



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique



جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Sécurité Industrielle et environnement

Projet de Fin d'Etude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Intervention- Prévention

Thème

Maladie professionnelle dues aux vibrations cas : l'exposition aux vibrations Syndrôme de Raynaud

Présenté et soutenu publiquement par :

DERBALE Nor Elhouda

TOURABI Mohamed Aniss

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
HEBBAR Chafika	MCA	Université-Oran 2	Présidente
LOUNIS Zoubida	Pr	Université-Oran 2	Encadreur
DJEBLI Yemna	MAA	Université-Oran 2	Examinatrice
Nadji Abd El kader	Dr	Université-Oran 2	Examineur

Juin 2016

Oran, le

L'encadreur :

Signature de l'encadreur :

Dédicace

Je dédie ce travail aux personnes les plus chers de ma vie :

A mes parents et surtout ma très chère mère :

"... Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Dont aucun mot n'est assez fort et suffisant pour exprimer mes sentiments d'amour, elle qui sera toujours pour moi un exemple de réussite et de courage; je lui témoigne mon affection profonde. Que Dieu vous préserve, vous accorde santé et vous protège de tout mal"

A tous mes sœurs, Chahrazed , Khadidja, Asma et Abir et mon petite frère Faycel. Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite, A toute ma famille.

A Aniss, mon binôme de choc, pour tous les bons moments passés ensemble ! Avec le quelle j'ai partagés mes meilleurs moments.

A mes chères amies Oumiema, Nabila, Chahla, Zineb, Esma, ,Siham, et toutes les personnes que j'aime.

A tous mes collègues de promotion STE & PI promotion 2016.

A la mémoire de mon frère Abd El Samade.

DERBALE Nor El Houđa

REMERCIEMENT

En premier lieu, nous tenons à remercier Dieu, notre Créateur pour nous avoir Donné la force pour accomplir ce Travail.

Nous tenons à exprimer toute mes reconnaissances à encadreur **Mme LOUNIS Zoubida** pour son encadrement et ses conseils. Nous ne saurons jamais assez le remercier pour sa confiance, ses encouragements, sa gentillesse et pour tout ce que nous avons appris grâce à lui.

Nous tenons à remercier **Mme HEBBAR Chafika**, pour avoir accepté la présidence de jury d'examen; et **Monsieur Nadji**, pour avoir bien voulu me faire l'honneur de juger ce travail et de participer à ce jury.

Nous remercions très vivement **Monsieur Pr. REZK-KALLAH. B** responsable de service Médecine de travail, **CHU Oran** pour son aide et encouragement.

Nous remercions également les travailleurs du **SNVI _Oran_**.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.

Enfin, mes vifs remerciements sont adressés aux enseignants et le personnel administratif et technique de **l'Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle** (tous et sans exception) sans oublié mes collègues (Promotion 2016), pour leurs encouragements.

Aniss et Nor El Houda

Dédicace

J'exprime la grande part de remerciement à notre DIEU miséricordieux qui m'a donné la force et le courage de finaliser mes études après un long cursus d'apprentissage et de sacrifices en temps et efforts afin de mériter mon diplôme.

Je Dédie Cette thèse à A mes parents

Vous représentez pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Votre prière et bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que vous méritez pour tous les sacrifices que vous n'avez cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être

Je vous dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, vous préserver et vous accorder la santé, longue vie et de bonheur.

A mes Frères et mes sœurs

Les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous. Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

A toute la famille

En témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous. Votre soutien moral et ses belles surprises sucrées. Je vous souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité. Vous êtes pour moi des frères, sœurs et des amis sur qui je peux compter J'exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité et d'amour.

A tous mes amis

Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, en témoignage de l'amitié qui nous a unis et des souvenirs de tous les moments que nous avons passé ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

QUE DIEU VOUS GRADE POUR MOI

TOURABI Mohamed Aniss

RESUME

Avec l'augmentation des accidents du travail liés aux machines, les concepteurs se trouvent dans l'obligation de concevoir des machines dites sûres. Cette réflexion a rendu le développement réglementaire très apparent. En effet, ces normes introduisent une méthodologie qui analyse les risques-machines de manière continue et itérative jusqu'à ce que les objectifs initiaux soient atteints. C'est dans ce contexte que s'intègre notre travail qui consiste à se focaliser, dans le cadre de cette méthodologie d'analyse des risques-machines liés aux vibrations, sur les phénomènes dangereux pendant l'exécution des tâches (homme vs machine) qui nécessitent l'intégration de la priorisation des indicateurs de performance. La pathologie des vibrations transmises aux membres supérieurs est présentée par le syndrome de Raynaud. Les risques dépendent de la dose, en relation avec la durée d'exposition (journalière et cumulée) et l'intensité des vibrations.

Pour cela, nous avons complété cette démarche par processus de prévention dans le but de capitaliser ce phénomène afin d'optimiser les exigences sécuritaire et d'obtenir le niveau le plus possible de la sécurité des machines.

Mots-clés : Risques-machines, vibration mécanique, l'exposition de vibrations, maladies professionnelles, le syndrome de Raynaud, temps de latence, prévention.

Abstract

With the increase in accidents related to machinery, designers are obligated to design safe machines say. This thinking has made very apparent regulatory development. Indeed, these standards introduce a methodology that analyzes the risk-machine continuously and iteratively until the initial objectives are achieved. It is in this context that integrates our work is to focus, in the context of this methodology for analyzing risk-related machinery vibration on the hazards during task execution (man & Machine) which require the integration of prioritization of performance indicators. The pathology of vibration transmitted to the upper limbs is presented by the Raynaud's syndrome. Risk depends da dose in relation to the duration of exposure (daily and cumulative) and intensity of the vibrations. For this, we have completed this process by preventing process in order to capitalize on this dangerous phenomenon to optimize security requirements and get the best possible level of machine safety.

Keywords: Risk-machines, mechanical vibration, exposure to vibration, occupational diseases, Raynaud's syndrome, latency, prevention.

TABLEAU DE MATIERE

Résumé	ii
Tableau de matière	iii
Liste des figures	vii
Liste des tableaux	ix
Acronymes et abréviations.	xi
Liste des symboles.	xii
Introduction générale	01
Chapitre I : Notions fondamentales et principes généraux de conception des machines.	
I. 1. Introduction	05
I. 2. Description de machine :	05
I. 2. 1. Définition.	05
I. 2. 2. Système commande / Partie opératoire.	07
I. 2. 3. Circuit de commande et de puissance.	08
I. 3. Les risques liés aux machines :	09
I. 3. 1. Risques mécanique.	09
I. 3. 2. Autres risques.	10
I. 4. Prévention des risques liés aux machines.	13
I. 5. Risques machines et accidents de travail :	15
I. 5. 1. Lien causal entre risques machines et accidents de travail.	15
I. 5. 2. Analyse statistiques des accidents de travail liés aux machines....	16
I. 5. 3. Principaux facteurs de risques d'accidents	17
I. 5. 4. Objectifs de la sécurité des machines.	18
I. 6. Aspect réglementaire de la sécurité des machines :	19
I. 6. 1. La réglementation européenne (Directive Machine)	19
I. 6. 2. La réglementation algérienne.	20
I. 6. 3. Synthèse sur la réglementation algérienne et européenne.	25
I. 7. Conclusion.	26

Chapitre II : Les vibrations mécaniques.

II. 1. Introduction.	27
II. 2. Notion de base sur les vibrations :	27
II. 2. 1. Définitions.	27
II. 2. 2. Classifications des vibrations.	28
II. 2. 3. Nature des vibrations.	29
II. 2. 3. 1. Vibration harmonique.	29
II. 2. 3. 2. Vibration périodique.	30
II. 2. 3. 3. Vibrations aléatoire apériodique (choc).	30
II. 2. 4. Paramètres de forme d'onde de la vibration.	31
II. 3. Les effets des vibrations :	34
II. 3. 1. Les effets des vibrations sur les matériaux.	34
II. 3. 2. Les vibrations et le corps humain.	35
II. 4. Les sources de vibrations.	35
II. 4. 1. Les vibrations produites lors des opérations manuelles.	35
II. 4. 2. Les vibrations produites par les équipements de travail portatifs... 35	
II. 4. 3. Les vibrations produites par les équipements de travail fixes.	36
II. 4. 4. Les vibrations des sièges de conduite.	36
II. 5. Métrologie de mesure des vibrations :	37
II. 5. 1. Les domaines de mesures de vibration :	37
II. 5. 1. 1. Test de vibration.	37
II. 5. 1. 2. Surveillance de l'état des machines et diagnostic des défauts.	37
II. 5. 1. 3. Analyse structurelle.	37
II. 5. 1. 4. Mesure de vibrations appliquées à l'homme.	38
II. 5. 2. Appareils de mesure des vibrations :	38
II. 5. 2. 1. Définition.	38
II. 5. 2. 2. Capteurs de vibrations.	39
II. 6. Conclusion.	40

Chapitre III : Les vibrations dans le milieu professionnel et les répercussions sur la santé.

III. 1. Introduction	41
-----------------------------------	----

III.	2. Les effets des vibrations liées à l'exposition à des vibrations sur les lieux du travail.....	41
III.	3. Les vibrations transmises à l'ensemble du corps:.....	44
III.	3. 1. L'exposition professionnelle.....	44
III.	3. 2. Les réponses mécaniques du corps aux vibrations (Biodynamique).	45
III.	3. 3. Valeurs limites d'exposition.	46
III.	4. Les vibrations mécaniques transmises au système mains-bras:	47
III.	4. 1. L'exposition professionnelle.....	47
III.	4. 2. Valeurs limites d'exposition.....	50
III.	4. 3. Les effets non vasculaires.....	52
III.	4. 4. Les effets vasculaires.....	53
III.	5. Le tableau de Maladie Professionnelle correspondant à cette exposition.	53
III.	6. Conclusion.....	54

Chapitre IV: Phénomène de Raynaud le milieu professionnel.

IV.	1. Introduction.....	55
IV.	2. Description du phénomène de Raynaud.....	55
IV.	2. 1. L'origine de l'expression « Phénomène de Raynaud »	55
IV.	2. 2. La définition du phénomène.	56
IV.	2. 3. Les causes du phénomène de Raynaud.....	57
IV.	3. L'expression clinique du phénomène.	59
IV.	3. 1. Les signes et symptômes du phénomène de Raynaud.....	59
IV.	3. 2. Le temps de latence du syndrome de Raynaud.	62
IV.	3. 3. Les travailleurs qui risquent d'être atteints du phénomène de Raynaud.	62
IV.	4. Le diagnostic du syndrome de Raynaud.	63
IV.	4. 1. Protocole.	63
IV.	4. 2. Thermométrie cutanée des artères.	64
IV.	4. 3. Résultats cliniques associés à l'utilisation d'outils vibrants.	64
IV.	4. 4. Synthèse des observations.	67
IV.	4. 5. Discussion.	67

IV. 5. Conclusion.	68
Chapitre V : Le processus de la démarche de prévention.	
V. 1. Introduction.	70
V. 2. Evaluation des risques vibrations.	70
V. 2. 1. Identification des risques.	71
V. 2. 2. Evaluation de l'exposition quotidienne.	72
V. 3. Réduction des risques vibratoires.	75
V. 3. 1. Elaborer une stratégie de maîtrise du risque.	75
V. 3. 2. Maîtrise des risques.	76
V. 3.3. Suivi et réévaluation des vibrations.	78
V. 4. Suivi médical	79
V. 5. Conclusion.	80
Conclusion générale.	81
Bibliographié.	84
Annexes.	89

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Notions Fondamentales et Principes Généraux de Conception des Machines.

Figure I. 1. Représentation schématique générale d'une machine (NF EN 292-1, 1991).....	07
Figure I. 2. Les facteurs ergonomiques (BIT, 2013).....	12
Figure I. 3. Les principes généraux de prévention d'après (Droit Org, 2014).....	14
Figure I. 4. La démarche d'analyse des risques machines.....	16
Figure I. 5. Classification des accidents dus aux machines en 2011 selon la branche d'activité (CNAS, 2011).....	16
Figure I. 6. Positionnement des règles de sécurité des machines et mécanisme dans le décret exécutif N° 91-05.....	24

Chapitre III : Les Vibrations Dans Le Milieu Professionnel et Les Répercussions Sur La Santé.

Figure II. 1. Définition d'une vibration.....	28
Figure II. 2. Vibration harmonique.....	29
Figure II. 3. Vibration périodique.....	30
Figure II. 4. Vibration aléatoire.....	31
Figure II. 5. Les paramètres caractéristiques des vibrations.....	34
Figure II. 6. Capteur de mesure vibratoire.....	39

Chapitre III : Les Vibrations Dans Le Milieu Professionnel et Les Répercussions Sur La Santé.

Figure III. 1. Effets négatifs des vibrations sur la santé [Griffin, 1990].....	42
Figure III. 2. Durée d'exposition en fonction de l'accélération des vibrations l'exemple d'un travailleur conduit une pelle de chantier.....	47
Figure III. 3. Durée d'exposition en fonction de l'accélération des vibrations l'exemple d'un travailleur utilise une perceuse.....	51
Figure III. 4. Effets des Vibrations du système main-bras sur la santé.....	51

Chapitre IV : Le Syndrome De Raynaud Dans Le Milieu Professionnel.

Figure IV. 1 Hypothèses sur les mécanismes du phénomène de Raynaud.....	60
--	-----------

Chapitre V : Le Processus De La Démarche De Prévention.

Figure V. 1. Axes de mesure des expositions aux vibrations de personnes assises....	73
Figure V. 2. Système de coordonnées basicentriques de la main pour la mesure des vibrations main-bras.....	75

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : Notions Fondamentales et Principes Généraux de Conception des Machines.

Tableau I.1 : Définitions de la machine selon le code de travail d'après (Droit Org, 2014).....	06
Tableau I.2 : Principaux risques liés aux machines (autre que mécaniques).....	11
Tableau I.3 . Présentation de quelques lois et décrets relatifs à la sécurité d'après (Embarek, 2011).....	21

Chapitre III : Les Vibrations Dans Le Milieu Professionnel et Les Répercussions Sur La Santé.

Tableau III.1 : Activités pour lesquelles il peut être justifié de prévenir les effets nocifs des vibrations transmises à l'ensemble du corps.....	44
Tableau III. 2 : Quelques facteurs susceptibles d'induire des effets nocifs lors de l'exposition aux vibrations main-bras.....	48

Chapitre IV : Le Syndrome De Raynaud Dans Le Milieu Professionnel.

Tableau IV. 1 : Classification des signes fonctionnels des symptômes vasculaires observés dans le syndrome des vibrations (Syndrome de Raynaud). Atelier de Stockholm 1987.....	60
Tableau IV. 2 : Classification des signes fonctionnels de l'atteinte sensitive neurologique des doigts associée au syndrome des vibrations mains-bras (Syndrome de Raynaud). Atelier de Stockholm 1987.....	61
Tableau IV. 3 : Les résultats de Thermométrie.....	61

Tableau IV. 4 : Les résultats de Vibramétrie.....	66
--	-----------

Tableau IV. 5 : Synthèse des observations.....	67
---	-----------

Chapitre V : Le Processus De La Démarche De Prévention.

Tableau V. 1 exemple de List les questions principales qui doit se poser l'employeur pour identifier les risques vibratoires dans son entreprise.....	71
--	-----------

ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS

AT /MP	Accidents du Travail, Maladies Professionnelles.
BIT	Bureau International du Travail.
CEN	Comité Européen de Normalisation.
UE	Union Européenne.
NF	Norme française.
CNAS	Caisse Nationale des Assurances Sociales des Travailleurs Salaries.
DM	Directive Machine.
EvRP	Evaluation des Risques Professionnelles.
INRS	Institut National de la Recherche et de Sécurité.
ISO	International Organization for Standardization.
RM	Risques Machines.
S&ST	Santé & Sécurité au Travail.
SM	Sécurité des Machines.
EPICEA	Etudes de prévention par l'informatisation des comptes rendus d'accidents.
VPT	Détection du seuil de perception des vibrations.
VDT	Détection du seuil de disparition des vibrations.
VT	Vibration threshold.

LISTE DES SYMBOLES

- $a_{hw}(t)$ valeur instantanée de l'accélération pondérée en fréquence des vibrations unidirectionnelles transmises par la main au temps t , en mètres par seconde carrée (m/s^2);
- a_{hw} valeur efficace de l'accélération pondérée en fréquence des vibrations unidirectionnelles transmises par la main, en mètres par seconde carrée (m/s^2);
- $a_{hw_x}, a_{hw_y}, a_{hw_z}$ valeurs de a_{hw} , en mètres par seconde carrée (m/s^2), pour les axes x, y et z respectivement;
- a_{hv} valeur totale de vibration de l'accélération efficace pondérée en fréquence (parfois connue sous le nom de somme vectorielle ou de somme d'accélération pondérée en fréquence); c'est la résultante quadratique des valeurs a_{hw} pour les trois axes de vibration mesurés, en mètres par seconde carrée (m/s^2);
- $a_{hv(eq,8h)}$ exposition quotidienne aux vibrations (valeur totale de vibration continue équivalente pour une période de 8 h), en mètres par seconde carrée (m/s^2);
- $A(8)$ autre terme approprié pour l'exposition quotidienne aux vibrations $a_{hv(eq,8h)}$;
- T durée d'exposition totale quotidienne à la vibration a_{hv} ;
- T_0 durée de référence de 8 h (28 800 s);
- W_h caractéristique de pondération fréquentielle pour les vibrations transmises par la main.

1) Problématique

Le monde industriel dispose d'une grande expérience de la gestion des risques mécaniques et construit la sécurité requise dans ses activités sur l'identification et l'analyse des risques encourus. L'industrie a été le premier secteur qui a développé une grande expérience dans le domaine de gestion des risques. Le but est d'assurer la sécurité requise dans les activités à travers la mise en place de mesures de réduction de risque pertinentes et efficaces.

Les lésions professionnelles sont le plus souvent classées en deux catégories : accidents et maladies, correspondant respectivement aux notions de sécurité du travail et de santé au travail. L'accident du travail est généralement tout accident ayant entraîné une lésion corporelle, imputable à une cause soudaine extérieure et survenu au moment où la victime était sous la dépendance de son employeur habituel ou occasionnel¹, tandis que les maladies sont considérées comme maladies professionnelles, les intoxications, infestions et affections présumées d'origine professionnelle particulière².

La protection de la Santé et de la Sécurité des Travailleurs (**S&ST**) et la réduction des Accidents du Travail (AT) et Maladie Professionnelle (MP) sont des préoccupations majeures des législateurs, des normalisateurs ainsi que des industries qui déploient des démarches pour faire face aux problèmes récurrents des AT et MP.

La sécurité des machines et des installations est un élément essentiel de ces démarches. Les directives internationales et plus particulièrement européennes (Directive 2006/42/CE)³ portent sur la satisfaction des machines concernées aux exigences essentielles de S&ST en:

¹ **Ordonnance N° 66-183 du 21 juin 1966** : portant réparation des accidents du travail et des maladies professionnelles, Chapitre I : Accident garantis, Art.2.

² **Loi N° 83-13 du 2 juillet 1983** relative aux accidents au travail et aux maladies professionnelles, Chapitre IV, Section II, Titre IV : Maladie professionnelles, Art.63.

³ **Directive 2006/42/CE** du 17 mai 2006 concernant le rapprochement des législations des états membres relatives aux machines. Journal Officiel de l'Union Européenne N° L 157/24 du 9 juin 2006.

- Respectant le principe d'intégration de la sécurité dès la conception,
- Effectuant une analyse de risque et fournir une notice d'instructions,
- Constituant un dossier technique de construction,

Dans le cadre de la phase de conception des machines, la directive européenne Machine "2006/42/CE", par les exigences essentielles de sécurité qu'elle contient, précise à titre d'exemple que « *Les machines doivent, par construction, être aptes à assurer leur fonction, à être réglées et entretenues sans que les personnes soient exposées à un risque lorsque ces opérations sont effectuées dans les conditions prévues par le fabricant* ». De ce fait, les risques professionnels font partie intégrante du monde du travail et les mesures des préventions peuvent être considérées comme un outil indispensable à la production.

Les vibrations sont un phénomène mécanique, couramment rencontrée en milieu de travail. Elles sont à l'origine des risques qui conduisent à des maladies professionnelles, que sont les pathologies dues aux vibrations, tel que le syndrome de Raynaud. L'origine de l'expression « Phénomène de Raynaud » remonte à plus d'un siècle **VIII^{ème} - XI^{ème}**. Le groupe de symptômes depuis longtemps observé et décrit, a été rapporté pour la première fois en 1862 par Maurice Raynaud (1834-1881), ils surviennent avec une fréquence anormale chez les personnes exposées de façon chronique aux vibrations. Le syndrome de Raynaud est reconnu comme maladie professionnelle dans de nombreux pays.

Parmi les nombreuses causes du phénomène de Raynaud, certaines sont liées à l'exposition professionnelle, bien qu'elles soient ordinairement associées au syndrome des vibrations mains-bras lorsqu'il s'agit d'une exposition en milieu de travail, ce phénomène est également observé dans d'autres cas de maladie professionnelle. Il est important de connaître les signes et symptômes du phénomène de Raynaud et les aspects du travail qui peuvent être à leur origine.

Dans le domaine de la prévention, la maîtrise de risque est une question qui appréhende tout acteur de conception, cette question est d'autant plus importante et difficile à appréhender que le système est complexe. C'est dans ce contexte que s'intègre ce présent travail qui a pour objet d'apporter des éléments de réponse à la problématique pour le but d'assurer la sécurité requise dans les activités à travers la mise en place de mesures de réduction de risque pertinentes et efficaces.

Quelles sont les meilleures mesures afin de réduire l'exposition aux vibrations causant le phénomène de Raynaud ?

Devant ce travail, quel diagnostic évoquez-vous en premier ? Une déclaration en maladie professionnelle est-elle envisageable ?

2. Objectif

Sur la base de ce qui précède, le but essentiel de cette étude est de mettre au point, l'évaluation de l'exposition des individus aux vibrations globale du corps, l'évaluation de la contrainte vibratoire transmise à l'homme dans l'environnement de machines sources de vibrations et le principe de l'analyse et l'isolation vibratoire pour gérer l'exposition aux vibrations dans le domaine de la gestion des risques mécanique.

Ce travail rassemble ces nouvelles connaissances telles que nous envisagerons quelques généralités au sujet du phénomène de Raynaud. Ce qui nous amènera à comprendre les mécanismes aboutissant aux symptômes.

3. Démarche

Pour atteindre cet objectif, notre mémoire, développé en cinq chapitres, s'organise de la façon suivante :

- **Le premier chapitre**, intitulé " Notions fondamentales et principes généraux de conception des machines " débute par une présentation de quelques concepts et définitions fondamentaux liés au système machine. Ces rappels sont suivis par une présentation des risques machines ainsi que les principes généraux de leur prévention. Nous abordons, ensuite, le lien entre les risques machines et les accidents du travail afin d'identifier les objectifs de Sécurité des Machines.

Enfin, nous examinons en détail aspects réglementaires de la sécurité des machines sera consacré, nous abordons l'aspect réglementaire (européen et algérien) en matière de la sécurité des machines. Cela nous permet de faire le point sur notre réglementation en matière de la SM.

- **Le deuxième chapitre**, relatif aux " Les vibrations mécaniques " présente les concepts fondamentaux pour l'étude des vibrations dans les systèmes mécaniques au milieu

professionnel. Les caractéristiques de la vibration, les systèmes de mesure des vibrations sont ici décrits et l'inventaire de l'installation industrielle causante des vibrations.

- **Le troisième chapitre**, dédié aux " Vibrations dans le milieu professionnel et les répercussions sur la santé ", permet dans un premier temps de présenter les effets néfastes sur le corps humain exposé aux vibrations et l'application des concepts vus dans le chapitre II. Dans un second temps, il présente brièvement la réponse dynamique du corps aux vibrations soit l'exposition des individus aux vibrations globale de corps ou la contrainte vibratoire transmise à l'homme dans l'environnement de machines source de vibration.

- **Le quatrième chapitre** est illustrée une description détaillée du phénomène de Raynaud, l'expression clinique du phénomène, et présentation d'une étude qui fait niveau de service de médecine du travail, CHU Oran.

- **Le cinquième et dernier chapitre** " Le processus de la démarche de prévention " dans le but d'illustrer le niveau d'appropriation de la démarche adoptée.

Ce chapitre sur l'évaluation des risques liés à l'exposition aux vibrations transmises à la main et au bras, la détermination de contrôles pour éliminer ou réduire l'exposition, et l'application de méthodes pour empêcher le développement et la progression de pathologies.

Nous concluons notre travail en dressant un bilan provisoire de nos contributions ainsi que les perspectives envisageables.

Enfin, certaines informations complémentaires et utiles à notre étude sont regroupées en annexes.

Chapitre I :

Notions Fondamentales et Principes Généraux de Conception des Machines

I. 1. Introduction

Les phénomènes dangereux sont à l'origine de toutes les situations dangereuses, un travailleur se trouve dans une situation dangereuse et l'apparition d'un événement dangereux mène à un accident qui peut entraîner des dommages.

