risque nécessitant une intervention urgente, des mesures de correction immédiates

• Rédiger le Document Unique (D.U)

Les résultats de l'évaluation sont présentés sous forme d'un tableau (DU) indispensable pour concevoir les différentes actions. Il doit contenir les éléments suivants :

- Les acteurs ayant participé à la démarche,
- Le découpage des unités de travail,
- L'identification des risques,
- Les analyses de risques et leur évaluation,
- Les actions de prévention retenues pour réduire ou éliminer les risques,
- Les éléments liés aux premiers secours,
- Les consignes de sécurité.

L'élaboration et la mise à jour du document unique s'imposent à l'employeur pour toute entreprise de plus d'un salarié. L'absence d'un tel document en cas de contrôle de l'inspection du travail, peut être sanctionnée.

Le Document Unique doit être revu et éventuellement modifié au moins une fois par an dans les situations suivantes :

- Après tout accident de travail,
- Après toute décision d'aménagement ou d'organisation du travail modifiant les conditions de sécurité et de santé au travail,
- Lorsque toute information complémentaire intéressant l'évaluation des risques est recueillie.

Les textes réglementaires ne présentent pas de modèles, l'entreprise doit adapter la forme en fonction de ses spécificités. Un tableau présentant un modèle-type d'un rapport d'évaluation des risques est donné en annexe B.

Le Document Unique peut être formalisé sous format papier ou numérisé mais il doit pouvoir être accessible en toutes circonstances. Ce document doit être à la disposition notamment des travailleurs, du médecin du travail, du CHSCT, des délégués du personnel, de l'inspection du travail, des agents de services de prévention, des organismes de sécurité sociale. Il doit être compréhensible par tous les acteurs.

1.2.5. Actions de prévention

A cette étape de la démarche, l'entreprise établit les mesures de prévention retenues pour chaque risque évalué. Le niveau de priorité défini lors de la phase d'évaluation permettra à l'entreprise de planifier ses actions. *La hiérarchisation* des actions respecte également *les principes généraux de prévention* conformément à la réglementation.

- **Actions organisationnelles**

Diffuser les informations essentielles sur la sécurité au travail : règlement intérieur, livret d'accueil, consignes particulières, organisation des secours, signalisation de sécurité...

- **Actions techniques**

- Mettre en conformité les machines,
- Effectuer les maintenances et les vérifications périodiques des équipements,
- Etudier un aménagement ergonomique,
- Utiliser des Equipements de Protection Individuelle (EPI),
- Vérifier la gestion des produits dangereux, des déchets, des matériels,
- Maîtriser l'environnement (bruit, température, aération,).

- **Actions humaines**

Former et sensibiliser les salariés en matière d'hygiène et de sécurité au travail en instaurant une *démarche participative* pour une bonne appropriation des actions. Les salariés eux même doivent être engagés à réfléchir sur leur poste de travail et à participer à leur modification.

1.2.6. Suivi de la démarche de prévention

La situation de travail est constamment en changement : introduction d'un nouvel équipement, ajout de tâches, modification de l'environnement de travail, etc. Il est donc important de procéder régulièrement à la réévaluation de la démarche d'identification des risques.

Si les résultats des actions de prévention sont conformes aux objectifs fixés, l'employeur formalise ce qui a été fait. Si les résultats sont insatisfaisants, il doit procéder à une phase d'ajustement avec la mise en œuvre d'actions correctives.

Cette révision concerne la mise à jour des risques identifiés, leur priorisation et, bien entendu, le suivi des résultats obtenus. Les risques ont-ils été éliminés ou réduits selon les objectifs définis ? Sinon, pourquoi ? De nouveaux risques se sont-ils ajoutés ? Le cas échéant, il faudra prévoir d'autres objectifs à atteindre et/ou d'autres mesures préventives ou correctives. [6]

❖ Principes généraux de prévention

La prévention est un ensemble d'actions et mesures prises pour diminuer, éloigner ou éliminer les risques ou dangers dans le milieu professionnel.

Cette démarche est guidée par les 9 principes généraux de prévention du code du travail :

- **Éviter les risques** : supprimer le danger et la source de risque, ce qui revient à éliminer la nuisance à l'origine de ce risque.
- **Évaluer les risques qui ne peuvent pas être évités** : si un risque ne peut être évité, il y a lieu alors de détecter et d'évaluer le risque existant pour trouver la solution de prévention la mieux adoptée.
- **Combattre les risques à la source** : intégrer la prévention le plus en amont possible, notamment dès la conception des lieux de travail et des équipements.
- **Adapter le travail à l'homme** : tenir compte des différences interindividuelles, dans le but de réduire les effets du travail sur la santé. Le poste de travail et les conditions de travail doivent être conçus et réaliser de façon à offrir aux salariés un maximum de confort et de sécurité.
- **Tenir compte de l'évolution de la technique** : adapter la prévention aux évolutions techniques et organisationnelles.
- **Remplacer ce qui est dangereux par ce qui ne l'est pas ou par ce qui l'est moins** : éviter l'utilisation de procédés ou de produits dangereux lorsqu'un même résultat peut être obtenu avec une méthode présentant des dangers moindres.
- **Planifier la prévention** : Intégrer dans un ensemble la technique, l'organisation du travail, les relations sociales et l'environnement, en cas d'intervention de plusieurs entreprises sur un même lieu, organiser la prévention en commun.
- **Donner la priorité aux mesures de protection collective** : n'utiliser les équipements de protection individuelle qu'en complément des protections collectives si elles se révèlent insuffisantes.
- **Donner les instructions appropriées aux salariés** : former et informer les salariés afin qu'ils connaissent les risques et les mesures de prévention.

❖ Cadre législatif et réglementaire en SST

La loi 88-07 du 26 Janvier 1988 relative à l'hygiène, à la sécurité et à la médecine du travail

Applicable à tous les employeurs, cette loi définit les voies et moyens pour assurer aux travailleurs les meilleures conditions d'hygiène, de sécurité et de médecine du travail, à travers un ensemble de dispositions traitant de règles générales d'hygiène, de sécurité, et

de médecine du travail, de formation et d'information, d'organisation de la prévention, de financement et de contrôle.

Cette loi désigne les personnes responsables (employeur et ses structures), les organes de concertation (Commission paritaire d'hygiène et sécurité, Comité d'hygiène et de sécurité inter-entreprises), ainsi que la structure d'exécution (Service d'hygiène et de sécurité en milieu de travail).

Les principales dispositions de cette loi sont:

- L'organisme employeur est tenu d'assurer l'hygiène et la sécurité aux travailleurs,
- La médecine du travail constitue une obligation pour l'employeur. Elle est à la charge de celui-ci,
- Tous les travailleurs sont soumis à des examens médicaux obligatoires,
- Les représentants des travailleurs sont obligatoirement associés aux décisions relatives aux activités de médecine du travail au sein de l'entreprise.

La Loi 83-13 du 2 juillet 1983, relative aux accidents du travail et aux maladies professionnelles.

Tout travailleur affilié aux assurances sociales est bénéficiaire des dispositions de cette loi. A ce titre, elle porte sur la réparation des accidents du travail, des maladies professionnelles, la rééducation fonctionnelle et la réadaptation professionnelle.

En matière d'accidents du travail :

- Définit l'AT et l'accident de trajet,
- Fixe les procédures de déclaration de l'accident,
- Fixe les procédures d'instruction du dossier,
- Fixe les procédures de constatation des lésions,
- Définit les modalités et les taux d'indemnisation.

En matière de maladies professionnelles (MP) :

Définit les MP et le principe d'établissement de tableaux; et fait obligation à l'employeur de déclarer tous les procédés utilisés susceptibles de provoquer des MP à :

- l'organisme de la sécurité sociale (CNAS),
- l'inspection du travail,
- la direction de la santé de wilaya et aux
- organismes chargés de l'hygiène et de la sécurité.

Le décret exécutif n°91-05 du 19 janvier 1991 relatif aux prescriptions générales de protection applicables en matière d'hygiène et de sécurité en milieu du travail, qui définit les mesures et règles relatives à:

- L'hygiène générale des locaux et de leur dépendance,
- La sécurité sur les lieux de travail,
- La prévention des risques d'incendie.

Le décret exécutif n°02-427 du 7 décembre 2002 relatif aux conditions d'organisation de l'instruction, de l'information et de la formation des travailleurs dans le domaine de la prévention des risques professionnels.

Le décret exécutif n°01-342 du 28 octobre 2001 relatif aux prescriptions particulières de protection et de sécurité des travailleurs contre les risques électriques au sein des organismes employeurs

Le décret exécutif n°99-95 du 19 avril 1999 relatif à la prévention des risques liés à l'amiante.

Le décret n°86-132 du 27 Mai 1988 fixant les règles de protection des travailleurs contre les risques des rayonnements ionisants ainsi que celles relatives au contrôle de la détention et de l'utilisation des substances radioactives et des appareils émettant des rayonnements ionisants.

Le décret présidentiel n°05-117 du 11 Avril 2005 relatif aux mesures de protection contre les risques des rayonnements ionisants.

Le décret exécutif n°99-95 du 19 avril 1999 relatif à la prévention des risques liés à l'amiante.

Arrêté interministériel du 27 Octobre 2003 relatif à la protection des travailleurs contre les risques liés à l'inhalation des poussières d'amiante.

Arrête du 10 février 1988 fixant les modalités de détention et d'utilisation des substances radioactives et des appareils émettant des rayonnements ionisants.

Arrêté interministériel du 10 février 1988 fixant les limites de dose annuelles d'exposition aux rayonnements ionisants.

2. Prévention des risques et nuisances liés au bruit

2.1. Introduction

Présent dans la quasi-totalité des secteurs d'activité économique, le bruit en milieu professionnel est en progression avec les progrès sans cesse croissants des technologies et l'utilisation à outrance d'outillages et de machines sophistiqués. De ce fait, le bruit est le deuxième facteur environnemental en termes de dommage sanitaire (OMS) [7]. La perte auditive en est l'effet le plus connu, mais le risque accru d'accidents et l'exacerbation du stress comptent aussi parmi les conséquences possibles du bruit au travail.

2.2. Caractéristiques du bruit

2.2.1. Définition du son

Le son est une *vibration de l'air* qui se propage en ondes acoustiques. Il est défini par sa *fréquence*, exprimée en Hertz (Hz).

Les sons audibles s'étendent entre 20 et 20000 Hz, les fréquences de la parole sont entre 100 et 6000 Hz.

Le son à l'air libre est matérialisé par la vibration de l'air c.-à-d. « Successions de pressions et de dépressions autour de la pression atmosphérique ».

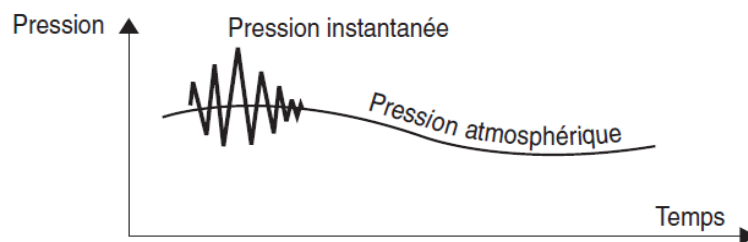


Figure 2.1. Schématisation du son

2.2.2. Définition du bruit

Le bruit se présente comme un son perçu de manière désagréable. Il s'agit d'un phénomène acoustique produisant une *sensation auditive gênante et inconfortable* pour l'oreille humaine.

De façon générale, c'est un son non désiré, ressenti comme une agression.

Selon la norme française AFNOR/NF S30-105 (vocabulaire de l'acoustique), le bruit est défini comme « *toute sensation auditive désagréable ou gênante, tout phénomène acoustique produisant cette sensation, tout son ayant un caractère aléatoire qui n'a pas de composantes définies* ».

2.2.3. Notion de décibel pondéré

Si l'on veut mesurer, non pas le niveau de pression sonore en dB lin, mais la sensation perçue par l'oreille, on devra équiper les sonomètres de filtres ou autres dispositifs qui atténueront les basses et les hautes fréquences de la même façon que le fait l'oreille humaine.

Il existe trois types de filtres pondérateurs, le filtre A pour les sons d'intensité faible, le filtre B pour les sons d'intensité moyenne et le filtre C pour les sons d'intensité forte. Le filtre le plus couramment utilisé est le filtre A. En ce qui concerne les dB(A), on parle souvent de mesure de niveau de pression acoustique physiologique.

2.2.4. Types de bruit

- Le bruit **continu** est un bruit qui présente très peu de variations de niveau dans le temps.

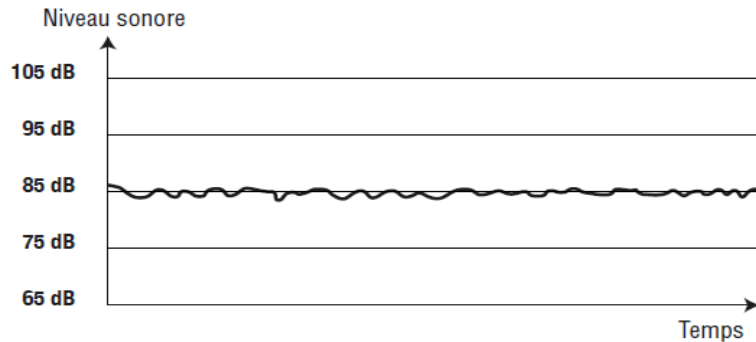


Figure 2.2. Bruit continu

- Le bruit **fluctuant** est un bruit qui varie de manière irrégulière dans le temps.

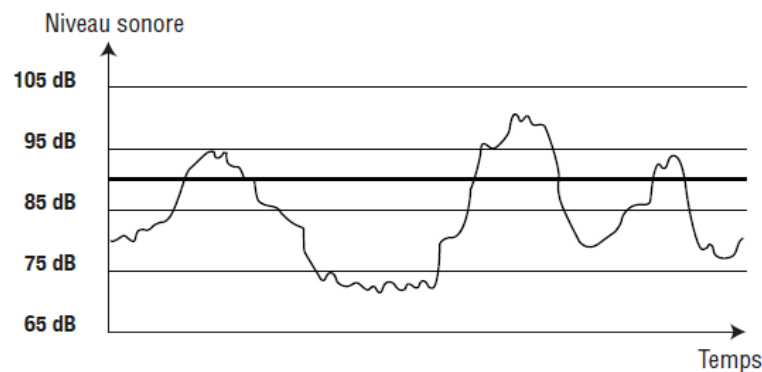


Figure 2.3. Bruit fluctuant

- Le bruit **intermittent**, ou le bruit de courte durée répété, ressemble à un bruit fluctuant, mais il est plus prévisible dans le temps.

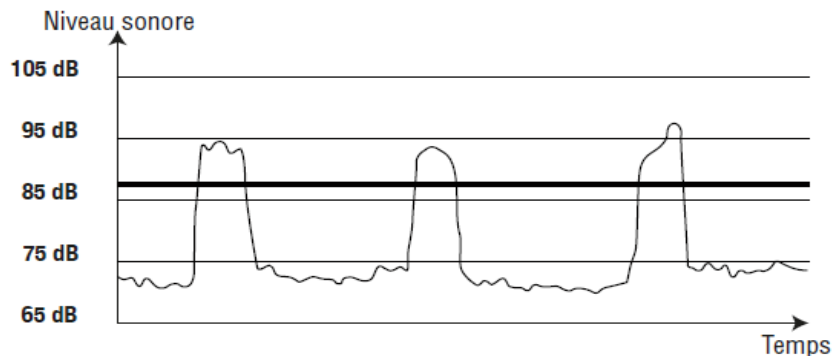


Figure 2.4. Bruit intermittent

- Le bruit impulsionnel se caractérise par des impulsions élevées de courte durée.

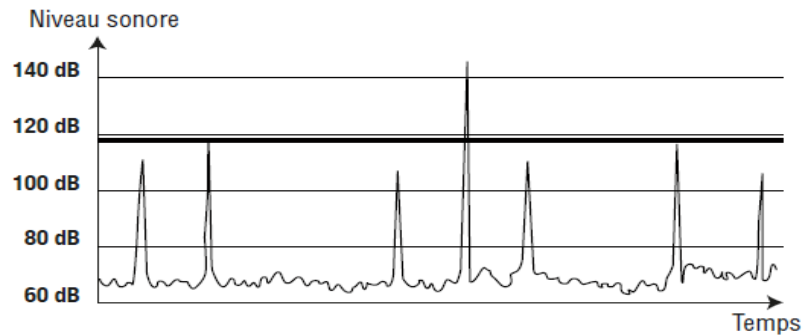


Figure 2.5. Bruit impulsionnel

2.2.5. Les grandeurs physiques

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

- **Fréquence (F)**

Les molécules d'air agitées par la vibration de pression vont et viennent, autour d'une moyenne, un certain nombre de fois par seconde. Ce nombre s'appelle la fréquence, elle est exprimée en **Hertz (Hz)**.

