



<http://portaildoc.univ-lyon1.fr>

Creative commons : Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale -
Pas de Modification 2.0 France (CC BY-NC-ND 2.0)



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr>

Université Claude Bernard  Lyon 1

UFR de MEDECINE LYON SUD

ANNEE 2017 N°247

PATHOLOGIES DISCALES LOMBAIRES PAR TRANSMISSION DE VIBRATIONS AU
CORPS ENTIER CHEZ LES CONDUCTEURS DE BUS

THESE D'EXERCICE EN MEDECINE

Présentée à l'Université Claude Bernard Lyon 1

Et soutenue publiquement le 10/10/2017

En vue d'obtenir le titre de Docteur en Médecine

Par

Aurélié BASSON, épouse CLAIR-BASSON

Née le 5/10/1989 à Bron

Sous la direction de Madame le Professeur Barbara CHARBOTEL

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD – LYON 1

2016-2017

Président	Frédéric FLEURY
Président du Comité de Coordination des Etudes Médicales	Pierre COCHAT
Directrice Générale des Services	Dominique MARCHAND
<u>Secteur Santé</u>	
UFR de Médecine Lyon Est	Doyen : Gilles RODE
UFR de Médecine Lyon Sud - Charles Mérieux	Doyen : Carole BURILLON
Institut des Sciences Pharmaceutiques Et Biologiques (ISPB)	Directrice : Christine VINCIGUERRA
UFR d'Odontologie	Directeur : Denis BOURGEOIS
Institut des Sciences et Techniques De Réadaptation (ISTR)	Directeur : Xavier PERROT
Département de Biologie Humaine	Directrice : Anne-Marie SCHOTT
<u>Secteur Sciences et Technologie</u>	
UFR de Sciences et Technologies	Directeur : Fabien de MARCHI
UFR de Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives (STAPS)	Directeur : Yannick VANPOULLE
Polytech Lyon	Directeur : Emmanuel PERRIN
I.U.T.	Directeur : Christophe VITON
Institut des Sciences Financières Et Assurances (ISFA)	Directeur : Nicolas LEBOISNE
Observatoire de Lyon	Directrice : Isabelle DANIEL
Ecole Supérieure du Professorat Et de l'Education (ESPE)	Directeur : Alain MOUGNIOTTE

U.F.R. FACULTE DE MEDECINE ET DE MAIEUTIQUE LYON SUD-CHARLES MERIEUX

PROFESSEURS DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS (Classe exceptionnelle)

ADHAM Mustapha	Chirurgie Digestive
BERGERET Alain	Médecine et Santé du Travail
BROUSSOLLE Christiane	Médecine interne ; Gériatrie et biologie du vieillissement
BROUSSOLLE Emmanuel	Neurologie
BURILLON-LEYNAUD Carole	Ophtalmologie
CHIDIAC Christian	Maladies infectieuses ; Tropicales
DUBREUIL Christian	O.R.L.
ECOCHARD René	Bio-statistiques
FLOURIE Bernard	Gastroentérologie ; Hépatologie
FOUQUE Denis	Néphrologie
GEORGIEFF Nicolas	Pédopsychiatrie
GILLY François-Noël	Chirurgie générale
GOLFIER François	Gynécologie Obstétrique ; gynécologie médicale
GUEUGNIAUD Pierre-Yves	Anesthésiologie et Réanimation urgence
KIRKORIAN Gilbert	Cardiologie
LAVILLE Martine	Nutrition
LAVILLE Maurice	Thérapeutique
MALICIER Daniel	Médecine Légale et Droit de la santé
MATILLON Yves	Epidémiologie, Economie Santé et Prévention
MORNEX Françoise	Cancérologie ; Radiothérapie
MOURIQUAND Pierre	Chirurgie infantile
NICOLAS Jean-François	Immunologie
PIRIOU Vincent	Anesthésiologie et réanimation chirurgicale
SALLES Gilles	Hématologie ; Transfusion

SIMON Chantal	Nutrition
THIVOLET Charles	Endocrinologie et Maladies métaboliques
THOMAS Luc	Dermato –Vénérologie
VALETTE Pierre Jean	Radiologie et imagerie médicale
VIGHETTO Alain	Neurologie

PROFESSEURS DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS (1ère Classe)

ANDRE Patrice	Bactériologie – Virologie
BERARD Frédéric	Immunologie
BONNEFOY Marc	Médecine Interne, option Gériatrie
BONNEFOY- CUDRAZ Eric	Cardiologie
CAILLOT Jean Louis	Chirurgie générale
CERUSE Philippe	O.R.L
DES PORTES DE LA FOSSE Vincent	Pédiatrie
FESSY Michel-Henri	Anatomie
FRANCK Nicolas	Psychiatrie Adultes
FREYER Gilles	Cancérologie ; Radiothérapie
GIAMMARILE Francesco	Biophysique et Médecine nucléaire
GLEHEN Olivier	Chirurgie Générale
JOUANNEAU Emmanuel	Neurochirurgie
LANTELME Pierre	Cardiologie
LEBECQUE Serge	Biologie Cellulaire
LINA Gérard	Bactériologie
LONG Anne	Médecine vasculaire
LUAUTE Jacques	Médecine physique et Réadaptation
MAGAUD Jean-Pierre	Hématologie ; transfusion
PEYRON François	Parasitologie et Mycologie
PICAUD Jean-Charles	Pédiatrie

POUTEIL-NOBLE Claire	Néphrologie
PRACROS J. Pierre	Radiologie et Imagerie médicale
RIOUFFOL Gilles	Cardiologie
RODRIGUEZ-LAFRASSE Claire	Biochimie et Biologie moléculaire
RUFFION Alain	Urologie
SANLAVILLE Damien	Génétique
SAURIN Jean-Christophe	Hépatogastroentérologie
SEVE Pascal	Médecine Interne, Gériatrie
TEBIB Jacques	Rhumatologie
THOBOIS Stéphane	Neurologie
TRILLET-LENOIR Véronique	Cancérologie ; Radiothérapie
TRONC François	Chirurgie thoracique et cardio

PROFESSEURS DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS (2ème Classe)

ALLAOUCHICHE	Anesthésie-Réanimation Urgence
BARREY Cédric	Neurochirurgie
BOHE Julien	Réanimation urgence
BOULETREAU Pierre	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
BREVET-QUINZIN Marie	Anatomie et cytologie pathologiques
CHAPET Olivier	Cancérologie, radiothérapie
CHOTEL Franck	Chirurgie Infantile
COTTE Eddy	Chirurgie générale
DALLE Stéphane	Dermatologie
DEVOUASSOUX Gilles	Pneumologie
DISSE Emmanuel	Endocrinologie diabète et maladies métaboliques
DORET Muriel	Gynécologie-Obstétrique ; gynécologie médicale
DUPUIS Olivier	Gynécologie-Obstétrique ; gynécologie médicale
FARHAT Fadi	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire

FEUGIER Patrick	Chirurgie Vasculaire,
FRANCO Patricia	Physiologie
GHESQUIERES Hervé	Hématologie
GILLET Pierre-Germain	Biologie Cellulaire
HAUMONT Thierry	Chirurgie Infantile
KASSAI KOUPAI Berhouz	Pharmacologie Fondamentale, Clinique
LASSET Christine	Epidémiologie., éco. santé
LEGER FALANDRY Claire	Médecine interne, gériatrie
LIFANTE Jean-Christophe	Chirurgie Générale
LUSTIG Sébastien	Chirurgie. Orthopédique,
MOJALLAL Alain-Ali	Chirurgie. Plastique.,
NANCEY Stéphane	Gastro-entérologie
PAPAREL Philippe	Urologie
PIALAT Jean-Baptiste	Radiologie et Imagerie médicale
POULET Emmanuel	Psychiatrie Adultes
REIX Philippe	Pédiatrie
SALLE Bruno	Biologie ; Médecine du développement et reproduction
SERVIEN Elvire	Chirurgie Orthopédique
TAZAROURTE Karim	Thérapeutique
THAI-VAN Hung	Physiologie
TRAVERSE-GLEHEN Alexandra	Anatomie et cytologie pathologiques
TRINGALI Stéphane	O.R.L.
WALLON Martine	Parasitologie mycologie
WALTER Thomas	Gastroentérologie - Hépatologie

PROFESSEURS ASSOCIES NON TITULAIRE

FILBET Marilène	Thérapeutique
SOUQUET Pierre-Jean	Pneumologie

PROFESSEUR DES UNIVERSITES - MEDECINE GENERALE - TITULAIRE

DUBOIS Jean-Pierre

ERPELDINGER Sylvie

PROFESSEUR ASSOCIE - MEDECINE GENERALE – NON TITULAIRE

DUPRAZ Christian

PROFESSEURS ASSOCIES SCIENCES ET TECHNOLOGIES - MEDECINE GENERALE

BONIN Olivier

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS (Hors Classe)

ARDAIL Dominique	Biochimie et Biologie moléculaire
BOUVAGNET Patrice	Génétique
CHARRIE Anne	Biophysique et Médecine nucléaire
DELAUNAY-HOUZARD Claire	Biophysique et Médecine nucléaire
LORNAGE-SANTAMARIA Jacqueline	Biologie et Médecine du développement et reproduction
MASSIGNON Denis	Hématologie – Transfusion
RABODONIRINA Méja	Parasitologie et Mycologie
VAN GANSE Eric	Pharmacologie Fondamentale, Clinique

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS (1ère Classe)

BELOT Alexandre	Pédiatrie
BRUNEL SCHOLTES Caroline	Bactériologie virologie ; Hygiène hospitalière
CALLET-BAUCHU Evelyne	Hématologie ; Transfusion
COURAUD Sébastien	Pneumologie
DECAUSSIN-PETRUCCI Myriam	Anatomie et cytologie pathologiques

DESESTRET Virginie	Cytologie – Histologie
DIJOURD Frédérique	Anatomie et Cytologie pathologiques
DUMITRESCU BORNE Oana	Bactériologie Virologie
GISCARD D'ESTAING Sandrine	Biologie et Médecine du développement et reproduction
MILLAT Gilles	Biochimie et Biologie moléculaire
PERROT Xavier	Physiologie
PONCET Delphine	Biochimie, Biologie moléculaire
RASIGADE Jean-Philippe	Bactériologie – Virologie ; Hygiène hospitalière
VUILLEROT Carole	Médecine Physique Réadaptation

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS (2ème Classe)

COURY LUCAS Fabienne	Rhumatologie
DEMILY Caroline	Psychiatrie Adultes
FRIGGERI Arnaud	Anesthésiologie
HALFON DOMENECH Carine	Pédiatrie
LEGA Jean-Christophe	Thérapeutique
LOPEZ Jonathan	Biochimie Biologie Moléculaire
MAUDUIT Claire	Cytologie – Histologie
MEWTON Nathan	Cardiologie
NOSBAUM Audrey	Immunologie
PUTOUX DETRE Audrey	Génétique
RAMIERE Christophe	Bactériologie-virologie
SUBTIL Fabien	Biostatistiques
SUJOBERT Pierre	Hématologie
VALOUR Florent	Maladies infectieuses

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES – MEDECINE GENERALE

CHANELIERE Marc
PERDRIX Corinne

PROFESSEURS EMERITES

ANNAT Guy	Physiologie
BERLAND Michel	Gynécologie-Obstétrique ; gynécologie médicale
CARRET Jean-Paul	Anatomie - Chirurgie orthopédique
DALERY Jean	Psychiatrie Adultes
FLANDROIS Jean-Pierre	Bactériologie – Virologie ; Hygiène hospitalière
LLORCA Guy	Thérapeutique
MOYEN Bernard	Chirurgie Orthopédique
PACHECO Yves	Pneumologie
PERRIN Paul	Urologie
SAMARUT Jacques	Biochimie et Biologie moléculaire

Le Serment d'Hippocrate

Je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la Médecine.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans discrimination.

J'interviendrai pour les protéger si elles sont vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance.

Je donnerai mes soins à l'indigent et je n'exigerai pas un salaire au dessus de mon travail.

Admis dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement la vie ni ne provoquerai délibérément la mort.

Je préserverai l'indépendance nécessaire et je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je perfectionnerai mes connaissances pour assurer au mieux ma mission.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses. Que je sois couvert d'opprobre et méprisé si j'y manque.

Remerciements

Je remercie Madame le Professeur Barbara CHARBOTEL, pour son accompagnement dans ce travail de thèse. Sa supervision m'a permis d'acquérir une autonomie qui me sera, j'en suis sûre, précieuse tout au long de ma carrière professionnelle.

Je remercie également Monsieur le Professeur Alain BERGERET, en tant que Président du Jury, mais aussi en tant que coordinateur. Merci en effet pour votre disponibilité et vos conseils tout au long de mon internat.

Un très grand merci à Monsieur le Professeur Sébastien LUSTIG ainsi qu'à Madame le Docteur Soline BELLAICHE pour votre participation au Jury de soutenance. Votre présence ainsi que votre expertise seront très appréciées.

Je remercie Messieurs Christian GARNIER et Christian BISSERIEUX, à la CARSAT Auvergne Rhône Alpes, ainsi que Monsieur le Docteur Fadel YOUNES, pour votre aide et vos explications qui furent un éclairage indispensable à la réalisation de ce travail.

Merci à Mesdames Mary-Pierre HERRSCHER et Catherine RIMOUX pour leur aide lors dans la dernière ligne droite de la thèse !

Je veux également remercier toutes celles et ceux qui m'ont épaulée, guidée, supervisée au cours des dix dernières années lors de mes stages à l'hôpital et ailleurs. Ils m'ont transmis la passion du métier, l'exigence qu'il implique et me permette chaque jour de l'exercer avec plaisir.

Les remerciements ne seraient bien entendu pas complets sans une énorme pensée pour mes parents, frère, sœur, grands parents, parrain, marraine, cousins...qui ont vécu avec moi les moments d'impatience, d'agacement, mais aussi les joies qui ont ponctué dix ans de médecine. Tous mes amis, je les remercie aussi, c'est grâce à eux que cette décennie fut si agréable.

Enfin, merci Yannis, tu es toujours là, et ce n'est pas rien...

Table des matières

Remerciements	10
Table des matières	11
I. Introduction.....	14
II. Rappels anatomiques du rachis.....	16
A. L'Homme bipède	16
B. Le rachis.....	16
C. Les vertèbres	18
D. Les disques intervertébraux (6)	20
III. Physiopathologie des affections lombaires.....	22
A. Les hernies discales	22
B. Les radiculalgies sciatiques et crurales.....	23
C. Les lombalgies (1)	25
D. Compression médullaire et syndrome de la queue de cheval	26
IV. Maladies professionnelles en lien avec les troubles lombaires	27
A. Réparation au titre d'une maladie professionnelle indemnisable	27
1. Les tableaux de maladies professionnelles	27
2. Port de charges lourdes.....	29
3. Vibrations corps entier	30
V. Les vibrations.....	32
A. Généralités	32
B. Définitions	32
1. Transmission au corps humain.....	34
2. Les différents indicateurs de vibrations subies	35
C. Réglementation	41
1. Réglementation de l'Union Européenne (17)	41
2. Réglementation en France	42
D. Impact sur la santé	42
Exemples d'effets nocifs des vibrations chez l'Homme	42
E. Lien entre vibrations et troubles lombaires	43
1. Arguments biomécaniques.....	44
2. Arguments épidémiologiques	47
3. Synthèse	49

VI.	Les conducteurs de bus	51
A.	Définitions	51
B.	Description du poste	51
1.	Lieux de travail	51
2.	Organisation du travail.....	52
3.	Tâches au cours de la journée.....	52
C.	Contraintes et expositions.....	52
D.	Sinistralité du secteur.....	53
VII.	Revue bibliographique : les conducteurs de transports en commun de voyageurs dans la littérature scientifique.....	57
A.	Démarche de recherche bibliographique.....	57
B.	Tableau récapitulatif de la recherche bibliographique	61
C.	Pathologies lombaires chez les conducteurs de bus.....	65
D.	Exposition des conducteurs de bus aux VCE.....	68
E.	Synthèse et limites de la revue	71
VIII.	Comparaison aux conducteurs de camions poids lourds.....	73
A.	Pathologies lombaires chez les conducteurs PL.....	73
1.	Données internationales	73
2.	Sinistralité en France	74
B.	Exposition aux VCE	75
1.	Données de la littérature internationale.....	75
2.	Utilisation de l'outil « OSEV ».....	77
IX.	Analyse de données en situations réelles	85
A.	Mesures dans une compagnie de transports en commun en Auvergne	85
1.	Véhicules utilisés pour la réalisation des mesures.....	85
2.	Tableau récapitulatif des données	89
3.	Estimation de l'exposition journalière aux vibrations A(8).....	95
B.	Mesures dans une compagnie de transports en commun en Rhône Alpes.....	95
1.	Véhicules utilisés pour la réalisation des mesures.....	95
2.	Tableau récapitulatif des données	97
C.	Analyse des données	99
1.	Présentation globale	99
2.	Synthèse et limites	104
X.	Discussion	105

Conclusions.....	Erreur ! Signet non défini.
Index des illustrations	110
Bibliographie	111

I. Introduction

Les affections du rachis lombaire représentent un enjeu actuel majeur en termes de prise en charge globale en France : elles concernent 60 à 70% des salariés (1) dans notre pays. Il s'agit de troubles recouvrant de multiples présentations cliniques, et dont la gravité d'un point de vue médical et fonctionnel varie fortement. On observe des symptômes douloureux transitoires et totalement réversibles, telle que la lombalgie ou lomboradiculalgie aiguës. Malheureusement, on relève également des pathologies chroniques avec un pronostic fonctionnel pouvant être péjoratif : douleur chronique invalidante, déficit sensitif et/ou moteur, ou encore altération des fonctions génito-urinaires. Les sanctions thérapeutiques sont dans ces situations lourdes : traitements médicamenteux au long cours, avec de nombreux effets secondaires, indication chirurgicale... avec un coût de santé non négligeable. De plus, l'impact social peut être très important, et n'est cependant pas nécessairement corrélé à la gravité de la pathologie. La présence de douleurs permanentes ou à répétition, de même que l'altération des fonctions neurologiques peuvent générer un handicap sévère chez les travailleurs.

Le développement de pathologies du rachis lombaire est multifactoriel, et certaines expositions professionnelles sont reconnues comme facteurs de risque. La manutention manuelle de charges lourdes (tableaux n°98 au régime général et 57Bis au régime agricole) ainsi que les vibrations de basses et moyennes fréquences transmises au corps entier (tableaux n°97 au régime général et 57 au régime agricole) sont des expositions professionnelles prises en compte dans des tableaux de maladies professionnelles, permettant aux salariés exposés d'accéder à une indemnisation par la Sécurité Sociale. Lorsque l'ensemble des critères exigés dans les tableaux de maladies professionnelles ne sont pas remplis, le dossier est examiné par le Comité Régional de Reconnaissance des Maladies Professionnelles (CRRMP). Ses experts sont notamment amenés à se prononcer sur des dossiers de pathologies lombaires en lien avec des vibrations transmises au corps entier chez les conducteurs de bus, leurs conditions d'exposition étant exclues des tableaux 97 et 57 (au régime général et agricole, respectivement). La décision de chaque CRRMP est collégiale, mais n'est pas nécessairement identique dans chaque région. L'exclusion des conducteurs de bus des tableaux 97 et 57 peut donc être questionnée. Elle l'a déjà été : en

effet, en 2006, plusieurs médecins du travail s'interrogeaient sur la légitimité de l'inclusion de conducteurs de bus d'une compagnie Parisienne dans le tableau 97 (2).

Le travail qui suit s'inscrit dans la réflexion suivante : existe-t-il des arguments en faveur d'une reconnaissance des chauffeurs de bus au titre des tableaux de maladies professionnelles 97 et 57 des régimes généraux et agricoles ? Pour apporter des éléments de réponses, il est nécessaire de comprendre les facteurs de développement des troubles lombaires, de déterminer l'impact des vibrations sur le rachis, et d'évaluer les expositions des conducteurs de bus à ces dernières.

Nous nous appliquerons donc à répondre aux questions suivantes :

- Quels sont les mécanismes d'apparition des affections lombaires ?
- Quel est le lien entre l'exposition aux vibrations transmises au corps entier et le développement de troubles lombaires ?
- Quels niveaux d'exposition aux vibrations sont responsables d'affections lombaires et comment les déterminer ?
- En quoi la profession de conducteurs de bus expose-t-elle aux vibrations transmises au corps entier, et à la survenue de troubles lombaires ?
- L'exposition aux vibrations transmises au corps entier des conducteurs de bus peut-elle être comparée à celle observée auprès d'une population de conducteurs reconnus au titre des tableaux RG 97 et RA 57 ?

II. Rappels anatomiques du rachis

A. L'Homme bipède

L'Homme tel qu'il existe aujourd'hui – *Homo Sapiens Sapiens* – est un bipède obligatoire. Cette particularité (seuls les oiseaux partagent cette caractéristique avec l'Homme) lui a été transmise par ses ancêtres : bien son origine précise ne soit pas connue actuellement, les paléoanthropologues ont trouvé des traces de bipédie chez des Hominidés peuplant la Terre il y a 3.5 millions d'années (3). Cette capacité à se tenir debout aurait offert à l'*Homo Sapiens Sapiens* des avantages évolutifs majeurs (visualisation de l'horizon, endurance et bilan énergétique améliorés, usage des membres supérieurs pour la collecte, la transformation d'objets...(4)). L'anatomie de l'Homme bipède est par conséquent bien particulière et fortement liée à cette évolution. Le crâne, le rachis, les hanches et le bassin, ainsi que les membres inférieurs possèdent des caractéristiques spécifiques qui autorisent la station érigée de l'Homme, ainsi que la marche, avec un bilan énergétique optimal (5).

B. Le rachis

Le rachis se compose de 24 vertèbres mobiles et d'un bloc sacro coccygien (5 vertèbres soudées constituant le sacrum, et 4 à 5 vertèbres pour le coccyx). Des muscles rachidiens puissants et répartis sur l'ensemble de la colonne lui assurent une stabilité importante et le maintien de la position statique (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). En effet, la colonne est stabilisée par des muscles profonds, à insertions postérieures, et renforcés par des muscles de la chaîne antérieure. A l'étage lombaire, les muscles para vertébraux, carrés des lombes ainsi que psoas-iliaques, insérés sur le rachis lombaire assurent la stabilité de la structure inférieure. Ils sont complétés par les 4 muscles de la sangle abdominale (obliques externe et interne, muscle transverse de l'abdomen et muscle droit de l'abdomen).

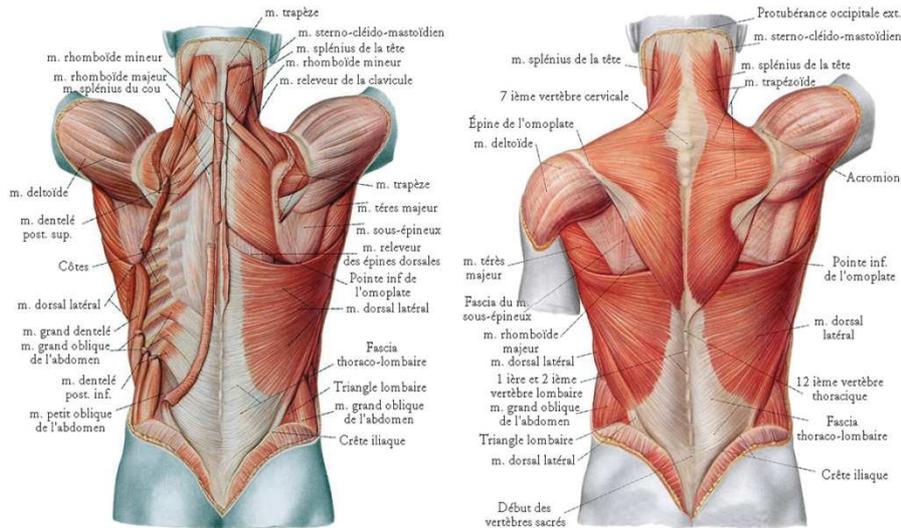


Figure 1 : Illustration des muscles du dos. F. Netter. 2006

Le centre de gravité est projeté sur une verticale située en avant du sacrum (5) grâce à une succession de 4 courbures dans le plan sagittal, assurant un système d'amortissement. Les courbures sont réparties comme suivant (Figure 2):

- Lordose cervicale : comprenant les 7 vertèbres cervicales.
- Cyphose thoracique : comprenant les 12 vertèbres thoraciques.
- Lordose lombaire : comprenant les 5 vertèbres lombaires, elle permet l'extension complète de la hanche, facilitant la station érigée, et subit des charges mécaniques très importantes, notamment au niveau de la charnière lombo-sacrée.
- Cyphose sacro coccygienne, constitué d'un bloc de vertèbres soudées entre elles.

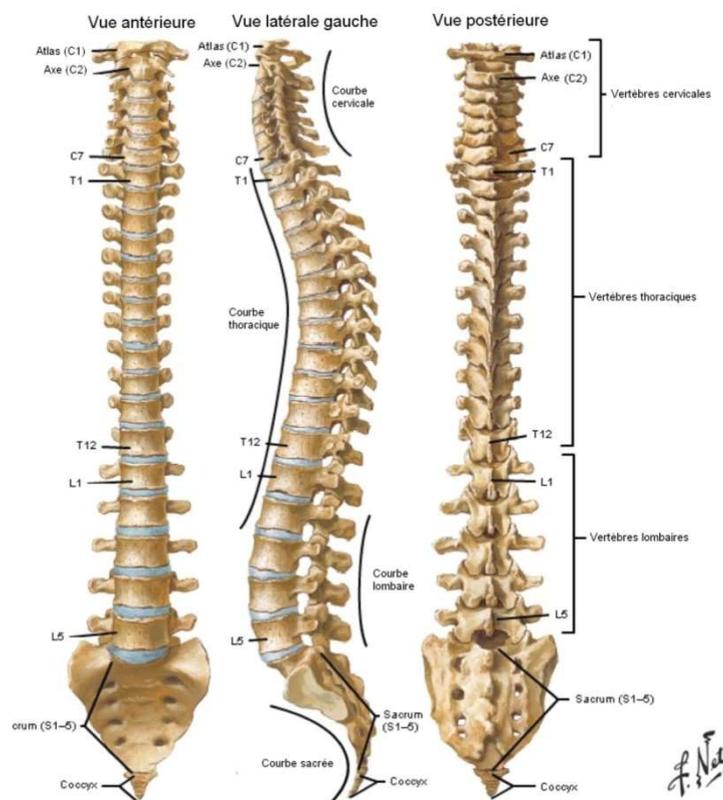


Figure 2 : Illustration du rachis et de ses courbures. F. Netter. 2006

C. Les vertèbres

Chaque vertèbre se compose (Figure 3 et Figure 4) :

- Au niveau antérieur : d'un corps vertébral, massif, de forme cylindrique, constitué d'os spongieux ;
- Au niveau postérieur : de deux lames et un processus épineux ;
- Latéralement : de deux pédicules, complétés de deux processus transverses, articulaires supérieurs et articulaires inférieurs.

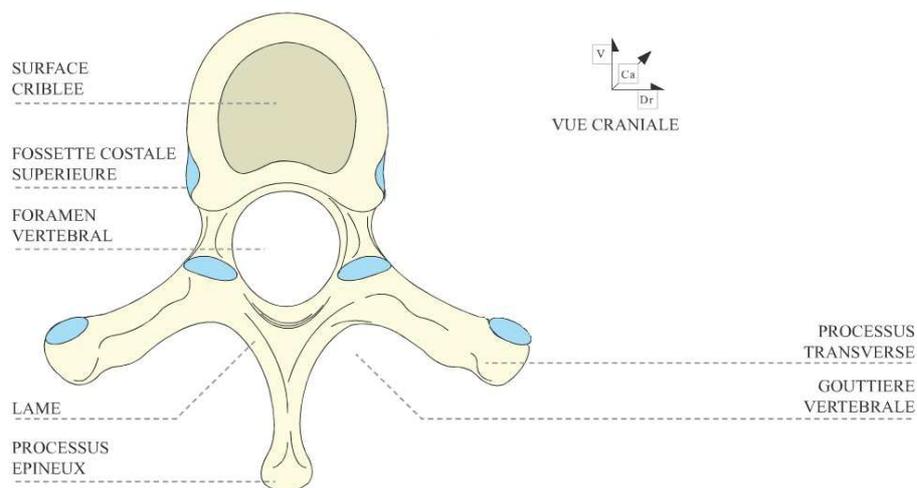


Figure 3 : Illustration d'une vertèbre (vue crâniale). I-anatomie.com. Université de Bordeaux. 2016

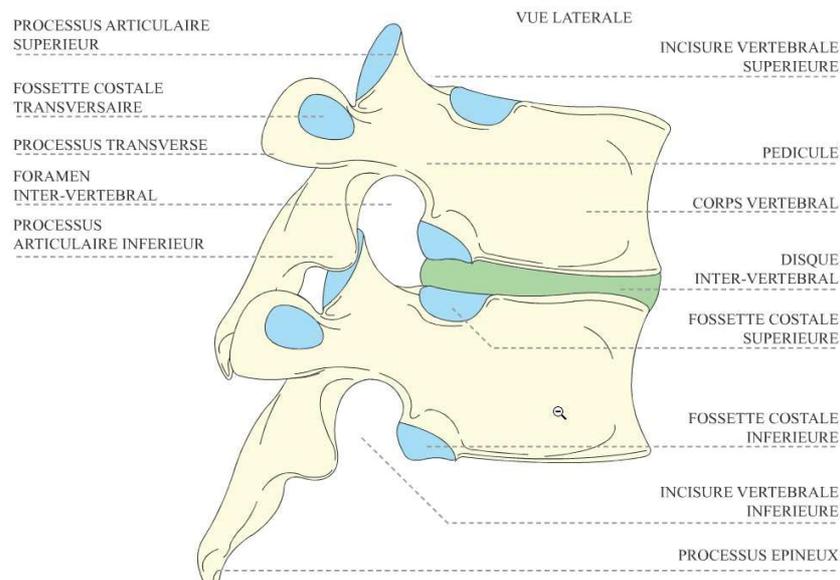


Figure 4 : Illustration d'une vertèbre (vue latérale). I-anatomie.com. Université de Bordeaux. 2016

Un réseau ligamentaire important participe au maintien de la stabilité de la colonne vertébrale (Figure 5). Les ligaments longitudinaux antérieur et postérieur sont positionnés au niveau du corps vertébral, ils assurent le maintien de la stabilité entre les corps vertébraux adjacents. Le ligament supra-épineux est le plus postérieur puisqu'il est inséré au niveau des processus épineux des vertèbres. Les ligaments jaunes et inter-épineux assurent le maintien de la partie postérieure de l'unité vertébrale, s'insérant sur les processus épineux de deux vertèbres adjacentes.