Toutes machines fixes ou portatives et appareils représentent un danger plus ou moins important si toutes les dispositions concernant la sécurité du travailleur ne sont pas prises en considération et respectées, afin de faciliter leur prévention. Le but de présent ce chapitre est d'effectuer un passage en revue de certaines notions fondamentales et des principes généraux de conception des machines. Ces rappels sont suivis par une présentation des risques machines ainsi que les principes généraux de leur prévention. Nous abordons, ensuite, le lien causal entre les risques machines et les accidents du travail, et analyse statistiques des accidents de travail liés aux machines.

Enfin, nous examinons en détail les aspects réglementaires (européen et algérien) de la sécurité des machines sera consacré.

I. 2. Description de machine

I. 2.1. Définition

Les machines font partie des équipements de travail qui permettent de convertir l'énergie qu'ils utilisent, par le biais des mécanismes, pour agir sur de la matière la travailler et la transporter.

Ils existent plusieurs sources de définitions liées au terme « machine », à savoir: les normes ISO (ISO 14121, 1999) & (ISO 12100-1, 2003), La directive machine

2006/42/CE⁴, le code du travail (Droit Org, 2014)⁵, ... etc. Cette dernière source renferme toutes les définitions concernant le domaine de la machine (tableau I.1).

Tableau I. 1 : Définitions de la machine selon le code de travail d'après (Droit Org, 2014).

Machine	<ul style="list-style-type: none">• Ensemble équipé ou destiné à être équipé d'un système d'entraînement autre que la force humaine ou animale appliquée directement, composé de pièces ou d'organes liés entre eux dont au moins un est mobile et qui sont réunis de façon solidaire en vue d'une application définie.• Ensemble de machines ou de quasi-machines qui, afin de concourir à un même résultat, sont disposées et commandées de manières à être solidaires dans leur fonctionnement. Cela signifie que plusieurs machines ou quasi-machines liées fonctionnellement constituent une seule machine: c'est le cas par exemple d'une ligne de production automatique.
Quasi-machine	<ul style="list-style-type: none">• Ensemble qui constitue presque une machine, mais qui ne peut assurer à lui seul une application définie. Une quasi-machine est uniquement destinée à être incorporée ou assemblée à d'autres machines ou à d'autres quasi-machines ou équipements en vue de constituer une machine. Un système d'entraînement est une quasi machine.
Equipements de travail	<ul style="list-style-type: none">• Machines, appareils, outils, engins, matériels et installation.

⁴ **Directive 2006/42/CE** du 17 mai 2006 concernant le rapprochement des législations des états membres relatives aux machines. Journal Officiel de l'Union Européenne N° L 157/24 du 9 juin 2006.

⁵ Récupéré de : <https://www.droit.org/> consulté le 25/02/2016.

Rappelons que la machine est destinée à être utilisée dans un environnement dangereux, présentant des risques pour la sécurité et la santé de l'opérateur. La machine est elle-même peut être à l'origine d'un environnement dangereux. Conséquemment, des mesures appropriées devraient être prises pour garantir de bonnes conditions de travail à l'opérateur et pour le protéger contre tout danger prévisible.

I. 2. 2. Système de commande / Partie opérative

Le système de commande d'un équipement de travail est constitué des circuits qui élaborent les ordres destinés au processus ou à la machine et à l'opérateur (signalisation) à partir des informations de la partie opérative, des entrées externes (consignes) et de l'état du système (**Figure I.1**).

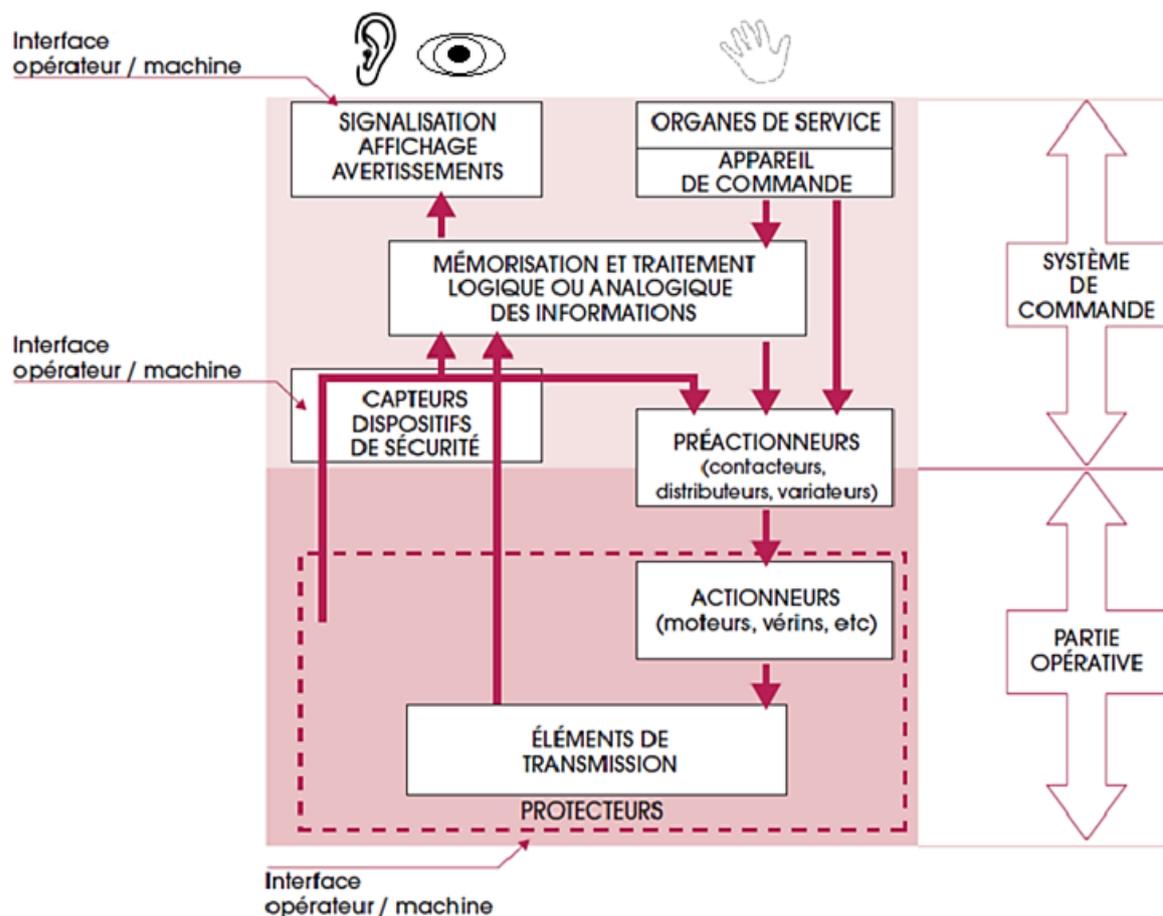


Figure I. 1. Représentation schématique générale d'une machine (NF EN 292-1, 1991)⁶.

⁶ NF EN 292-1 du Décembre 1991 concernant la sécurité des machines, notions fondamentales et les principes généraux de conception-annexe A-, Indice de classement : E09-001-1.

Le système de commande comprend les dispositifs de signalisation, de commande (écran, pupitre, etc.), la partie traitant les informations logiques ou analogiques (automate programmable, micro-ordinateur, relais électromécanique, etc.), les dispositifs de sécurité (barrage immatériel, tapis sensible, scrutateur laser, dispositifs de verrouillage, etc.) et les capteurs. Il peut être réalisé par une combinaison des technologies comme : électromécanique (relais, interrupteurs de position, etc.), pneumatique, hydraulique et électronique (circuits analogique et numériques programmables).

La partie opérative, constituée par le processus que l'on souhaite piloter, exécute des tâches physiques et agit directement sur la matière d'œuvre à partir des ordres envoyés par le système de commande et renvoie à cette dernière des informations sur son état ou son environnement. Ses principales fonctions sont : la transformation de l'énergie et des efforts, l'adaptation de l'énergie et l'action sur la matière d'œuvre.

Elle comprend principalement les actionneurs (moteurs, vérins, etc.) et les effecteurs (pinces, outils actifs). Pendant la phase d'exploitation, la partie opérative constitue la principale zone de dangers auxquels sont exposés les opérateurs de la machine. De ce fait, la mise en sécurité du personnel nécessite d'agir, via le circuit de commande, sur le (s) pré actionneur(s) qui commande(nt) les actionneurs susceptibles d'entraîner des mouvements dangereux.

I. 2. 3. Circuits de commande et de puissance

Le circuit de commande est celui auquel l'opérateur a accès pour la marche et l'arrêt d'une machine. Il comprend les boutons poussoirs, les commutateurs, les relais, et les contacts auxiliaires des contacteurs.

Le circuit de puissance est celui dans lequel la machine est branchée. Il comprend les sectionneurs, les contacteurs, les relais thermiques et les moteurs.

Les circuits de puissance et de commande d'une machine contribuent très souvent à la réduction du (des) risque(s) encouru(s) par les opérateurs. C'est notamment le cas

lorsqu'ils assurent des fonctions d'auto-surveillance⁷, de tests périodiques, de mise et/ou de maintien à l'arrêt des éléments dangereux, ...etc. Plus la contribution de ces circuits à la réduction du (des) risque(s) est importante, plus leur aptitude à résister aux défauts⁸ doit être élevée.

I. 3. Les risques liés aux machines

Des milliers de machines sont utilisées chaque jour à des fins industrielles ou manufacturières, et font courir des risques aux utilisateurs. L'employeur doit identifier les risques liés aux machines au même titre que les autres risques. Il peut se faire aider dans, cette identification par le service S&ST.

Les principaux risques-machines sont rappelées ci-après.

I. 3. 1. Risques mécanique

Le risque prépondérant présenté par les machines est le risque mécanique (INRS, 2011) qu'est l'ensemble des facteurs physiques pouvant être à l'origine d'une blessure par l'action mécanique d'éléments de machines, d'outils, de pièces, ou de matériaux solides ou de fluides projetés⁹.

En conséquence, les risques mécaniques se présentent généralement sous les formes suivantes :

⁷ Selon (NF EN 292-1, 1991): Fonction de sécurité indirecte grâce à laquelle une action de sécurité est déclenchée si l'aptitude d'un composant ou d'un constituant à assurer sa fonction diminue, ou si les conditions de fonctionnement sont modifiées de telle façon qu'il en résulte un risque. Il existe deux catégories d'auto-surveillance :

- Auto-surveillance « continue », par laquelle une mesure de sécurité est immédiatement déclenchée lorsque se produit une défaillance,

- Auto-surveillance « discontinue », par laquelle une mesure de sécurité est déclenchée pendant un cycle ultérieur du fonctionnement de la machine si une défaillance s'est produite,

⁸ Selon (ISO 13894-1, 1999) : État d'une entité inapte à accomplir une fonction requise, non compris l'inaptitude due à la maintenance préventive ou à d'autres actions programmées ou due à un manque de moyens extérieurs.

⁹ Selon risque mécanique (NF EN 292-1, 1991, 4&2).

- Risque d'écrasement,
- Risque de cisaillement,
- Risque de coupure ou de sectionnement,
- Risque de happement, d'enroulement,
- Risque d'entraînement ou d'engagements,
- Risque de chocs,
- Risque d'abrasion,
- Risque d'éjection de fluide sous haute pression,
- Risque de projection de pièces, outils, poussières,... etc.

Annexe A : Exemples illustrant différents phénomènes dangereux d'origine mécanique (INRS, ED 807).

Parmi les risques mécaniques liés aux machines, citons les risques (**BIT, 2013**) : les principaux facteurs à prendre en compte concernant les éléments de machines, outils, pièces pouvant être à l'origine de risques mécaniques sont :

- Leur forme : éléments coupants, arêtes vives, etc.,
- Leur disposition relative pour les pièces en mouvement,
- Leur masse et leur vitesse (énergie cinématique),
- Leur accélération,
- Leur résistance mécanique (rupture, éléments élastique, gaz et liquides sous pression).

I. 3. 2. Autres risques

Les procédés de fabrication mis en œuvre, les produits, les matières ou les matériaux employés, les sources d'énergie qui alimentent les machines, les émissions produites lors de leur fonctionnement sont à l'origine de nombreux autres risques (**Tableau I. 2**).

Tableau I.2 : Principaux risques liés aux machines (autre que mécaniques)¹⁰.

<ul style="list-style-type: none">• Alimentation en énergie électrique,• Electricité statique,• Alimentation en énergie autre qu'électrique,• Erreurs de montage,• Températures extrêmes,• Effet du climat,• Incendie, Explosion,• Bruit et vibrations,• Rayonnements (ionisants et non ionisants émis par les machines, externes, laser),• Conception des circuits de commande.	<ul style="list-style-type: none">• Emissions de matières et de substances dangereuses,• Risque de se retrouver enfermé dans une machine,• Risque de glisser, de trébucher ou de tomber,• Foudre,• Accès aux postes de travail et aux points d'intervention,• Séparation de la machine de ses sources d'énergie,• Intervention du travailleur,• Nettoyage des parties internes.
---	--

Signalons que d'autres risques sont liés au non-respect des principes ergonomiques.

C'est le cas par exemple d'un éclairage mal étudié qui causera une fatigue visuelle et pourra être à l'origine d'accidents. Conséquemment, les facteurs ergonomiques sont d'extrême importance pour l'analyse des risques machines (**Figure I.2**).

¹⁰ Selon risque mécanique (NF EN 292-1, 1991, 4.2.3& 4.8).

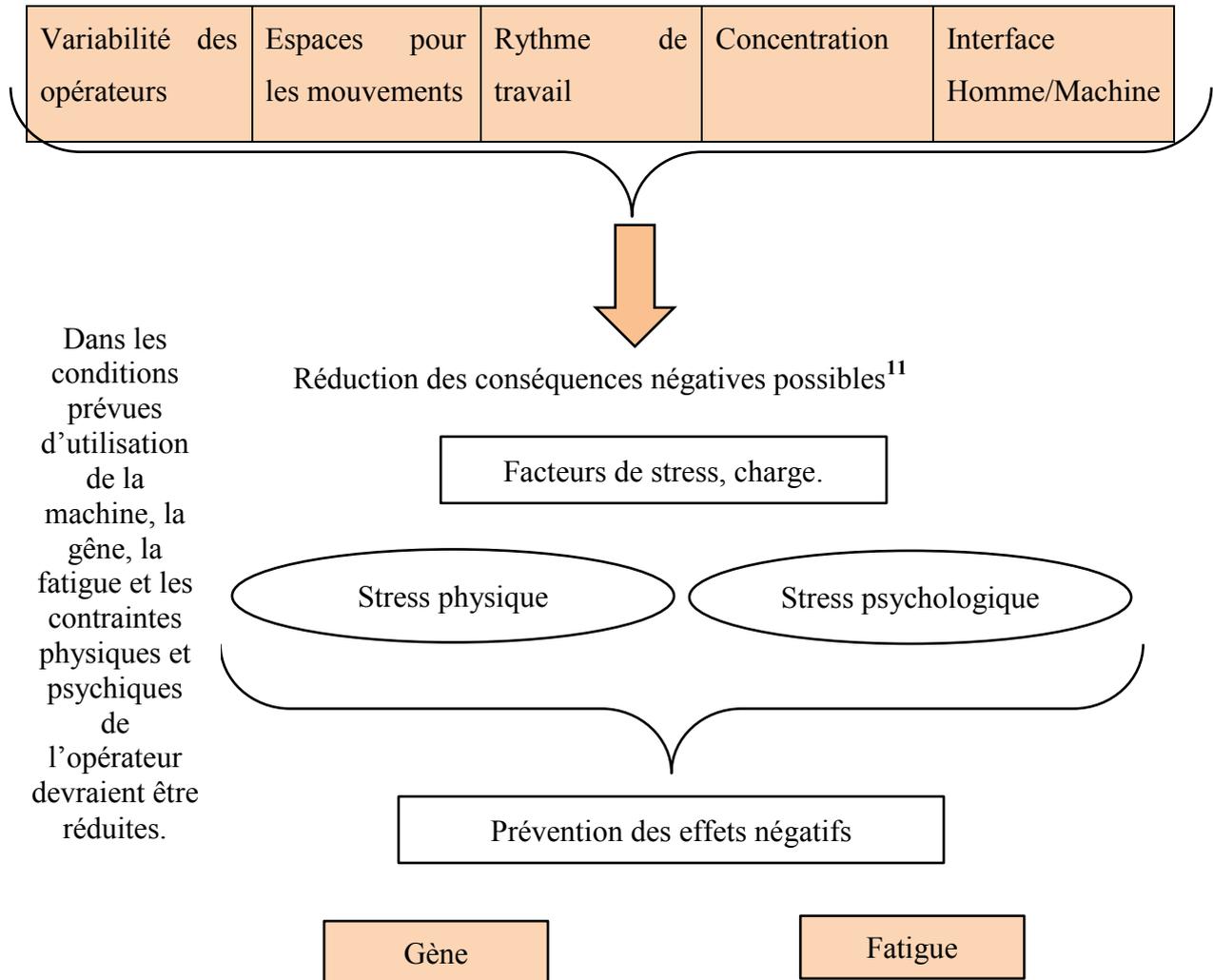


Figure I. 2. Les facteurs ergonomiques (BIT, 2013).

En Sécurité des Machines, un Accident de Travail (AT) est une séquence d'évènements liés par des relations en conjonction. En effet, un équipement de travail, de par les énergies en présence (de nature : électrique, thermique, cinétique, ...etc.), est considéré comme étant une entité dangereuse. Associer à ce sous-système technique une présence humaine implique l'occurrence de situations potentiellement dangereuses. Toute

¹¹ Selon (NF EN 292-1, 1991, 4&9). Risque engendrés par le non-respect des principes ergonomiques lors de la conception des machines : L'inadaptation des machines aux caractéristiques et aptitudes humaines peut manifester par :

- Des effets physiologiques résultant, par exemple, de postures défectueuses, d'efforts excessifs ou répétitifs, ... etc.
- Des effets psycho-physiologiques engendrés par une surcharge ou une sous-charge mentale, un stress, etc., dus à la conduite, la surveillance ou la maintenance d'une machine dans les limites de son utilisation normal.

situation potentiellement dangereuse ne conduit pas pour autant au dommage; encore faut-il que l'enchaînement des différentes étapes soit conditionné par autres facteurs : persistance de phénomènes dangereux, apparition d'événements critiques, non-possibilité d'évitement.

I. 4. Prévention des risques liés aux machines

Rappelons d'abord que les risques liés aux machines sont des risques qualifiés de professionnels dont l'évaluation consiste à les identifier et à les classer afin de mettre en place des actions de prévention pertinentes, cohérentes et adaptées. L'Évaluation des Risques Professionnels (EvRP) est l'étape initiale de toute démarche de prévention¹².

Les enjeux de la prévention des risques liés aux machines tendent à:

- Protéger la santé et la sécurité des travailleurs,
- Créer un emploi de qualité,
- Répondre aux obligations de la prévention,
- Favoriser le dialogue social,
- Contribuer à la performance de l'entreprise.

La démarche de prévention des risques liés aux machines doit respecter les principes généraux de prévention synthétisés par **la figure I. 3**. À ce titre, cette démarche de prévention s'attache en priorité, lors de la conception, à supprimer ou réduire le risque à la source: on choisit de préférence les technologies et produits les moins dangereux (prévention intrinsèque). Lorsque le risque ne peut être éliminé, des protecteurs et /ou des dispositifs de protection doivent être mis en place. Si des risques résiduels subsistent, le recours à des équipements de protection individuelle est alors nécessaire.

¹² **Andéol B., Guelemy N. & Leroy A., 2010, Évaluation des risques professionnels: Questions-réponses** sur le document unique, INRS ED887, ISBN 978-2-7389-1508-5, 16 p.

Les principes généraux de prévention	
Prévention intrinsèque Equipement ou organisation	1) Eviter les risques ;
	2) Evaluer les risques qui ne peuvent pas être évités ;
	3) Combattre les risques à la source ;
	4) Adapter le travail à l'homme ;
	5) Tenir compte de l'état d'évolution de la technique ;
	6) Remplacer ce qui est dangereux par ce n'est pas dangereux ou par ce qui est moins dangereux ;
	7) Planifier la prévention.
Protection Collective, Individuelle	8) Prendre des mesures de protection collective en leur donnant la priorité sur les mesures de protection individuelle ;
Instruction.	9) Donner les instructions appropriées aux travailleurs.

Figure I.3. *Les principes généraux de prévention d'après (Droit Org, 2014)¹³.*

D'autres mesures de prévention sont également à mettre en œuvre par les employeurs: exploitation du contenu des notices d'instructions, mise en place d'une organisation du travail adaptée, rédaction de consignes d'utilisation, mise au point de procédures pour sécuriser les opérations telles que les réglages et la maintenance, information et formation des personnels,...

¹³ **Droit Org, 2014, Code du travail**, Institut français d'information juridique, Version consolidée du code au 22 août 2014. Edition : 24-08-2014, 1788 p.

I. 5. Risques machines et accidents de travail

I. 5.1. Lien causal entre risques machines et accidents de travail

Selon **Loi N° 83-13**, est considéré comme accident du travail tout accident ayant entraîné une lésion corporelle imputable à une cause soudaine, extérieure, et survenue dans le cadre de la relation du travail. Par contre, sont considérées comme maladies professionnelles, les intoxications, infections et affections présumées d'origine professionnelle particulière¹⁴.

L'analyse des risques machines (**figure I. 4**) permet d'identifier et d'estimer l'importance des différents risques due à l'utilisation d'une machine. En conséquence, les résultats reposent sur la capacité de l'équipe d'analyse de faire un inventaire aussi exhaustif que possible des risques présents et de stratégie de contrôle mise en place pour les prévenir.

Mieux encore, l'analyse des risques machines permet, à une organisation, d'agir par ordre d'importance sur les risques à contrôler. L'analyse des risques machines agit davantage sur la gravité des accidents que sur la fréquence ; car la priorité est pour la réduction de cette gravité.

L'analyse des risques machines est, donc, un outil d'identification et de prévention des risques à la santé (maladies professionnelles) et à la sécurité (accidents des travaux) du travail «S&ST» alors que les AT/MP sont les résultants d'un manque de contrôle des risques associés au travail.

¹⁴**Loi n° 83-13 du 2 juillet 1983** relative aux accidents eu travail et aux maladies professionnelles, Chapitre IV, Section II, Titre IV: Maladie professionnelles, Art.63.

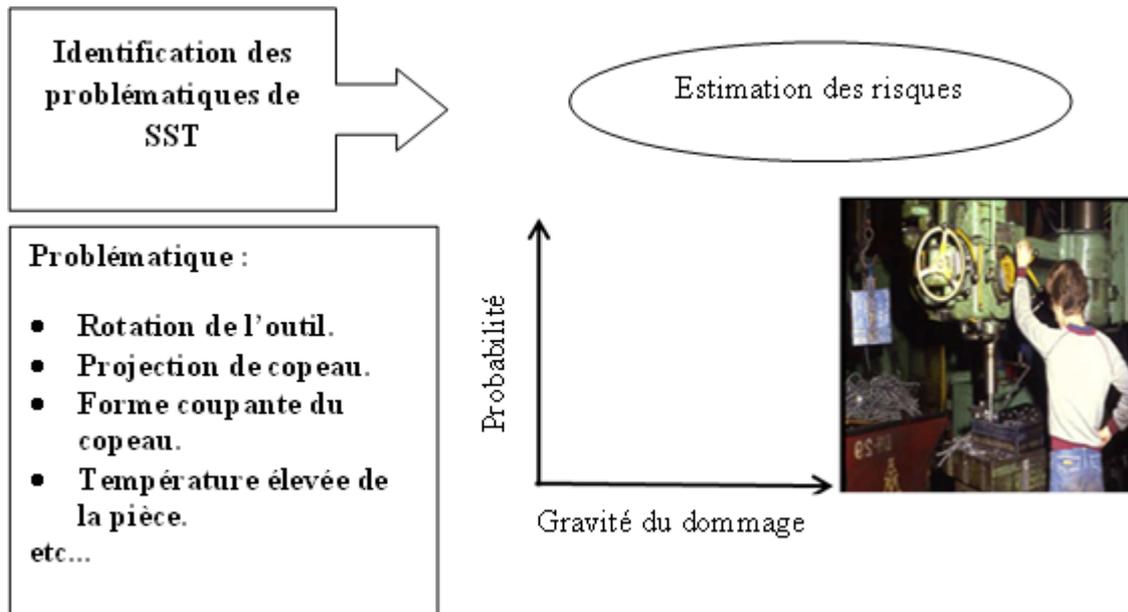


Figure I. 4. La démarche d'analyse des risques machines.

I. 5. 2. Analyse statistiques des accidents de travail liés aux machines

Un problème récurrent dans l'analyse des risques machines est l'obtention des statistiques fiables et récentes sur les AT/MP. Ces statistiques sont d'extrême importance pour l'analyse des risques. Pour illustrer le rôle que jouent ces statistiques en matière de S&ST, nous illustrons nos propos par les statistiques de la CNAS (2011) où l'on notera dans l'ensemble une stabilité depuis 1999 de l'ordre d'importance du risque par branche d'activité (Figure I. 5).