Une fréquence de 1 Hz correspond à une variation de pression par seconde.

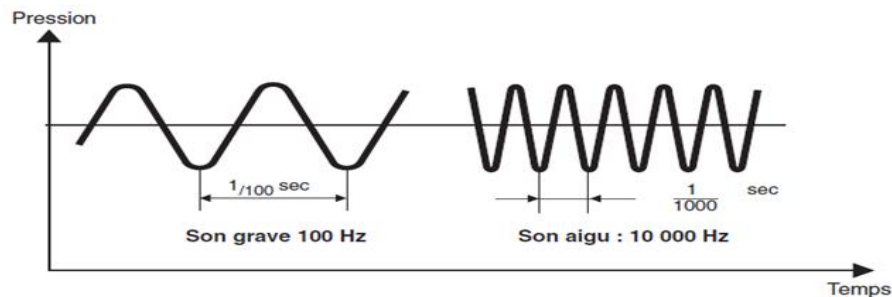


Figure 2.6. Fréquences du son

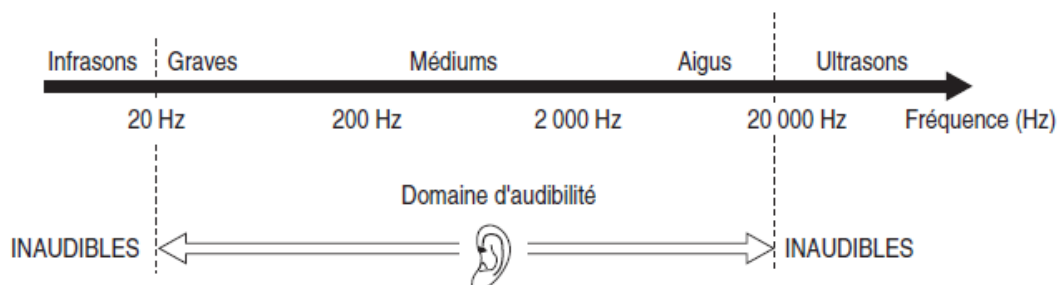


Figure 2.7. Domaine des fréquences audibles par l'oreille humaine

- **Puissance et pression acoustiques**

Deux valeurs sont à ne pas confondre quand on parle de prévention des risques liés au bruit.

- **La puissance acoustique (symbole P)** est l'énergie sonore émise par l'équipement ou la machine. C'est un paramètre qui permet de caractériser une source acoustique, d'évaluer le bruit à la source de sa diffusion. Il permet également de comparer les appareils entre eux. Elle s'exprime en Watt (W).
- **La pression acoustique (symbole L_p)** est reçue par l'opérateur au niveau des oreilles.
Elle caractérise également l'amplitude du son perçu et, par conséquent, le bruit que nous sommes susceptibles d'entendre

- **Intensité sonore « I »**

L'intensité sonore ou *intensité acoustique* est le flux de puissance acoustique, en un point, par unité de surface (en considérant que le son se propage, suivant une sphère).

$$I = \frac{P}{S}$$
$$I = \frac{P}{4\pi R^2}$$

I : intensité sonore (W/m²)
 P : puissance sonore (W)
 S : surface de la sphère (m²)
 R : rayon de la sphère (m)

- **Niveau sonore « L_I »**

Appelé aussi niveau d'intensité sonore, il correspond à *la quantité de bruit reçu* par un opérateur résultant de son exposition à une source sonore.

❖ **Loi de Weber – Fechner**

En première approche, autour de 1000 Hz, la sensation sonore est proportionnelle au logarithme de l'intensité acoustique. On pourra donc caractériser la sensation par ce que l'on appelle le *niveau d'intensité* exprimé en décibels (dB).

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

I_0 est une intensité de référence représentant l'intensité minimale perceptible à 1000 Hz (*seuil de perception auditive*). $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$

La pression acoustique efficace étant plus facilement mesurable que l'intensité, on définit par ailleurs le niveau de pression L_p :

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{p_e^2}{p_0^2} (dB)$$

p_0 est une pression de référence qui correspond à la plus faible pression que l'oreille est capable de détecter à 1000 Hz. $p_0 = 2.10^{-5}$ Pa.

Pour des conditions normales de température et de pression atmosphérique, on a égalité entre L_I et L_p .

$$L_I = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} = 10 \log_{10} \frac{p_e^2}{p_0^2} (dB)$$

Remarque :

La pression acoustique varie dans un domaine très étendu (de 2.10^{-5} Pa qui correspond au seuil d'audibilité à 1000 Hz à 20 Pa défini comme étant le seuil de la douleur). A ce domaine de pression correspond une plage d'intensité de 10^{-12} W/m² à 1 W/m².

Pour ces deux domaines de pression ou d'intensité, les niveaux L_p ou L_I se situeront entre 0 et 120 dB [8].

❖ Addition des décibels

De par leur nature logarithmique, les niveaux de bruit en décibels ne s'ajoutent pas linéairement. Ils sont combinés en sommant les énergies de chacun. Ce calcul donne la règle suivante : *'quand l'énergie acoustique est doublée, le niveau augmente de 3 dB'*

Les niveaux sonores (dB) ne s'additionnent pas directement car ce sont les puissances et les intensités acoustiques qui s'ajoutent.

$$I = I_1 + I_2 \quad I, I_1, I_2: \text{intensité acoustique (W/m}^2\text{)}$$

C.-à-d. :

2 machines qui font le même bruit et qui fonctionnent simultanément, augmentent le niveau sonore global de 3 dB(A) : **+ 3 dB(A)**

$$\text{Ex : } 85 \text{ dB} + 85 \text{ dB} = 85 \text{ dB} + 3 \text{ dB} = 88 \text{ dB}$$

Lorsque l'on arrête une, le niveau de bruit diminue de 3 dB(A) seulement : **- 3 dB(A)**

Niveau sonore résultant : **$L = L_1 + \Delta L$**

L_1 = niveau sonore le plus élevé

Tableau 2.1. Facteur de correction des décibels

Différence entre 2 niveaux	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ΔL	3	2.5	2.1	1.8	1.4	1.2	1	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1

Applications :

1)- Addition de 2 niveaux de bruit identiques : $L1 = L2 = 60 \text{ dB}$

$$L1 - L2 = 0 \text{ dB} \longrightarrow \Delta L = 3 \text{ dB}$$

$$L = 60 + 3 = 63 \text{ dB(A)}$$

2)- Addition de niveaux de bruit fortement différents :

$$L1 = 70 \text{ dB}$$

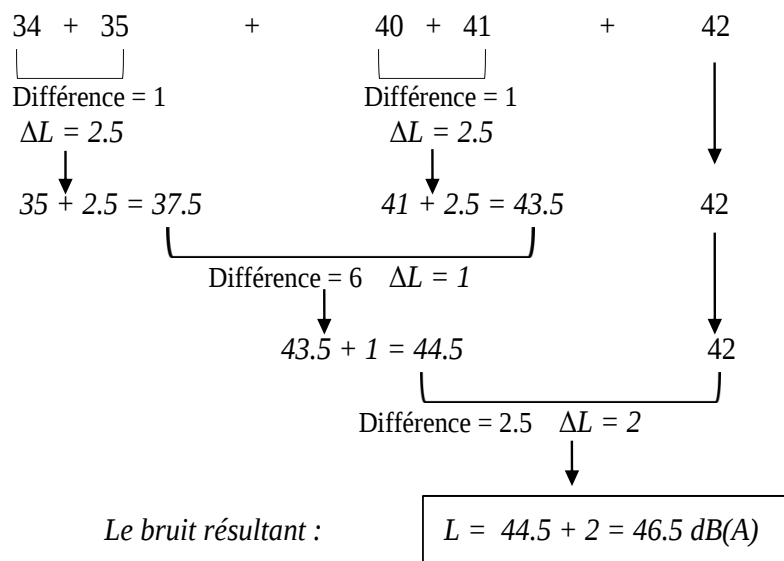
$$L2 = 90 \text{ dB}$$

$$L1 - L2 = 20 \text{ dB} \longrightarrow \Delta L = 0 \text{ dB}$$

$$L = 90 + 0 = 90 \text{ dB(A)}$$

Si deux niveaux de bruit sont fortement inégaux, **le plus élevé masque le plus faible.**

3)- Addition de niveaux de bruit différents : 34 dB, 35 dB, 40 dB, 41 dB, 42dB.



2.3. Effets du bruit sur la santé et la sécurité au travail

2.3.1. Appareil auditif et mécanisme de l'audition

L'oreille comporte trois parties présentées sur la figure 2.9 ci-dessous : **l'oreille externe** (pavillon et conduit auditif), **l'oreille moyenne** (tympan, chaîne d'osselets, fenêtre ovale) et **l'oreille interne** (canaux semi-circulaires : organe de l'équilibre, cochlée : organe de l'audition).

L'onde sonore captée par le pavillon, pénètre dans le conduit auditif et fait vibrer le tympan.

Les vibrations du tympan sont transmises aux osselets (marteau, enclume, étrier) dont le rôle est d'amplifier (~ 30 fois) et propage les vibrations à la fenêtre ovale.

La trompe d'Eustache est un tube cartilagineux, qui va de l'oreille moyenne jusqu'à derrière le voile du palais et permet d'égaliser les pressions de chaque côté du tympan.

Les vibrations de la fenêtre ovale se répercutent sur le liquide labyrinthique remplissant l'oreille interne puis vers la cochlée, séparée en deux par la membrane basilaire recouverte de cellules auditives (cellules ciliées).

Les cellules ciliées (~ 20 000), "enregistrent" le mouvement et le transforme en impulsions nerveuses transmises au cerveau par le nerf auditif (réseau de 35000 fibres).

Le cerveau enregistre, analyse et interprète les sons reçus par l'oreille [9].

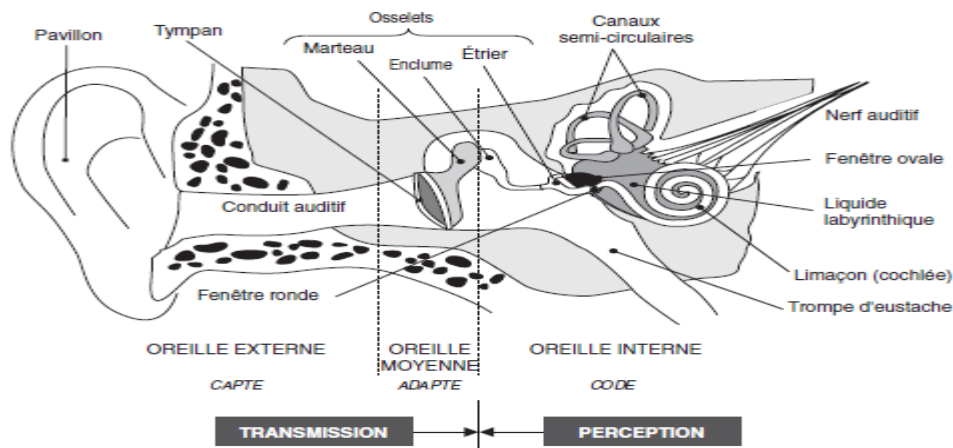


Figure 2.9 : Schéma simplifié de l'appareil auditif

2.3.2. Effets du bruit

Avec le niveau sonore, la durée d'exposition est l'autre facteur déterminant dans l'apparition d'atteintes auditives. Le seuil de danger au-delà duquel des dommages peuvent survenir est estimé à 85 dB(A) (niveau moyen sur une journée de travail de huit heures). Mais, à partir d'un niveau sonore moyen de 80 dB(A) sur huit heures, on peut considérer le niveau d'exposition préoccupant. D'autres paramètres influent également sur la nocivité des sons sur l'audition : un son aigu est plus dangereux qu'un son grave ; un son pur, composé d'une seule fréquence, est plus traumatisant qu'un son complexe, un son impulsionnel soudain et imprévisible, est plus dangereux qu'un son d'apparition plus progressive.

Des *paramètres individuels*, tels que l'âge ou la vulnérabilité personnelle, ou encore l'association avec certaines expositions (médicaments ou produits chimiques toxiques pour l'ouïe), peuvent aussi aggraver les risques d'atteinte auditive.

Si la douleur apparaît vers 120 dB(A), la fatigue auditive survient bien en dessous de ce seuil de niveau sonore. Elle se manifeste par une baisse temporaire d'acuité auditive, ou par l'apparition d'acouphènes (sifflements, bourdonnements). Si ces épisodes se répètent trop souvent, les troubles auditifs risquent de devenir définitifs : on parle alors de pertes auditives. Le traumatisme sonore chronique s'installe ainsi progressivement sans que le sujet ait vraiment conscience de la dégradation de son audition, jusqu'au stade du réel handicap social.

2.3.2.1. Effets auditifs

Selon la durée et l'intensité de l'exposition, les atteintes auditives peuvent être aiguës ou chroniques, réversibles ou irréversibles.

En général, on distingue *la surdité post-traumatique*, *la fatigue auditive*, *la surdité professionnelle* et *la surdité à caractère professionnel*.

– *Surdité post-traumatique*

C'est la perte auditive uni ou bilatérale qui survient suite à un traumatisme sonore (barotraumatisme, éclatement, explosion, phénomène de blast). Elle peut s'accompagner d'acouphènes ou de vertiges en cas d'atteinte neurosensorielle associée. L'évolution peut être spontanément favorable ou nécessiter une prise en charge chirurgicale, d'où une réévaluation de l'aptitude peut s'avérer nécessaire.

– *Fatigue auditive*

C'est la baisse de l'acuité auditive temporaire due à une surexposition au bruit. Elle constitue l'un des signes précurseurs d'une surdité définitive chez le travailleur. À la fin d'une journée de forte exposition au bruit, le travailleur ressent une difficulté à entendre, sa voix lui semble lointaine avec l'impression d'oreilles bouchées, après 12 heures de repos, tout redevient normal. Mais si ce phénomène se reproduit tous les jours, un déficit auditif s'installe et la récupération devient difficile [10].

– *Surdité professionnelle*

La surdité peut être reconnue comme maladie professionnelle lorsqu'elle est la conséquence de l'exposition au bruit en lien avec l'activité professionnelle. Il s'agit d'une surdité de perception bilatérale et habituellement symétrique, débutant et prédominant sur les fréquences aiguës (4000Hz). La perte d'audition permanente due au bruit est irréversible et augmente progressivement et insidieusement selon les années d'exposition. Elle est diagnostiquée par une audiométrie tonale liminaire et vocale concordante, réalisée en cabine insonorisée, au moins trois jours après cessation de l'exposition au bruit, avec un déficit d'au moins 35 dB (sur la meilleure oreille) calculé sur la moyenne des déficits dans les fréquences 500, 1 000, 2 000 et 4 000 Hz [11].

Tableau 2.1. Stades de la surdité

1er stade	Légère	Le sujet ne se rend pas compte de sa perte auditive car les fréquences de la parole sont peu touchées.
2e stade	Moyenne	Les fréquences aiguës de la conversation sont touchées, le sujet devient "dur d'oreille" et ne comprend plus distinctement ce qui se dit.
3e stade	Profonde et irréversible	Le travailleur devient un travailleur handicapé sensoriel.

– Surdité à caractère professionnel

La surdité d'origine professionnelle reconnue est due à l'exposition au bruit selon les dispositions du tableau n°42 de la liste des MP Algérienne (voir annexe C). Cependant, il existe, en milieu de travail, d'autres agents, autres que le bruit qui peuvent entraîner ou aggraver une perte auditive, tels que l'exposition à certains solvants «ototoxiques».

Les études récentes ont prouvé que plusieurs substances (plus de 200 substances) présentes en milieu industriel sont potentiellement ototoxiques [12].

Parmi ces substances se retrouvent des solvants dont les principaux sont le toluène, le styrène, le xylène, le disulfure de carbone et le trichloréthylène, des asphyxiants dont le monoxyde de carbone et le cyanure d'hydrogène, des métaux dont le plomb et le mercure ainsi que des pesticides tels les organophosphorés [13].