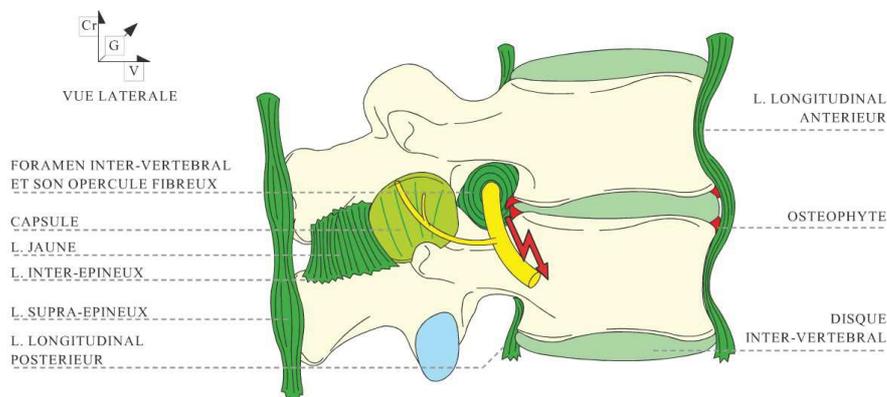


Figure 5 : Illustration du réseau ligamentaire intervertébral (vue latérale). I-anatomie.com. Université de Bordeaux. 2016

Le rachis accueille également la moelle épinière, au sein du canal rachidien – ou foramen vertébral – qui est délimité par le corps vertébral et l’arc vertébral (lames et pédicules). Le canal rachidien contient, dans ses portions cervicales et thoraciques la moelle épinière. Dans la région lombosacrée, il renferme le cône terminal et les racines de la queue de cheval (Figure 6). Le foramen

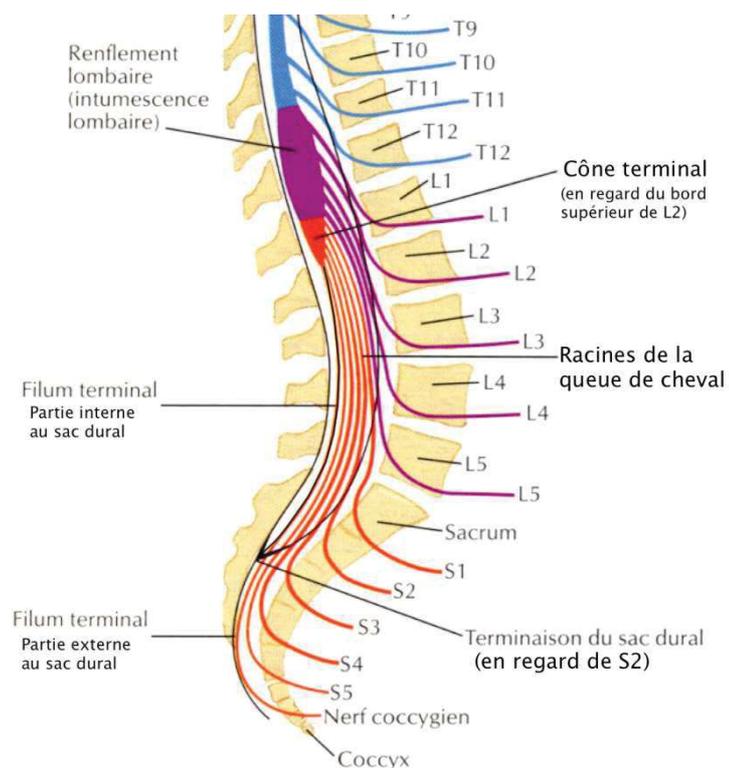


Figure 6 : Illustration du contenu du canal rachidien en région lombosacrée. F. Netter. 2006

vertébral est également limité latéralement par les pédicules,

et en postérieur, par les lames. Les nerfs spinaux émergent de la moelle épinière au travers des trous de conjugaison (ou foramens intervertébraux).

Le rachis est par ailleurs une structure dynamique, qui autorise des amplitudes de mouvements importantes, grâce aux articulations intervertébrales composées des corps vertébraux de deux vertèbres mobiles adjacentes, séparés par le disque intervertébral.

D. Les disques intervertébraux (6)

Le disque est une structure fibrocartilagineuse de 10 à 15 mm d’épaisseur, avasculaire et peu innervé. Il assure un rôle d’amortisseur et permet l’articulation entre les vertèbres mobiles. Il se compose à 65 à 90% d’eau. Il est séparé des vertèbres adjacentes par deux plaques cartilagineuses vertébrales (numéro 3 sur le schéma) constituées de cartilage hyalin. Le disque est formé du nucleus pulposus en son centre, et de l’annulus fibrosus en périphérie (Figure 7).

Le nucleus pulposus (numéro 4 sur le schéma) est une structure hydrophile, très déformable mais inextensible et incompressible.

L'annulus fibrosus (numéro 2 sur le schéma) est un élément fibreux, ferme et élastique, ancré dans le corps vertébral. Les fibres de collagène qui le composent sont réparties en lamelles, lui conférant une bonne résistance, qui seraient néanmoins moindre au niveau postérieur qu'antérieur.

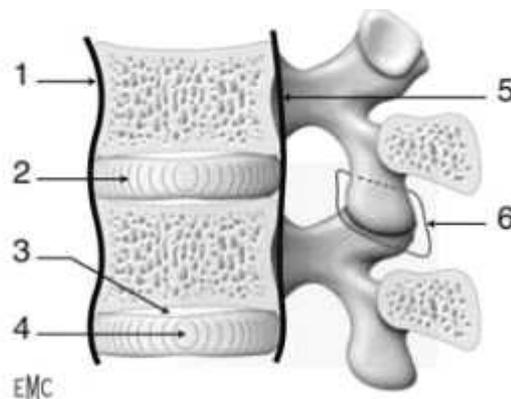


Figure 7 : Illustration de l'articulation intervertébrale. Encyclopédie Médico-Chirurgicale. 2004

Le vieillissement du disque intervertébral est précoce puisqu'il début entre 20 et 30 ans, et se traduit par une dégénérescence progressive du disque. Des facteurs biochimiques inflammatoires seraient en jeu. En effet, une augmentation de l'activité des métalloprotéases contenues dans le disque intervertébral, ainsi qu'une élévation du nombre de cytokines pro-inflammatoires, facteurs de croissance et angiogéniques ont été constatées lors d'analyses histochimiques. De plus, les contraintes mécaniques permanentes appliquées sur le disque, sont suspectées d'induire des modifications du métabolisme cellulaire et moléculaire de sa structure. La quantité d'eau présente initialement dans le disque diminue, ce dernier perd alors de sa hauteur, de son élasticité et de sa solidité.

La dégénérescence du disque fait alors, potentiellement, le lit de la hernie discale, et donc de douleurs.

III. Physiopathologie des affections lombaires

A. Les hernies discales

Lorsque le disque intervertébral dégénère, il peut se fissurer, libérant une partie de son contenu dans le foramen intervertébral (Figure 8). Il risque alors de se trouver au contact d'une racine nerveuse, provoquant une irritation ou une compression de cette dernière. On parle alors de conflit disco-radicalaire, responsable d'une radiculalgie.

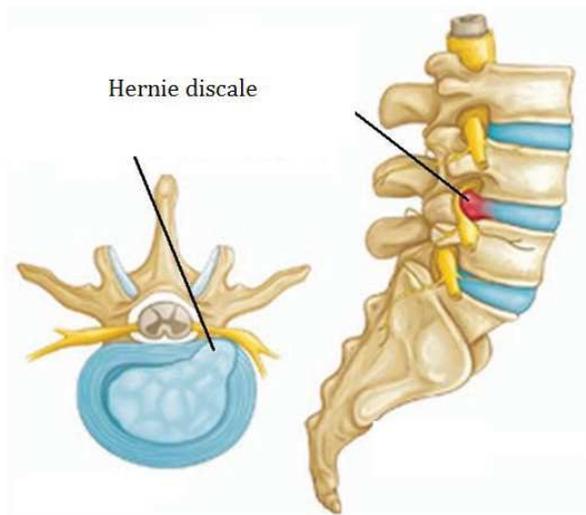


Figure 8 : Illustration d'une hernie discale. F.Netter. 2006

La douleur radicaire résulte de plusieurs agressions (7) (Figure 9) :

- Le conflit mécanique : une volumineuse hernie réduit significativement diamètre du canal, refoulant la racine nerveuse. Cette dernière subit alors une compression, la vascularisation intra-neurale est altérée, des douleurs peuvent apparaître et s'accompagner de troubles de conduction sensitive et motrice ;
- L'agression chimique : le contact entre les fibres nerveuses et les éléments constituant le disque intervertébral génère la libération de molécules inflammatoires. Un œdème dans la racine se forme, et les réponses nociceptives sont amplifiées.

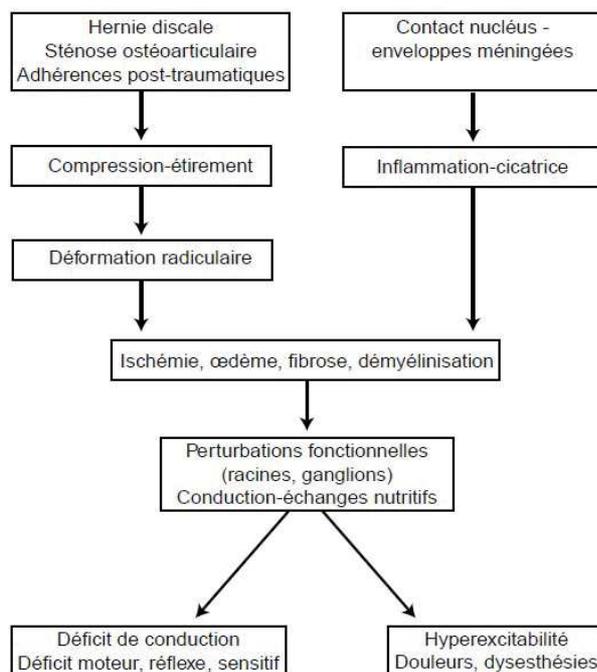


Figure 9 : schéma des mécanismes de radiculalgie. Encyclopédie Médico-Chirurgicale. 2004

L'apparition d'une hernie discale au sein du rachis lombaire peut passer totalement inaperçue (20 à 40% d'individus asymptomatiques présentent une image de hernie discale à l'imagerie). Dans certains cas néanmoins, elle peut être invalidante et générer des pathologies de gravités diverses.

B. Les radiculalgies sciatiques et crurales

Les radiculalgies sont caractérisées par une topographie particulière: la douleur emprunte le trajet, (totalement ou partiellement) ou dermatome, de la racine nerveuse concernée (Figure 10). La douleur est évocatrice de douleur neuropathique : tiraillement, picotement, sensation de brûlure ou de froid douloureux, et s'accompagne fréquemment de troubles sensitifs tels que dysesthésies et paresthésies. L'intensité algique est variable, mais elle peut devenir très invalidante. La douleur est fréquemment impulsive, augmentant lors des efforts de toux, de défécation, etc. Elle peut être reproduite par certaines manœuvres de l'examen clinique : principalement la manœuvre de Lasègue qui explore les sciatalgies L5 et S1, et la manœuvre de Léri, qui explore les cruralgies L3 et L4. Ce caractère est très sensible pour le conflit disco-radiculaire, mais peu spécifique, et n'est pas présent systématiquement.

Des troubles neurologiques peuvent accompagner la douleur radiculaire : on peut alors observer une hypoesthésie, une diminution de la force motrice, une diminution voire l'abolition des réflexes ostéo-tendineux, et dans des atteintes majeures et chroniques, une amyotrophie. Les troubles neurologiques témoignent de la gravité de l'atteinte lésionnelle sur la racine nerveuse.

Enfin, les douleurs neuropathiques sont le plus souvent accompagnées d'un syndrome rachidien, marqué par une douleur lombaire en barre, d'horaire mécanique, d'intensité plus ou moins importantes, avec une diminution de la mobilité du rachis, pouvant aller jusqu'au blocage complet.

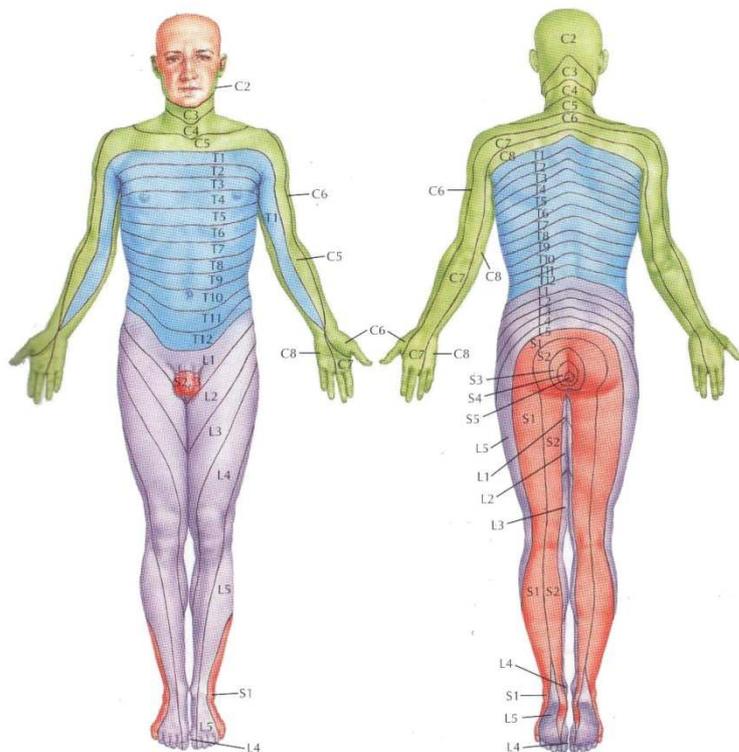


Figure 10 : Illustrations des dermatomes. F. Netter. 2006

Même si le tableau clinique suffit dans les formes simples et aiguës à émettre un diagnostic de conflit disco-radicaire, la présence d'une hernie et sa description n'est possible que par la réalisation d'une imagerie (préférentiellement IRM médullaire). Cette iconographie ne se justifie pas dans les formes non compliquées, mais devient indispensable dans certaines situations : évaluation d'une indication chirurgicale, recherche de diagnostic différentiel, demande de reconnaissance en maladie professionnelle (tableau n°97 RG, 57 RA (8)).

C. Les lombalgies (1)

La physiopathologie de la douleur lombaire est multifactorielle et n'est pas encore totalement élucidée. Cependant, il existe plusieurs hypothèses mettant en cause la dégénérescence discale :

- Présence de fibres nociceptives au sein de l'annulus fibrosus dans le disque dégénéré ;
- Réaction inflammatoire locale au contact des structures ligamentaires vertébrales ;
- Spasme musculaire réflexe en réponse aux stimulations nerveuses du disque, générant une contracture musculaire douloureuse.

D'autres éléments anatomiques sont probablement en jeu :

- Les articulations inter-apophysaires postérieures, qui sont le siège potentiel d'arthrose, fréquemment associée à des discopathies dégénératives ;
- Les muscles rachidiens, par des phénomènes d'amyotrophie ;
- Les ligaments postérieurs, qui pourraient présenter des lésions par micro-adhérences à la dure mère ;
- Les corps vertébraux, dont les paramètres physicochimiques pourraient être modifiés sous l'effet d'une augmentation de la pression intra-osseuse.

Dans le cadre des pathologies discales, les lombalgies sont dites « communes », par opposition aux lombalgies symptomatiques, qui expriment une étiologie souvent plus grave (pathologie auto-immune, processus tumoral...). Le plus fréquemment, il s'agit d'un épisode aigu, contextuel, classiquement lors d'un effort de soulèvement. La douleur est alors d'horaire mécanique, en barre, impulsive. Dans 8% des cas environ, la douleur se prolonge au-delà de 3 mois et est alors qualifiée de chronique. Elle est alors très souvent invalidante, tant sur le plan fonctionnel que social.

D. Compression médullaire et syndrome de la queue de cheval

Lorsque la hernie discale est très volumineuse, elle peut exercer une compression importante sur les racines nerveuses, avec des conséquences graves rapidement. On observe alors un tableau de compression médullaire(9), qui n'est pas corrélé à l'étiologie :

- Un syndrome radiculaire lésionnel, caractérisé par des douleurs dont la topographie correspond à la racine comprimée ;
- Un syndrome sous-lésionnel, marqué par un déficit neurologique (sensitif, moteur et génito-sphinctérien) ;
- Un syndrome rachidien, avec une douleur lombaire importante.

Le pronostic fonctionnel est rapidement engagé, puisqu'en l'absence de décompression, le tableau évolue habituellement vers une paraplégie flasque. Le diagnostic doit donc être porté en urgence, par la réalisation d'une imagerie (préférentiellement IRM médullaire).

Le syndrome de la queue de cheval (10) constitue une variante, puisqu'il survient en cas de compression des racines situées en dessous du cône terminal, entre les vertèbres L2 et le sacrum. Les troubles génito-sphinctériens sont souvent au premier plan, et sont accompagnés de troubles sensitivomoteurs aux membres inférieurs. L'urgence thérapeutique est une fois encore à noter.

IV. Maladies professionnelles en lien avec les troubles lombaires

Comme nous l'avons explicité précédemment, les pathologies du rachis lombaire sont complexes, multifactorielles, et ont des présentations cliniques multiples. On peut ainsi distinguer deux situations distinctes d'un point de vue médical et professionnel :

- Les événements aigus : ils sont principalement en lien avec des épisodes douloureux aigus à type de lombalgie aiguë, lombosciatalgie aiguë. Lorsqu'il existe une origine professionnelle, ils sont pris en charge au titre de l'accident de travail. Nous ne traiterons pas ici de ce type d'évènements.
- Les plaintes chroniques : principalement marquées par les symptômes douloureux, qu'ils soient lombaires, ou radiculaires, nous excluons ici les pathologies rachidiennes préexistantes aggravées par le travail. Le caractère professionnel reste néanmoins difficile à prouver avec certitude. Il est suspecté d'après des données physiologiques (que nous ne décrirons pas ci-après, se reporter au chapitre précédent « *Physiopathologie des affections lombaires* »), biomécaniques et épidémiologiques.

A. Réparation au titre d'une maladie professionnelle indemnisable

1. Les tableaux de maladies professionnelles

Les maladies professionnelles ne correspondent pas à une définition légale, pour autant, elles sont inscrites dans la Loi en France. Elles sont une conséquence d'une exposition professionnelle à une nuisance ou des conditions particulières dans lesquelles le travail est exercé. Elles sont apparues pour la première fois dans le cadre législatif en 1919 (11). Souffrir d'une pathologie professionnelle ouvre droit à des réparations (prestations en nature et financières).

La reconnaissance d'une maladie professionnelle fonctionne sur un système de tableaux. Il s'agit alors de pathologies pour lesquelles il existe une présomption d'origine (ou

« présomption d'imputabilité de la maladie à l'activité professionnelle »). On dénombre 112 tableaux au régime général de la Sécurité Sociale et 66 au régime agricole. La création ou la modification des tableaux sont le résultat d'un compromis social. La liste des tableaux et leur contenu ne sont donc pas immuables dans le temps, ils sont amenés à évoluer en fonction des données de la science, mais aussi des avancées sociales.

Les tableaux sont composés de 3 colonnes : la première correspond à la désignation et la description de la maladie ; la seconde détaille le délai de prise en charge ainsi que la durée d'exposition nécessaire ; et la troisième correspond à la liste (qui peut être indicative ou limitative) des travaux responsables de la pathologie. Néanmoins, dans certains cas, il est possible de demander la reconnaissance d'une maladie professionnelle lorsque les conditions exigées par le tableau ne sont pas remplies : on peut faire appel au Comité Régional de Reconnaissance de Maladies Professionnelles (ou CRRMP). Il s'agit d'un collège constitué d'un médecin conseil de la Sécurité Sociale, un médecin inspecteur du travail et un praticien hospitalier qualifié en pathologies professionnelles.

En France, il existe deux tableaux de maladies professionnelles indemnifiables en lien avec une pathologie du rachis lombaire et deux expositions : le port de charges lourdes et les vibrations transmises au corps entier (8).

2. Port de charges lourdes

Au régime général (Figure 11) :

98		RÉGIME GÉNÉRAL
Affections chroniques du rachis lombaire provoquées par la manutention manuelle de charges lourdes		
Date de création : Décret du 15 février 1999		Dernière mise à jour : -
Désignation des maladies	Délai de prise en charge	Liste limitative des travaux susceptibles de provoquer ces maladies
<p>Sciatique par hernie discale L4-L5 ou L5-S1 avec atteinte radiculaire de topographie concordante.</p> <p>Radiculalgie crurale par hernie discale L2-L3 ou L3-L4 ou L4-L5, avec atteinte radiculaire de topographie concordante.</p>	<p>6 mois (sous réserve d'une durée d'exposition de 5 ans).</p>	<p>Travaux de manutention manuelle habituelle de charges lourdes effectués :</p> <ul style="list-style-type: none"> - dans le fret routier, maritime, ferroviaire, aérien ; - dans le bâtiment, le gros œuvre, les travaux publics ; - dans les mines et carrières ; - dans le ramassage d'ordures ménagères et de déchets industriels ; - dans le déménagement, les garde-meubles ; - dans les abattoirs et les entreprises d'équarrissage ; - dans le chargement et le déchargement en cours de fabrication, dans la livraison, y compris pour le compte d'autrui, le stockage et la répartition des produits industriels et alimentaires, agricoles et forestiers ; - dans le cadre des soins médicaux et paramédicaux incluant la manutention de personnes ; - dans le cadre du brancardage et du transport des malades ; - dans les travaux funéraires.

Figure 11 : tableau n°98 au RG. INRS

Au régime agricole (Figure 12) :

57 bis		RÉGIME AGRICOLE
Affections chroniques du rachis lombaire provoquées par la manutention manuelle habituelle de charges lourdes		
Date de création : Décret du 19 mars 1999		Dernière mise à jour : -
Désignation des maladies	Délai de prise en charge	Liste limitative des travaux susceptibles de provoquer ces maladies
<p>Sciatique par hernie discale L4-L5 ou L5-S1 avec atteinte radiculaire de topographie concordante.</p> <p>Radiculalgie crurale par hernie discale L2-L3 ou L3-L4 ou L4-L5, avec atteinte radiculaire de topographie concordante.</p>	<p>6 mois (sous réserve d'une durée d'exposition de 5 ans)</p>	<p>Travaux de manutention manuelle habituelle de charges lourdes effectués :</p> <ul style="list-style-type: none"> - dans les exploitations agricoles et forestières, les scieries ; - dans les établissements de conchyliculture et de pisciculture ; - dans les entreprises de travaux agricoles, les entreprises de travaux paysagers ; - dans les entreprises artisanales rurales ; - dans les abattoirs et entreprises d'équarrissage ; - dans le chargement et le déchargement en cours de fabrication, dans la livraison, le stockage et la répartition des produits agricoles et industriels, alimentaires et forestiers.

Figure 12 : tableau n°57 bis au RA. INRS

3. Vibrations corps entier

Au régime général (Figure 13) :

97		RÉGIME GÉNÉRAL
Affections chroniques du rachis lombaire provoquées par des vibrations de basses et moyennes fréquences transmises au corps entier		
Date de création : Décret du 15 février 1999		Dernière mise à jour : -
Désignation des maladies	Délai de prise en charge	Liste limitative des travaux susceptibles de provoquer ces maladies
Sciatique par hernie discale L4-L5 ou L5-S1 avec atteinte radiculaire de topographie concordante. Radiculalgie crurale par hernie discale L2-L3 ou L3-L4 ou L4-L5, avec atteinte radiculaire de topographie concordante.	6 mois (sous réserve d'une durée d'exposition de 5 ans).	Travaux exposant habituellement aux vibrations de basses et moyennes fréquences transmises au corps entier : <ul style="list-style-type: none"> - par l'utilisation ou la conduite des engins et véhicules tout terrain : chargeuse, pelleteuse, chargeuse-pelleteuse, niveleuse, rouleau vibrant, camion tombereau, décapeuse, chariot élévateur, chargeuse sur pneus ou chenilleuse, bouteur, tracteur agricole ou forestier ; - par l'utilisation ou la conduite des engins et matériels industriels : chariot automoteur à conducteur porté, portique, pont roulant, grue de chantier, crible, concasseur, broyeur ; - par la conduite de tracteur routier et de camion monobloc.

Figure 13 : tableau n°97 au RG. INRS

Au régime agricole (Figure 14) :

57		RÉGIME AGRICOLE
Affections chroniques du rachis lombaire provoquées par des vibrations de basses et moyennes fréquences transmises au corps entier		
Date de création : Décret du 19 mars 1999		Dernière mise à jour : Décret du 22 août 2008
Désignation des maladies	Délai de prise en charge	Liste limitative des travaux susceptibles de provoquer ces maladies
Sciatique par hernie discale L4-L5 ou L5-S1 avec atteinte radiculaire de topographie concordante. Radiculalgie crurale par hernie discale L2-L3 ou L3-L4 ou L4-L5, avec atteinte radiculaire de topographie concordante.	6 mois (sous réserve d'une durée d'exposition de 5 ans)	Travaux exposant habituellement aux vibrations de basses et moyennes fréquences, transmises au corps entier : <ol style="list-style-type: none"> 1. Par l'utilisation ou la conduite : <ul style="list-style-type: none"> - de tracteurs ou machines agricoles, y compris les tondeuses autoportées, - de tracteurs ou engins forestiers, - d'engins de travaux agricoles ou publics, - de chariots automoteurs à conducteurs portés ; 2. Par l'utilisation de crible, concasseur, broyeur ; 3. Par la conduite de tracteurs routiers et de camions monoblocs ; 4. Par l'utilisation et la conduite des sulkys de courses et d'entraînement de trot, tractés par des chevaux.

Figure 14 : tableau n°57 au RA. INRS

Concernant les chauffeurs de bus

Les chauffeurs de bus ne figurent pas dans la liste des travaux inscrits dans les tableaux ci-dessus. Ainsi, si certains d'entre eux bénéficient d'une reconnaissance en maladie professionnelle pour une exposition au port de charges ou aux vibrations transmises au corps entier, cela ne peut être qu'à la suite d'une saisine auprès d'un CRRMP.

V. Les vibrations

A. Généralités

La norme ISO 2041 (12) relative aux *Vibrations et chocs – Vocabulaire*, établie en 1990 définit la vibration comme une « *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* ». Autrement dit, une vibration est une onde mécanique, qui traduit la propagation d'une perturbation dans un milieu matériel (l'eau, l'air...). Il existe un transport d'énergie, sans transport de matière. Le milieu traversé par l'onde mécanique change alors transitoirement et localement de propriétés physiques. Un corps en vibration est soumis à un mouvement oscillatoire autour d'une position d'équilibre, durant lequel sa vitesse varie.

Il existe un grand nombre de vibrations différentes, avec pour chacune des propriétés physiques particulières, et des champs d'applications spécifiques. Nous n'aborderons ici que celles qui nous intéressent, à savoir les vibrations transmises au corps entier lors de l'utilisation d'engins mobiles motorisés avec personne embarquée. Il est à noter que les vibrations transmises aux membres supérieurs lors de l'usage de machines portatives présentent des caractéristiques similaires.