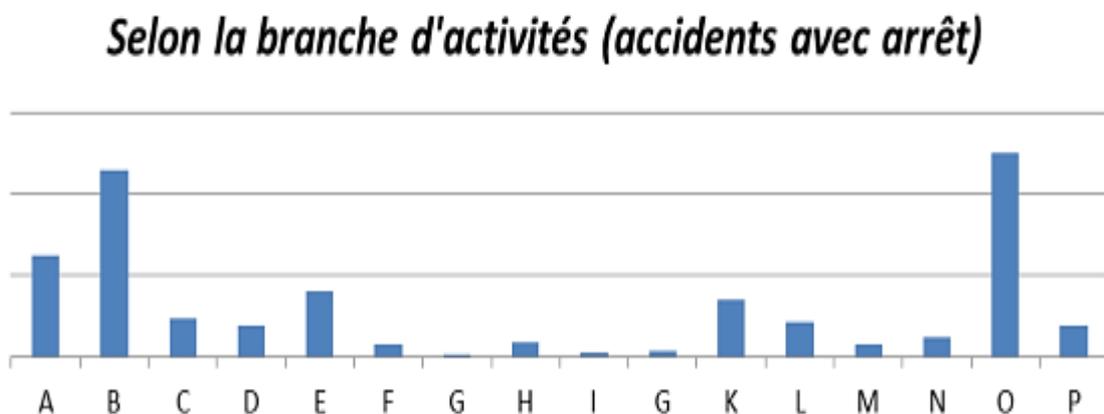


Figure I. 5. Classification des accidents dus aux machines en 2011 selon la branche d'activité (CNAS, 2011).

(A) Métallurgie avec 12.5% ;	(I) Vêtements avec 0.5% ;
(B) BTP avec 22.9% ;	(J) Cuirs et peaux avec 0.7% ;
(C) Bois avec 4.7%	(K) L'alimentation avec 6.9% ;
(D) Chimie avec 3.78% ;	(L) Transport et manutention avec 4.2% ;
(E) Pierres et terres à feu avec 8% ;	(M) Eau, gaz et électricité avec 1.4% ;
(F) Caoutchouc et papeterie avec 1.5% ;	(N) Commerce avec 2.4% ;
(G) Livre avec 0.3% ;	(O) Interprofession avec 25.10% ;
(H) Textiles avec 1.6% ;	(P) Gaz pétrole et carburants avec 3.7% ;

Par ailleurs, les statistiques montrent que la gravité est importante lorsqu'il s'agit d'accidents mortels ; c'est le cas de la branche « Bâtiment et Travaux Publics, BTP » qui a enregistré un nombre de décès particulièrement élevé (241) soit 32,5% du nombre total du décès. Les statistiques indiquent, également que le nombre de décès qui relève de la branche « Interprofessionnel » est aussi important avec 240 décès, de l'ordre de 32,3%.

On retiendra aussi que la branche « Gaz, Pétrole et Carburant » a enregistré 8,5% de l'ensemble des décès déclarés, suivie des branches : « Transport et Manutention » avec 7,8%, la branche « Pierres et Terre à Feu » avec 4,4% et la branche « Alimentation » avec 3,5%. Il est à noter que la branche « Gaz, Pétrole et Carburant » a enregistré un nombre élevé d'accidents mortels pour 2011, voire le double de l'ordre de 8,5% de l'ensemble des accidents mortels par rapport à celui de l'année 2003, qui est de l'ordre de 4,2% de l'ensemble des accidents mortels.

I. 5. 3. Principaux facteurs de risques d'accidents

Les risques machines sont présents lors de l'utilisation normale, mais aussi lors de situations particulières telles que maintenance, réglage, nettoyage, ... etc.

Les principaux facteurs d'accidents dus aux machines identifiés dans la base de données

EPICEA¹⁵ sont: les interventions en cours de fonctionnement, les modes opératoires inappropriés et dangereux, la mauvaise conception des machines, l'insuffisance de formation des opérateurs et le manque de sensibilisation à la sécurité des entreprises utilisatrices.

I. 5.4. Objectifs de la sécurité des machines

De nos jours, la sécurité des machines est au cœur des préoccupations des entreprises à raison de leurs objectifs que ce soit au niveau de l'entreprise ou bien au niveau de la machine elle-même.

A l'échelle d'une machine, il s'agit de:

- Sécuriser une machine durant toutes les phases de sa vie par l'implantation de mesures de réduction du risque,
- Identifier si des correctifs sont nécessaires sur une machine nouvellement installée ou modifiée,
- Concevoir/modifier adéquatement une machine,
- Sécuriser une machine déjà installée (concevoir les systèmes de protection).
- Valider/rédiger des méthodes de travail et procédures,
- Identifier les tâches de maintenance préventive prioritaires sur une machine,
- Proposer des correctifs suite à un accident,
- Juger de l'efficacité de la protection offerte sur une machine,
- Identifier les «dangers» présents à un poste de travail,
- Faciliter la prise de décision.

A l'échelle d'une entreprise, il s'agit de :

- Réduire la vulnérabilité (lésions, amendes et poursuites),
- Identifier des priorités d'action,
- Faciliter la prise de décision,
- Optimiser l'utilisation des ressources,
- Déterminer les vulnérabilités de l'entreprise en matière de S&ST,

¹⁵ **EPICEA** (Etudes de prévention par l'informatisation des comptes rendus d'accidents) : Cette base de données se trouve dans le site : www.inrs.fr/ .

- Déterminer les priorités de l'entreprise en S&ST,
- Cibler les produits chimiques, les équipements, les machines ou les tâches présentant le plus de risque pour le personnel,
- Améliorer l'image corporative.

I. 6. Aspect réglementaire de la sécurité des machines

I. 6.1. La réglementation européenne (Directive Machine)

Rappelons d'abord que la Directive « Machines »¹⁶ 2006/42/CE s'adresse aux fabricants et aux sociétés mettant en circulation des machines et des composants de sécurité. Elle définit les tâches à exécuter pour respecter les exigences essentielles de santé et de sécurité« EESS»¹⁷ applicables aux machines neuves, afin d'abolir les barrières commerciales au sein de l'Europe et de garantir un niveau élevé de sécurité et protection de la santé aux utilisateurs et aux opérateurs.

Elle s'applique à la construction de machines et de composants de sécurité mis-en-circulation individuellement, ainsi qu'aux machines d'occasion et aux appareils provenant de pays tiers mis sur le marché pour la première fois dans l'espace économique européen.

Historique d'évolution

- En 1989, le Conseil de l'Union européenne a promulgué la Directive concernant le rapprochement des législations des États membres relatives aux machines, connue sous le nom de Directive Machines « 89/392/CEE »,
- En 1995, cette directive devait s'appliquer dans tous les États membres de l'Union européenne,

¹⁶ **Une directive** est un acte juridique communautaire établi par le Conseil de l'Union Européenne. Les États membres doivent transposer la directive dans leur droit national. Les directives sont publiées au Journal Officiel des Communautés Européennes.

¹⁷ Les exigences auxquelles la machine doit satisfaire pour être en conformité avec la Directive Machine de l'Union européenne et obtenir le marquage CE. La liste de ces exigences se trouve dans l'Annexe I de la **Directive Machine « 2006/42/CE »**.

- En 1998, diverses modifications ont été regroupées et consolidées dans la Directive Machines en vigueur « 98/37/CE »,
- En 2006, une « Nouvelle Directive Machines » 2006/42/CE a été promulguée. Elle remplace les versions précédentes et son application est obligatoire dans les États membres de l'UE à partir du 29.12.2009.

Les différences entre l'ancienne Directive « 98/37/CE » et la nouvelle Directive «2006/42/CE» révisée ne sont pas très importantes. L'objectif de la nouvelle Directive est de renforcer les résultats obtenus par l'ancienne Directive Machine sur la libre circulation, la sûreté des machines et d'améliorer son application (ABB, 2010)¹⁸.

I. 6. 2. La réglementation algérienne

Historique d'évolution

L'évolution de la prévention des risques professionnels (y compris risques machines), depuis l'indépendance, s'est faite progressivement dans un contexte d'intégration systématique aux schémas organisationnels des organismes et des entreprises algériennes.

Afin réduire les situations dangereuses qui entraînent des accidents graves liées aux machines, l'Algérie a mis en place tout un dispositif de prévention basé sur un ensemble de moyens:

- Législatifs et réglementaires,
- Technique: services d'hygiène et sécurité, services de médecine du travail, institutions professionnelles, ...etc.
- De contrôle : inspection du travail.

Ainsi et pour ce qu'est de la réglementation applicable à la sécurité des machines, le tableau suivant présente quelques lois et décrets relatifs à la sécurité des machines.

¹⁸ ABB, 2010, Sécurité fonctionnelle, Guide technique N°10, France, 3AUA0000048753 REV C, 43 p.

Tableau I. 3. Présentation de quelques lois et décrets relatifs à la sécurité d'après (Embarek, 2011).¹⁹

Lois/Décret	Domaine
Loi N°83-13 du 2/07/1983	Relative aux accidents de travail et aux maladies professionnelles (JORA N°28)
Loi N°85-05 du 16/02/1985	Relative à la protection et à la promotion de la santé. (JORA N°8)
Loi N°88-07 du 26/01/1988	Relative à l'hygiène, à la sécurité et la médecine du travail. (JORA N°4)
Loi N° 89-23 du 19/12/1989	Relative à la normalisation. (JORA N° 54)
Loi N° 90-03 du 6/02/1990	Relative à l'inspection du travail. (JORA N° 06)
Loi N° 90-11 du 21/04/1990	Relative aux relations de travail.
Décret N° 74-255 du 28/12/1974	Relatif aux modalités de constitution, les attributions et le fonctionnement de la C.H.S. (JORA N° 2)
Décret N° 76-34 du 20/02/1976	Relatif aux établissements dangereux, insalubres et incommodes. (JORA N° 21)
Décret N° 84-55 du 3/3/1984	Relatif à l'administration des zones industrielles. (JORA N°10)
Décret N° 84-105 du 12/05/1984	Relative à l'institution d'un périmètre de protection des installations et infrastructures. (JORA N° 20)
Décret N° 84-385 du 22/12/1984	Relatif aux mesures destinées à protéger les installations, ouvrages et moyens. (JORA N° 69)

¹⁹ **Embarek M.C., 2011**, Développement d'une méthode de contrôle pour l'amélioration de la sûreté de fonctionnement des installations industrielles stratégiques, Thèse de doctorat spécialité Electromécanique, Université de Annaba - Algérie. 97 p.

Décret N° 93-184 du 27/7/93	Réglementant l'émission des bruits. (JORA N° 50)
Décret N° 84-387 du 22/12/84	Relatif aux mesures destinées à protéger les installations, ouvrages et moyens. (JORA N°69)
Décret N° 85-231 du 25/8/1985	Relatif au plan d'organisation des secours. (JORA N° 361)
Décret N° 85-232 du 25/8/1985	Relatif aux risques de catastrophes. (JORA N° 361)
Décret N° 86-132 du 27/5/1986	Fixant les règles de protections des travailleurs contre les risques de rayonnements ionisants. (JORA N° 35)
Décret N° 90-79 du 27/2/1990	Portant réglementation du transport de matières dangereuses. (JORA N° 10)
Décret N° 90-24 du 18/8/90	Portant réglementation des appareils à pression de gaz. (JORA N° 36)
Décret N° 90-246 du 18/8/1990	Portant réglementation des appareils à pression de vapeur. (JORA N° 36)
Décret N° 92-42 du 4/2/1992	Relatif aux autorisations préalables à la fabrication des produits toxiques ou présentant un risque particulier. (JORA N° 09)
Arrêté interministériel du 10/2/1988	Fixant la délimitation et la signalisation particulière des zones réglementées et interdites. (JORA N° 35)

Rappelons que la liste du tableau ci-dessus n'est pas limitative et d'autres décrets, lois et arrêtés peuvent être considérés comme étant des textes relatifs à la sécurité des machines.

C'est le cas par exemple, du 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 édicte dans son contenu les règles de sécurité relative aux machines et mécanismes. Il précise les modalités d'application suivantes :

- Hygiène générale des locaux et de leur dépendance,
- Mesures générales de Sécurité sur les lieux de travail:
 - Manutention et circulation,
 - Prévention des chutes d'un niveau supérieur,
 - Machines et mécanismes.

- Mesures Particulières de Prévention des Risques d'incendie :
 - Dispositions générales,
 - Evacuation du personnel,
 - Lutte contre l'incendie.

- Vérifications périodiques et mesures d'entretien des installations électriques, des moyens de protection collective et individuelle, ... etc.

La figure I. 6 illustre les règles de sécurité relatives aux machines et mécanismes et leur positionnement selon le décret exécutif N° 91-05.

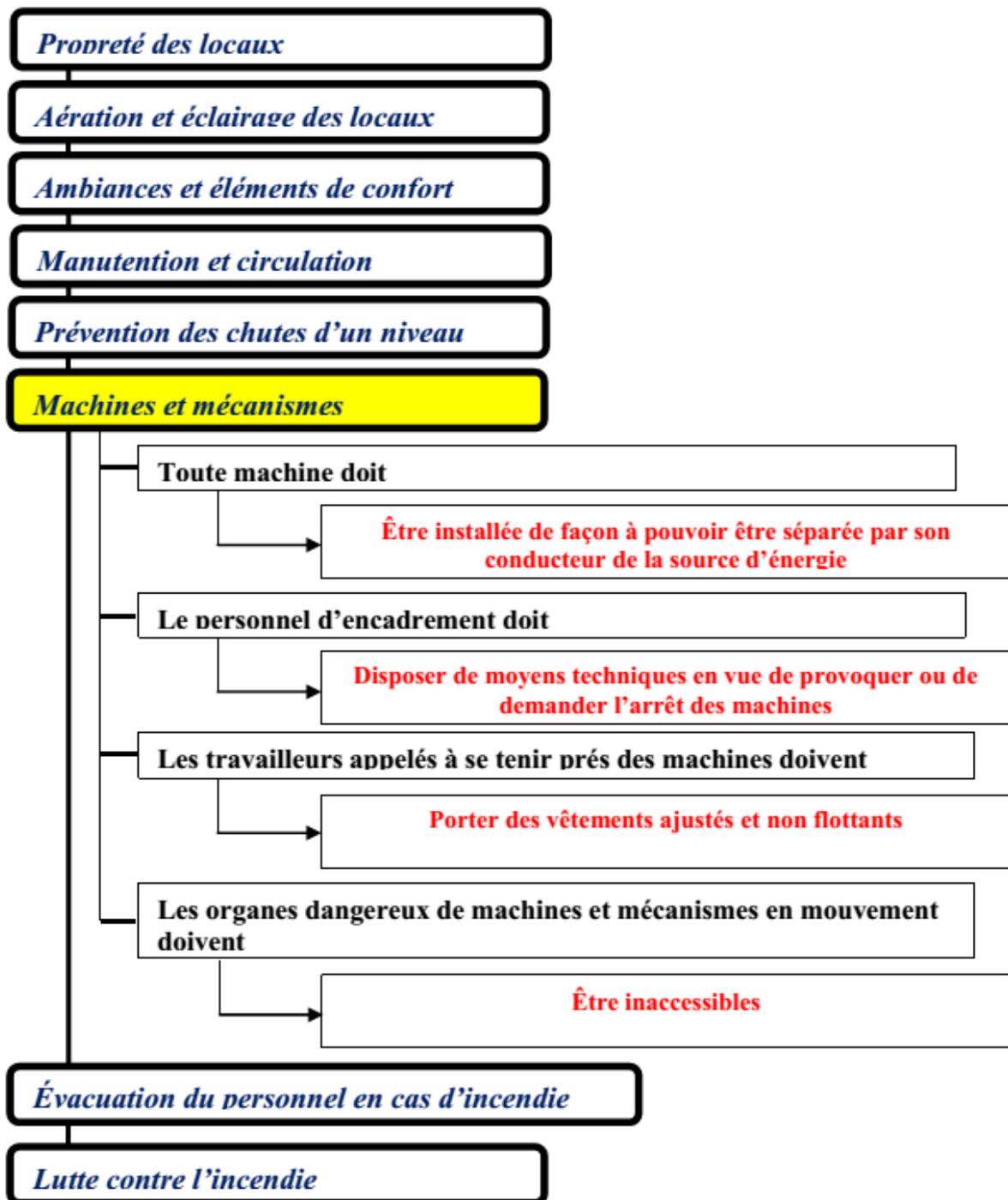


Figure I. 6. Positionnement des règles de sécurité des machines et mécanisme dans le décret exécutif N° 91-05.

I. 6. 3. Synthèse sur la réglementation algérienne et européenne

La caractéristique fondamentale d'une réglementation est l'obligation de son application. Ainsi et pour ce qu'est de la sécurité des machines, la réglementation européenne stipule que pour tout fabricant de machines, il doit :

- Respecter les exigences essentielles de sécurité et de santé de la Directive Machines,
- Planifier l'intégration de la sécurité dès la conception,
- Appliquer la procédure applicable aux machines de l'annexe IV²⁰ pour déclarer la conformité de votre machine,
- Etablir un dossier technique de la machine contenant en particulier tous les documents de conception relatifs à la sécurité,
- Fournir une notice d'instructions dans la langue officielle du pays d'utilisation. La version d'origine est également à joindre,
- Remplir une déclaration de conformité et apposer sur la machine ou le composant de sécurité le marquage CE.

Par contre, la réglementation algérienne en matière de la sécurité des machines et mécanismes n'édicte que les quatre obligations citées dans **la figure I. 6**. Ceci nous permet d'évoquer la nécessité de promouvoir notre réglementation en matière de la sécurité des machines.

Il est important de souligner également qu'au niveau des tribunaux, il est recommandé d'utiliser les normes et règlements internationaux les plus appropriés en cas de d'absence de normes et règlements algériennes (Embarek, 2011).

Un dernier constat sur cette synthèse réglementaire est que dans la réglementation algérienne il n'existe pas de méthodes ou de techniques appropriées concernant l'étude, l'analyse et l'évaluation des risques industriels. Pour ces raisons et pour des raisons d'échanges industriels, commerciaux et autres que nous la normalisation en matière de la sécurité des machines s'avère incontournable.

²⁰ **Directive Machine « 2006/42/CE », L'annexe IV:** Catégories de machines pour lesquelles il faut appliquer une des procédures visées à l'article 12(Procédures d'évaluation de la conformité des machines), Paragraphes 3 et 4.

I. 7. Conclusion

La sécurité des machines assure la sécurité juridique du fabricant et de l'exploitant.

Les utilisateurs de machines attendent qu'on leur propose exclusivement des machines et des appareils sûrs, et ce, partout dans le monde. Parallèlement, il existe partout dans le monde des règles visant à protéger les utilisateurs de machines. Ces règles varient d'un pays à un autre. De ce fait, l'aspect réglementaire en matière de la sécurité des machines fera donc l'objet d'une étude détaillée dans le chapitre suivant.

Dans ce chapitre nous avons survolé les aspects et réglementaires relatifs à la sécurité des machines. À l'issue de ce survol nos principaux constats sont les suivants :

- Au niveau international l'existence de normes et règlements en matière de la sécurité des machines.
- Au niveau national, l'orientation est vers l'usage des normes internationales pour combler le vide dans certains aspects de la réglementation algérienne.

Ce constat nous conduit logiquement à œuvrer dans le sens d'adaptation des méthodologies d'analyse des risques machines intégrant les exigences légales et normatives.

Comme présentées dans ce chapitre, Description de machine, le lien causal entre les risques machines/AT, et analyse statistiques des AT liés aux machines. Conséquemment, la suite de ce chapitre se propose pour prendre en charge cette préoccupation pour notre étude sur l'exposition des Vibrations dans le milieu professionnel.

Chapitre II:

Les Vibrations Mécaniques.

II. 1. Introduction

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.

Ce chapitre présente les concepts fondamentaux pour l'étude des vibrations dans les systèmes mécaniques au milieu professionnel. Les caractéristiques de la vibration, les systèmes de mesure des vibrations sont ici décrits et l'inventaire de l'installation industrielle causante des vibrations.

II. 2. Notion de base sur les vibrations

II. 2. 1. Définitions

La norme ISO 2041²¹ définit la notion de vibration: Variation avec le temps de l'intensité d'une grandeur caractéristique du mouvement ou de la position d'un système mécanique, lorsque l'intensité est alternativement plus grande et plus petite qu'une certaine valeur moyenne ou de référence. En fait, un corps est dit en vibration lorsqu'il est animé d'un mouvement oscillatoire autour d'une position d'équilibre ou de référence.

Le terme *vibrations* vise toutes vibrations transmises au corps humain par des structures solides et qui sont nocives pour la santé ou dangereuses à d'autres égards²².

Une vibration mécanique est un mouvement oscillatoire d'un milieu fluide ou solide autour de sa position d'équilibre statique ou dynamique. Les déformations subies par un milieu solide mis en vibrations peuvent comporter plusieurs composantes directionnelles à

²¹ Norme ISO 2041 « Vibrations et chocs - Vocabulaire (Août 1990) »

²² Convention (n° 148) sur le milieu de travail (pollution de l'air, bruit et vibrations), 1977 Convention concernant la protection des travailleurs contre les risques professionnels dus à la pollution de l'air, au bruit et aux vibrations sur les lieux de travail (Entrée en vigueur: 11 juil. 1979) Adoption: Genève, 63ème session CIT (20 juin 1977).

la fois (grandeur vectorielle). Une vibration peut être quantifiée par la mesure de l'accélération [$m.s^{-2}$], de la vitesse [$m.s^{-1}$] ou du déplacement [m] qu'elle entraîne. Le passage de l'une à l'autre de ces grandeurs s'effectue par dérivation ou par intégration temporelle. Cependant, seule la valeur d'accélération est communément utilisée pour la représentation de phénomènes vibratoires²³.

Ce type de mouvement se trouve dans différents types d'activité et dans plusieurs cas il peut affecter la conception en ingénierie ou d'autres aspects de la vie quotidienne. De façon générale les vibrations ont un double comportement :

- Elles peuvent être nocives, représenter une perte d'énergie, augmenter le risque des troubles ;
- ou elles peuvent être utiles et souhaitées, permettant le fonctionnement de certains dispositifs.

Les textes de normalisation AFNOR relatifs aux vibrations sont : NF E 90-001²⁴, NF E 90 002.²⁵

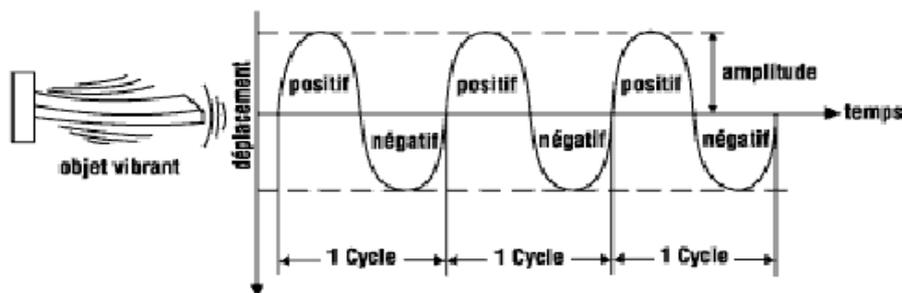


Figure II. 1. Définition d'une vibration [08].

II. 2. 2. Classifications des vibrations

Selon l'existence d'une perturbation externe, la vibration d'un système peut être libre ou forcée. La vibration libre est un phénomène d'oscillations induites par un déplacement ou une vitesse initiale dans le système. Le nombre d'oscillations par seconde pour un système en vibration libre s'appelle fréquence propre du système. La vibration forcée est une oscillation produite par une perturbation dynamique (charge, déplacement ou vitesse)

²³ Selon ISO-8041, 2005 : Réponse des individus aux vibrations -- Appareillage de mesure.

²⁴ NF E 90 001, 1 mai 1972 : Vibrations et chocs Mécaniques – Vocabulaire.

²⁵ NF E90-002, Octobre 1984 : Vibrations et chocs mécaniques - Vocabulaire de l'équilibrage.

qu'est appliquée au système mécanique. Comme une perturbation externe est de forme vectorielle ayant des caractéristiques d'amplitude, de direction et de position ; toute perturbation d'une de ces caractéristiques dépendant du temps est une perturbation dynamique. Il est évident que l'oscillation d'un système en vibration forcée est dépendante du temps. Dans ce cas il existe différents types de vibrations selon le comportement de la perturbation externe. Les vibrations peuvent être classées comme (1) vibrations en régime transitoire lorsque le système est en évolution et qu'il n'a pas encore atteint un état stable, ce régime peut apparaître lors d'une modification dans le système, ou comme (2) vibrations en régime permanent dans lequel toutes les grandeurs physiques sont indépendantes du temps. La nature de la réponse d'un système vibratoire dépend beaucoup de la nature des forces d'excitations et des caractéristiques structurelles du corps vibrant.