2.3.2.2. Effets non auditifs

Les atteintes extra-auditives, en général liées à une exposition chronique, sont attribuées à l'effet stressant du bruit. En effet, le bruit est un agent stressant qui affecte non seulement l'oreille, mais l'organisme tout entier. Il peut être responsable de :

- **Effets neuropsychiques et cognitifs** : céphalées, irritabilité, anxiété, troubles de l'humeur, troubles de la concentration, de la mémoire, altération des fonctions cognitives, diminution de la vigilance, troubles du comportement, baisse de l'adaptation aux tâches à exécution rapide, perturbation du sommeil (diminution du sommeil paradoxal, réveils nocturnes).
- **Effets cardiovasculaires** : modification du rythme cardiaque, augmentation de la fréquence cardiaque, de la pression artérielle diastolique et de la fréquence respiratoire, vasoconstriction.
- **Effets digestifs** : se manifestant par des troubles peu spécifiques de type dyspepsique, hypersécrétion gastrique.
- **Effets visuels** : vision nocturne perturbée, difficulté pour apprécier la profondeur, les contrastes, dilatation pupillaire.

- **Effets hormonaux** : élévations des corticoïdes, des catécholamines, et tendance à l'hypoglycémie.
- **Effets psychosociaux** : non reconnue par l'entourage et par la société, la surdité est un problème caché qui se vit au quotidien dans des conditions de silence et de retrait. Bien souvent, le travailleur en perte d'audition cache sa situation et fait face à une capacité réduite d'écoute et de communication, ce qui diminue sa qualité de vie.
- **Effets sur la performance et la sécurité** : le bruit favorise la survenue d'accidents : il peut couvrir le son émis par un danger imminent, ou masquer des signaux d'avertissement (par exemple, avertisseurs de recul sur certains véhicules). Il peut distraire les travailleurs, notamment les conducteurs, ou encore contribuer au stress lié au travail et accroître ainsi le risque d'erreurs.
Le stress lié au travail se produit lorsque les exigences de l'environnement de travail dépassent la capacité des travailleurs à y faire face. La manière dont le bruit affecte le niveau de stress d'un travailleur dépend d'une conjugaison complexe de facteurs, parmi lesquels la nature du bruit (volume, tonalité, prévisibilité), la complexité de la tâche à effectuer ou l'état de fatigue.

2.4. Protection et prévention contre le bruit

Le problème du bruit au travail doit être pris en compte très en amont : un changement de procédé ou dans l'organisation du travail peut être une bonne solution. On peut ensuite agir sur la source du bruit, sur sa propagation ou directement au niveau du travailleur exposé. Il est préférable de prévoir des actions de réduction du bruit dès la conception du bâtiment, notamment en cas de création de nouveaux locaux ou de réaménagements.

2.4.1. Prise en compte du bruit dès la conception des locaux

Le local a un rôle fondamental dans l'exposition au bruit des travailleurs. Il augmente le niveau sonore provenant des équipements et affecte tout l'espace de travail. Les multiples réflexions du bruit sur les parois du local s'ajoutent au bruit transmis directement au travailleur.

La qualification de la performance acoustique des locaux repose essentiellement sur sa capacité d'absorption du bruit : c'est ce que l'on appelle la *correction acoustique*.

2.4.1.1. Loi de décroissance spatiale du bruit (DL₂)

L'influence des réflexions sonores dépend de la position du travailleur par rapport à la source du bruit. Ainsi, on caractérise l'acoustique d'un local industriel à partir de sa « *loi de décroissance sonore* » présentée sous forme d'une courbe de diminution du niveau, au fur et à mesure que l'on s'éloigne d'une source sonore.

La performance acoustique d'un local de grandes dimensions est qualifiée en comparant sa loi de décroissance sonore (dans l'espace du local) avec la décroissance dite en « *champ libre* », c'est-à-dire en plein air sans réflexion de parois. Elle est dans ce dernier cas de 6 dB par doublement de distance (elle est notée DL₂).

Par exemple, si une source émet 90 dB à 1 m de distance, son niveau sera de $90 - 6 = 84$ dB à 2 m, 78 dB à 4 m, etc. L'influence du local peut alors être quantifiée par rapport à cette courbe « idéale » (figure 2.10).

En moyenne, le local peut amplifier de quelques dB près de la source et de plus de 10 dB loin de celle-ci. Un traitement acoustique de local visera à se rapprocher de la situation de champ libre, plus la valeur de DL2 est élevée, plus performant est le local.

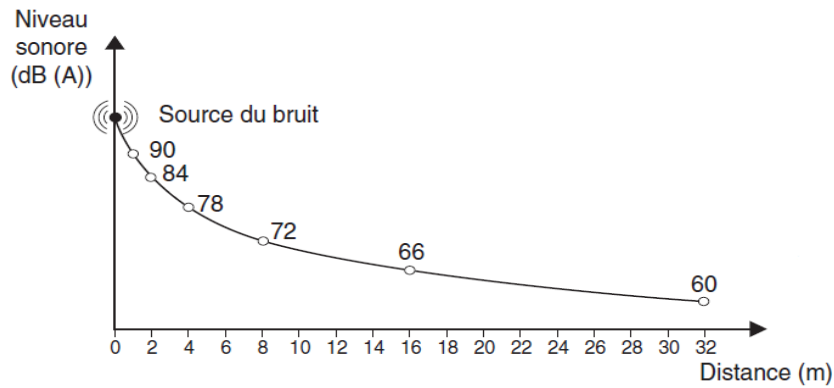


Figure 2.10. Décroissance du son dans l'espace

Tableau 2.2. Valeurs limites réglementaires de DL2 pour les locaux industriels

<i>Local vide</i>		<i>Local équipé</i>	
Surface du sol S (m ²)	DL2	Surface du sol S (m ²)	DL2
$S \leq 210$	2	$S \leq 210$	3
$210 < S \leq 4600$	$1.5 \log S - 1.5$	$210 < S \leq 1\,000$	$1.5 \log S - 0.5$
$S > 4600$	4	$S > 5000$	4

2.4.1.2. Coefficient d'absorption acoustique

Il existe plusieurs matériaux et systèmes pour absorber la réflexion du bruit sur les parois des locaux (ex : laine minérale), ainsi que des dispositifs telles que les membranes (plaques de bois flexibles), et les résonateurs (mini-cavités réparties dans les parois), etc.

L'efficacité de ces systèmes est caractérisée par un *coefficient d'absorption noté α* . Plus ce dernier est élevé, meilleure est l'absorption. α est compris entre 0 et 1 (de 0% à 100% d'absorption de l'énergie). Le tableau 2.3 donne quelques valeurs moyennes à titre d'exemple [14].

Tableau 2.3. Valeurs indicatives moyennes du coefficient d'absorption α pour différents matériaux et dispositifs

		250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
Surfaces non traitées	Béton lissé brut	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05
	Parpaing peint	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08
	Vitrage	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
	Bardage plein	0.2	0.15	0.14	0.1	0.05
Surfaces traitées	Laine de roche surfacée	0.7	0.8	0.95	0.95	0.95
	Laine de verre sous bardage perforé trous ronds	0.8	0.9	0.9	0.9	0.95
	Laine de verre sous bardage crevé	0.8	0.9	0.65	0.4	0.15
	Mousse polyuréthane	0.06	0.11	0.33	0.95	0.95
	Membrane (plaque de bois flexible	0.6	0.4	0.2	0.1	0.1
	Résonateur (conçu pour 500 Hz)	0.2	0.9	0.2	0.1	0.05

2.4.1.3. Temps de réverbération

La loi de décroissance spatiale du son n'est pas adaptée aux locaux de petites dimensions, comme certains bureaux. On utilise alors la *durée de réverbération*, notée **Tr** ou **T60**, qui correspond au temps que met le son à *décroître* de **60 dB** par rapport à son niveau d'origine, c.-à-d. la réflexion du son sur les parois d'une salle après l'interruption de la source sonore.

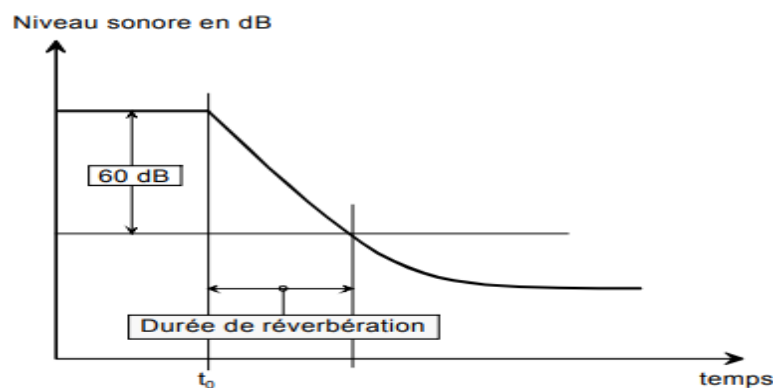


Figure 2.11 : Temps de réverbération

Le temps de réverbération est calculé par la formule de formule de SABINE :

$$Tr = 0.16. \frac{V}{\sum_i \alpha_i S_i}$$

V : volume du local (m³)

S_i : surface de la paroi réalisée dans le matériau « i » (m²)

$\alpha_i [0, 1]$: coefficient d'absorption du matériau « i »

2.4.2. Evaluation des risques de l'exposition au bruit

L'employeur a l'obligation d'évaluer l'exposition au bruit et, le cas échéant, d'effectuer des mesures acoustiques afin d'identifier un éventuel dépassement des valeurs seuils réglementaires.

Le critère réglementaire de base considéré pour caractériser l'exposition d'un travailleur est le **niveau d'exposition quotidienne au bruit (Lex,8h)**. Ce paramètre acoustique représente la dose de bruit reçue par un opérateur sur une journée de travail de huit heures. C'est un niveau sonore moyenné dans le temps, qui s'exprime en dB(A).

On considère également un autre critère, le **niveau de pression acoustique de crête (Lp, c)**, qui représente le *niveau instantané maximum* observé pendant la journée de mesure. Il s'exprime en dB(C).

Le Lpc permet de tenir compte des événements sonores impulsionnels de niveau élevé, tels que l'impact d'un marteau sur une tôle ou l'échappement d'un gaz, qui peuvent présenter un risque d'atteinte auditive, fussent-ils instantanés.

❖ Mesures du bruit

Deux méthodes de mesure de l'exposition peuvent être envisagées : la sonométrie (relevés réalisés auprès de l'opérateur par un technicien pendant les phases de travail significatives) et l'exposimétrie (mesure en continu du niveau sonore pendant la journée de travail, au moyen d'un exposimètre porté par l'opérateur).

– Le sonomètre

Il a pour but de mesurer la pression acoustique à un instant donné dans un lieu donné en dB(A) (mesures ponctuelles). La personne qui effectue les mesures doit positionner l'appareil à hauteur des oreilles du salarié exposé, pour que le résultat soit le plus représentatif possible. Il ne permet pas de réaliser des moyennes d'exposition sur une durée de travail. Le résultat des mesures effectuées permet la création d'une carte de bruit.

Le sonomètre intégrateur : il a pour but d'établir des niveaux sonores équivalents à un instant donné et dans un lieu donné. Cela correspond à la moyenne des mesures ponctuelles de bruits relevés pendant un certain laps de temps. Il est très utile pour des niveaux de bruit très variables.

Le sonomètre à impulsions : il a pour but principal de mesurer la valeur maximale de chaque impulsion sonore et s'exprime en « pression de pointe ».

– Le dosimètre

C'est un petit appareil (à porter près de l'oreille) qui va donner une dose ou un niveau sonore équivalent en dB(A) (enregistre les niveaux sonores et calcule une moyenne). Il est très utile pour un salarié se déplaçant souvent et qui est exposé à des niveaux de bruit variables.

En fonction du type de bruit, l'outil utilisé va être différent.

- Pour l'exposition personnelle, nous pouvons utiliser (par ordre de préférence) : un dosimètre, un sonomètre intégrateur ou un sonomètre simple.

- Pour des niveaux sonores ayant une même source, il est préférable d'utiliser un sonomètre simple, mais il est également possible d'utiliser un sonomètre intégrateur.
- Pour effectuer un relevé de niveaux sonores, l'utilisation d'un sonomètre est recommandée ou un sonomètre intégrateur.
- Enfin pour les sons impulsifs, il est impératif d'utiliser un sonomètre à impulsions.

2.4.3. Protections collectives

Les protections collectives ont pour objectif de lutter contre le bruit à la source et sa propagation dans les enceintes de travail.

2.4.3.1. Réduction à la source (actions sur la machine)

Le moyen le plus efficace pour lutter contre le bruit sur les lieux de travail est d'agir sur la source du bruit, c'est-à-dire le plus souvent sur la machine.

Supprimer ou diminuer au maximum les sources du bruit dès la conception des équipements, machines ou outils par des changements techniques, est le moyen le plus efficace pour lutter contre le bruit sur les lieux de travail. Toutefois, ce moyen est rarement mis en œuvre car il est peut-être techniquement difficile à réaliser. Pourtant, il existe des solutions simples qui reposent sur :

- ***L'ingéniosité*** : par exemple, l'emploi de lames de caoutchouc permettant de freiner la chute d'objets dans un réceptacle réduit fortement le bruit du choc. Le remplacement des pièces en métal par des pièces en plastique.
- ***Un changement de technologie*** qui n'affecte ni les cadences, ni le prix de revient : par exemple, le rivetage par pression, presque silencieux, peut remplacer le rivetage par choc, très bruyant.
- ***Des matériaux nouveaux*** : l'emploi de tôles amorties pour les structures métalliques d'une machine permet de réduire l'émission sonore due aux vibrations internes.
- ***Des dispositifs spécifiques*** tels que les silencieux d'échappement ou d'écoulement : L'installation de tapis en caoutchouc sous les machines vibrantes va permettre d'absorber les ondes sonores et d'empêcher la propagation du son par le sol.
- L'entretien régulier, le remplacement des pièces usées d'une machine, ... vont également permettre de réduire le bruit. Une manutention bien effectuée est un atout dans la réduction des nuisances sonores.

2.4.3.2. Réduction à la propagation

Si la réduction du bruit en agissant directement sur la source ne fonctionne pas ou n'est pas totalement efficace, il est indispensable de prendre d'autres mesures de plus grande envergure.

Pour réduire l'exposition des travailleurs, il existe de nombreuses solutions qui permettent de limiter la propagation du bruit dans un local de travail:

- **Éloignement** des travailleurs, au moins pendant une partie de la journée, des zones les plus bruyantes. En effet, le niveau de bruit baisse avec l'éloignement, surtout en cas de travail à l'extérieur ou si les parois absorbent efficacement les sons. On peut aussi faire tourner les travailleurs entre des postes bruyants et ceux non bruyants ou déplacer des équipements bruyants.
- **Traitement acoustique du local.** Revêtir les parois du local, le plafond, les murs et les cloisons d'un matériau possédant la propriété d'absorber fortement le son. Cependant, l'efficacité de cette technique est limitée aux zones éloignées des sources de bruit. Elle ne permet pas de réduire le bruit aux postes de travail de machines bruyantes.
- **Cloisonnement des machines** revient à séparer l'ensemble des sources de bruit des opérateurs par la mise en place d'une paroi hermétique,
- **Encoffrement des machines** en mettant la machine bruyante à l'intérieur d'une boîte présentant un isolement phonique élevé. L'efficacité de cette solution, de plus en plus utilisée, est meilleure si la machine est automatique ou nécessite peu d'interventions manuelles et l'encoffrement fait l'objet d'un entretien minutieux.
- **Ecrans acoustiques** où la réduction du niveau sonore apportée par l'écran à quelques mètres derrière lui n'excède jamais quelques décibels et n'atteint son maximum d'efficacité que si le local a été préalablement rendu absorbant par un traitement acoustique de ses parois. Les boxes formés par 3 écrans permettent d'isoler les postes de travail bruyants, surtout s'ils sont associés à un traitement acoustique du plafond.
- **Cabines insonorisées** Ces cabines permettent d'isoler un ou plusieurs salariés du reste dans un atelier bruyant. Elles comportent souvent un poste de commande et des vitrages permettant aux opérateurs de surveiller le processus de fabrication.

2.4.4. Protections individuelles

Lorsque tous les moyens de protection collective contre le bruit ont été envisagés et qu'ils n'ont pu être mis en œuvre pour des raisons techniques, et/ou pour des raisons financières, on peut recourir à des protecteurs individuels contre le bruit (PICB).

Nous allons voir dans section 2.5 que si l'exposition sonore quotidienne dépasse 80 dB(A), l'employeur doit mettre à disposition des salariés des protections individuelles. Tandis que si l'exposition quotidienne dépasse 85 dB(A), l'employeur doit imposer le port de ces protections individuelles. Elles ont pour but de diminuer d'environ 15 à 30 dB(A) le niveau sonore et ne doivent en aucun cas empêcher la communication entre les salariés ainsi que l'écoute des machines.