B. Définitions

Plusieurs caractéristiques décrivent une vibration (13):

- La période : il s'agit de la durée, exprimée en secondes (s) correspondant à l'intervalle de temps entre deux positions successives identiques ;
- La fréquence, exprimée en Hertz (Hz) correspond aux nombres d'oscillations répétées en une seconde ;
- La direction dans laquelle l'onde se propage : on la définit selon l'axe qu'elle empreinte (Figure 15) ;



Figure 15 : Directions d'expansion des vibrations. INRS. 2014

- L'amplitude, exprimée en mètres, correspond à la distance entre le point le plus éloigné de la position d'équilibre et la position d'équilibre (Figure 16) ;

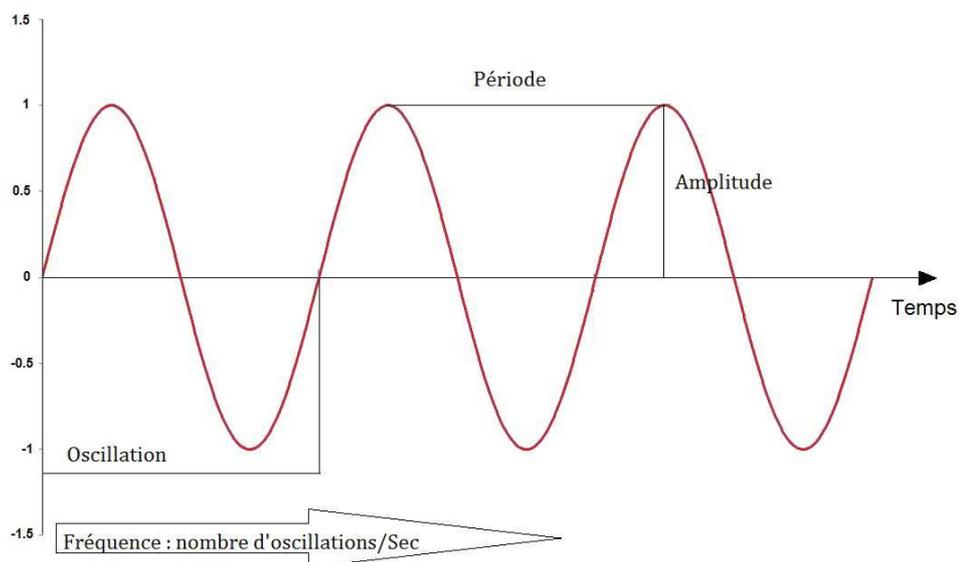


Figure 16 : Caractéristiques d'une vibration périodique

- L'accélération : elle dépend de la vitesse de déplacement du corps en mouvement (exprimée en mètres par secondes, m/s) ainsi que de l'amplitude. L'accélération correspond à la variation de la vitesse dont elle est la dérivée, en fonction du temps. Elle s'exprime en mètres par seconde² (m/s²) ;
- L'amortissement (ou atténuation) : au cours de la propagation de l'onde mécanique, une partie de son énergie est dissipée (notamment sous forme de chaleur) au sein du milieu traversé, ce qui provoque une atténuation progressive

de l'onde. L'amplitude de cette dernière diminue, et en l'absence d'apport d'énergie, le mouvement oscillatoire finit par disparaître (Figure 17). L'amortissement dépend en partie des caractéristiques du milieu dans laquelle l'onde se propage ;

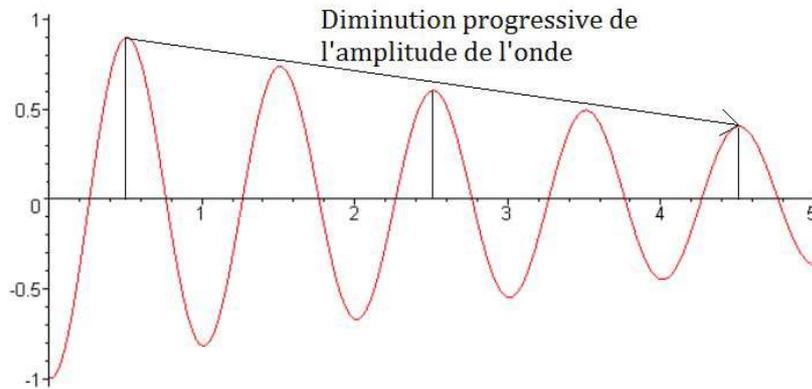


Figure 17 : Illustration de l'amortissement d'une onde mécanique

- La résonance : les mouvements d'oscillations d'un système sont au maximum lorsque celui-ci est soumis à une vibration de fréquence proche de sa fréquence propre.

1. Transmission au corps humain

Le corps humain est sensible aux vibrations, plusieurs caractéristiques des ondes doivent être prises en compte (13) :

- La fréquence ;
- Le point d'entrée et la direction de propagation : après être entrée en contact avec le corps humain, l'onde va donc entrer en résonance dans certaines structures et être amortie dans d'autres. La sensibilité du corps humain n'est pas identique pour toutes les directions. Concernant les vibrations transmises au corps entier lors de la conduite de véhicules, les sujets exposés sont assis sur un siège, le point d'entrée est principalement la zone d'assise (fesses et cuisses), et les pieds. La direction de propagation de l'onde dépend de l'environnement de travail ;

- L'intensité ressentie des vibrations : elle est directement en lien avec l'amplitude des vibrations. Elle est évaluée par l'accélération ;
- La durée d'exposition aux vibrations.

Pour estimer la nocivité des vibrations chez l'Homme, il est donc nécessaire d'évaluer tous ces paramètres simultanément, en utilisant des indicateurs de vibrations subies.

2. Les différents indicateurs de vibrations subies

Plusieurs grandeurs ont été définies afin de retranscrire la dose de vibration subie par un travailleur exposé à des vibrations corps entier (12,14–16).

2.1. L'estimation de l'exposition journalière aux vibrations A(8)

L'exposition journalière aux vibrations A(8) permet d'estimer la dose de vibrations transmises au corps entier, rapportée à une durée de référence de 8 heures, correspondant à une journée habituelle de travail. Il s'agit d'une valeur calculée à partir des relevés des accéléromètres.

a. L'amplitude de l'accélération

Lors de la réalisation de mesures en situations réelles de conduite, les accéléromètres utilisés indiquent des valeurs d'amplitude d'accélération (a_x, a_y, a_z), suivant les trois axes x, y et z. Elles sont exprimées en m/s^2 . Il s'agit de la décomposition suivant les axes x, y et z du vecteur global accélération.

$$\text{Vecteur accélération} = \begin{Bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{Bmatrix}$$

Ces valeurs d'amplitude d'accélération (a_x, a_y et a_z) sont des valeurs dites « rms » (*rootmean square*). Une valeur rms est une valeur efficace d'une mesure : c'est une moyenne quadratique (c'est la racine carrée de la grandeur mesurée au carré).

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i^n s_i^2}$$

- Avec n étant le nombre de points de la grandeur mesurée ;

- i étant l'incrément lié à l'échantillonnage ;
- s_i étant la valeur de la mesure à l'instant t_i .

Concernant les vibrations, elle permet donc d'utiliser une valeur absolue, et ainsi de prendre en compte les amplitudes positives comme négatives de l'onde (Figure 18) :

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i^n a_i^2}$$

- Avec n étant le nombre de points du signal vibratoire ;
- i étant l'incrément lié à l'échantillonnage ;
- a_i étant la valeur de la mesure à l'instant t_i .

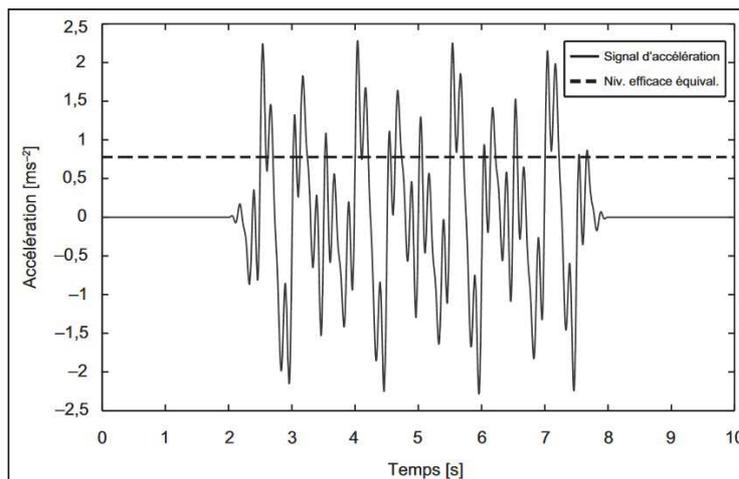


Figure 18: Comparaison valeur réelle et valeur efficace pour une même onde.bksv.fr. 2016

b. L'amplitude de l'accélération pondérée en fréquences

Comme dit précédemment, la réponse aux vibrations au niveau du corps humain diffère en fonction de la fréquence et de la direction de l'onde vibratoire. Pour représenter cette sensibilité particulière aux vibrations, on pondère les amplitudes d'accélérations par des facteurs de pondération en fréquences W_d et W_k , s'appliquant différemment selon les axes (Figure 19).

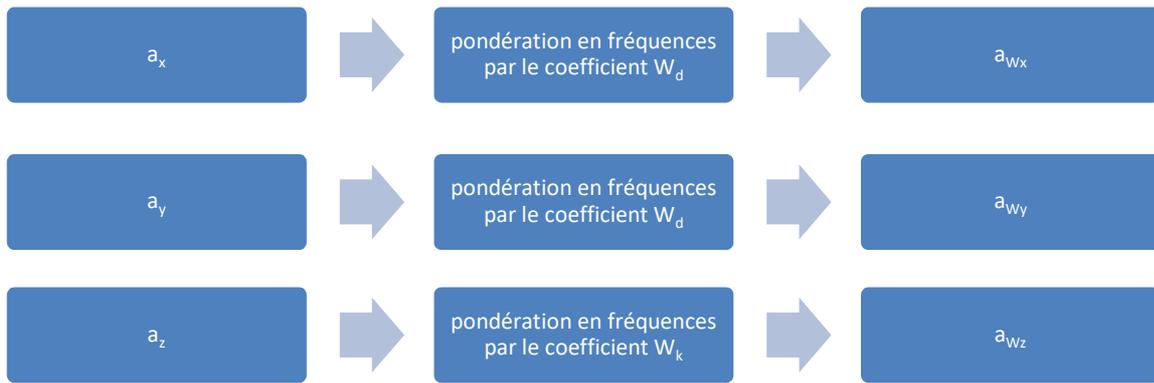


Figure 19 : Définition des amplitudes d'accélération pondérées en fréquence.

Les coefficients W_d et W_k sont définis dans les Figure 20 et Figure 21 suivantes :

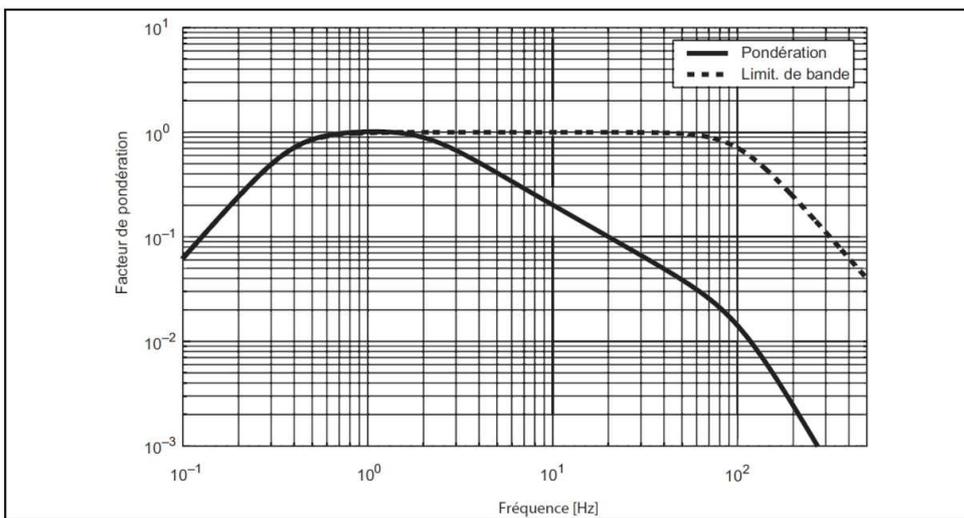


Figure 20 : Facteur de pondération W_d en fréquences liée aux axes x et y. Norme ISO 2631-1

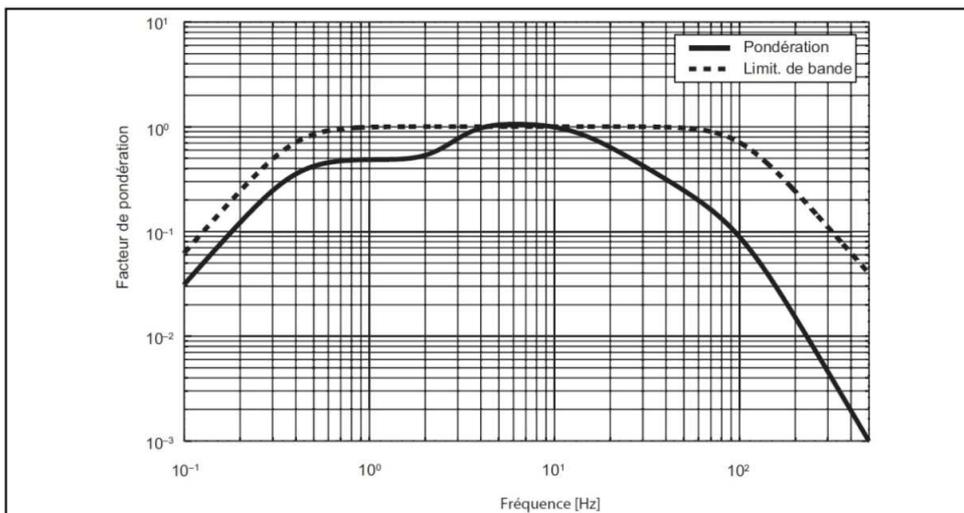


Figure 21 : Facteur de pondération W_k en fréquences liée à l'axe z. Norme ISO 2631-1

c. L'évaluation de l'exposition avec majoration du risque

On estime qu'en fonction des axes x, y et z, le risque de lésion infligée au corps humain varie. Le risque est plus important dans le plan transverse (axes x et y) que suivant l'axe longitudinal z. Le risque d'effets sur la santé est donc *a priori* supérieur. C'est pourquoi, on applique des coefficients de majoration du risque aux valeurs d'amplitude de l'accélération pondérée en fréquence (a_{wx} , a_{wy} , a_{wz}). On multiplie donc ces valeurs par un coefficient k_x , k_y et k_z définis dans la norme ISO 2631-1.

$$\text{Vecteur évaluation de l'exposition} = \begin{Bmatrix} k_x \times a_{wx} \\ k_y \times a_{wy} \\ k_z \times a_{wz} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1.4 \times a_{wx} \\ 1.4 \times a_{wy} \\ 1 \times a_{wz} \end{Bmatrix}$$

- k_x , k_y et k_z étant les coefficients de majoration du risque selon l'orientation de la vibration ;
- a_{wx} étant la valeur de l'amplitude de l'accélération selon l'axe x pondérée en fréquence ;
- a_{wy} étant la valeur de l'amplitude de l'accélération selon l'axe y pondérée en fréquence ;
- a_{wz} étant la valeur de l'amplitude de l'accélération selon l'axe z pondérée en fréquence.

d. Accélération équivalente pour une tâche

La norme ISO 2631 propose de sélectionner une valeur d'accélération qui sera considérée comme la plus significative, appelée l'accélération équivalente. Deux types d'accélération équivalentes sont définis : l'une consiste à sélectionner la valeur maximale selon l'un des trois axes ($a_{eq,max}$). Elle est définie comme le maximum des trois composantes du vecteur d'évaluation de l'exposition.

$$a_{eq,max} = \text{maximum} \begin{Bmatrix} k_x \times a_{wx} \\ k_y \times a_{wy} \\ k_z \times a_{wz} \end{Bmatrix} = \text{maximum} \begin{Bmatrix} 1.4 \times a_{wx} \\ 1.4 \times a_{wy} \\ 1 \times a_{wz} \end{Bmatrix}$$

La seconde consiste à estimer l'amplitude de l'accélération cumulée suivant les trois axes ($a_{eq,somme}$). Elle consiste à prendre en compte chacun des valeurs d'accélération dans les trois directions.

$$a_{eq,somme} = \sqrt{(k_x \times a_{Wx})^2 + (k_y \times a_{Wy})^2 + (k_z \times a_{Wz})^2}$$

e. L'exposition journalière aux vibrations A(8)

L'exposition journalière A(8) est donnée pour une durée de travail de 8 heures. Elle correspond, par défaut à la valeur maximale parmi $A_x(8)$, $A_y(8)$, $A_z(8)$ (17) :

$$A_{max}(8) = a_{eq,max} \times \sqrt{\frac{T_{exposition}}{T_0}} = a_{eq,max} \times \sqrt{\frac{T_{exposition}}{8}}$$

- T_0 étant la durée de référence (soit 8 heures) ;
- $T_{exposition}$ étant la durée d'exposition aux vibrations ;

Elle s'exprime en m/s^2 .

De la même manière que l'accélération équivalente peut être exprimée soit en fonction d'un axe, soit en fonction des trois axes, il existe une notation A(8) liée à l'estimation globale de la vibration en prenant en compte toutes les directions : il s'agit de $A_{somme}(8)$:

$$A_{somme}(8) = a_{eq,somme} \times \sqrt{\frac{T_{exposition}}{T_0}} = a_{eq,somme} \times \sqrt{\frac{T_{exposition}}{8}}$$

2.2. L'estimation de la valeur de la dose de vibration VDV

La valeur de l'exposition journalière A(8) présente un inconvénient. Elle est très efficace pour estimer une dose de vibrations lorsque celles-ci ont un profil assez stable dans le temps. En revanche, lorsqu'il existe de nombreux à-coups, ce qui peut être le cas lors de conduite sur des surfaces accidentées par exemple, cette valeur n'est pas adéquate. Il est nécessaire d'utiliser une grandeur qui contient les vibrations intenses transitoires : c'est le cas de la valeur de dose vibratoire (ou *vibration dose value*). Il s'agit d'une valeur dite cumulative,

puisqu'elle enregistre en quelques sortes chaque nouveau pic mesuré. Elle augmente donc avec la durée effective de mesure. Elle s'exprime en $m/s^{1,75}$.

a. VDV pondérée en fréquence

Contrairement aux valeurs d'accélération a_x, a_y, a_z , la valeur de dose vibratoire VDV intègre déjà les facteurs de pondération W_d et W_k . La notation VDV_x, VDV_y, VDV_z peut être assimilée à une notation similaire introduite précédemment : $VDV_{Wx}, VDV_{Wy}, VDV_{Wz}$.

b. L'exposition en VDV avec majoration du risque

Comme nous l'avons dit précédemment, on estime qu'en fonction des axes x, y et z, le corps humain a une sensibilité différente. Elle est plus importante dans le plan transverse (axes x et y) que suivant l'axe longitudinal z. C'est pourquoi, on applique des coefficients de majoration du risque aux valeurs d'amplitude de l'accélération pondérée en fréquence ($VDV_{Wx}, VDV_{Wy}, VDV_{Wz}$). On multiplie donc ces valeurs par un coefficient k_x, k_y et k_z définis dans la norme ISO 2631-1.

$$\text{Vecteur évaluation de l'exposition} = \begin{Bmatrix} k_x \times VDV_{Wx} \\ k_y \times VDV_{Wy} \\ k_z \times VDV_{Wz} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1.4 \times VDV_{Wx} \\ 1.4 \times VDV_{Wy} \\ 1 \times VDV_{Wz} \end{Bmatrix}$$

c. L'exposition en VDV journalière

L'exposition en VDV journalière est la traduction de l'évaluation de l'exposition par une normalisation à une journée effective (ratio du temps d'exposition par apport au temps réel mesuré).

$$\text{Vecteur d'exposition journalière de VDV} = \begin{Bmatrix} VDV_{exp,x} = k_x \times VDV_{Wx} \times \left(\frac{T_{exposition}}{T_{mesure}}\right)^{\frac{1}{4}} \\ VDV_{exp,y} = k_y \times VDV_{Wy} \times \left(\frac{T_{exposition}}{T_{mesure}}\right)^{\frac{1}{4}} \\ VDV_{exp,z} = k_z \times VDV_{Wz} \times \left(\frac{T_{exposition}}{T_{mesure}}\right)^{\frac{1}{4}} \end{Bmatrix}$$

- $VDV_{Wx}, VDV_{Wy}, VDV_{Wz}$ étant les valeurs d'amplitude de l'accélération pondérées en fréquence ;
- k_x, k_y et k_z étant les coefficients de majoration du risque selon l'orientation de la vibration ;

- $T_{\text{exposition}}$ étant le temps réel d'exposition au cours de la journée ;
- T_{mesure} étant le temps effectif durant lequel la mesure a été réalisée.

Elle s'exprime en $m/s^{1,75}$.

d. La VDV journalière

La VDV journalière est définie comme la valeur maximale parmi $VDV_{\text{exp},x}$, $VDV_{\text{exp},y}$, et $VDV_{\text{exp},z}$.

C. Règlementation

Elle s'appuie en Europe sur la norme ISO 2631 (12).

1. Règlementation de l'Union Européenne (17)

Il s'agit de la Directive Européenne n°2002-44 du 25 juin 2002, concernant « les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (vibrations) (seizième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE) ».

Elle est entrée en vigueur le 6 juillet 2002 avec une transposition en droit interne des Etats membres attendues avant le 6 juillet 2005. Elle fixe des valeurs limites d'exposition aux vibrations pour le corps entier ainsi que pour le système mains-bras.

Les valeurs limites d'exposition pour le corps entier sont :

- Valeur d'exposition **journalière A(8) déclenchant l'action, dite valeur d'action** : **0,5 m/s²** ou, selon le choix de l'Etat membre, **valeur de dose de vibration VDV** : **9.1m/s^{1.75}**. En cas de dépassement de cette limite, des mesures de réduction de l'exposition doivent être engagées ;
- Valeur limite d'exposition journalière **A(8)**: **1,15 m/s²** ou, selon le choix de l'Etat membre, valeur de dose de vibration **VDV** : **21m/s^{1.75}**. Il s'agit d'une valeur seuil, qui ne doit jamais être dépassée.

Elle fixe également les règles d'évaluation et de mesure de l'exposition au poste de travail, qui sont imposées aux employeurs. En effet, ces derniers sont tenus d'effectuer des mesures

régulièrement pour les salariés soumis à des vibrations. L'employeur est aussi tenu de mettre en place des mesures pour réduire l'exposition aux vibrations en deçà des valeurs limites prévues dans la Directive. Enfin, les employeurs doivent fournir une information sur les risques liés aux vibrations à ses salariés, et organiser leur surveillance médicale.

2. Règlementation en France

La directive européenne a été transcrite en Droit français par le décret 2005-746 du 4 juillet 2005 (19) et son arrêté d'application du 6 juillet 2005 . Elle figure dans le Code du Travail, aux articles R. 4444-1 à R. 4447-1 Comme dans la directive européenne, elle impose aux employeurs l'évaluation et la mesure des expositions aux vibrations des salariés, ainsi que la mise en place de mesures de réduction du risque lié aux vibrations, et la surveillance médicale des salariés. Elle reprend également les valeurs limites, avec un choix porté sur l'utilisation de la valeur d'exposition journalière A(8) (20).

D. Impact sur la santé

La perturbation initiale à l'origine d'une vibration est transmise de proche en proche au sein du milieu qu'elle rencontre. Ainsi, elle transmet une partie de l'énergie qu'elle transporte au milieu traversé : ce dernier va donc subir un mouvement oscillatoire autour de sa position d'équilibre. Cette propriété des ondes mécaniques s'observe bien entendu dans le corps humain. Ce dernier ne peut cependant pas être considéré comme un système homogène. En raison des particularités de chaque tissu le constituant, on doit concevoir le corps humain comme un ensemble de différents systèmes, possédant chacun des caractéristiques qui leur sont propres. Ainsi, soumis à des vibrations identiques, les réactions de chaque organe ne seront pas nécessairement comparables. Chaque organe (ou système) possède une fréquence qui lui est propre, lui conférant une sensibilité particulière à certaines fréquences de vibrations. Lors du passage de l'onde, les tissus vont alors se déformer, réagir à la stimulation reçue L'onde mécanique peut alors engendrer des effets physiologiques (audition, pallesthésie...) ou pathologiques.

Exemples d'effets nocifs des vibrations chez l'Homme

On considère classiquement 3 catégories de vibrations en fonction de leur fréquence et de leurs effets sur le corps humain (13) :

Les vibrations de très basses fréquences (inférieures à 2Hz)

Ces ondes sont perçues par le système labyrinthique de l'oreille interne, mais pas par le système visuel : le cerveau perçoit une incohérence, c'est l'origine de la cinétose.

Les vibrations de hautes fréquences (supérieures à 20Hz)

Les éléments vasculaires et nerveux sont particulièrement sensibles aux vibrations comprises entre 20 et 300Hz. Elles sont générées par différents outils portatifs et sont responsables de pathologies angiologiques et neurologiques telles que le syndrome de Raynaud ou la maladie de Dupuytren. Les ondes sonores, dont les fréquences sont comprises entre 20 et 20 000Hz peuvent également être nocives pour le système auditif à partir d'un certain niveau sonore.

Les vibrations de basses fréquences (entre 2 et 20Hz)

Ce sont ces vibrations qui nous intéresseront, puisqu'elles sont observées lors de la conduite d'engins motorisés. Les structures ostéoarticulaires et musculaires y sont particulièrement sensibles. Ces vibrations peuvent causer un inconfort (céphalées, troubles respiratoires, digestifs...) mais elles sont aussi responsables de pathologies rachidiennes, et particulièrement lombaires. Nous nous limiterons à l'étude des effets des vibrations sur le rachis lombaire.

E. Lien entre vibrations et troubles lombaires

La physiopathologie des atteintes lombaires en lien avec une exposition aux vibrations n'est pas connue avec certitude. Elle est suspectée d'après la corrélation des données physiologiques (que nous ne décrivons pas ci-après, se reporter au chapitre précédent « *Physiopathologie des affections lombaires* ») et biomécaniques, et soutenue par des données épidémiologiques. Au cours de nos recherches préliminaires dans la littérature scientifique, nous avons rapidement constaté que certains noms d'auteurs revenaient sensiblement. En effet, certains auteurs se sont distingués dans la littérature par la réalisation d'un travail soigneux, et souvent de longue haleine, sur la problématique des effets des vibrations chez l'Homme. Nous avons donc ainsi décidé de poursuivre nos recherches en étudiant de façon plus précise les travaux de ces auteurs. Nous avons donc effectué des recherches sur les bases de données PUBMED et GOOGLE SCHOLAR en utilisant les associations de mots clés suivants :

- « DUPUIS, H. » ET « whole body vibration » ; « DUPUIS, H » ET « vibration » ;
- « BOSHUIZEN, H.C. » ET « whole body vibration » ; « BOSHUIZEN, H.C. » ET « vibration » ;
- « KELSEY, J.L. » ET « whole body vibration » ; « KELSEY, J.L.» ET « vibration » ;
- « SEIDEL, H » ET « whole body vibration » ; « SEIDEL, H » ET « vibration » ;
- « BOVENZI, M » ET « whole body vibration » ; « BOVENZI, M » ET « vibration » .

Nous avons donc étudié les travaux de ces auteurs afin de sélectionner les plus pertinents dans l'analyse du lien entre les vibrations et les effets sur le rachis lombaire. Les articles portant sur les vibrations transmises au membre supérieur n'ont pas été conservés. Deux types d'approches ont été adoptés : l'approche épidémiologique, et l'approche biomécanique.

1. Arguments biomécaniques

Les premiers travaux sur les vibrations sont très anciens, mais restent assez rares. Dès 1932, une équipe de chercheurs allemands entreprend d'évaluer la tolérance subjective aux vibrations (21). Pour cela, des sujets sont soumis à des vibrations d'intensité croissante. Il leur est alors demandé de signaler lorsque les vibrations deviennent insupportables. Loin d'une analyse quantitative, cette étude témoigne cependant de l'intérêt naissant des scientifiques concernant les effets vibratoires chez l'Homme, même si par la suite, le sujet sera quelque peu laissé de côté, dans un contexte historique évident. C'est en 1957 qu'une nouvelle équipe allemande a repris l'expérimentation *in vivo* des effets vibratoires sur le corps humain (22). Des sujets ont été soumis à des cycles de 100 vibrations verticales et horizontales, en position assise. Des mesures physiques ont été effectuées à différents endroits du corps. Les auteurs ont ainsi observé la transmission des vibrations au sein du corps humain, et relevé des variations non négligeables. Ces expérimentations ont permis d'appréhender une notion primordiale, le phénomène de résonance et d'y associer une estimation de grandeur dans les directions verticales et horizontales.