II. 2. 3. Nature des vibrations

Les vibrations mécaniques sont des mouvements oscillant autour d'une position moyenne d'équilibre. Ces mouvements oscillants caractéristiques de l'effort qui les génère, peuvent être, soit périodiques, soit apériodiques (transitoires ou aléatoires) selon qu'ils se répètent ou non, identiquement à eux-mêmes après une durée déterminée.

II. 2. 3. 1. Vibration harmonique

Une vibration harmonique est une vibration dont le diagramme amplitude-temps est représenté par une sinusoïde.

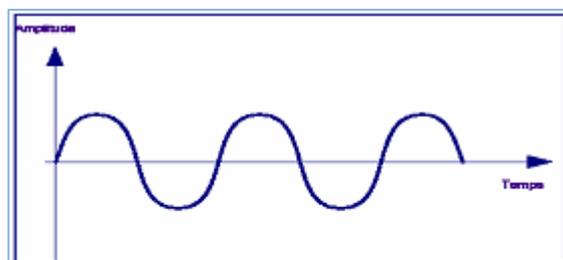


Figure II. 2. *Vibration harmonique* [09].

II. 2. 3. 2. Vibration périodique

Correspondre à un mouvement sinusoïdal pur, plus généralement, à un mouvement complexe périodique que l'on peut décomposer en une somme de mouvements sinusoïdaux élémentaires, plus faciles à analyser.

Les mouvements sinusoïdaux élémentaires sont appelés « composantes harmoniques » et leurs fréquences sont des multiples entiers de la fréquence du mouvement étudié qui est appelée « fréquence fondamentale » ou fréquence de l'harmonique.

Les vibrations transitoires (comme par exemple la vibration provoquée par un marteau pilon) sont générées par des forces discontinues (chocs). Elles peuvent présenter ou non un aspect oscillatoire revenant à une position d'équilibre après amortissement. Lorsqu'il existe des oscillations, comme pour une structure qui vibre après un choc et pour laquelle le coefficient d'amortissement est faible, on dit qu'il y a un amortissement sub-critique, et le mouvement est pseudopériodique. Si l'amortissement est très important, la structure revient à sa position d'équilibre sans oscillation, on dit alors que l'amortissement est sur critique et le mouvement est apériodique.

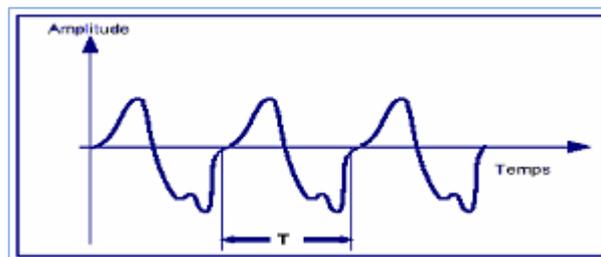


Figure II. 3. *Vibration périodique* [09].

II. 2. 3. 3. Vibrations aléatoire apériodique (choc)

Comme par exemple (la vibration générée par le phénomène de cavitation sur une pompe) sont caractérisées par un mouvement oscillant aléatoire qui ne se produit pas identiquement à lui-même comme les mouvements périodiques.

Les vibrations aléatoires ne peuvent être représentées mathématiquement que par une série de relations de probabilités car il faudrait théoriquement un temps infini pour les analyser, mais on peut considérer que la fonction aléatoire est une fonction périodique dont la périodicité est égale à l'infini et que cette fonction est constituée d'une infinité de fonctions sinusoïdales dont la fréquence varie de façon continue.

Ces vibrations caractéristiques sont donc toutes identifiables et mesurables. La tendance à l'accroissement de leur intensité est représentative de l'évolution de l'effort qui les génère et révélatrice du défaut qui se développe.

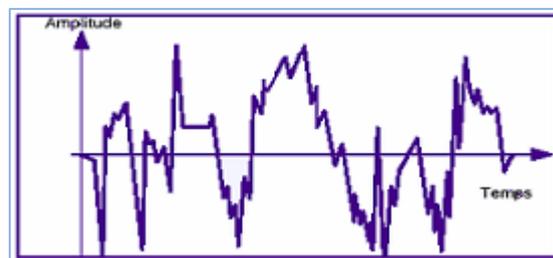


Figure II. 4. *Vibration aléatoire [09].*

II. 2. 4. Paramètres de forme d'onde de la vibration

Les vibrations ont différentes caractéristiques qui influencent leurs effets dans les systèmes mécaniques et le corps humain. Ces caractéristiques sont: l'amplitude, la fréquence, la direction, la durée d'exposition et le point d'application.

L'amplitude: Le déplacement oscillatoire d'un objet implique alternativement une vitesse dans un sens, suivie d'une vitesse dans l'autre sens. Cette variation de vitesse signifie que l'objet subit une accélération constante, d'abord dans un sens, puis dans le sens opposé. On peut quantifier l'amplitude vibratoire par le déplacement, la vitesse ou l'accélération. Pour des raisons pratiques, on mesure généralement l'accélération avec des accéléromètres. L'unité d'accélération est le mètre par seconde au carré (m/s^2). L'accélération due à la pesanteur (gravitation terrestre) est d'environ $9,81 m/s^2$.

On peut exprimer l'amplitude d'une oscillation grâce à la distance entre les points extrêmes atteints par le mouvement (valeur crête à crête), ou par la distance entre un point central et l'élongation maximale (valeur de crête). On exprime souvent l'amplitude de la vibration par une valeur moyenne de l'accélération du mouvement oscillatoire, généralement la valeur efficace de l'accélération (m/s^2 efficace). Pour un mouvement sinusoïdal (fréquence unique), la valeur efficace correspond à la valeur de crête divisée par $\sqrt{2}$.

Pour un mouvement sinusoïdal, l'accélération a (en m/s^2) peut se calculer à partir de la fréquence f (en cycles par seconde) et du déplacement d (en mètres):

$$a = (2\pi f)^2 d$$

Cette formule permet de convertir des mesures d'accélération en valeurs de déplacement, mais elle n'est précise que si le mouvement est à fréquence unique.

On a parfois recours à des échelles logarithmiques pour quantifier l'amplitude vibratoire en décibels (dB)²⁶. Si l'on applique la norme internationale 1683 (ISO, 1983)²⁷, le niveau d'accélération L_a s'exprime par :

$$L_a = 20 \log_{10} (a/a_0)$$

Où a est l'accélération mesurée (en m/s^2 efficace) et a_0 le niveau de référence de 10^{-6} m/s^2 . Certains pays emploient des niveaux de référence différents.

La fréquence : La fréquence d'une vibration, exprimée en cycles par seconde (hertz, Hz), affecte la façon dont la vibration est transmise au corps (par exemple, par la surface d'un siège ou la poignée d'une machine vibrante), la propagation à l'intérieur du corps (par exemple, du siège à la tête), ainsi que les effets qu'elle provoque dans l'organisme. La relation entre le déplacement et l'accélération dépend également de la fréquence de l'oscillation: un déplacement de 1 millimètre correspond à de très faibles accélérations en basses fréquences, mais à de très fortes accélérations aux fréquences élevées.

²⁶ **Noté dB:** (correspondant à un dixième de Bel) Le décibel est un sous-multiple du bel, qui est plus couramment employé. Le bel est une unité de mesure logarithmique du rapport entre deux puissances, connue pour exprimer la puissance du son.

²⁷ **ISO 1683:1983** Acoustique -- Grandeurs normales de référence pour les niveaux acoustiques : La présente Norme internationale spécifie des grandeurs de référence et donne les définitions d'un certain nombre de niveaux utilisés en acoustique. Elle est applicable aux grandeurs périodiques (Genève).

Le déplacement d'une vibration perçue par l'œil humain n'est pas une indication fiable de son accélération.²⁸

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

Les principaux systèmes de coordonnées employés pour la mesure des vibrations transmises à l'ensemble du corps et au système main-bras sont présentés dans **le chapitre V**.

La durée d'exposition : est également un paramètre à prendre en compte dans l'évaluation du risque vibratoire parce que les réactions de l'organisme aux vibrations dépendent de la durée totale de l'exposition. L'amplitude moyenne et la durée totale peuvent être évaluées en se référant aux normes ISO 2631/1²⁹, ISO 5349³⁰.

Point d'application : De façon générale, le point d'application de l'excitation qui génère l'oscillation peut fournir deux types de vibrations : local ou global. On peut trouver le même comportement dans le corps humain soumis aux vibrations. La vibration globale du corps ou vibration de corps entier signifie que le corps est soutenu sur une surface vibrante et la vibration locale correspond à l'excitation d'une extrémité.

Dans ce cadre, trois postures soumises aux vibrations sont différenciées : assise sur un siège, debout sur un sol ou couchée sur un lit. La posture a une influence très importante dans l'étude de ce type de vibration parce qu'elle peut changer la transmissibilité du corps, la probabilité de risque et l'influence de la fréquence³¹. Pour ce type de vibration l'ensemble du corps est sollicité. Elle est souvent associée aux moyens de transport, à l'utilisation d'équipements industriels et au comportement des bâtiments.

²⁸ **Griffin, M.J., 1990:** Handbook of Human Vibration.988p. (Londres, Academic Press).

²⁹ **ISO 2631/1, 1997:** Vibrations et chocs mécaniques — Evaluation de l'exposition des individus à des vibrations globales du corps. Partie 1. Spécifications générales, ISO 2631/1 (Genève).

³⁰ **ISO 5349, 1986:** Vibrations mécaniques. Principes directeurs pour le mesurage et l'évaluation de l'exposition des individus aux vibrations transmises par la main, (Genève).

³¹ **Selon** Griffin, M.J., 1990: Handbook of Human Vibration.988p. (Londres, Academic Press).

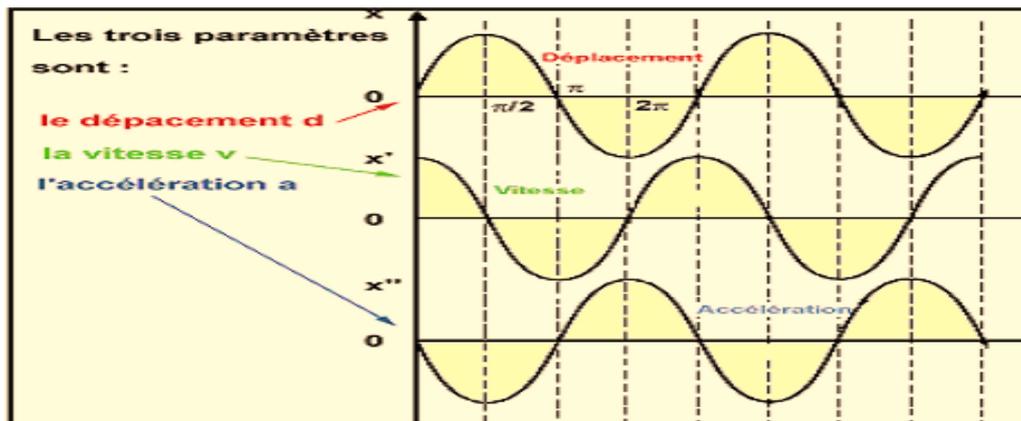


Figure II. 5. Les paramètres caractéristiques des vibrations [11].

II. 3. Les effets des vibrations

Les vibrations agressent le corps humain et causent des dommages, notamment aux articulations. Elles sont également dangereuses pour les équipements de travail et les matériaux en général.

II. 3. 1. Les effets des vibrations sur les matériaux

Les matériaux comme les métaux, les matières plastiques, béton et autres matériaux de construction ne sont pas homogènes et présentent des discontinuités internes invisibles à l'œil nu comme par exemple les cristaux noyés dans la masse amorphe. Soumis à des vibrations, les différents constituants des matériaux vibrent chacun avec ses propres caractéristiques ; il en résulte des tensions internes qui réduisent la cohésion de l'ensemble.

Les matériaux sont ainsi fragilisés, se fissurent et peuvent même s'effriter. Cette fragilisation se traduit par la rupture des matériaux en mouvements, avec souvent des projections de particules et morceaux, d'autant plus violemment que les mouvements sont rapides. C'est notamment le cas des pièces métalliques, des meules, des lames de scies, ...etc.

Les différents organes des équipements de travail suivent le même comportement et la fragilisation est d'autant plus importante que les sources des vibrations sont très proches, souvent au niveau de la pièce même ; les risques de ruptures et de projections à grande vitesse de morceaux métalliques ne doivent pas être négligés. Ces ruptures et ces

projections sont à l'origine de dysfonctionnements de la machines et de blessures au niveau du corps humain.

II. 3. 2. Les vibrations et le corps humain

Les vibrations de faibles intensités créent une gêne et une sensation d'inconfort. Les troubles et les atteintes nécessitent des amplitudes élevées. Des valeurs limites tolérables sont proposées par certaines normes.

D'autre part, les fréquences des vibrations ont une grande influence sur les atteintes. D'une façon générale, les vibrations dont les fréquences sont inférieures à quelques hertz conduisent à des nausées et des vomissements ; au-delà des fréquences de 10^{-15} Hz, Les véritables pathologies apparaissent.

Suivent les parties touchées car en contact avec les vibrations, on distingue plusieurs catégories d'atteints pathologiques³². Nous allons les aborder dans le chapitre III.

II. 4. Les sources de vibrations

II. 4. 1. Les vibrations produites lors des opérations manuelles

Les opérations manuelles à l'aide d'outils simples produisent de nombreuses vibrations qui sont immédiatement et directement transmises aux mains qui en souffrent énormément. Les travaux de martelage, de perçage, de sciage, de meulage et de polissage donnent naissance à des vibrations non négligeables.

Les atteintes des membres supérieurs restent limitées à des crampes et des douleurs passagères ; elles ne sont pas prises en charge comme les MP.

II. 4. 2. Les vibrations produites par les équipements de travail portatifs

Les machines-outils portatives couramment utilisées sont une importante source de vibrations et sont à l'origine de nombreuses maladies professionnelles des membres

³² **Nichan, M., 2003** : Guide pratique des risques professionnels. Caractéristiques, réglementation, prévention, 3^e édition, 388p, France.

supérieurs. Les marteaux piqueurs, les burineurs, Les fouloirs, Les perceuses, Les meuleuses et les tronçonneuses, etc. sont tous sources de vibration, d'autant plus importantes que ces machines tenues à la main son à percussion.

Les atteintes des membres supérieurs et notamment aux mains sont fréquentes et considérées comme MP.

II. 4. 3. Les vibrations produites par les équipements de travail fixes

Les différents organes et mécanismes en mouvement de ces équipements génèrent des vibrations quasi permanentes qui non seulement fragilisent les pièces mais sont transmises aux salariés par le sol et par contact direct comme le cas des commandes bimanuelles.

Tous les équipements de travail produisent des vibrations lors de leur fonctionnement ; en cas d'anomalies de dysfonctionnements, Ces vibrations peuvent être amplifiées pour atteindre des seuils dangereux tant pour l'équipement de travail lui-même que pour les salariés.

Les équipements à percussion, travaillant essentiellement par choc, comme les poinçonneuses, les presses à aboutir, les presses à mouler les matières plastiques sont parmi les machines qui vibrent le plus.

Certains équipements de travail génèrent volontairement des vibrations pour assurer le retrait des pièces fabriquées ; c'est notamment le cas de certaines machines à mouler les matières plastiques, les machines à souffler les sables de fonderie pour confectionner les noyaux, etc.

II. 4. 4. Les vibrations des sièges de conduite

Les engins et véhicules qui sont des équipements de travail mobiles vibrent également par suit non seulement des mouvements des différents organes, mais aussi par suit des déplacements sur des surfaces cabossées et non lisses. Ces vibrations sont transmises aux sièges des conducteurs qui ainsi sont soumis en permanence, à des vibrations de différentes fréquences.

C'est l'ensemble du corps humain qui est soumis à ces vibrations et les atteintes de la colonne vertébrale sont prises en charge comme MP.

II. 5. Métrologie de mesure des vibrations

Les vibrations sont mesurées à des fins très diverses. En général, toute vibration non contrôlée est un phénomène indésirable qui augmente le facteur bruit, cause des défaillances mécaniques et peut être à l'origine de l'affaissement d'une structure. Quatre grands domaines de mesure de vibrations peuvent être définis:

II. 5. 1. Les domaines de mesures de vibration

II. 5. 1. 1. Test de vibration

Pour valider la tenue réelle d'un produit à l'environnement et donc sa conception, le test de vibration est pratique en soumettant une structure (Une caisse automobile par exemple) à de hauts niveaux vibratoires avec un excitateur vibratoire. Le niveau de vibrations est maintenu constant dans des gammes de fréquence définies les informations sur la réponse fréquentielles de la structures sont obtenues.

II. 5. 1. 2. Surveillance de l'état des machines et diagnostic des défauts

Dans sa forme la plus simple, une mesure de niveau global de vibration d'une machine est utilisée afin de signaler tout problème imminent. En effet, les forces internes d'une machine se caractérisent par des niveaux plus ou moins importants suivant son état (déséquilibre par exemple). Cependant, de plus amples informations sont souvent requises pour une détection fiable et précoce d'un grand nombre de défauts: Signatures fréquentielles de base et avancées.

Cette technique consiste en la mesure du spectre fréquentiel caractéristique des vibrations d'une machine en bon état, et de la surveillance de tout changement concernant les composantes du spectre. De tels changements sont les signes précurseurs de l'imminence évidente d'un problème et permettent le diagnostic de défauts.

II. 5. 1. 3. Analyse structurelle

Il s'agit d'une méthode expérimentale efficace se basant sur les mesures de vibrations pour déterminer le comportement dynamique d'une structure, variant en envergure des petites ailettes (pales) de turbine aux grands ponts. En utilisant un capteur de force et un accéléromètre, le signal d'excitation et la réponse vibratoire de la structure sont mesurés

simultanément à l'aide d'un analyseur bi-canal³³. Le calcul à grande vitesse accompli par l'analyseur, utilisé conjointement avec un ordinateur de bureau, fournit les informations essentielles pour la vérification et la modification de la structure.

II. 5. 1. 4. Mesure de vibrations appliquées à l'homme

Ce domaine concerne la mesure des vibrations transmises à l'homme. Ces vibrations peuvent, par exemple, parvenir de véhicules ou d'outils électriques tenus à la main. Les niveaux de vibrations mesurés sont ainsi modifiés pour satisfaire au confort humain et aux critères de santé stipulés dans les normes internationales (ISO 2631³⁴, UIC 513³⁵).

II. 5. 2. Appareils de mesure des vibrations

II. 5. 2. 1. Définition

Le capteur est un organe chargé de prélever une grandeur physique à mesurer et de la transformer en une grandeur exploitable.

- La grandeur physique à mesurer constitue le signal d'entrée (ou stimulus) du capteur.
- La grandeur exploitable étant de nature électrique constitue le signal de sortie (réponse) du capteur. Elle est une représentation de la grandeur à mesurer.

³³Un analyseur de bicanal est un instrument de mesure destiné à afficher les différentes fréquences contenues dans un signal ainsi que leurs amplitudes respectives. Les signaux peuvent être de natures diverses : électrique, optique, sonore, radioélectrique. <http://www.directindustry.fr/fabricant-industriel/analyseur-multi-parametres-107397.html/>

³⁴ **ISO 2631, 1997**: Vibrations et chocs mécaniques — Evaluation de l'exposition des individus à des vibrations globales du corps.

³⁵ **UIC 513, 02/1995** : **Union internationale des chemins de fer** « Guide pour l'évaluation du confort vibratoire du voyageur dans les véhicules ferroviaires ».



Figure II. 6. Capteur de mesure vibratoire.

Le capteur est donc un organe de saisie d'informations, c'est le premier maillon de toute chaîne de mesure ou acquisition de données, de tout système d'asservissement, régulation, de tout dispositif de contrôle, surveillance, sécurité³⁶.

II. 5.2.2. Capteurs de vibrations

Les trois grandeurs à mesurer en technique vibratoire sont : le déplacement, la vitesse, et l'accélération, qui peuvent être appréhendées par des systèmes très différents les uns des autres. On distingue trois principes, les plus utilisés particulièrement :

- Déplacement : principe des courant de Foucault.
- Vitesse : principe électrodynamique.
- Accélération : principe piézoélectrique.

Ces capteurs ont le même but de transformer une vibration mécanique en un signal électrique, ils peuvent être actifs ou passifs. Les capteurs actifs ne nécessitent pas d'alimentation, tandis que les capteurs passifs nécessitent une source d'énergie auxiliaire³⁷.

Capteurs de déplacement: Ces capteurs sont largement employés dans l'industrie, aussi bien dans le contrôle des positions et déplacements, par exemple dans les machines-outils, que dans les mesures de grandeurs physiques mesurables par les déplacements qu'elles imposent à des structures. On retrouve dans cette dernière catégorie, les mesures de force, de pression, de température, mais aussi, plus directement, la vitesse et l'accélération qui sont respectivement les dérivées première et seconde du déplacement³⁸.

³⁶ **Capteurs et électronique associée.** ESIEE-Olivier Français, 2000.

³⁷ **TIWILSON.** Capteurs utilisés pour la mesure de signaux dynamiques. Acquisition et traitement de signaux dynamiques. National Instruments.

³⁸ **PAUL – ERIC DUPUIS,** technique de l'ingénieur, essais de vibrations, mesures et exploitation des résultats, BM 5160 (2000).

Capteurs de vitesse: La vitesse, si elle n'est pas déduite du déplacement ou de l'accélération, peut être mesurée à l'aide d'un capteur électrodynamique (vélocimètres), auto-générateur d'une tension proportionnelle à la vitesse de déplacement de la bobine. Ce capteur est basé sur le principe suivant : un aimant se déplaçant dans une bobine induit dans celle-ci une force électromotrice proportionnelle à la vitesse de déplacement, Par ailleurs, il est particulièrement adapté aux machines à faible vitesse de rotation³⁹.

Capteurs d'accélération (Accéléromètres): C'est le type de capteur le plus employé lors des essais de vibration. Les qualités des accéléromètres sont nombreuses : coût modéré, résistance aux chocs et à l'environnement, fonctionnement autonome.

Une caractéristique de l'accéléromètre est sa très grande dynamique, c'est à dire sa capacité à détecter simultanément des phénomènes de très grande et de très faible amplitude. Il est constitué principalement d'un matériau piézoélectrique (habituellement une céramique Ferro- électrique artificiellement polarisé). Lorsque ce matériau subit une contrainte mécanique, en extension, compression ou cisaillement il engendre une charge électrique proportionnelle à la force appliquée. Le capteur piézo-électrique ou l'accéléromètre sont les plus utilisés en raison de leur large gamme de fréquence d'utilisation. Les différents types d'accéléromètre sont destinés:

- aux mesures axiales.
- à la surveillance continue.
- à l'utilisation à haute température.
- à la mesure de chocs de forte intensité...

II. 6. Conclusion

Dans cette partie, nous avons rappelé les concepts généraux concernant les vibrations mécaniques (théorie de la vibration, appareils de mesure). Ces concepts s'appliquent aussi bien aux systèmes mécaniques qu'aux systèmes biomécaniques. Ces bases vont permettre l'étude de l'exposition aux vibrations.

Comme présentées dans ce chapitre, les sources de vibrations et les effets des vibrations.

³⁹ **BRUEL & KJAER SCHENCK.** Condition Monitoring Systems, vibrations, équilibrage sur site, applications à la maintenance conditionnelle (2001).

Chapitre III:

Les Vibrations Dans Le Milieu Professionnel et Les Répercussions Sur La Santé.

III. 1. Introduction

Sur le long terme, l'utilisation régulière des machines vibrantes tenues à la main peut provoquer l'apparition de troubles au niveau des articulations (poignets et coudes), du système nerveux périphérique et de la circulation sanguine dans les doigts (syndrome de Raynaud). Les expositions répétées à des niveaux élevés de vibrations favorisent la survenue de ces troubles musculo-squelettiques. L'ensemble de ces affections sont rassemblés sous le terme de syndrome vibratoire.

L'exposition aux vibrations peut avoir des conséquences graves pour la santé du travailleur. Une personne soumise quotidiennement à des vibrations de forte amplitude peut présenter à long terme, des troubles neurologiques et articulaires.

Ce chapitre présente les effets néfastes sur le corps humain exposé aux vibrations et l'application des concepts vus dans le chapitre II, ainsi que la réponse dynamique du corps aux vibrations soit l'exposition des individus aux vibrations globale de corps ou la contrainte vibratoire transmise à l'homme dans l'environnement de machines source de vibration.

Rappelons brièvement que les vibrations main-bras entraînent une atteinte vasculaire, une atteinte neurologique et une atteinte musculo-squelettique qui peuvent se présenter ensemble ou indépendamment l'une de l'autre.

III. 2. Les effets des vibrations liées à l'exposition à des vibrations sur les lieux du travail

L'exposition aux vibrations peut présenter des effets négatifs sur la santé. Ces effets peuvent être physiologiques, pathologiques, psychologiques biodynamiques et sont classés

en aigus et chroniques⁴⁰ (Voir **Figure III. 1**). Les effets aigus sont ceux qui présentent leur effet maximal presque instantanément. Les effets chroniques se développent sur une période du temps et ils sont souvent associés à une action cumulative durant des mois ou des années.