Plusieurs types de protections individuelles existent. Le travailleur choisit la protection en fonction du niveau de bruit auquel il est exposé et de son confort personnel, car chaque protection atténue différemment. Toutefois elles sont toutes efficaces lorsqu'elles sont portées pendant toute la durée des opérations et de la bonne manière.

2.4.4.1. Les protections à coquilles

- **Les casques enveloppants** : ils recouvrent une bonne partie de la tête et comportent des coquilles qui viennent s'appliquer sur l'ensemble des oreilles.
- **Les casques serre-tête** : ils sont également composés de coquilles et d'oreilles qui viennent s'appliquer sur l'ensemble des oreilles. Les deux coquilles sont reliées entre elles par un passant au dessus de la tête qui a pour but un bon maintien sur la tête du travailleur.
- La protection est bonne et efficace pour toutes les fréquences. L'oreille n'est pas bouchée et le confort est meilleur. Ils permettent également de protéger contre d'éventuelles projections solides pendant les opérations.
- **Les casques serre-nuque** : ils sont identiques aux casques serre-têtes, sauf que le passant de maintien se trouve derrière la nuque
- **Les serre-tête montés sur casques** : ils sont composés de serre-tête classiques comme décrit précédemment et d'un casque de sécurité. Ce type de protection a une double utilité, protection contre les chutes d'objets et protection contre les bruits. Il permet également d'enlever les protections auditives temporairement (dans une zone non bruyante) tout en conservant le casque de sécurité.

2.4.4.2. Les bouchons d'oreilles

Un bouchon d'oreille est un dispositif que l'on insère dans le conduit auditif, dans le but de protéger le travailleur des effets dangereux du bruit sur sa santé. Plusieurs types de bouchons d'oreilles existent :

- **Les bouchons d'oreilles pré-moulés** : ils ont déjà une forme prédéterminée à l'avance et l'utilisateur n'a plus qu'à les utiliser directement. Ils sont fabriqués en matériaux composites (résines, silicone, caoutchouc, matières souples, ...).
- **Les bouchons d'oreilles moulés individualisés** : l'utilisateur se fait faire ses propres bouchons d'oreille sur mesure. Ils sont fabriqués en matière plastique moulée, en résine acrylique ou en résine silicone. Ils sont réutilisables et peuvent coûter relativement cher. Ils font partie des bouchons d'oreilles les plus efficaces.
- **Les bouchons d'oreilles reliés par une bande** : ce sont des bouchons d'oreilles façonnés par l'utilisateur ou moulés directement. Les deux bouchons sont reliés par une bande élastique pour un meilleur maintien. Ils sont soit insérés directement dans le conduit auditif ou alors déposés juste à l'entrée de l'oreille.
- **Les bouchons d'oreilles façonnés par l'utilisateur** : l'utilisateur doit les chauffer et les mouler comme il le désire avant de les insérer dans le conduit auditif. Ils sont donc fabriqués en matériaux susceptibles d'être comprimés ou modelés au préalable. Une fois dans le conduit auditif, le matériau utilisé a tendance à vouloir reprendre sa forme initiale (expansion des mousses par exemple). Cela va créer une certaine étanchéité au niveau du conduit auditif. Ils sont jetables en général, mais peuvent être réutilisés.

Critères d'efficacité des PICB

En matière de prévention des risques liés au bruit, la réglementation internationale impose aujourd'hui de ne pas dépasser une valeur limite d'exposition (VLE) fixée à 87 dB pour 8 heures. Le respect de cette valeur limite doit prendre en compte la protection acoustique procurée par les protecteurs individuels contre le bruit (PICB : serre-tête, bouchons d'oreille, casque, ...).

Un PICB peut couramment permettre un affaiblissement global de 20 dB(A). Cependant, il est important de prendre en compte le fait que, dans les conditions de port, au cours de la journée, l'atténuation réelle est souvent très inférieure à l'affaiblissement indiqué par le fabricant. D'autre part, tout retrait de PICB au cours de la journée de travail réduit très vite son intérêt. Par exemple, pour une exposition de 8 heures à 100 dB(A) avec un PICB atténuant de 30 dB(A), le non-port du PICB pendant une minute diminue la protection effective de 5 dB(A).

Critères de choix des PICB

Le choix des PICB peut être guidé par l'analyse fréquentielle du bruit. Lors du choix des PICB on doit tenir compte en premier lieu du fait que le protecteur porte la marque CE (Conformité Européenne). Dans les fiches techniques des protecteurs ou sur l'emballage même, on trouve un tableau qui donne l'atténuation du protecteur pour chaque fréquence centrale de la gamme audible et notamment de 63 Hz à 8000 Hz).

La formation et la sensibilisation du personnel sur la manière de port des PICB jouent un rôle fondamental dans la définition de l'atténuation effective du protecteur.

2.4.5. Formation et information des salariés

– Formation

Ces formations sont réalisées par le Service de Santé au Travail, doivent porter sur:

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

– Information

Au-dessus de la Valeur d'Exposition Supérieure déclenchant l'action de prévention, c'est-à-dire 85 dB (A), il est obligatoire de signaler la zone. Cela permet d'informer tous les salariés et de rappeler la nécessité du port des protections.

2.4.6. Surveillance médicale renforcée

Le médecin du travail doit exercer une surveillance médicale renforcée pour les travailleurs exposés à des niveaux de bruit supérieurs aux valeurs d'exposition supérieures. Cette surveillance a pour objectif le diagnostic précoce de toute perte auditive due au bruit et la préservation de la fonction auditive. Les travailleurs dont l'exposition au bruit dépasse les valeurs d'exposition inférieures (80 dB(A)) bénéficient, à leur demande ou à celle du médecin du travail, d'un examen audiométrique préventif.

2.5. Exigences réglementaires et mesures de prévention correspondantes

Les exigences de la réglementation varient en fonction des niveaux d'exposition : le dépassement de certains seuils déclenche une série d'actions à mettre en œuvre par le chef d'entreprise afin de protéger les travailleurs. L'exposition est évaluée à partir des deux paramètres L_{ex} , 8 h et L_p , c.

Le niveau d'exposition quotidienne au bruit (L_{ex} , 8 h), soit le niveau d'exposition au bruit pondéré A rapporté à une journée nominale de 8 heures de travail ;

Le niveau de pression acoustique de crête (L_p , c), soit le niveau de pression acoustique de crête instantané pondéré C.

Chacun de ces deux paramètres est comparé aux trois valeurs d'exposition détaillées dans le tableau suivant.

Tableau 2.2. Valeurs limites d'exposition exigences réglementaires

Seuils	Paramètres	Réglementation	Actions
Valeur inférieure d'exposition	L_{ex} , 8 h	80 dB(A)	– Mise à la disposition des EPI adaptés, – Informations et formation (sur la nature du risque, les moyens mis en œuvre, les valeurs d'exposition, l'utilisation correcte des EPI, le rôle de la surveillance médicale, et les bonnes pratiques professionnelles) – Examen médical
	L_p , c	135 dB(C)	
Valeur supérieure d'exposition	L_{ex} , 8 h	85 dB(A)	– signaler les endroits concernés (bruyants) et limiter les accès – imposer le port des PICB et contrôler leur utilisation effective – surveillance médicale renforcée de ses employés – mettre en œuvre des mesures de réduction d'exposition au bruit
	L_p , c	137 dB(C)	
Valeur limite d'exposition	L_{ex} , 8 h	87 dB(A)	– adopter immédiatement des mesures de réduction du bruit ; – identifier les causes de l'exposition excessive et adapter les mesures de protection.
	L_p , c	140 dB(C)	

La détermination de la valeur limite d'exposition 87dB(A) et 140 dB(C), tient compte de l'atténuation assurée par les protecteurs auditifs individuels portés par le travailleur. Ces valeurs ne peuvent en aucun cas être dépassées.

Pour une journée de travail (8h), on considère que l'ouïe est en danger à partir de 85dB(A).
Si le niveau de bruit est supérieur, l'exposition doit être de plus courte durée.
Chaque fois que l'on augmente de 3 dB(A), on divise le temps par 2, le risque est le même.

3. Prévention des risques liés aux vibrations mécaniques

3.1.Introduction

Chaque jour, à travers le monde, de plus en plus de personnes sont exposées au cours de leur travail, aux **vibrations**. Certains de ces travaux nécessitant l'utilisation de machines mobiles ou encore de machines portatives, rotatives, percutantes, fixes ou non (meuleuses, tronçonneuses, marteaux piqueurs, ...). Dans la plupart des cas, ces expositions sont rapides mais souvent répétées au cours de la journée avec des phénomènes d'impulsions, de chocs et d'impacts engendrant des effets néfastes sur la santé. Ces effets intrinsèques aux vibrations sont maintenant inscrits dans les tableaux des maladies professionnelles, la réglementation les reconnaissant par ailleurs comme facteurs de pénibilité.

3.2.Définitions

Une vibration est une oscillation d'un objet par rapport à un point fixe. Elle peut être générée par tout objet effectuant des mouvements continus ou répétitifs comme des outils, des engins roulants ou des machines tournantes. Elle se propage aux personnes par tout point de contact, mais plus particulièrement par les mains, les pieds ou l'assise.

On distingue deux types de transmission des vibrations:

Vibration transmise au système main – bras : vibrations mécaniques transmises à la main et au bras par la paume et les doigts, entraînant des risques pour la santé et la sécurité des travailleurs, notamment des troubles vasculaires, des lésions ostéo-articulaires ou des troubles neurologiques ou musculaires, connus sous le nom de syndrome vibratoire mains-bras.

La transmission des vibrations à la main et au bras peut se faire par contact direct avec l'outil vibrant ou par l'intermédiaire d'une pièce travaillée tenue à la main. Elles sont provoquées par de nombreux outils ou petites machines frappeurs ou rotatifs, par exemple marteaux piqueurs, tronçonneuses, etc.

Vibration transmise à l'ensemble du corps : vibration mécanique qui lorsqu'elle est transmise à l'ensemble du corps, entraîne des risques pour la santé et la sécurité des travailleurs, notamment des lombalgies et des traumatismes de la colonne vertébrale.

La transmission des vibrations à l'ensemble du corps peut se faire par l'intermédiaire d'un siège ou d'un plancher. On les subit dans les véhicules, les chariots élévateurs, etc. [15].

3.3 Caractéristiques des vibrations

3.3.1. L'amplitude

On peut considérer que l'amplitude de la vibration correspond au déplacement, à la vitesse ou à l'accélération de la vibration.

Cependant, la plupart des capteurs de vibrations délivrent un signal de sortie qui est lié à l'accélération. L'amplitude efficace des vibrations (a) s'exprime comme une accélération donnée en (m/s^2). Elle est mesurée au niveau du siège pour une personne assise ou des pieds pour une personne debout. Elle représente l'accélération moyenne sur une période de mesure. Un capteur de vibrations ne mesure l'accélération que dans une seule direction.

Pour obtenir une représentation complète des vibrations transmises à l'ensemble du corps, on a donc besoin de trois capteurs (un pour chaque axe).

3.3.2. La fréquence

La fréquence représente le nombre de fois par seconde où le corps, en vibrant, se déplace dans un sens puis dans l'autre (nombre d'oscillations par seconde (en Hertz))

Exemple : un brise-béton génère 1500 percussions en 1 minute : la fréquence est de 25 Hz.

Pour les vibrations transmises à l'ensemble du corps, les fréquences jugées importantes sont comprises entre 0,5 Hz et 80 Hz.

3.3.3. L'accélération

Elle résulte de l'amplitude et de la fréquence, c'est la variation de la vitesse du corps lors de l'oscillation. Unité = m/s^2 . **Elle caractérise la vibration**

3.3.4. La direction

Les vibrations se transmettent au corps selon 3 axes :

Z : axe vertical pied-tête

X : axe antéro-postérieur (avant-arrière)

Y : axe droite-gauche

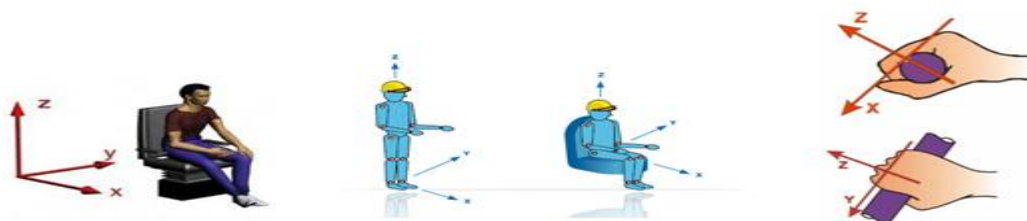


Figure 3.1. Direction des vibrations

3.4. Effets et manifestations

Les affections professionnelles provoquées par les vibrations et chocs transmis par certaines machines-outils, outils et objets sont prises en compte par le tableau des maladies professionnelles n°68 selon la réglementation algérienne (voir annexe C).

Les effets des vibrations dépendent de leur niveau d'accélération, de leur fréquence, de la durée de l'exposition et de la partie du corps qui la subit.

Ces effets sont aggravés par certains phénomènes tels que les efforts exercés par l'opérateur, les chocs accompagnant les vibrations ainsi que le froid et l'humidité.

Inconfort vibratoire : valeurs définies en termes d'accélération équivalente - Norme ISO 2631

- moins de $0,3 m/s^2$: pas d'inconfort.
- de $0,3$ à $0,6 m/s^2$: légèrement inconfortable.
- de $0,6$ à $1,0 m/s^2$: relativement inconfortable.
- de $1,0$ à $1,6 m/s^2$: inconfortable.
- de $1,6$ à $2,5 m/s^2$: très inconfortable.
- plus de $2,5 m/s^2$: extrêmement inconfortable.

3.4.1. Effet des vibrations de basse fréquence (< à 2 Hz)

Dans ce domaine de fréquence, l'organisme se comporte comme une masse unique, mais l'individu peut souffrir du mal des transports lié au déplacement de véhicules aériens, marins et terrestres.

La stimulation vient des mouvements du véhicule (roulis, tangage, secousses, variation de vitesse) et l'origine des effets est d'ordre vestibulaire et visuel.

Des réactions végétatives peuvent apparaître telles que : pâleur, sueur, nausées, vomissements.

La prévention peut reposer sur la prise de médicaments préventifs.

3.4.2. Effet des vibrations de moyenne fréquence (entre 2 et 30 Hz)

Elles ont pour origine les machines et véhicules (camions, tracteurs agricoles, engins de chantier) où les secousses et les vibrations se transmettent au conducteur par l'ensemble du véhicule.

L'amplitude des vibrations varie avec : la vitesse, l'état de la route, le poids du véhicule, avec une fréquence de résonance d'autant plus basse que le poids est important, le régime du moteur et la qualité de sa fixation au véhicule.

Les principaux troubles sont [16] :

- *Digestifs*, avec perte d'appétit, constipation, douleurs abdominales, hémorroïdes ;
- *Vertébraux* : lombalgies, cervicalgies, aggravation des lésions rachidiennes préexistantes, douleur des muscles paravertébraux ; aggravation par la posture et la manipulation des commandes ;
- *Altération de l'équilibre* ;
- *Troubles visuels*, variables selon que seul l'objet vibre ou la personne également

3.4.3. Effet des vibrations de haute fréquence (> à 30 Hz)

Ces vibrations sont produites habituellement par des machines conçues pour être tenues à la main. Leur fréquence vibratoire est souvent assez élevée : (ex : scies à main : 50-200 Hz, polisseuses et meules à main : 200-800 Hz ...)

Les vibrations transmises aux membres supérieurs provoquent **à moyen terme** un ensemble de symptômes appelé "syndrome des vibrations".

Selon les individus et le matériel utilisé, les premiers troubles peuvent apparaître de plusieurs mois à plusieurs années après le début de l'exposition

Symptômes du syndrome des vibrations

- *Troubles ostéoarticulaires* : douleurs des mains et des bras, limitations des mouvements,
- *Troubles vasculaires* : phénomène du doigt blanc (syndrome de Raynaud) apparaît lors d'activités dans une ambiance froide,
- *Troubles neurologiques* : moindre sensation du toucher et de la perception du chaud et du froid, picotements, perte de la dextérité, engourdissements.

La gravité du syndrome des vibrations du système main-bras dépend de plusieurs autres facteurs, par exemple les caractéristiques de l'exposition aux vibrations, les méthodes de travail, les antécédents personnels et les habitudes. Le tableau 3.1 résume ces facteurs.