Dans les années 1980, Dupuis a mis en évidence la fréquence de résonance préférentielle du rachis, à 4Hz (23), en observant les mouvements de la colonne vertébrale, via un film

analysé informatiquement. Il a de plus observé une flexion de 1° entre deux vertèbres adjacentes lors du passage d'une vibration d'accélération de 1m/s^2 , suggérant un phénomène de réponses complexes impliquant l'ensemble de la colonne vertébrale et le bassin. Dupuis a défini les effets des vibrations comme une somme de réactions, correspondant aux différents comportements biomécaniques de chaque organe ou appareil, selon leur fréquence de résonance (24,25). Les expérimentations *in vivo* de Seidel à la même époque ont confirmé ces résultats. Des sujets de sexe masculins, ont été soumis en position assise à des vibrations sinusoïdales verticales, de fréquences et d'intensités variables. Une première étude a confirmé la résonance au sein du rachis pour une fréquence de 4 Hz, et montré une modification de la posture du tronc (altération des réponses électriques des muscles du dos) lors d'une exposition à des ondes vibratoires d'accélération de 1m/s^2 (26). Ces recherches suggéraient une réponse des muscles du tronc inadaptée, lors du passage de l'onde vibratoire. Une nouvelle étude de Seidel confirmait cette hypothèse (27). Il a en effet estimé les pressions exercées sur la colonne lombaire grâce à un modèle biomécanique constitué de données anthropométriques et de relevés d'électro-neuro-myogramme au niveau des muscles du tronc. Soumis à des vibrations (d'une fréquence de 1 à 15 Hz, et des accélérations rms de 1.5m/s^2 et 3m/s^2), l'activité des muscles du tronc ne permettait pas de réduire les forces de compression appliquées aux vertèbres et aux disques intervertébraux, pouvant ainsi induire des lésions. Pire encore, il a émis l'hypothèse d'un effet « ressort », dû à des phénomènes de surcompensation après étirement du muscle lors d'une exposition à des vibrations (fréquences comprises entre 0.315 et 5 Hz, et accélérations rms de 1.2m/s^2 et 2m/s^2) (28). Les résultats suggéraient une activité musculaire d'autant plus intense (données électromyographiques des muscles érecteurs du rachis de T1 à L3) que les vibrations étaient de forte intensité et de haute fréquence. Néanmoins, Seidel a estimé que les effets des vibrations sur le rachis ne pouvaient être prédits avec fiabilité par les valeurs d'accélérations rms seules, en raison du caractère non linéaire de la réponse corporelle (29). Plusieurs sujets ont en effet été soumis à des ondes vibratoires (fréquences comprises entre 2 de 12 Hz, et accélérations rms de 1.5 et 3 m/s^2). La transmission des vibrations au sein des différentes structures variait en fonction de la fréquence (phénomène de résonance), mais aussi de l'intensité des vibrations, sans qu'une corrélation directe entre le niveau d'intensité et la réponse n'ait pu

être établie. Seidel suggérait ainsi une sous-estimation de la contrainte réelle supportée par les disques intervertébraux.

De plus, certains plusieurs auteurs suspectaient l'impact d'autres facteurs sur la réponse rachidienne aux vibrations : en 1991, Dupuis évoquait le rôle des chocs surajoutés (vibrations aléatoires, d'amplitudes variées) (30). L'auteur a constaté que les chocs induisaient des réponses plus intenses des muscles du dos, que le passage d'une vibration sinusoïdale constante. Seidel a quant à lui constaté une majoration des forces de compression mais sur le disque intervertébral en présence de deux paramètres : indice de masse corporelle élevé, et position penchée vers l'avant (31). Pour cela, il a proposé un modèle biomécanique à éléments finis prenant en compte différents paramètres extrinsèques (position) et intrinsèques (corpulence). Seidel émettait ainsi l'hypothèse d'une susceptibilité personnelle aux vibrations, mais aussi l'implication conjointe de la posture.

En 2001, Seidel soulignait la difficulté de proposer un modèle biomécanique fiable, en raison de l'intrication souvent mal connue des différents mécanismes de réponse du corps humain (32). Plusieurs paramètres sont cependant à ce jour indispensables à prendre en compte afin de mieux comprendre et prédire les effets des vibrations sur le rachis (32,33) : les caractéristiques physiologiques du sujet, la posture, le contact entre le sujet et le siège les caractéristiques de l'onde transmise (fréquence, intensité) les effets des vibrations horizontales, la pression intra-discale la répartition de la pression au niveau des plateaux vertébraux adjacents, les propriétés intrinsèques et spécifiques de chaque structure rachidienne (fréquences de résonance, réponse non linéaire...) les forces de cisaillement surajoutées.

En pratique, on peut expliquer les effets des vibrations sur le rachis lombaire à travers les hypothèses suivantes :

- Sous l'effet d'ondes vibratoires, on observe l'entrée en résonance des différentes structures du rachis ;
- L'activité musculaire des muscles du tronc est intense, durable et inadaptée à la sollicitation ;
- Les contraintes appliquées sur les vertèbres sont amplifiées ;

- Une partie de l'énergie est transmise au disque intervertébral sous forme de forces de compression et de cisaillement ;
- A long terme, il peut s'associer une fatigue musculaire, des contractures musculaires, des lésions des plateaux vertébraux, une dégénérescence des disques intervertébraux et ainsi favoriser l'apparition de douleurs lombaires (se reporter au chapitre « *Physiopathologie des affections lombaires* »).

2. Arguments épidémiologiques

A partir des années 1960, Dupuis réalise plusieurs études en situations réelles, auprès de conducteurs professionnels et particuliers (automobile, tracteurs, engins de chantier) (34–36). Il constatait une sensation d'inconfort immédiatement après exposition aux vibrations, se caractérisant majoritairement par des douleurs en région lombaire mais aussi cervicale et thoracique. De plus, il a étudié les radiographies du rachis lombaire de 251 conducteurs d'engins de terrassement, exposés depuis au moins 10 ans à des vibrations corps entier (36). Les clichés ont été comparés aux radiographies de sujets non exposés. Des modifications radiologiques des structures rachidiennes, ont été observées à une fréquence plus élevée chez les conducteurs, et à un âge plus jeune. Néanmoins, les lésions observées ainsi que leur étiologie et leur pathogénie n'ont pas été détaillées ni liées formellement à une exposition aux vibrations.

A la fin des années 1980, Boshuizen s'est intéressé à la corrélation entre les vibrations transmises au corps entier dans le cadre professionnel, et l'apparition de troubles lombaires. Grâce à la réalisation de 3 études rétrospectives entre 1988 et 1990 auprès de différents corps de métier (grutiers, pilotes d'hélicoptères et conducteurs de tracteurs), Boshuizen a observé une augmentation du risque de présenter un trouble lombaire chez les personnels exposés aux vibrations : risque de présenter une pathologie discale supérieur à la population contrôle en cas d'exposition aux vibrations corps entier de plus de 5 ans chez des grutiers (37); risque de présenter un épisode lombalgique aigu et chronique, supérieur chez les pilotes d'hélicoptères par rapport à la population contrôle (38) ; prévalence des douleurs rachidiennes supérieure de 10% au sein de la population des conducteurs de tracteurs par rapport aux contrôles (39). Dans les deux derniers cas, l'auteur retrouvait un risque majoré en cas d'exposition de longue durée. Il notait par ailleurs la possibilité d'une mauvaise

estimation des doses de vibrations reçue chez ses sujets, ainsi, en 1992, il proposait une nouvelle étude, comprenant des mesures plus précises des doses de vibrations. Boshuizen a donc relevé les niveaux d'exposition au poste de conduite en situation réelle de travail chez des conducteurs de chariots élévateurs et conteneurs de fret (40). Il a constaté des prévalences de douleurs rachidiennes significativement supérieures au sein de la population de conducteurs, pour des expositions à des vibrations dont l'accélération pondérée en fréquence était de 0.8 et 1 m/s².

Durant les années 1970, plusieurs chercheurs américains se sont emparé de la problématique des vibrations transmises au corps entier, jusqu'à la publication de la norme ISO 2631, qui est restée jusqu'à aujourd'hui la référence. Le groupe de travail sollicité pour l'établissement de la norme s'est appuyé des travaux cités, ainsi que des données épidémiologiques proposées par un compatriote de l'époque : Kelsey. Sa démarche était différente de celle employée en Europe puisqu'il s'agissait d'études cas-témoins (41–43). L'auteur a évalué le risque de présenter une hernie discale lombaire en fonction de différents paramètres, auprès d'une population du Connecticut constituée de patients souffrant de hernie discale lombaire avec une indication chirurgicale. Plusieurs facteurs de risque ont alors été mis en évidence : le maintien d'une position sédentaire, la conduite prolongée ainsi que la consommation de tabac. L'équipe retrouvait ainsi un risque majoré (environ trois fois supérieur) chez les conducteurs professionnels, et particulièrement les chauffeurs poids-lourds, par rapport aux autres professions. Kelsey a ensuite confirmé l'importance des expositions professionnelles (port de charges lourdes, vibrations transmises au corps entier) comme facteur de risque de lombalgie et hernie discale auprès de malades (44).

Dans les années 1990, Bovenzi a observé par la réalisation de deux études auprès de conducteurs professionnels (45,46), une prévalence de symptômes lombaires (protrusion discale, lombalgies aiguës et chroniques, radiculalgies) supérieure chez les sujets exposés aux vibrations de par leur profession que chez les sujets contrôle. Le développement de symptômes était corrélé à l'augmentation de la dose de vibration reçue, aussi bien en termes de durée d'exposition que d'intensité des vibrations perçues. Bovenzi a également réalisé plusieurs revues de la littérature mettant en évidence une association entre le risque de présenter des troubles lombaires (lombalgies, pathologies discales lombaires, y compris

hernies) et l'exposition aux vibrations dans le cadre professionnel (47,48). Son travail a aussi conduit à l'élaboration d'un guide pour la Société Italienne de Médecine du travail et d'Hygiène industrielle, permettant le repérage des sujets souffrant de troubles lombaires en lien avec les vibrations, ainsi que la surveillance médicale à adopter chez les travailleurs exposés (49).

De plus, le choix des valeurs de mesure recommandées dans la Directive européenne (valeur de dose de vibration VDV et exposition quotidienne A(8)) sont questionnables. Il s'agit de valeurs limites, qui n'abordent pas la possibilité d'un effet en dessous des seuils, alors qu'une relation dose-effet a été abordée (50). Bien que la VDV semble plus fiable que A(8) pour estimer le risque de présenter un trouble lombaire (51), elle ne permet pas de considérer le risque majoré lié aux chocs. Bovenzi propose (52) donc d'estimer la « dose rachidienne interne » à partir de deux nouveaux paramètres dont la norme ISO 2631 s'est enrichie dans sa révision en 2004 : la dose équivalente quotidienne de compression et le facteur de risque (fonction de l'âge de début de l'exposition).

3. Synthèse

Les données de la littérature attestent donc dans leur majorité d'une association entre le développement de trouble lombaire et l'exposition à des vibrations transmises au corps entier, même si une « dose » nocive de vibrations n'a pas pu être définie. La profession de chauffeurs de bus n'entre pas dans la liste limitative des travaux susceptibles d'exposer à des vibrations du tableau de maladie professionnelle. Les conducteurs de bus ne bénéficient donc pas d'une possibilité de reconnaissance en maladie professionnelle via ce tableau. Ils sont néanmoins des professionnels de la conduite. On peut alors s'interroger sur la légitimité de leur exclusion du tableau n°98 (nous n'évoquerons pas le tableau n°57 au Régime Agricole, cette profession n'y étant quasiment représentée). En effet, on peut se demander si les radiculalgies sciatiques ou crurales par hernie discale lombaire sont plus représentées au sein de cette profession par rapport à la population générale. De même, présentent-ils des niveaux d'exposition aux vibrations corps entier supérieurs aux valeurs réglementaires, ou du moins superposables à ceux constatés pour les travaux indemnisés au tableau n°98 ? Pour cela, on propose un travail en plusieurs étapes. Tout d'abord, il est nécessaire de présenter la profession de chauffeur de bus. Ensuite, on propose d'effectuer une revue de la littérature portant sur le risque de trouble lombaire chez les conducteurs de bus et sur leur

exposition aux vibrations corps entier. Ensuite, une analyse de données locales (mesures de vibrations réalisées en deux régions françaises) permettra d'apporter des nouveaux éléments pour répondre à cette question.

VI. Les conducteurs de bus

A. Définitions

Le terme « chauffeur de bus » n'est pas tout à fait adapté pour décrire la réalité du métier, il vaudrait mieux utiliser le terme générique de « conducteur de transport en commun de voyageurs » (CTCV). Ce terme est usité pour parler des conducteurs de voyageurs, dans un véhicule accueillant 9 personnes ou plus, chauffeur compris. Ils sont détenteurs d'un permis D, ainsi qu'une Formation Initiale Minimale Obligatoire du transport de voyageurs (F.I.M.O). En réalité, différents types d'exercices existent derrière cette dénomination, avec, pour chacun, des caractéristiques particulières, découvrant finalement plusieurs métiers. On doit en effet distinguer les conducteurs d'autobus et d'autocars. Les autobus sont des véhicules principalement utilisés pour le transport urbain, dotés de places assises mais aussi debout ; tandis que les autocars sont destinés au transport routier ou touristique, et ne disposent que de places assises.

Conducteurs de bus urbain ou périurbain

Les distances parcourues sont souvent faibles à moyennes, et réalisées à vitesse relativement faibles. En revanche, les arrêts sont fréquents, et les routes pratiquées sont très variables en fonction des villes, et même des quartiers traversés. On note qu'en langue anglaise, ce type de véhicule est généralement désigné par le terme « *bus* ».

Conducteurs de car

A l'inverse, les conducteurs de cars, dits de tourisme effectuent des trajets plus longs, en sein d'un réseau interurbain local, régional, national voire international. Les vitesses de circulation sont plus élevées, et il s'agit majoritairement de trajets sur routes ou autoroutes, avec peu d'arrêts. En anglais, on désigne les cars par le terme « *coach* ».

B. Description du poste

1. Lieux de travail

Depuis leur poste de conduite, les CTCV traversent des milieux urbains et interurbains. Ils se rendent quotidiennement au dépôt et peuvent accéder aux locaux administratifs éventuels

de l'entreprise. Enfin, lors de grands déplacements, le retour au domicile n'est pas toujours possible pour les conducteurs qui sont alors souvent hébergés en hôtel.

2. Organisation du travail

Plusieurs modalités sont possibles en fonction des entreprises et des postes. Ainsi on peut relever :

- Du travail de nuit ;
- Le weekend ;
- Du travail posté
- De grands déplacements.

Les CTCV sont soumis à des délais qu'ils doivent respecter, et sont en contact permanent avec des usagers.

3. Tâches au cours de la journée

Avant de prendre le véhicule, le CTCV doit l'inspecter (contrôle de l'état global extérieur et intérieur du véhicule, des pneumatiques, du bon fonctionnement des freins, indicateurs lumineux, etc.). Il doit par la suite accueillir les passagers, les renseigner si nécessaire, puis conduire en respectant le Code de la Route, et en s'assurant de la sécurité des voyageurs.

Certaines activités sont spécifiques aux métiers de chauffeurs urbains, tels que la vente et le contrôle de titres de transport, ainsi que le respect des arrêts prévus, selon des horaires imposés. Les conducteurs de cars de tourisme doivent quant à eux aider au chargement et déchargement des bagages des voyageurs en soute, assister la montée et la descente des passagers lorsque cela est nécessaire, et assurer le nettoyage minimal de l'autocar à chaque étape du trajets.

C. Contraintes et expositions

Les CTCV sont exposés au risque routier, qui peut être majoré selon certaines conditions de circulation (conditions climatiques, conduite nocturne, etc.). La contrainte posturale est en lien avec une position assise prolongée, ainsi qu'une exposition à des vibrations transmises au corps entier. Certains conducteurs sont exposés à du port de charges plus ou moins

lourdes, ainsi qu'à des postures contraignantes pour le rachis et les membres supérieurs. Leur présence quotidienne au sein de la circulation routière les expose à des gaz d'échappement et à la pollution atmosphérique. En fonction des voyageurs, une exposition au bruit peut être retrouvée.

Des contraintes mentales sont également présentes : pression psychologique (contact avec le public, risque d'agressivité voire d'agression), charge mentale élevée (concentration importante et permanente), pression temporelle (respect des horaires).

D. Sinistralité du secteur

Il est intéressant de considérer la sinistralité déclarée, à partir des données de l'Assurance Maladie, afin de mettre en évidence les principaux risques pour la santé pris en charge en accident du travail et maladie professionnelle par l'Assurance Maladie pour les CTCV. Pour cela, 3 secteurs ont été sélectionnés :

- Code NAF 4931Z : « transport par voie terrestre de passagers par des systèmes de **transport urbain** et suburbain utilisant divers modes de transport, tels que **bus**, chemins de fer, tramway, trolleybus, métro souterrain ou aérien, etc. »
- Code NAF 4939A : « autres **transports routiers** réguliers de passagers (exploitation de lignes régulières **d'autocar sur de longues distances**, selon des horaires déterminés, même à caractère saisonnier, navettes d'aéroports régulières, autres transports routiers réguliers de passagers) »
- Code NAF 4939B : « les autres **transports routiers** de passagers (organisation d'excursions en **autocars**, la location d'autocars avec conducteur à la demande, circuits touristiques urbains par car, autres services occasionnels de transport routiers à la demande).

Les données de l'année 2015 sont présentées ci-après.

Transport urbain et suburbain de passagers (code NAF 4931Z) :

Sur un total de 58362 salariés, 3406 accidents de travail (AT) ont été indemnisés (Indice de fréquence : 58,4 ; taux de fréquence : 38,0 ; taux de gravité : 3,4 ; Indice de gravité : 24,7)

dont un responsable d'un décès ; et 401 accidents de trajets et 98 maladies professionnelles (MP) ont été indemnisés.

Les AT ont été déclarés suite à : des agressions (y compris par animaux) dans 36% des cas, des manutentions manuelles dans 22% des cas, des conséquences du risque routier dans 16% des cas, des chutes (11% de plain-pied et 8% de hauteur), et enfin diverses situations non détaillées dans 7% des cas.

Les MP reconnues étaient : des affections péri articulaires de l'épaule (tableau n°57A) dans 85% des cas, des affections du rachis lombaire en lien avec un exposition aux vibrations (tableau n°97A) dans 4% des cas, des affections en lien avec un exposition à des fibres d'amiantes (tableaux n°30A et 30B) dans 7% des cas, des cas de surdité professionnelle (tableau n°42A) dans 2%, et enfin 4% de MP autres.

[Transport routier régulier de passager \(code NAF 4939A\)](#)

Sur un total de 55840 salariés, 2151 accidents de travail (AT) ont été indemnisés (Indice de fréquence : 38,5 ; taux de fréquence : 24,6 ; taux de gravité : 2,4 ; Indice de gravité : 19,3) dont 4 responsables d'un décès ; et 284 accidents de trajets et 68 maladies professionnelles (MP) ont été indemnisés.

Les AT ont été reconnus suite à : des manutentions manuelles dans 29% des cas, des conséquences du risque routier dans 22% des cas, des chutes (16% de hauteur et 14% de plain-pied), des agressions (y compris par animaux) dans 12% des cas et enfin diverses situations non détaillées dans 7% des cas.

Les MP reconnues étaient : des affections péri articulaires de l'épaule (tableau n°57A) dans 91% des cas, des MP « hors tableaux » (alinéa 4) dans 3% des cas, des cancers broncho-pulmonaires en lien avec une exposition à des fibres d'amiantes (tableaux n°30B) dans 1% des cas, des eczémas allergiques (tableau n°65A) dans 1% des cas, des affections des membres supérieurs en lien avec une exposition aux vibrations et chocs (tableau n°69A) dans 1% des cas et enfin 1% de MP autres.

[Autres transports routiers de passager \(code NAF 4939B\)](#)

Sur un total de 31890 salariés, 1078 accidents de travail (AT) ont été indemnisés (Indice de fréquence : 33,8 ; taux de fréquence : 22,8 ; taux de gravité : 2,2 ; Indice de gravité : 19,8)

dont 3 responsables d'un décès ; et 141 accidents de trajets et 28 maladies professionnelles (MP) ont été indemnisés.

Les AT ont été indemnisés suite à : des manutentions manuelles dans 39% des cas, des chutes de hauteur dans 17% des cas, des conséquences du risque routier dans 16% des cas, des chutes de plain-pied dans 12% des cas, des agressions (y compris par animaux) dans 9% des cas et enfin diverses situations non détaillées dans 7% des cas.

Les MP indemnisées étaient : des affections péri articulaires de l'épaule (tableau n°57A) dans 75% des cas, des affections du rachis lombaire en lien avec des manutentions manuelles de charges lourdes (tableau n°98A) dans 18% des cas, des cancers broncho-pulmonaires en lien avec une exposition à des fibres d'amiantes (tableaux n°30B) dans 4% des cas, et enfin des MP « hors tableaux » (alinéa 4) dans 4% des cas.

Synthèse

Bien que ces trois secteurs ne soient pas exclusivement composés de CTCV, on peut dresser un tableau récapitulatif de la sinistralité :

Code NAF	Nombre de salariés	Nombre d'AT	Type d'AT indemnisés					
			Agressions	Manutention	Risque routier	Chute de plain-pied	Chute de hauteur	Autres
4931Z	58362	3406	2,1%	1,3%	0,9%	0,6%	0,5%	0,4%
4939A	55840	2151	0,5%	1,1%	0,8%	0,5%	0,6%	0,3%
4939B	31890	1078	0,3%	1,3%	0,5%	0,4%	0,6%	0,2%
Total	146092	6635	1,1%	1,2%	0,8%	0,6%	0,5%	0,3%

Code NAF	Nombre de salariés	Nombre de MP	Tableaux de MP indemnisées								
			57A	97A	30	42A	Alinéa 4	65A	69A	98A	Autres
4931Z	58362	98	83	4	5	2	0	0	0	0	4
4939A	55840	68	62	0	1	0	2	1	1	0	1
4939B	31890	28	21	0	1	0	1	0	0	5	0
Total	146092	194	166	4	7	2	3	1	1	5	5

Ces chiffres illustrent les comparaisons qui peuvent être faites entre le secteur du transport urbain et ceux du transport routier (et autoroutier). En effet, d'après l'analyse des données des AT on constate qu'en zone urbaine, le risque d'agression est plus important que dans le transport routier. De fait, on peut penser que les facteurs de risques psychosociaux sont particulièrement présents pour cette population de salariés. En revanche, les risques liés à la manutention manuelle de charges et à la conduite sont présents dans les mêmes proportions dans les trois secteurs et ce en dépit d'une pratique bien différente du métier. Concernant les MP, on peut déjà constater que le tableau le plus largement représenté, tous secteurs confondus, est celui des affections péri articulaires de l'épaule. Les affections du rachis lombaire sont également assez représentées, mettant en évidence un risque de trouble musculo-squelettique non négligeable.

Cependant, bien qu'instructives, les données concernant la sinistralité des secteurs d'emploi des CTCV ne sont pas exhaustives, ni parfaitement spécifiques. En effet, les secteurs choisis ne sont pourvoyeurs uniquement de postes de CTCV, ainsi, la sinistralité décrite ne concerne pas uniquement une population de chauffeur. De plus, ces données sont dépendantes du degré de déclaration des AT et MP. On peut penser que le nombre d'AT et MP déclarés et indemnisés reste en deçà de la réalité car il peut exister de nombreux freins à la déclaration : manque d'informations, erreurs voire oubli de transmission à la caisse d'Assurance Maladie, description erronée ou parcellaire des circonstances, etc. Enfin, il faut rappeler que si des troubles lombaires aigus peuvent être déclarés en AT à l'occasion par exemple d'une manutention manuelle de charges, les troubles chroniques ne peuvent être déclarés en MP, puisque les chauffeurs de transport en commun sont exclus des tableaux (se référer au chapitre « *Maladies professionnelles en lien avec les troubles lombaires* »). Ces données sont malgré tout cohérentes avec les contraintes associées au métier de conducteur de transport en commun de voyageurs. Elles incitent à penser que la problématique des affections lombaires est importante chez les chauffeurs de bus, et qu'une association avec une exposition aux VCE serait envisageable. Pour explorer ces perspectives, une recherche bibliographique portant sur la littérature internationale a été réalisée.

VII. Revue bibliographique : les conducteurs de transports en commun de voyageurs dans la littérature scientifique

A. Démarche de recherche bibliographique

L'objectif de la revue littéraire était double : rechercher la prévalence des troubles lombaires chez les CTCV, et évaluer leur exposition aux VCE. Compte tenu de la spécificité de la population étudiée, la démarche s'est focalisée, afin d'être la plus exhaustive possible, sur le traitement des CTCV dans la littérature. Pour cela, la recherche a été menée sur différents moteurs de recherches, en langue française et anglaise à partir du terme de « bus ». Pour cela, il était avant tout nécessaire de s'assurer de la réalisation d'une recherche suffisamment exhaustive. La première démarche a donc été de recueillir la liste des différents synonymes du terme « bus » en français et en anglais, afin de pouvoir les utiliser comme mots-clefs.

- En français : « bus », « autobus », « car », « autocar », « minibus ».
- En anglais : « bus », « autobus », « coach », « double-decker », « motorbus », « motorcoach », « omnibus ».

Chaque base de données a ainsi été interrogée en utilisant chacun des mots clefs définis. Une première lecture des résultats a permis d'éliminer les documents ne portant pas sur une problématique en lien avec les troubles lombaires ni avec les conducteurs professionnels de bus.

Sur INRS biblio

Mot clef utilisé	Nombre de résultats obtenus	Nombre de documents sélectionnés
bus	430	12
autobus	231	12
car	>1000, nécessité d'affiner la recherche	-
autocar	15	0
minibus	0	-
coach	30	0
double-decker	0	-

motorbus	0	-
motorcoach	0	-
omnibus	1	0
Total	707	24

Sur la Banque de Données de Santé Publique

Mot clef utilisé	Nombre de résultats obtenus	Nombre de documents sélectionnés
bus	107	5
autobus	30	1
car	>1000, nécessité d'affiner la recherche	-
autocar	0	-
minibus	9	0
coach	71	0
double-jecker	0	-
motorbus	0	-
motorcoach	0	-
omnibus	59	0
Total	276	6

Sur Cochrane Library

Mot clef utilisé	Nombre de résultats obtenus	Nombre de documents sélectionnés
bus	88	0
autobus	1	0
car	>900, nécessité d'affiner la recherche	-
autocar	0	-
minibus	1	0
coach	>1500, nécessité d'affiner la recherche	-
double-jecker	0	-
motorbus	0	-
motorcoach	0	-
omnibus	56	0
Total	146	0

Sur les Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement

Mot clef utilisé	Nombre de résultats obtenus	Nombre de documents sélectionnés
bus	41	2
autobus	9	0
car	10	0
autocar	3	0
minibus	0	-
coach	3	0
double-jecker	0	-
motorbus	0	-
motorcoach	0	-
omnibus	0	-

Total	66	2
-------	----	---

Sur le Sudoc

Mot clef utilisé	Nombre de résultats obtenus	Nombre de documents sélectionnés
bus	>2000, nécessité d'affiner la recherche	-
autobus	448	2
car	>3900, nécessité d'affiner la recherche	-
autocar	119	0
minibus	10	0
coach	861	0
Double-jecker	0	-
motorbus	2	0
motorcoach	2	0
omnibus	>4500, nécessité d'affiner la recherche	-
Total	1442	2

Sur Pubmed

Ces mots clefs sont malheureusement trop génériques pour une base de données aussi ample que Pubmed. Nous avons donc décidé d'orienter la recherche de façon plus spécifique sur les conducteurs de bus, avec les mots suivants :

Mot clef utilisé	Nombre de résultats obtenus	Nombre de documents sélectionnés
Bus driver*	486	26
Bus operator*	17	0
Bus conductor*	6	1
Coach driver*	8	1
Coach operator*	3	1
Coach conductor*	1	0
Total	521	29

Au total, ce sont 50 articles qui ont été sélectionnés, après élimination des doublons. La démarche de recherche est exposée à la figure suivante (Figure 22).

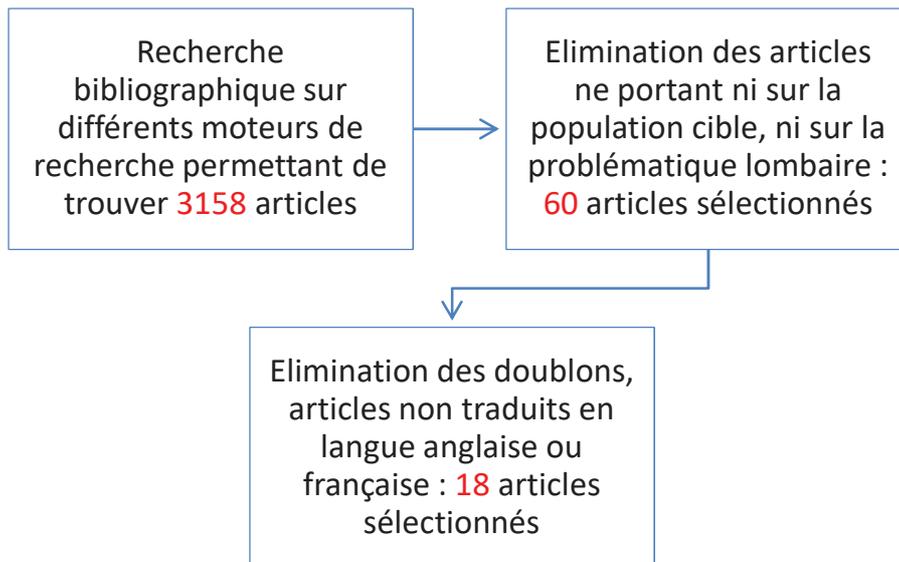


Figure 22 : Flowchart de la recherche bibliographique

En pratique, ce sont donc 18 articles qui ont été sélectionnés à l'issue de la recherche. Leur lecture a permis de mettre en évidence des données portant pour certains sur la prévalence des troubles lombaires chez les CTCV et pour d'autres sur les niveaux d'exposition de ces derniers aux VCE.