L'effet physiologique se produit par le changement des fonctions normales (réponses cardiovasculaires, respiratoires) du corps humain. **L'effet pathologique** change les structures ou fonctions du corps humain. **Les effets psychologiques** sont les interférences avec les activités quotidiennes humaines. **Les effets biodynamiques** sont ceux liés à la réponse dynamique du système.

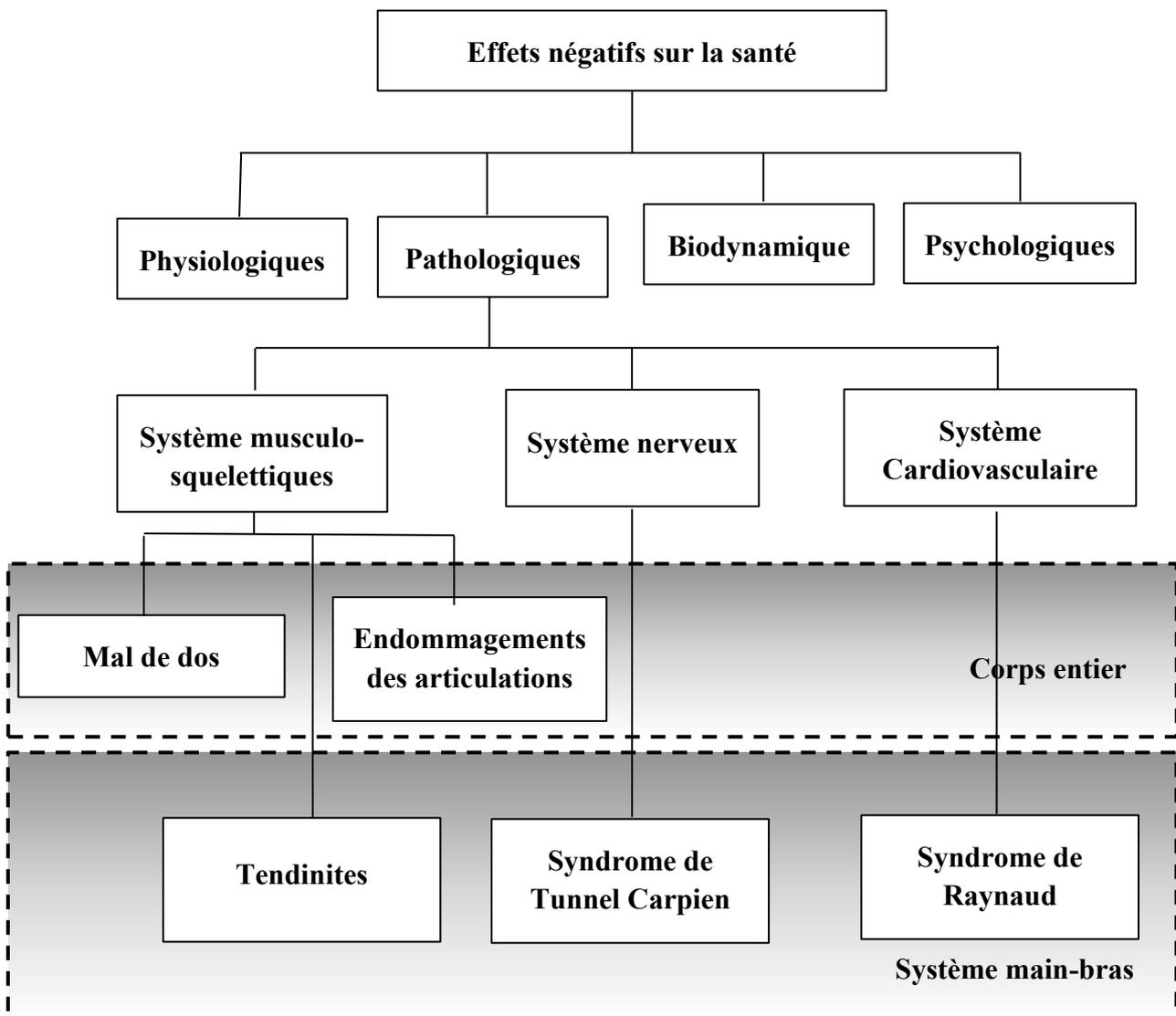


Figure III. 1. Effets négatifs des vibrations sur la santé [Griffin, 1990].

⁴⁰ Griffin, 1990: Griffin, M. J. (1990). Handbook of Human Vibration. 988 p. Academic Press.

Dans le cas de vibration locale, le système le plus étudié est le système main- bras. Les symptômes et les effets d'une exposition prolongée forment quatre groupes distinctifs : effets vasculaires, effets musculaires, effets dans les os et articulations et effets dans le système musculaires correspondent à des engourdissements et des douleurs dans les mains et les bras. Les effets musculaires correspondent à une détérioration de la force musculaire. Les effets sur le système nerveux central peuvent être des syndromes divers comme le syndrome de Tunnel carpien. Le système main-bras peut aussi l'origine de syndromes Musculo-squelettiques et vasculaires telles que le syndrome de Raynaud.

La gamme de fréquences susceptibles de produire ces altérations au niveau des membres supérieurs est très large: de 5 à 2000 Hz environ:

- Pour les fréquences inférieures à 30 Hz, l'ensemble main - bras se comporte comme une simple masse rigide. L'absorption, et par conséquent les effets, se produisent essentiellement au niveau du coude et de l'épaule.
- Pour les fréquences moyennes de 30 à 60 Hz, l'absorption se produit essentiellement au niveau du poignet et du coude;
- Pour les fréquences élevées de plus de 60 Hz, les vibrations sont absorbées essentiellement au niveau de la main.

En termes généraux, les vibrations de basses fréquences, inférieures à 60 Hz, engendrent des lésions ostéoarticulaires, alors que les vibrations de plus de 60 Hz donnent lieu à des troubles vasculaires et neurosensoriels.

Dans le but d'étudier ces effets, on distingue deux modes distincts d'exposition, **la vibration locale, en particulier le système main-bras et la vibration de corps entier.**

III. 3. Les vibrations transmises à l'ensemble du corps

III. 3. 1. L'exposition professionnelle

Les expositions professionnelles aux vibrations transmises à l'ensemble du corps se rencontrent surtout dans les transports. Les moyens de transport terrestres, maritimes et aériens peuvent tous engendrer des vibrations susceptibles d'occasionner de l'inconfort, de gêner les activités, voire d'être la cause de pathologies. Le **tableau III.1** recense un certain nombre d'activités particulièrement susceptibles de présenter un risque pour la santé.

Tableau III.1: Activités pour lesquelles il peut être justifié de prévenir les effets nocifs des vibrations transmises à l'ensemble du corps.

Conduite de tracteurs.
Véhicules de combat blindés (par exemple, chars) et véhicules similaires.
Autres véhicules tout-terrain: <ul style="list-style-type: none">• Engins de terrassement: chargeuses, pelles mécaniques, bouteurs, niveleuses, scrapeurs, tombereaux, compacteurs.• Machines forestières.• Equipements de mines et de carrières.• Chariots élévateurs.
Conduite de certains camions (articulés ou non).
Conduite de certains autobus et tramways.
Vol à bord de certains hélicoptères et appareils à voilure fixe.
Certains travaux sur bétonnières.
Conduite de certains véhicules ferroviaires.
Certaines utilisations de navires rapides.
Certaines conditions de conduite de motocyclettes.

Certaines conditions de conduite d'automobiles et de fourgons.
Certaines activités sportives.
Certains autres équipements industriels.

Source: d'après Griffin, 1990.

Lorsqu'un travailleur est assis ou debout sur un plancher ou un siège vibrant. (Véhicules, chariots élévateurs) l'exposition produit des effets sur tout le corps. Les vibrations peuvent être inconfortables, gêner l'exécution des tâches et à la longue entraîner des pathologies. Des enquêtes épidémiologiques démontrent que la combinaison de la position assise prolongée et de l'exposition aux vibrations, augmente le risque de pathologies de colonne vertébrale : le plus souvent lombalgie, sciatique par hernie discale [Helmut Seidel & J. Griffin, 1986]⁴¹.

L'association : exposition de l'ensemble du corps à des vibrations au long cours et port de charge fréquent majore le risque de lombalgie. Cette association est retrouvée dans plusieurs études épidémiologiques portant notamment sur les conducteurs d'engins comme les caristes ou les chauffeurs livreurs. Les augmentations de la durée d'exposition et de l'amplitude vibratoire sont supposées accroître le risque au niveau lombaire, tandis que des périodes de repos devraient le réduire.

III. 3. 2. Les réponses mécaniques du corps aux vibrations (Biodynamique)

Les réponses mécaniques du corps sont souvent utilisées pour décrire la manière dont les vibrations provoquent un mouvement du corps: la transmissibilité et l'impédance.

La transmissibilité indique la fraction des vibrations transmises, par exemple, du siège à la tête. La transmissibilité du corps dépend fortement de la fréquence et de l'axe des vibrations, ainsi que de la posture du corps. Des vibrations verticales du siège provoquent des vibrations de la tête suivant plusieurs axes. Dans le cas d'un mouvement vertical de la tête, la transmissibilité tend à être la plus forte dans la plage de 3 à 10 Hz environ.

⁴¹ Helmut Seidel et Michael J. Griffin., (1986). Les vibrations transmises à l'ensemble du corps, International Archives of Occupational and Environmental Health , vol. 58, no 1, pp. 1-26. Récupéré de <http://www.ilocis.org/fr/documents/ilo050.htm/>

L'impédance mécanique du corps caractérise la force nécessaire pour provoquer un mouvement du corps à chaque fréquence. Bien que l'impédance dépende de la masse du corps, l'impédance verticale du corps humain présente généralement une résonance à 5 Hz environ. L'impédance mécanique du corps humain, y compris cette résonance, influence fortement la manière dont les vibrations sont transmises par les sièges.

III. 3.3. Valeurs limites d'exposition

Règlement grand-ducal (Luxembourgeois) du 6 février 2007/1⁴², et la Directive sur les vibrations (**Directive 2002/44/EC**)⁴³ fixe les valeurs d'exposition aux vibrations à ne pas dépasser pour l'ensemble du corps.

Deux valeurs sont fixées pour une exposition journalière de 8 heures à des vibrations :

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

La valeur d'exposition quotidienne dite « limite » correspond à une A(8) de 1,15 m / s², alors que la valeur d'exposition quotidienne dite « d'action », à laquelle l'employeur doit prendre des mesures pour protéger les travailleurs contre les vibrations **de corps entier**, correspond à 0,5 m / s². Il semblerait donc que les valeurs inférieures à 0,5 m / s² ne présentent pas de risque de maladie des vibrations. Plus l'accélération d'une vibration est élevée, plus le temps d'exposition doit être réduit.

Par 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 chantier⁴⁴ :

⁴²Concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (bruit); et portant modification du règlement grand-ducal du 17 juin 1997 concernant la périodicité des examens médicaux en matière de médecine du travail.

⁴³ **Directive 2002/44/EC** du Parlement européen et du Conseil **du 25 juin 2002** relative aux exigences minimales d'hygiène et de sécurité relatives à l'exposition des employés à des risques résultants d'agents physiques (vibrations) (seizième directive individuelle au sens de l'article 16(1) de la Directive 89/391/EEC) ;

⁴⁴ Cet exemple est non-exhaustif et ces valeurs peuvent varier en fonction des suspensions du siège, du type de roues et de l'état du sol.

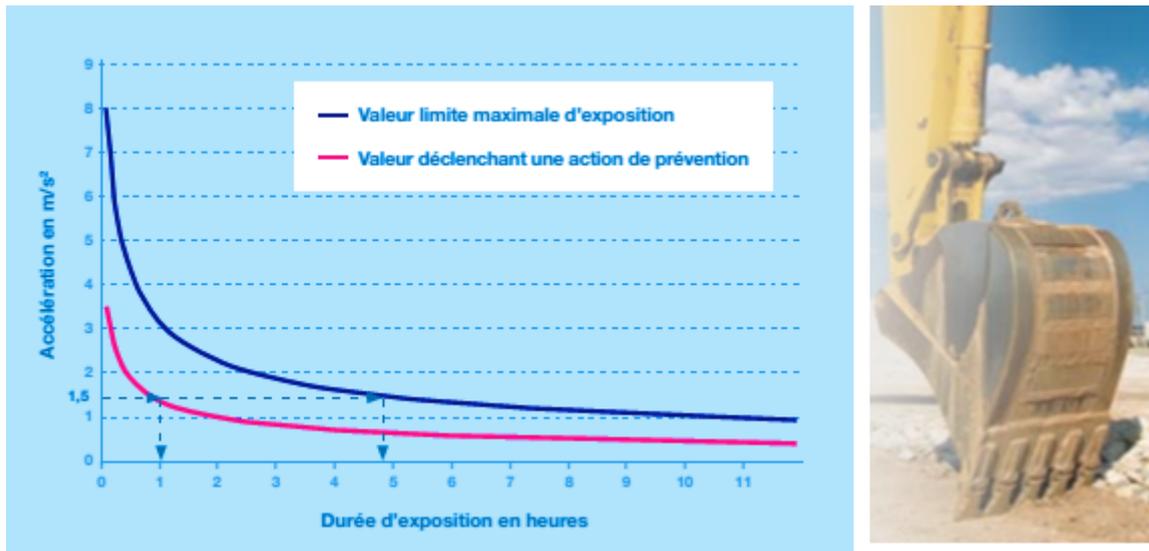


Figure III. 2. *Durée d'exposition en fonction de l'accélération des vibrations l'exemple d'un travailleur conduit une pelle de chantier.*

Exemple montre que :

- 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 et 45 minutes par jour pour ne pas dépasser la valeur limite d'exposition.

III. 4. Les vibrations mécaniques transmises au système mains-bras

III. 4. 1. L'exposition professionnelle

Les vibrations main bras sont provoquées par des vibrations transmises à la main et au bras par la paume et les doigts. Les employés dont les mains sont régulièrement exposées à des vibrations peuvent souffrir de dégradations des tissus de leurs mains et de leurs bras, sources de symptômes connus collectivement sous le nom de syndrome vibratoire mains-bras [Hamilton, 1918]⁴⁵.

⁴⁵ **Hamilton, A., 1918:** A Study of Spastic Anemia in the Hands of Stonecutters , Industrial Accidents and Hygiene Series No. 19. Bulletin No. 236 (Washington, DC, Department of Labor Statistics).

On parle aussi parfois de «**Vibrations du système main-bras**» ou de «**Vibrations locales**». Les opérations ou les machines exposant les mains des opérateurs à des vibrations sont très répandues dans de nombreuses activités industrielles. L'exposition professionnelle aux vibrations main-bras est le fait des machines portatives utilisées dans les industries de transformation (machines à percussion pour le travail des métaux, meuleuses et autres machines rotatives, clés à chocs, etc.), dans les carrières, les mines et les chantiers de construction (par exemple, perforateurs, marteaux-piqueurs, défonceuses, brise-béton, meuleuses portatives), et dans les exploitations agricoles et forestières (tronçonneuses à chaîne, débroussailleuses, écorceuses, etc.). L'opérateur peut aussi subir une exposition aux vibrations main-bras lorsqu'il tient à la main des pièces qui vibrent (meuleuse sur socle) ou des organes de contrôle vibrants comme ceux des tondeuses à gazon ou des machines de compactage.

Des troubles peuvent apparaître, plusieurs mois à plusieurs années après le début de l'exposition.

La relation entre l'exposition professionnelle aux vibrations main-bras et ses effets nocifs est loin d'être simple. Le **tableau III.2** énumère quelques-uns des facteurs les plus importants pouvant contribuer à des lésions des membres supérieurs chez les travailleurs exposés aux vibrations.

Tableau III. 2 : Quelques facteurs susceptibles d'induire des effets nocifs lors de l'exposition aux vibrations main-bras.

Caractéristiques des vibrations :

- Amplitude (valeur efficace, valeur de crête, pondérée/non pondérée).
- Fréquence (distribution spectrale, fréquences).
- Direction (axes x , y , z).

Machines ou processus :

- Conception de la machine (portative, fixe).
- Type de machine (percutante, rotative, roto percutante).
- Fonctionnement.
- Matériau travaillé.

Conditions d'exposition :

- Durée (exposition quotidienne, annuelle).
- Type d'exposition (continue, intermittente, pauses).
- Durée d'exposition cumulée.

Environnement :

- Température ambiante.
- Circulation d'air.
- Humidité.
- Bruit.
- Réponse dynamique du système doigts-main-bras.
- Transmissibilité des vibrations.
- Energie absorbée.

Caractéristiques individuelles :

- Façon de travailler (préhension, poussée, position des mains et des bras, posture).
- Etat de santé.
- Niveau de formation.
- Qualifications.
- Port de gants.
- Prédisposition individuelle aux effets nocifs.

III. 4. 2. Valeurs limites d'exposition

La Directive sur les vibrations (**Directive 2002/44/EC**) fixe des normes minimales pour contrôler les risques liés aux vibrations transmises à la main et au bras.

La Directive sur les vibrations définit un seuil d'action d'exposition au-dessus duquel elle impose aux employeurs de contrôler les risques de vibrations mains-bras chez leurs employés, et une valeur limite d'exposition au-dessus de laquelle les employés ne doivent pas être exposés⁴⁶ :

- Un seuil d'action d'exposition journalier de 2,5 m/s².
- Une valeur limite d'exposition journalière de 5 m/s².

Par exemple :

Un travailleur utilise une perceuse qui génère des vibrations ayant une accélération de 7 m/s².

⁴⁶ Les Etats membres ont le droit (après consultation des partenaires industriels) d'appliquer des périodes de transition à la valeur limite d'exposition pour une période de 5 ans à partir du 6 juillet 2005 (les États membres sont autorisés à prolonger cette période de 4 années supplémentaires pour les machines agricoles et forestières). Ces périodes de transition concernent les machines livrées avant le 6 juillet 2007 pour lesquelles la valeur limite d'exposition ne peut pas être respectée (tenant compte de tous les moyens techniques et organisationnels pour contrôler le risque).

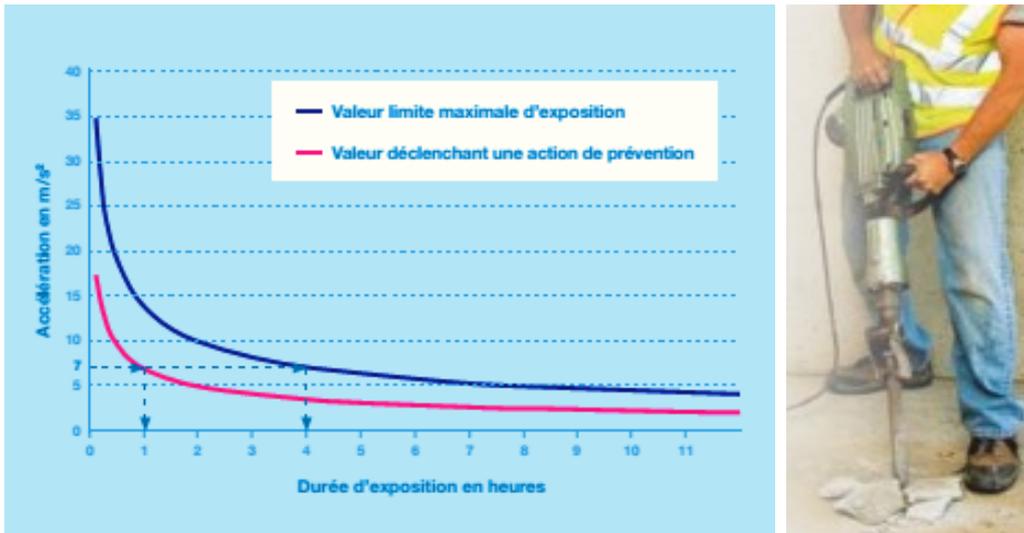


Figure III. 3. *Durée d'exposition en fonction de l'accélération des vibrations l'exemple d'un travailleur utilise une perceuse.*

Exemple montre que⁴⁷ :

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.

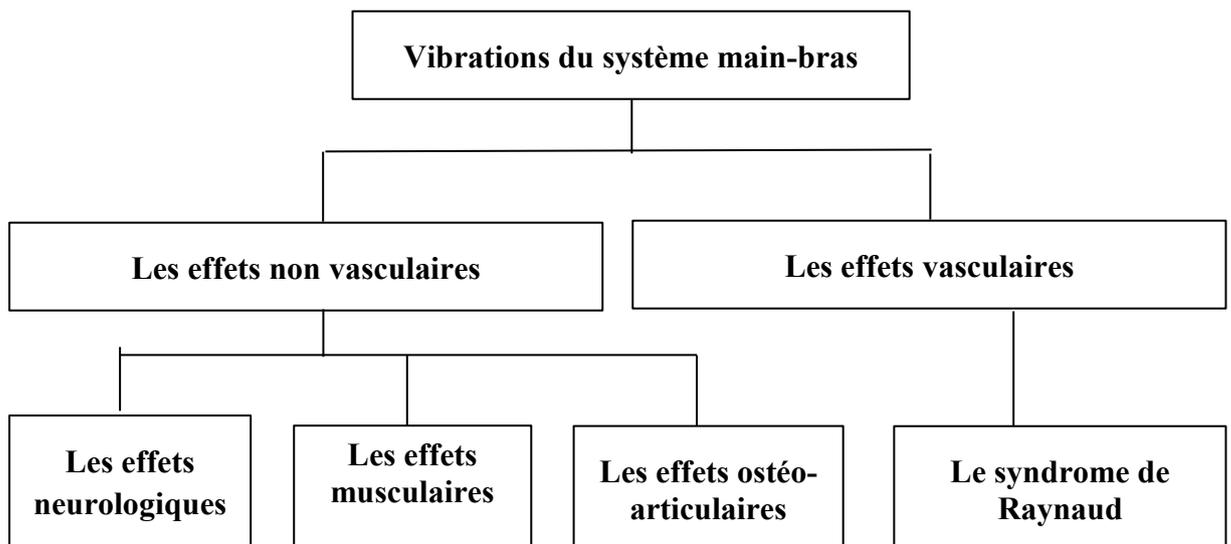


Figure III. 4. *Effets des Vibrations du système main-bras sur la santé.*

⁴⁷ Ces valeurs peuvent varier en fonction du type de matériau usiné et des poignées de la machine.

III. 4. 3. Les effets non vasculaires

Les effets neurologiques : Les travailleurs qui emploient des machines vibrantes peuvent ressentir des picotements et un engourdissement au niveau des doigts et des mains. Si l'exposition aux vibrations ne cesse pas, ces symptômes vont s'aggraver et iront jusqu'à entraver leur capacité de travail et leurs autres activités courantes. Lors des examens cliniques, on peut détecter chez ces travailleurs un relèvement des seuils de sensibilité vibratoire, thermique et tactile. Il a été avancé qu'une exposition continue aux vibrations peut non seulement affaiblir l'excitabilité des récepteurs cutanés, mais également provoquer des modifications pathologiques dans les nerfs digitaux telles qu'un œdème péri-neural, suivi de fibrose et d'une perte de fibres nerveuses.

Les effets musculaires : Les travailleurs exposés aux vibrations se plaignent parfois d'asthénie musculaire et de douleurs dans les mains et les bras. Chez certains sujets, la fatigue musculaire peut être invalidante.

D'autres troubles d'origine professionnelle ont été signalés chez les travailleurs exposés aux vibrations, comme la tendinite. Ces troubles semblent liés aux facteurs de contraintes de nature ergonomique qui accompagnent les travaux manuels pénibles. Leur association avec les vibrations main-bras n'est pas établie.

Les effets ostéo-articulaires : Les troubles de cette nature observés chez les travailleurs exposés aux vibrations de machines portatives n'ont pas un caractère spécifique et sont assimilables à ceux résultant du processus de vieillissement et de travaux manuels pénibles. Ils sont des modifications du squelette au niveau des caractéristiques des mains, des poignets et des coudes peuvent avoir pour origine une exposition prolongée aux vibrations transmises par la main, a été signalée chez les ouvriers affectés à la construction des routes et les métallurgistes exposés aux chocs et aux vibrations de basse fréquence de forte amplitude des machines pneumatiques à percussion ,des tronçonneuses à chaîne ou des meuleuses.

Les troubles osseux et articulaires survenant chez les travailleurs exposés aux vibrations de machines portatives sont considérés comme maladies professionnelles et ouvrent droit à réparation.

III. 4. 4. Les effets vasculaires

Le syndrome de Raynaud : Est le trouble le plus clairement associé à l'exposition à des vibrations, et il y a des données solides à l'appui de l'existence d'un lien entre l'exposition à des vibrations mains-bras et l'apparition de cette pathologie. Le phénomène de Raynaud se manifeste par le blanchiment des doigts lors de l'exposition au froid. Ce blanchiment peut aussi parfois être provoqué par une exposition aiguë à des vibrations au travail [Bernard, 1997]⁴⁸.

L'expression clinique du phénomène de Le syndrome de Raynaud, et présentation de cas de Le syndrome de Raynaud. Nous allons les aborder dans le chapitre IV.