Figure 3.2.Syndrome de Raynaud

Tableau 3.1-Facteurs déterminant l'effet des vibrations sur les mains

<i>Facteurs physiques</i>	<i>Facteurs biodynamiques</i>	<i>Facteurs individuels</i>
Accélération de vibration	Force de préhension exercée par le travailleur sur le matériel vibrant	Maîtrise de l'outil par l'opérateur
Fréquence de vibration	Superficie, zone et masse des parties de la main en contact avec la source de vibration	Cadence de fonctionnement de la machine
Durée de l'exposition par jour ouvrable	Dureté du matériau auquel sont appliqués les outils à main, par exemple dureté du métal dans les opérations de meulage et de burinage	Habileté et productivité
Années de travail en condition d'exposition aux vibrations	Position de la main et du bras par rapport au corps	Sensibilité individuelle aux vibrations
État de l'outil (entretien)	Texture du manche -- matériau doux et souple par opposition à matériau rigide	Consommation de tabac et de drogues Exposition à d'autres agents physiques et chimiques
Mesures et matériel de protection, notamment gants, bottes, périodes de repos	Antécédents de lésions aux doigts et aux mains, en particulier de gelures	Maladie ou lésions antérieures des doigts ou des mains

- **Valeurs limites d'exposition**

Pour les **vibrations du corps entier** des valeurs réglementaires journalières (pour 8 heures de travail journalières) sont à respecter :

- La première valeur, de **0,5 m/s²** correspond au déclenchement d'une **action de prévention**. L'employeur doit alors faire en sorte de réduire l'exposition du travailleur.
- La seconde valeur, de **1,15 m/s²**, correspond à la **valeur limite** d'exposition, cette limite ne doit jamais être atteinte. En aucun cas les travailleurs doivent être exposés à cette valeur. Au-delà, on considère que le risque pour le travailleur de développer une pathologie est significativement élevé.

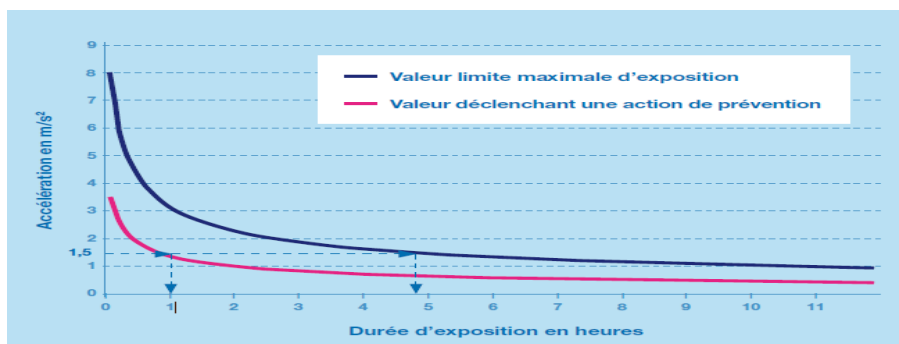


Figure 3.3. Valeurs limites (ensemble du corps)

Exemple :

Un travailleur conduit une pelle de chantier qui génère des vibrations ayant une accélération de 1,5 m/s². Ce travailleur peut utiliser cette pelle de chantier :

- Jusqu'à 1h par jour pour ne pas dépasser la valeur déclenchant une action de prévention.
- En aucun cas plus longtemps que 4 h 45mn par jour pour ne pas dépasser la valeur limite maximale d'exposition.

Concernant les **vibrations transmises système main-bras**, deux valeurs réglementaires sont également définies :

- La première valeur correspondant à la valeur d'action qui est de **2,5m/s²**, à la suite de laquelle des mesures doivent être prise pour réduire l'exposition.
- La seconde valeur, de **5,0m/s²** ne doit jamais être dépassée.

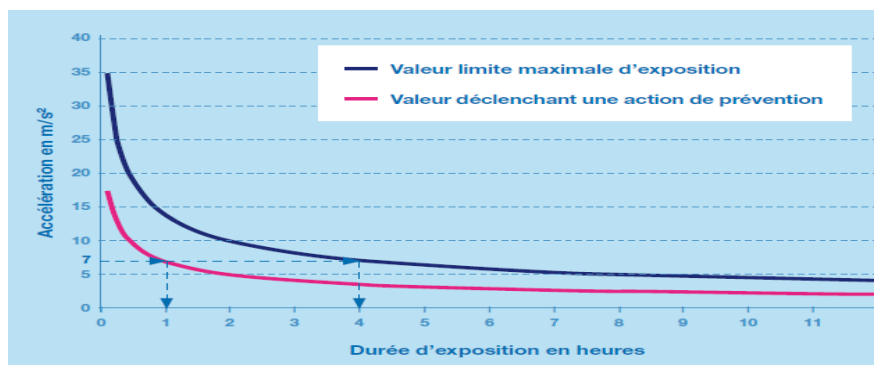


Figure 3.4. Valeurs limites (système main-bras)

Exemple :

Un travailleur utilise une perceuse qui génère des vibrations ayant une accélération de 7 m/s². Ce travailleur peut utiliser cette perceuse :

- Jusqu'à 1 heure par jour pour ne pas dépasser la valeur déclenchant une action de prévention,
- En aucun cas plus longtemps que 4 heures par jour pour ne pas dépasser la valeur limite maximale d'exposition.

3.6. Moyens de prévention

Lorsque les valeurs d'exposition sont dépassées, l'employeur établit et met en œuvre un programme de mesures techniques et/ou organisationnelles visant à réduire au minimum l'exposition aux vibrations mécaniques et les risques qui en résultent.

3.5.1. Moyens organisationnels

- **Organisation du travail**
 - Privilégier l'*alternance* des tâches lorsque les agents sont soumis au risque vibratoire. Ceci implique une polyvalence.
 - Planifier le travail afin d'éviter la réalisation d'une activité exposant au risque vibratoire pendant toute une journée.
- **Entretien des équipements**

Un entretien régulier des machines et autres équipements de travail contribuera à réduire les amplitudes des vibrations au minimum nécessaire, il faut donc :

- Planifier l'*entretien et la maintenance* de l'ensemble des outils et des engins : pour ce faire, suivre les recommandations du fabricant,
- Réaliser des vérifications périodiques de manière systématique sur les équipements qui le nécessitent,
- Veiller au bon *affûtage* des outils coupant et au bon *graissage* des parties mobiles de l'ensemble des équipements,
- Lubrifier les parties mobiles en suivant les recommandations du fabricant ;

- *Vérifier et corriger* l'équilibrage ;
- *Surveiller l'usure* des systèmes antivibratoires (examiner la détérioration ou la fissuration, le gonflement et le ramollissement ou le durcissement des plots en caoutchouc) ;
- *Vérifier et remplacer* les *amortisseurs*, paliers et engrenages défectueux ;
- *Affûter les dents* des tronçonneuses et maintenir la bonne tension de la chaîne ;
- *Régler les moteurs*.

3.5.2. Moyens techniques

- ***Choix des équipements***

La réduction des vibrations par substitution du matériel reste une des solutions les plus efficaces dans le cas d'équipement vétuste. Le choix doit tenir compte des points suivants:

- Données vibratoires fournies par le fabricant
 - Systèmes antivibratoires
 - Possibilités de réglages
 - Facilité d'utilisation et de prise en main
 - Ergonomie et du confort de l'outil ou du poste de conduite de l'engin.
- ***Systèmes antivibratoires***
 - *Le siège ou le poste de conduite* : il doit être sur suspension pour absorber les vibrations et réglable dans tous les axes.
 - *Les poignées anti-vibratiles* : elles doivent être homologuées pour éviter un mauvais choix qui pourrait augmenter les vibrations plutôt que les réduire.
 - *Les amortisseurs, les plots anti-vibrations, les silentblocs* : ils ne sont généralement pas ajoutés à l'équipement.
 - *Les matériaux absorbants en élastomères*: présents à l'origine sur les équipements, leur usure est à surveiller, ils doivent garder une bonne élasticité.
 - ***Equipements de Protection Individuelle (EPI)***

Les EPI ne constituent qu'un dernier recours en matière de protection contre les risques professionnels. Ils ne peuvent être considérés comme un moyen de lutte à long terme qu'après avoir exploré toutes les autres options.

- ***Gants anti-vibration***

Les gants commercialisés sous la mention 'anti-vibration' doivent porter le label CE, qui indique qu'ils ont été testés et sont conformes aux exigences de la norme EN ISO 10819:1997.

- ***Vêtements chauds***

Une basse température du corps augmente le risque de blanchiment des doigts en réduisant la circulation sanguine. Il faut éviter si possible les travaux en extérieur par temps froid, sinon utiliser des machines avec des poignées chauffantes pour garder les mains chaudes.

La température en intérieur doit garantir un confort raisonnable (16 °C) et éviter les machines qui peuvent refroidir les mains, telles que les machines à corps en acier ou les machines pneumatiques qui rejettent l'air d'échappement sur les mains de l'opérateur.

3.5.3. Moyens humains

- Evaluation des expositions par mesurage des vibrations, ainsi qu'une étude ergonomique du poste de travail (analyse des gestes et postures),
- Fournir des équipements de protection individuelle contre les effets nuisibles des vibrations mécaniques ;
- *Formation et information des agents, notamment, sur :*
 - Les *mesures* prises en vue de *supprimer* ou de *réduire* au maximum les risques résultant des vibrations mécaniques ;
 - Les *risques* de *pathologie* dus aux équipements utilisés (signalement des symptômes) ;
 - Les *valeurs limites* d'exposition et les seuils d'action d'exposition ;
 - Les *résultats* de l'évaluation des risques vibratoires et des mesures de vibrations ;
 - Comment *détecter* et *signaler* des *symptômes* de pathologie ;
 - Comment *signaler* les *machines* nécessitant une maintenance ;
 - *Comment* et *quand* *jeter* les *outils* (mèches, meules...) ou les consommables qui contribuent à des expositions vibratoires excessives ;
 - Les circonstances dans lesquelles les employés ont *droit* à un *suivi médical*.
 - *Sensibilisation* aux *pratiques professionnelles sûres* (meilleur emploi des équipements afin d'éviter des conditions d'utilisation sévères) ;
 - *Formation* au *risque vibratoire* (pathologies et signalement des symptômes) ;

3.6.Évaluation du risque vibratoire

Lorsque l'évaluation des risques met en évidence une exposition à des vibrations mécaniques, l'employeur fait effectuer des mesures pour déterminer le niveau d'exposition. Les étapes de l'évaluation des risques sont :

- Identification des risques,
- Evaluation de l'exposition vibratoire quotidienne a(8),
- Comparaison aux valeurs seuils fixées par la réglementation.

3.6.1. Identification des risques

- Identifier les machines mobiles et les équipements exposant les travailleurs à des vibrations.
- Evaluer les conditions d'utilisation des engins et outils (*état du terrain, conduite en extérieur, en intérieur, vitesse d'utilisation*)
- Identifier les postures contraignantes, manutentions manuelles...
- Ecoute des salariés (douleurs, stress...)

3.6.2. Évaluation de l'exposition quotidienne A(8)

L'exposition vibratoire journalière des salariés dépend à la fois de l'émission des vibrations et de la durée réelle quotidienne (T) d'exposition.

L'émission vibratoire est caractérisée par l'accélération équivalente (a_{eq} exprimée en m/s^2). Il convient donc d'estimer pour chaque poste de travail, la valeur de ces deux grandeurs et d'en déduire par calcul la valeur de l'exposition quotidienne A(8).

- **Mesure de l'accélération équivalente a_{eq}**

Ces mesures peuvent être effectuées par l'entreprise ou par un consultant spécialisé à l'aide d'appareils de mesure.

La chaîne de mesure comporte : des capteurs, (capteur d'accélération : accéléromètre, de vitesse et de déplacement), des amplificateurs conditionneurs, (permettent l'alimentation électrique du capteur et l'adaptation de sa sensibilité de façon à fournir les résultats en unité cohérente) et des enregistreurs (graphiques, photographiques ou magnétiques).

Sur un engin, deux mesures sont essentielles : l'enregistrement des vibrations *au plancher* et l'enregistrement des vibrations *au bassin de l'opérateur*.

Sur l'opérateur : l'enregistrement des vibrations se fait en divers endroits du corps (bassin, thorax, tête, main...), dans les 3 plans de l'espace, ou au minimum dans le plan vertical.

Il faut répéter les mesures si les vibrations sont aléatoires ou changent avec le temps (état des chemins, de la circulation par exemple). Il faut également évaluer *la durée d'exposition*.

On mesure ainsi *l'accélération équivalente* en multipliant chaque accélération pondérée en fréquence (a_w) correspondant à chaque direction par un *facteur multiplicateur k*.

Pour les deux axes horizontaux (x et y) **k = 1,4**

Pour l'axe vertical (z) **k = 1**.

- **L'exposition quotidienne A(8)**

Elle se calcule à partir de l'accélération équivalente a_{eq} et de la durée réelle (T) d'exposition selon la formule suivante :

$$A_I(8) = K_I \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum a_{lwi}^2 x T_i}$$

a_{lwi} est la valeur efficace pondérée en fréquence de l'accélération selon la direction l, déterminée sur la durée T_i ,

T_i est la durée d'exposition correspondant à la tâche,

$k_x = k_y = 1,4$ pour les directions horizontales, $k_z = 1$ pour la direction verticale,

$l = X, Y$ ou Z ,

T_0 est la durée de référence de 8 heures.

• Cas d'une exposition simple

Lors d'utilisation d'une seule machine, on retiendra la plus grande des trois valeurs (accélération équivalente) sur les axes (1,4awx, 1,4awy ou awz) pour déterminer l'**aeq**.

$$A_I(8) = a_{wI} \sqrt{\frac{T}{8}}$$

3.6.3. Méthode simplifiée de l'estimation A(8)

Pour estimer l'émission vibratoire des différentes machines on peut utiliser un *guide normalisé ISO TR 25398 : 2006 mis en place par l'INRS*. Il s'agit d'estimer l'émission vibratoire à l'aide :

- Des figures présentant l'accélération équivalente (aeq) pour les familles de machines mobiles les plus courantes mesurées en situation réelle.
- Des matrices déterminant le nombre de points d'exposition [17].

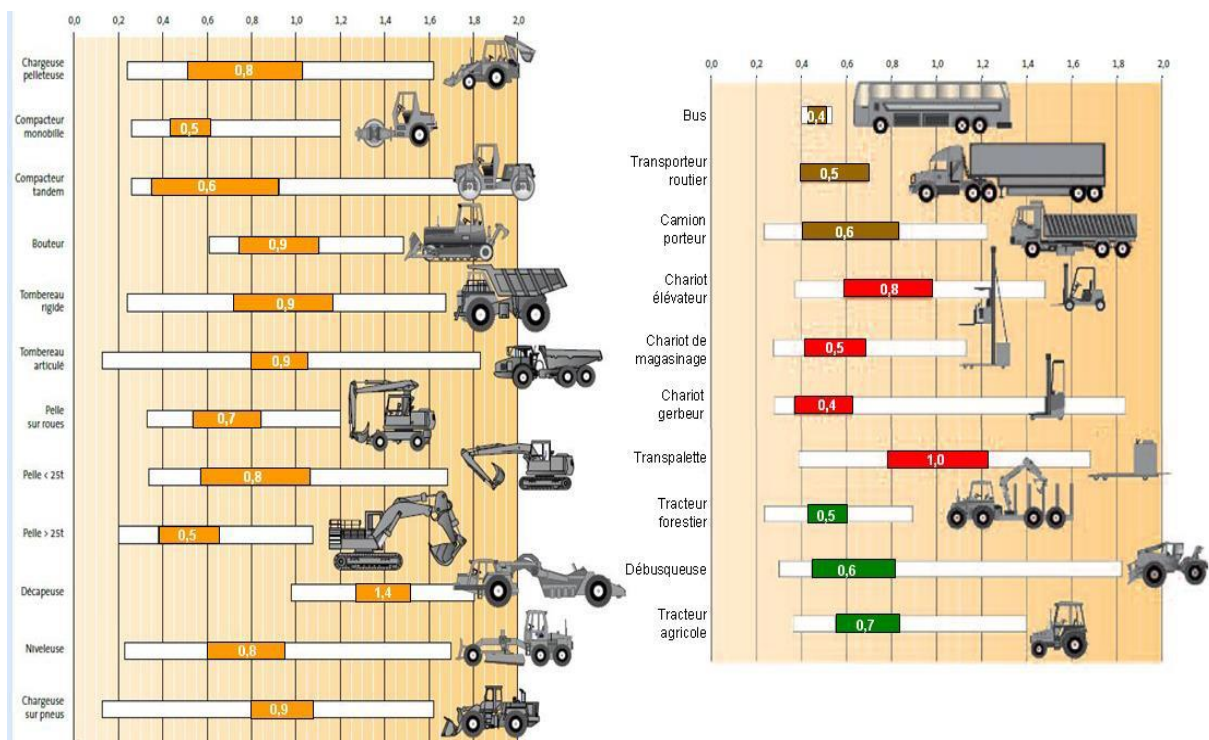
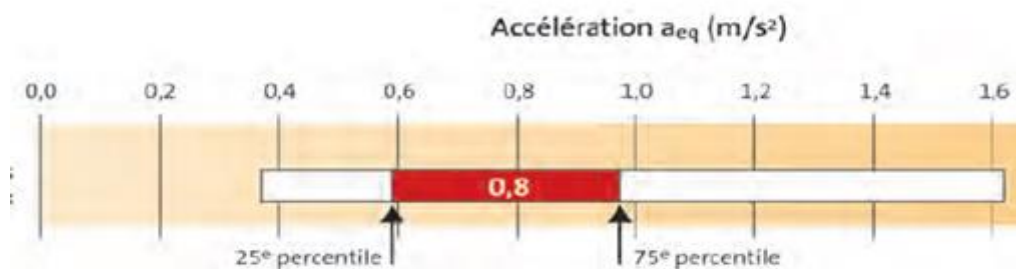


Figure 3.5. Exemples de valeur vibratoire (accélération équivalente) pour des engins de chantier, de transport courants ou de manutention

Ces figures présentent également les valeurs correspondant au quart des mesures les plus faibles (25e percentile) et les plus fortes (75e percentile).