B. Tableau récapitulatif de la recherche bibliographique

Nom de l'article	Auteur	Pays	Journal de publication	Impact Factor	Année de publication	Résultats principaux
Low back pain among professional bus drivers: ergonomic and occupational-psychosocial risk factors	Alperovitch	Israël	The Israel Medical Association journal	0.879	2010	Prévalence de douleurs lombaires de 45,4% auprès de 384 chauffeurs de bus
The back pain of bus drivers. Prevalence in an urban area of California.	Anderson	USA	Spine	2.439	1992	Augmentation significative de la prévalence de douleurs lombaires auprès de 128 chauffeurs de bus (66,4%) par rapport au groupe contrôle (44,8%) (p<0.04)
Self-reported low back symptoms in urban bus drivers exposed to whole-body vibration	Bovenzi	Italie	Spine	2.439	1992	Accélérations de vibrations différentes en fonction de l'ancienneté des bus utilisés : 0,4 à 0,65m/s ² dans les plus anciens contre 0,18 à 0,29m/s ² dans les plus récents.
Low back pain disorders and exposure to whole-body vibration in the workplace.	Bovenzi	Italie	Seminars in Perinatology	2.682	1996	Prévalences de sciatalgies de 32,5% et de douleurs lombaires de 48,3% auprès de 234 chauffeurs de bus. Taux significativement supérieurs à ceux observés au sein du groupe contrôle.

Metrics of whole-body vibration and exposure-response relationship for low back pain in professional drivers: a prospective cohort study	Bovenzi	Italie	International Archives of Occupational and Environmental Health	2.061	2009	Mesures d'accélération de vibrations dans l'axe vertical identiques dans 13 bus et 11 chariots élévateurs (valeur moyenne des mesures réalisées : $a = 0,30m/s^2$)
Health conditions of bus drivers in a 6 year follow up study	Costa	Italie	Journal of Human Ergology	0,27	2001	Augmentation de la prévalence des douleurs lombaires chez plus de 200 chauffeurs de bus avant l'embauche (8%) et après l'embauche (20-28%)
Comparative cross-sectional study for understanding the burden of low back pain among public bus transport drivers	Jadhav	Inde	Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine	1.006	2016	Prévalence de douleurs lombaires de 70,8% auprès de 178 chauffeurs de bus, et augmentation significative du risque de douleur lombaire chronique chez les chauffeurs par rapport au groupe contrôle ($p < 0.001$)
Locomotor diseases among male long-haul truck drivers and other professional drivers	Jensen	Danemark	International Archives of Occupational and Environmental Health	2.061	2008	Augmentation significative du taux d'hospitalisation pour pathologie discale dorsolombaire auprès de 6174 chauffeurs de bus par rapport à la population générale Danoise ($p = 0.03809$)
Physical workload, ergonomic problems, and incidence of low back injury: a 7.5-year prospective study of San Francisco transit operators	Krause	USA	American Journal of Industrial Medicine	1.632	2004	Prévalence de douleurs lombaires de 45% auprès de 1233 chauffeurs de bus. Augmentation significative du risque de présenter un trouble lombaire sévère (indication chirurgicale de laminectomie avec douleurs séquellaires, sténose du canal rachidien, hernie discale lombaire, sciatalgie, instabilité rachidienne) toutes les 10h de conduite hebdomadaire (RR=1.39 [1.15-1.68], $p = 0.001$).

Lower back pain and absenteeism among professional public transport drivers	Kresal	Slovénie	International journal of occupational safety and ergonomics	0.381	2015	Absence d'augmentation significative du risque de douleur lombaire avec le nombre d'années d'expérience
Effects of self-stretching on pain and musculoskeletal symptom of bus drivers	Lee	Corée du Sud	Journal of Physical Therapy Science	1,98	2014	Prévalence de douleurs lombaires de 33,7% auprès de 88 chauffeurs de bus
Back and neck extensor loading and back pain provocation in urban bus drivers with and without low back pain	Leinonen	Finlande	Pathophysiology	1.87	2005	Absence d'impact positif sur la perception douloureuse des vibrations au niveau du rachis lombaire par l'utilisation de sièges dits ergonomiques
Whole-body vibration exposure in metropolitan bus drivers	Lewis	USA	Occupational Medicine	1.128	2012	Dépassement de la VA de la VDV selon l'axe z dans des bus circulant sur autoroute (VDV=10,8m/s-1,75), en ville (VDV=12,7m/s-1,75) et sur ralentisseur (VDV=12,5m/s-1,75)
Low back trouble among urban bus drivers in Denmark	Netterstrom	Danemark	Scandinavian Journal of Social Medicine	1.318	1989	Prévalence de douleurs lombaires de 52% auprès de 854 chauffeurs de bus de 25 à 44 ans significativement supérieure à la population d'automobiliste de référence. (p<0.001)

City bus driving and low back pain: a study of the exposures to posture demands, manual materials handling and whole-body vibration.	Okunribido	Ecosse	Applied Ergonomics	1.713	2007	<p>1) Prévalence de douleurs lombaires dans l'année précédant l'étude de 59% chez 12 chauffeurs de bus</p> <p>2) VLE de la VDV dépassée pour des vibrations dans les 3 axes lors de la conduite sur pavés, quel que soit le bus utilisé (mini, simple et double) ; VA de la VDV dépassée en conduite sur asphalte dans les axes y et z en bus simple (VDV 15,862 et 19,233m/s-1,75)</p>
Prevalence and pattern of occupational exposure to whole body vibration in Great Britain: findings from a national survey	Palmer	Royaume Uni	Occupational and Environmental Medicine	3.745	2000	Exposition à des vibrations de VDV supérieures à 8,5m/s-1,75 dans 95% des cas chez les chauffeurs de bus.
Work-related musculoskeletal disorders in urban bus drivers of Hong Kong	Szeto	Chine	Journal of Occupational Rehabilitation	1.644	2007	Prévalence de douleur lombaire dans l'année précédant l'étude de 60% auprès de 481 chauffeurs de bus
The Association between risk factors and low back pain among commercial vehicle drivers in peninsular Malaysia: a preliminary result	Tamrin	Malaisie	Industrial Health	1.057	2007	<p>1) Prévalence de douleurs lombaires de 60,4% auprès de 760 chauffeurs de bus</p> <p>2) Absence de dépassement des valeur d'action (2.18m/s² pour 25 minutes) et valeur limite d'exposition (5.02m/s² pour 25 minutes) pour des accélérations de vibrations en conduite selon l'axe vertical sur routes de bonne qualité (valeur moyenne dans l'axe vertical à 0.2582m/s²) et de mauvaise qualité (valeurs moyennes dans l'axe vertical à 0.1841m/s² et 0.3889m/s²).</p>

C. Pathologies lombaires chez les conducteurs de bus

La problématique des troubles lombaires chez les chauffeurs de bus est soulevée dans divers pays au niveau international.

Plusieurs auteurs originaires de différents pays d'Asie se sont ainsi penchés sur la question depuis les années 2000. Tamrin (53) a conduit une étude transversale entre 2004 et 2005 auprès de 760 chauffeurs de bus Malaisiens, issus de 11 compagnies différentes, couvrant des secteurs géographiques divers (transport urbain au sein de la capitale, ou transport de longue distance sur l'ensemble du pays). Il s'agissait principalement de bus effectuant plusieurs arrêts définis afin de prendre ou déposer des passagers. Les conditions de conduite étaient très variables. Tamrin retrouvait une prévalence de 60.4% de douleurs lombaires auprès de l'ensemble des chauffeurs.

En 2016, Jadhav (54) a recherché auprès de 178 chauffeurs de bus Indiens et 184 salariés de la même entreprise exerçant dans la maintenance, la sécurité, la mécanique, l'administratif par questionnaire auto-administrés, des symptômes lombaires. Au cours des 10 années précédentes, la prévalence de douleurs lombaires était de 70.8% chez les chauffeurs contre 61.04% auprès du groupe contrôle ($p < 0.001$). Parmi les sujets souffrant de douleur lombaire, il s'agissait, chez les chauffeurs, d'une situation aiguë dans 21.4% des cas (37.9% contrôle), subaiguë dans 5.6% des cas et chronique dans 73% des cas (50.5% contrôle). Il existait une différence significative entre les deux groupes pour les douleurs lombaires chroniques (OR : 2.270 [1.471-3.502] des chauffeurs comparés aux non-conducteurs).

Szeto a mené une enquête auprès de 481 chauffeurs de bus en zone urbaine à Hong Kong, issus de 4 compagnies (55). 60% d'entre eux rapportaient une douleur lombaire lors des 12 mois précédents. Il s'agissait d'une douleur chronique dans près de 90% des cas, et un traitement médical ainsi qu'un arrêt de travail avaient été nécessaires dans 31.7% et 14.8% des cas, respectivement. Plus récemment encore, (2014), Lee a relevé au sein d'une population de 88 chauffeurs de bus Coréens une prévalence de 33.7% de douleurs lombaires (56). L'étude ne fournissait pas de renseignements pertinents supplémentaires.

D'autres études ont été menées dans le monde. En Israël en 2010, Alperovitch (57) notait une prévalence de 45.4% de symptômes lombaires dans l'année écoulée auprès d'une

population de 384 chauffeurs de bus intra-urbains de Tel Aviv. Les autres paramètres étudiés portaient sur des données physiologiques (âge, poids, taille, BMI...), des facteurs extra-professionnels (pathologies extra-articulaires, pratique régulière du sport) et la présence de risques psycho-sociaux au travail.

Aux USA, en 2004, Krause a mené une étude de cohorte prospective de près de 8 ans, auprès de 1233 CTCV urbains de San Francisco (58). Il relevait une prévalence de douleur lombaire de 45% chez les chauffeurs de bus diesel et 34.1% chez les chauffeurs de trolleybus. Sans distinction du type de véhicule utilisé, l'auteur détaillait le type de trouble lombaire relevé : il s'agissait d'une douleur aspécifique dans 65.3% des cas, d'une hernie discale sans myélopathie dans 18.4% des cas, d'une sciatalgie dans 7% des cas, d'une lésion discale dégénérative dans 3.6% des cas, d'une hernie discale avec myélopathie dans 2.4% des cas. Après ajustement sur les données biométriques, Krause retrouvait une corrélation entre l'augmentation du temps de travail hebdomadaire et le risque de présenter une douleur lombaire. Il évoquait l'existence d'une relation dose-réponse exponentielle significative d'un point de vue statistique avec une augmentation significative du risque de présenter un trouble lombaire sévère (indication chirurgicale de laminectomie avec douleurs séquellaires au décours ; sténose du canal rachidien ; hernie discale lombaire ; sciatalgie ; instabilité rachidienne) toutes les 10h de conduite hebdomadaire (RR=1.39 [1.15-1.68], p=0.001). Les conducteurs de tramways et de métros présentaient un risque de douleur lombaire inférieur à celui des chauffeurs de bus. Anderson confirmait une augmentation de la prévalence de douleurs lombaires chez 128 chauffeurs de bus urbains Californiens par rapport au groupe contrôle de 67 sujets composés de 14 gardiens, 33 mécaniciens de maintenance et 20 agents administratifs (59). Les prévalences étaient de 66.4% et 44.8%, respectivement, et étaient significativement différentes selon le test du χ^2 avec $p < 0.04$.

Les auteurs européens ont également produit des travaux sur cette problématique. C'est bien entendu le cas de Bovenzi, qui s'est beaucoup investi dans ce domaine. Il retrouvait, en 1996, des taux de prévalence pour les lombalgies chroniques de 45 à 50% chez 234 chauffeurs de bus de tous âges (46). Après ajustements sur les différents paramètres intrinsèques des participants, il retrouvait des prévalences de sciatalgies de 32.5% et de lombalgies chroniques de 48.3%, ce qui était significativement supérieur aux taux relevés auprès de la population contrôle, avec un OR de 1.95 [1.15-3.31] et 2.36 [1.46-3.81]

respectivement. Néanmoins, le risque de hernie discale n'était pas augmenté de façon significative. A noter cependant que les conducteurs de bus étaient également exposés à des postures contraignantes pour le rachis lombaire.

A cette même période environ, Costa a rencontré plus de 200 chauffeurs de bus urbains d'une compagnie italienne en 1993 puis en 1999 (60). L'auteur notait une prévalence de douleur lombaire de 7 à 8% avant l'embauche contre 20 à 28% après l'embauche, sans notion de durée précisée, ce qui correspondait à une augmentation de 21% en 1993, et 16% en 1999.

D'autres auteurs ont relevé des résultats similaires : au Danemark en 1989, Netterstrøm retrouvait une prévalence de douleurs lombaires de 52% auprès d'une population de 854 chauffeurs de bus urbains âgés de 25 à 44 ans, contre 40% auprès de la population contrôle de 169 automobilistes de 25 à 44 ans (test du χ^2 avec $p < 0.001$) (61). Jensen relevait, en 2008, des taux de troubles lombaires significativement supérieurs chez les conducteurs de bus par rapport à la population générale Danoise (62). De façon plus détaillée, l'auteur a identifié, à partir des registres d'identification nationaux, 6174 conducteurs de bus. Il a par ailleurs relevé les données concernant les hospitalisations sur tout le territoire Danois. Il en a extrait les causes d'hospitalisations (diagnostics relevant de la 10^{ème} édition de *l'International Classification of Diseases*) et la profession exercée par les patients hospitalisés. Ainsi, Jensen a relevé un taux d'hospitalisation pour une pathologie discale lombaire ou dorsale chez les conducteurs de bus supérieur à celui observé en population générale : SHR (*Standardized Hospitalization Ratio*) 131 (IC [114-150], $p=0.03809$).

Plus récemment (2004), Okunribido (63) observait en Ecosse une prévalence de symptômes douloureux lombaires de 59% chez les conducteurs de bus étudiés au cours de l'année écoulée. Néanmoins, il s'agissait dans près de 30% des cas d'épisodes de lombalgies aiguës. L'existence d'une hernie discale confirmée par imagerie n'était pas relevée. La population étudiée était également exposée à des postures contraignantes et de la manutention manuelle de charges.

Enfin, en 2012, Kresal a interrogé une population de 145 chauffeurs de bus urbains Slovènes (64). L'auteur a réalisé une analyse afin de rechercher une différence statistiquement significative de prévalence de douleur lombaire en fonction du temps d'exercice de la

profession de chauffeur de bus. Chez les 60 conducteurs exerçant depuis moins de 10 ans, 46 présentaient des douleurs lombaires ; contre 34 chez les 50 chauffeurs exerçant depuis 11 à 20 ans et enfin 23 chez les conducteurs exerçant depuis plus de 20 ans. L'analyse ne retrouvait pas de différence significative selon le test du χ^2 avec $p=0.684$. L'existence d'un phénomène de « travailleur sain » est un biais possible.

D. Exposition des conducteurs de bus aux VCE

Parmi les contraintes auxquelles sont exposés les CTCV, certains auteurs ont choisi de d'explorer de façon détaillée leur exposition aux VCE. En 2000 notamment, Palmer relevait chez des chauffeurs de bus en Grande Bretagne, des expositions supérieures à une VDV de $8.5 \text{ m/s}^{1.75}$ dans 95% des cas, avec une part estimée à l'exposition professionnelle de 33% (65). Il relevait en revanche des expositions supérieures à une VDV de $15 \text{ m/s}^{1.75}$ dans moins d'1% des cas. La valeur limite d'exposition telle que fixée par la Directive Européenne ($21 \text{ m/s}^{1.75}$) n'était donc jamais dépassée auprès de la population de conducteurs de bus, mais les données ne permettent pas de savoir dans quelle mesure la valeur d'action ($9.1 \text{ m/s}^{1.75}$) est dépassée. De plus, un certain nombre de paramètres n'étaient pas explorés. En 2009, Bovenzi a réalisé des mesures vibratoires en situation réelle de conduite dans 13 bus italiens (50). Les mesures étaient réalisées à l'interface entre le siège et le chauffeur, pendant 10 minutes. Il a mesuré des accélérations pondérées en fréquences et avec majoration du risque dans les directions x, y et z de 0.07 m/s^2 , 0.09 m/s^2 et 0.30 m/s^2 respectivement. En comparaison, il a effectué les mêmes mesures dans 11 chariots élévateurs au sein d'une usine de papier. Les mesures des accélérations dans les directions x, y et z étaient de 0.11 m/s^2 , 0.11 m/s^2 et 0.30 m/s^2 respectivement. Néanmoins, l'auteur n'apportait pas de précision particulière quant aux véhicules et aux trajets empruntés. Or, plusieurs paramètres sont à prendre en considération : les paramètres intrinsèques du véhicule (type, motorisation, vitesse de conduite), mais aussi le type de route traversée (période de circulation, revêtement...).

Revêtement routier et trajet réalisé

Okunribido a relevé en 2004 en Ecosse, les vibrations en conduite de 12 chauffeurs de bus intra-urbains (63). Des mesures successives des vibrations sur des périodes de 5 minutes ont été réalisées à l'aide d'un accéléromètre situé à l'interface siège/conducteur, selon la norme

ISO 2631-1. Selon une observation réalisée en situation de conduite réelle de 12 conducteurs de bus, le temps de conduite effective (c'est-à-dire véhicule en mouvement) constaté au cours d'une journée de travail était de 4h40. La VDV dépassait la valeur limite d'exposition normalisée à une période de référence de 8 heures fixée par la Directive Européenne ($21 \text{ m/s}^{1.75}$) uniquement durant les phases de conduite sur pavés. La VDV était en effet à $21.624 \text{ m/s}^{1.75}$ selon l'axe vertical z dans le minibus. Dans le bus double, elle était de $36.722 \text{ m/s}^{1.75}$ selon l'axe x, $38.525 \text{ m/s}^{1.75}$ selon l'axe y et $38.873 \text{ m/s}^{1.75}$ selon l'axe z. Dans le bus standard, la VDV était de $27.043 \text{ m/s}^{1.75}$ selon l'axe y et $37.597 \text{ m/s}^{1.75}$ selon l'axe z. Le temps de conduite sur pavés était estimé à 3.8% du temps de conduite soit 11 minutes. En revanche, la valeur déclenchant l'action fixée par la Directive Européenne normalisée sur une période de 8 heures fixée à $9.1 \text{ m/s}^{1.75}$ était dépassée dans plusieurs situations. La VDV était en effet mesurée à $11.778 \text{ m/s}^{1.75}$ selon l'axe z dans le minibus lors de la conduite au ralenti, qui représentait, d'après l'observation en situation de conduite, 2h33 au cours de la journée de travail. Enfin, la VDV était de $15.862 \text{ m/s}^{1.75}$ selon l'axe y, et $19.233 \text{ m/s}^{1.75}$ selon l'axe z dans le bus standard lors de la conduite sur asphalté, qui représentait environ 4h de la journée de travail.

Plus récemment encore, en 2012, Lewis a relevé chez 13 chauffeurs de bus urbains de Seattle en conditions de conduite expérimentale, les valeurs d'exposition aux vibrations selon le revêtement routier traversé (66). Les mesures de vibrations ont été réalisées selon la norme ISO 2631-1, les valeurs suivantes ont été collectées : exposition quotidienne $A(8)_{\text{max}}$, VDV. Le parcours était constitué de 12 kms de routes intra-urbaines, 1 km de route dotée d'un ralentisseur de vitesse d'1.4m de large et enfin 29 kms d'autoroute. La valeur d'exposition quotidienne $A(8)_{\text{max}}$ était très légèrement supérieure à la valeur déclenchant l'action normalisée à une période de référence de 8 heures fixée par la Directive Européenne (0.5 m/s^2) lors de la conduite sur autoroute, selon l'axe z avec une mesure à 0.51 m/s^2 . Cette augmentation n'était pas statistiquement significative. En effet, les auteurs ont réalisé un test d'analyse des variances pour déterminer s'il existait une différence d'exposition aux VCE selon les types de routes traversées. Le test était considéré comme statistiquement significative pour un $p < 0.05$. La valeur limite d'exposition telle que fixée par la Directive Européenne (1.15 m/s^2) n'était jamais dépassée. Cependant, la VDV était supérieure à la valeur déclenchant l'action fixée par la Directive Européenne ($9.1 \text{ m/s}^{1.75}$) selon l'axe z dans

les 3 situations de conduite : $10.8 \text{ m/s}^{1.75}$ sur autoroute, $12.7 \text{ m/s}^{1.75}$ en ville et $12.5 \text{ m/s}^{1.75}$ sur ralentisseurs. Ces résultats étaient significativement supérieurs ($p < 0.001$). La valeur limite d'exposition telle que fixée par la Directive Européenne ($21 \text{ m/s}^{1.75}$) n'était quant à elle jamais dépassée. La différence observée entre la valeur d'exposition quotidienne A(8) et la VDV pourrait être expliquée, selon l'auteur, par la plus grande sensibilité de la VDV aux impacts. L'auteur suggérait ainsi une sous-estimation des expositions par l'accélération équivalente par rapport à la VDV.

Tamrin a également relevé des valeurs de vibrations dans les conditions parfois difficiles, lors d'une étude en Malaisie (53). Il a en effet pratiqué 133 mesures en situations réelles de conduite, dans 3 régions géographiques. Le relevé des accélérations pondérées en fréquences et avec majoration du risque pour chacun des 3 axes, a permis de constater une absence de dépassement des valeurs limites d'action et d'exposition émises par la Règlementation Européenne. En effet, les auteurs ont transposé les valeurs limites pour une durée de conduite de 25 minutes (valeur d'action 2.18 m/s^2 et valeur limite d'exposition 5.02 m/s^2). Les valeurs les plus élevées étaient relevées dans l'axe vertical, et étaient toujours bien inférieures aux valeurs limites : 0.2582 m/s^2 en région centrale (zones urbaines, bénéficiant d'un revêtement routier de bonne qualité, mais avec un trafic très dense voire congestionné, nécessitant des arrêts/départs très fréquents) ; 0.1841 m/s^2 et 0.3889 m/s^2 en régions périphériques (zones rurales ou industrielles, avec un revêtement routier médiocre, parfois des routes non goudronnées, et des travaux fréquents).

Caractéristiques du véhicule

En 1992, Bovenzi a entrepris une étude de mesures en situation de conduite au sein d'une entreprise de transports en commun italienne (45). Les mesures vibratoires ont été effectuées sur 6 bus différents, dans chacun des 3 axes avec un capteur situé au niveau de l'assise du siège, pendant 15 à 30 minutes. Les accélérations pondérées en fréquences et avec majoration du risque mesurées étaient de 0.05 à 0.12 m/s^2 sur l'axe x, 0.05 à 0.16 m/s^2 sur l'axe y et enfin 0.18 à 0.65 m/s^2 sur l'axe z. Les valeurs les plus élevées étaient donc retrouvées sur l'axe vertical. Bovenzi a détaillé les résultats en fonction de l'âge des véhicules. Les plus anciens (environ 20 ans) émettaient des vibrations d'accélération de valeur supérieure à celles relevées dans les véhicules récents (5 ans maximum) dans les trois axes. Dans l'axe vertical, Bovenzi a noté des accélérations de 0.4 à 0.65 m/s^2 dans les vieux

véhicules, contre 0.18 à 0.29m/s² dans les plus récents. Cette étude suggère donc un rôle non négligeable de l'état du véhicule ainsi qu'une efficacité des diverses améliorations leur ayant été apportées au fil du temps.

Néanmoins, en termes d'équipement, Leinonen n'a pas constaté d'impact positif sur la perception douloureuse lombaire des sièges ergonomiques (67). L'auteur a étudié un échantillon de chauffeurs de bus urbains Finlandais souffrant de douleurs lombaires chroniques : 15 chauffeurs algiques présentaient des signes précoces de dégénération discale lombaire à l'IRM (rupture de l'annulus fibrosus dans 9 cas, protrusion discale dans 8 cas, hernie constituée dans 2 cas, et enfin rétrécissement du canal rachidien dans un cas). Leinonen a relevé par des mesures électromyographiques une faible activité musculaire des muscles spinaux lors de la conduite, non compensée par l'usage d'un siège dit ergonomique offrant un support lombaire. Cette étude suggère que c'est bien la limitation des niveaux vibratoires qui peut améliorer l'impact musculaire et donc algique chez les conducteurs, et non le soutien lombaire du siège.

E. Synthèse et limites de la revue

Comme nous l'avons décrit précédemment (cf chapitre « *Les vibrations : Lien entre vibrations et troubles lombaires* »), les problématiques de douleurs lombaires semblent favorisées par une exposition à des VCE. En ce qui concerne les chauffeurs de bus, les données issues de la littérature internationale retrouvent des taux de troubles lombaires importants (30 à 70%), avec même des différences significatives statistiquement par rapport à des populations contrôle. Par ailleurs, les différentes mesures vibratoires effectuées dans des bus dans le monde indiquent une exposition à des vibrations à des niveaux cependant variables. Néanmoins, la valeur d'action est dépassée dans plusieurs situations, principalement dans la direction verticale, voire même la valeur limite d'exposition. Le rôle de l'environnement complet du conducteur semble primordial : revêtement traversé, atténuation des vibrations par le véhicule et par le siège, temps effectif de conduite... De plus, si les niveaux d'accélération mesurés, bien que pondérés en fréquences et avec majoration du risque restent inférieurs aux normes européennes, les mesures de A(8) mais surtout de VDV montrent des résultats supérieurs.

Il faut cependant noter quelques limites concernant la revue bibliographique : plusieurs difficultés, principalement sémantiques ou apparentées se sont en effet posées lors de sa réalisation. Les termes employés dans chacun des articles n'étaient pas toujours comparables.

Les troubles lombaires notamment ne sont pas toujours bien définis. En effet, si le terme de *lombalgie*, ou « *low back pain* » en anglais est le plus représenté, en réalité, plusieurs symptômes peuvent coexister sous le terme anglophone : lombalgie aiguë (de moins de 7 jours), chronique (au-delà de 3 mois), mais aussi associée ou non à radiculalgie (irradiation sciatique ou crurale) et/ou une hernie discale. L'exploration par imagerie n'est pas systématiquement relevée. Or, dans le tableau de MPI numéro 97 (et même 98), la présence d'une hernie discale associée à une radiculalgie de topographie concordante est indispensable, et doit être confirmée par imagerie.

Concernant les mesures vibratoires, il est intéressant de noter que la grande majorité des auteurs font usage des préconisations de la norme ISO 2631. Néanmoins, cette dernière propose plusieurs grandeurs de mesures (cf chapitre « *Les vibrations : Les différents indicateurs de vibrations subies* »), ainsi que la possibilité de transposer certaines valeurs limites, rendant leur comparaison entre elles mal aisée. De même, la durée de mesure varie parfois du simple au double, compliquant une fois encore la comparaison entre chaque donnée.

Enfin, la profession de CTCV est, comme nous l'avons explicité précédemment (cf chapitre « *Les chauffeurs de bus : Définitions* »), assez hétérogène, et cela est tout particulièrement vrai en fonction des régions du monde. La pratique du métier est en effet bien différente selon les pays, et parfois même selon les régions au sein d'un même pays. C'est la raison pour laquelle l'obtention, à des fins de comparaisons, de données relevées en France est indispensable. Pour cela, nous avons utilisé deux sources de données : la première est issue de la compilation nationale de mesures par l'INRS et la Carsat tandis que la seconde émane de relevés effectués localement par la Carsat Auvergne. Ces données sont analysées dans les chapitres suivants.

VIII. Comparaison aux conducteurs de camions poids lourds

Les CTCV ne font pas partie de la liste limitative des conditions d'exposition permettant l'indemnisation au titre du tableau de MPI concernant l'exposition aux VCE, contrairement à d'autres professionnels (8). Parmi eux, on retrouve les conducteurs d'engins de chantiers, les conducteurs d'engins industriels et enfin et les chauffeurs routiers. Contrairement aux conducteurs d'engins de chantiers ou industriels, qui circulent sur des surfaces non goudronnées, les chauffeurs poids-lourds (PL) empruntent des trajets routiers, avec un revêtement de surface plutôt lisse, comme les CTCV. Il est donc intéressant d'évaluer la prévalence de pathologies du rachis lombaire chez ces conducteurs ainsi que les niveaux d'exposition aux VCE usuels retrouvés au sein de cette population.

A. Pathologies lombaires chez les conducteurs PL

1. Données internationales

Une recherche sur Pubmed a été réalisée, utilisant les mots clefs « truck » et « low back pain », permettant de proposer deux articles internationaux, assez récents (publication en 2000 et 2006).

Miyamoto a interrogé via un questionnaire 153 conducteurs PL travaillant pour une entreprise de l'industrie chimique au Japon en 1995 (68). 50.3% des conducteurs ont rapporté une douleur lombaire dans le mois précédent. 26 conducteurs (dont la méthode de sélection n'est cependant pas détaillée) ont bénéficié d'une exploration radiographique du rachis lombaire. Les auteurs ont ainsi retrouvé une diminution de la hauteur du disque intervertébral chez 5 sujets, des ostéophytes chez 15 sujets, un spondylolisthésis chez 2 sujets et une vertèbre transitionnelle chez 2 sujets.

En 2006, Andrusaitis a interrogé 410 conducteurs PL de la région de Sao Paulo au Brésil, avec au moins un an d'expérience dans la profession, et exempts de douleur lombaire avant l'embauche dans la société, et d'antécédent traumatique du rachis (69). 59% des conducteurs rapportaient des douleurs lombaires : la douleur était constante dans 18% des cas. Les auteurs ont recherché une association avec plusieurs variables : ethnie, pratique

sportive hebdomadaire, tabagisme, âge, taille, indice de masse corporelle, ancienneté dans la profession, durée journalière de travail, et durée journalière de sommeil. Parmi ces variables, seule la quantité journalière de travail était significativement corrélée à la présence de lombalgies (OR=1.01 [1.01 ; 1.13]).