III. 5. Le tableau de Maladies Professionnelle correspondant à cette exposition

Le Tableau N° 68 de maladie professionnelle⁴⁹ : indemnisent Les affections professionnelles provoquées par les vibrations et chocs transmis par certaines machines-outils, outils, et objets par les chocs itératifs du talon de la main sur des éléments fixes :

- **Arthrose du coude :** elle doit comporter des signes radiologiques d'ostéophytoses.
- **Ostéonécrose du semi lunaire :** maladie de Kienböck : Il s'agit d'une nécrose aseptique du semi-lunaire qui se manifeste par une douleur du poignet, une limitation des mouvements d'extension. Une douleur à la palpation de la fossette dorsale du corps. Cette ostéonécrose doit être confirmée par des signes radiologiques.
- **Ostéonécroses du scaphoïde carpien (Maladie de Koehler):** cette atteinte survient lorsqu'il y a des traumatismes répétés de l'éminence thénar. La symptomatologie est assez voisine de celle de la maladie de Kienböck mais avec

⁴⁸ **Bernard BP (ed).** Musculoskeletal disorders and workplace factors. Cincinnati, OH, U.S. Department of Health and Human Services. 1997:5c-1 – 5c-31.

⁴⁹ **Arrêté interministériel** du 17 Dhou El Hidja 1416 correspondant au 5 Mai 1996 fixant la liste des maladies présumées d'origine professionnelle ainsi que ses annexes 1 et 2.

douleur à la palpation de la tabatière anatomique. Cette ostéonécrose doit être confirmée par des signes radiologiques.

- **Troubles angioneurotiques de la main** : Le phénomène de Raynaud. Les vibrations entraînent des troubles au niveau de la microcirculation des extrémités. La couleur des doigts se modifie, s'accompagne de troubles de la sensibilité, ou de sensation de doigts morts. Les doigts deviennent blancs, puis bleus, puis rouges. Le froid est le principal facteur déclenchant des crises. Des épreuves fonctionnelles doivent confirmer le phénomène de Raynaud pour la reconnaissance en maladie professionnelle.

Pour ces pathologies, le délai de prise en charge est de 6 mois, c'est-à-dire que 6 mois au maximum doivent s'être écoulés entre le moment où la personne a cessé d'être exposée aux vibrations et la constatation médicale de la pathologie. Le salarié doit avoir été exposé au moins 5 ans aux vibrations pour pouvoir prétendre à une indemnisation, en effet le tableau mentionne au durée d'exposition de 5 ans.

La liste des travaux susceptibles de provoquer ces pathologies est limitative, ce qui signifie que le travail effectué par le salarié doit figurer dans cette liste pour pouvoir prétendre à une reconnaissance au titre d'une maladie professionnelle. Cependant, dans tous les cas, si une condition du tableau n'est pas remplie, (délai de prise en charge, temps d'exposition, travail effectué), il est possible d'effectuer une déclaration et la commission des maladies professionnelles⁵⁰ sera alors saisi.

III. 6. Conclusion

L'objectif principal de ce chapitre était d'identifier les effets des vibrations liées à l'exposition à des vibrations sur les lieux du travail, et les deux catégories de l'exposition selon le point d'application : vibrations du corps entier et vibrations segmentaires. Pour ces dernières, on entend des vibrations transmises à des parties spécifiques du corps, par exemple les mains, par des outils vibrants. Comme présentées dans ce chapitre, Le tableau de Maladie Professionnelle correspondant à cette exposition.

⁵⁰Loi N° 83-13 du 2 juillet 1983 relative aux accidents du travail et aux maladies professionnelles Titre IV: Maladies professionnelles, Art 66, La commission des maladies professionnelles dont la composition fixée par Arrêté interministériel du 10 Dhou El Kaada 1415 correspondant au 10 avril 1995, Art.1.

Chapitre IV :

Le Syndromes De Raynaud Dans Le Milieu Professionnel.

IV. 1. Introduction

La pathologie des vibrations transmises aux membres supérieurs est présentée par le syndrome de Raynaud, des atteintes ostéoarticulaires et neurologiques. Les risques dépendent de la dose, en relation avec la durée d'exposition (journalière et cumulée) et l'intensité des vibrations.

Le syndrome de Raynaud ou des doigts morts est l'atteinte la plus typique. Son apparition est plus probable en présence de facteurs déclenchant comme le froid ambiant ou l'outil.

Ce chapitre est illustrée une description détaillée du phénomène de Raynaud, l'expression clinique du phénomène, et présentation d'une étude qui fait niveau de service de médecine du travail, CHU Oran.

IV. 2. Description du phénomène de Raynaud

IV. 2. 1. L'origine de l'expression « phénomène de Raynaud »

L'origine de l'expression « Phénomène de Raynaud » remonte à plus d'un siècle. Le groupe de symptômes depuis longtemps observés et décrits a été rapporté pour la première fois en 1862 par Maurice Raynaud (1834-1881). Son objectif était de donner un nom nouveau à ce groupe de symptômes et de décrire une maladie nouvelle [Devulder et al, 2003]⁵¹.

⁵¹ **Devulder B.** : « Médecine vasculaire », Masson, Paris, 2003, 278-279, Récupéré de

http://www.medarus.org/Medecins/MedecinsTextes/raynaud_maurice.htm/ consulté le 24/04/2016.

En 1932, Allen et Brown, deux scientifiques, ont distingué à partir de critères cliniques qui décrite par Raynaud, de l'acrosyndrome⁵² vasculaire résultant d'un spasme des artères au froid qui est réversible. C'est ce dernier qui qualifie aujourd'hui le phénomène de Raynaud [Sprynger, 2004]⁵³.

Par ailleurs, Allen et Brown sont les premiers à différencier une forme primitive et secondaire du phénomène de Raynaud, appelée maladie de Raynaud pour la première et syndrome de Raynaud pour la seconde.

La relation entre phénomène de Raynaud et machines vibrantes a été remarquée pour la première fois en 1911 par Giovanni Loriga, en Italie chez des tailleurs de pierre utilisant des marteaux piqueurs. C'est lors du congrès international de Londres en 2011⁵⁴ que le syndrome des vibrations a été défini comme : *“L'ensemble des manifestations périphériques associant perturbations circulatoires (syndrome des doigts blancs), sensibles (engourdissement ou perte de la dextérité digitale), et musculo-squelettiques (manifestations musculaires ou osseuses ou articulaires) associées à la manipulation de machines vibrantes”* [Pierre, 2002]⁵⁵.

IV. 2.2. La définition du phénomène

Le phénomène de Raynaud, parfois appelé maladie ou syndrome de Raynaud, est un trouble de la circulation sanguine au niveau des doigts et des orteils qui est aggravé par le froid. En effet, le froid produit une réduction anormale de la circulation sanguine, ce qui donne à la peau un aspect pâle, cireux ou bleuté que l'on observe facilement dans les doigts, delà le nom de blanchiment des doigts, doigt cireux ou doigt mort parfois donné à cette affection.

⁵² **Ce terme est générique.** Il regroupe différentes pathologies comme la maladie de Raynaud, qui touchent principalement les extrémités des doigts des mains et des pieds. Mais qui peuvent occasionnellement être observées sur d'autres parties du corps. Récupéré de <http://www.vulgaris-medical.com/encyclopedie-medicale/acrosyndrome/> consulté le 17/05/2016.

⁵³ **Sprynger M.** : « Le phénomène de Raynaud », Revue médicale de Liège, 2004, 59(6), 378-379.

⁵⁴ **Dans 12^e Conférence internationale « Effets sur l'homme des vibrations transmises par les machines tenues ou guidées à la main »**, cette conférence a rassemblé à Ottawa (Canada) en Juin 2011.

⁵⁵ **Pierre Yves Hatron.**, Phénomène de Raynaud d'origine professionnelle et iatrogène. Le Courrier de Médecine Vasculaire (2), N° 1, janvier/février/mars 2002.

Parmi les nombreuses causes du phénomène de Raynaud, certaines sont liées à l'exposition professionnelle. Bien qu'il soit ordinairement associé au syndrome des vibrations mains-bras lorsqu'il s'agit d'une exposition en milieu de travail, ce phénomène est également observé dans d'autres cas de maladie professionnelle⁵⁶.

Il est important de connaître les signes et symptômes du phénomène de Raynaud et les aspects du travail qui peuvent être à leur origine. C'est ainsi que l'on pourra prévenir la maladie ou l'empêcher de s'aggraver. Si cette affection n'est pas décelée à ses premiers stades, elle peut entraîner une détérioration permanente de la circulation dans les doigts.

IV. 2. 3. les causes du phénomène de Raynaud

Ce problème touche davantage de femmes que d'hommes et certaines personnes sont affectées sans raison précise : on parle de phénomène de **Raynaud primitif**, de maladie de Raynaud ou simplement de syndrome du doigt mort. Cet état se manifeste ordinairement avec la même intensité dans les deux mains (**Photo IV. 1 a/b**).



Photo IV. 1/a



Photo IV. 1/b

⁵⁶ Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail (CCHST), Récupéré de <http://www.cchst.com/oshanswers/diseases/raynaud.html> consulté le 30/11/2015.

Une maladie existante telle que la sclérodermie⁵⁷ ou une blessure est parfois à l'origine du phénomène de Raynaud. Il est alors question de phénomène de **Raynaud secondaire** (Photo IV. 2 a/b).



Photo IV. 1/a

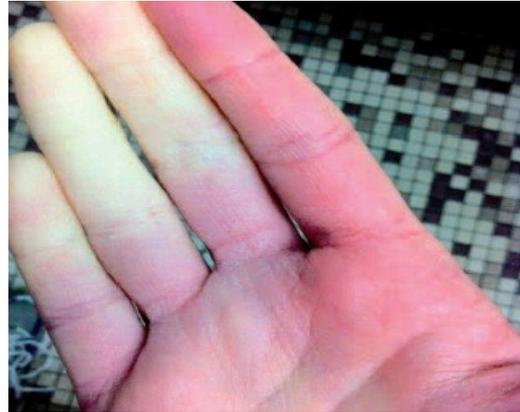


Photo IV. 1/b

Le travail comporte divers aspects capables d'occasionner le phénomène de Raynaud secondaire. Ce sont les vibrations produites par les outils mécaniques qui présentent le plus grand risque. Les outils mécaniques portatifs, notamment les scies à chaîne, les marteaux perforateurs pneumatiques, les perforatrices de roches et les marteaux-piqueurs peuvent causer une maladie appelée syndrome des vibrations mains-bras ou encore doigt mort ou phénomène de Raynaud d'origine professionnelle. Le phénomène de Raynaud ne constitue en fait qu'un aspect du syndrome des vibrations mains-bras, et les vibrations peuvent également entraîner diverses affections des nerfs, des muscles, des os et des articulations de la main et du bras.

Quelques études ont indiqué que le phénomène de Raynaud pouvait être occasionné par le maintien d'une prise trop serrée sur un outil. Ici et là, des études ont mentionné l'apparition du phénomène de Raynaud chez des travailleurs qui s'étaient endommagés les mains en utilisant un marteau et en poussant ou en tournant un objet lourd⁵⁸.

⁵⁷ Selon l'Association Sclérodermie de France, La sclérodermie est une affection rare qui se traduit par des lésions de fibrose vasculaire. Récupéré de <http://www.association-sclerodermie.fr/la-maladie/symptomatologie.html/> consulté le 17/05/2015.

⁵⁸ Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail (CCHST).

IV. 3. L'expression clinique du phénomène

IV. 3.1. Les signes et symptômes du phénomène de Raynaud

L'état des travailleurs atteints du phénomène de Raynaud s'aggrave si l'exposition professionnelle aux facteurs qui en sont responsables se prolonge. Les accès deviennent plus sévères et plus fréquents à mesure que la maladie progresse. C'est pourquoi il est extrêmement important de reconnaître les signes et les symptômes aussitôt qu'ils apparaissent.

- Légère perte de sensibilité ou engourdissement dans les doigts, les orteils;
- Perte de la couleur normale des doigts, ordinairement à l'exclusion du pouce;
- Peau bleutée avec sensation de froid et d'engourdissement.

Ainsi l'ensemble de ces manifestations affecte à la fois la circulation sanguine, les nerfs, les os, les articulations, les muscles et les tissus de la main ou des membres supérieurs.

Cependant, le phénomène de Raynaud est la manifestation la plus typique de ce syndrome. Généralement, le blanchissement débute à la phalange distale des doigts exposés aux vibrations et progresse jusqu'à leur base selon l'exposition aux vibrations. Le trouble est surtout localisé aux trois doigts médians, le pouce étant épargné dans la majorité des cas. Cependant, la manière dont la machine est tenue influence la clinique, et peut entraîner l'atteinte préférentielle de certains doigts [Hatron et al, 1998]⁵⁹.

⁵⁹ Hatron P-Y, Frimat P., Hachulla E.: « Phénomène de Raynaud d'origine professionnelle », La Revue du praticien, 1998, 48(15), 1653-1658.

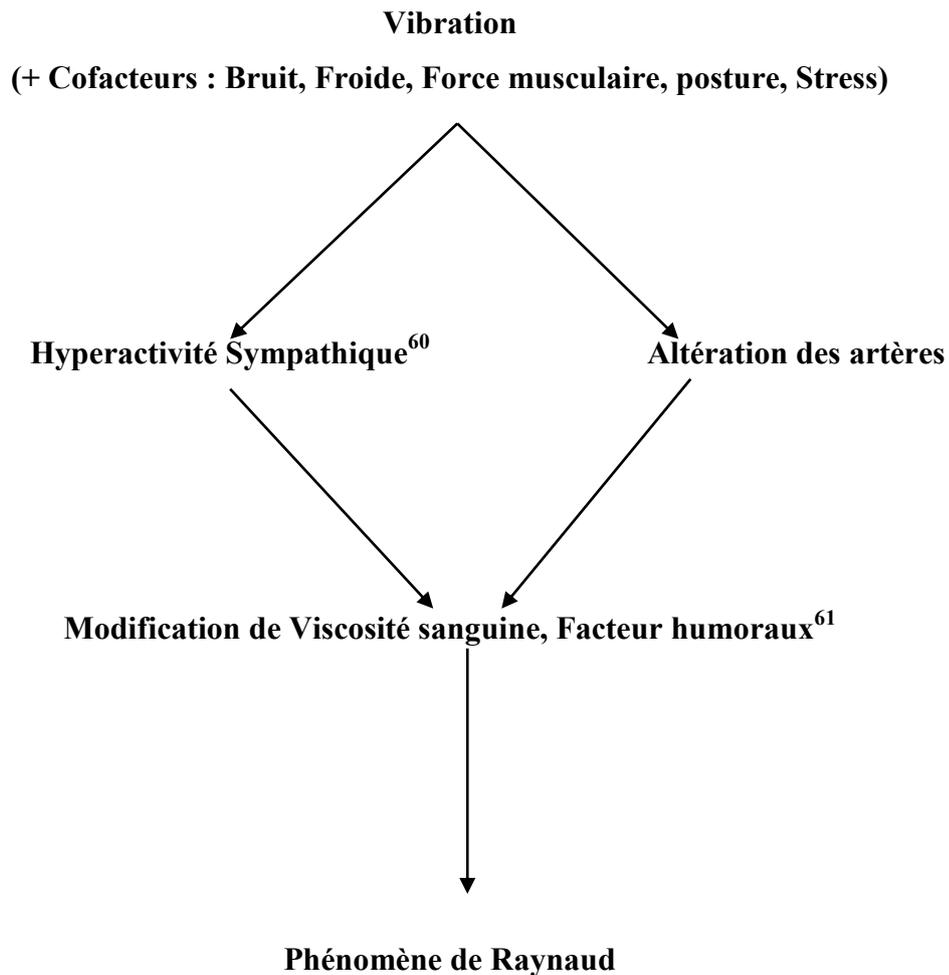


Figure IV. 1 Hypothèses sur les mécanismes du phénomène de Raynaud⁶².

L'échelle de Stockholm est souvent utilisée pour qualifier l'état pathologique provoqué par les vibrations.

Tableau IV. 1 : Classification des signes fonctionnels des symptômes vasculaires observés dans le syndrome des vibrations (Syndrome de Raynaud). Atelier de Stockholm 1987.

⁶⁰ Correspondant à la mise en état d'alerte de l'organisme, et à la préparation à l'activité physique et intellectuelle. Récupéré de <http://www.vulgaris-medical.com/encyclopedie-medicale/systeme-nerveux-sympathique/> consulté le 19/05/2016.

⁶¹ Selon Larousse médical, [...] Ensemble des facteurs génétiques, physiologiques, tissulaires ou humoraux qui, chez un individu, favorisent la survenue d'une maladie ou en conditionnent le pronostic. [...]

⁶² Rezk-kallah B., Djellouli M., Goudjil D., Kazi Tani M., Mohammed B., Communication, Intérêt dans le diagnostic du syndrome digital des vibrations, Service de Médecine du travail, CHU Oran, Sidi Fradj, 2-4 Juin 1998.

Stade	Degré	Description
0	(aucun)	<ul style="list-style-type: none"> • Pas d'attaque.
1	Discret	<ul style="list-style-type: none"> • Attaques occasionnelles affectant uniquement l'extrémité d'un ou de plusieurs doigts.
2	Modéré	<ul style="list-style-type: none"> • Attaques occasionnelles affectant l'extrémité et la phalange médiane et, dans de rares cas, la phalange près de la paume d'un ou de plusieurs doigts.
3	Sévère	<ul style="list-style-type: none"> • Attaques fréquentes affectant les phalanges de la plupart des doigts.
4	Très sévère	<ul style="list-style-type: none"> • Mêmes symptômes qu'au stade 3, avec troubles trophiques cutanés des extrémités digitales.

Tableau IV. 2 : Classification des signes fonctionnels de l'atteinte sensitive neurologique des doigts associée au syndrome des vibrations mains-bras (Syndrome de Raynaud). Atelier de Stockholm 1987.

Stade	Symptômes
OSN	<ul style="list-style-type: none"> • Exposition aux vibrations, mais aucun symptôme.
1SN	<ul style="list-style-type: none"> • Engourdissement intermittent, avec ou sans fourmillement.
2SN	<ul style="list-style-type: none"> • Engourdissement intermittent ou persistant, avec perception sensorielle réduite.
3SN	<ul style="list-style-type: none"> • Engourdissement intermittent ou persistant, avec réduction de la discrimination tactile et/ou de la dextérité manuelle.

Source: Scandinavian Journal of Work, Environment and Health⁶³.

⁶³ « Scandinavian Journal of Work, Environment and Health ». Gemne, G., et coll. Vol. 13, N° 4 (1987), pp. 275 278.

Elle distingue à la fois les troubles vasculaires et les risques de neuropathie permettant le classement du phénomène de Raynaud induit par les vibrations en quatre stades symptomatiques. Le stade est déterminé séparément pour chaque main, en fonction de la fréquence des crises, du nombre de doigts atteints et de la topographie de l'atteinte. Le degré de l'atteinte est indiqué par le type d'atteinte des deux mains (G=gauche et D=droite) ainsi que le nombre de doigts affectés pour chaque main.

IV. 3. 2. Le temps de latence du syndrome de Raynaud

Le délai qui s'écoule entre le début de l'exposition aux conditions néfastes et l'apparition du phénomène de Raynaud s'appelle période de latence. La longueur de cette période varie selon le genre de facteur en cause, la durée de l'exposition et la sensibilité personnelle de chaque travailleur.

Dans le cas d'une exposition à des vibrations, la période de latence peut être de seulement un an. En général, la période de latence est plus courte lorsque l'exposition est intense.

Chez les groupes de travailleurs où la période de latence est courte, il semble y avoir une incidence plus élevée du phénomène de Raynaud et celui-ci semble évoluer plus rapidement.

IV. 3. 3. Les travailleurs qui risquent d'être atteints du phénomène de Raynaud

Le phénomène de Raynaud touche principalement les travailleurs qui utilisent des outils ou des appareils vibrants comme les perforatrices pneumatiques, les marteaux perforateurs pneumatiques, les perforatrices de roches, les riveteuses, les clés à chocs, les brise-béton, les scies à chaîne fonctionnant à l'essence, les outils électriques et les meuleuses, particulièrement les meuleuses sur socle. Tous les outils ou les équipements vibrants qui déclenchent un picotement ou un engourdissement dans les doigts après 5 minutes d'utilisation continue peuvent entraîner le phénomène de Raynaud. Cette affection apparaît parfois chez les dactylographes et les pianistes de profession qui déploient des efforts soutenus avec les doigts.

IV. 4. Le diagnostic du syndrome de Raynaud

Il n'existe actuellement aucun examen normalisé, et la documentation fait état de techniques d'examen variées, notamment sur le plan de la température

L'expérience de de deux tests fonctionnels simple utilisée dans la reconnaissance des troubles déclarables au titre du **tableau N° 68 des maladies professionnelles** « Affection professionnelles provoquées par les vibrations et chocs transmis par certains machines, outils et objet ».

La thermométrie des artères a un intérêt dans le diagnostic du syndrome de Raynaud en milieu de travail.

La démarche est illustrée à travers quelques cas observés en consultation de pathologie professionnelle chez lesquels on trouve un retard dans le rétablissement de la température des artères d'origine.

Le diagnostic est réalisé au niveau de Service de médecine du travail, CHC Oran.

IV. 4.1. Protocoles

- **04 ouvriers** dont l'âge se situe entre 38 et 50 ans, exposés aux outils vibrants depuis plus de 10 ans et dont l'exposition effective quotidienne varie entre 1h et 4h, sans antécédents particuliers ont fait l'objet d'une exploration fonctionnelle : Thermométrie cutanée⁶⁴ et vibramétrie.
- Les examens est mesurent le rétablissement de la température des doigts comprennent notamment la thermométrie, et de la durée de l'immersion dans l'eau froide et du moment où les mesures sont prises après la stimulation par le froid.

⁶⁴ **Progrès en dermato-allergologie: Lyon, 1999**, [...] Appareil de thermométrie cutanée ont été utilisés dans de multiples affection, surtout en cas de trouble de la vascularisation, mais pas couramment à notre connaissance pour interpréter des tests cutanés [...].

IV. 4. 2. Thermométrie cutanée des artères

- Enregistrement de la température des artères à l'aide de thermocouples fixée aux pulpes digital ;
- Réalisation de l'épreuve en température ambiante du local entre 24°C et 25°C ;
- Mesures avant et après immersion des mains dans l'eau froide à 8°C pendant 5 min.
- Epreuve positive : retour à la température initiale > 30 min.

IV. 4. 3. Résultats cliniques associés à l'utilisation d'outils vibrants

Les paramètres principaux liés au test qui influencent les résultats sont la température de référence au départ du test, la vitesse d'élévation ou de diminution de la température, la température cutanée et la localisation précise de la source thermique sur l'extrémité du doigt.

Ce test a surtout été utilisé par certains travailleurs en milieu professionnel pour des sujets exposés aux Vibration de système main-bras. Les résultats principaux rapportés dans la sont les suivants: suite à une exposition de courte durée aux vibrations de sujets sains, le seuil au chaud augmente mais pas celui au froid, la zone neutre augmentant fort logiquement. Par contre, en cas d'atteinte sévère (stade 3N, échelle de Stockholm) liée à une exposition de longue durée (années) aux vibrations, le seuil au froid est également modifié (diminution).

Tableau IV. 3 : Les résultats de Thermométrie.

N°	Age Ans	Outil vibrant	Ancien	T° ₀ C°		T° ₁ C°		TRCP ⁶⁵ min	
				D	G	D	G	D	G
01	38	Marteau piqueur	12	24.9 ± 0.6	25.1 ± 0.5	13.1 ± 0.3	14.3 ± 1.1	54	54
02	45	Meule	20	29.3 ± 0.2	27.7 ± 0.6	15.6 ± 0.2	15.9 ± 1.2	11	22
03	50	Meule	17	26.3 ± 0.3	25.1 ± 0.6	16.6 ± 0.5	16.8 ± 0.9	40	38
04	49	Meule	24	30.1 ± 0.3	29.9 ± 0.4	18.5 ± 0.9	19 ± 0.7	34	34

Détermination des seuils de perception vibratoire (méthodologie) : Le seuil de perception des vibrations a été évalué à l'aide d'un **Vibrameter type IV**⁶⁶. Le stimulateur électromagnétique appliqué sur les os du carpe est à l'origine d'un stimuli vibratoire de fréquence 100/120 Hz. L'amplitude de vibration (pic à pic) déterminée avec exactitude sur le site d'enregistrement correspond à la première sensation perçue par le patient. On recherche en fonction des besoins aussi bien le seuil de perception que le seuil de disparition des vibrations ou les deux à la fois (pour réduire l'erreur liée à la partie

⁶⁵ TRCP : Temps de récupération.

⁶⁶ [...] Le **Vibrameter type IV** détermine le stimulus nécessaire pour provoquer la sensation de vibration. Ceci est facilement réalisé sur la plupart des patients, et un contrôle de routine avec le Vibrameter peut révéler les premiers signes d'une maladie neurologique. La découverte précoce de la maladie et le début du traitement le plus tôt possible peut permettre un degré accru de façon spectaculaire succès dans le traitement ultérieur [...]. Récupéré de <http://www.sbmedic.se/en/products/vibrameter.html> consulté le 26/05/2016.

subjective de l'examen). La détermination des seuils de perception des vibrations s'est faite selon un protocole standardisé :

- Détection du seuil de perception des vibrations (VPT).
- Détection du seuil de disparition des vibrations (VDT).