25e percentile : **conditions et état favorables** (équipements antivibratoires, bon entretien et réglages corrects, faible usure, conduite à faible vitesse, sol en bon état et régulier...)

75e percentile : **conditions et état sévères** (véhicule ou engin vétuste, défaut d'entretien, conduite sur de longues distances, sol en mauvais état et irrégulier...)



Exemple :

La valeur moyenne a_{eq} sur un chariot élévateur est de 0,8 m/s²

Si la route présente des irrégularités et le siège est mal suspendu ou non réglé, $a_{eq} \approx 1 m/s^2$

Si le sol est lisse et le véhicule équipé avec un siège adapté et correctement réglé, a_{eq} sera inférieure à 0,6 m/s².

Les différentes étapes de la méthode simplifiée sont :

- Relever sur les *figures* les accélérations équivalentes correspondantes nécessaires.
- Déterminer les durées réelles d'exposition quotidienne.
- Déterminer sur la matrice de la figure 2 le nombre de « points d'exposition »
- Sommer les scores obtenus pour l'ensemble des machines.
- La couleur de la case correspondante renseigne sur le risque vibratoire : en vert, $a(8)$ inférieure à la valeur déclenchant l'action; en rouge, $a(8)$ supérieure à la valeur limite.

La valeur de $A(8)$ se déduit en reportant la somme des scores sur la colonne des '8 heures'

Exemples d'utilisation de la méthode simplifiée

- **Simple exposition**

Cas d'un chariot élévateur à fourches en porte-à-faux : la valeur moyenne de l'accélération équivalente relevée sur la figure 1 est de 0,8 m/s². Si la durée correspondante est de 2 heures par jour, on trouve sur la figure 2 le nombre de « points » correspondant égal à 64.

Il s'agit d'une case verte signifiant que l'on est en dessous du seuil d'action.

La même figure 2 permet aussi le calcul de la valeur de $A(8)$, égale à 0,4 m/s².

- **Multi-exposition**

Un chauffeur de livraison passe chaque jour une heure à charger son camion avec un petit chariot élévateur, puis 6 heures à conduire le camion.

Étape 1 : les valeurs d'accélération équivalente sur le siège sont d'après la figure 1 :
 chariot élévateur : 0,8 m/s², camion de livraison : 0,5 m/s².

Étape 2 : les durées d'exposition réelles sont respectivement de 1 et 6 heures.

Étape 3: le nombre de points par engin se déduit de la figure 2:
 chariot élévateur : 32, camion de livraison : 75.

Étape 4: somme de points = 107.

Étape 5: la case correspondante la plus proche de 107 est la case 100. Cette case de la figure 2 est orange. Nous sommes donc au-dessus du seuil où des actions seront à prendre.

Accélération (m/s ²)	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	10
2	100	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	2000
1.9	90	181	361	542	722	903	1083	1264	1444	1805
1.8	81	162	324	486	648	810	972	1134	1296	1620
1.7	72	145	289	434	578	723	867	1012	1156	1445
1.6	64	128	256	384	512	640	768	896	1024	1280
1.5	56	113	225	338	450	563	675	788	900	1125
1.4	49	98	196	294	392	490	588	686	784	980
1.3	42	85	169	254	338	423	507	592	676	845
1.2	36	72	144	216	288	360	432	504	576	720
1.15	33	66	132	198	265	331	397	463	529	661
1.1	30	61	121	182	242	303	363	424	484	605
1	25	50	100	150	200	250	300	350	400	500
0.9	20	41	81	122	162	203	243	284	324	405
0.8	16	32	64	96	128	160	192	224	256	320
0.7	12	25	49	74	98	123	147	172	196	245
0.6	9	18	36	54	72	90	108	126	144	180
0.5	6	13	25	38	50	63	75	88	100	125
0.4	4	8	16	24	32	40	48	56	64	80
0.3	2	5	9	14	18	23	27	32	36	45
0.2	1	2	4	6	8	10	12	14	16	20

Durée réelle d'exposition (h)

Figure 3.6. Matrice d'estimation de $A(8)$

« Engins et véhicules ».

	5 mn	15 mn	30 mn	1	2	3	4	5	6	7	8	10
20	67	200	400	800	1600	2400	3200	4000	4800	6400	8000	
19,5	63	190	380	761	1521	2282	3042	3803	4563	6084	7605	
19	60	181	361	722	1444	2166	2888	3610	4332	5776	7220	
18,5	57	171	342	685	1369	2054	2738	3423	4107	5476	6845	
18	54	162	324	648	1296	1944	2592	3240	3888	5184	6480	
17,5	51	153	306	613	1225	1838	2450	3063	3675	4900	6125	
17	48	145	289	578	1156	1734	2312	2890	3468	4624	5780	
16,5	45	136	272	545	1089	1634	2178	2723	3267	4356	5445	
16	43	128	256	512	1024	1536	2048	2560	3072	4096	5120	
15,5	40	120	240	481	961	1442	1922	2403	2883	3844	4805	
15	38	113	225	450	900	1350	1800	2250	2700	3600	4500	
14,5	35	105	210	421	841	1262	1682	2103	2523	3364	4205	
14	33	98	196	392	784	1176	1568	1960	2352	3136	3920	
13,5	30	91	182	365	729	1094	1458	1823	2187	2916	3645	
13	28	85	169	338	676	1014	1352	1690	2028	2704	3380	
12,5	26	78	156	313	625	938	1250	1563	1875	2500	3125	
12	24	72	144	288	576	864	1152	1440	1728	2304	2880	
11,5	22	66	132	265	529	794	1058	1323	1587	2116	2645	
11	20	61	121	242	484	726	968	1210	1452	1936	2420	
10,5	18	55	110	221	441	662	882	1103	1323	1764	2205	
10	17	50	100	200	400	600	800	1000	1200	1600	2000	
9,5	15	45	90	181	361	542	722	903	1083	1444	1805	
9	14	41	81	162	324	486	648	810	972	1296	1620	
8,5	12	36	72	145	289	434	578	723	867	1156	1445	
8	11	32	64	128	256	384	512	640	768	1024	1280	
7,5	9	28	56	113	225	338	450	563	675	900	1125	
7	8	25	49	98	196	294	392	490	588	784	980	
6,5	7	21	42	85	169	254	338	423	507	676	845	
6	6	18	36	72	144	216	288	360	432	576	720	
5,5	5	15	30	61	121	182	242	303	363	484	605	
5	4	13	25	50	100	150	200	250	300	400	500	
4,5	3	10	20	41	81	122	162	203	243	324	405	
4	3	8	16	32	64	96	128	160	192	256	320	
3,5	2	6	12	25	49	74	98	123	147	196	245	
3	2	5	9	18	36	54	72	90	108	144	180	
2,5	1	3	6	13	25	38	50	63	75	100	125	

Durée réelle d'exposition (h)

Figure 3.7. Matrice d'estimation de $A(8)$ « Outils et machines-outils »

4. Prévention des risques liés aux rayonnements ionisants

4.1.Introduction

Les radiations ionisantes émises par les produits radioactifs sont particulièrement dangereuses : elles ionisent la matière, c'est à dire qu'elles arrachent, en passant dans la matière vivante, des électrons aux atomes.

L'exposition aux radiations conduit au risque *d'irradiation* qui est dû à l'exposition directe aux rayonnements ionisants et le risque de *contamination* qui est dû à la présence significative de substances radioactives dans le corps.

Les rayonnements peuvent être émis par une source extérieure à l'organisme (*exposition externe*) ou être émis par des radioéléments intérieurs à l'organisme (*exposition interne*). L'absorption peut se faire par voie respiratoire, cutanée, plus rarement par voie digestive.

4.2.Définition des concepts « radioactif » et « radioactivité »

La radioactivité est un phénomène naturel qui naît au cœur de l'atome. Dans le noyau instable d'un atome radioactif, il existe ainsi un surplus d'énergie qui conduit à une désintégration de l'atome en un autre atome. Pendant cette transformation, l'atome expulse son énergie excédentaire sous la forme de rayonnements invisibles.

Un atome « **radioactif** » est un atome qui émet du rayonnement à partir de son noyau. On dit que l'atome subit une **désintégration** lorsqu'il émet du rayonnement.

Le terme « **radioactivité** » désigne l'activité de la matière radioactive. La matière se compose d'une multitude d'atomes; son activité est le nombre de ses atomes qui vont se désintégrer en un certain laps de temps et émettre du rayonnement.

Les générateurs de rayons X ne sont pas radioactifs. Ils sont contrôlés par l'opérateur de l'appareil c.-à-d. il peut provoquer ou arrêter l'émission de ce rayonnement.

Dans le cas de matière radioactive telle que l'uranium, on ne peut empêcher l'émission de rayonnement. La radioactivité est une propriété intrinsèque d'une matière, qu'on ne peut ni accélérer, ni ralentir, ni arrêter. De la matière cessera d'être radioactive seulement quand elle aura subi suffisamment de désintégrations pour parvenir à un état stable « non radioactif ».

4.3.Types de rayonnement

4.3.1. Rayonnement alpha (α)

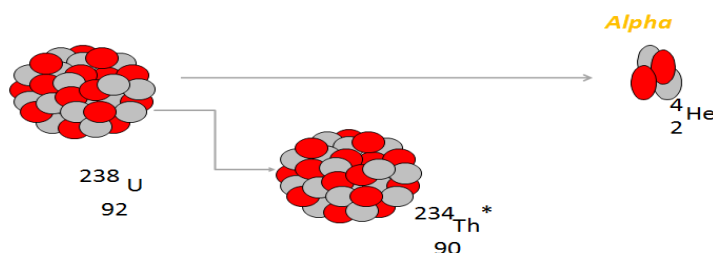
Un rayonnement α est un faisceau de noyaux **d'hélium** composé de deux protons et de deux neutrons.

Lourds et chargés électriquement, les noyaux d'hélium sont arrêtés facilement et rapidement par les atomes composant la matière.

La couche de peau morte qui couvre notre peau arrête complètement le rayonnement alpha, ainsi par une feuille de papier.

Les émetteurs les plus courants sont : **le radon, le radium, le thorium, l'uranium, le plutonium et l'américium.**

Exemple : Le noyau de l'Uranium émet un noyau d'hélium (rayonnement α) et se transforme en un noyau plus léger (Thorium 234).



4.3.2 Rayonnement bêta(β)

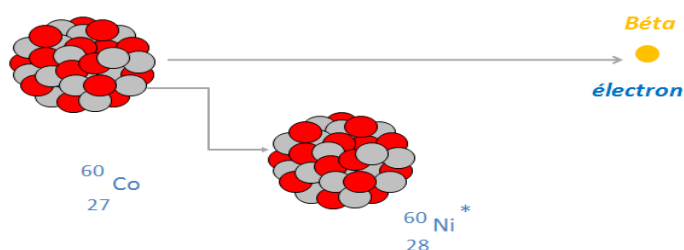
Le rayonnement β est un faisceau **d'électrons** très petit et très léger, porteurs d'une charge électrique, négative (électron, β^-) ou positive (positon, β^+).

Il peut parcourir environ deux mètres dans l'air. Et peut ainsi traverser la partie morte de notre peau et atteindre la partie vivante juste en-dessous.

Une feuille de plastique ou d'aluminium peut l'arrêter complètement.

Quelques émetteurs de rayonnement β : **le tritium, le phosphore, l'iode, le carbone 14, le potassium...Etc.**

Exemple : Un atome de cobalt 60 devient un atome de nickel 60. Un de ses neutrons se transforme en proton en émettant un électron.

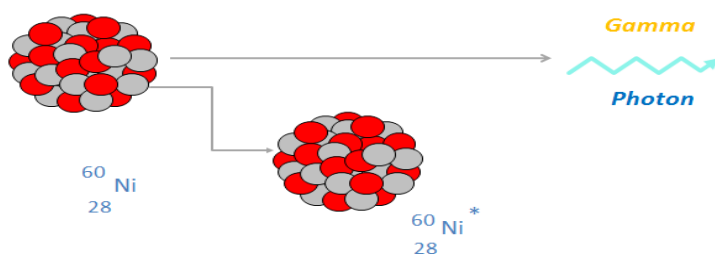


4.3.3. Rayonnement gamma (γ)

Le rayonnement γ se compose **d'ondes électromagnétiques** de très haute énergie, il n'a ni masse, ni charge électrique.

Il résulte de la transformation radioactive α ou β : un noyau fils (excité) excédentaire en énergie, retrouve son état d'équilibre en émettant une onde électromagnétique : le photon gamma (γ)

Le rayonnement γ est bien plus pénétrant que les autres rayonnements, difficile à stopper (il faut quelques mètres de béton). Il peut parcourir plusieurs centaines de mètres dans l'air.



4.3.4 Rayonnement X

Les rayons X sont produits par des appareils conçus à cet effet (ex : appareils de radioscopie). Ils sont constitués d'ondes électromagnétiques de grande énergie, mais ils ne proviennent pas du noyau de l'atome.

Les rayons X sont très pénétrants, on ne peut pas les arrêter complètement, mais on peut utiliser des matériaux tels que le plomb pour réduire le nombre de rayons X qui atteindra notre corps.

Tableau 3.1. Exemples de types de rayonnement, source et usage

Rayonnement	Source	Usage
Particule alpha (α)	Atome d'Uranium	Combustible pour les centrales nucléaires
Particule bêta (β)	Carbone 14	Datation archéologique au carbone
Rayon gamma (γ)	Césium 137	Traitement du cancer
Rayon X	Appareil électronique	Imagerie non envahissante

Tableau 3.2. Les différents types de rayonnements ionisants et leurs caractéristiques

Type de rayon	Exemples d'émetteurs	Nature	Pouvoir pénétrant
Alpha α	Plomb 210 Radon 222 Thorium 232 Uranium 235	Particules constituées de 2 protons et 2 neutrons (charge électrique positive)	Faible pénétration Parcourt qlq cm dans l'air Arrêté par une feuille de papier ou la couche cornée de la peau.
Bêta β	Césium 137 Iridium 192 Phosphore 32 Soufre 35 Tritium (hydrogène3)	Electrons porteurs d'une charge électrique positive (positons β^+) ou négative (β^-)	Pénétration limitée Parcourt qlq mètres dans l'air Arrêté par une feuille d'aluminium, plexiglas, etc. Ne pénètre pas en profondeur dans l'organisme.
Gamma γ	Césium 137 Iridium 192 Or 198 Technétium 99	Photons énergétiques	Pénétration importante Parcourt qlqs centaines de mètres dans l'air Traverse les vêtements et le corps Arrêté ou atténué par des écrans protecteurs en matériaux denses (béton, acier ou plomb).
X	Générateur électrique de rayons X	Photons énergétiques	Pénétration importante Parcourt quelques centaines de mètres dans l'air Traverse les vêtements et le corps Arrêté ou atténué par des écrans protecteurs en matériaux denses (épaisseurs de béton, d'acier ou de plomb).