Il est intéressant de constater que ces données sont proches de celles relevées chez les CTCV (cf chapitre Revue Bibliographique : « *Pathologies lombaires chez les chauffeurs de bus* »), puisqu'on retrouvait des taux de lombalgies de 30 à 70%. De plus, l'hypothèse d'un effet dose-réponse entre le nombre d'heures travaillées et la survenue de douleur lombaire était aussi suggéré chez des chauffeurs de bus Californiens par Krause (58,70). La survenue de lombalgie pourrait ainsi être la conséquence d'un mécanisme similaire chez les conducteurs PL et de bus.

2. Sinistralité en France

Les conducteurs PL bénéficient d'une possibilité de reconnaissance en maladie professionnelle indemnisable (MPI) au titre du tableau numéro 97 du régime général suite à une exposition à des VCE. Ainsi, on peut aisément consulter le nombre de MPI reconnues par l'Assurance Maladie. Les statistiques pour l'année 2015 concernant la partie du code NAF relevant des Industries des transports, de l'eau, du gaz, de l'électricité, du livre et de la communication sont présentées ci-après. Deux codes NAF ont été utilisés :

- Le code NAF 4941A : « le transport routier de fret, régulier ou non, interurbain, sur longue distance et international » ;
- Le code NAF 4941B : « le transport routier de fret à caractère urbain ou de proximité, consistant à enlever ou à livrer des marchandises, emballées ou non, lors de déplacements de courte durée».

Transports routiers de fret interurbains (code NAF 4941A) :

Parmi les 163301 salariés recensés, 363 MPI ont été reconnues. Parmi elles, 64 relevaient du tableau n°97A (soit 18%). La grande majorité des MPI reconnues relevait du tableau n°57A (affections péri-articulaires) avec 268 maladies reconnues (soit 74%). Les MPI reconnues relevant du tableau n°98A (affections du rachis par manutention de charges lourdes) étaient au nombre de 19 (soit 5%).

Transports routiers de fret de proximité (code NAF 4941B)

Parmi les 137052 salariés recensés, 256 MPI ont été reconnues. Parmi elles, 33 relevaient du tableau n°97A (soit 13%). La grande majorité des MPI reconnues relevait du tableau n°57A avec 177 maladies reconnues (soit 69%). Les MPI reconnues relevant du tableau n°98A étaient au nombre de 24 (soit 9%).

Synthèse

Il est intéressant de constater que le nombre de MPI au tableau n°97 est assez restreint parmi cette population, très largement en dessous du nombre de reconnaissance au titre du tableau n°57A. On peut donc s'interroger sur les raisons de ce faible nombre de reconnaissance. La sous-déclaration des pathologies par les patients est bien entendu toujours à envisager, en raison, par exemple, d'un diagnostic tardif voire erroné, d'une mauvaise orientation de la part des professionnels de santé entourant le malade... Par ailleurs, les critères en première colonne du tableau sont assez restrictifs. En effet, les douleurs lombaires isolées, c'est-à-dire sans radiculalgie associée sont exclues. De même, seules les hernies discales confirmées par imagerie sont acceptées. Or, les altérations du disque intervertébral sont responsables de symptômes multiples, et notamment locaux (douleur lombaire sans irradiation radiculaire), et l'absence de hernie visible par imagerie n'exclut pas l'existence de phénomènes inflammatoires locaux.

Enfin, il est aussi important de noter que le tableau n°98A, qui concerne également la pathologie du rachis lombaire, est assez peu représenté. Là encore, les raisons potentielles de cette faible représentation rejoignent celles proposées ci-dessus. Néanmoins, on peut également supposer que les conducteurs les plus exposés aux manutentions manuelles de charges lourdes sont employés dans d'autres secteurs d'activités que celui du transport. Les conducteurs PL du secteur du transport routier semblent donc assez proches des CTCV en termes d'expositions professionnelles.

B. Exposition aux VCE

1. Données de la littérature internationale

Deux articles internationaux ont été sélectionnés afin d'exposer les niveaux d'exposition aux VCE des chauffeurs de poids lourds. Ils proviennent d'une recherche effectuée sur Pubmed,

avec les mots clefs suivants : « *truck* » et « *vibration* ». Ces articles ont été sélectionnés pour plusieurs raisons : ils sont récents (2014 et 2010), concernent les vibrations transmises aux corps entiers chez les conducteurs routiers uniquement, et sont de bonne qualité en terme de méthodologie.

En 2014, Cann a réalisé des mesures de VCE en situation réelle de conduite de chauffeurs routiers au Canada (71). Quatre trajets autoroutiers ont été effectués, dans des conditions plus ou moins favorables : routes étroites, revêtement non entretenu, présence de nids de pouls (trajet Nord) ; routes de bonne qualité, bien entretenues (trajet Sud) ; revêtements variés, fréquents nids de poule et zones de travaux régulières (trajets Est et Ouest). Les vibrations étaient mesurées lorsque la vitesse de conduite était comprise entre 80 et 93km/h. Cann a calculé des accélérations pondérées en fréquences et avec majoration du risque selon les 3 axes. Il notait, sur le trajet Sud, des accélérations de 0.40m/s^2 selon l'axe z. En comparaison, Tamrin retrouvait dans des bus en Malaisie (53), sur des trajets avec également un revêtement routier de bonne qualité, des accélérations (pondérées en fréquences et avec majoration du risque) de 0.2582m/s^2 . Néanmoins, chez Tamrin, la vitesse de conduite des bus était bien inférieure à 80km/h en raison d'un trafic très dense en conditions urbaines.

Dans des zones avec un revêtement de mauvaise qualité, Cann retrouvait des accélérations (pondérées en fréquences et avec majoration du risque) selon l'axe z de 0.56m/s^2 sur le trajet Nord, 0.34m/s^2 sur le trajet Est et 0.42m/s^2 sur le trajet Ouest. Il a par ailleurs calculé l'accélération équivalente somme en fonction des 3 axes et constaté des valeurs de 0.73m/s^2 sur le trajet Nord, 0.53m/s^2 sur le trajet Sud, 0.52m/s^2 sur le trajet Est et 0.59 sur le trajet Ouest. A titre de comparaison, Tamrin retrouvait dans les bus, sur des routes de mauvaise qualité, des accélérations de 0.1841m/s^2 à 0.3889m/s^2 selon l'axe vertical.

Cependant, la mesure des accélérations pondérées en fréquences et avec majoration du risque ne permet pas d'estimer l'intégralité des vibrations perçues. La VDV en revanche est un indicateur de très bonne qualité pour estimer l'intensité des vibrations perçues, puisqu'elle prend en compte les « à coups », du fait de son calcul cumulatif. En effet, elle rend bien compte de la réalité de la conduite, avec l'impact des secousses.

En 2010, Kim a réalisé une série de mesures vibratoires dans plus de 90 camions poids lourds aux USA, en situation réelle de conduite (72). Les mesures ont été réalisées au niveau du siège conducteur. La qualité des revêtements traversés n'était pas détaillée, néanmoins, il s'agissait de trajets longue distance, donc probablement autoroutiers, du moins en partie. La valeur médiane de la VDV était de $8 \text{ m/s}^{1.75}$ [6.2, 13.1] selon l'axe x, $9.7 \text{ m/s}^{1.75}$ [6.6, 16.2] selon l'axe y et de $11.8 \text{ m/s}^{1.75}$ [9.7, 13.8] selon l'axe z. Ces valeurs étaient donc supérieures à la valeur d'action telle que définie par la réglementation européenne ($9.1 \text{ m/s}^{1.75}$) dans les axes y et z. En comparaison, Okunribido rapportait dans des bus Ecosais (63) une VDV de $6.721 \text{ m/s}^{1.75}$ selon l'axe x, $15.862 \text{ m/s}^{1.75}$ selon l'axe y, et $19.233 \text{ m/s}^{1.75}$ selon l'axe z lors de la conduite sur asphalte. Par ailleurs, dans le même bus, la VDV était de $10.120 \text{ m/s}^{1.75}$ selon l'axe x, $27.043 \text{ m/s}^{1.75}$ selon l'axe y et $37.597 \text{ m/s}^{1.75}$ selon l'axe z lors de la conduite sur pavé. Ces données internationales, mettent donc en évidence une exposition à des niveaux au moins comparables entre les deux types de véhicules (PL et bus).

On peut désormais s'interroger sur la réalité de la situation en France puisque, comme nous l'avons expliqué précédemment, les conditions de conduite, de même que les pratiques des métiers de la route sont différentes en fonction des pays. Nous avons alors utilisé un outil validé pour la France, il s'agit de la calculette « OSEV ».

2. Utilisation de l'outil « OSEV »

L'INRS a mis à disposition un outil d'aide à l'évaluation du risque vibratoire à destination de tout intervenant souhaitant connaître les niveaux d'exposition des conducteurs professionnels : employeurs, service de santé au travail... Il s'agit d'une calculette, disponible au téléchargement depuis le site internet de l'INRS, au format Excel, surnommé calculette OSEV : Outil Simplifié d'Évaluation de l'exposition aux Vibrations. Cet outil est issu du travail mené par la Carsat Midi-Pyrénées, avec la collaboration de l'INRS et des Centres de Mesures Physiques des Carsat. La documentation (14) dont est issu OSEV fait suite à un long travail de recueil de valeurs effectuées par ces structures, ayant permis de compiler des données et d'en extraire ainsi des valeurs indicatives. L'objectif de cet outil est donc d'évaluer facilement le risque vibratoire d'un conducteur, et de confronter les niveaux d'exposition relevés aux valeurs réglementaires afin de mettre en place, si cela est nécessaire, des mesures préventives supplémentaires.

On propose donc de réaliser plusieurs simulations avec la calculette OSEV. On comparera ainsi les niveaux d'exposition estimés lors de la conduite d'un camion poids lourd, et d'un autobus, en situations favorables et défavorables. Plusieurs paramètres influencent en effet sur le niveau d'exposition aux vibrations (14) : les caractéristiques intrinsèques du véhicule (type, modèle, présence et qualité des équipements antivibratoires, connaissance de l'utilisateur quant aux réglages nécessaires) ; le trajet effectué (tâches réalisées, type et état du terrain traversé, vitesse de déplacement, style de conduite...).

2.1. Simulation de conduite d'un camion PL

La première étape consiste à sélectionner le type de véhicule utilisé : « tracteur routier » (Figure 23). Dans les deux simulations, le temps effectif de conduite est de 7 heures.

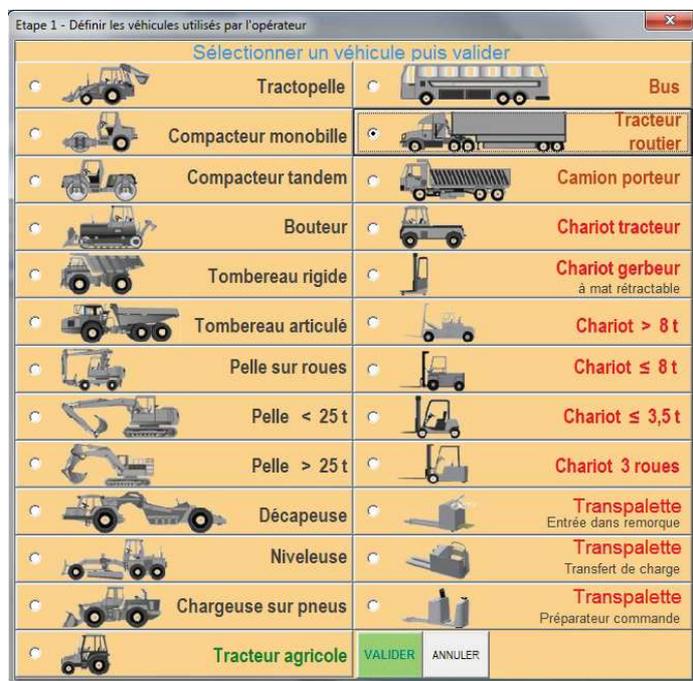


Figure 23 : Sélection du type de véhicule : tracteur routier. Capture d'écran OSEV.

2.1.1. Situation la plus favorable

On sélectionne les conditions d'utilisation les plus favorables :

Caractéristiques du véhicule

- Chargement bien réparti ;
- Siège fourni par le fabricant ou par un spécialiste ;
- Siège en bon état ;

- Conducteur formé à l'utilisation du siège et du véhicule.

Caractéristiques du trajet

- Surface de roulement lisse ;
- Arrêts peu fréquents ;
- Conduite souple.

Dans ces conditions, l'exposition journalière $A(8)$ est estimée à **0.29m/s²** (Figure 24).

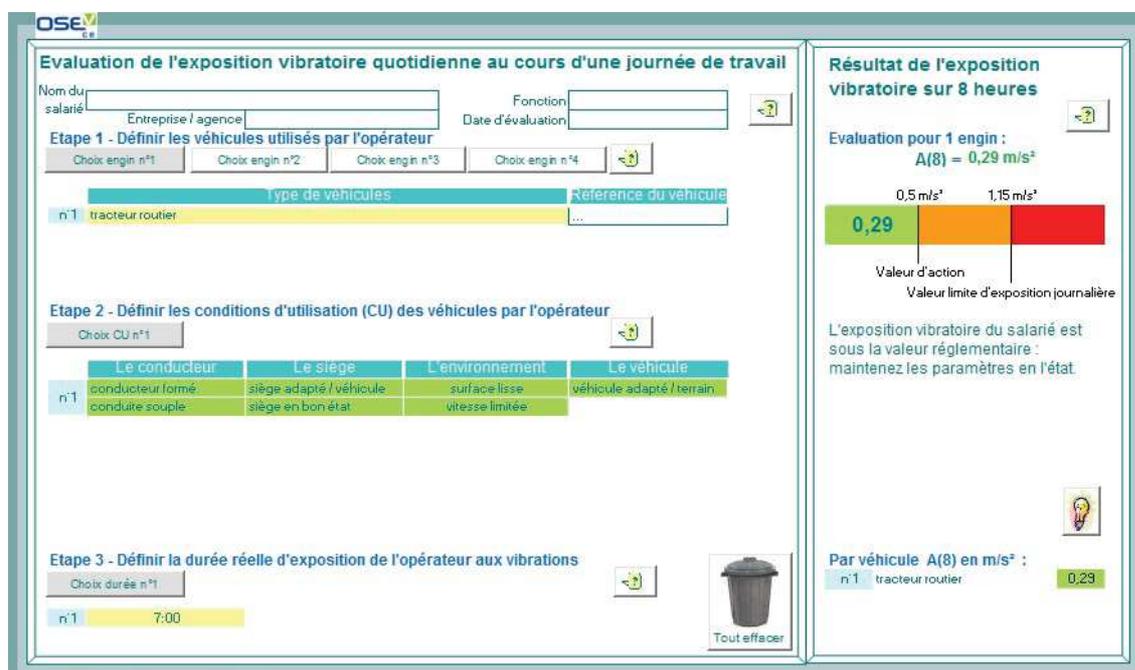


Figure 24 : Estimation du niveau vibratoire pour un camion en conditions favorables. Capture d'écran OSEV.

2.1.2. Situation la plus défavorable

On sélectionne les conditions d'utilisation les plus défavorables :

Caractéristiques du véhicule

- Chargement mal réparti ;
- Siège de seconde monture non recommandé (frottements avec les parois ou des objets rapportés...);
- Siège dégradé (réglages ne fonctionnant plus, suspension cassée ou n'ayant pas été contrôlé depuis plus de 4 ans) ;

- Conducteur non formé au réglage du siège.

Caractéristiques du trajet

- Chaussées dégradées, rues pavées, tout terrain, ralentisseurs ;
- Arrêts fréquents ;
- Conduite agressive.

Dans ces conditions, l'exposition journalière A(8) est estimée à **0.37m/s²** (Figure 25).

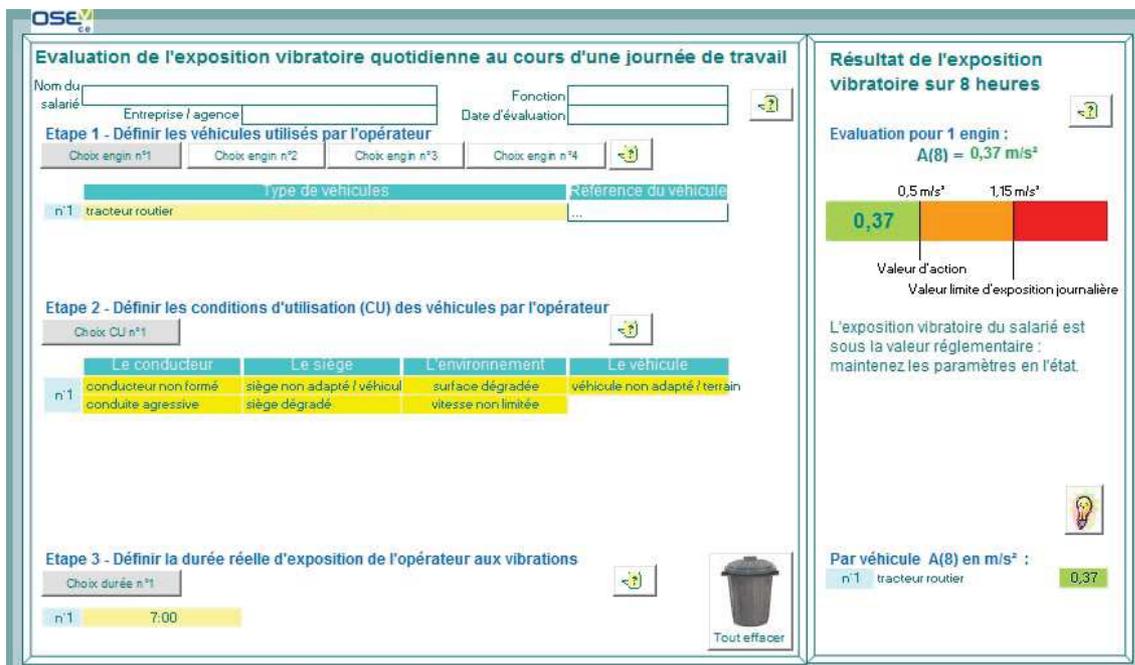


Figure 25 : Estimation du niveau vibratoire pour un camion en conditions défavorables. Capture d'écran OSEV.

2.2. Simulation de conduite d'un autobus

Comme précédemment, Là on sélectionne tout d'abord le type de véhicule utilisé : « bus » (Figure 26). Dans les deux simulations, le temps effectif de conduite est de 7 heures.

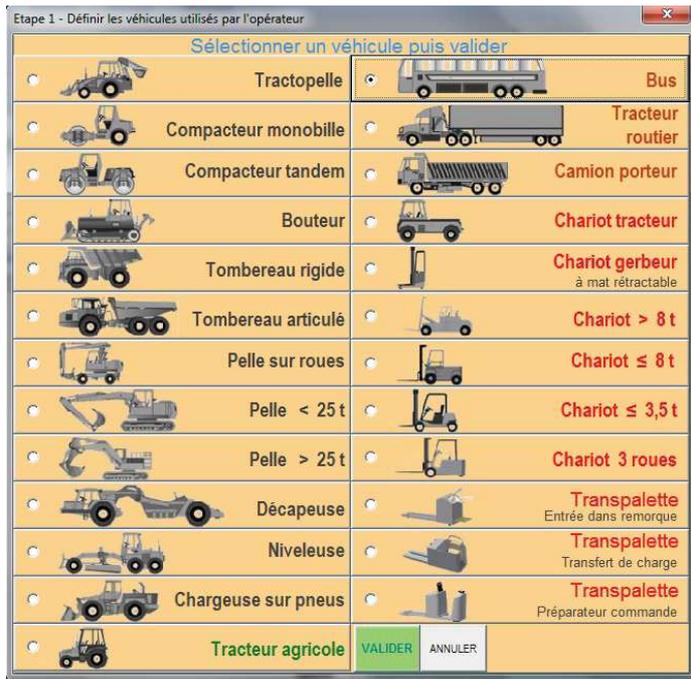


Figure 26 : Sélection du type de véhicule : bus. Capture d'écran OSEV.

2.2.1. Situation la plus favorable

On sélectionne les conditions d'utilisation les plus favorables :

Caractéristiques du véhicule

- Siège fourni par le fabricant ou par un spécialiste ;
- Conducteur formé à l'utilisation du siège et du véhicule.

Caractéristiques du trajet

- Surface de roulement lisse ;
- Arrêts peu fréquents ;
- Conduite souple.

Dans ces conditions, l'exposition journalière A(8) est estimée à **0.26m/s²** (Figure 27).

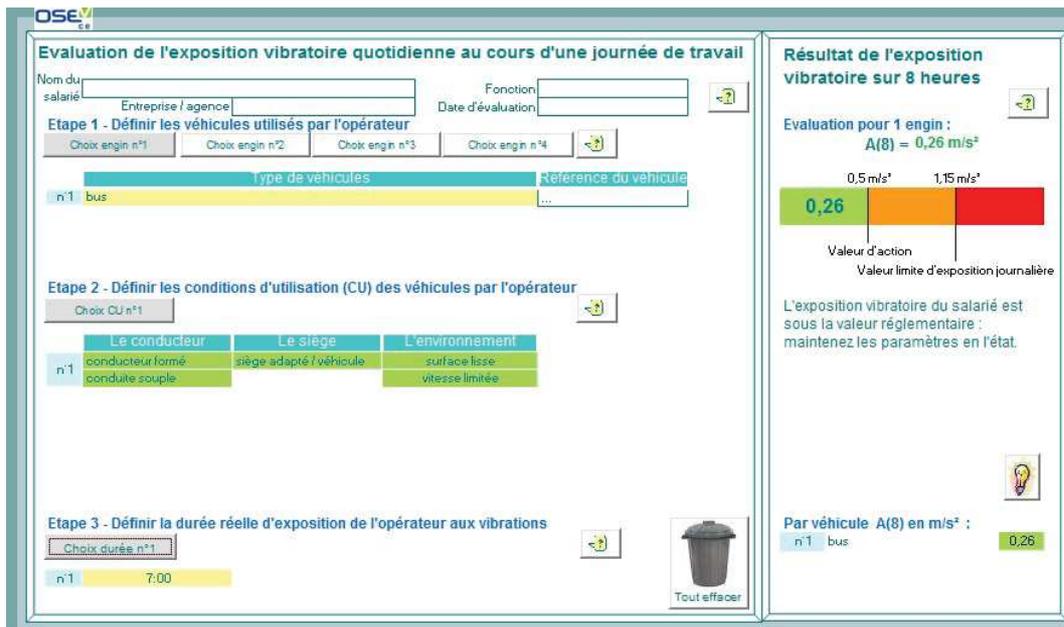


Figure 27: Estimation du niveau vibratoire pour un bus en conditions favorables. Capture d'écran OSEV.

2.2.2. Situation la plus défavorable

On sélectionne les conditions d'utilisation les plus défavorables :

Caractéristiques du véhicule

- Siège de seconde monture non recommandé (frottements avec les parois ou des objets rapportés...);
- Conducteur non formé au réglage du siège.

Caractéristiques du trajet

- Chaussées dégradées, rues pavées, tout terrain, ralentisseurs;
- Arrêts fréquents;
- Conduite agressive.

Dans ces conditions, l'exposition journalière $A(8)$ est estimée à **0.39m/s²** (Figure 28).

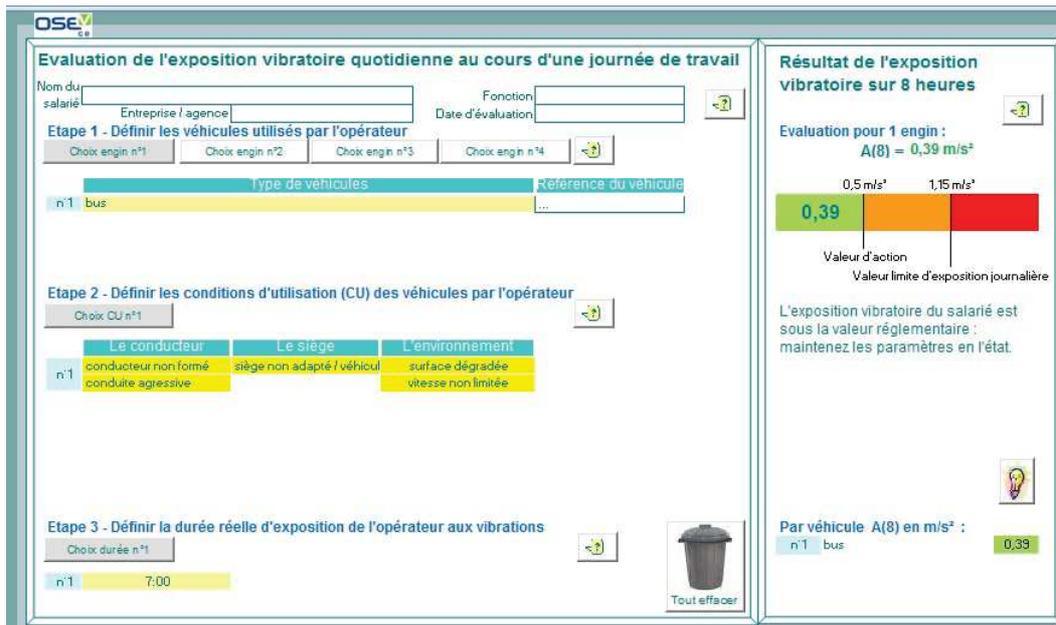
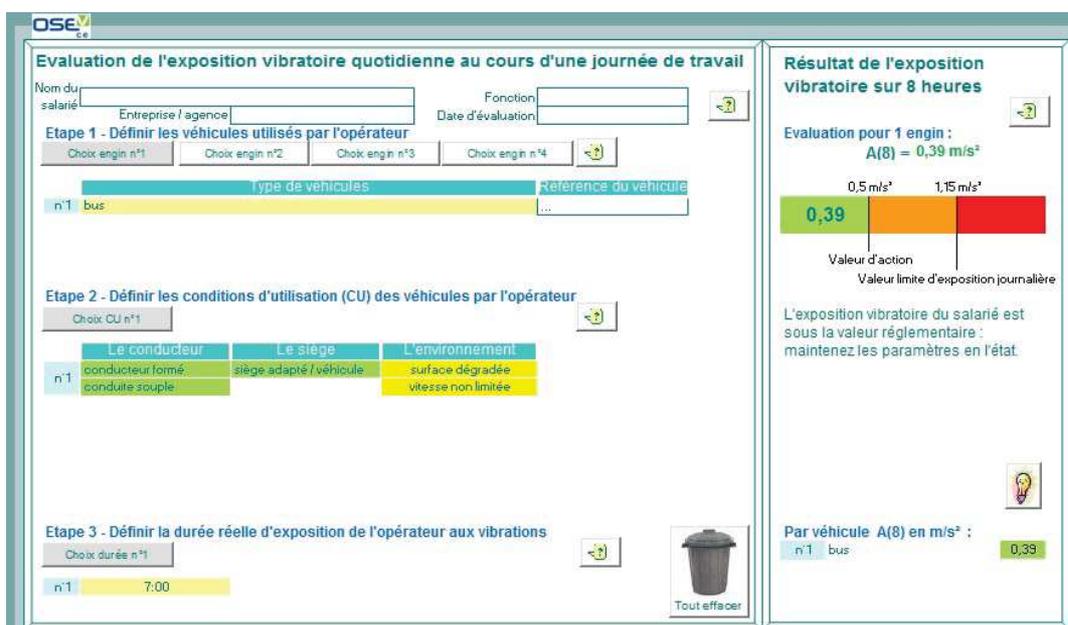


Figure 28: Estimation du niveau vibratoire pour un bus en conditions défavorables. Capture d'écran OSEV

2.2.3. Situation mixte

Parmi les paramètres influençant le niveau d'exposition vibratoire, certains peuvent être maîtrisés : le choix et l'entretien du siège, la formation de l'utilisateur à ses réglages, la pratique d'une conduite souple. En revanche, d'autres paramètres ne peuvent pas toujours être contrôlés : les trajets empruntés, pouvant comporter des pavés, ralentisseurs ou des zones de travaux, ainsi que les arrêts fréquents sont imposés pour les chauffeurs de bus urbains. La simulation dans ces conditions révèle un niveau d'exposition journalière A(8) de $0,39 \text{ m/s}^2$ (Figure 29 : Estimation du niveau vibratoire pour un bus en conditions mixtes.



Capture
d'écran
OSEV
) , c'est-
à-dire

identique à celui retrouvé en conditions défavorables.

Figure 29 : Estimation du niveau vibratoire pour un bus en conditions mixtes. Capture d'écran OSEV

2.3. Synthèse

Dans aucune des situations exposées les valeurs réglementaires d'exposition journalière A(8) telles qu'exposées dans la Directive Européenne n°2002-44 du 25 juin 2002 (17) (valeur d'action = 0.5m/s^2 et valeur limite d'exposition journalière = 1.15m/s^2) ne sont ni atteintes ni dépassées. Néanmoins, il est intéressant de constater que les valeurs sont très proches entre les deux véhicules (Figure 30). En situations favorables, et avec des temps de conduite égaux, le niveau vibratoire dans un camion PL est légèrement supérieur à celui d'un bus. En revanche, en conditions défavorables et à temps de conduite effectif égaux, le niveau de vibration dans un bus est supérieur à celui d'un camion PL. L'absence d'analyse statistique ne permet pas d'établir si cette différence est significative statistiquement, néanmoins, on peut dire que les niveaux d'exposition sont, dans cette simulation, si ce n'est identiques, très proches.