Détermination de la valeur du seuil de perception (VT : vibration threshold) représentée par la moyenne entre le seuil de perception (perception threshold : VPT) et le seuil de disparition (disappearance threshold : VDT).

Tableau IV. 4 : Les résultats de Vibramétrie.

N°	Age Ans	Outil vibrant	Ancien	Seuils de perception (VT)		Résultats
				D	G	
01	38	Marteau piqueur	12	0.70	0.89	Limite
02	45	Meule	20	1.40	1.78	Seuils très élevés
03	50	Meule	17	1.76	3.28	Seuils très élevés
04	49	Meule	24	1.32	1.57	Seuils très élevés

IV. 4.4. Synthèse des observations

Tableau IV. 5 : Synthèse des observations.

N°	Age Ans	Outil vibrant	Ancien	Exp/Jr	Symptômes	Résultats	Classification de (Stockholm)	
							Vasc	Neuro
01	38	Marteau piqueur	12	4h	engourdissement	Limite	1D	1SN
02	45	Meule	20	1h	Acroparesthésie ⁶⁷	Seuils très élevés	2M	1SN
03	50	Meule	17	2h	Paresthésie diurnes gauches	Seuils très élevés	3M	1SN
04	49	Meule	24	2h	Pâleur	Seuils très élevés	2M	0SN

IV. 4.5. Discussion

- En remarque que l'évolution de température des pulpes des doigts après un test d'immersion à l'eau froide (8°C) chez un sujet de 38 ans utilisant le marteau-piqueur et présentant un phénomène de Raynaud.

⁶⁷ [...] L'**acroparesthésie** est le terme médical utilisé pour désigner la présence de fourmillements dans les doigts et les orteils, et souvent accompagnée de douleurs intenses du bras. Elles peuvent être unilatérales ou bilatérales [...]. Récupéré de <http://www.vulgaris-medical.com/encyclopedie-medicale/acroparesthesie/> Consulté le 23/05/2016.

- L'analyse statistique des valeurs des seuils de perception des vibrations déterminées au niveau de l'index de la main droite et de la main gauche ne montre aucune élévation pathologique chez les exposés (2, 3 et 4). Il n'existait aucune différence statistiquement significative entre la moyenne des seuils de perception des vibrations chez les exposés.
- Discussion Cette étude a permis de montrer une différence significative aux résultats de l'exploration des seuils de perception des membres supérieurs entre les travailleurs exposée de façon chronique à de faibles doses et les travailleurs exposée de façon chronique à de dose élevée.
- Cette étude ne révèle donc pas une altération de la perception sensorielle de vibrations chez les travailleurs exposés aux vibrations depuis 20.3 ans et âgés en moyenne de 48 ans comparativement au travailleur qui exposé a marteau piqueur depuis 12 ans et âge de 38ans.
- On observe une réduction de sensibilité de température chez le travailleur de marteau piquer comparativement à les travailleurs qui exposés de meule.
- Le phénomène de Raynaud apparaît après une durée d'exposition variable : mois ou année en fonction de facteurs individuels et de la dose de vibrations reçues. Il est localisé aux membres supérieurs, prédominant du côté portant la machine vibrante. Le pouce n'est concerné que dans les formes évoluées. Les crises sont déclenchées par le froid et l'humidité, mais également par d'autres facteurs : le stress et notamment sonore, la posture et en particulier le travail en hauteur, le poids de la machine et la force d'étreinte nécessaire à la préhension. La sévérité de la maladie est reliée à la dose totale de vibrations reçues.

IV. 5. Conclusion

Le phénomène de Raynaud ne représente pas un risque majeur de santé ; en effet, il s'agit d'une affection bénigne dans la majorité des cas. Mais il est à l'origine d'une gêne parfois invalidante dans la vie professionnelle ou sociale. Le froid est le principal responsable du déclenchement des crises. C'est pourquoi cette affection est rare en Algérie.

Pour poser un diagnostic de phénomène de Raynaud, il faut des antécédents de blanchiment d'un ou de plusieurs doigts provoqué par l'exposition au froid, ce qui semble assez simple. Cependant, les travailleurs peuvent parfois avoir de la difficulté à décrire la présence de blanchiment des doigts et sa distribution. Ils font parfois remarquer qu'ils regardent rarement leurs mains lorsqu'elles sont exposées au froid, et ils ne peuvent donc pas fournir de bons antécédents médicaux au sujet de ce critère clé d'évaluation. Des examens objectifs sont donc utiles, particulièrement dans un contexte d'indemnisation.

Différents examens ont été utilisés pour tenter de mesurer les anomalies causées par l'exposition aux vibrations de la maladie de Raynaud. Les principaux examens font intervenir la mesure :

- a) Détermination des seuils de perception vibratoire.
- b) Rétablissement de la température des doigts après une immersion dans l'eau froide.
Les principaux examens qui mesurent le rétablissement de la température des doigts comprennent notamment la thermométrie (grâce à des thermocouples des doigts) ou la thermographie (grâce à une caméra à infrarouges).

Il n'existe actuellement aucun examen normalisé, et la documentation fait état de techniques d'examen variées, notamment sur le plan de la température, de la durée de l'immersion dans l'eau froide et du moment où les mesures sont prises après la stimulation par le froid. Peu importe la méthode utilisée, l'examen devrait être conçu adéquatement en incluant des mesures relevées chez des patients atteints de la maladie des vibrations, des contrôles et un point déterminant clairement le moment où un résultat est jugé positif afin de rendre l'examen opérationnel en présentant la meilleure combinaison de sensibilité et de spécificité pour l'utilisation à laquelle il est destiné. Les examens utilisés pour le dépistage exigent une grande sensibilité alors que les examens diagnostics exigent une grande spécificité.

Chapitre V :

Le Processus De La Démarche De Prévention.

V. 1. Introduction

La prévention des risques professionnels passe par une démarche intégrée articulant les activités de prévention primaire, secondaire et tertiaire. Alors que les préventions secondaire et tertiaire portent sur le dépistage, La reconnaissance, le traitement et la surveillance d'effets sur la santé, la prévention primaire s'intéresse à l'environnement du travailleur de façon à réduire le niveau d'exposition, donc le risque à la santé. Avant de décrire les diverses activités de prévention. Cette section aborde en première le cadre organisationnel des services de santé au travail dans lequel elles s'inscrivent.

Le but de présent ce chapitre est d'effectuer une démarche de prévention contre l'exposition de vibrations dans le milieu de travail.

Dans les chapitres précédents nous évaluons et déterminons les risques résultant d'une exposition à des vibrations. Le but de présent ce chapitre est d'effectuer une démarche de prévention.

Ce chapitre sur l'évaluation des risques liés à l'exposition aux vibrations transmises à la main et au bras, la détermination de contrôles pour éliminer ou réduire l'exposition, et l'application de méthodes pour empêcher le développement et la progression de pathologies.

V. 2. Evaluation des risques vibrations

L'objectif de l'évaluation des risques liés aux vibrations transmises à l'ensemble du corps est de permettre à l'entreprise de prendre des décisions efficaces pour empêcher ou maîtriser correctement l'exposition vibratoire. Le plus souvent,

l'évaluation pourra se faire sans avoir besoin de réaliser ou d'avoir des connaissances détaillées sur l'évaluation des expositions⁶⁸ (l'annexe A).

Les étapes de l'évaluation des risques sont :

- L'identification des risques,
- L'évaluation de l'exposition vibratoire quotidienne **A(8)** et la comparaison aux valeurs seuils fixées par les normes.

V. 2. 1. Identification des risques

Le point de départ de l'évaluation des risques consiste à identifier les machines mobiles (engins de chantier, forestiers, agricoles, véhicules industriels...) et les équipements (Concasseurs, plateformes vibrants à béton par exemple) exposant les travailleurs à des vibrations globales du corps.

Dans le **tableau V. 1** exemple de List les questions principales qui doit se poser l'employeur pour identifier les risques vibratoires dans son entreprise.

Utilisez-vous des machines rotatives (par ex. meuleuse, polisseuse)?

Certaines machines rotatives peuvent dépasser le seuil d'action d'exposition en l'espace d'une demi-heure environ, et il vous faudra certainement prendre des mesures si certains employés les utilisent pendant plus de deux heures par jour.

Utilisez-vous des machines à impact ou à percussion (par ex. marteau à percussion)?

Avec les machines à impact ou à percussion, les niveaux de vibrations sont généralement beaucoup plus élevés qu'avec les machines rotatives. Certains marteaux à percussion peuvent dépasser le seuil d'action d'exposition en quelques minutes seulement, et il vous faudra certainement prendre des mesures si certains employés les utilisent pendant plus d'une demi-heure par jour.

⁶⁸ CEN/TR 15350 **Vibrations mécaniques** — Guide pour l'évaluation de l'exposition à des vibrations transmises par les mains à partir de données disponibles, notamment celles fournies par les fabricants de machines, Comité Européen de Normalisation (1995).

Les fabricants ou fournisseurs de vos machines mettent-ils en garde contre les risques de vibrations ?

Si vous utilisez des machines portatives qui exposent l'utilisateur à un risque de pathologie vibratoire, le fabricant doit vous mettre en garde dans le manuel.

Certaines machines vibrantes provoquent-elles un fourmillement ou un engourdissement dans les mains pendant ou après l'utilisation ?

Des fourmillements ou des engourdissements des mains peuvent apparaître pendant ou après l'utilisation d'une machine et constituent le signe d'un risque de vibration main-bras en cas d'utilisation prolongée de cette machine.

Des employés exposés aux vibrations se sont-ils déjà plaints de symptômes correspondant au syndrome de vibrations main-bras ?

En cas de signes du syndrome de vibrations mains-bras, les expositions aux vibrations doivent être gérées. Si les symptômes sont liés à des expositions inférieures au seuil d'action, ils peuvent signaler des employés particulièrement sensibles aux risques de vibrations mains-bras.

Source: Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles⁶⁹.

V. 2.2. Évaluation de l'exposition quotidienne

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 pour chaque poste de travail, la valeur de ces deux grandeurs et d'en déduire par calcul la valeur

⁶⁹ Edition INRS ED 6018, 2^{ème} édition (2012), réimpression mars 2014.

de l'exposition quotidienne **A(8)**. Les valeurs d'exposition déterminées sont à comparer aux valeurs d'action et limite fixées par la directive ⁷⁰.

Les vibrations transmises à l'ensemble du corps devraient être mesurées à l'interface entre le corps et la source des vibrations. Pour les personnes assises, on place les accéléromètres sur la surface du siège, sous les tubérosités ischiatiques des sujets. On mesure parfois également les vibrations au niveau du dossier du siège (entre le dos et le dossier), ainsi qu'aux pieds et aux mains (**Figure V. 1**).

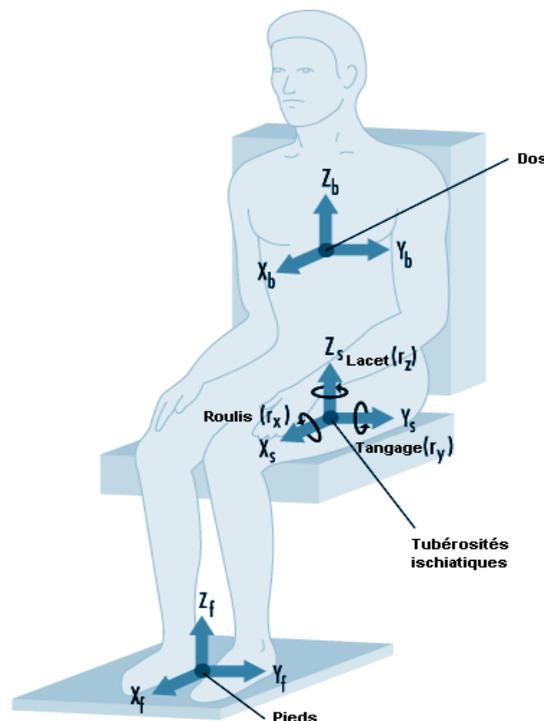


Figure V. 1 Axes de mesure des expositions aux vibrations de personnes assises.

L'évaluation des vibrations mesurées d'après les normes en vigueur, il est recommandé de considérer la fréquence et les amplitudes suivant les différents axes et les autres caractéristiques de l'exposition, y compris les durées d'exposition quotidienne et sur la vie entière. La présence d'autres facteurs défavorables, notamment une posture assise, devrait être également prise en compte.

⁷⁰ Directive 2002/44/EC du Parlement européen et du Conseil du 25 juin 2002 relative aux exigences minimales d'hygiène et de sécurité relatives à l'exposition des employés à des risques résultants d'agents physiques (vibrations) (seizième directive individuelle au sens de l'article 16(1) de la Directive 89/391/EEC),

Dans la norme ISO 5349⁷¹, l'exposition quotidienne aux vibrations est exprimée en termes d'accélération continue équivalente pondérée en fréquence pour une période de 8 heures [$(a_{h,w})_{eq(8)}$ en m/s^2 efficace], selon l'équation suivante:

$$A(8) = (a_{h,w})_{eq(8)} = (T/8)^{1/2} (a_{h,w})_{eq(T)}$$

où T est la durée d'exposition quotidienne en heures et $(a_{h,w})_{eq(T)}$ l'accélération continue équivalente pondérée en fréquence pour cette durée T . La norme indique comment calculer $(a_{h,w})_{eq(T)}$ lorsqu'une journée de travail représentative comporte plusieurs expositions de différentes amplitudes et durées. L'annexe A de la norme ISO 5349⁷² (qui ne fait pas partie de la norme elle-même) propose une relation dose-effet entre $(a_{h,w})_{eq(8)}$ et le syndrome de Raynaud qui peut être exprimé de manière approchée par l'équation:

$$C = [(a_{h,w})_{eq(8)} T_F/95]^2 \times 100$$

où C est le centile des travailleurs exposés chez lesquels on s'attend à trouver des troubles vasculaires (il varie de 10 à 50%) et T_F le temps de latence en années qui sépare le début de l'exposition régulière aux vibrations de l'apparition du «doigt mort» chez les travailleurs affectés (ce temps varie de 1 à 25 ans). La direction dominante de la vibration au niveau de la main sert à calculer $(a_{h,w})_{eq(8)}$, dont la valeur ne devrait pas dépasser 50 m/s^2 . Selon la relation dose-effet ISO, on doit s'attendre à ce que 10% environ des travailleurs exposés chaque jour à des vibrations de 3 m/s^2 pendant 10 ans soient atteints du syndrome de Raynaud⁷³.

L'accélération équivalente correspond à la somme vectorielle des valeurs efficaces des accélérations pondérées mesurées dans les trois directions sur la poignée de la machine ou de la pièce vibrante (x_h, y_h, z_h) .

$$a_{sum} = (a_{x,h,w}^2 + a_{y,h,w}^2 + a_{z,h,w}^2)^{1/2}$$

⁷¹ ISO 5349 Vibrations mécaniques -- Mesurage et évaluation de l'exposition des individus aux vibrations transmises par la main.

⁷² L'annexe A contient les définitions de la pondération fréquentielle W_h et des filtres limiteurs de bande, nécessaires au mesurage de l'accélération pondérée en fréquence conformément à l'ISO 5349.

⁷³ Jeanne Mager Stellman, Encyclopédie de sécurité et de santé au travail, Volume 2000.

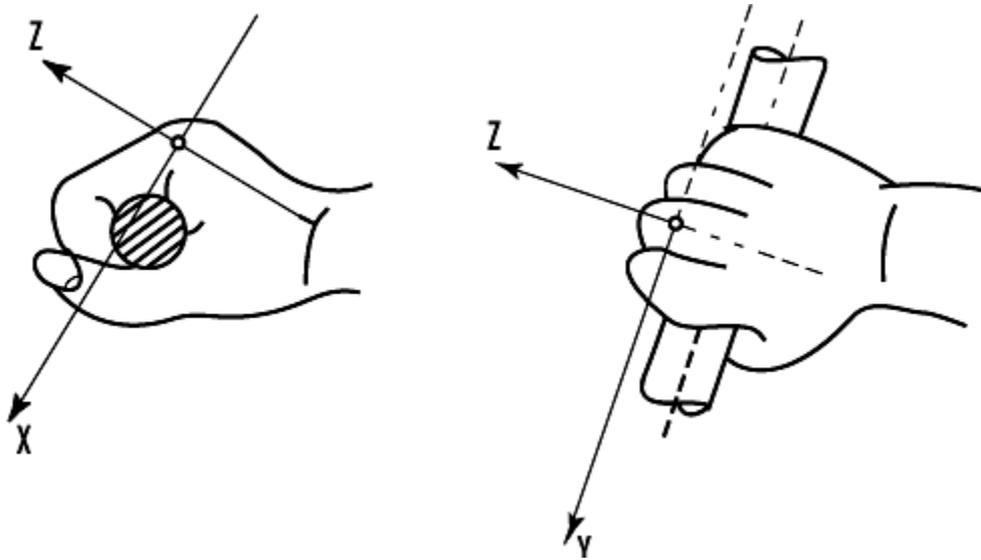


Figure V. 2. *Système de coordonnées basicentriques de la main pour la mesure des vibrations main-bras⁷⁴.*

V. 3. Réduction des risques vibratoires

L'évaluation des risques doit permettre d'identifier les méthodes de maîtrise de l'exposition. Pendant l'évaluation des expositions aux vibrations, Il peut également entreprendre des actions préventives qui réduisent la probabilité de développer ou d'aggraver des pathologies⁷⁵.

V. 3. 1. Elaborer une stratégie de maîtrise du risque

L'évaluation des risques doit permettre d'identifier les méthodes de maîtrise de l'exposition à partir de la hiérarchisation des principales sources de vibration. Les principes étapes de ce processus sont :

- Identifier les situations à risques (vibration et chocs),
- Estimer l'exposition quotidienne A(8),
- Dédire les principales sources vibratoires,
- Classer ces sources dans l'ordre de leur contribution au risque,

⁷⁴ Source: ISO 5349, 1986.

⁷⁵ **Comité Européen de Normalisation (1995).** Vibration main bras — Guides pour la réduction des risques vibratoires — Partie 1: méthodes d'engineering par la conception des machines. CEN/CR 1030-1:1995

- Hiérarchiser les solutions potentielles en termes de faisabilité et de coût, élaborer un « Plan d'action » et son suivi,
- Définir les responsabilités du management et allouer des ressources adéquates,
- Informer et former les utilisateurs,
- Suivre l'avancement du plan d'action,
- Evaluer l'efficacité des solutions adoptées,
- Maintenir cette efficacité dans le temps.

La maîtrise des risques sera réussie si elle repose sur l'implication des opérateurs.

V. 3. 2. Maîtrise des risques

Pour maîtriser les risques, vous devez supprimer ou réduire l'exposition aux vibrations mains-bras. On peut également entreprendre des actions qui réduisent la probabilité de développer des pathologies. Il est probable qu'une maîtrise efficace reposera sur la combinaison de plusieurs méthodes⁷⁶.

- **Utilisation d'autres méthodes de travail** : Il est possible d'employer d'autres méthodes de travail pour supprimer ou réduire l'exposition des vibrations.
- **Choix des équipements** : L'employeur doit vérifier que les équipements choisis ou alloués permettent aux opérateurs de remplir leurs tâches efficacement.
- **Démarche d'achat ou de location** : Outre les exigences d'exploitation, l'acheteur ou le locataire doit inclure dans son cahier des charges des exigences concernant les paramètres d'émissions vibratoires, les caractéristiques des sièges, les facteurs ergonomiques⁷⁷.
- **Agencement du poste de travail** : (Supports et poignées anti-vibrations, Forces de préhension et de poussée... etc. La directive « Machine » demandé que les fabricants

⁷⁶ **Directives pratique BIT** la protection des travailleurs contre le bruit et les vibrations sur les lieux de travail (Genève, 1984).

⁷⁷ **La directive européenne relative aux machines 98/37/CE** actuellement en vigueur sera remplacée à partir du 29.12.2009 par une nouvelle directive relative aux machines 2006/42/CE. La directive 98/37/CE restera valable jusqu'à cette date.

équipent leurs machines avec un siège conçu pour réduire les vibrations transmises au conducteur au plus faible niveau techniquement réalisable.

- **Rythmes de travail** : Pour maîtriser les risques résultant de vibrations mains-bras, il doit être limité le temps pendant lequel les employés sont exposés aux vibrations de certains équipements ou processus. Il est recommandé de planifier le travail afin d'éviter que les ouvriers soit exposés aux vibrations pendant des périodes longues et continues. Il faut vérifier que les nouveaux plannings sont bien supervisés pour s'assurer que les travailleurs ne reviennent pas aux anciens. Si les travailleurs sont payés à la pièce, les systèmes doivent être conçus pour éviter un travail intensif par des travailleurs qui auront peu d'arrêt de l'exposition.
- **Mesures collectives** : Si plusieurs entreprises partagent un même lieu de travail, les divers employeurs doivent coopérer pour appliquer les mesures de sécurité, de santé et d'hygiène du travail.
- **Habillement et protections personnelles** : Les équipements de protection personnels 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.
- **Formation et information des employés** : Il est important de fournir aux opérateurs et surveillants des informations sur : Les risques de pathologie dus aux équipements utilisés ; 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 ; les mesures de maîtrise employées pour éliminer ou réduire les risques résultant de vibrations mains-bras ; les méthodes de travail sûres pour minimiser l'exposition aux vibrations ; pourquoi et comment détecter et signaler des symptômes de pathologie ; pourquoi et 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.

V. 3.3. Suivi et réévaluation des vibrations

Gérer l'exposition aux vibrations est un processus permanent. Il doit veiller à ce que les systèmes de maîtrise du risque soient utilisés et délivrent les résultats escomptés.

La gestion de l'exposition aux vibrations est un processus permanent, l'employeur doit veiller à l'efficacité et à l'application des actions de prévention mises en place⁷⁸.

Suivi des actions mises en place : l'employeur doit périodiquement examiner et garantir que les actions de prévention réalisées pour réduire les vibrations transmises à l'ensemble du corps sont pertinentes et efficaces dans le temps. Pour cela, il y a lieu de :

- Vérifier que le personnel d'encadrement et les opérateurs appliquent encore le programme de maîtrise du risque défini,
- Se renseigner auprès des opérateurs, des responsables, et des représentants du personnel (CPHS, DP ...) pour savoir s'il subsiste des problèmes de vibrations ou de posture sur les machines,
- Analyser les résultats du suivi médical avec les services de santé au travail pour évaluer l'efficacité des actions réalisées et les modifier au besoin.

Réévaluation du risque : L'employeur doit réévaluer les risques résultant des vibrations, et la façon dont ils sont maîtrisés à chaque fois que des modifications peuvent affecter le niveau d'exposition, comme :

- L'introduction de machines ou procédés différents,
- Des modifications de l'organisation du travail,
- Une variation du nombre d'heures travaillées avec l'équipement vibrant,
- La mise en place de nouvelles actions de maîtrise des vibrations.

⁷⁸ **Convention N°148** et **recommandation N°156** sur le milieu de travail (pollution de l'air, bruit et vibration), 1977 : L'évaluation de l'exposition aux vibrations et sur les mesures de prévention et de protection.

V. 4. Suivi médical

Le suivi médical consiste à mettre en place des procédures systématiques, régulières et appropriées pour détecter les signes précoces de maladies liées au travail, puis à agir sur les résultats. L'objectif est principalement de préserver la santé des employés (donc d'identifier et protéger les personnes particulièrement exposées), mais aussi de vérifier l'efficacité à long terme des mesures de maîtrise du risque.

La nécessité d'un suivi médical : Un suivi médical approprié doit être institué pour les salariés exposés lorsque⁷⁹ :

- a) Les résultats de l'évaluation des risques font apparaître que les salariés sont exposés à des risques dus aux vibrations mécanique ;
- b) Les salariés sont exposés à un niveau de vibrations mécaniques supérieur aux valeurs déclenchant l'action, le médecin du travail doit exercer dans ce cas une surveillance médicale renforcée.

Dans tous les cas, les employés dont l'exposition journalière aux vibrations dépasse le seuil d'action journalier doivent faire l'objet d'un suivi médical approprié.

Pour chaque salarié faisant l'objet d'un suivi médical, les dossiers individuels doivent être tenu à jour et contenir un résumé des résultats, sous une forme permettant leur consultation à une date ultérieure, dans le respect du secret médical.

Chaque salarié faisant l'objet d'un suivi médical pourra, à sa demande, avoir accès aux relevés médicaux le concernant personnellement.

La surveillance médicale peut détecter chez un salarié une pathologie identifiable ou un effet sur sa santé, qu'un médecin du travail juge résulter de l'exposition professionnelle à des vibrations de l'ensemble du corps. Le médecin du travail a la possibilité de délivrer une inaptitude à un poste de travail.

⁷⁹ Palmer, K.T., Haward, B., Griffin, M.J., Bednall, H., Coggon, D. (2000) Validity of self reported occupational exposure to hand transmitted and whole body vibration. *Occupational and Environmental Medicine*, 57, (4), 237-241.