4.4. Grandeurs et unités

4.4.1. Energie

L'énergie des radiations est mesurée en électronvolts (eV), l'énergie acquise lors de l'accélération d'un électron par une différence de potentiel de 1 Volt.

Elle permet de comparer les émissions des isotopes :

$$^3\text{H} = 19 \text{ keV}$$

$$^{32}\text{P} = 1\,710 \text{ keV}$$

4.4.2. Activité

Elle se mesure par le nombre de désintégrations nucléaires par seconde. Son unité est le **Becquerel (Bq)** qui est égal à 1 désintégration/s.

Ancienne unité = Curie (Ci), la radioactivité d'un gramme de radium (37 milliards de désintégrations par seconde).

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 37 \text{ GBq} = 37\,000 \text{ MBq}$$

– Activité de quelques « sources »

- Notre corps : 12000 Bq (6000 dus au ^{40}K) $T \approx 10^9$ ans
- Le radon (^{222}Rn) contenu dans 1 m³ d'air atmosphérique : 5 Bq
- Le minerai d'uranium à 10% (activité uranium) : $1,3 \cdot 10^{-4} \text{ GBq}$ par kg
- Sources pour la gammagraphie industrielle : 4 à 40 GBq
- Sources de ^{60}Co pour la radiothérapie : 75 à 200 103 GBq
- Bombe atomique à fissions : 7,4 1013GBq (1 min après l'explosion)

4.4.3. Période radioactive « demi-vie T »

Chaque fois qu'un noyau émet une radiation, il s'est désintégré et a donc disparu. Après 10 demi-vies, il ne reste plus qu'un millième du nombre de noyaux radioactifs initiaux.

La demi-vie est donc le temps nécessaire à la disparition de la moitié des atomes d'un radionucléide Elle diffère pour chaque noyau, de la milliseconde à plusieurs milliards d'années. Plus un noyau a une demi-vie courte, plus il sera radioactif et inversement.

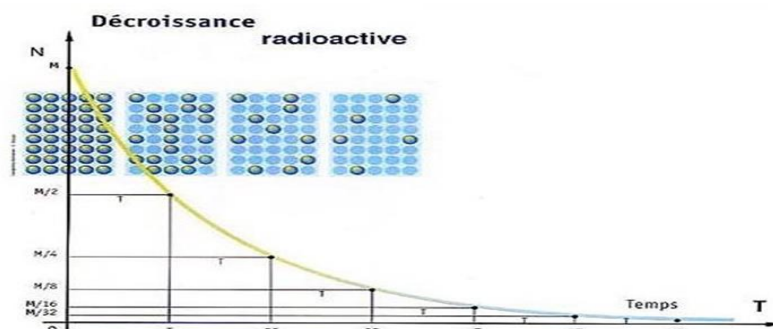


Figure 4.1. Schématisation de la période radioactive

– **Exemples de périodes radioactives**

Uranium 238	4,47 milliards d'années
Potassium 40	1,3 milliards d'années
Uranium 235	704 millions d'années
Carbone 14	5730 ans
Radium 226	1600 ans
Césium 137	30,2 ans
Tritium	12,3 ans
Cobalt 60	5,27 ans
Iode 131	8,05 jours
Phosphore 30	2,55 minutes
Hélium 6	0,82 seconde

4.4.4. Dose absorbée par un organisme « D »

La dose absorbée « l'unité : **le Gray (Gy)** », caractérise la quantité d'énergie déposée *localement* à un endroit donné dans la matière. Elle est définie par le rapport de l'énergie absorbée par unité de masse : **Dose (Gy) = Energie (Joule) / Masse (kg)**

4.4.5. Dose équivalente HT

Caractérise l'effet biologique des rayonnements « l'unité : **le Sievert (Sv)** ».

L'absorption d'une dose de rayonnement par une substance vivante peut provoquer un effet biologique dont l'ampleur dépend du type de rayonnement en cause.

Un **facteur de pondération** « w_R » est attribué à chaque type de rayonnement en fonction de sa capacité pour causer des dommages biologiques. En multipliant la dose absorbée par le facteur de pondération, on obtient **l'équivalent de dose** :

$$H_T = D \cdot W_R$$

$$w_\beta = w_\gamma = w_X = 1 \quad \text{et} \quad w_\alpha = 20$$

4.4.6. Dose efficace « E »

Certains tissus sont plus sensibles aux rayonnements que d'autres. Pour en tenir compte, la dose équivalente est multipliée par un *facteur de pondération tissulaire* (w_T).

Unité « **Sievert(Sv)** ».

$$E = H \cdot W_T$$

Tableau 3.3. Facteur de pondération tissulaire

Organes ou tissus	w_T
Organes reproducteurs	0,20
Moelle osseuse rouge	0,12
Côlon	0,12
Poumon	0,12
Estomac	0,12
Vessie	0,05
Sein	0,05
Foie	0,05
Œsophage	0,05
Glande thyroïde	0,05
Peau	0,01
Surface des os	0,01
Autres	0,05
Corps entier (somme)	1

— Mesure de la dose

Dosimètre à luminescence stimulée optiquement (LSO) et dosimètres thermoluminescents (DTL). On utilise des dosimètres LSO pour mesurer la dose totale reçue durant une période donnée. Ils peuvent mesurer la dose reçue à la peau ou au corps. Pour les doses reçues aux mains, on utilise des dosimètres DTL en forme de bague.

4.5. Sources de rayonnement

4.5.1. Exposition naturelle (58 % de la dose totale reçue)

Dès la formation de la Terre, il y a environ cinq milliards d'années, la matière était constituée d'éléments radioactifs et d'éléments stables. Depuis la radioactivité n'a cessé de décroître puisque de nombreux atomes radioactifs se sont transformés pour l'essentiel en éléments stables. ***Certains se transforment toujours : c'est la radioactivité naturelle.*** Elle est également présente dans les organismes vivants : les tissus organiques et les os contiennent des éléments indispensables à la vie qui possèdent des isotopes radioactifs, comme le potassium 40 ou le carbone 14.

La radioactivité naturelle provient essentiellement de quatre sources :

- **Le rayonnement cosmique (7 %)**

Le rayonnement cosmique provient de l'espace et augmente rapidement avec l'altitude (la couche atmosphérique protectrice devient moins épaisse). L'exposition passe de 0,5 msv par an et par personne au niveau de la mer à 1,7 msv par an et par personne à 4000 mètres d'altitude.

- **Le rayonnement tellurique (11 %)**

Le rayonnement tellurique est émis par de nombreux éléments radioactifs présents dans l'écorce terrestre, comme l'uranium et le thorium. Il varie selon la nature du sol et change ainsi d'une région à l'autre

- **Le radon (Rn)(34 %)**

Le radon (Rn) est omniprésent à la surface de la terre. C'est un gaz rare radioactif qui provient de la désintégration de l'uranium présent dans l'écorce terrestre. Sa concentration est variable selon la nature du sol, les matériaux de construction et la ventilation.

Il possède trois isotopes naturels (^{219}Rn , ^{220}Rn , ^{222}Rn) descendants des radioéléments présents dans les sols (^{235}U , ^{232}Th et ^{238}U). Le radon 222, descendant du radium (^{226}Ra) qui est lui-même un descendant de l'uranium 238, est l'isotope le plus présent dans l'atmosphère à cause de sa période radioactive (3,8235 jours) suffisamment longue pour lui permettre de migrer dans les sols, depuis la roche qui lui a donné naissance, jusqu'à l'atmosphère, où il peut s'accumuler dans les endroits confinés (caves, pièces mal ventilées, mines...).

En se désintégrant, le radon émet des particules alpha et engendre des descendants solides eux-mêmes radioactifs (polonium, Bismuth, Plomb,...).

L'inhalation du radon et de ses descendants constitue, la première cause d'irradiation parmi les sources naturelles de rayonnements ionisants. C'est le risque de cancer du poumon qui motive la vigilance à l'égard du radon dans les habitations et les mines souterraines.

- **Les eaux minérales et les aliments (6 %)**

Les eaux et les aliments absorbés contiennent des éléments radioactifs. Après ingestion, ces éléments viennent se fixer dans les tissus et les os. Ainsi, l'organisme humain compte en moyenne 4500 Bq en potassium 40 et 3700 Bq en carbone 14. L'irradiation interne représente en moyenne 0,24 mSv par personne et par an.

4.5.2. Exposition artificielle (42 % de la dose totale reçue)

- **Exposition médicale (41 %)**

L'irradiation médicale constitue la source d'exposition la plus importante du fait du développement de la médecine nucléaire depuis les années 60 (radiothérapie et / ou radiodiagnostic) et des cures thermales (certaines eaux minérales sont riches en radium et en thorium). Dans les pays industrialisés, une personne reçoit chaque année un équivalent de dose de 1,6 mSv. La moyenne mondiale est de 0,6 mSv par an et par personne.

- **Autres applications (1 %)**

Les applications techniques et industrielles constituent également une source de radioactivité. Les industries minières extractives, les retombées atmosphériques des essais militaires ou, plus quotidiennement, l'exposition aux rayonnements émis par les téléviseurs ou les écrans informatiques, entraînent un équivalent de dose de 0,1 mSv par personne et par an. L'ensemble des filières de production d'électricité d'origine nucléaire compte pour moins de 0,01 mSv par personne et par an.

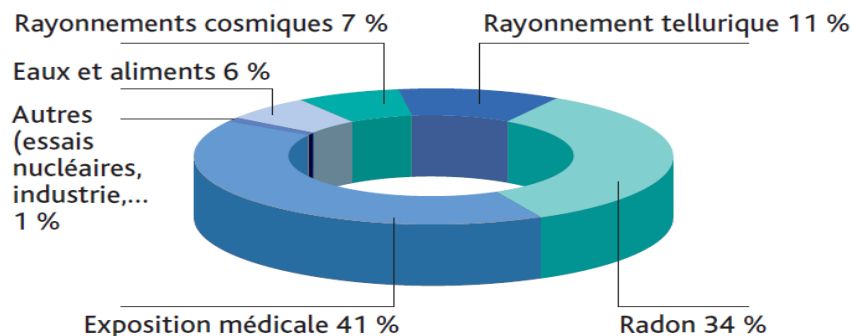


Figure 4.2. Sources de rayonnement

4.6.Applications des RI

- **Industrie électronucléaire**

Les industries du cycle du combustible nucléaire

- Mines d'uranium
- Enrichissement de l'uranium
- Fabrication du combustible
- Centrales nucléaires
- Retraitement des combustibles usés
- Stockage des déchets radioactifs
- Démantèlement des installations

- **Industrie non électronucléaire**

- *Détecteurs à ionisation* : détection d'incendie, dosage de grisou.
- *Radiographie industrielle* : vérification des soudures de pièces métalliques en métallurgie, dans le bâtiment, en aéronautique, etc.
- *Jauges à radio-isotopes* : contrôle de niveau (remplissage d'un réservoir ou de silos) ou d'épaisseur.
- *Irradiation industrielle de matériaux* : pour les rendre plus résistants (prothèses, câbles électriques, pièces pour l'aéronautique).
- *Datation archéologique au carbone 14*.
- *Irradiation agroalimentaire* : meilleure conservation des produits. Elimination des insectes parasites des céréales, des fruits et des légumes frais ; Pasteurisation du poisson et de la viande.
- *Traitements stérilisants pour l'éradication d'insectes nuisibles, comme la mouche Tsé-tsé ; stérilisation de certains matériels médicaux.*

- **Utilisation dans l'industrie pétrolière**

Jauges radioactives :

- De **niveau** : contrôle de liquides ou de pulvérulents
- D'**épaisseur** : contrôle des matériaux en défilement
- De **densité** : des matériaux
- D'**humidité** des pulvérulents
- De **débit** : passage de gaz ou liquide (chargement de wagons ou camions)...

Sources ionisantes : détecteurs d'incendie, ioniques de flamme ou de fumée.

Gammagraphie : recherche de défauts internes sur des matériaux, pièces sensibles d'usure.

4.7.Effets des rayonnements ionisants

Les effets biologiques sont dus au transfert d'énergie des rayonnements ionisants à la matière vivante. Cette ionisation va donc perturber le processus biologique des tissus ou des organes exposés. Cela peut conduire à :

- La modification des propriétés chimiques des molécules où certains constituants de la cellule ne peuvent alors plus jouer leur rôle ;
- L'altération de l'ADN, essentiellement des cassures simple-brin et double-brin.

Un système de réparation enzymatique dans la cellule permet de **réparer** rapidement les cassures simple-brin. Dans d'autres cas, la **réparation** peut être **absente**, **incomplète** ou **fautive**, ce qui peut entraîner ou favoriser le développement d'un **cancer**.

Des lésions d'ADN non ou mal réparées peuvent, dans d'autres cas, empêcher la reproduction cellulaire ou entraîner la mort de la cellule. Cette mortalité cellulaire est liée à l'importance de l'irradiation : le nombre de cellules tuées est directement proportionnel à la dose reçue par la matière vivante.

4.7.1. Les effets déterministes

Ce sont des effets à *court terme*, liés directement aux lésions cellulaires. Ils se manifestent généralement de quelques jours à quelques semaines après l'exposition.

À partir d'un certain **seuil**, exprimé en dose absorbée, apparaissent des effets pathologiques. Les tissus et organes les plus radiosensibles sont les organes reproducteurs, la moelle osseuse, le cristallin, la peau. Une irradiation cutanée localisée peut entraîner une brûlure, une ulcération ou une nécrose.

En cas d'irradiation globale du corps humain, le pronostic vital est lié à l'importance de l'atteinte des tissus (moelle osseuse, tube digestif, système nerveux central). Une exposition aiguë uniforme du corps entier entraîne le décès dans 1 cas sur 2 à partir de 4 Gy en l'absence de traitement.

Dose (Gy)	Effets déterministes
0.15	Diminution temporaire des spermatozoïdes
0.5	Atteinte oculaire : opacités du cristallin
1	Diminution temporaire des leucocytes (globules blancs) Lésions cutanées
2.25	Stérilité féminine
3.5	Stérilité masculine définitive
5	Atteinte gastro-intestinale
15	Décès par atteinte du système nerveux

4.7.2. Les effets stochastiques

Les effets stochastiques (aléatoires) proviennent de l'altération génétique de cellules fonctionnelles dont les conséquences se manifestent généralement plusieurs années après l'exposition, le plus souvent sous forme de cancers ou d'anomalies génétiques.

Ces effets peuvent survenir de façon aléatoire au sein d'une population ayant subi une exposition identique. On n'observe ***pas de seuil*** sous lequel on peut affirmer que ces effets n'auront pas lieu.

La surveillance des survivants des bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki conclut à une augmentation de risque de cancer à partir d'une dose estimée à environ 100 millisieverts (mSv).

D'autre part, les études épidémiologiques portant sur des enfants traités par radiothérapie ont mis en évidence une augmentation du risque de cancer thyroïdien à partir d'une dose équivalente de 100 mSv.

Par prudence, on considère que toute dose, aussi faible soit-elle, peut entraîner un risque accru de cancer. C'est l'hypothèse « ***d'absence de seuil*** ».

4.8. Radioprotection : principes de base et limites de doses

Basée sur la reconnaissance par la CIPR (Commission Internationale de Protection Radiologique) de l'hypothèse d'une relation linéaire dose-effet, la radioprotection vise à empêcher ou à réduire les risques sanitaires liés aux rayonnements ionisants, en s'appuyant sur trois grands principes : ***justification, optimisation et limitation des doses***.

La réglementation précise les dispositions particulières applicables à chacune des trois catégories de populations: ***public, patients et travailleurs***.

4.8.1. Justification

Les activités impliquant une exposition aux rayonnements ionisants doivent pouvoir être justifiées par les avantages qu'elles procurent, après avoir pris en compte l'ensemble des avantages et des inconvénients notamment en matière sanitaire, sociale, économique ou scientifique.

4.8.2. Optimisation

Le principe d'optimisation est à mettre en œuvre une fois la justification établie.

Le niveau d'exposition des personnes aux rayonnements ionisants, la probabilité de la survenue de cette exposition et le nombre de personnes exposées doivent être maintenus au

niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre (principe ALARA « As Low As Reasonably Achievable »)

4.8.3. Limitation des doses

La limite de dose est la valeur de dose *au-dessus* de laquelle le risque encouru est *inacceptable*. *En dessous* de cette limite, le risque est *tolérable*.

L'application des principes de *justification* et d'*optimisation* permet d'atteindre un risque *acceptable*.

Une limite « *dose de minimis* » est fixée, dans les très faibles doses, *au-dessous* de laquelle la justification et l'optimisation ne sont plus à appliquer.