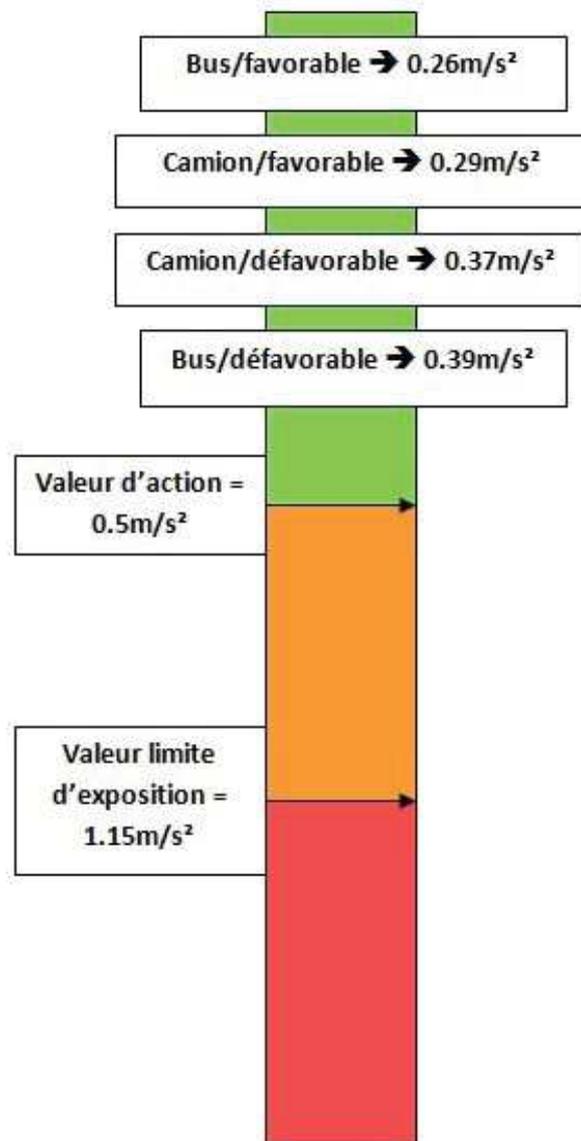


Figure 30 : Schéma détaillant les niveaux d'exposition obtenus par simulation.

Ces simulations corroborent donc les données internationales pour la VDV.

IX. Analyse de données en situations réelles

Deux sources de mesures ont pu être utilisées dans le cadre de ce travail : il s'agit de données locales, puisqu'elles sont issues, dans les deux cas, de relevés réalisés en France, dans des compagnies de transports en commun de la région Auvergne Rhône Alpes. La première série de mesures provient de la CARSAT, la seconde d'une entreprise spécialisée.

A. Mesures dans une compagnie de transports en commun en Auvergne

La CARSAT Auvergne Rhône Alpes a réalisé depuis les années 2000 plusieurs mesures en situations de conduite dans des bus de la région de Clermont Ferrand, afin d'aider les entreprises de transports à l'évaluation du risque vibratoire auquel les salariés étaient exposés. Les mesures ont été réalisées en suivant des tournées habituelles pour la compagnie.

1. Véhicules utilisés pour la réalisation des mesures

Plusieurs bus ont été choisis, une illustration pour chacun d'entre eux est visible en Figure 31.

MERCEDES INTEGRO O
550



SETRA 215 HRA



MERCEDES O 303



IRISBUS KAROSA



RENAULT AGORA



MERCEDES CITARO



RENAULT R312



MERCEDES SPRINTER



RENAULT AGORA articulé



<p>MERCEDES articulé</p> <p>CITARO G</p>	
<p>IVECO 50C15</p>	

Figure 31 : Illustrations des bus dans lesquels ont été réalisées les mesures de vibrations par la CARSAT.

2. Tableau récapitulatif des données

Les mesures (renseignées dans le tableau récapitulatif ci-après) ont été réalisées par un ingénieur de la CARSAT Auvergne. Un accéléromètre, doté de deux capteurs (l'un placé au niveau du siège, l'autre au niveau du plancher du bus) a été utilisé alors que le bus circulait en conditions réelles. En pratique, il était conduit par un chauffeur employé par la compagnie, et empruntait un tronçon déterminé à l'avance correspondant à un trajet habituel de la tournée du bus. Plusieurs conditions ont ainsi pu être pratiquées, notamment en termes de revêtement routier, de type de routes empruntées et bien entendu plusieurs modèles de bus ont été testés. Les accélérations relevées correspondent à la moyenne des valeurs enregistrées durant la période de mesure. Elles correspondent à des accélérations

pondérées en fréquences, dans les axes x, y ou z, avec majoration du risque. Elles sont exprimées en m/s^2 .

Année	Modèle du véhicule	Durée de mesure	Accélération axe Z siège	Accélération axe X siège	Accélération axe Y siège	$A_{eq,max}$	$A(8)_{max}$	Remarques
2000	MERCEDES O 550	1'06	0,25	0,364	Non renseignée	0,364	0,34	- Parking et sortie de ville ; - Vitesse <50 km/h
		4'58	0,38	0,294		0,38	0,36	- Ligne droite, revêtement en bon état ; - Vitesse 90 km/h
		6'40	0,42	0,392		0,42	0,39	- Virages et revêtement moyen ; - Vitesse < 70 km/h
		0'52	0,4	0,364		0,4	0,37	- Route bosselée, revêtement moyen ; - Vitesse 90 km/h
		6'31	0,4	0,294		0,4	0,37	- Ligne droite revêtement en bon état - Vitesse 90 km/h
		0'56	0,32	0,504		0,504	0,47	- Entrée de ville et parking - Vitesse < 50 km/h
2000	SETRA 215 HRA	1'04	0,24	0,364	Non renseignée	0,364	0,59	- Parking et sortie de ville ; - Vitesse <50 km/h
		4'46	0,4	0,238		0,4	0,37	- Ligne droite, revêtement en bon état ; - Vitesse 90 km/h
		6'28	0,43	0,294		0,43	0,40	- Virages et revêtement moyen ; - Vitesse < 70 km/h
		0'57	0,34	0,252		0,34	0,32	- Route bosselée, revêtement moyen - Vitesse 90 km/h
		6'26	0,39	0,252		0,39	0,36	- Ligne droite, revêtement en bon état - Vitesse 90 km/h
		1'08	0,3	0,406		0,406	0,38	- Entrée de ville et parking - Vitesse <50 km/h

2000	MERCEDES 0 303	1'07	0,23	0,476	Non renseignée	0.476	0,45	- Parking et sortie de ville - Vitesse <50km/h
		4'46	0,39	0,35		0.39	0,36	- Ligne droite, revêtement en bon état - Vitesse 90 km/h
		6'29	0,4	0,42		0.42	0,39	- Virages et revêtement moyen - Vitesse < 70 km/h
		0'47	0,37	0,392		0.392	0,37	- Route bosselée, revêtement moyen - Vitesse 90 km/h
		6'27	0,41	0,35		0.41	0,38	- Ligne droite, revêtement en bon état - Vitesse 90 km/h
		1'11	0,29	0,532		0.532	0,50	- Entrée de ville et parking - Vitesse <50 km/h
2001	IRISBUS KAROSA	1'25	0,29	0,26	Non renseignée	0.29	0,27	- Parking et sortie de ville ; - Revêtement moyen à mauvais, vitesse 50 km/h
		5'10	0,55	0,19		0.55	0,51	- Ligne droite, revêtement en bon état - Vitesse 90 km/h
		6'17	0,53	0,32		0.53	0,50	- Virages, revêtement moyen - Vitesse < 70 km/h
		1'10	0,5	0,26		0.5	0,47	- Route bosselée, revêtement moyen - Vitesse 90 km/h
		6'32	0,62	0,21		0.62	0,58	- Ligne droite, revêtement en bon état ; - Vitesse 90 km/h
		1'24	0,37	0,28		0.37	0,35	- Entrée de ville et parking - Vitesse 50 km/h

2009	RENAULT AGORA	Non renseigné	0.19	0.252	0.238	0.252	0,24	- Trajet urbain ; - Traversée d'un ralentisseur
			0.45	0.378	0.322	0.45	0,42	
			0.44	0.378	0.28	0.44	0,41	
			0.49	0.322	0.336	0.49	0,46	
2011	RENAULT AGORA	Non renseigné	0,34	0,42	0,462	0.462	0,43	- Trajet urbain - Chaussée dégradée
			0,76	1,064	1,078	1.078	1,01	- Trajet urbain - Chaussée dégradée
	MERCEDES CITARO		0,23	0,322	0,294	0.322	0,30	- Trajet urbain - Chaussée correcte
	RENAULT R312		0,45	0,658	0,7	0.7	0,65	- Trajet urbain - Chaussée correcte
	MERCEDES SPRINTER		0,39	0,476	0,602	0.602	0,56	- Trajet urbain - Chaussée dégradée
			0,4	0,518	0,658	0.658	0,62	- Trajet urbain - Chaussée dégradée
	RENAULT AGORA		0,27	0,378	0,392	0.392	0,37	- Trajet urbain - Chaussée dégradée
			0,34	0,294	0,392	0.392	0,37	- Trajet urbain - Chaussée moyenne

	RENAULT AGORA articulé		0,35	0,28	0,322	0.35	0,33	- Trajet urbain - Chaussée moyenne
	MERCEDE S articulé		0,4	0,378	0,378	0.4	0,37	- Trajet urbain - Chaussée moyenne
	RENAULT R 312		0,43	0,616	0,658	0.658	0,62	- Trajet urbain - Chaussée moyenne
	MERCEDES CITARO		0,4	0,322	0,434	0.434	0,41	- Trajet urbain - Chaussée moyenne
2012	IVECO 50C15	Non renseigné	0,29	0,294	0,35	0.35	0,33	- Trajet de ramassage scolaire
			0,29	0,308	0,588	0.588	0,55	- Trajet de ramassage scolaire
2013	IVECO 50C15	Non renseigné	0,28	0,28	0,336	0.336	0,31	- Trajet de ramassage scolaire

3. Estimation de l'exposition journalière aux vibrations A(8)

Les données de la CARSAT ne fournissaient initialement pas les valeurs de l'exposition journalière aux vibrations. Néanmoins, elles permettent de calculer une exposition journalière théorique, à partir de la formule suivante (se reporter au chapitre *Les vibrations* : 2.1 l'estimation de l'exposition journalière aux vibrations A(8)) :

$$A_{max}(8) = a_{eq,max} \times \sqrt{\frac{T_{exposition}}{8}}$$

La durée de conduite effective est de 7 heures. Les résultats du calcul de A(8) ont été intégrés au tableau récapitulatif ci-dessus.

B. Mesures dans une compagnie de transports en commun en Rhône Alpes

Lors de l'Hiver 2016-2017, une série de mesures de vibrations au poste de conduite ont été réalisées par une entreprise de service spécialisée, à l'initiative de la compagnie utilisatrice des bus de transports en commun sur une agglomération située en Rhône Alpes. Il s'agit de mesures en situation réelle, suivant une tournée habituelle pour le bus.

1. Véhicules utilisés pour la réalisation des mesures

Plusieurs lignes, réparties sur l'agglomération desservie, ont été sélectionnées. Les illustrations des bus utilisés sont données en Figure 32.

IRISBUS URBANWAY



IRISBUS CITELIS articulé



IRISBUS CITELIS



IRISBUS AGORALINE



IRISBUS CRISTALIS	
IRISBUS URBANWAY articulé	

Figure 32: Illustrations des bus dans lesquels ont été réalisées les mesures de vibrations en Rhône Alpes.

2. Tableau récapitulatif des données

Les mesures (renseignées dans le tableau récapitulatif ci-après) ont été réalisées par une entreprise spécialisée. Un accéléromètre triaxial, avec un capteur fixé au niveau du siège du véhicule (et un autre au niveau du plancher) a été utilisé alors que le bus circulait en conditions réelles. En pratique, il était conduit par un chauffeur employé par la compagnie, et empruntait son trajet habituel correspondant à la tournée du bus. Plusieurs conditions ont ainsi pu être pratiquées, notamment en termes de revêtement routier, de densité de trafic, mais il s'agissait, dans chacun des cas, de trajets urbains. Les accélérations relevées correspondent à la moyenne des valeurs enregistrées durant la période de mesure (ce sont des accélérations pondérées en fréquences, dans les axes x, y ou z, avec majoration du risque). Les résultats dans le tableau correspondent aux valeurs de $A(8)$ selon chacun des trois axes, ainsi que $A(8)_{\max}$. Elles sont exprimées en m/s^2 .

Année	Modèle du véhicule	Durée de mesure	AX(8)	AY(8)	AZ(8)	A(8)max	Remarques
2016	IRISBUS URBANWAY	26'40	0.22	0.2	0.28	0.28	Trajet urbain sévère, avec trafic chargé. Chaussée dégradée (nids de poules, ralentisseurs...)
2016	IRISBUS CITELIS articulé	32'00	0.17	0.19	0.32	0.32	Trajet urbain sévère, avec trafic chargé. Chaussée dégradée (nids de poules, ralentisseurs...)
2016	IRISBUS CITELIS	31'20	0.19	0.19	0.27	0.27	Trajet urbain sévère, avec trafic chargé. Chaussée dégradée (nids de poules, ralentisseurs...)
2016	IRISBUS AGORALINE	30'20	0.2	0.21	0.38	0.38	Trajet urbain moyen, avec trafic chargé. Chaussée dégradée (nids de poules, ralentisseurs...)
2016	IRISBUS CITELIS	28'20	0.2	0.19	0.33	0.33	Trajet urbain moyen, avec trafic chargé. Chaussée dégradée (nids de poules, ralentisseurs...) voire très dégradée (travaux).
2016	IRISBUS CITELIS articulé	39'40	0.19	0.18	0.37	0.37	Trajet urbain sévère, avec trafic très chargé. Chaussée très dégradée (nids de poules, dos d'âne, ronds points)
2016	IRISBUS Trolley CRISTALIS	35'20	0.17	0.16	0.2	0.2	Trajet urbain sévère, avec trafic très chargé. Chaussée dégradée (nids de poules, ronds points...)
2016	IRISBUS CITELIS	56'20	0.21	0.21	0.25	0.25	Trajet urbain sévère, avec trafic très chargé. Chaussée très dégradée (nids de poules, ronds points...)
2017	IRISBUS CITELIS	50'20	0.17	0.22	0.38	0.38	Trajet urbain moyen, avec trafic chargé. Chaussée dégradée (nids de poules, ronds points...)
2017	IRISBUS AGORALINE	35'23	0.22	0.23	0.27	0.27	Trajet urbain moyen, avec trafic très chargé. Chaussée dégradée (nids de poules, ronds points...)
2017	IRISBUS URBANWAY articulé	30'00	0.25	0.22	0.33	0.33	Trajet urbain sévère, avec trafic très chargé. Chaussée dégradée (nids de poules, ronds points...)
2017	IRISBUS Trolley CRISTALIS	43'20	0.17	0.18	0.2	0.2	Trajet urbain sévère, avec trafic très chargé. Chaussée dégradée (nids de poules, ronds points...)

C. Analyse des données

1. Présentation globale

Les données relevées en région Auvergne présentent des valeurs correspondant aux accélérations pondérées. Elles présentent des conditions de conduite assez variées : circuits urbains et interurbains, qualité de revêtement traversé de bonne à médiocre, utilisation de plusieurs types de véhicules (minibus, bus de ville simple et articulé, interurbain).

Les données relevées en région Rhône Alpes ne fournissent que les valeurs de A(8). Il ne s'agit que de circuits urbains, dans des conditions peu favorables, le trafic était dense voire intense, et la chaussée dégradée voire très dégradée, tant par la présence d'éléments habituels de la route (ralentisseurs, ronds points...), que par la traversée d'un revêtement de mauvaise qualité (travaux, nids de poules...). Plusieurs types de véhicules sont utilisés : bus de ville simple, articulé, et trolleybus.

Il est intéressant de considérer ces données en fonction de plusieurs paramètres : le type de véhicule, et le type de trajet réalisé (et donc les conditions de conduite).

1.1. Selon le type de véhicule

Bus de ville simple

Sont des bus de ville simples : Irisbus Karosa, Renault Agora, Mercedes Citaro, Renault 312, Irisbus Urbanway, Irisbus Citelis, Irisbus Agoraline (se reporter aux Figure 31 et Figure 32). Les valeurs des expositions journalières A(8) sont comprises entre 0.24 et 1.01 m/s².

Bus de ville articulé

Sont des bus de ville articulé : Renault Agora articulé, Mercedes Citaro G articulé, Irisbus Citelis articulé, Irisbus Urbanway articulé (se reporter aux Figure 31 et Figure 32). Les valeurs des expositions journalières A(8) sont comprises entre 0.32 et 0.37 m/s².

Trolleybus

Est un trolleybus : Irisbus Trolley Cristalis (se reporter à la Figure 32). Lors des deux mesures réalisées, la valeur de l'exposition journalière A(8) est de 0.2 m/s².

Minibus

Sont des minibus : Mercedes Sprinter, Iveco 50C15 (se reporter à la Figure 31). Les valeurs des expositions journalières A(8) sont comprises entre 0.31 et 0.62 m/s².

Bus interurbain

Sont des bus interurbains : Mercedes 0550, Setra 215 HRA, Mercedes O303 (se reporter à la Figure 31). Les valeurs des expositions journalières A(8) sont comprises entre 0.32 et 0.59 m/s².

Récapitulatif

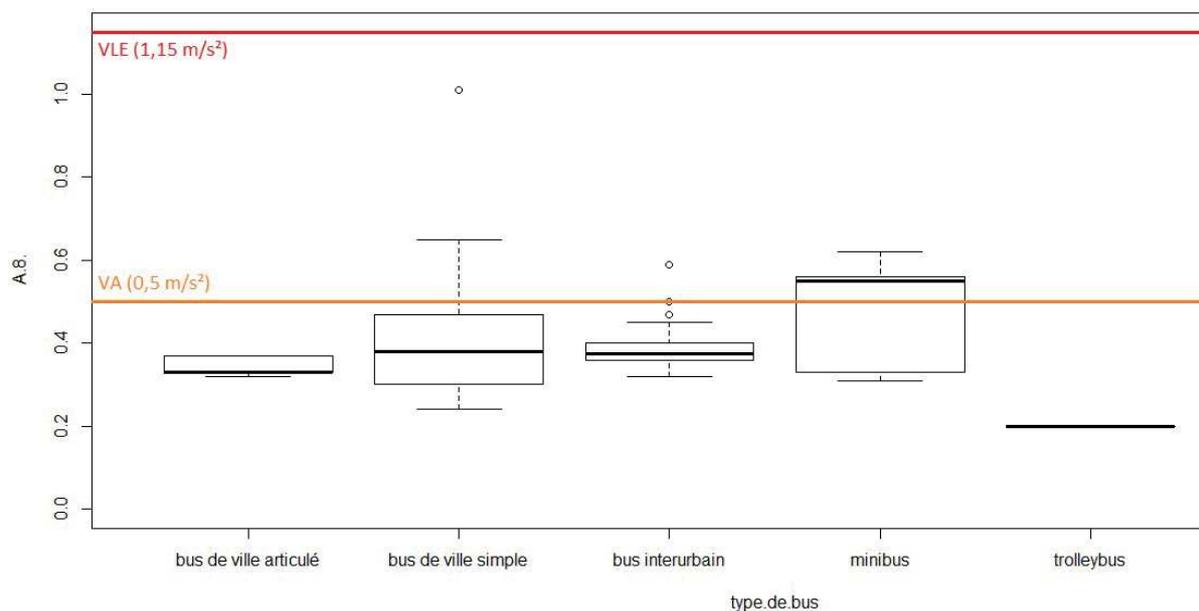


Figure 33 : Graphique illustrant les résultats de A(8)max en fonction du type de véhicule.

Les valeurs médianes mesurées en bus de ville simple, articulé, et interurbain sont comparables, proches de 0.3 m/s². Le graphique en Figure 33 permet de constater que la valeur d'action est rarement dépassée, sauf pour les résultats en minibus : en effet, plus de 50% des données en minibus sont supérieures à 0.5 m/s². Cependant, le nombre de données est très faible, puisque seulement quatre mesures ont été effectuées.

Les valeurs les plus faibles sont relevées en trolleybus (0.2m/s²), ce qui correspond à seulement deux mesures.

L'ensemble des valeurs en bus de ville articulés sont comprises entre 0.3 et 0.4 m/s².

Les valeurs extrêmes supérieures sont relevées dans les bus de ville simples et interurbains, mais ne dépassent pas la VLE. Il est intéressant d'observer que 50% des résultats relevés en bus interurbains sont inférieurs à 0.4 m/s^2 . En revanche, 50% des mesures en bus de ville simples sont supérieures à 0.4 m/s^2 . Bien entendu, les différents véhicules sont utilisés pour emprunter des trajets de topologie variée. Il faut donc se pencher sur les résultats en fonction du type de trajet réalisé.

1.2. Selon le type de trajet

Trajets interurbains

Lors des trajets interurbains, la vitesse de conduite est assez élevée (>50 et jusqu'à 90 km/h), les arrêts et redémarrages sont rares.

Il s'agit uniquement de données issues de mesures en région Auvergne.

Lorsque le revêtement routier est de bonne qualité, et la route en ligne droite, les mesures effectuées par la CARSAT retrouvent des accélérations comprises entre 0.38 et 0.62 m/s^2 selon l'axe z ; et 0.238 à 0.35 m/s^2 selon l'axe x. Lors de la traversée de chaussées de moindre qualité (revêtement médiocre, route bosselée), les accélérations mesurées sont comprises entre 0.34 et 0.5 m/s^2 selon l'axe z ; et 0.252 à 0.392 m/s^2 selon l'axe x. Les valeurs les plus élevées sont donc relevées dans l'axe vertical.

En comparaison, Tamrin (53) retrouvait en Malaisie en 2007, dans des bus effectuant des trajets interurbains sur des routes avec un revêtement médiocre et des travaux fréquents, des accélérations de 0.1841 et 0.3889 m/s^2 selon l'axe z. Les valeurs retrouvées en région Auvergne sont donc ici supérieures. En 2014, Cann (71) mesurait dans des camions poids-lourds en circulation sur des routes de bonne qualité, une accélération de 0.4 m/s^2 selon l'axe z. Lors de la traversée de chaussées de mauvaise qualité (revêtement médiocre, présence de nombreux nids de poules et zones de travaux), il relevait des accélérations comprises entre 0.34 et 0.56 m/s^2 selon l'axe z. On constate donc que les valeurs relevées en région Auvergne sont, dans certaines conditions, comparables à celles relevées dans des camions poids lourds.

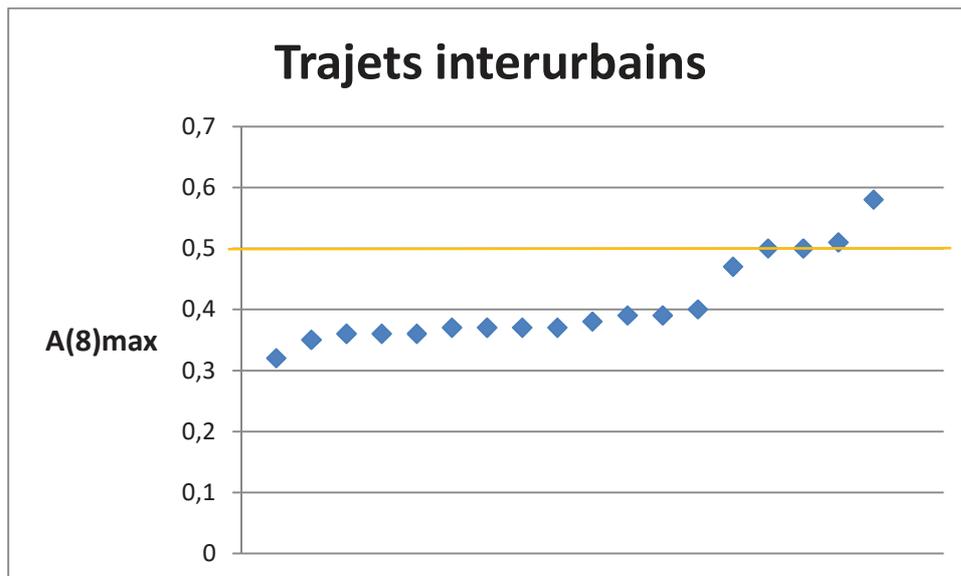


Figure 34 : Valeurs de A(8)max obtenues lors de trajets interurbains.

L'illustration des résultats en Figure 34 permet de constater que la majorité des valeurs de $A(8)_{\max}$ se situe entre 0.3 et 0.4 m/s^2 . Ces données semblent cohérentes avec les résultats obtenus en bus interurbains.

Trajets urbains

Il s'agit de trajets effectués à faible vitesse (inférieure à 50 km/h), avec des arrêts et redémarrage très fréquents, et nécessitant la traversée de revêtements variés, et avec des virages.

Les mesures effectuées en région Auvergne montrent des accélérations comprises entre : 0.23 et 0.76 m/s^2 selon l'axe z ; comprises entre 0.28 et 1.064 m/s^2 selon l'axe x et comprises entre 0.2294 et 1.078 m/s^2 selon l'axe y. De façon assez surprenante, ce sont donc dans les directions horizontales que les résultats sont les plus élevés. Les valeurs maximales relevées, correspondent à la traversée d'une chaussée en très mauvais état. Lors de la traversée d'un ralentisseur de vitesse, les accélérations mesurées étaient comprises entre 0.19 et 0.49 m/s^2 selon l'axe z ; entre 0.252 et 0.378 m/s^2 selon l'axe x et entre 0.238 et 0.336 m/s^2 selon l'axe y. A titre de comparaison, Tamrin (53) retrouvait lors de la conduite en ville, une accélération de 0.2592 m/s^2 selon l'axe z. Les résultats obtenus en région Auvergne sont donc supérieurs.

Les résultats obtenus en Rhône Alpes sont réalisés sur une chaussée de qualité médiocre, du fait de la présence de nids de poules, de ralentisseurs, de jonction de bitume non lisse (travaux), de ronds points... La densité du trafic varie de « chargé » à « très chargé ». Lorsque

2. Synthèse et limites

Pour rappel, la législation a fixé les valeurs réglementaires pour $A(8)$ à 0.5 m/s^2 pour la valeur déclenchant l'action (VA), et à 1.15 m/s^2 pour la valeur limite d'exposition (VLE), ne devant pas être dépassée (17).

La VLE n'est jamais dépassée : la valeur la plus haute relevée est de 1.01 m/s^2 , elle a été mesurée lors d'un trajet urbain sur chaussée dégradée, dans la région Auvergne, à bord d'un bus de ville simple. La VA est atteinte voire dépassée dans 20% des mesures (11 cas sur 55). Il s'agit toujours de mesures réalisées dans la région Auvergne : trajets urbains (7 cas sur 11), trajets à vitesse moyenne (70 km/h) comprenant des virages, et traversée d'une route droite, de bonne qualité à 90 km/h (2 cas sur 11). Néanmoins, la valeur de $A(8)$ est peu effective pour la prise en compte des vibrations intenses et ponctuelles, on lui préfère la VDV, qui n'est pas donnée ici. Or, on constate bien une disparité des mesures, notamment lors des trajets urbains, avec des valeurs extrêmes dont l'analyse est peu aisée : sans une valeur cumulative, il est compliqué d'estimer l'impact de ces pics de vibration sur une journée de travail. Il pourrait ainsi être intéressant de réitérer une série de mesures, comportant une évaluation de $A(8)$ ainsi que de VDV, afin de les comparer.

Les données relevées en région Rhône Alpes et Auvergne sont par ailleurs comparables à celles de la littérature internationale, et notamment celle portant sur les camions poids lourds.

Cependant, le nombre de mesures reste assez faible, et ne permet pas de réaliser une analyse statistique des résultats ni une extrapolation de ceux-ci. Le travail d'étude de ces données en situation de conduite réelle est donc principalement descriptif, et permet de mettre en exergue certains paramètres pouvant influencer l'exposition aux VCE. La reproduction de mesures à une échelle plus grande, pourrait en effet permettre d'obtenir des résultats plus fiables. De plus, nous avons pu relever des différences en fonction des trajets réalisés et des véhicules utilisés, mais il est difficile de faire la part des choses. En effet, chaque véhicule est utilisé dans des circonstances de conduite assez distinctes. Une étude visant à tester chaque bus dans différentes conditions pourrait permettre d'évaluer plus distinctement l'impact du véhicule et celui du revêtement, afin d'établir des mesures de prévention adaptées, et notamment techniques.

X. Discussion

Les pathologies du rachis lombaire sont fréquentes, et constituent un réel enjeu en matière de santé en France. La dégénérescence discale peut être responsable de symptômes algiques et déficitaires. En effet, l'effritement ou le débord d'un disque intervertébral peut générer des phénomènes de compression, d'irritation et d'inflammation sur les structures environnantes telles que les racines nerveuses, les ligaments et muscles du rachis lombaire, ou même les parties osseuses des vertèbres (1). La dégénérescence des disques intervertébraux fait partie de leur histoire naturelle, en lien avec le vieillissement des cellules, mais elle est accélérée et majorée par des phénomènes exogènes. C'est notamment le cas des vibrations transmises au corps entier.