- **Information du salarié :** Le salarié doit être informé par le service de santé au travail de l'entreprise (médecin, infirmier ...), des résultats de son suivi médical personnel. Il doit être averti et conseillé pour qu'un suivi médical soit poursuivi après la fin de l'exposition, en cas de changement de post ou l'activité par exemple.
- **Information de l'employeur :** L'employeur doit être informé de toute conclusion significative provenant de la surveillance médicale renforcée, dans le respect du secret médical⁸⁰.

V. 5. Conclusion

Les chapitres précédents ont exposé l'essentiel des risques professionnels liés à l'exposition aux vibrations, le chapitre V abordé la démarche de prévention des risques liés aux vibrations doit respecter les principes généraux de prévention, cette démarche de prévention s'attache en priorité, lors de la conception, à supprimer ou réduire le risque à la source. Lorsque le risque ne peut être éliminé, des protecteurs et /ou des dispositifs de protection doivent être mis en place. Si des risques résiduels subsistent, le recours à des équipements de protection individuelle est alors nécessaire.

⁸⁰ Loi N° 88-07 du 26 janvier 1988 relative à l'hygiène, à la sécurité et à la médecine de travail. Chapitre IV : Règles générales en matière de formation et d'information, Art.19., Art.20., Art.21., Art.22.,

CONCLUSION GENERALE

La sécurité des machines est l'aptitude qu'une machine, dans des conditions d'utilisation normales, accomplisse sa fonction, à être transportée, à être installée, à être mise au point, à être entretenue, à être démontée, à être mise au rebut, sans causer de lésions ou d'atteinte à la santé de son utilisateur.

Dans le domaine de la prévention des accidents du travail et maladies professionnelles liés à l'utilisation d'une machine, est nécessaire d'adopter une stratégie (processus) de réduction du risque qui a pour but de reconnaître les phénomènes dangereux, de les évaluer et de les maîtriser à l'aide de mesures de prévention et de protections afin qu'elles n'engendrent aucun dommage, et plus particulièrement, dans la phase⁸¹ de conception des machines (principe de réduction du risque à la source). En effet, cette priorité accordée en phase de conception permet d'optimiser les efforts en matière de management santé et sécurité au travail «SST». C'est dans ce contexte d'optimisation de ces efforts que s'intègre notre travail qui porte essentiellement sur la gestion des risques-machines moyennant la priorisation des phénomènes dangereux.

1- Travail réalisé

Trois parties ont fait l'objet du présent mémoire : la première est une partie bibliographique (chapitres un et deux) qui a pour objet principal de rappeler les notions fondamentales et les principes généraux de conception dans le domaine de la sécurité des machines afin de mieux positionner le cadre général du présent travail.

De plus, nous avons aussi procédé au développement réglementaire en matière de la sécurité des machines afin d'avoir une idée sur ces aspects qui occupent une place de choix en matière des risques-machines, et présente les concepts fondamentaux pour l'étude des vibrations dans les systèmes mécaniques au milieu professionnel, les caractéristiques de la vibration, les systèmes de mesure des vibrations.

⁸¹ Étant donné que ce processus doit être intégré dans toutes les phases du cycle de vie de la machine (conception, installation, maintenance, modification...).

La deuxième partie (chapitres trois) était d'identifier les effets des vibrations liées à l'exposition à des vibrations sur les lieux du travail, les deux catégories de l'exposition selon le point d'application, et le tableau de Maladie Professionnelle correspondant à cette exposition.

La troisième partie de ce mémoire (chapitres quatre et cinq) est description détaillée du phénomène de Raynaud, l'expression clinique du phénomène, et dédiée au processus de la démarche de prévention des risques liés à l'exposition professionnelle aux vibrations.

A ce propos, nous tenons à signaler que la démarche proposée a également un autre avantage qu'est celui de son alignement avec la norme ISO 5349.

2- Perspectives envisageables

Bien que le travail comme source de revenu et comme facteur de reconnaissance soit généralement d'une influence positive sur la santé et le bien-être de l'individu, ce travail a présenté les facteurs nocifs du milieu de travail, d'un impact de l'exposition professionnels à la vibration.

La nature complexe de la relation travail- santé (multiplicité des agresseurs et des effets, complexité des procédés, limites des connaissances) appelle à une approche cohérente intégrant les divers niveaux de prévention et leurs divers acteurs. Si, du moins les tendances sont généralement à une diminution de l'exposition au grand agresseur comme les vibrations par la généralisation des méthodes de préventions primaire, il faut cependant composer avec de nouveaux problèmes : déplacement des expositions vers d'autres métiers, transformation rapide des procédés de travail, création de nouveaux métiers exposés (comme ceux de l'environnement), accent nouveau sur les maladies de vibrations.

Dans ce contexte l'observation clinique de manifestations pathologiques non connues comme le phénomène de Raynaud jusqu'à alors par un praticien a permis la mise en évidence de nombreux effets, pour l'essentiel spécifiques à un facteur. Le caractère multifactoriel de la plupart des maladies professionnelles dues aux vibrations, où interviennent des facteurs non professionnels- rend cette méthode peu inutile, malgré

l'existence de système de recueil d'observations cliniques et les méthodes d'imputabilité des événements pathologiques mises en place.

Mais plus clairement, nous souhaitons que ce travail puisse contribuer à définir les champs de l'action en santé au travail.

BIBLIOGRAPHIE DU MEMOIRE

• Les livres :

[01] Rezk-kallah B., Djellouli M., Goudjil D., Kazi Tani M., Mohammed B., Communication, Intérêt dans le diagnostic du syndrome digital des vibrations, Service de Médecine du travail, CHU Oran, Sidi Fradj, 2-4 Juin 1998.

[02] Nichan, M., 2003 : Guide pratique des risques professionnels. Caractéristiques, réglementation, prévention, 3^e édition, 388p, France.

[03] INRS, 2011, *Machines*, Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), Nancy, France, 26 p.

[04] Andéol B., Guelemy N. & Leroy A., 2010, Evaluation des risques professionnels: Questions-réponses sur le document unique, INRS ED887, ISBN 978-2-7389-1508-5, 16 p.

[05] Droit Org, 2014, Code du travail, Institut français d'information juridique, Version consolidée du code au 22 août 2014. Edition : 24-08-2014, 1788 p.

[06] ABB, 2010, Sécurité fonctionnelle, Guide technique N°10, France, 3AUA0000048753 REV C, 43 p.

[07] Embarek M.C., 2011, Développement d'une méthode de contrôle pour l'amélioration de la sûreté de fonctionnement des installations industrielles stratégiques, Thèse de doctorat spécialité Electromécanique, Université de Annaba - Algérie. 97 p.

[08] BOULENGER, C.PACHAUD. Diagnostic vibratoire en maintenance préventive Edition : Dunod, Paris, octobre 1999.

[09] Brüel et kjoer, Shenck . Technical documentation C-40. Condition monitoring system. 1994.

[10] Griffin, M.J., 1990: Handbook of Human Vibration.988p. (Londres, Academic Press).

[11] P.VELEX “ Modélisation du comportement dynamique des transmissions par Engrenages» ; Publication CETIM : Comportement dynamique et acoustique des Transmissions par engrenages Synthèse bibliographique ; p.39-95 ; 1993.

- [12] Capteurs et électronique associée. ESIEE-Olivier Français, 2000.
- [13] TIWILSON. Capteurs utilisés pour la mesure de signaux dynamiques. Acquisition et traitement de signaux dynamiques. National Instruments.
- [14] PAUL – ERIC DUPUIS, technique de l'ingénieur, essais de vibrations, mesures et exploitation des résultats, BM 5160 (2000).
- [15] BRUEL & KJAER SCHENCK. Condition Monitoring Systems, vibrations, équilibrage sur site, applications à la maintenance conditionnelle (2001).
- [16] Helmut Seidel et Michael J. Griffin., (1986). Les vibrations transmises à l'ensemble du corps, International Archives of Occupational and Environmental Health , vol. 58, no 1, pp. 1-26. Récupéré de <http://www.ilocis.org/fr/documents/ilo050.htm/>
- [17] Hamilton, A., 1918: A Study of Spastic Anemia in the Hands of Stonecutters , Industrial Accidents and Hygiene Series No. 19. Bulletin No. 236 (Washington, DC, Department of Labor Statistics).
- [18] Devulder B. : « Médecine vasculaire », Masson, Paris, 2003, 278-279, Récupéré de http://www.medarus.org/Medecins/MedecinsTextes/raynaud_maurice.htm/ consulté le 24/04/2016.
- [19] Sprynger M. : « Le phénomène de Raynaud », Revue médicale de Liège, 2004, 59(6), 378-379.
- [20] Dans 12^e Conférence internationale « Effets sur l'homme des vibrations transmises par les machines tenues ou guidées à la main », cette conférence a rassemblé à Ottawa (Canada) en Juin 2011.
- [21] Pierre Yves Hatron,. Phénomène de Raynaud d'origine professionnelle et iatrogène. Le Courrier de Médecine Vasculaire (2), N° 1, janvier/février/mars 2002.
- [22] Hatron P-Y, Frimat P., Hachulla E.: « Phénomène de Raynaud d'origine professionnelle », La Revue du praticien, 1998, 48(15), 1653-1658.
- [23] « Scandinavian Journal of Work, Environment and Health ». Gemne, G., et coll. Vol. 13, N° 4 (1987), pp. 275 278.

[24] Palmer,K.T., Haward,B., Griffin,M.J., Bednall,H., Coggon,D. (2000) Validity of self reported occupational exposure to hand transmitted and whole body vibration. Occupational and Environmental Medicine, 57, (4), 237-241.

- **Les normes :**

[25] Ordonnance N° 66-183 du 21 juin 1966 : portant réparation des accidents du travail et des maladies professionnelles.

[26] Loi N° 83-13 du 2 juillet 1983 relative aux accidents au travail et aux maladies professionnelles.

[27] Loi N° 88-07 du 26 janvier 1988 relative à l'hygiène, à la sécurité et à la médecine de travail.

[28] Directive 2006/42/CE du 17 mai 2006 concernant le rapprochement des législations des états membres relatives aux machines. Journal Officiel de l'Union Européenne N° L 157/24 du 9 juin 2006.

[29] La directive européenne relative aux machines 98/37/CE actuellement en vigueur sera remplacée à partir du 29.12.2009 par une nouvelle directive relative aux machines 2006/42/CE. La directive 98/37/CE restera valable jusqu'à cette date.

[30] NF EN 292-1 du Décembre 1991 concernant la sécurité des machines, notion fondamentales et les principes généraux de conception-annexe A-, Indice de classement : E09-001-1.

[31] Norme ISO 2041 « Vibrations et chocs - Vocabulaire (Août 1990) »

[32] Convention (N° 148) sur le milieu de travail (pollution de l'air, bruit et vibrations), 1977 Convention concernant la protection des travailleurs contre les risques professionnels dus à la pollution de l'air, au bruit et aux vibrations sur les lieux de travail (Entrée en vigueur: 11 juil. 1979) Adoption: Genève, 63ème session CIT (20 juin 1977).

[33] ISO-8041, 2005 : Réponse des individus aux vibrations -- Appareillage de mesure.

[34] NF E 90 001, 1 mai 1972 : Vibrations et chocs Mécaniques – Vocabulaire.

[35] NF E90-002, Octobre 1984 : Vibrations et chocs mécaniques - Vocabulaire de l'équilibrage.

[36] ISO 2631/1, 1997: Vibrations et chocs mécaniques — Evaluation de l'exposition des individus à des vibrations globales du corps. Partie 1. Spécifications générales, ISO 2631/1 (Genève).

[37] ISO 5349, 1986: Vibrations mécaniques. Principes directeurs pour le mesurage et l'évaluation de l'exposition des individus aux vibrations transmises par la main, (Genève).

[38] UIC 513, 02/1995 : Union internationale des chemins de fer « Guide pour l'évaluation du confort vibratoire du voyageur dans les véhicules ferroviaires ».

[39] Directive 2002/44/EC du Parlement européen et du Conseil du 25 juin 2002 relative aux exigences minimales d'hygiène et de sécurité relatives à l'exposition des employés à des risques résultants d'agents physiques (vibrations) (seizième directive individuelle au sens de l'article 16(1) de la Directive 89/391/EEC) ;

[40] Directives pratique BIT la protection des travailleurs contre le bruit et les vibrations sur les lieux de travail (Genève, 1984).

[41] Convention N°148 et recommandation N°156 sur le milieu de travail (pollution de l'air, bruit et vibration), 1977 :L'évaluation de l'exposition aux vibrations et sur les mesures de prévention et de protection.

- **Les sites web :**

[42] <https://www.droit.org/> Consulté le 25/02/2016.

[43] <http://www.vulgaris-medical.com/encyclopedie-medicale/acrosyndrome/> Consulté le 17/05/2016.

[44] <http://www.vulgaris-medical.com/encyclopedie-medicale/acroparesthesie/> Consulté le 23/05/2016.

[45] <http://www.sbmedic.se/en/products/vibrameter.html/> Consulté le 26/05/2016.

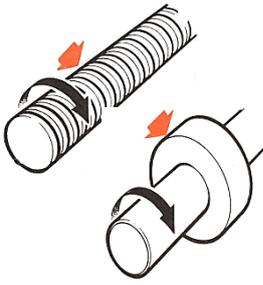
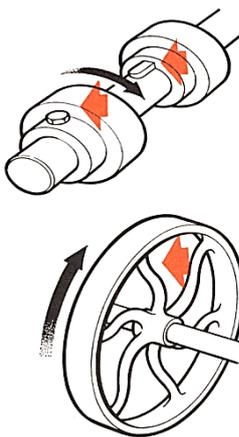
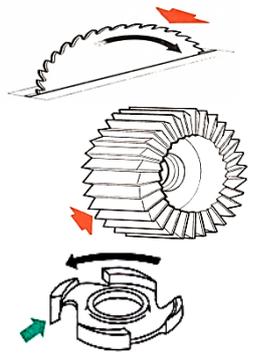
[46] Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail (CCHST), Récupéré de <http://www.cchst.com/oshanswers/diseases/raynaud.html/> Consulté le 30/11/2015.

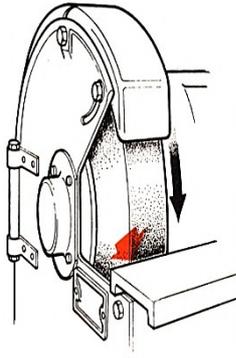
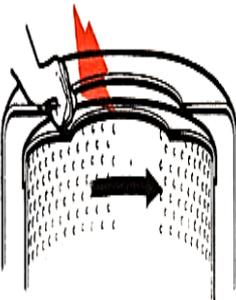
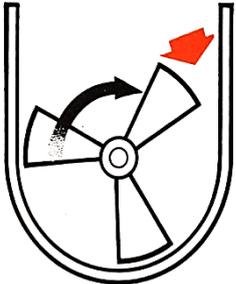
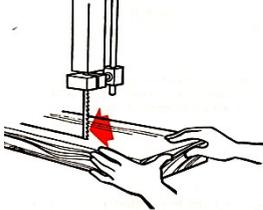
[47] L'Association Sclérodémie de France, La sclérodémie est une affection rare qui se traduit par des lésions de fibrose vasculaire. Récupéré de <http://www.association-sclerodermie.fr/la-maladie/symptomatologie.html/> consulté le 17/05/2015.

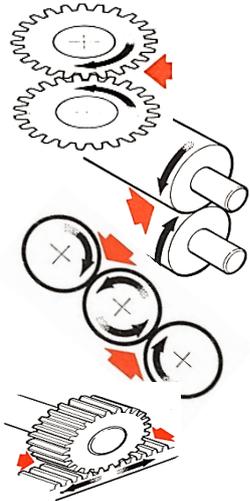
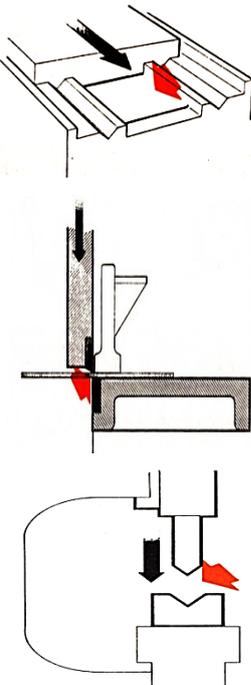
[48] <http://www.vulgaris-medical.com/encyclopedie-medicale/systeme-nerveux-sympathique/> consulté le 19/05/2016.

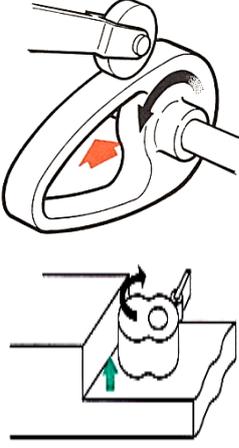
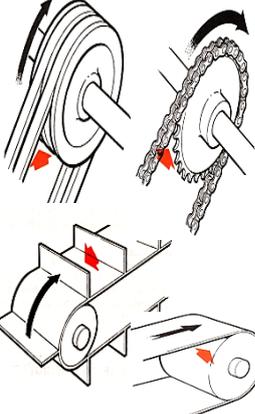
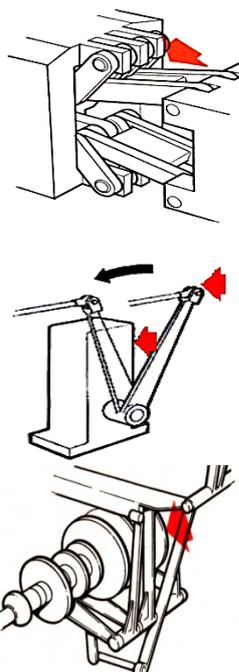
LES ANNEXES

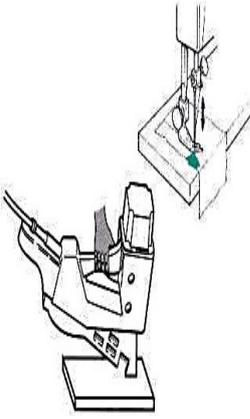
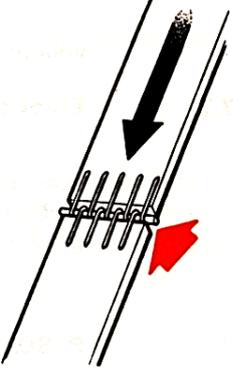
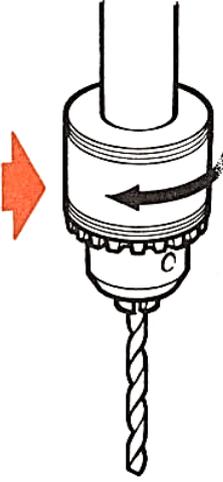
Annexe A : Exemples illustrant différents phénomènes dangereux d'origine mécanique.

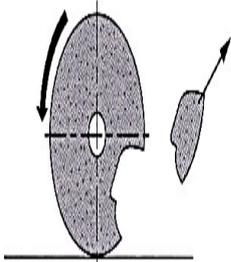
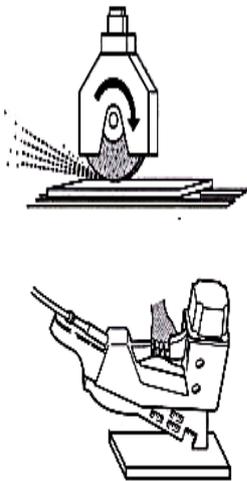
Schémas	Risques mécaniques	Paramètres à considérer	Exemples non limitatifs
	Entraînement	<ul style="list-style-type: none"> • Couple, • Diamètre, • Inertie (masse+ vitesse), • Forme, état de surface, • Accessibilité, 	Accouplement, Broche, Plateau, Barre, ... etc.
	Choc Ecrasement Entraînement Sectionnement Cisaillement	<ul style="list-style-type: none"> • Couple, • Diamètre, • Inertie (masse+ vitesse), • Forme, dimensions des ouvertures, des saillies, • Distances entre partie tournante et partie fixe, • Accessibilité, 	Poulie, Volant, Clavette, Vis d'arrêt, Ventilateur, Bras de mélangeur, ... etc.
	Coupure Projection Entraînement Sectionnement	<ul style="list-style-type: none"> • Vitesse, • Forme, état de surface, • Fixation des éléments en rotation, • Accessibilité, • Résistance mécanique, 	Barre d'alésage, Fraise de toupie, Lame de scie circulaire, Fraise, denture, rapportée, disque de tronçonnage, ... etc.

Schémas	Risques mécaniques	Paramètres à considérer	Exemples non limitatifs
	Entraînement, Sectionnement, Brûlure, Projection,	<ul style="list-style-type: none"> • Couple, • Inertie (masse + vitesse), • Matériau (cohésion, homogénéité), • Balourd • Distances entre partie fixe et tournante, • Accessibilité, 	Tronçonneuse, Rectifieuse, Meuleuse ... etc.
	Entraînement, Cisaillement,	<ul style="list-style-type: none"> • Couple, • Inertie (masse + vitesse), • Dimensions, • Jeu, 	Centrifugeuse, Essoreuse, ... etc.
	Choc, Entraînement, Sectionnement,	<ul style="list-style-type: none"> • Couple, • inertie (masse + vitesse), • Dimensions, • Jeu, • Accessibilité, 	Malaxeur, Mélangeur, Hachoir, ... etc.
	Coupure, Sectionnement,	<ul style="list-style-type: none"> • Vitesse de coupe, • Vitesse d'amenage, • Forme de la pièce, 	Scie à ruban,

Schémas	Risques mécaniques	Paramètres à considérer	Exemples non limitatifs
	<p>Ecrasement, Entraînement, Brûlure,</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Couple, • Inertie (masse + vitesse), • Dimensions, écartement, • Matériau, température, • Forme, état de surface, • Accessibilité, 	<p>Engrenage, Crémaillère Laminoir, Cylindre malaxeur, Convoyeur à rouleaux, Machine à imprimer, ... etc.</p>
	<p>Ecrasement, Cisaillement, Chocs,</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Inertie (Masse + Vitesse), • Force, • Ecartement mini/maxi, • Recul des pièces, 	<p>Machines à bois, Presses, Machine de moulage, Unité d'avance, ... etc.</p>
	<p>Cisaillement, Sectionnement, Entraînement, Ecrasement, Chocs,</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Inertie (masse + vitesse), • Force, • Ecartement mini/maxi, • Accessibilité, 	<p>Cisaille, Presse plieuse, Brocheuse, Unité d'avance, ... etc.</p>

Schémas	Risques mécaniques	Paramètres à considérer	Exemples non limitatifs
	<p>Choc, Ecrasement, Entraînement,</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Disposition relative, • Fréquence du mouvement, • Force, amplitude, • Dimensions des ouvertures, • Dimensions partie tournante, 	<p>Arbre à came et galet excentrique, ... etc.</p>
	<p>Ecrasement, Entraînement, Choc, Arrachement, Sectionnement,</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Couple, tension, • Dimensions, • Force, vitesse, • Forme, 	<p>Transporteur à bandes, Transporteur à auges, Poulies et courroies, Tapis roulant, Roue à chaîne, ... etc.</p>
	<p>Choc, Cisaillement, Ecrasement, Entraînement,</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fréquence, • Force, • Dimensions, • Amplitude, 	<p>Bielle – manivelle, Bras d'amenage, ... etc.</p>

Schémas	Risques mécaniques	Paramètres à considérer	Exemples non limitatifs
	Piqûre, Poinçonnement, Perforation,	<ul style="list-style-type: none"> • Force, • Fréquence, • Ecartement mini/maxi, 	Cloueuse, Agraferuse, Poinçonneuse, Machine à coudre, ... etc.
	Entraînement, Brûlure, Piqûre,	<ul style="list-style-type: none"> • Force, • Vitesse, • Forme, • Etat de surface, 	Ponceuse à bande, Agrafe de courroie, ... etc.
	Entraînement, Arrachement, Choc,	<ul style="list-style-type: none"> • Couple, • Inertie (masse + vitesse), • Diamètre, forme, • Etat de surface, accessibilité, 	Vis d'Archimède, Broche mandrin, ... etc.

Schémas	Risques mécaniques	Paramètres à considérer	Exemples non limitatifs
	<p>Choc, Projection,</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Matériau (Cohésion, homogénéité), • Balourd, • Pression, • Inertie (vitesse + masse), 	<p>Meule, Denture rapportée, Disque de tronçonnage, ... etc.</p>
	<p>Brûlure, Entraînement, Choc, projection, Perforation,</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Inertie (masse + vitesse), • Volume, • Température, • Matériau, • Pression, 	<p>Pistolet de scellement, Meule conduite hydraulique, Pneumatique, Cloueuse, ... etc.</p>

Annexe B : Exemple de fichier d'exposition vibratoire à un poste de travail.

ENTREPRISE / SITE :

Nom du salarié :

Définition du poste de travail :

Date d'évaluation :

Machines			Exposition aux vibrations				Mesures de prévention
Type	Ancienneté	Tâche	Conditions d'emploi ⁽¹⁾	Durée d'exposition journalière	Accélération équivalente a_{eq}	Exposition journalière A(8)	