La réglementation fixe, pour le public et les travailleurs, des limites de doses individuelles annuelles cumulées admissibles :

- **1 mSv/an** pour les personnes du public (cette limite ne prend pas en compte les pratiques médicales justifiées, ni l'exposition à la radioactivité naturelle).
- **6 mSv/an** pour les personnes de 16 à 18 ans qui sont amenés à employer des sources radioactives
- **20 mSv/an** pour les personnes professionnellement exposées (par exemple les travailleurs d'une centrale nucléaire ou les employés d'un service de radiothérapie).

❖ *Concept de contrainte de dose*

Pas de contrainte: pour sauver des vies humaines ou éviter des catastrophes

20 à 100 mSv: grand bénéfice individuel (ex: examen médical)

1 à 20 mSv: bénéfice individuel indirect (ex: exposition professionnelle)

< 1 mSv: bénéfice individuel nul, mais bénéfice social (ex: exposition du public par les rejets des entreprises).

4.9. Radioprotection : mesures techniques et organisationnelles

En pratique, la radioprotection est mise en œuvre par des mesures qui peuvent être techniques, administratives et organisationnelles.

4.9.1. Mesures techniques

❖ *Protection collective*

- Le confinement des matières radioactives et l'assainissement des locaux de travail de façon à rendre impossible l'exposition par contact, inhalation ou ingestion de matières radioactives (exemples : enceintes confinées) ;
- La limitation de l'exposition aux rayonnements en maîtrisant la durée de l'exposition, en travaillant le plus possible à distance et en utilisant des moyens de protection (écrans adaptés aux rayonnements impliqués).

❖ *Protection individuelle*

- Equipements de protection individuelle permettant de limiter les risques de contamination (gants, surbottes, tenue ventilée, etc.) ;
- Equipements de protection individuelle permettant de limiter l'exposition externe (tabliers plomb ou équivalent plomb, cache thyroïde, lunettes, etc.).

4.9.2. Mesures organisationnelles

- La désignation d'une personne compétente,
- Le respect des limites réglementaires,
- L'information, la formation et le classement du personnel,
- La définition et la signalisation de zones de travail dites zone contrôlée ou zone surveillée,
- La signalisation des sources,
- Un suivi dosimétrique individuel pour les travailleurs appelés à intervenir en milieu ionisant,
- La surveillance médicale des personnes potentiellement exposées et le contrôle des expositions par dosimétrie externe et interne,
- Les contrôles d'ambiance, des sources, des dispositifs de protection et d'alarme ainsi que des appareils de mesure,
- La maîtrise des rejets dans l'environnement,
- La traçabilité complète des matières radioactives et le traitement des déchets.

“It is better to be roughly right than precisely wrong”

John Maynard Keynes

Annexes

Annexe A

Typologie des risques en santé et en sécurité du travail (Selon la norme CSA-Z1000-06, Gestion de la santé et de la sécurité du travail)

Risques	Formes	Effets
<i>Risques chimiques</i>	— Matières dangereuses (nocives, toxiques, corrosives, réactives, humides, tératogènes, cancérogènes, mutagènes, irritantes). — Matières combustibles, inflammables, comburantes, explosives. — Gaz, fumées, liquides, solides, brouillard.	— Dommages pour la santé, brûlure chimique. — Intoxication, irritation. — Maux de tête. — Problèmes respiratoires, dermatose. — Dommages résultant d'incendie/explosion.
<i>Risques physiques</i>	— Bruits, vibrations. — Électricité. — Contrainte thermique (ambiance de travail froide ou chaude). — Objets ou matériaux à des températures extrêmes (hausses ou basses). — Rayonnement de source de chaleur. — Radiations, rayonnement de basse fréquence, de fréquence radio, micro-ondes, rayons X et gamma. — Laser/lumière infrarouge, visible et ultraviolette.	— Détérioration de l'acuité auditive, de l'équilibre. — Fatigue, stress, baisse de la vigilance. — Choc ou brûlure électrique. — Électrisation (sans décès). — Électrocution (avec décès). — Coup de chaleur. — Brûlures. — Engelures, hypothermie. — Troubles neurologiques et ostéo articulaire. — Troubles vasculaires, inconfort (engourdissement). — Mutations génétiques.
<i>Risques biologiques</i>	— Matières infectieuses, virus, parasites, champignons, moisissures, bactéries, plantes, insectes, oiseaux, humains, animaux.	— Rhume, grippe, hépatite (A, B, C), SIDA. — Rage, tétanos.
<i>Risques ergonomiques</i>	— Posture contraignante (non neutre). — Manutention fréquente, absence de micropause. — Efforts excessifs, mouvements répétitifs, travail debout, accès difficile à l'espace de travail. — Éclairage inadéquat. — Visibilité déficiente, mauvaise disposition des commandes.	— Effets physiologiques (ex. : troubles musculosquelettiques)
<i>Risques liés à la sécurité</i>	— Machines dangereuses. — Pièces et outils en mouvement, angles rentrants (rouleaux, convoyeurs). Formes dangereuses (tranchantes, pointues, rugueuses, etc.). — Résistance mécanique inadéquate (rupture, éclatement, flexion). — Accumulation d'énergie à l'intérieur d'une machine causée par des ressorts, des gaz ou liquides sous pression (hydraulique, pneumatique). — Particules projetées. — Travail en hauteur. — Planchers glissants ou irréguliers. — Incendies, explosions. — Véhicules.	— Fracture/entorse/foulure. — Coupure/lacération/amputation. — Perforation/piqûre/irritation. — Écorchure/ égratignure/ecchymose. — Contusion. — Brûlure par friction. — Écrasement. — Blessures multiples, décès.
<i>Risques psychosociaux</i>	— Intensification du travail caractérisée par des contraintes de temps, une clientèle difficile — Manque de maîtrise des tâches, violence. — Harcèlement psychologique.	— Problèmes de sommeil, dépression. — Maladies psychosomatiques, pathologies physiques (maux de dos ou dans les membres). — Effets psychophysiologiques (effet de la surcharge mentale, notamment le stress), etc.

Annexe B

Exemple d'un rapport d'évaluation des risques

<i>Etape de l'activité</i>	<i>Risque potentiel et ses effets</i>	<i>Evaluation du risque</i>			<i>Mesures d'atténuation</i>	<i>Qui ?</i>	<i>Quand ?</i>	<i>Observation</i>
		P	G	R				
<i>Diviser le travail en plusieurs tâches individuelles et les énumérer en ordre</i>	<i>Décrire les risques identifiés pour chaque étape de l'activité</i>	<i>Estimer la probabilité et la gravité du risque à partir de la matrice</i>			<i>Rechercher les mesures d'atténuation préconisées pour la réduction du niveau du risque</i>	<i>Personne chargée de l'exécution des mesures</i>	<i>Date prévue pour l'exécution des mesures</i>	<i>Observation sur les mesures, dispositions spéciales et la vérification de la date de leur clôture</i>
<i>Etape 1</i>								
<i>Etape 2</i>								
<i>...</i>								

Annexe C

Tableau N° 42 : Affections professionnelles provoquées par les bruits

DESIGNATION DES MALADIES	DPC	LISTE LIMITATIVE DES PRINCIPAUX TRAVAUX SUSCEPTIBLES DE PROVOQUER CES MALADIES
• Déficit audiométrique bilatéral, par lésion cochléaire, irréversible et ne s'aggravant plus après cessation de l'exposition au risque. Ce déficit sera confirmé par une nouvelle audiométrie effectuée de trois semaines à un an après cessation de l'exposition aux bruits lésionnels. Cette audiométrie doit faire apparaître au minimum sur la meilleure oreille un déficit moyen de 35 décibels, calculé en divisant par 10 la somme des déficits mesurés sur les fréquences 500, 1000, 2000 et 4000 hertz, pondérés respectivement par les coefficients 2, 4, 3, et 1.	1 an (sous réserve d'une durée d'exposition au risque de 1 an, réduite à 30j en ce qui concerne la mise au point des propulseurs, réacteurs moteurs à pistons).	• Travaux exposant aux bruits provoqués par : - Les travaux sur métaux par percussion, abrasion ou projection, tels que : * Le décolletage, l'emboutissage, l'estampage, le broyage, le fraisage, le martelage, le burinage, le rivetage, le laminage, l'étrépage, le tréfilage, le découpage, le sciage, le cisailage, le tronçonnage. * L'ébarbage, le meulage, le polissage, le gougeage par procédé arc-air, la métallisation, - Le câblage, le toronnage et le bobinage de fils d'acier, - L'utilisation de marteaux et perforateurs pneumatiques, - La manutention mécanisée de récipients métalliques, - Les travaux de verrerie à proximité des fours, machines de fabrication, broyeurs et concasseurs ; l'embouteillage, - Le tissage sur métiers à navette battante, - La mise au point, les essais et l'utilisation des propulseurs, réacteurs, moteurs thermiques, ou électriques, groupes électrogènes, groupes hydrauliques, installations de compression ou de détente fonctionnant à des pressions différentes de la pression atmosphérique, - L'emploi ou la destruction de munitions ou d'explosifs, - L'utilisation de pistolets de scellement ; - Le broyage, le concassage, le criblage, le sciage et l'usinage de pierres et de produits minéraux, - Les procédés industriels de séchage de matières organiques par ventilation, - L'abattage, le tronçonnage des arbres, - L'emploi des machines à bois en atelier, - L'utilisation d'engins de chantier : boteurs, décapeurs, chargeuses, moutons, chariots de manutention tous terrains, pelles mécaniques, - Le broyage, l'injection et l'usinage des matières plastiques et du caoutchouc, - Le travail sur les rotatives dans l'industrie graphique, - La fabrication et le conditionnement mécanisé du papier et du carton, - L'emploi de matériel vibrant pour l'élaboration de produits en béton, - Les essais et la réparation en milieu industriel des appareils de sonorisation, - Les travaux effectués sur les pistes d'aéroports.

Tableau N° 68 : Affections professionnelles provoquées par les vibrations et chocs transmis par certaines machines-outils, outils et objets

DESIGNATION DES MALADIES	DPC	LISTE LIMITATIVE DES PRINCIPAUX TRAVAUX SUSCEPTIBLES DE PROVOQUER CES MALADIES
- A - • Affections ostéo-articulaires confirmées par des examens radiologiques : - arthrose hyperostotante du coude - ostéonécrose du semi-lunaire (maladie de Kienböck) ; - ostéonécrose du scaphoïde carpien (maladie de K��lher). • Troubles angioneurotiques de la main, prédominant à l'index et au médius, pouvant s'accompagner de crampes de la main et de troubles prolongés de la sensibilité. - B - • Affections ostéo-articulaires confirmées par des examens radiologiques : - arthrose hyperostotante du coude - ostéonécrose du semi-lunaire (maladie de Kienböck) ; - ostéonécrose du scapho��ide carpien (maladie de K��lher).	5ans 1an 1an 5ans 1an 1an	A- Travaux exposant habituellement aux vibrations transmises par : a) les machines-outils tenues à la main, notamment: - les machines percutantes, telles que les marteaux piqueurs, les burineurs, - les machines rotopercutantes, telles que les marteaux perforateurs, - les machines rotatives, telles que les meuleuses, les scies à chaîne, et les débroussailleuses, - les machines alternatives, telles que les ponceuses et les scies sauteuses b) les outils tenus à la main associés à certaines machines précitées, notamment dans des travaux de burinage, c) les objets tenus à la main en cours de façonnage, notamment dans les travaux de meulage, de polissage et les travaux sur machines à rétreindre. B- Travaux exposant habituellement aux chocs provoqués par l'utilisation manuelle d'outils percutants : - travaux de martelage, telles que travaux de forge, tôlerie, chaudronnerie et travail du cuir, - travaux de terrassement et de démolition, - utilisation de pistolets de scellements, - utilisation de clouteuses et de riveteuses.

Tableau N   6 : Affections provoquées par les rayonnements ionisants

DESIGNATION DES MALADIES	DPC	LISTE INDICATIVE DES PRINCIPAUX TRAVAUX SUSCEPTIBLES DE PROVOQUER CES MALADIES
- Anémie, leucopénie, thrombopénie ou syndrome hémorragique consécutifs à une irradiation aiguë. - Anémie, leucopénie, thrombopénie ou syndrome hémorragique consécutifs à une irradiation chronique. - Blépharite ou conjonctivite. - Kératite. - Cataracte. - Radiodermites aiguës. - Radiodermites chroniques. - Radio-��pith��lite aiguë des muqueuses. - Radiol��sions chroniques des muqueuses. - Radionécrose osseuse. - Leucémies. - Cancer broncho-pulmonaire primitive par inhalation. - Sarcome osseux.	90 j 1an 90 j 1 an 10ans 90 j 10ans 90 j 5ans 30ans 30ans 30ans 50ans	• Tous travaux exposant à l'action des rayons ou des substances radioactives naturelles ou artificielles ou à toute autre source d'émission corpusculaire, notamment : - Extraction et traitement des minéraux radioactifs, - Préparation des substances radioactives, - Préparation de produits chimiques et pharmaceutiques radioactifs, - Préparation et application de produits luminescents radifères - Recherches ou mesures sur les substances radioactives et les rayons X dans les laboratoires. - Fabrication d'appareils pour radiothérapie et d'appareils à rayons X, - Travaux exposant des travailleurs au rayonnement dans les hôpitaux, les sanatoriums, les cliniques, les dispensaires, les cabinets médicaux, les cabinets dentaires et radiologiques, dans les maisons de santé et les centres anticancéreux. - Travaux dans toutes les industries ou commerces utilisant les rayons X, les substances radioactives, les substances ou dispositifs émettant les rayonnements indiqués ci-dessus.

Principales références bibliographiques

- [1]- B. Goelzer « Encyclopédie de Sécurité et de Santé au Travail » Ed. J.L. Stellman, BIT, Genève, 2000.
- [2]- ISO/CEI: management du risque-vocabulaire. Guide 73-2009
- [3]- Norme OHSAS 18001 Management de la santé et la sécurité au travail
- [4]- C. EXERTIER, I.MALASSAGNE, Ph. TEINTURIER, J.PERRIN, Ch. DUBOIS, groupe évaluation des risques professionnels, édition Annecy sante travail, 2012.
- [5]- ENAFOR. Induction Sup. HSE. Evaluation des Risques, 2003.
- [6]- ASSTSAS – Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail du secteur affaires sociales Guide d'identification et d'évaluation des risques.2015
- [7]- Rapport de l'Organisation Mondiale de la Santé, 2011.
- [8]- F. KUZNIK, G. KRAUSS, R. YEZOU. Acoustique du Bâtiment INSA de Lyon, 2009.
- [9]- ENSPM Formation Industrie - IFP Training Hygiène Industrielle - Santé au Travail risques professionnels bruit, 2005.
- [10]- Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail, « Bruit et santé». Département communication, information et débat public, 2007.
- [11]- OPPBTP, Gamba Acoustique. : Le bruit, risques et protections, références prévention, 1ere édition, octobre 2018.
- [12]- A.Vyskocil, G. Truchon, T. Leroux, F. Lemay, S.Lim, F. Gagnon, C. Viau : The assessment of the ototoxic potential of industrial chemicals : A weight of evidence approach. The 44th Congress of EUROTOX, Amsterdam, 07- 10.10.2007.
- [13]- Morata TC. Chemical exposure as a risk factor for hearing loss. Journal of Occupational and Environmental Medicine 2003; 45: 676-82.
- [14]- INRS, ED 136. Améliorer l'acoustique des locaux industriels fiche pratique de sécurité, 2009.
- [15]- INRS ED 6018. Vibrations et mal de dos - Guide des bonnes pratiques en application du décret « Vibrations ». 2012.
- [16]-Direction générale Humanisation du travail. Série stratégie SOBANE gestion des risques professionnels, vibrations de l'ensemble du corps. Belgique 2020
- [17]- ISO/TR 25398. Engins de terrassement. Lignes directrices pour l'évaluation de l'exposition des vibrations à l'ensemble du corps. 2006
- [18]- C. Tremblay Service de sécurité et de prévention Formation en radioprotection. Notes de cours. Université LAVAL 2015
- [19]- coordination nationale de prévention et de sécurité du CNRS, Les cahiers de prévention. Guide Risques radioactifs et Radioprotection. 2018
- [20]- IRSN Portail de la surveillance de la radioactivité de l'environnement.2009
- [21]- M. LECLERC. Université du Québec. Montréal. Service de la prévention et de la sécurité manuel de radioprotection. 2010
- [22]- G.W. Grenier, Radioactivité et risques à la santé. Centre-du-Québec. Institut national de santé publique. 2003