Le passage d'une onde vibratoire au sein d'un milieu induit la transmission d'énergie à ce dernier, qui est soumis à un déplacement. Ainsi, lorsque le rachis est traversé par une onde vibratoire de basse fréquence, il entre en résonance (préférentiellement vers 4 Hz). Les contractions musculaires locales sont perturbées, ne permettant pas d'atténuer les forces de compression et de cisaillement appliquées au disque intervertébral. Ces contraintes mécaniques intenses et répétées semblent en mesure de provoquer une modification de la pression intra-discale, pouvant accélérer sa dégénérescence (26–28). L'association entre l'exposition aux vibrations de basse fréquence dans le cadre professionnel ou lors d'expériences *in vitro*, et la survenue de troubles lombaires est également attestée par des résultats épidémiologiques (34–42).

Néanmoins, les scientifiques ne sont pas parvenus à donner une corrélation précise entre l'intensité des vibrations et la survenue de lésions au niveau lombaire. La sensibilité accrue du rachis à certaines fréquences vibratoires, ainsi que dans les directions horizontales est prise en compte par l'adjonction de coefficients aux valeurs d'accélération mesurées, à partir desquelles sont calculés les deux indicateurs de référence : l'exposition journalière sur 8 heures A(8) et la valeur de dose de vibration VDV. L'utilisation préférentielle de la VDV est préconisée par certains scientifiques puisqu'il s'agit d'une valeur cumulative, contrairement à A(8), qui donne une estimation plus lissée. La VDV permet de mieux prendre en compte la succession potentielle de secousses violentes lors de la conduite, qui seraient au moins

autant dommageables si ce n'est plus, qu'une exposition prolongée à des vibrations moins intenses (51). L'utilisation de seuils réglementaires reste donc sujette à discussion au sein de la communauté scientifique. L'Europe fixe en tous cas deux seuils : la valeur d'action (A(8) inférieure à 0.5m/s^2 ou VDV inférieure à $9.1\text{m/s}^{1.75}$) ainsi que la valeur limite d'exposition (A(8) inférieure à 1.15m/s^2 ou VDV inférieure à $21\text{m/s}^{1.75}$) (17).

Ces normes s'appliquent bien entendu à la conduite de véhicules de transport en commun de voyageurs en Europe, et, bien que non réglementaires, elles sont des références utilisées dans le monde entier, et notamment par les scientifiques. Les études menées à l'international montrent que les valeurs limites sont atteintes voire dépassées dans certaines situations : conduite sur routes pavées, traversées de villes, passage de ralentisseurs. Même lorsque les valeurs limites ne sont pas atteintes, on constate une variation des niveaux vibratoires en fonction du trajet empruntés. Des mesures réalisées en région Auvergne Rhône Alpes entre 2000 et 2017 confirment l'impact de ce paramètre. Elles montrent par ailleurs que les valeurs de A(8) sont majoritairement supérieures à 0.3 m/s^2 . Les caractéristiques du véhicule semblent également impacter les niveaux de vibrations : les niveaux vibratoires varient en fonction du type de véhicule (minibus, bus articulé, autocar...) et de leur état (des améliorations techniques au fil du temps peuvent réduire l'intensité des vibrations, sous réserve d'un entretien correct et régulier).

Au delà des pratiques hétérogènes du métier de conducteur de bus (lignes routières ou tournées intra-urbaines ; conduite de minibus, d'autocar ou de bus articulé ; réalisation de tâches annexes plus ou moins variées telles que la manutention de bagages, le nettoyage du véhicule, la vente de tickets, etc.), les données internationales attestent d'un risque de troubles lombaires important auprès de cette population (de 30 à 70% dans la littérature) (46,53–63). De plus, bien qu'exclus des tableaux des maladies professionnelles concernant le rachis lombaire, il est intéressant de noter que les chiffres de la sinistralité en France montrent une forte indemnisation pour des troubles musculo-squelettiques et notamment au niveau rachidien.

Les conducteurs de camions poids lourds présentent, dans la littérature internationale, des taux de troubles lombaires comparables à ceux observés chez les conducteurs de bus (50 à 60%) (68,69). En France, les chiffres de la sinistralité relèvent des indemnisations

majoritairement pour des troubles musculo-squelettiques. Près d'un quart des maladies professionnelles indemnisées concernent le rachis lombaire, soit 13 à 18% par exposition aux vibrations corps entier, sans oublier qu'il existe probablement une sous-déclaration non négligeable, et que la description clinique des tableaux ne reflète pas la multiplicité des symptômes.

D'un point de vue des expositions aux vibrations, les auteurs constatent, comme pour la conduite de bus, une influence des routes traversées. Les valeurs de VDV en situations de conduite comparables sont du même ordre de grandeur entre les deux véhicules. L'utilisation de l'outil OSEV, proposé en France par la CARSAT confirme des niveaux de vibrations comparables. En conditions favorables, on calcule une valeur de $A(8)$ à 0.26m/s^2 en bus contre 0.29m/s^2 en camion ; et en conditions défavorables, on trouve une valeur de $A(8)$ à 0.39m/s^2 en bus contre 0.37m/s^2 en camion. Ces résultats sont donc inférieurs aux valeurs exigées par la législation. Néanmoins, nous rappelons que nous n'avons pas pu trouver d'arguments en faveur de l'innocuité des vibrations en deçà des seuils réglementaires.

En somme, les niveaux de vibrations auxquels sont exposés les conducteurs de bus sont proches de ceux relevés en camion poids lourds. Il faut, nous l'avons vu, bien entendu prendre en compte plusieurs paramètres. La connaissance du métier de conducteur de bus et des contraintes spécifiques dans chaque situation individuelle reste indispensable. Certaines contraintes en lien avec des activités annexes des chauffeurs peuvent avoir une influence sur le développement de pathologies lombaires. Des explorations complémentaires et détaillées sur les éventuels cofacteurs de survenue d'affections rachidiennes (maintien de postures contraignantes, port de charges lourdes, contraintes organisationnelles, etc.) pourraient permettre de mieux appréhender cette problématique. L'étude de situations individuelles de conducteurs de bus souffrant de troubles lombaires pourrait par exemple offrir une description plus exhaustive leurs conditions de travail.

Thèse soutenue par Aurélie CLAIR-BASSON

Titre : Pathologies discales lombaires par transmission de vibrations au corps entier chez les conducteurs de bus

Conclusions

Les différentes formes d'exercice de la profession de conducteur de bus ont en commun l'exposition à des vibrations transmises au corps entier, engendrées par la conduite d'un véhicule. Ces dernières sont susceptibles de favoriser l'apparition d'affections lombaires et plus particulièrement des disques intervertébraux. En effet, l'énergie des ondes vibratoires transmises aux structures du rachis lombaire sous forme de forces de compression et de cisaillement peut accélérer la dégénérescence discale et faire ainsi le lit de lésions plus ou moins sévères. En France, la survenue d'une radiculalgie par hernie discale lombaire est indemnisée à la suite d'une exposition aux vibrations de moyennes et basses fréquences transmises au corps entier, chez certains professionnels de la route. C'est notamment le cas des conducteurs de camions poids lourds, contrairement aux conducteurs de bus.

Notre travail visait donc à comparer les situations entre ces deux populations, par l'analyse combinée des connaissances de la littérature scientifique internationale et de données locales. Pour cela, nous avons déterminé deux axes d'études : l'évaluation des expositions aux vibrations corps entier ; et la prévalence d'affections discales lombaires dans les deux populations.

Nous avons ainsi pu constater que les niveaux d'exposition aux vibrations sont comparables entre les deux populations, et qu'ils sont fortement influencés par les paramètres intrinsèques du véhicule (type, entretien, etc.) ainsi que les conditions de conduite. En effet, certaines situations telles que la conduite en milieu urbain, sur une chaussée non lisse, peuvent engendrer des niveaux de vibrations importants, pouvant même dépasser les valeurs seuils fixées par la réglementation européenne.

Par ailleurs, les problématiques médicales en lien avec le rachis lombaire sont multiples et fréquentes auprès des deux populations. Plusieurs études ont retrouvé des prévalences d'affections lombaires supérieures chez les conducteurs de bus ou de camions poids lourds par rapport à la population générale.

Ainsi, notre travail a pu mettre en lumière des similitudes entre la population des conducteurs de bus, et notre population de référence. La proportion d'affections lombaires est proche, et ils sont exposés à des niveaux de vibrations comparables. Néanmoins, les conditions d'exercice de chaque profession sont à prendre en compte : les situations diverses de conduite ont un impact fort, et il existe un grand nombre d'activités annexes possibles, avec un retentissement qui n'a pas été évalué ici. La réalisation de travaux complémentaires devrait permettre d'apporter de nouveaux éléments pour la reconnaissance en maladie professionnelle des conducteurs de bus.

Le Président de jury,

Monsieur le Professeur Alain BERGERET



VU, le Doyen de la Faculté de Médecine et
de Maïeutique Lyon-Sud Charles Mérieux

Madame le Professeur Carole BURILLON



Vu et permis d'imprimer

Lyon, le : 08/09/2017

Index des illustrations

FIGURE 1 : ILLUSTRATION DES MUSCLES DU DOS. F. NETTER. 2006	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
FIGURE 2 : ILLUSTRATION DU RACHIS ET DE SES COURBURES. F. NETTER. 2006	17
FIGURE 3 : ILLUSTRATION D'UNE VERTEBRE (VUE CRANIALE). I-ANATOMIE.COM. UNIVERSITE DE BORDEAUX. 2016.....	18
FIGURE 4 : ILLUSTRATION D'UNE VERTEBRE (VUE LATERALE). I-ANATOMIE.COM. UNIVERSITE DE BORDEAUX. 2016.....	19
FIGURE 5 : ILLUSTRATION DU RESEAU LIGAMENTAIRE INTERVERTEBRAL (VUE LATERALE). I-ANATOMIE.COM. UNIVERSITE DE BORDEAUX. 2016	19
FIGURE 6 : ILLUSTRATION DU CONTENU DU CANAL RACHIDIEN EN REGION LOMBOSACREE. F. NETTER. 2006 .	20
FIGURE 7 : ILLUSTRATION DE L'ARTICULATION INTERVERTEBRALE. ENCYCLOPEDIE MEDICO-CHIRURGICALE. 2004.....	21
FIGURE 8 : ILLUSTRATION D'UNE HERNIE DISCALE. F.NETTER. 2006.....	22
FIGURE 9 : SCHEMA DES MECANISMES DE RADICULALGIE. ENCYCLOPEDIE MEDICO-CHIRURGICALE. 2004	23
FIGURE 10 : ILLUSTRATIONS DES DERMATOMES. F. NETTER. 2006.....	24
FIGURE 11 : TABLEAU N°98 AU RG. INRS	29
FIGURE 12 : TABLEAU N°57 BIS AU RA. INRS.....	29
FIGURE 13 : TABLEAU N°97 AU RG. INRS	30
FIGURE 14 : TABLEAU N°57 AU RA. INRS	30
FIGURE 15 : DIRECTIONS D'EXPANSION DES VIBRATIONS. INRS. 2014.....	33
FIGURE 16 : CARACTERISTIQUES D'UNE VIBRATION PERIODIQUE.....	33
FIGURE 17 : ILLUSTRATION DE L'AMORTISSEMENT D'UNE ONDE MECANIQUE.....	34
FIGURE 18: COMPARAISON VALEUR REELLE ET VALEUR EFFICACE POUR UNE MEME ONDE.BKSV.FR. 2016.....	36
FIGURE 19 : DEFINITION DES AMPLITUDES D'ACCELERATION PONDEREES EN FREQUENCE.	37
FIGURE 20 : FACTEUR DE PONDERATION WD EN FREQUENCES LIEE AUX AXES X ET Y. NORME ISO 2631-1	37
FIGURE 21 : FACTEUR DE PONDERATION WK EN FREQUENCES LIEE A L'AXE Z. NORME ISO 2631-1	37
FIGURE 22 : FLOWCHART DE LA RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE.....	60
FIGURE 23 : SELECTION DU TYPE DE VEHICULE : TRACTEUR ROUTIER. CAPTURE D'ECRAN OSEV.	78
FIGURE 24 : ESTIMATION DU NIVEAU VIBRATOIRE POUR UN CAMION EN CONDITIONS FAVORABLES. CAPTURE D'ECRAN OSEV.....	79
FIGURE 25 : ESTIMATION DU NIVEAU VIBRATOIRE POUR UN CAMION EN CONDITIONS DEFAVORABLES. CAPTURE D'ECRAN OSEV.....	80
FIGURE 26 : SELECTION DU TYPE DE VEHICULE : BUS. CAPTURE D'ECRAN OSEV.	81
FIGURE 27: ESTIMATION DU NIVEAU VIBRATOIRE POUR UN BUS EN CONDITIONS FAVORABLES. CAPTURE D'ECRAN OSEV.....	82
FIGURE 28: ESTIMATION DU NIVEAU VIBRATOIRE POUR UN BUS EN CONDITIONS DEFAVORABLES. CAPTURE D'ECRAN OSEV	83
FIGURE 29 : ESTIMATION DU NIVEAU VIBRATOIRE POUR UN BUS EN CONDITIONS MIXTES. CAPTURE D'ECRAN OSEV	84
FIGURE 30 : SCHEMA DETAILLANT LES NIVEAUX D'EXPOSITION OBTENUS PAR SIMULATION.....	84
FIGURE 31 : ILLUSTRATIONS DES BUS DANS LESQUELS ONT ETE REALISEES LES MESURES DE VIBRATIONS PAR LA CARSAT.	89
FIGURE 32: ILLUSTRATIONS DES BUS DANS LESQUELS ONT ETE REALISEES LES MESURES DE VIBRATIONS EN RHONE ALPES.	97
FIGURE 33 : GRAPHIQUE ILLUSTRANT LES RESULTATS DE A(8)MAX EN FONCTION DU TYPE DE VEHICULE.	100
FIGURE 34 : VALEURS DE A(8)MAX OBTENUES LORS DE TRAJETS INTERURBAINS.	102
FIGURE 35 : VALEURS DE A(8)MAX OBTENUES LORS DE TRAJETS URBAINS.....	103

Bibliographie

1. Kerbaol G. Lombalgie. Ce qu'il faut retenir. INRS; 2015.
2. Pennequin N, Lavaud A, Damien S, Avril G, Hubert C. Affections chroniques du rachis lombaire déclarées par 64 chauffeurs de bus (RATP) au titre du tableau no 97 du régime général des maladies professionnelles (MP) de 2001 à 2005. Arch Mal Prof Environ. 2006;67(2):242 ; 243.
3. Hutchinson JR, Gatesy SM. Bipedalism. In: John Wiley & Sons, Ltd, éditeur. Encyclopedia of Life Sciences. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd; 2001.
4. Sayers K. Models of Primate Evolution. In: eLS. John Wiley & Sons, Ltd; 2001.
5. Dujardin F, Tobenas-Dujardin A-C, Weber J. Anatomie et physiologie de la marche, de la position assise et debout. EMC - Appar Locomoteur. janv 2009;4(2):1 ; 18.
6. Rannou F, Mayoux-Benhamou M-A, Poiraudeau S, Revel M. Disque intervertébral et structures voisines de la colonne lombaire : anatomie, biologie, physiologie et biomécanique. EMC-Rhumatol-Orthopédie. 2004;1(6):487 ; 507.
7. Revel M. Sciatiques et autres lomboradiculalgies discales. EMC-Rhumatol-Orthop. 2004;1(2):101-116.
8. Abadia G. Liste des maladies professionnelles. INRS; 2012.
9. Collège des enseignants en Neurologie. Compressions médullaire non traumatique. 2017.
10. Collège des enseignants en Neurologie. Syndrome de la queue de cheval. 2017.
11. Loi du 25 octobre 1919 ETEND AUX MALADIES D'ORIGINE PROFESSIONNELLE LA LOI DU 9-04-1898 SUR LES ACCIDENTS DU TRAVAIL.
12. Organisation internationale de normalisation. ISO 2041: Vibrations et chocs mécaniques. Organisation internationale de normalisation; 2004.
13. L Roure, Mereau P. Les vibrations industrielles. INRS; 1983. (Numéro spécial de Travail et Sécurité).
14. Donati P, Ganem Y, Lebrech A, Caruel E. Guide de bonnes pratiques. Vibrations et mal de dos. INRS; 2012.
15. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques. Règlement Général des Industries Extractives. Guide technique Vibrations. 2009.

16. Commission européenne. Guide de bonnes pratiques en matière de vibrations globales du corps. Commission européenne, Direction générale de l'emploi, des affaires sociales et de l'égalité des chances; 2006.
17. Parlement européen, Conseil de l'union européenne. Directive 2002/44/CE. L177/13 juin 25, 2002.
18. Stellman JM. Encyclopédie de sécurité et de santé au travail. Vol. 2. International Labour Organization; 2000.
19. Décret n° 2005-746 du 4 juillet 2005 relatif aux prescriptions de sécurité et de santé applicables en cas d'exposition des travailleurs aux risques dus aux vibrations mécaniques et modifiant le code du travail (deuxième partie : Décrets en Conseil d'Etat). 2005-746 juillet, 2005.
20. Code du travail - Article R4443-2. Code du travail mars 7, 2008.
21. Reiher H, Meister FJ. Die Empfindlichkeit des Menschen gegen Stöße. Forsch Auf Dem Geb Ingenieurwesens A. 1 août 1932;3(4):177-80.
22. Dieckmann D. A Study of the Influence of Vibration on Man. Ergonomics. août 1958;1(4):347-55.
23. Sandover J, Dupuis H. A reanalysis of spinal motion during vibration. Ergonomics. juin 1987;30(6):975-85.
24. Dupuis H. Biodynamic behavior of the trunk and the abdomen during whole-body vibration. Acta Anaesthesiol Scand Suppl. 1989;90:34-8.
25. Dupuis H. [The effect of mechanical vibration on the spinal column]. Orthopade. juin 1990;19(3):140-5.
26. Seidel H, Bastek R, Bräuer D, Buchholz C, Meister A, Metz AM, et al. On human response to prolonged repeated whole-body vibration. Ergonomics. mars 1980;23(3):191-211.
27. Seidel H, Bluethner R, Hinz B. Effects of sinusoidal whole-body vibration on the lumbar spine: the stress-strain relationship. Int Arch Occup Environ Health. 1986;57(3):207-23.
28. Seidel H. Myoelectric reactions to ultra-low frequency and low-frequency whole body vibration. Eur J Appl Physiol. 1988;57(5):558-62.
29. Hinz B, Seidel H. The nonlinearity of the human body's dynamic response during sinusoidal whole body vibration. Ind Health. 1987;25(4):169-81.
30. Dupuis H, Hartung E, Haverkamp M. Acute effects of transient vertical whole-body vibration. Int Arch Occup Environ Health. 1991;63(4):261-5.
31. Seidel H, Blüthner R, Hinz B. Application of finite-element models to predict forces acting on the lumbar spine during whole-body vibration. Clin Biomech Bristol Avon. 2001;16 Suppl 1:S57-63.

32. Seidel H, Griffin MJ. Modelling the response of the spinal system to whole-body vibration and repeated shock. *Clin Biomech Bristol Avon*. 2001;16 Suppl 1:S3-7.
33. Seidel H. On the relationship between whole-body vibration exposure and spinal health risk. *Ind Health*. juill 2005;43(3):361-77.
34. Christ W, Dupuis H. [On the stressing of the spine under the effect of sinusoidal and stochastic vibrations]. *Int Z Angew Physiol*. 8 juill 1966;22(3):258-78.
35. Dupuis H. [Stress by mechanical vibration and possible damages to health in the region of the spine. 1. Vibration stress and physiological reactions]. *Fortschr Med*. 16 mai 1974;92(14):618-20.
36. Dupuis H, Zerlett G. Whole-body vibration and disorders of the spine. *Int Arch Occup Environ Health*. 1987;59(4):323-36.
37. Bongers PM, Boshuizen HC, Hulshof CT, Koemeester AP. Back disorders in crane operators exposed to whole-body vibration. *Int Arch Occup Environ Health*. 1988;60(2):129-37.
38. Bongers PM, Hulshof CT, Dijkstra L, Boshuizen HC, Groenhout HJ, Valken E. Back pain and exposure to whole body vibration in helicopter pilots. *Ergonomics*. août 1990;33(8):1007-26.
39. Boshuizen HC, Bongers PM, Hulshof CT. Self-reported back pain in tractor drivers exposed to whole-body vibration. *Int Arch Occup Environ Health*. 1990;62(2):109-15.
40. Boshuizen HC, Bongers PM, Hulshof CT. Self-reported back pain in fork-lift truck and freight-container tractor drivers exposed to whole-body vibration. *Spine*. janv 1992;17(1):59-65.
41. Kelsey JL, Githens PB, O'Conner T, Weil U, Calogero JA, Holford TR, et al. Acute prolapsed lumbar intervertebral disc. An epidemiologic study with special reference to driving automobiles and cigarette smoking. *Spine*. sept 1984;9(6):608-13.
42. Kelsey JL, Hardy RJ. Driving of motor vehicles as a risk factor for acute herniated lumbar intervertebral disc. *Am J Epidemiol*. juill 1975;102(1):63-73.
43. Kelsey JL. An epidemiological study of the relationship between occupations and acute herniated lumbar intervertebral discs. *Int J Epidemiol*. sept 1975;4(3):197-205.
44. Kelsey JL, Golden AL, Mundt DJ. Low back pain/prolapsed lumbar intervertebral disc. *Rheum Dis Clin North Am*. août 1990;16(3):699-716.
45. Bovenzi M, Zadini A. Self-reported low back symptoms in urban bus drivers exposed to whole-body vibration. *Spine*. sept 1992;17(9):1048-59.
46. Bovenzi M. Low back pain disorders and exposure to whole-body vibration in the workplace. *Semin Perinatol*. févr 1996;20(1):38-53.

47. Bovenzi M, Hulshof CT. An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain (1986-1997). *Int Arch Occup Environ Health*. sept 1999;72(6):351-65.
48. Bovenzi M. Health effects of mechanical vibration. *G Ital Med Lav Ergon*. mars 2005;27(1):58-64.
49. Bovenzi M. Criteria for case definitions for upper limb and lower back disorders caused by mechanical vibration. *Med Lav*. avr 2007;98(2):98-110.
50. Bovenzi M. Metrics of whole-body vibration and exposure-response relationship for low back pain in professional drivers: a prospective cohort study. *Int Arch Occup Environ Health*. juill 2009;82(7):893-917.
51. Bovenzi M. A longitudinal study of low back pain and daily vibration exposure in professional drivers. *Ind Health*. 2010;48(5):584-95.
52. Bovenzi M, Schust M, Menzel G, Prodi A, Mauro M. Relationships of low back outcomes to internal spinal load: a prospective cohort study of professional drivers. *Int Arch Occup Environ Health*. mai 2015;88(4):487-99.
53. Tamrin SBM, Yokoyama K, Jalaludin J, Aziz NA, Jemoin N, Nordin R, et al. The Association between risk factors and low back pain among commercial vehicle drivers in peninsular Malaysia: a preliminary result. *Ind Health*. avr 2007;45(2):268-78.
54. Jadhav AV. Comparative cross-sectional study for understanding the burden of low back pain among public bus transport drivers. *Indian J Occup Environ Med*. avr 2016;20(1):26-30.
55. Szeto GPY, Lam P. Work-related musculoskeletal disorders in urban bus drivers of Hong Kong. *J Occup Rehabil*. juin 2007;17(2):181-98.
56. Lee J-H, Gak HB. Effects of self stretching on pain and musculoskeletal symptom of bus drivers. *J Phys Ther Sci*. déc 2014;26(12):1911-4.
57. Alperovitch-Najenson D, Santo Y, Masharawi Y, Katz-Leurer M, Ushvaev D, Kalichman L. Low back pain among professional bus drivers: ergonomic and occupational-psychosocial risk factors. *Isr Med Assoc J IMAJ*. janv 2010;12(1):26-31.
58. Krause N, Rugulies R, Ragland DR, Syme SL. Physical workload, ergonomic problems, and incidence of low back injury: a 7.5-year prospective study of San Francisco transit operators. *Am J Ind Med*. déc 2004;46(6):570-85.
59. Anderson R. The back pain of bus drivers. Prevalence in an urban area of California. *Spine*. déc 1992;17(12):1481-8.
60. Costa G, Sartori S, Facco P, Apostoli P. Health conditions of bus drivers in a 6 year follow up study. *J Hum Ergol (Tokyo)*. déc 2001;30(1-2):405-10.

61. Netterstrøm B, Juel K. Low back trouble among urban bus drivers in Denmark. *Scand J Soc Med.* 1989;17(2):203-6.
62. Jensen A, Kaerlev L, Tüchsen F, Hannerz H, Dahl S, Nielsen PS, et al. Locomotor diseases among male long-haul truck drivers and other professional drivers. *Int Arch Occup Environ Health.* juill 2008;81(7):821-7.
63. Okunribido OO, Shimbles SJ, Magnusson M, Pope M. City bus driving and low back pain: a study of the exposures to posture demands, manual materials handling and whole-body vibration. *Appl Ergon.* janv 2007;38(1):29-38.
64. Kresal F, Roblek V, Jerman A, Meško M. Lower back pain and absenteeism among professional public transport drivers. *Int J Occup Saf Ergon JOSE.* 2015;21(2):166-72.
65. Palmer KT, Griffin MJ, Bendall H, Pannett B, Coggon D. Prevalence and pattern of occupational exposure to whole body vibration in Great Britain: findings from a national survey. *Occup Environ Med.* avr 2000;57(4):229-36.
66. Lewis CA, Johnson PW. Whole-body vibration exposure in metropolitan bus drivers. *Occup Med Oxf Engl.* oct 2012;62(7):519-24.
67. Leinonen V, Kankaanpää M, Vanharanta H, Airaksinen O, Hänninen O. Back and neck extensor loading and back pain provocation in urban bus drivers with and without low back pain. *Pathophysiol Off J Int Soc Pathophysiol.* déc 2005;12(4):249-55.
68. Miyamoto M, Shirai Y, Nakayama Y, Gembun Y, Kaneda K. An epidemiologic study of occupational low back pain in truck drivers. *J Nippon Med Sch Nippon Ika Daigaku Zasshi.* juin 2000;67(3):186-90.
69. Andrusaitis SF, Oliveira RP, Barros Filho TEP. Study of the prevalence and risk factors for low back pain in truck drivers in the state of São Paulo, Brazil. *Clin Sao Paulo Braz.* déc 2006;61(6):503-10.
70. Rugulies R, Krause N. Job strain, iso-strain, and the incidence of low back and neck injuries. A 7.5-year prospective study of San Francisco transit operators. *Soc Sci Med* 1982. juill 2005;61(1):27-39.
71. Cann AP, Salmoni AW, Eger TR. Predictors of whole-body vibration exposure experienced by highway transport truck operators. *Ergonomics.* 22 oct 2004;47(13):1432-53.
72. Kim JH, Zigman M, Aulck LS, Ibbotson JA, Dennerlein JT, Johnson PW. Whole Body Vibration Exposures and Health Status among Professional Truck Drivers: A Cross-sectional Analysis. *Ann Occup Hyg.* oct 2016;60(8):936-48.

Aurélie BASSON, épouse CLAIR-BASSON

Pathologies discales lombaires par transmission de vibrations au corps entier chez les conducteurs de bus

RESUME

La conduite d'un bus, engendre des vibrations qui sont transmises au corps entier. L'énergie des ondes vibratoires transmises aux structures rachidiennes sous forme de forces de compression et de cisaillement peut accélérer la dégénérescence discale et engendrer des lésions. En France, la radiculalgie par hernie discale lombaire est indemnisée à la suite d'une exposition aux vibrations de moyennes et basses fréquences transmises au corps entier chez les conducteurs de camions poids lourds, contrairement aux conducteurs de bus. Notre travail visait à comparer les situations entre ces deux populations, par l'analyse combinée des connaissances scientifiques internationales et de données locales. Les niveaux d'exposition aux vibrations sont comparables entre les deux populations, et fortement influencés par les paramètres intrinsèques du véhicule et les conditions de conduite. La conduite en milieu urbain, sur chaussée non lisse, peut engendrer des niveaux de vibrations importants, pouvant dépasser les valeurs seuils fixées par la réglementation européenne. Plusieurs études ont montré des prévalences de pathologies lombaires supérieures chez les conducteurs de bus ou de camions poids lourds par rapport à la population générale. La proportion d'affections lombaires dans les deux populations est proche, et ils sont exposés à des niveaux de vibrations comparables. Néanmoins, les conditions d'exercice de chaque profession sont à prendre en compte : situations diverses de conduite, éventuelles activités annexes, dont le retentissement n'a pas été évalué ici. La réalisation de travaux complémentaires devrait permettre d'apporter de nouveaux éléments pour la reconnaissance en maladie professionnelle des conducteurs de bus.

MOTS CLES

lombalgie, radiculalgie, hernie discale lombaire, vibrations corps entier, conducteurs de bus

JURY

Président : Monsieur le Professeur Alain BERGERET
 Membres : Madame le Professeur Barbara CHARBOTEL
 Monsieur le Professeur Sébastien LUSTIG
 Madame le Docteur Soline BELLAICHE

DATE DE SOUTENANCE

10 octobre 2017

ADRESSE DE L'AUTEUR
EMAIL DE L'AUTEUR

19 rue Claude VEYRON, 69007 LYON
aurelie.basson@gmail.com